

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES



CARLOS RAÚL SANDOVAL HERNÁNDEZ

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2025



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA POTENCIAL EN LAS  
MICROCUENCAS: “RÍO MOLINO” Y “RÍO SAN LUCAS” Y PROPUESTA DE  
LINEAMIENTOS EN EL FORTALECIMIENTO EN LA RESTAURACIÓN  
FORESTAL, MIXCO, GUATEMALA, C.A. DIAGNOSTO Y SERVICIOS  
EFECTUADOS EN LA MUNICIPALIDAD DE MIXCO, GUATEMALA, C.A.**

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

**CARLOS RAÚL SANDOVAL HERNÁNDEZ**

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

**INGENIERO AGRÓNOMO**

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

**LICENCIATURA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2025



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**RECTOR**

M.A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

**DECANO**

Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona

**VOCAL II**

Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez

**VOCAL III**

Ing. Agr. Jorge Cabrera Madrid

**VOCAL IV**

Sr. Elvis Enrique Ramírez Mérida

**VOCAL V**

Sr. Roberto Antonio Barraza González

**SECRETARIO**

Ing. Agr. Edi Noé Quan Barrios

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2025



Guatemala, octubre de 2025

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA POTENCIAL EN LAS MICROCUENCAS: “RÍO MOLINO” Y “RÍO SAN LUCAS” Y PROPUESTA DE LINEAMIENTOS EN EL FORTALECIMIENTO EN LA RESTAURACIÓN FORESTAL, MIXCO, GUATEMALA, C.A.** como requisito previo a optar al título de **Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola**, en el grado académico de **Licenciatura**.

Dicho trabajo de graduación se presenta con los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



**CARLOS RAÚL SANDOVAL HERNÁNDEZ**





**ACTO QUE DEDICO****A:****DIOS**

Por las bendiciones que he recibido cada día en mi vida y por su guía en cada uno de mis pasos.

**MIS PADRES**

María Leonor Hernández Gonzáles y Carlos Raúl Sandoval por su amor y apoyo incondicional en mi formación como persona y como profesional.

**MIS HERMANOS**

Claudia Leticia, Héctor Daniel y Brenda Gabriela por su apoyo y amor incondicional.

**MIS ABUELOS**

Arcadio Hernández (Q.E.P.D.), Clementina González (Q.E.P.D.), Héctor Salinas (Q.E.P.D.) y Carmen Sandoval (Q.E.P.D.), por su amor y compañía a lo largo de mi vida.

**MIS FAMILIARES**

Ana María Concobá, Aura Sofia Hernández y Walter Pineda por su apoyo y orientación incondicional en las adversidades que he afrontado.

**MIS AMIGOS**

Fabiola Pinzón; Hellen Mérida; Henry Boch; Estuardo Pérez; Luis Mario Hernández; Raynel Guzmán; Waykan Matheu; Wilson Gómez y Diana Joaquín por su amistad, camaradería y mutuo apoyo.

**LIC. PABLO QUIÑONEZ**

Mi más sincero agradecimiento por todo el apoyo incondicional durante el desarrollo de mi ejercicio profesional supervisado y actividades posteriores.



## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

**MI COLEGIO**

Centro Estudiantil Fénix, por ser parte fundamental en mi formación académica y motivarme a siempre buscar la excelencia.

**MI UNIVERSIDAD**

Universidad de San Carlos de Guatemala por permitirme la oportunidad de formarme en un grado académico superior.

**MIS CATEDRÁTICOS**

Ing. Agr. Félix Medrano, Ing. Agr. Félix Martínez, Dr. Tomás Padilla y Dr. Pablo Prado, por su valiosa orientación, apoyo, supervisión y asesoramiento durante mi ejercicio profesional supervisado.

**MANCOMUNIDAD GRAN  
CIUDAD DEL SUR**

Ing. Mauro Tezen, Ing. Obdulio Cotuc, y Arq. Pablo Juárez, por darme la oportunidad de realizar mi ejercicio profesional supervisado en sus instalaciones y proporcionarme un tema de investigación.

**DEFENSORES DE LA  
NATURALEZA**

Por el apoyo y financiamiento para el desarrollo de mi ejercicio profesional supervisado, bajo la dirección del ing. Pablo de la Roca.

**MUNICIPALIDAD DE  
MIXCO**

Por proporcionarme un espacio, asesoramiento y apoyo en el desarrollo de mi ejercicio profesional supervisado

**DIRECCIÓN DE  
PLANIFICACIÓN  
TÉCNICA**

Arq. Karina Hernández e Ing. Ettie Espinoza por su apoyo durante las distintas actividades de mi ejercicio profesional supervisado.

**CUADRILLA DE  
TOPOGRAFÍA**

A los señores: Alfonso Pinol; Henry Godoy y especialmente a Raúl Hernández, por su apoyo incondicional en el desarrollo de actividades de campo.





## Índice General

|        |                                                                                                                                                                                                   |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Parte Preliminar .....                                                                                                                                                                            | 1  |
| 1.1.   | Introducción .....                                                                                                                                                                                | 3  |
| 1.2.   | Objetivos generales .....                                                                                                                                                                         | 4  |
| 1.3.   | Metodología General .....                                                                                                                                                                         | 4  |
| 2.     | Diagnóstico de las bases de datos de información georreferencial de las direcciones de: Ambiente y Recursos Naturales; Planificación Técnica; Aguas y Drenajes de la municipalidad de Mixco ..... | 7  |
| 2.1.   | Introducción .....                                                                                                                                                                                | 9  |
| 2.2.   | Objetivos.....                                                                                                                                                                                    | 10 |
| 2.2.1. | Objetivo General:.....                                                                                                                                                                            | 10 |
| 2.2.2. | Objetivos Específicos: .....                                                                                                                                                                      | 10 |
| 2.3.   | Metodología.....                                                                                                                                                                                  | 10 |
| 2.3.1. | Fase de Gabinete Inicial:.....                                                                                                                                                                    | 10 |
| 2.3.2. | Fase de Campo: .....                                                                                                                                                                              | 11 |
| 2.3.3. | Fase de Gabinete Final: .....                                                                                                                                                                     | 16 |
| 2.4.   | Resultados.....                                                                                                                                                                                   | 22 |
| 2.5.   | Conclusiones .....                                                                                                                                                                                | 27 |
| 2.6.   | Recomendaciones .....                                                                                                                                                                             | 28 |
| 2.7.   | Bibliografía.....                                                                                                                                                                                 | 29 |
| 2.8.   | Anexos.....                                                                                                                                                                                       | 30 |
| 3.     | Servicios realizados en municipalidad de Mixco .....                                                                                                                                              | 33 |
| 3.1.   | Servicio 1: Mapeo de Zonas Reforestadas en el Municipio de Mixco en el periodo 2017 a 2024 .....                                                                                                  | 35 |
| 3.1.1. | Antecedentes.....                                                                                                                                                                                 | 35 |
| 3.1.2. | Objetivos.....                                                                                                                                                                                    | 35 |
| 3.1.3. | Metas .....                                                                                                                                                                                       | 35 |
| 3.1.4. | Metodología .....                                                                                                                                                                                 | 36 |
| 3.1.5. | Resultados.....                                                                                                                                                                                   | 47 |
| 3.1.6. | Conclusiones .....                                                                                                                                                                                | 59 |
| 3.1.7. | Recomendaciones .....                                                                                                                                                                             | 60 |
| 3.2.   | Servicio 2: Evaluación de impacto ambiental de los puntos de drenaje y desfogue del sistema sanitario y pluvial de zona 10 de Mixco .....                                                         | 62 |
| 3.2.1. | Antecedentes.....                                                                                                                                                                                 | 62 |
| 3.2.2. | Objetivos.....                                                                                                                                                                                    | 62 |

|        |                                                                                                                                                            |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3. | Metas .....                                                                                                                                                | 62  |
| 3.2.4. | Metodología .....                                                                                                                                          | 63  |
| 3.2.5. | Resultados.....                                                                                                                                            | 66  |
| 3.2.6. | Conclusiones .....                                                                                                                                         | 72  |
| 3.2.7. | Recomendaciones .....                                                                                                                                      | 73  |
| 3.3.   | Servicio 3: Evaluación de amenaza por incendios forestales en el municipio de Mixco .....                                                                  | 74  |
| 3.3.1. | Antecedentes.....                                                                                                                                          | 74  |
| 3.3.2. | Objetivos.....                                                                                                                                             | 76  |
| 3.3.3. | Metas.....                                                                                                                                                 | 76  |
| 3.3.4. | Metodología.....                                                                                                                                           | 76  |
| 3.3.5. | Resultados.....                                                                                                                                            | 78  |
| 3.3.6. | Conclusiones .....                                                                                                                                         | 91  |
| 3.3.7. | Recomendaciones .....                                                                                                                                      | 91  |
| 3.4.   | Bibliografía.....                                                                                                                                          | 92  |
| 3.5.   | Anexos.....                                                                                                                                                | 94  |
| 4.     | Protocolo de Investigación: Estimación de la Recarga Hídrica potencial en las microcuencas: “Rio el Molino” y “Rio San Lucas”, Mixco, Guatemala, C.A. .... | 97  |
| 4.1.   | Resumen .....                                                                                                                                              | 99  |
| 4.2.   | Introducción .....                                                                                                                                         | 100 |
| 4.3.   | Planteamiento del problema .....                                                                                                                           | 101 |
| 4.4.   | Marco Teórico .....                                                                                                                                        | 102 |
| 4.4.1. | Marco Conceptual.....                                                                                                                                      | 102 |
| 4.4.2. | Marco Referencial.....                                                                                                                                     | 121 |
| 4.5.   | Objetivos.....                                                                                                                                             | 134 |
| 4.5.1. | Objetivo General.....                                                                                                                                      | 134 |
| 4.5.2. | Objetivos Específicos .....                                                                                                                                | 134 |
| 4.6.   | Metodología.....                                                                                                                                           | 134 |
| 4.6.1. | Delimitación del área de estudio.....                                                                                                                      | 134 |
| 4.6.2. | Determinación de zonas de recarga hídrica: .....                                                                                                           | 138 |
| 4.6.3. | Clasificación de áreas críticas de recarga hídrica natural:.....                                                                                           | 152 |
| 4.6.4. | Lineamientos para el fortalecimiento de la restauración forestal en las áreas críticas de recarga hídrica:.....                                            | 159 |
| 4.7.   | Resultados.....                                                                                                                                            | 163 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.7.1. Determinación de la recarga hídrica .....                                                                          | 163 |
| 4.7.2. Clasificación.....                                                                                                 | 168 |
| Recarga Anual.....                                                                                                        | 168 |
| 4.7.3. Lineamientos para el fortalecimiento de la restauración forestal en<br>las áreas críticas de recarga hídrica:..... | 171 |
| 4.8. Conclusiones .....                                                                                                   | 176 |
| 4.9. Recomendaciones .....                                                                                                | 177 |
| 4.10. Bibliografía .....                                                                                                  | 178 |
| 4.11. Anexos .....                                                                                                        | 181 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Reunión de presentación en la dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco</i> .....          | 11 |
| <b>Figura 2</b> <i>Árbol de problemas de la dirección de ambiente y recursos naturales</i> .....                                    | 19 |
| <b>Figura 3</b> <i>Árbol de problemas de la dirección de aguas y drenajes.</i> .....                                                | 20 |
| <b>Figura 4</b> <i>Árbol de problemas de la dirección de planificación técnica.</i> .....                                           | 21 |
| <b>Figura 5</b> <i>Grafica de clasificación de problemáticas 1</i> .....                                                            | 23 |
| <b>Figura 6</b> <i>Grafica de clasificación de problemáticas 2</i> .....                                                            | 25 |
| <b>Figura 7</b> <i>Grafica de clasificación de problemáticas 3</i> .....                                                            | 26 |
| <b>Figura 8A</b> <i>Reunión en la dirección de ambiente y recursos naturales con el ing. Agr. Florentín Castillo</i> .....          | 30 |
| <b>Figura 9A</b> <i>Reunión con el Lic. Pablo Quiñones de la dirección de planificación técnica</i> .....                           | 30 |
| <b>Figura 10A</b> <i>Reunión en la dirección de aguas y drenajes con el Ing. Jimmy Gonzales y el encargado Alejandro Ajcú</i> ..... | 31 |
| <b>Figura 11A</b> <i>Organigrama de la municipalidad de Mixco</i> .....                                                             | 31 |
| <b>Figura 12</b> <i>Selección del formato</i> .....                                                                                 | 42 |
| <b>Figura 13</b> <i>Forma de agregar bases de datos</i> .....                                                                       | 43 |
| <b>Figura 14</b> <i>Generación de puntos</i> .....                                                                                  | 44 |
| <b>Figura 15</b> <i>Copernicus Browser</i> .....                                                                                    | 45 |
| <b>Figura 16</b> <i>Imagen NDVI</i> .....                                                                                           | 46 |
| <b>Figura 17</b> <i>Capa ráster NDVI</i> .....                                                                                      | 46 |
| <b>Figura 18</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2017</i> .....                                                                    | 47 |
| <b>Figura 19</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2018</i> .....                                                                    | 48 |
| <b>Figura 20</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2019</i> .....                                                                    | 49 |
| <b>Figura 21</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2020</i> .....                                                                    | 50 |
| <b>Figura 22</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2021</i> .....                                                                    | 51 |
| <b>Figura 23</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2022</i> .....                                                                    | 52 |
| <b>Figura 24</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2023</i> .....                                                                    | 53 |
| <b>Figura 25</b> <i>Mapa de zonas reforestadas en 2024</i> .....                                                                    | 54 |
| <b>Figura 26</b> <i>Grafica de hectáreas reforestadas por zona</i> .....                                                            | 55 |
| <b>Figura 27</b> <i>Grafica de hectáreas reforestadas por año</i> .....                                                             | 56 |
| <b>Figura 28</b> <i>Evaluación de cobertura vegetal en Mixco, año 2017</i> .....                                                    | 57 |
| <b>Figura 29</b> <i>Evaluación de cobertura vegetal en Mixco, año 2024</i> .....                                                    | 58 |
| <b>Figura 30</b> <i>Componentes mínimos sugeridos para un mapa</i> .....                                                            | 61 |
| <b>Figura 31</b> <i>Mapa de la red de drenaje sanitario y pluvial de la zona 10 de Mixco</i> .....                                  | 64 |
| <b>Figura 32</b> <i>Pruebas de laboratorio para la detección de material fecal</i> .....                                            | 67 |
| <b>Figura 33</b> <i>Grado de contaminación según DBO</i> .....                                                                      | 68 |
| <b>Figura 34</b> <i>Grado de contaminación según DQO</i> .....                                                                      | 69 |
| <b>Figura 35</b> <i>Clasificación de aguas según su contenido de fosfatos</i> .....                                                 | 70 |
| <b>Figura 36</b> <i>Clasificación de aguas según su contenido de nitratos</i> .....                                                 | 71 |
| <b>Figura 37</b> <i>Clasificación de aguas según su nivel de pH</i> .....                                                           | 71 |

|                   |                                                                                                   |     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 38</b>  | <i>Mapa de frecuencia de incendios forestales en los municipios del departamento de Guatemala</i> | 75  |
| <b>Figura 39</b>  | <i>Software Firms NASA</i>                                                                        | 76  |
| <b>Figura 40</b>  | <i>Conteo de incendios forestales en Mixco de 2004 a 2024</i>                                     | 78  |
| <b>Figura 41</b>  | <i>Ubicación de incendios ocurridos en 2004 a 2009</i>                                            | 81  |
| <b>Figura 42</b>  | <i>Ubicación de incendios ocurridos en 2010 a 2019</i>                                            | 82  |
| <b>Figura 43</b>  | <i>Ubicación de incendios ocurridos en 2020 a 2024</i>                                            | 83  |
| <b>Figura 44</b>  | <i>Intensidad de incendios ocurridos en 2004 a 2009</i>                                           | 84  |
| <b>Figura 45</b>  | <i>Intensidad de incendios ocurridos en 2010 a 2019</i>                                           | 85  |
| <b>Figura 46</b>  | <i>Intensidad de incendios ocurridos en 2020 a 2024</i>                                           | 86  |
| <b>Figura 47:</b> | <i>Frecuencia de incendios forestales por cada zona de Mixco</i>                                  | 87  |
| <b>Figura 48</b>  | <i>Satélite Aqua</i>                                                                              | 88  |
| <b>Figura 49</b>  | <i>Triangulo de elementos que forman un incendio</i>                                              | 89  |
| <b>Figura 50</b>  | <i>Grafica de la frecuencia de incendios por mes</i>                                              | 90  |
| <b>Figura 51A</b> | <i>Material georreferencial de zonas reforestadas disponible</i>                                  | 94  |
| <b>Figura 52A</b> | <i>Red de drenaje sanitario y pluvial de zona 10</i>                                              | 95  |
| <b>Figura 53A</b> | <i>Manejo del software Firms NASA</i>                                                             | 95  |
| <b>Figura 54</b>  | <i>Representación del ciclo hidrológico</i>                                                       | 102 |
| <b>Figura 55</b>  | <i>Divisoria de una cuenca hidrográfica</i>                                                       | 103 |
| <b>Figura 56</b>  | <i>Partes de una cuenca hidrográfica</i>                                                          | 105 |
| <b>Figura 57</b>  | <i>Desembocadura de un río</i>                                                                    | 106 |
| <b>Figura 58</b>  | <i>Área de recarga hídrica</i>                                                                    | 109 |
| <b>Figura 59</b>  | <i>Prácticas de manejo agronómico de infiltración</i>                                             | 118 |
| <b>Figura 60</b>  | <i>Prácticas de manejo agronómico de escurrimiento</i>                                            | 119 |
| <b>Figura 61</b>  | <i>Prácticas de manejo agronómico de pendiente</i>                                                | 120 |
| <b>Figura 62</b>  | <i>Conservación de agua</i>                                                                       | 121 |
| <b>Figura 63</b>  | <i>Mapa de ubicación del municipio de Mixco</i>                                                   | 122 |
| <b>Figura 64</b>  | <i>Balance hídrico climático: Estación INSIVUMEH</i>                                              | 123 |
| <b>Figura 65</b>  | <i>Balance hídrico climático: Estación Lo De Coy</i>                                              | 124 |
| <b>Figura 66</b>  | <i>Balance hídrico climático: Estación Suiza Contenta</i>                                         | 125 |
| <b>Figura 67</b>  | <i>Mapa de clases texturales del municipio de Mixco</i>                                           | 127 |
| <b>Figura 68</b>  | <i>Mapa de elevación del municipio de Mixco</i>                                                   | 129 |
| <b>Figura 69</b>  | <i>Hidrografía del municipio de Mixco</i>                                                         | 131 |
| <b>Figura 70</b>  | <i>Uso de suelos en Mixco</i>                                                                     | 133 |
| <b>Figura 71</b>  | <i>Mapa de ubicación del área de estudio</i>                                                      | 135 |
| <b>Figura 72</b>  | <i>Polígonos de estudio</i>                                                                       | 137 |
| <b>Figura 73</b>  | <i>Metodología para la extracción de muestras de suelo</i>                                        | 144 |
| <b>Figura 74</b>  | <i>Metodología de muestreo de suelo tipo cuadrícula</i>                                           | 145 |
| <b>Figura 75</b>  | <i>Esquema de campo del método de Porchet</i>                                                     | 146 |
| <b>Figura 76</b>  | <i>Velocidad de infiltración</i>                                                                  | 147 |
| <b>Figura 77</b>  | <i>Distribución de áreas permeables e impermeables</i>                                            | 158 |
| <b>Figura 78</b>  | <i>Distribución porcentual de la recarga hídrica potencial</i>                                    | 167 |
| <b>Figura 79</b>  | <i>Áreas Críticas dentro de zonas permeables</i>                                                  | 170 |
| <b>Figura 80</b>  | <i>Anomalías en lluvias registradas en estación INSIVUMEH período 2012-2023</i>                   | 172 |
| <b>Figura 81</b>  | <i>Anomalías en lluvias registradas en estación Lo de Coy período 2012-2023</i>                   | 173 |

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 82</b> Anomalías en lluvias registradas en estación Suiza Contenta<br>período 2012-2023 .....         | 174 |
| <b>Figura 83</b> Espacios aptos para la implementación de bosques energéticos .....                             | 175 |
| <b>Figura 84A</b> <i>Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas y su rango de<br/>cobertura</i> .....       | 181 |
| <b>Figura 85A</b> <i>Perfil de pozos de los municipios de Amatitlán, Mixco y Villa Nueva<br/>año 2018</i> ..... | 182 |
| <b>Figura 86A</b> <i>Descenso en puntos 1 a 5 microcuenca Río Molino</i> .....                                  | 183 |
| <b>Figura 87A</b> <i>Descenso en puntos 6 a 11 microcuenca Río Molino</i> .....                                 | 183 |
| <b>Figura 88A</b> <i>Descenso en puntos 12 a 16 microcuenca Río San Lucas</i> .....                             | 184 |
| <b>Figura 89A</b> <i>Descenso en puntos 17 a 20 microcuenca Río San Lucas</i> .....                             | 184 |
| <b>Figura 90A</b> <i>Mapa de periodos de formación geológica</i> .....                                          | 185 |
| <b>Figura 91A</b> <i>Mapa de coeficientes de infiltración básica</i> .....                                      | 186 |
| <b>Figura 92A</b> <i>Mapa clasificación de pendiente</i> .....                                                  | 187 |
| <b>Figura 93A</b> <i>Mapa de coeficientes de recarga hídrica anual</i> .....                                    | 188 |
| <b>Figura 94A</b> <i>Mapa de áreas permeables</i> .....                                                         | 189 |
| <b>Figura 95A</b> <i>Mapa de sumatoria de coeficientes dentro de zonas permeables</i> ..                        | 190 |
| <b>Figura 96A</b> <i>Mapa de uso de suelos</i> .....                                                            | 191 |
| <b>Figura 97A</b> <i>Desarrollo de tomas de muestra de suelo</i> .....                                          | 192 |
| <b>Figura 98A</b> <i>Muestra de suelo colectada</i> .....                                                       | 192 |
| <b>Figura 99A</b> <i>Entrega de muestras de suelo a laboratorio de UVIGER</i> .....                             | 193 |
| <b>Figura 100A</b> <i>Desarrollo de pruebas de infiltración básica</i> .....                                    | 193 |
| <b>Figura 101A</b> <i>Formato de entrega de resultados de pruebas físicas de suelo</i> ...                      | 194 |

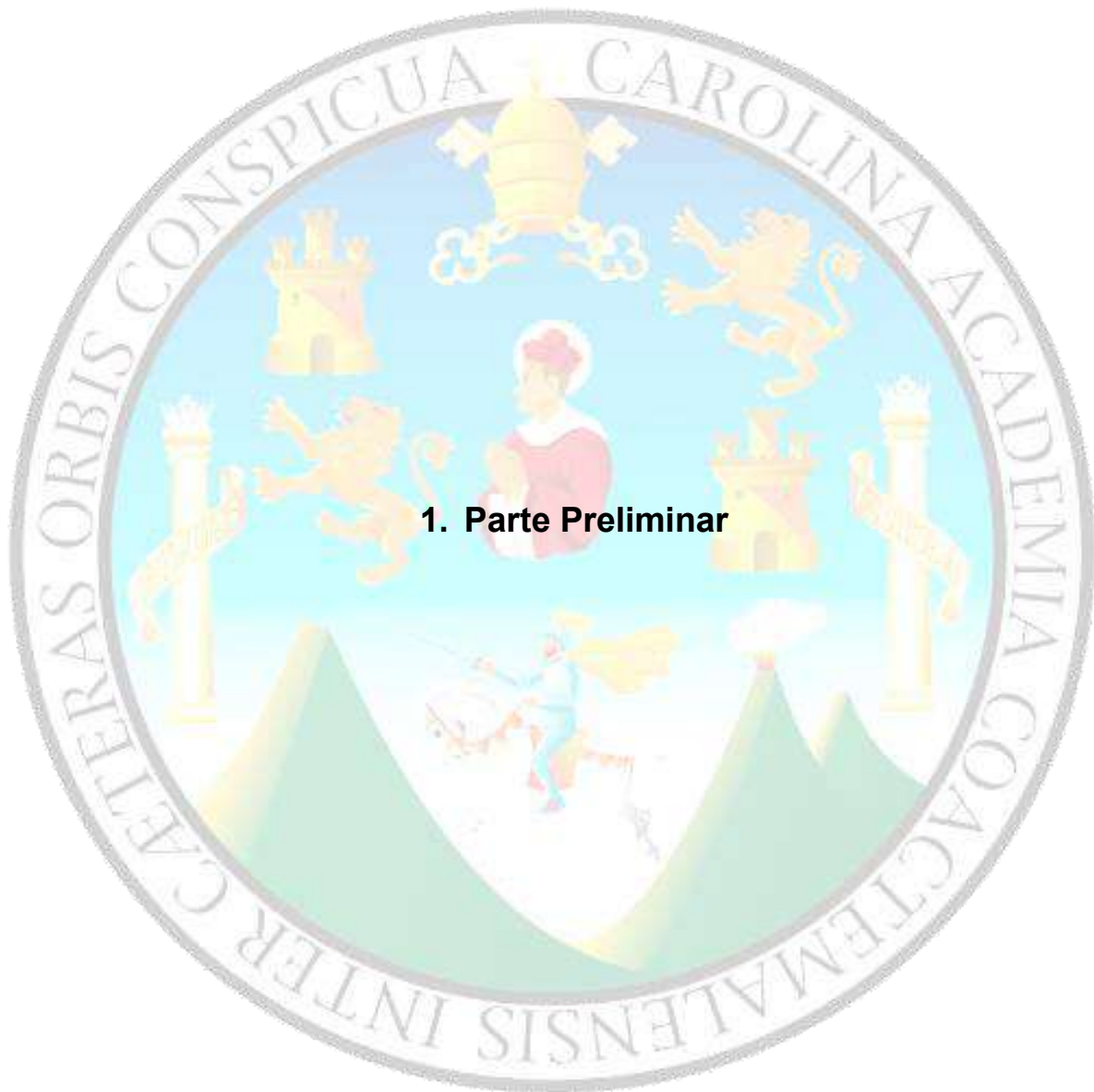
## INDICE DE TABLAS

|                 |                                                                                           |     |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1</b>  | <i>Actores clave</i> .....                                                                | 12  |
| <b>Tabla 2</b>  | <i>Entrevista Semiestructurada en la dirección de ambiente y recursos naturales</i> ..... | 13  |
| <b>Tabla 3</b>  | <i>Entrevista Semiestructurada en la dirección de aguas y drenajes</i> .....              | 13  |
| <b>Tabla 4</b>  | <i>Entrevista Semiestructurada en la dirección de planificación</i> .....                 | 14  |
| <b>Tabla 5</b>  | <i>Entrevista estructurada en la dirección de ambiente y recursos naturales</i> .....     | 15  |
| <b>Tabla 6</b>  | <i>Entrevista estructurada en la dirección de aguas y drenajes</i> .....                  | 15  |
| <b>Tabla 7</b>  | <i>Entrevista estructurada en la dirección de planificación técnica</i> .....             | 16  |
| <b>Tabla 8</b>  | <i>Análisis FODA de la dirección de ambiente y recursos naturales</i> .....               | 17  |
| <b>Tabla 9</b>  | <i>Análisis FODA de la dirección de aguas y drenajes</i> .....                            | 17  |
| <b>Tabla 10</b> | <i>Análisis FODA de la dirección de planificación técnica</i> .....                       | 18  |
| <b>Tabla 11</b> | <i>Valor de la relación de las problemáticas</i> .....                                    | 22  |
| <b>Tabla 12</b> | <i>Matriz de Vester 1</i> .....                                                           | 22  |
| <b>Tabla 13</b> | <i>Matriz de Vester 2</i> .....                                                           | 24  |
| <b>Tabla 14</b> | <i>Matriz de Vester 3</i> .....                                                           | 25  |
| <b>Tabla 15</b> | <i>Zonas reforestadas en 2017</i> .....                                                   | 36  |
| <b>Tabla 16</b> | <i>Zonas reforestadas en 2018</i> .....                                                   | 37  |
| <b>Tabla 17</b> | <i>Zonas reforestadas en 2019</i> .....                                                   | 38  |
| <b>Tabla 18</b> | <i>Zonas reforestadas en 2020</i> .....                                                   | 38  |
| <b>Tabla 19</b> | <i>Zonas reforestadas en 2021</i> .....                                                   | 38  |
| <b>Tabla 20</b> | <i>Zonas reforestadas en 2022</i> .....                                                   | 39  |
| <b>Tabla 21</b> | <i>Zonas reforestadas en 2023</i> .....                                                   | 40  |
| <b>Tabla 22</b> | <i>Zonas reforestadas en 2024</i> .....                                                   | 41  |
| <b>Tabla 23</b> | <i>Total de árboles reforestados</i> .....                                                | 55  |
| <b>Tabla 24</b> | <i>Hectáreas reforestadas por año</i> .....                                               | 56  |
| <b>Tabla 25</b> | <i>Comparación de cobertura vegetal</i> .....                                             | 59  |
| <b>Tabla 26</b> | <i>Componentes básicos de un mapa</i> .....                                               | 60  |
| <b>Tabla 27</b> | <i>Área de los ríos de zona 10 de Mixco</i> .....                                         | 65  |
| <b>Tabla 28</b> | <i>Análisis de puntos de desfogue</i> .....                                               | 65  |
| <b>Tabla 29</b> | <i>Puntos de desagüe</i> .....                                                            | 66  |
| <b>Tabla 30</b> | <i>Uso de aguas según su contenido de NMP/100ml</i> .....                                 | 67  |
| <b>Tabla 31</b> | <i>Niveles de contaminación del agua según su DBO</i> .....                               | 68  |
| <b>Tabla 32</b> | <i>Calidad de aguas según su contenido de fosfatos</i> .....                              | 70  |
| <b>Tabla 33</b> | <i>Información general de incendios ocurridos en el periodo 2004 a 2009</i> .....         | 79  |
| <b>Tabla 34</b> | <i>Información general de incendios ocurridos en el periodo 2010 a 2019</i> .....         | 79  |
| <b>Tabla 35</b> | <i>Información general de incendios ocurridos en el periodo 2020 a 2024</i> .....         | 80  |
| <b>Tabla 36</b> | <i>Causas de incendios forestales</i> .....                                               | 89  |
| <b>Tabla 37</b> | <i>Descripción del balance hídrico</i> .....                                              | 110 |
| <b>Tabla 38</b> | <i>Leyes sobre aguas en la Republica de Guatemala</i> .....                               | 115 |
| <b>Tabla 39</b> | <i>Características del valle tectónico de Guatemala</i> .....                             | 126 |
| <b>Tabla 40</b> | <i>Información de los polígonos de estudio</i> .....                                      | 136 |

|                  |                                                                                                           |     |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 41</b>  | Información general de estaciones meteorológicas consultadas .....                                        | 138 |
| <b>Tabla 42</b>  | Distribución de información meteorológica por punto.....                                                  | 138 |
| <b>Tabla 43</b>  | Precipitación pluvial Estación INSIVUMEH .....                                                            | 139 |
| <b>Tabla 44</b>  | Precipitación pluvial (incompleta), Estación: Lo de Coy .....                                             | 139 |
| <b>Tabla 45</b>  | Precipitación pluvial (incompleta), Estación: Suiza Contenta .....                                        | 140 |
| <b>Tabla 46</b>  | Valores medios anuales de radiación solar extraterrestre ( $W/m^2$ ) .....                                | 142 |
| <b>Tabla 47</b>  | Duraciones diarias de horas de brillo solar para distintos meses y latitudes .....                        | 142 |
| <b>Tabla 48</b>  | Estimación del porcentaje de lluvia infiltrada.....                                                       | 148 |
| <b>Tabla 49</b>  | Profundidad radicular en distintos cultivos y suelos .....                                                | 149 |
| <b>Tabla 50</b>  | Profundidad radicular según la vegetación .....                                                           | 149 |
| <b>Tabla 51</b>  | Datos necesarios para desarrollar balance hídrico de suelos .....                                         | 150 |
| <b>Tabla 52</b>  | Formulas a desarrollar en balance hídrico de suelos .....                                                 | 151 |
| <b>Tabla 53</b>  | Matriz de criterios de Vulnerabilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica ..... | 152 |
| <b>Tabla 54</b>  | Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas de recarga natural .....                   | 153 |
| <b>Tabla 55</b>  | Matriz de criterios de infiltración para la determinación de áreas de recarga natural .....               | 154 |
| <b>Tabla 56</b>  | Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas de recarga natural .....                  | 155 |
| <b>Tabla 57</b>  | Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas de recarga natural .....              | 156 |
| <b>Tabla 58</b>  | Zonas Permeables .....                                                                                    | 158 |
| <b>Tabla 59</b>  | Precipitaciones anuales en el periodo 2012-2023.....                                                      | 161 |
| <b>Tabla 60</b>  | Clasificación de anomalías estandarizadas .....                                                           | 162 |
| <b>Tabla 61</b>  | Balance hídrico punto 1.....                                                                              | 164 |
| <b>Tabla 62</b>  | Resumen de balances hídricos .....                                                                        | 165 |
| <b>Tabla 63</b>  | Volumen de recarga hídrica expresada en $m^3$ .....                                                       | 166 |
| <b>Tabla 64</b>  | Distribución del área de zonas de recarga hídrica en áreas permeables.....                                | 169 |
| <b>Tabla 65B</b> | <i>Estimación de datos faltantes</i> .....                                                                | 195 |
| <b>Tabla 66B</b> | <i>Información meteorológica: Estación INSIVUMEH</i> .....                                                | 195 |
| <b>Tabla 67B</b> | <i>Información meteorológica: Estación Lo de Coy</i> .....                                                | 196 |
| <b>Tabla 68B</b> | <i>Información meteorológica: Estación Suiza Contenta</i> .....                                           | 196 |
| <b>Tabla 69B</b> | <i>ETP Estación INSIVUMEH</i> .....                                                                       | 197 |
| <b>Tabla 70B</b> | <i>ETP Estación Lo de Coy</i> .....                                                                       | 197 |
| <b>Tabla 71B</b> | <i>ETP estación Suiza Contenta</i> .....                                                                  | 198 |
| <b>Tabla 72B</b> | <i>Información meteorológica a utilizada en estación INSIVUMEH</i> .....                                  | 198 |
| <b>Tabla 73B</b> | <i>Información meteorológica a utilizada en estación Lo de Coy</i> .....                                  | 199 |
| <b>Tabla 74B</b> | <i>Información meteorológica a utilizada en estación Suiza Contenta</i> ..                                | 199 |
| <b>Tabla 75B</b> | <i>Resultados de pruebas físicas de suelo en polígonos de microcuenca Río Molino</i> .....                | 200 |
| <b>Tabla 76B</b> | <i>Resultados de pruebas físicas de suelo en polígonos de microcuenca Río San Lucas</i> .....             | 200 |
| <b>Tabla 77B</b> | <i>Descenso (cm) en microcuenca Río Molino</i> .....                                                      | 201 |
| <b>Tabla 78B</b> | <i>Descenso (cm) en microcuenca Río San Lucas</i> .....                                                   | 202 |

|                  |                                                                                                   |     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 79B</b> | <i>Cálculos para la determinación de infiltración (Punto 1)</i> .....                             | 203 |
| <b>Tabla 80B</b> | <i>Especies empleadas en programas de reforestación por la<br/>municipalidad de Mixco</i> .....   | 204 |
| <b>Tabla 81B</b> | <i>Anomalía estandarizada de lluvias para estación INSIVUMEH<br/>periodo 2012-2023</i> .....      | 205 |
| <b>Tabla 82B</b> | <i>Anomalía estandarizada de lluvias para estación Lo de Coy periodo<br/>2012-2023</i> .....      | 205 |
| <b>Tabla 83B</b> | <i>Anomalía estandarizada de lluvias para estación Suiza Contenta<br/>periodo 2012-2023</i> ..... | 206 |





## 1. Parte Preliminar



## **1.1. Introducción**

El ejercicio profesional supervisado de la facultad de agronomía (EPSA) es una etapa integral de formación profesional del estudiante que se basa en un conjunto de actividades académicas en el campo de la investigación, extensión y docencia, desempeñando actividades del ámbito agrícola en distintas disciplinas con el apoyo y asesoramiento de catedráticos de la facultad de agronomía, desarrollado bajo la administración del área integrada, donde se han de gestionar los recursos y apoyo necesario para el adecuado desarrollo del ejercicio profesional supervisado.

Al ser un programa de carácter obligatorio con una duración a convenir (8 meses), se han de desarrollar una serie de actividades, entre ellas un diagnóstico para determinar las principales problemáticas de la institución dentro de una relación con temas agrícolas, ambientales o agroindustriales, con el fin de determinar las actividades a desarrollar, en conjunto con una investigación cuyo fin principal es el de contribuir al desarrollo científico y tecnológico del país con un énfasis a las ciencias agrícolas, vinculando de forma crítica los temas enseñados durante la carrera, para ser aplicados en un contexto social y práctico.

Dicha investigación representa el trabajo de graduación del estudiante y el resultado del proceso de formación de profesionales agrícolas por medio de un trabajo sistémico-supervisado donde los conocimientos adquiridos durante la carrera han de ser integrados y aplicados, favoreciendo el proceso de enseñanza y aprendizaje en pro del manejo de los recursos naturales del país

## **1.2. Objetivos generales**

- Contribuir al desarrollo científico del país, en el campo de las ciencias agrícolas.
- Participar en la solución de problemáticas planteadas en la realidad agraria nacional y el manejo sostenible de los recursos naturales renovables en el marco de un desarrollo con equidad.
- Vincular al estudiante de forma crítica y propositiva a los sectores y procesos de producción agrícola, manejo de recursos naturales renovables e industria agropecuaria a un nivel nacional, regional y local.
- Fortalecer la formación de profesional de los futuros egresados mediante un trabajo sistemático-supervisado que integre y aplique los conocimientos adquiridos durante la carrera.
- Retroalimentar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la facultad de agronomía, mediante la vinculación con la realidad agrícola, manejo de recursos naturales del país e industria relacionada al sector agropecuario y forestal.

## **1.3. Metodología General**

En términos generales el ejercicio profesional supervisado de agronomía (EPSA), se compone de 3 fases, estas son:

### **1. Fase de diagnóstico y planificación:**

Con una duración de dos meses, comprende la sub fase del propedéutico, diagnóstico y planificación, que comprende una elaboración en base a participación comunitaria, institucional y/o empresarial sobre el plan de trabajo a ejecutar durante el EPSA.

En cuanto a la fase de diagnóstico, se basa en la obtención de información primaria y secundaria con el fin de identificar y priorizar las problemáticas en las cuales se basará la elaboración de planes y proyectos de servicios.

En cuanto a la planificación de los proyectos de servicios e investigación, se basa en las problemáticas identificadas durante la fase de diagnóstico, que comprenden actividades a desarrollar durante el EPSA alcanzando metas y cumpliendo los objetivos establecidos mediante una metodología apropiada, mientras que la investigación es un proyecto preparado bajo la asesoría específica de docentes que a su vez debe ser aprobada por el instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA).

2. Fase de ejecución:

Con una duración de cinco meses, en los cuales se ha de desarrollar directamente las actividades de campo que se basan en la generación de datos, que han de ser evaluados por catedráticos de la facultad de agronomía mediante las actividades Reunión comunal I y Reunión académica I, donde se ha de evaluar el desarrollo y realizar las correcciones correspondientes.

3. Informe final:

Con una duración de un mes consiste en la sistematización del trabajo realizado en la fase de campo, con el objetivo de evaluar los resultados alcanzados.





**2. Diagnóstico de las bases de datos de información georreferencial de las direcciones de: Ambiente y Recursos Naturales; Planificación Técnica; Aguas y Drenajes de la municipalidad de Mixco**



## 2.1. Introducción

Una mancomunidad es una asociación de municipios que se rigen bajo un mismo marco jurídico para el cumplimiento de sus objetivos con la misión de coadyuvar con la búsqueda de soluciones a las necesidades colectivas de la ciudadanía local para fortalecer a los gobiernos municipales de forma solidaria, fomentando la adaptación de tecnologías que promuevan el desarrollo económico local incidiendo de forma positiva en la población, a fecha de marzo de 2024 los municipios que forman parte de Mancomunidad Gran Ciudad del Sur son: Amatitlán, Guatemala, Mixco, San Miguel Petapa, Villa Canales y Villa Nueva, donde el área designada para el desarrollo del ejercicio profesional supervisado fue la municipalidad de Mixco.

Como parte de la organización de la municipalidad de Mixco, para gestionar las distintas actividades orientadas al manejo de recursos bióticos y abióticos que forman parte del municipio de Mixco, en pro del bienestar de la población del municipio y proporcionar una herramienta que sirva para la toma de decisiones, se trabajó en conjunto con distintas direcciones para el desarrollo del presente diagnóstico referente al manejo de sus bases de datos de información georreferencial.

Entre las direcciones diagnosticadas se encuentran: Dirección de ambiente y recursos naturales, encargada del manejo del vivero municipal, programas de reforestación y limpieza de cuerpos de agua superficiales; Dirección de aguas y drenajes: encargada de la red de drenaje sanitario y pluvial del municipio de Mixco y la Dirección de planificación técnica integrada por un equipo multidisciplinario encargado de la planeación y ejecución de proyectos de índole social en pro de la población.

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo General:**

- Evaluar la situación actual del estado de las bases de datos de información georreferencial para las direcciones de Ambiente y recursos naturales; planificación técnica; aguas y drenajes de la municipalidad de Mixco

### **2.2.2. Objetivos Específicos:**

1. Evaluar el estado actual de las bases de datos de información geográfica de las direcciones de planificación, ambiente y recursos naturales y agua y drenaje.
2. Identificar las problemáticas basadas en el estado de las bases de datos de información geográfica de las direcciones de planificación, ambiente y recursos naturales y agua y drenaje y determinar la magnitud de estas problemáticas.

## **2.3. Metodología**

La metodología se desarrolló de la siguiente manera

### **2.3.1. Fase de Gabinete Inicial:**

Esta fase se describe como: “La recopilación de información secundaria por medio de la técnica de la investigación documental, mediante revisiones bibliográficas, estadísticas, material cartográfico y estudios de caso elaborados en el área de estudio” (Chacón, 2007), de esta manera se desarrollaron las siguientes actividades en la oficina de Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, sede en Villa Nueva:

- Presentación ante el personal de Mancomunidad Gran Ciudad del Sur.
- Charla e inducción sobre la importancia de los sistemas de información geográficos (SIG).
- Recepción de material georreferencial (límites municipales, departamentales y ortofotos).
- Recepción de material documental guía para el desarrollo del protocolo de investigación.
- Asignación y presentación en el área de trabajo: Dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco

### **Figura 1**

*Reunión de presentación en la dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco*



### **2.3.2. Fase de Campo:**

Esta fase se define como: “La obtención de información de forma directa mediante herramientas de desarrollo participativo, tales como sondeos, entrevistas semiestructuradas y entrevistas con informantes clave” (Chacón, 2007), una vez asignada el área de trabajo, se consultó el organigrama institucional (Ver Figura) para facilitar la solicitud de información y de entrevistas para identificar problemáticas, una vez establecido el contacto, se solicitó una serie de entrevistas a miembros de tres direcciones específicas:

**Tabla 1**  
*Actores clave*

| No. | Actores Clave                           | Dirección                     | Función de la dirección                                                                           |
|-----|-----------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Ing. Agr. Florentín Castillo            | Ambiente y recursos naturales | Proyectos de reforestación, limpieza de cuerpos de agua superficiales y manejo en tala de arboles |
| 2   | Lic. Pablo Quiñonez                     | Planificación técnica         | Gestión de planeación y desarrollo de proyectos de índole social                                  |
| 3   | Ing. Jimmy González<br>Ing. José Roquel | Aguas y drenajes              | Gestión de manejo de desechos líquidos, sólidos y de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial  |

para la obtención de información directa se empleó en su mayoría entrevistas semi estructuradas y entrevistas con actores clave, de la siguiente manera:

#### A. Entrevista Semiestructurada

La entrevista semiestructurada se define como: “Una técnica de recogida de información en procesos de investigación, elaborando un guion de preguntas, no obstante, estas se elaboran de forma más abierta que permite recoger la información más rica y con más matices” (Folgueiras, 2016), es decir que el objetivo principal de las entrevistas semiestructuradas fue un acercamiento a las direcciones para delimitar el alcance de las mismas en sus labores y los proyectos en desarrollo.

**Tabla 2***Entrevista Semiestructurada en la dirección de ambiente y recursos naturales*

| <b>Funciones de la Dirección de ambiente y recursos naturales de la municipalidad de Mixco</b>       |                                                                        |                                                                                                                      |                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Entrevistador                                                                                        | Carlos Sandoval                                                        | Entrevistado:                                                                                                        | Ing. Agr. Florentín Castillo |
| Temas abordados:                                                                                     | Consulta                                                               | Respuesta                                                                                                            |                              |
| ACTIVIDADES DE LA DIRECCIÓN DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA MUNICIPALIDAD DE MIXCO | Proyectos que desarrolla la dirección de Ambiente y Recursos Naturales | Programas de reforestación, limpieza de cuerpos de agua superficiales y monitoreo de árboles con potencial de riesgo |                              |
|                                                                                                      | Especies forestales empleadas                                          | Listado de especies forestales nativas disponibles en el vivero municipal de Mixco                                   |                              |
|                                                                                                      | Bases de datos de información geográfica disponibles                   | Delimitaciones y tablas de datos en software del paquete de office                                                   |                              |
|                                                                                                      | Material georreferencial disponible                                    | Mapas temáticos en medios físicos                                                                                    |                              |

**Tabla 3***Entrevista Semiestructurada en la dirección de aguas y drenajes*

| <b>Aguas y Drenajes de la municipalidad de Mixco</b>      |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                  |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Entrevistador                                             | Carlos Sandoval                                          | Entrevistados:                                                                                                                                                                                                                                                                     | Ing. José Roquel |
| Temas abordados:                                          | Consulta                                                 | Respuesta                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  |
| CALIDAD E INFORMACIÓN GEORREFERENCIAL DE AGUAS Y DRENAJES | Material disponible respecto a aguas y drenajes en Mixco | Estudios realizados en 2021 sobre la calidad de aguas en puntos específicos, vigentes hasta 2026                                                                                                                                                                                   |                  |
|                                                           | Disponibilidad del material                              | Medios físicos en la municipalidad de Mixco                                                                                                                                                                                                                                        |                  |
|                                                           | Material georreferencial disponible                      | Capas del software Qgis sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Red de ríos de Mixco</li> <li>• Intermitencia y permanencia de la red de ríos de Mixco</li> <li>• Puntos de desagüe en Mixco</li> <li>• Proporcionado por la dirección de planificación técnica</li> </ul> |                  |

**Tabla 4***Entrevista Semiestructurada en la dirección de planificación*

| <b>Funciones de la Dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco</b> |                                                        |                                                                                                                                                           |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Entrevistador                                                                          | Carlos Sandoval                                        | Entrevistado:                                                                                                                                             | Lic. Pablo Quiñones |
| Temas abordados:                                                                       | Consulta                                               |                                                                                                                                                           | Respuesta           |
| ACTIVIDADES DE LA DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE LA MUNICIPALIDAD DE MIXCO              | Proyectos que desarrolla la dirección de Planificación | Documentación que sirva como herramienta para la toma de decisiones en proyectos de índole social (distribución de víveres, terrenos baldíos, etc.)       |                     |
|                                                                                        | Fuentes de información                                 | Cuando la información no está en la dirección de planificación se recurre a medios externos, tales como: INSIVUMEH, CONRED, MAGA, INDE, etc.              |                     |
|                                                                                        | Bases de datos de información geográfica disponibles   | Disponibles en medios digitales                                                                                                                           |                     |
|                                                                                        | Material Georreferencial disponible                    | Bases de datos disponibles en programas de office y diversas capas de información geográfica (desagües, basureros, vías de acceso, zonas de riesgo, etc.) |                     |

**B. Entrevista estructurada**

La entrevista estructurada se define como: “Una técnica de recogida de información en procesos de investigación, con preguntas concretas y directas pensadas para ser contestadas brevemente” (Folgueiras, 2016), a diferencia de la entrevista semiestructurada, la entrevista estructurada está enfocada y delimitada a temas específicos, en esta ocasión se enfoca en la información georreferencial disponible en las direcciones diagnosticadas.

**Tabla 5***Entrevista estructurada en la dirección de ambiente y recursos naturales*

| <b>Información georreferencial de la dirección de ambiente y recursos naturales de la municipalidad de Mixco</b> |                                                              |                                                                                                                            |                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Entrevistador                                                                                                    | Carlos Sandoval                                              | Entrevistado:                                                                                                              | Ing. Agr. Florentín Castillo |
| Temas abordados:                                                                                                 | Consulta                                                     | Respuesta                                                                                                                  |                              |
| SITUACIÓN ACTUAL DE LAS BASES DE DATOS DE LA DIRECCIÓN DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES                          | Datos disponibles respecto a los proyectos de reforestación  | Entidades cooperantes<br>Fechas de reforestación<br>Especies disponibles<br>Coordenadas geográficas de la zona reforestada |                              |
|                                                                                                                  | Jerarquía en la que se agrupa la información georreferencial | No sigue una jerarquía, se agrupan los datos en función del proyecto de forma individual                                   |                              |
|                                                                                                                  | Información georreferencial disponible                       | Mapas temáticos en medios físicos y bases de datos en Excel                                                                |                              |

**Tabla 6***Entrevista estructurada en la dirección de aguas y drenajes*

| <b>Información Georreferencial de la dirección de Aguas y Drenajes de Mixco</b> |                                                                           |                                                                                                                |                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entrevistador                                                                   | Estudiante:<br>Carlos Sandoval                                            | Entrevistados:                                                                                                 | Ing. Jimmy Gonzales y alcalde auxiliar/encargado de la dirección de aguas y drenajes Alejandro Ajcu |
| Temas abordados:                                                                | Consulta                                                                  | Respuesta                                                                                                      |                                                                                                     |
| SITUACIÓN ACTUAL DE LAS BASES DE DATOS DE LA DIRECCIÓN DE AGUAS Y DRENAJES      | Área de trabajo                                                           | Zona 10 de Mixco                                                                                               |                                                                                                     |
|                                                                                 | Actividades a desarrollar                                                 | Desarrollo y construcción de:<br>Sistemas de drenaje pluvial<br>Sistemas de drenaje sanitario<br>Pavimentación |                                                                                                     |
|                                                                                 | Disponibilidad de material georreferencial                                | Disponible únicamente en medios físicos                                                                        |                                                                                                     |
|                                                                                 | Capacidad del personal para el uso de programas de información geográfica | El personal no ha recibido capacitación en manejo de programas de información geográfica                       |                                                                                                     |

**Tabla 7***Entrevista estructurada en la dirección de planificación técnica*

| <b>Información Georreferencial de la dirección de planificación técnica de Mixco</b>              |                                              |                                                                                                                                                      |                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Entrevistador                                                                                     | Estudiante:<br>Carlos Sandoval               | Entrevistados:                                                                                                                                       | Lic. Pablo Quiñonez |
| Temas<br>abordados:                                                                               | Consulta                                     | Respuesta                                                                                                                                            |                     |
| SITUACIÓN<br>ACTUAL DE LAS<br>BASES DE<br>DATOS DE LA<br>DIRECCIÓN DE<br>PLANIFICACIÓN<br>TÉCNICA | Actividades a<br>desarrollar                 | Complementación de información en<br>base a datos proporcionados por<br>entidades gubernamentales de índole<br>social                                |                     |
|                                                                                                   | Disponibilidad del<br>material               | Disponible en medios físicos y digitales                                                                                                             |                     |
|                                                                                                   | Frecuencia de<br>actualización de datos      | Se actualizan constantemente en<br>función del proyecto a desarrollar                                                                                |                     |
|                                                                                                   | Información<br>georreferencial<br>disponible | Bases de datos y capas del software<br>Qgis sobre diversos temas como: vías<br>de acceso, zonas de riesgo, lugares<br>poblados, delimitaciones, etc. |                     |

**2.3.3. Fase de Gabinete Final:**

Esta fase se define como: “El análisis y validación de la información obtenida en la fase de gabinete inicial y en la de campo” (Chacón, 2007),

**A. Análisis FODA:**

para complementar a esta fase utilizo la metodología FODA, dicha metodología consiste en la identificación de Fortalezas que generan oportunidades y en contraparte debilidades que generan amenazas, sirviendo para: “Evaluar los factores fuertes y débiles que en su conjunto diagnostican la situación interna de una organización” (GES, 2014).

**Tabla 8***Análisis FODA de la dirección de ambiente y recursos naturales*

| <b>FORTALEZAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>OPORTUNIDADES</b>                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión y desarrollo de actividades de reforestación</li> <li>• Limpieza de cuerpos de agua superficiales</li> <li>• Caracterización de árboles en potencial riesgo de caída</li> </ul>                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar las cualidades ambientales del municipio</li> <li>• Conservación de los recursos naturales del municipio</li> <li>• Herramienta en la toma de decisiones en pro de la seguridad de la población del municipio de Mixco</li> </ul> |
| <b>DEBILIDADES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>AMENAZAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material Georreferencial disponible en bases de datos de programas que no son de SIG</li> <li>• Material Georreferencial disponible sin agrupaciones específicas por años</li> <li>• Carencia de una metodología a desarrollar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material Georreferencial poco preciso</li> <li>• Material Georreferencial carente de información complementaria</li> <li>• Carencia de datos debido a la falta de normativos para el desarrollo de actividades</li> </ul>                 |

**Tabla 9***Análisis FODA de la dirección de aguas y drenajes*

| <b>FORTALEZAS</b>                                                                                                                                                                                                                              | <b>OPORTUNIDADES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión y desarrollo de sistemas de desagua sanitario y pluvial</li> <li>• Evaluación de la calidad de agua constante</li> </ul>                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar a la población del municipio de Mixco sistemas de desagüe funcionales</li> <li>• Verificar la calidad de aguas en base a normativos vigentes</li> </ul>                                                                                                           |
| <b>DEBILIDADES</b>                                                                                                                                                                                                                             | <b>AMENAZAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material Georreferencial disponible únicamente en medios físicos (papel)</li> <li>• Información Dispersa</li> <li>• Personal no capacitado en el uso de Sistemas de Información Geográfico</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material Georreferencial es vulnerable a daños físicos sin copias de seguridad</li> <li>• Existencia de información complementaria, fuera de las direcciones correspondientes</li> <li>• Complicaciones en la digitalización del material Georreferencial existente</li> </ul> |

**Tabla 10***Análisis FODA de la dirección de planificación técnica*

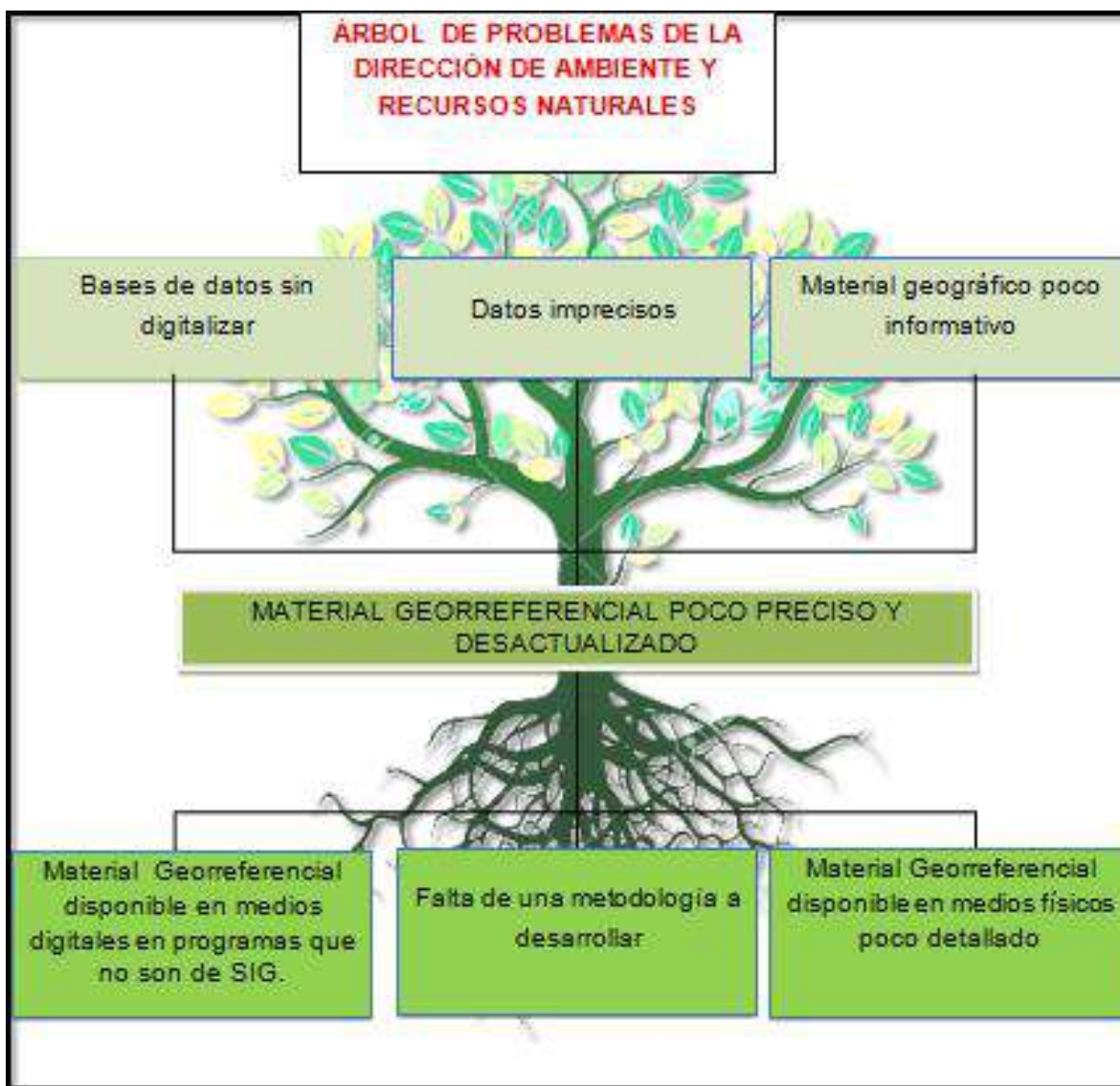
| FORTALEZAS                                                                                                                                                                                                                                                         | OPORTUNIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión y elaboración de material Georreferencial en base a problemáticas sociales del municipio de Mixco</li> <li>• Actualización constante de bases de datos Georreferencial</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Servir como herramienta de toma de decisión para el desarrollo de metodologías               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo eficiente de actividades</li> </ul> </li> </ul>                                                   |
| DEBILIDADES                                                                                                                                                                                                                                                        | AMENAZAS                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia a entidades externas como fuente de información</li> <li>• Generación de información lenta               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de requerimientos emergentes</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptibilidad a la disponibilidad de dicha información en entidades o medios externos</li> <li>• Susceptibilidad a tiempos de espera que retrasen las actividades calendarizadas</li> <li>• Retraso en las actividades calendarizadas</li> </ul> |

#### B. Árbol de problemas:

En base a las amenazas detectadas por medio de la metodología FODA se elaboró la metodología del árbol de problemas, descrita como: “Una técnica que se emplea para identificar una situación problemática, que se intenta solucionar mediante la intervención de un proyecto mediante la relación causa y efecto” (ESPOL, 2017), donde se desarrollaron los siguientes arboles del problema:

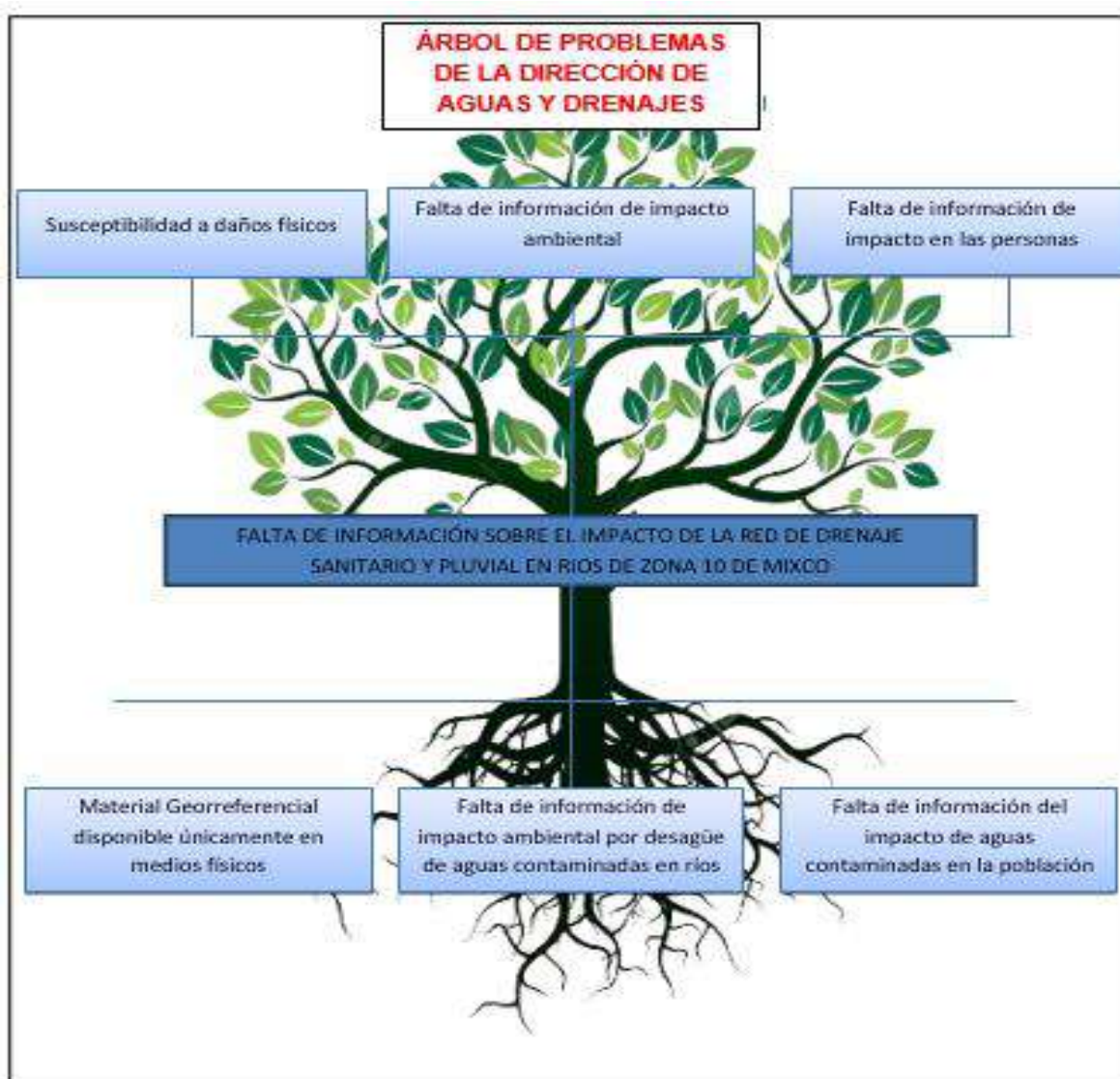
**Figura 2**

*Árbol de problemas de la dirección de ambiente y recursos naturales*



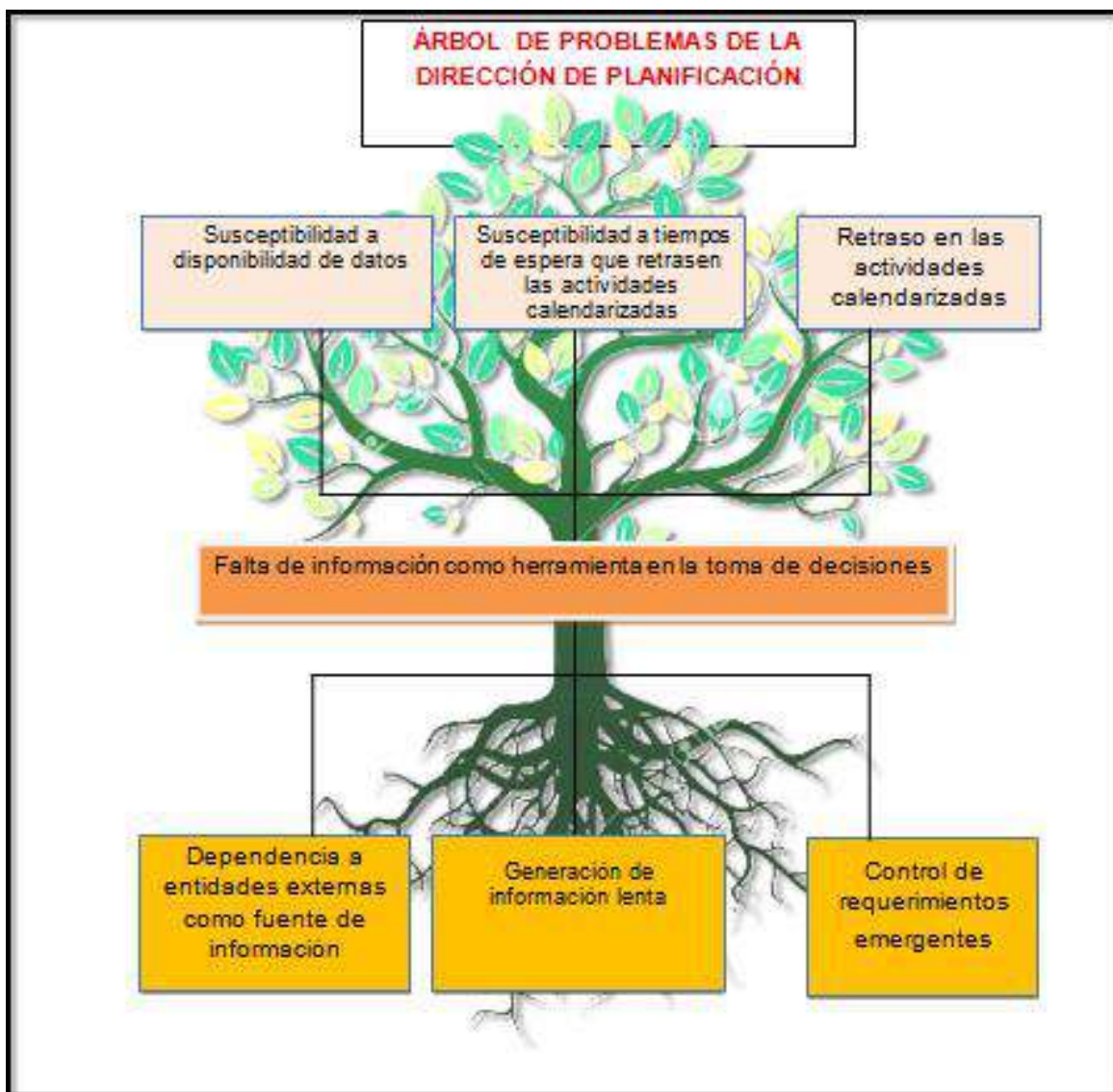
**Figura 3**

*Árbol de problemas de la dirección de aguas y drenajes.*



**Figura 4**

*Árbol de problemas de la dirección de planificación técnica.*



## 2.4. Resultados

Matriz de Vester:

la matriz de Vester, dicha matriz consiste en la elaboración de gráficas, posicionando los puntos en base al valor de la sumatoria de influencia y dependencia existente. (Hurtatis, 2016)

**Tabla 11**

*Valor de la relación de las problemáticas*

| Valor | Influencia       |
|-------|------------------|
| 0     | No es Causal     |
| 1     | Causa Débil      |
| 2     | Causa Media      |
| 3     | Causa fuerte     |
| 4     | Causa muy fuerte |

- I. Evaluación de problemáticas de la dirección de ambiente y recursos naturales

**Tabla 12**

*Matriz de Vester 1*

| Código      | Variable                                           | P1 | P2 | P3 | Influencia |
|-------------|----------------------------------------------------|----|----|----|------------|
| P1          | Falta de material Georreferencial en programas SIG | 0  | 4  | 3  | 7          |
| P2          | Falta de una metodología a desarrollar             | 4  | 0  | 4  | 8          |
| P3          | Material Georreferencial Desactualizado            | 2  | 1  | 0  | 4          |
| Dependencia |                                                    | 6  | 5  | 6  |            |

- Limite X:

$$X = (\text{Valor de influencia inferior} + \text{Valor de influencia superior})/2$$

$$X = (4 + 8)/2$$

$$X = (12)/2$$

$$X = 6$$

- Limite Y:

$$Y = (\text{Valor de dependencia inferior} + \text{Valor de dependencia superior})/2$$

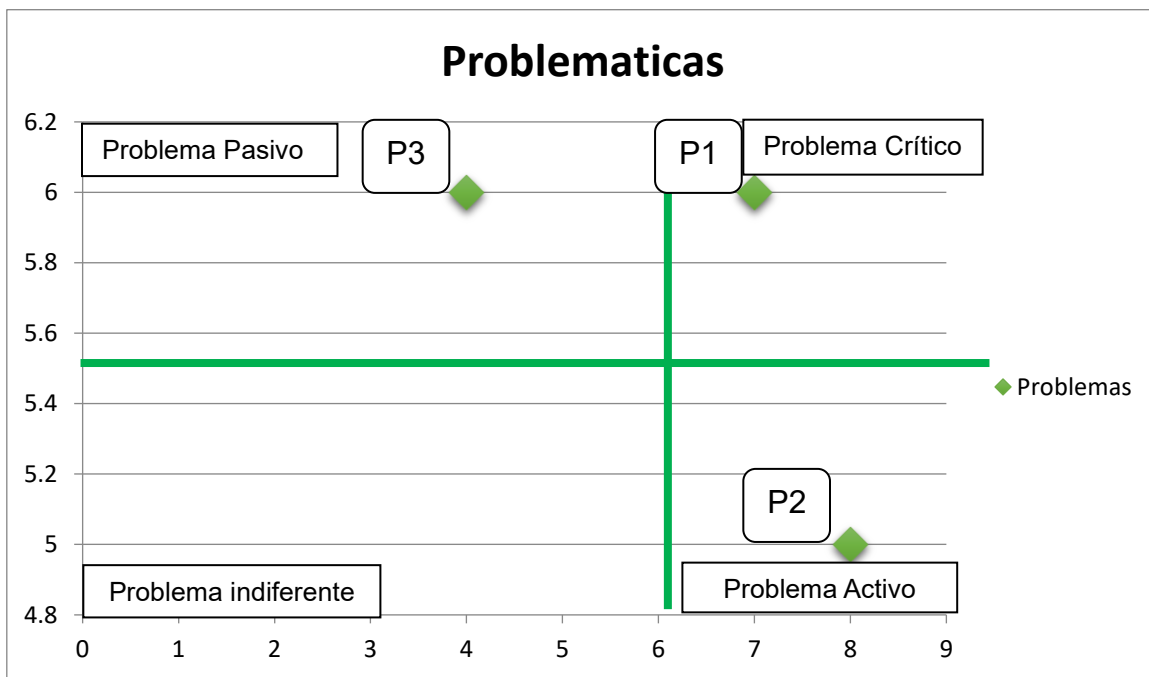
$$Y = (5 + 6)/2$$

$$Y = (11)/2$$

$$Y = 5.5$$

**Figura 5**

*Grafica de clasificación de problemáticas 1*



## II. Evaluación de problemáticas de la dirección de aguas y drenajes

**Tabla 13***Matriz de Vester 2*

| Código      | Variable                                   | P1 | P2 | P3 | Influencia |
|-------------|--------------------------------------------|----|----|----|------------|
| P1          | Material disponible solo en medios físicos | 0  | 1  | 1  | 2          |
| P2          | Falta de material de impacto ambiental     | 2  | 0  | 1  | 3          |
| P3          | Falta de material de impacto en la salud   | 2  | 1  | 0  | 3          |
| Dependencia |                                            | 4  | 2  | 2  |            |

- Limite X:

$$X = (\text{Valor de influencia inferior} + \text{Valor de influencia superior})/2$$

$$X = (2 + 3)/2$$

$$X = (5)/2$$

$$X = 2.5$$

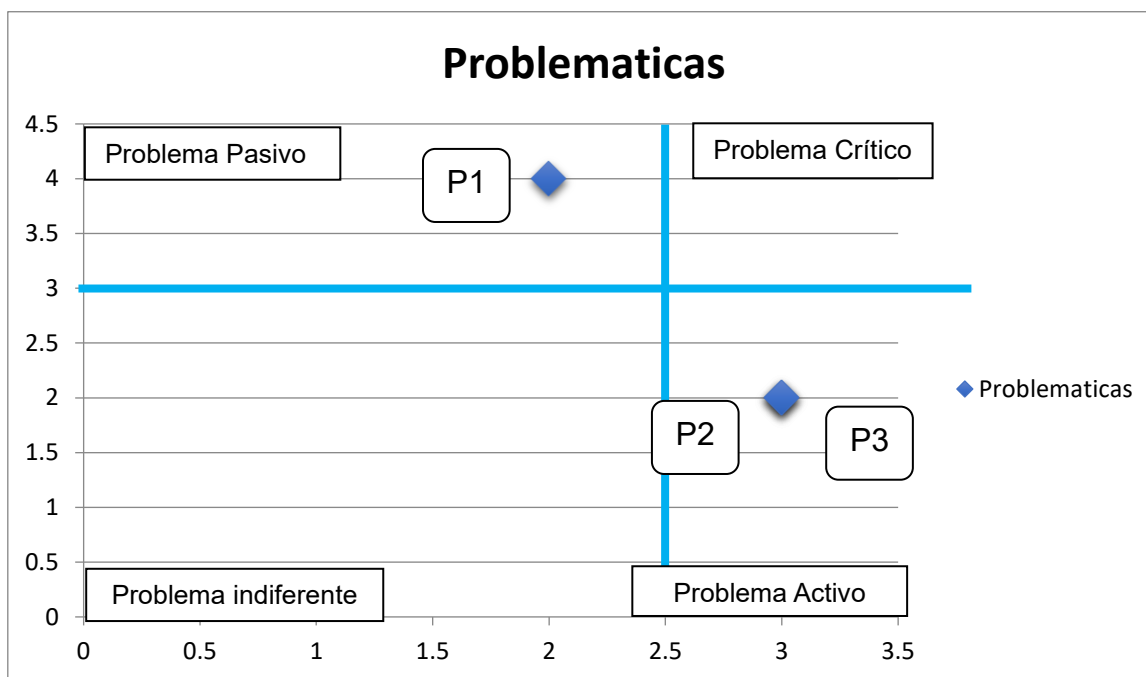
- Limite Y:

$$Y = (\text{Valor de dependencia inferior} + \text{Valor de dependencia superior})/2$$

$$Y = (4 + 2)/2$$

$$Y = (6)/2$$

$$Y = 3$$

**Figura 6***Grafica de clasificación de problemáticas 2*

### III. Evaluación de problemáticas de la dirección de planificación técnica

**Tabla 14***Matriz de Vester 3*

| Código      | Variable                                                    | P1 | P2 | P3 | Influencia |
|-------------|-------------------------------------------------------------|----|----|----|------------|
| P1          | Dependencia a entidades externas como fuente de información | 0  | 2  | 2  | 4          |
| P2          | Generación de información lenta                             | 3  | 0  | 2  | 5          |
| P3          | Control de requerimientos emergentes                        | 4  | 4  | 0  | 8          |
| Dependencia |                                                             | 7  | 6  | 4  |            |

- Limite X:

$$X = (\text{Valor de influencia inferior} + \text{Valor de influencia superior})/2$$

$$X = (4 + 8)/2$$

$$X = (12)/2$$

$$X = 6$$

- Limite Y:

$$Y = (\text{Valor de dependencia inferior} + \text{Valor de dependencia superior})/2$$

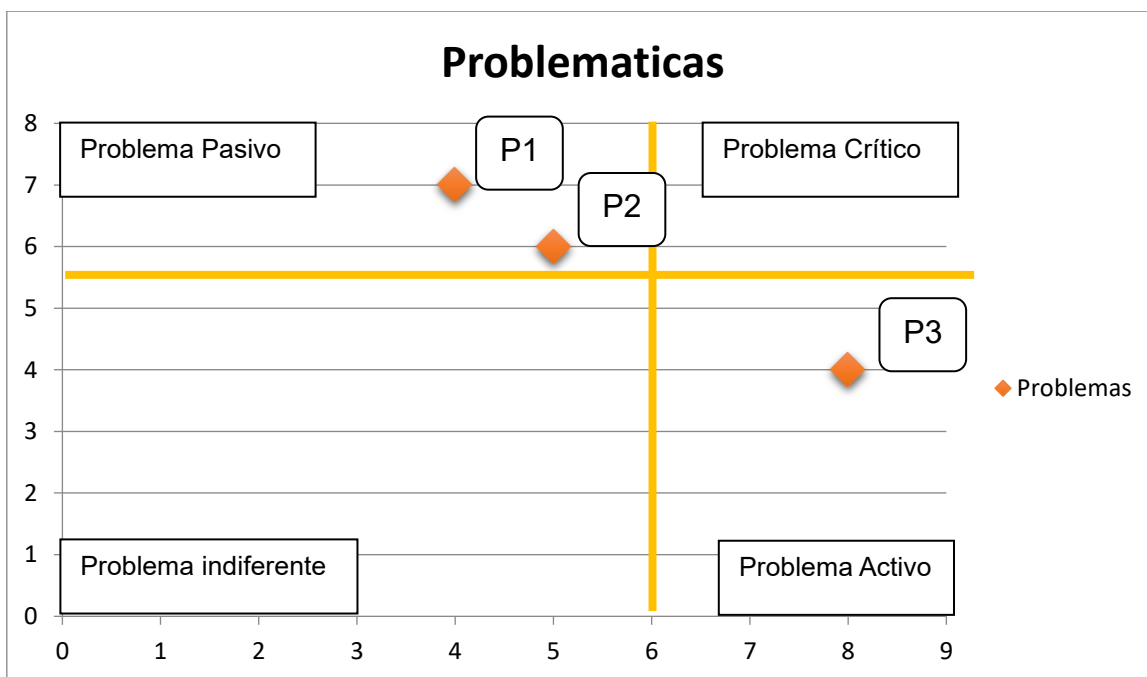
$$Y = (4 + 7)/2$$

$$Y = (11)/2$$

$$Y = 5.5$$

**Figura 7**

*Grafica de clasificación de problemáticas 3*



## 2.5. Conclusiones

- Estado actual de las bases de datos de información Georreferencial
  - Dirección de ambiente y recursos naturales:
 

Desactualizada, información disponible en medios digitales, sin embargo, esta desactualizada y no se encuentra en programas de información geográfica, además los mapas disponibles en medios físicos son poco detallados
  - Dirección de aguas y drenajes:
 

Desactualizada, disponible únicamente en medios físicos, se carece de registros digitales
  - Dirección de planificación:
 

Excelente, información disponible en medios digitales, en programas de información geográfica, actualizados de forma constante
- Problemáticas identificadas y su magnitud
  - Dirección de ambiente y recursos naturales
    1. Falta de material Georreferencial en programas SIG, la magnitud del problema es crítica
    2. Falta de una metodología a desarrollar, la magnitud del problema es activa
    3. Material Georreferencial Desactualizado, la magnitud del problema es pasiva
- Dirección de aguas y drenajes
  1. Material Georreferencial disponible en medios Físicos, la magnitud del problema es pasiva
  2. Falta de información de impacto ambiental, la magnitud del problema es activa
  3. Falta de información de impacto en la salud, la magnitud del problema es activa

- Dirección de planificación
  1. Dependencia a entidades externas como fuente de información, la magnitud del problema es pasiva
  2. Generación de información lenta, la magnitud del problema es pasiva
  3. Control de requerimientos emergentes, la magnitud del problema es activa

## **2.6. Recomendaciones**

- Se recomienda contar con copias digitales de información georreferencial debido a las complicaciones fruto de los medios tradicionales (susceptibilidad al desgaste por tiempo y humedad), complicaciones al consultar y riesgo a estar desactualizados
- Actualizar de forma constante o descartar la información que esta desactualizada, dada la naturaleza política bajo la que se rige la municipalidad de Mixco, el cambio de personal a causa de las elecciones periódicas cada 4 años en ocasiones propicia que los proyectos no se concluyan o queden paralizados de manera indefinida provocando que haya que actualizar la información
- Contar con personal que pueda hacer uso de los sistemas de información geográfica, puede lograrse por medio de capacitaciones periódicas pero constantes, donde se aborden los principios del programa Quantum gis, generación, modificación y creación de capas, entre otros

## 2.7. Bibliografía

- Chacón, J. (Marzo de 2007). *Producción comunal sostenible de pinabete (abies guatemalensis rehder) para el mejoramiento del bienestar rural realizado en la oficina forestal municipal de totonicapán*. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2302.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2302.pdf)
- ESPOL. (2017). *Nota tecnica no.6: ¿Cómo se construye un arbol de problemas?* Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cise.espol.edu.ec/sites/cise.espol.edu.ec/files/pagina-basica/Nota%20te%CC%81cnica%20n.%C2%BA%206%20-%20%C2%BFCo%CC%81mo%20se%20construye%20un%20a%CC%81rbol%20de%20problemas%3F.pdf](https://www.cise.espol.edu.ec/sites/cise.espol.edu.ec/files/pagina-basica/Nota%20te%CC%81cnica%20n.%C2%BA%206%20-%20%C2%BFCo%CC%81mo%20se%20construye%20un%20a%CC%81rbol%20de%20problemas%3F.pdf)
- Folgueiras, P. (2016). *La entrevista*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/99003/1/entrevista%20pf.pdf](https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/99003/1/entrevista%20pf.pdf)
- GES. (2014). *Análisis FODA: Definición, características y ejemplos*. Obtenido de <https://obgin.net/cursos/wp-content/uploads/2019/10/AnalisisFoda.pdf>
- Hurtatis, H. (2016). *Matriz de Vester: Metodología*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://polpublicas.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/08/matriz-vester-y-recomendaciones-pdf.pdf](https://polpublicas.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/08/matriz-vester-y-recomendaciones-pdf.pdf)

## 2.8. Anexos

### Figura 8A

*Reunión en la dirección de ambiente y recursos naturales con el ing. Agr. Florentín Castillo*



### Figura 9A

*Reunión con el Lic. Pablo Quiñones de la dirección de planificación técnica*

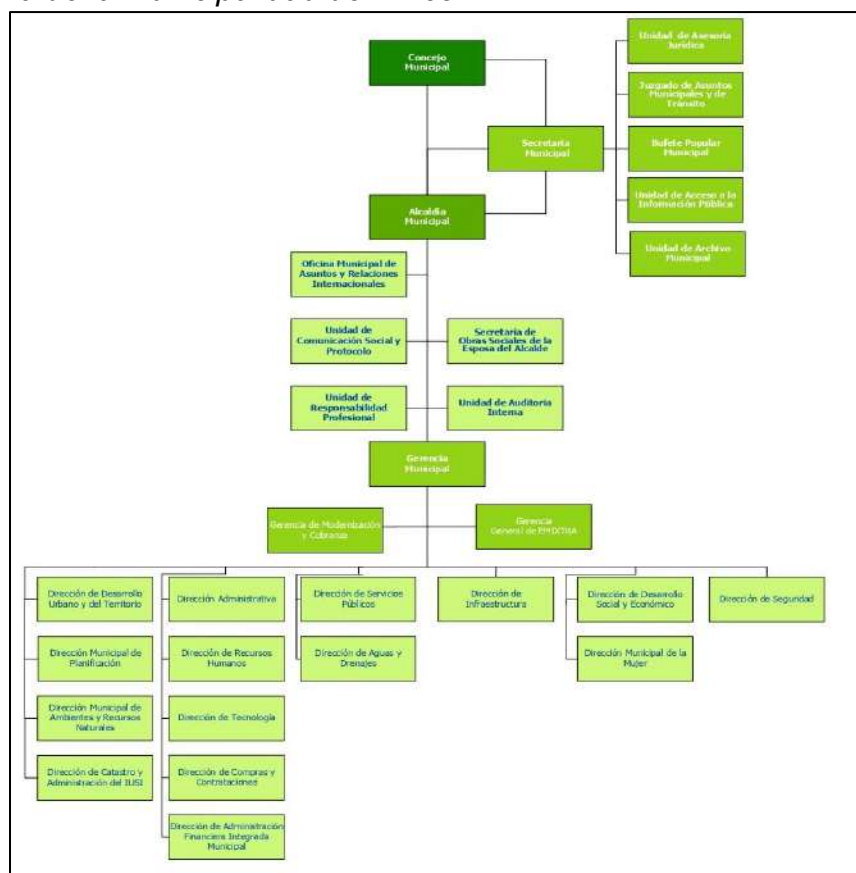


**Figura 10A**

*Reunión en la dirección de aguas y drenajes con el Ing. Jimmy Gonzales y el encargado Alejandro Ajcú*

**Figura 11A**

*Organigrama de la municipalidad de Mixco*







### **3. Servicios realizados en municipalidad de Mixco**



### **3.1. Servicio 1: Mapeo de Zonas Reforestadas en el Municipio de Mixco en el periodo 2017 a 2024**

#### **3.1.1. Antecedentes**

La dirección de ambiente y recursos naturales de la municipalidad de Mixco, fundada en el año 2017, es la encargada del desarrollo de distintas actividades tales como:

- Limpieza de desechos sólidos en cuerpos de agua superficiales
- Manejo de podas y tala de árboles en puntos estratégicos
- Gestión del vivero municipal
- Gestión de campañas de reforestación

Siendo esta ultima la actividad más importante, pues en estas campañas se integran distintas empresas del sector privado y entidades del sector público, dichas campañas cumplen la función de conservar los recursos naturales del municipio y mejorar la calidad de los ecosistemas, no obstante, durante la etapa de diagnóstico del ejercicio profesional supervisado se identificaron ciertas problemáticas que dificultan el desarrollo de dichas actividades con un énfasis en el registro de datos

#### **3.1.2. Objetivos**

1. Elaborar Mapas de las zonas reforestadas en el municipio de Mixco desde el año 2017 hasta el año 2024
2. Evaluar la cobertura vegetal del municipio para el año 2017 y 2024

#### **3.1.3. Metas**

1. Generar material georreferencial actualizado
2. Documentar el proceso de herramientas que favorezcan las actividades de reforestación

### 3.1.4. Metodología

#### A. Mapeo

##### a. Agrupación de las bases de datos

**Tabla 15**

*Zonas reforestadas en 2017*

| ID | Lugar                                      | Zona | Ha     | No. Arboles | X         | Y        |
|----|--------------------------------------------|------|--------|-------------|-----------|----------|
| 1  | Área Verde Administrativa por Cooperativa  | 2    | 1.35   | 1500        | 490525    | 1617746  |
| 2  | Santa Rita                                 | 2    | 0.45   | 500         | 492116    | 1616941  |
| 3  | Manzana C Nueva Montserrat                 | 3    | 0.18   | 200         | 491177    | 1618584  |
| 4  | Manzana E                                  | 3    | 0.18   | 200         | 491856    | 1618636  |
| 5  | Parque lomas del Rodeo II                  | 3    | 0.0657 | 73          | 492382    | 1618579  |
| 6  | Parque lomas del Rodeo I                   | 3    | 0.0648 | 72          | 492110    | 1618594  |
| 7  | Manzana Q                                  | 3    | 0.04   | 45          | 492404    | 161858   |
| 8  | Centro de Usos Múltiples                   | 3    | 0.03   | 35          | 491735    | 1618934  |
| 9  | Escuela Ponce de Veliz                     | 3    | 0.018  | 20          | 491652    | 1618703  |
| 10 | Valle del Sol                              | 4    | 2.007  | 2230        | 492988    | 1619646  |
| 11 | 5av 25 calle                               | 5    | 0.135  | 150         | 492704    | 1622702  |
| 12 | Nicki Cruz                                 | 5    | 0.135  | 150         | 492130    | 1621873  |
| 13 | Parque la virgen 4 avenida 18-79           | 5    | 0.04   | 45          | 492398    | 162231   |
| 14 | Naranjito el Milagro                       | 6    | 2.7    | 3000        | 492057    | 1623005  |
| 15 | El milagro Sacoj Chiquito                  | 6    | 1.8    | 2000        | 495253    | 16253005 |
| 16 | La esperanza el Milagro                    | 6    | 1.8    | 2000        | 492620    | 1622860  |
| 17 | Colonia San José las Rosas Sector II       | 6    | 1.8    | 2000        | 490450.8  | 1620970  |
| 18 | Villa Flor                                 | 6    | 1.35   | 1500        | 486125    | 1613783  |
| 19 | San Francisco II parque Ecológico          | 6    | 0.54   | 600         | 490837    | 1620812  |
| 20 | Iglesia Lo de Bran I                       | 6    | 0.45   | 500         | 491839    | 1621655  |
| 21 | San José las Rosas Sector 1                | 6    | 0.19   | 200         | 490007    | 1620989  |
| 22 | Arriate Central el Caminero                | 6    | 0.189  | 210         | 490696    | 1622352  |
| 23 | Escuela San Jorge Jumar                    | 6    | 0.18   | 200         | 492435    | 1621801  |
| 24 | San José las Rosas Sector 2                | 6    | 0.09   | 100         | 490573    | 1621344  |
| 25 | Balcones 1                                 | 8    | 0.75   | 833         | 490913    | 1612521  |
| 26 | Área verde a la escuela Colinas de Minerva | 11   | 3.6    | 4000        | 494288    | 16240227 |
| 27 | Áreas Villas de Minerva                    | 11   | 3.6    | 4000        | 494828    | 1623193  |
| 28 | Áreas Villas de Minerva                    | 11   | 3.6    | 4000        | 494828    | 1623193  |
| 29 | Arriate central                            | 11   | 0.3204 | 356         | 495500.64 | 1623723  |
| 30 | Parque de planes de Minerva                | 11   | 0.17   | 188         | 494101.69 | 1622541  |

**Tabla 16**  
**Zonas reforestadas en 2018**

| ID | Lugar                                          | Zona | Ha    | No. Arboles | X      | Y       |
|----|------------------------------------------------|------|-------|-------------|--------|---------|
| 1  | LOMAS DE PORTUGAL                              | 1    | 0.08  | 210         | 489570 | 1617412 |
| 2  | Area Canal 27                                  | 1    | 0.072 | 180         | 487093 | 1618500 |
| 3  | SANTA RITA I                                   | 2    | 0.44  | 1107        | 492122 | 1616903 |
| 4  | MOLINO DE LAS FLORES II                        | 2    | 0.11  | 278         | 490821 | 1617336 |
| 5  | EL NARANJO                                     | 4    | 2.15  | 6000        | 494493 | 1621312 |
| 6  | SAN NICOLAS II                                 | 4    | 1.21  | 3025        | 492615 | 1621115 |
| 7  | VALLE DEL SOL                                  | 4    | 0.76  | 1900        | 493053 | 1619601 |
| 8  | SAN NICOLAS I                                  | 4    | 0.05  | 121         | 492783 | 1621421 |
| 9  | SAN FRANCISCO I                                | 6    | 0.89  | 2227        | 491050 | 1620929 |
| 10 | SAN JOSE LAS ROSAS                             | 6    | 0.47  | 1180        | 491790 | 1622843 |
| 11 | ALAMEDAS DE YUMAR I                            | 6    | 0.29  | 735         | 488841 | 1622167 |
| 12 | SAN FRANCISCO II                               | 6    | 0.22  | 537         | 490763 | 1620761 |
| 13 | SAN FRANCISCO II                               | 6    | 0.14  | 353         | 490860 | 1620825 |
| 14 | BALCONES IV                                    | 8    | 0.54  | 1355        | 489365 | 1612024 |
| 15 | BOULEVARD SUR ARRIATE<br>CENTRAL SAN CRISTOBAL | 8    | 0.39  | 200         | 491224 | 1612672 |
| 16 | VILLA CLUB EL DORADO II                        | 8    | 0.38  | 940         | 491144 | 1609946 |
| 17 | VALLE DE SAN CRISTOBAL                         | 8    | 0.32  | 811         | 489140 | 1614542 |
| 18 | SECTOR B-1 SAN CRISTOBAL<br>I                  | 8    | 0.27  | 675         | 491290 | 1615116 |
| 19 | CAÑADAS DE SAN CRISTOBAL                       | 8    | 0.24  | 600         | 490453 | 1613488 |
| 20 | SAN MARINO SAN CRISTOBAL                       | 8    | 0.11  | 265         | 489631 | 1615204 |
| 21 | VILLA CLUB EL DORADO IV                        | 8    | 0.1   | 247         | 491342 | 1609682 |
| 22 | VILLA CLUB EL DORADO VI                        | 8    | 0.09  | 213         | 491494 | 1609782 |
| 23 | VILLA CLUB EL DORADO III                       | 8    | 0.08  | 194         | 491160 | 1609833 |
| 24 | VILLA CLUB EL DORADO VII                       | 8    | 0.06  | 160         | 491348 | 1610100 |
| 25 | BALCONES II                                    | 8    | 0.04  | 300         | 490047 | 1611810 |
| 26 | VALLE DE AZUL SECTOR B 2                       | 8    | 0.04  | 100         | 490715 | 1610145 |
| 27 | VALLE DE AZUL SECTOR B 1                       | 8    | 0.03  | 72          | 490670 | 1610011 |
| 28 | VILLA CLUB EL DORADO I                         | 8    | 0.02  | 55          | 491085 | 1610291 |
| 29 | VILLA CLUB EL DORADO V                         | 8    | 0.02  | 47          | 491430 | 1609762 |
| 30 | VILLAS DE MINERVA                              | 11   | 0.55  | 1400        | 495498 | 1623728 |

**Tabla 17**  
*Zonas reforestadas en 2019*

| ID | Lugar                                                                           | Zona | Ha   | No. Arboles | X       | Y       |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------------|---------|---------|
| 1  | Santa Rita I                                                                    | 2    | 1.09 | 1215        | 492116  | 1616941 |
| 2  | Área verde, Parque Ecológico<br>Cooperativa de agua, Molino<br>de las Flores II | 2    | 0.36 | 400         | 490525  | 1617746 |
| 3  | San Francisco II                                                                | 6    | 1.08 | 1200        | 4910445 | 1620942 |
| 4  | San José las Rosas, Sector 4                                                    | 6    | 0.63 | 700         | 491790  | 1622843 |
| 5  | Alamedas de Yumar, Zona 6                                                       | 6    | 0.11 | 120         | 498841  | 1622167 |
| 6  | Villas Club El Dorado I                                                         | 8    | 0.18 | 200         | 491085  | 1610291 |
| 7  | Villas Club El Dorado VII                                                       | 8    | 0.09 | 100         | 491348  | 1610100 |
| 8  | Villas de Minerva, zona 11 de<br>Mixco                                          | 11   | 0.09 | 100         | 495501  | 1623724 |

**Tabla 18**  
*Zonas reforestadas en 2020*

| ID | Lugar                       | Zona | Ha   | No. Arboles | X      | Y       |
|----|-----------------------------|------|------|-------------|--------|---------|
| 1  | Área verde Aldea Alta vista | 1    | 0.03 | 25          | 486944 | 1618453 |

**Tabla 19**  
*Zonas reforestadas en 2021*

| ID | Lugar                                            | Zona | Ha   | No. Arboles | X      | Y       |
|----|--------------------------------------------------|------|------|-------------|--------|---------|
| 1  | Área verde Lomas de Portugal                     | 1    | 0.85 | 951         | 48965  | 161735  |
| 2  | Área verde de Santa Rita I.                      | 2    | 0.63 | 700         | 492116 | 1616941 |
| 3  | Área Valle del sol                               | 4    | 0.27 | 300         | 492983 | 1619663 |
| 4  | Área verde de San Francisco I                    | 6    | 0.81 | 900         | 490837 | 1620812 |
| 5  | San José Las Rosas Sector 4                      | 6    | 0.54 | 600         | 491790 | 1622843 |
| 6  | Parque Ecológico, san Fco. II,                   | 6    | 0.45 | 500         | 490837 | 1620812 |
| 7  | Área verde Alamedas de<br>Yumar,                 | 6    | 0.27 | 300         | 488857 | 1621368 |
| 8  | Área verde, El Milagro.                          | 6    | 0    | 150         | 492637 | 1622830 |
| 9  | Área verde Balcones IV, San<br>Cristóbal I       | 8    | 0.27 | 300         | 490913 | 1612521 |
| 10 | Las Cañadas de San Cristóbal<br>II               | 8    | 0.18 | 200         | 490453 | 1613488 |
| 11 | Área verde 1, colonia Ciudad<br>Satélite, zona 9 | 9    | 0.36 | 400         | 488274 | 1612649 |
| 12 | Área verde 2, Colonia Ciudad<br>Satélite zona 9  | 9    | 0.32 | 350         | 488274 | 1612649 |
| 13 | Área verde Colinas de Minerva                    | 11   | 1.35 | 1500        | 494209 | 1623870 |

**Tabla 20**  
**Zonas reforestadas en 2022**

| ID | Lugar                                                                 | Zona | Ha   | No. Arboles | X      | Y       |
|----|-----------------------------------------------------------------------|------|------|-------------|--------|---------|
| 1  | Área verde Lomas de Portugal                                          | 1    | 0.77 | 850         | 48965  | 161735  |
| 2  | Lomas de Portugal (Nueva área verde)                                  | 1    | 0.27 | 300         | 489592 | 1617250 |
| 3  | Área Verde, Colonia Millstone                                         | 2    | 1.39 | 1550        | 491739 | 1617100 |
| 4  | Área verde de Santa Rita, TERCERA FASE                                | 2    | 0.51 | 500         | 492116 | 1616941 |
| 5  | Área Verde, Colonia Escuadrilla                                       | 2    | 0.18 | 450         | 489892 | 1617860 |
| 6  | Área verde de San Francisco I                                         | 6    | 0.85 | 700         | 490837 | 1620812 |
| 7  | Área verde: Alamedas de Yumar I                                       | 6    | 0.27 | 300         | 498841 | 1622167 |
| 8  | Área verde, El Milagro                                                | 6    | 0.24 | 160         | 492637 | 1622830 |
| 9  | San José Las Rosas, Sector 4.                                         | 6    | 0.23 | 700         | 491790 | 1622843 |
| 10 | Parque Ecológico, san Fco. II,                                        | 6    | 0.2  | 200         | 490837 | 1620812 |
| 11 | Sacoj Grande, parte de atrás Cementerio                               | 6    | 0.18 | 50          | 495831 | 1626630 |
| 12 | Balcones IV, Ciudad San Cristóbal                                     | 8    | 0.54 | 400         | 489365 | 1612024 |
| 13 | Villa deportiva, zona 8                                               | 8    | 0.09 | 100         | 490736 | 1612819 |
| 14 | 6ª. Ave. Ciudad Satélite                                              | 9    | 0.36 | 150         | 488275 | 1612747 |
| 15 | 11 ave. Ciudad Satélite                                               | 9    | 0.32 | 150         | 488266 | 1614478 |
| 16 | Boulevard Las Charcas                                                 | 10   | 0.27 | 300         | 462171 | 1614400 |
| 17 | Área de la Colonia La Ceiba                                           | 10   | 0.23 | 250         | 490181 | 1616250 |
| 18 | Colonia La Corona Sector 2                                            | 10   | 0.09 | 100         | 490374 | 1616320 |
| 19 | Colonia La Corona sector 1                                            | 10   | 0.09 | 100         | 490303 | 1616250 |
| 20 | Área en Colonia primero de mayo                                       | 11   | 1    | 1111        | 496108 | 1622760 |
| 21 | Área Verde 2ª. Avenida colonia el Valle                               | 11   | 0.8  | 888         | 496362 | 1622330 |
| 22 | Área verde contigua a la Escuela de colinas de Minerva (Tercera Fase) | 11   | 0.72 | 800         | 494209 | 1623870 |
| 23 | Área verde 12 calle Final 14-81, Lo de Fuentes, zona 11               | 11   | 0.32 | 350         | 495814 | 1623060 |

**Tabla 21**  
**Zonas reforestadas en 2023**

| ID | Lugar                                                 | Zona | Ha   | No. Arboles | X      | Y       |
|----|-------------------------------------------------------|------|------|-------------|--------|---------|
| 1  | El manzanillo área protegida Nuevo                    | 1    | 0.04 | 100         | 485550 | 1618066 |
| 2  | Lomas de Portugal 2 Fase                              | 1    | 0.77 | 400         | 48965  | 161735  |
| 3  | Lomas de Portugal (Nueva área verde)                  | 1    | 0.14 | 340         | 489552 | 1617236 |
| 4  | Área Verde, Colonia Millstone 2 fase                  | 2    | 1.39 | 400         | 491739 | 1617100 |
| 5  | Área verde de Santa Rita, CUARTA FASE                 | 2    | 0.51 | 350         | 492116 | 1616941 |
| 6  | San José Las Rosas Sector 4. 2 fase                   | 6    | 0.23 | 400         | 491790 | 1622843 |
| 7  | 15 ave 18-45 sector 3 pozo 7 San José Las Rosas Nuevo | 6    | 0.08 | 200         | 490704 | 1622428 |
| 8  | Iglesia Lo de Bran Nuevo                              | 6    | 0.02 | 120         | 491961 | 1621724 |
| 9  | El Campanero                                          | 8    | 0.06 | 152         | 488806 | 1613915 |
| 10 | Área de la Colonia La Ceiba 2 Fase                    | 10   | 0.23 | 200         | 490181 | 1616250 |
| 11 | Boulevard Las Charcas 2 Fase                          | 10   | 0.27 | 150         | 462171 | 1614400 |
| 12 | San Jacinto Cancha de Fútbol Nuevo                    | 10   | 0.15 | 381         | 489734 | 1616464 |
| 13 | Área Verde 2ª. Avenida colonia el Valle 2 Fase        | 11   | 0.8  | 200         | 496362 | 1622330 |
| 14 | Institutos 8 ave B 7-27 Planes de Minerva Nueva       | 11   | 0.10 | 260         | 494833 | 1623047 |
| 15 | Linda Vista dentro de Planes de Minerva II Nueva      | 11   | 0.41 | 1028        | 494770 | 1623064 |

**Tabla 22**  
**Zonas reforestadas en 2024**

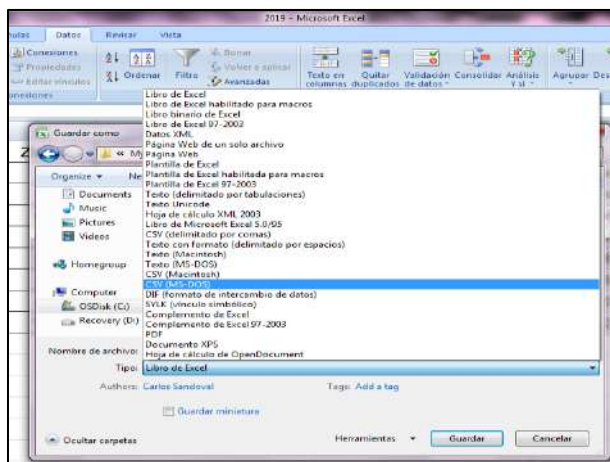
| ID | Lugar                                                                | Zona | Ha     | No. Arboles | X      | Y       |
|----|----------------------------------------------------------------------|------|--------|-------------|--------|---------|
| 1  | Rio Pansalic Privada                                                 | 1    | 1.00   | 1000        | 488273 | 1618570 |
| 2  | Rio Pansalic Municipal                                               | 1    | 0.28   | 750         | 488264 | 1618478 |
| 3  | Lomas de Portugal 1                                                  | 1    | 0.93   | 200         | 489576 | 1617333 |
| 4  | Lomas de Portugal 2                                                  | 1    | 1.00   | 200         | 489565 | 1617229 |
| 5  | Colegio Alegría Saber                                                | 3    | 0.05   | 80          | 491598 | 1618770 |
| 6  | Primero de Julio Atrás de Policía Nueva                              | 5    | 0.08   | 188         | 492944 | 1622280 |
| 7  | 15 ave 18-45 sector 3 pozo 7 San José Las Rosas                      | 6    | 0.08   | 70          | 490704 | 1622428 |
| 8  | carretera San Juan Sacatepéquez, Aldea El Naranjito, zona 6 de Mixco | 6    | 0.13   | 316         | 487706 | 1621510 |
| 9  | Jardines de Balcones de San Cristóbal                                | 8    | 0.46   | 1141        | 490118 | 1611920 |
| 10 | Ciudad de San Cristóbal II                                           | 8    | 0.60   | 1508        | 491000 | 1612610 |
| 11 | Boulevard San Cristóbal I                                            | 8    | 0.05   | 232         | 491968 | 1613380 |
| 12 | Boulevard Villa Deportiva                                            | 8    | 0.09   | 462         | 490743 | 1612820 |
| 13 | El Campanero                                                         | 8    | 0.06   | 70          | 488806 | 1613915 |
| 14 | Valle Dorado II Escuela Fe y Alegría                                 | 8    | 0.0015 | 50          | 490868 | 1610820 |
| 15 | Ciudad Satélite 1 y 2                                                | 9    | 0.04   | 150         | 488750 | 1612910 |
| 16 | Ciudad Satélite 2                                                    | 9    | 0.01   | 28          | 488307 | 1612730 |
| 17 | Linda Vista dentro de Planes de Minerva II Nueva                     | 11   | 0.41   | 400         | 494770 | 1623064 |
| 18 | Colina de Minerva                                                    | 11   | 0.25   | 631         | 494295 | 1623390 |
| 19 | Institutos 8 ave B 7-27 Planes de Minerva Nueva                      | 11   | 0.0954 | 80          | 494833 | 1623047 |
| 20 | Área en Colonia primero de mayo                                      | 11   | 1.00   | 300         | 496108 | 1622760 |
| 21 | Área verde 12 calle Final 14-81, Lo de Fuentes, zona 11              | 11   | 0.32   | 100         | 495814 | 1623060 |

## b. Proceso de digitalización

Los sistemas de información geográficos son herramientas versátiles que permiten la representación visual por medio de coordenadas geográficas, software como Qgis, permite ingresar bases de datos por medio de programas externos compatibles, tales como office de la siguiente manera:

1. Una vez agrupada la información bajo los parámetros definidos y nombrarla de forma práctica (BD2017, abreviación de base de datos y el año de las actividades), este se guardará bajo la extensión tradicional de Excel .XLSX (libro de Excel).
2. Para que Qgis sea capaz de reconocerlo es necesario convertir la extensión .xlsx a cualquiera de las siguientes extensiones:
  - .CSV (Valores separados por comas, formato empleado por fines prácticos)
  - .TXT (formato de texto plano)
  - .WKT (representación de texto convencional -well-know text)
  - .DAT (Data)

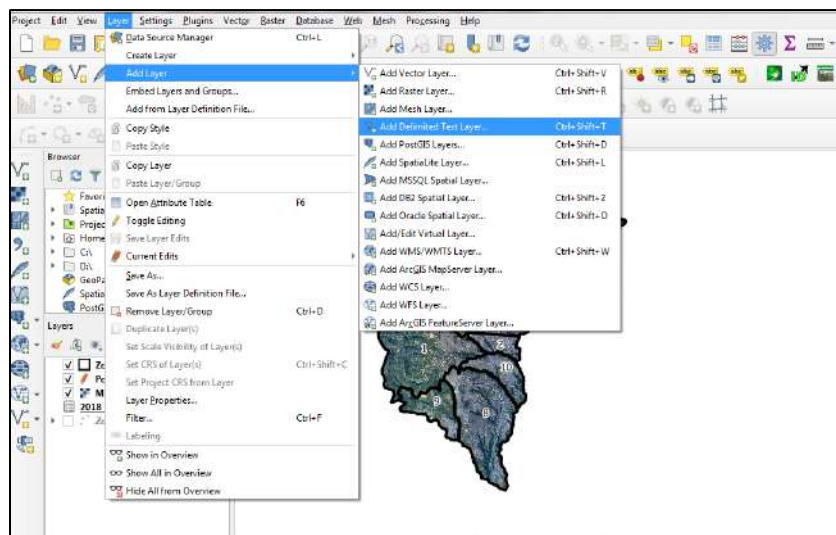
**Figura 12**  
*Selección del formato*



Para convertir el archivo Excel en formato .XLSX a .CSV es necesario seleccionar el botón de office con el archivo Excel abierto, una vez seleccionado es necesario seleccionar la opción “Guardar como” y se selecciona el formato deseado.

3. Con la base de datos disponible en formato compatible es necesario abrir desde el programa Qgis la opción “XYZ” disponible en la barra de herramientas de rastreo (raster tools).
4. Se selecciona el archivo con extensión .CSV, nuestra base de datos y asignamos los valores correspondientes a longitud y latitud
5. Una vez agrupada la información bajo los formatos requeridos se abre el programa Qgis, se crea un nuevo proyecto en la opción de “Añadir capa/Add Layer” se selecciona la opción de “Agregar capa delimitada por texto/Add Delimited text layer”, se puede acceder de forma directa mediante la combinación de los comandos Ctrl+Shift+T.

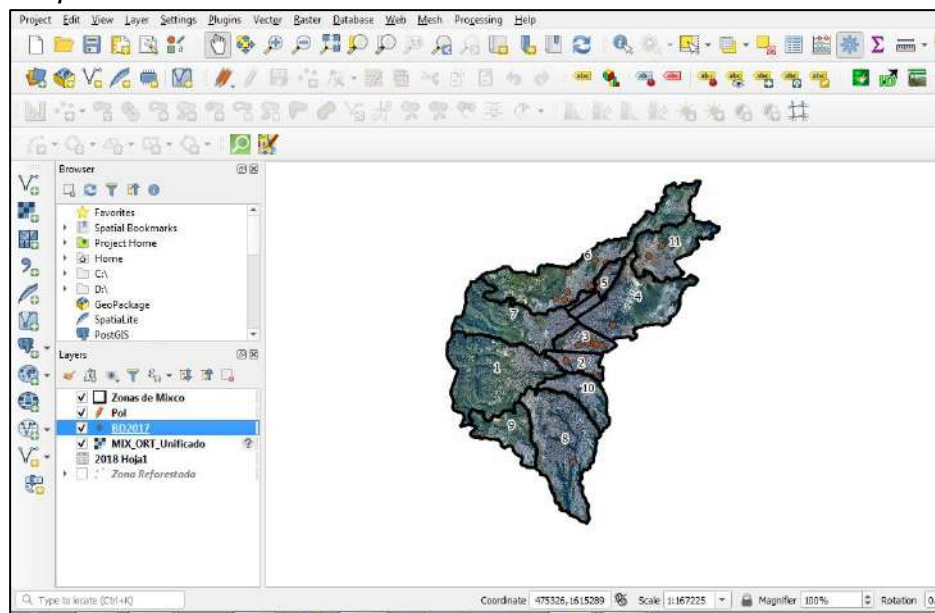
**Figura 13**  
*Forma de agregar bases de datos*



6. En el botón al lado de “Nombre del archivo/File name” se selecciona la base de datos en el formato requerido (.CSV) asegurándose que las coordenadas X e Y estén en sus respectivos campos “Campo X/X field” y “Campo Y/Y field”, una vez que todos los datos estén en orden se selecciona la opción “Agregar/Add”.

7. Una vez ingresados los datos estos se desplegarán en pantalla como puntos individuales, pudiendo ser clasificados en función de la información contenida en la tabla de datos, zona de reforestación, cantidad de árboles sembrados, etc.

**Figura 14**  
*Generación de puntos*

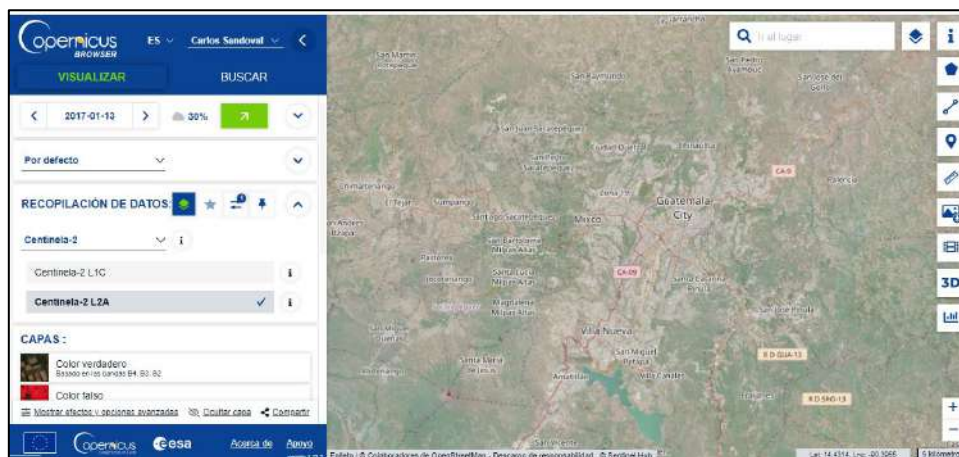


8. Una vez finalizado el proceso de edición se generó el estilo del mapa mediante el editor del software habilitado mediante el comando Ctrl + P, que permite la creación de composiciones para la presentación final del mapa.

## B. Cobertura

Para evaluar la cantidad de vegetación en un espacio geográfico se emplea la metodología del índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocida como: NDVI por sus siglas en inglés (Normalized Difference Vegetation Index), el índice de vegetación de diferencia normalizada es una de las metodologías más comunes para evaluar vegetación y derivados, basándose en: “La relación entre la cantidad de luz reflejada por los rasgos de la superficie terrestre en dos regiones del espectro electromagnético, así como la emisión de una luz roja e infrarroja” (INEGI, 2021), es decir el NDVI que los valores bajos de luz reflejada en el actor rojo, combinados con alta reflexión en el infrarrojo, para el desarrollo de la evaluación de cobertura vegetal se empleó el software Copernicus Browser.

**Figura 15**  
*Copernicus Browser*



Fuente: (CopernicusBrowser, 2019)

En el software se puede seleccionar el periodo de estudio, en este caso enero de 2017 y enero de 2024, descargando una imagen de la capa NDVI, una vez que se ha delimitado el área de búsqueda.

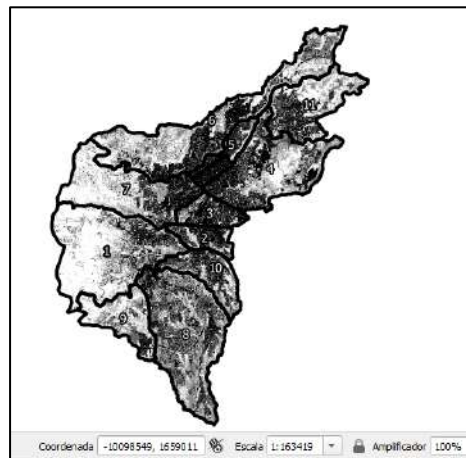
**Figura 16**  
*Imagen NDVI*



Fuente: (CopernicusBrowser, 2019)

Una vez descargada la imagen se recorta al área de interés aprovechando el contenido que esta posee se generó una capa para el software Qgis, que puede ser empleada para la generación de datos de área y elaboración de mapas.

**Figura 17**  
*Capa ráster NDVI*

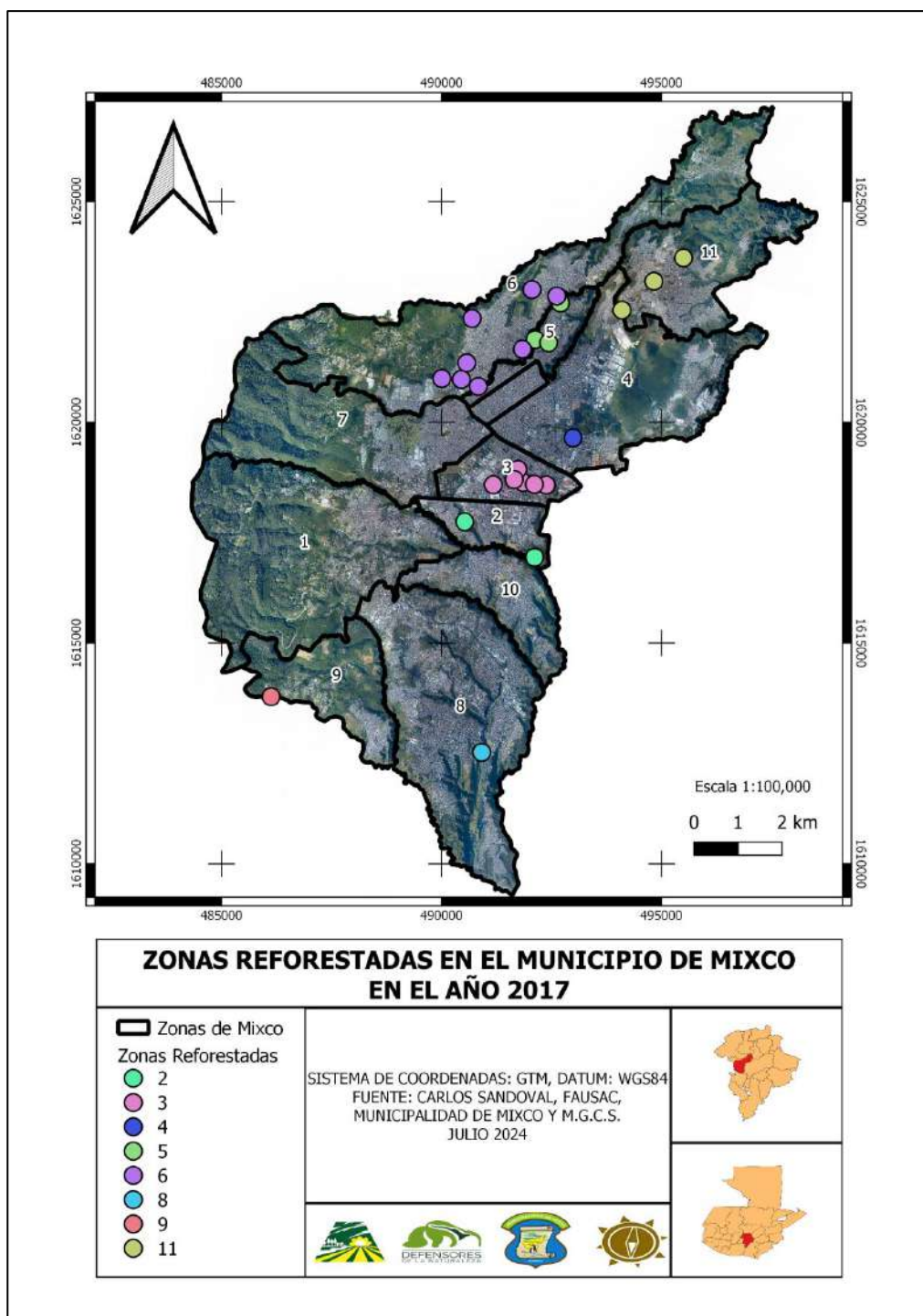


### 3.1.5. Resultados

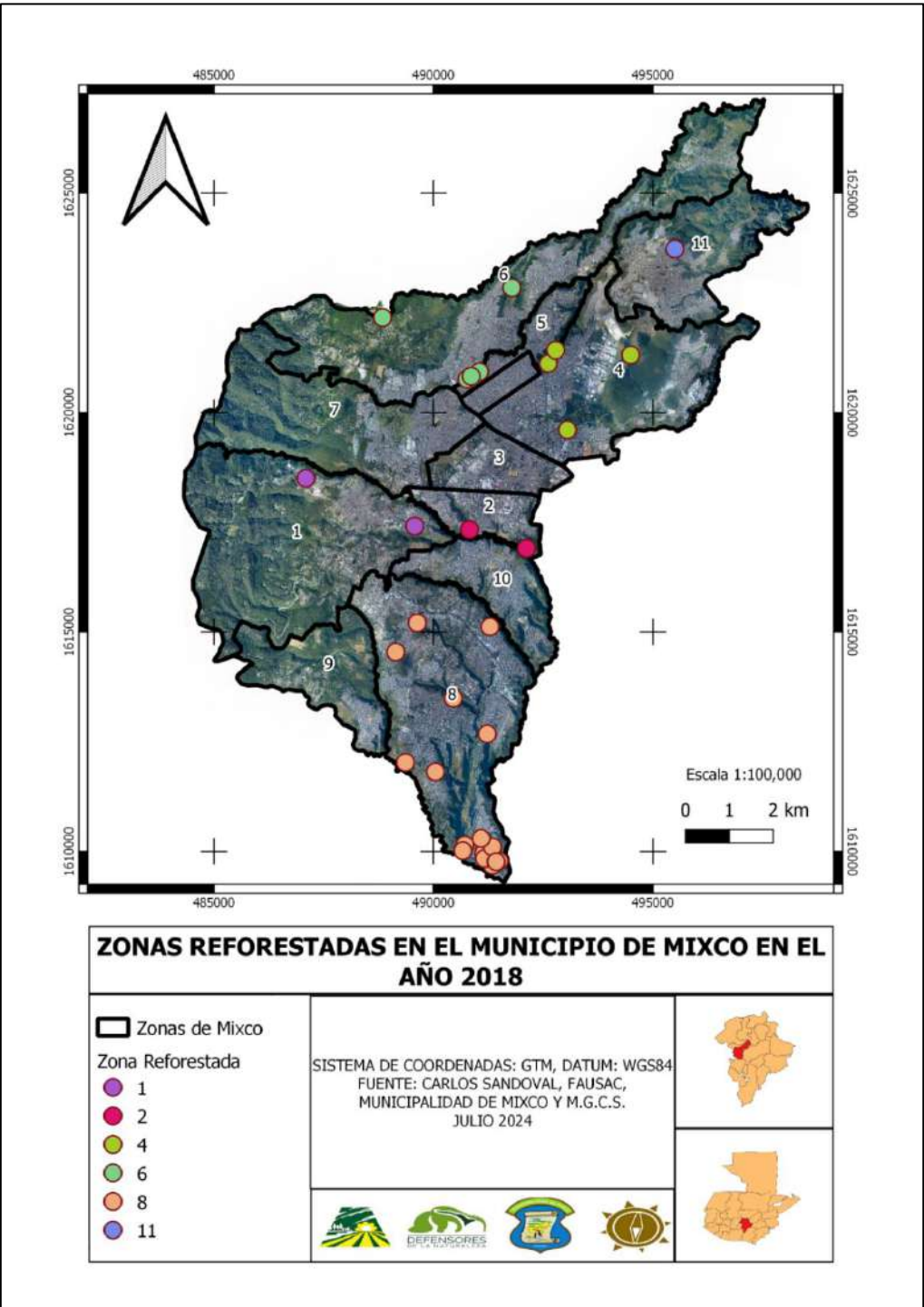
#### A. Áreas Reforestadas

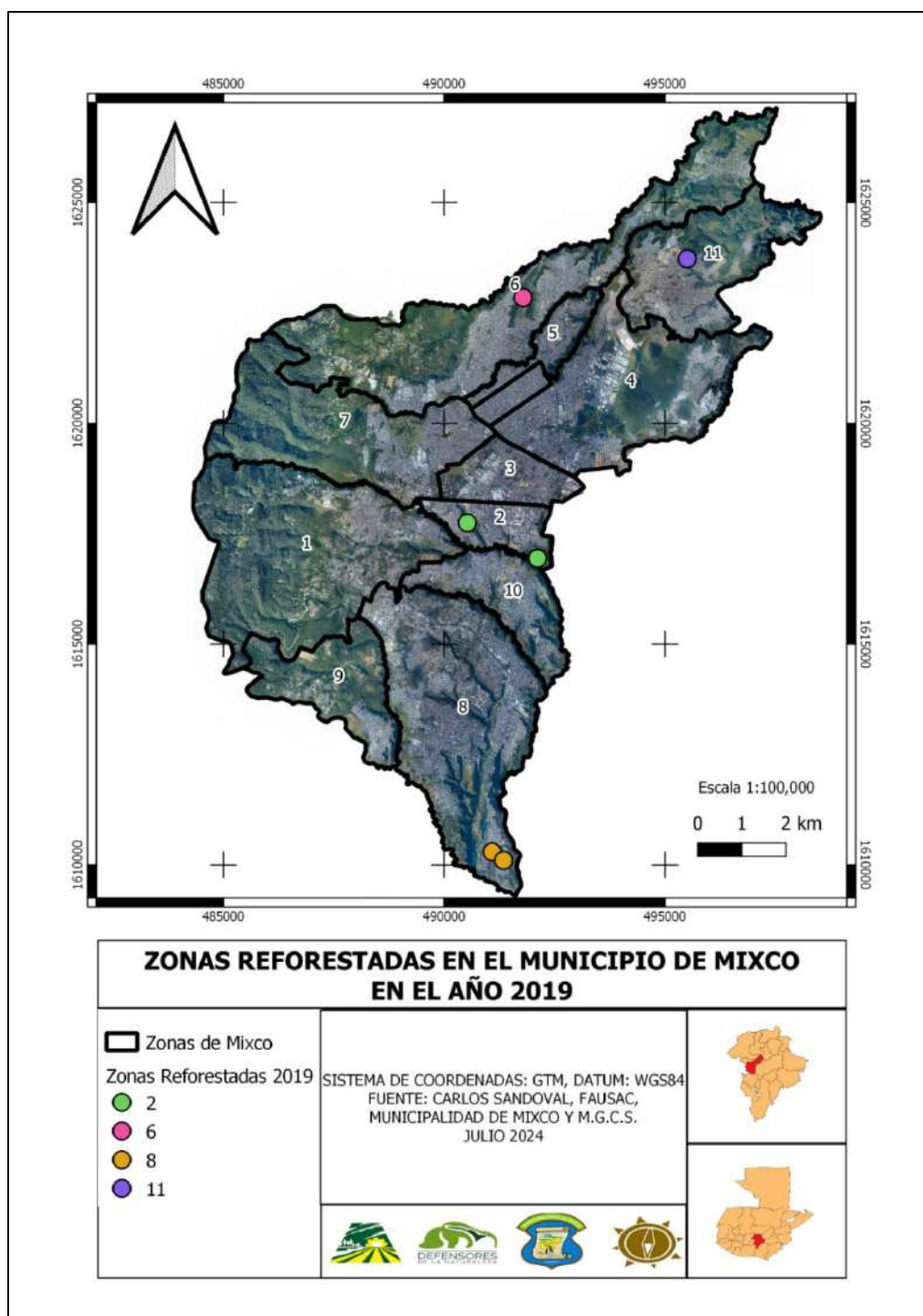
**Figura 18**

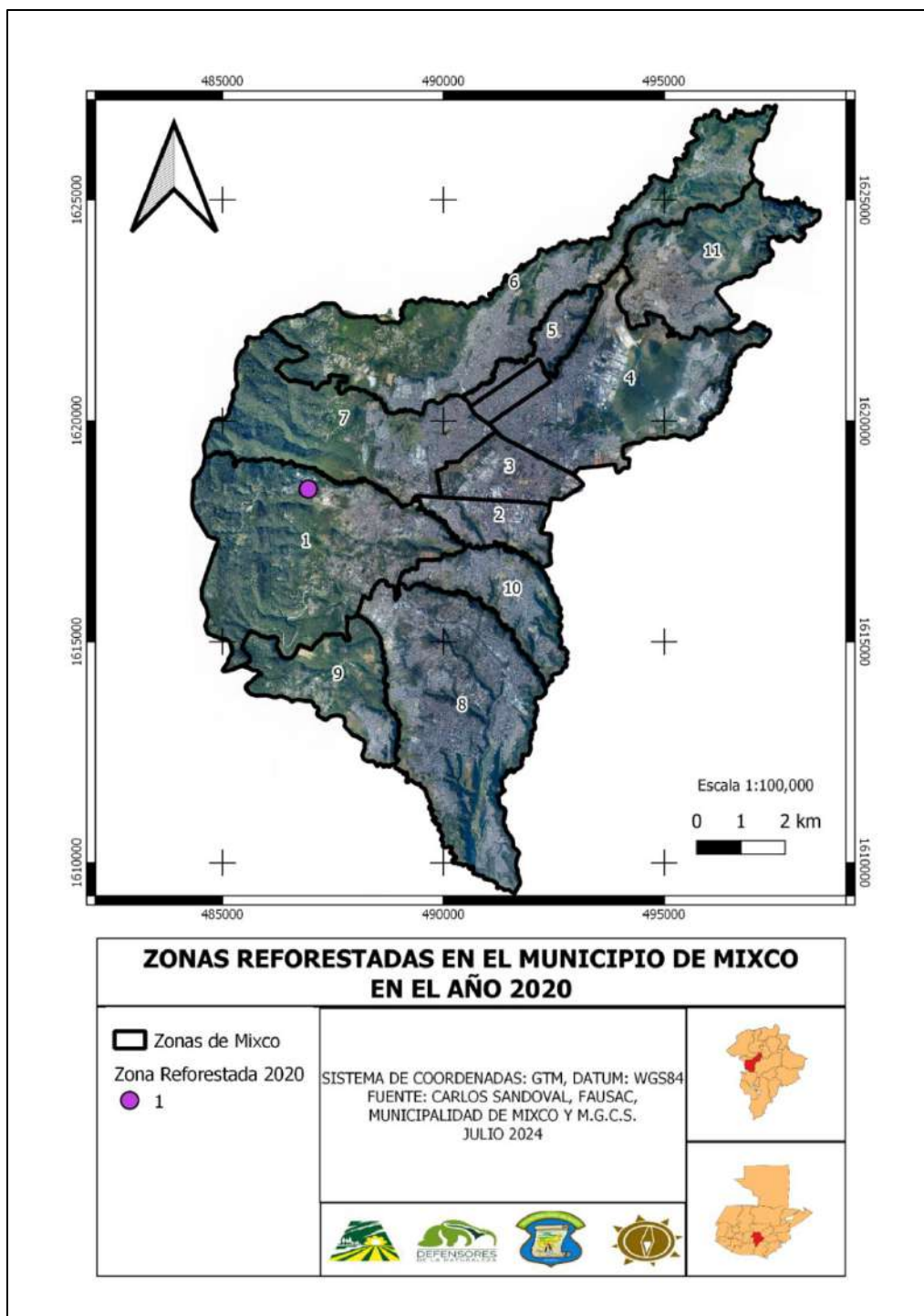
*Mapa de zonas reforestadas en 2017*

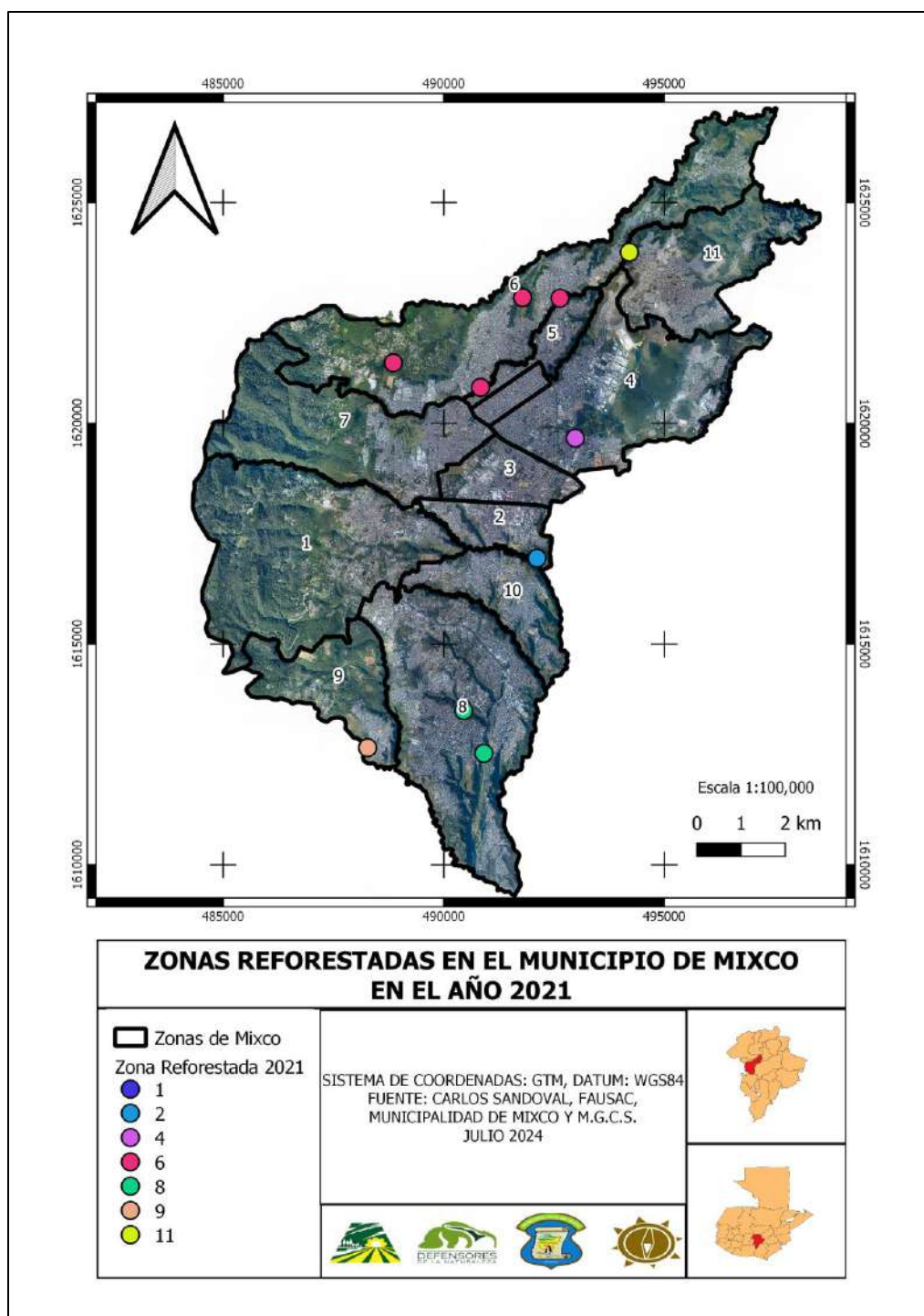


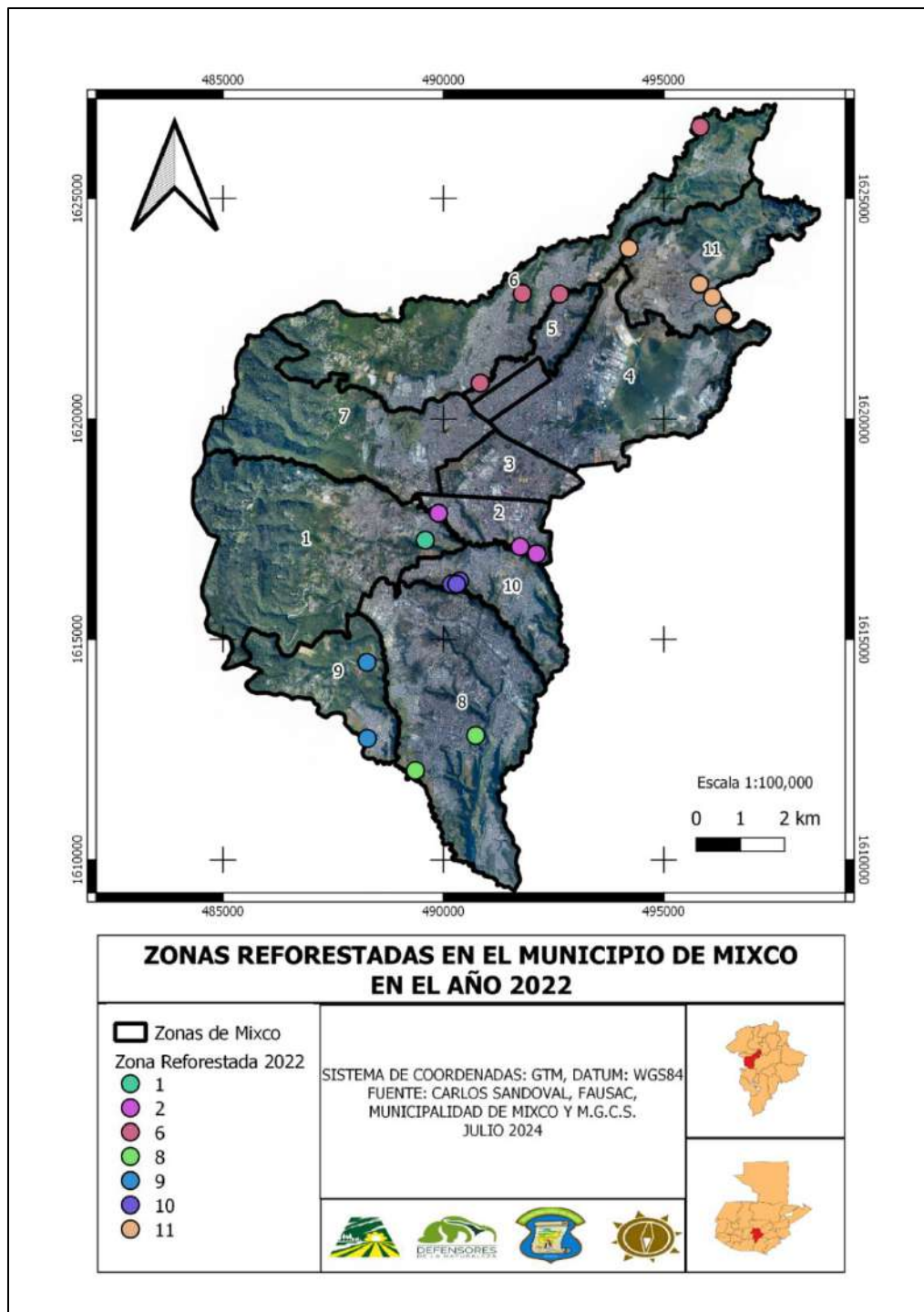
**Figura 19**  
*Mapa de zonas reforestadas en 2018*

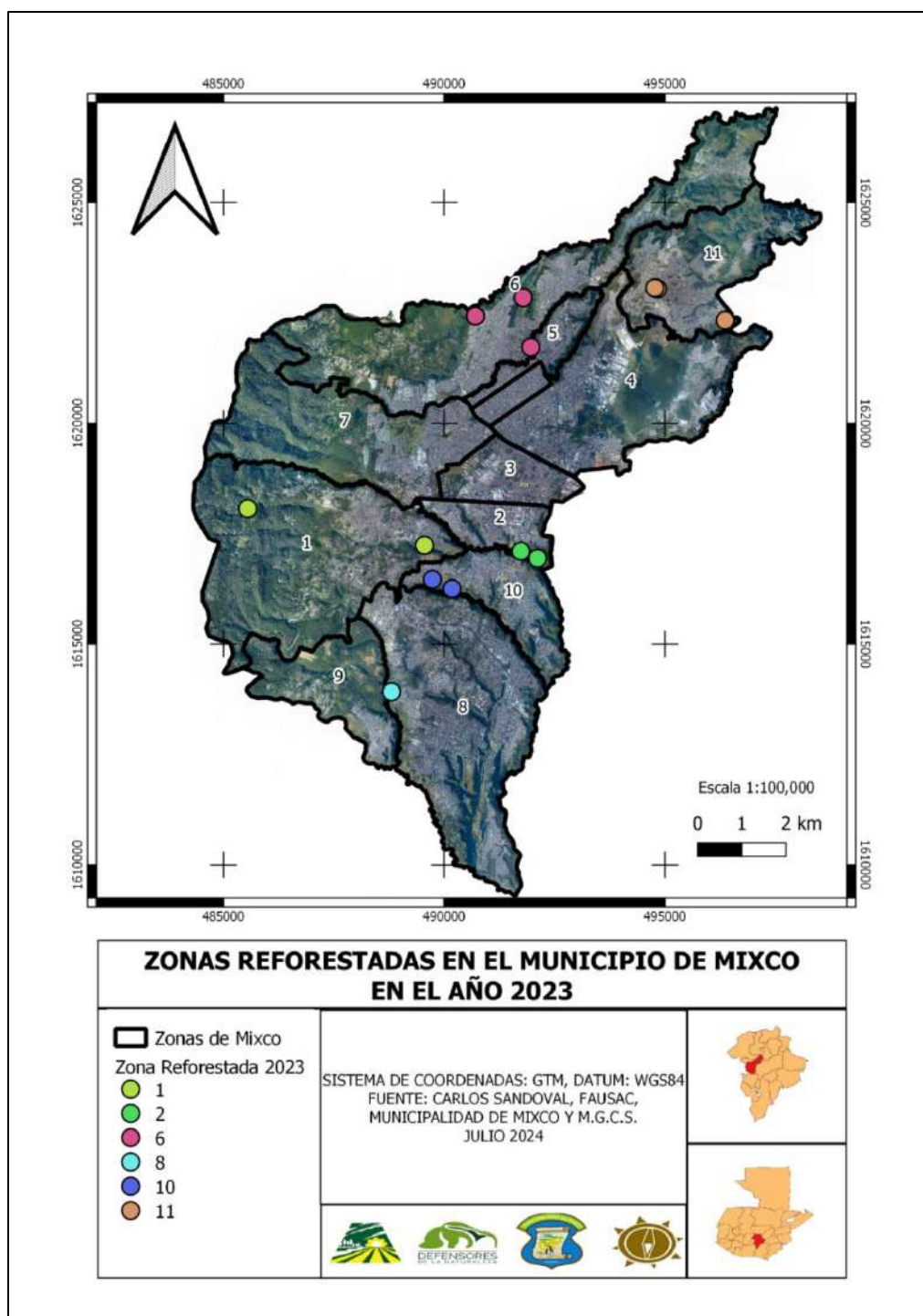


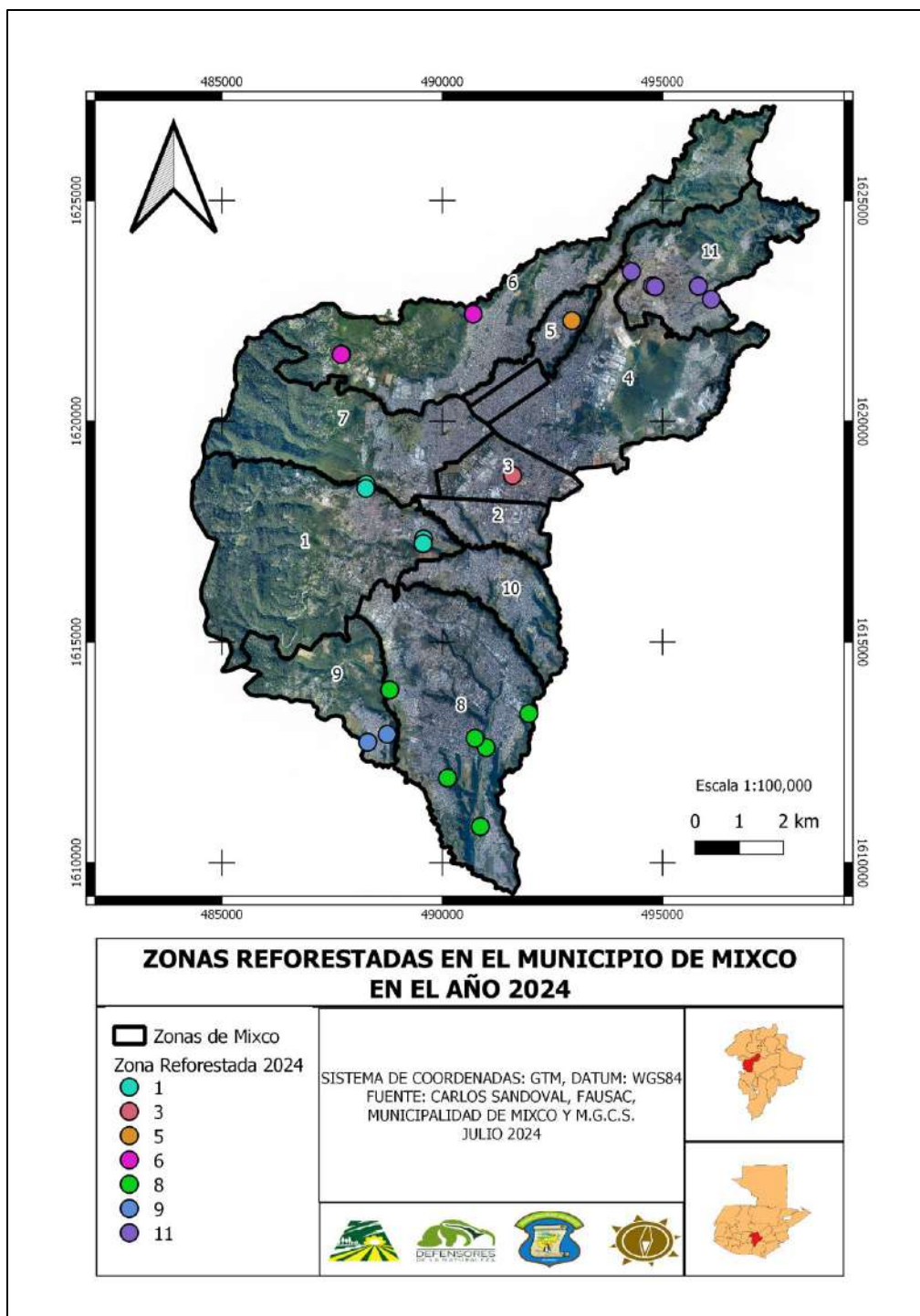
**Figura 20***Mapa de zonas reforestadas en 2019*

**Figura 21***Mapa de zonas reforestadas en 2020*

**Figura 22***Mapa de zonas reforestadas en 2021*

**Figura 23***Mapa de zonas reforestadas en 2022*

**Figura 24***Mapa de zonas reforestadas en 2023*

**Figura 25***Mapa de zonas reforestadas en 2024*

**Tabla 23***Total de árboles reforestados*

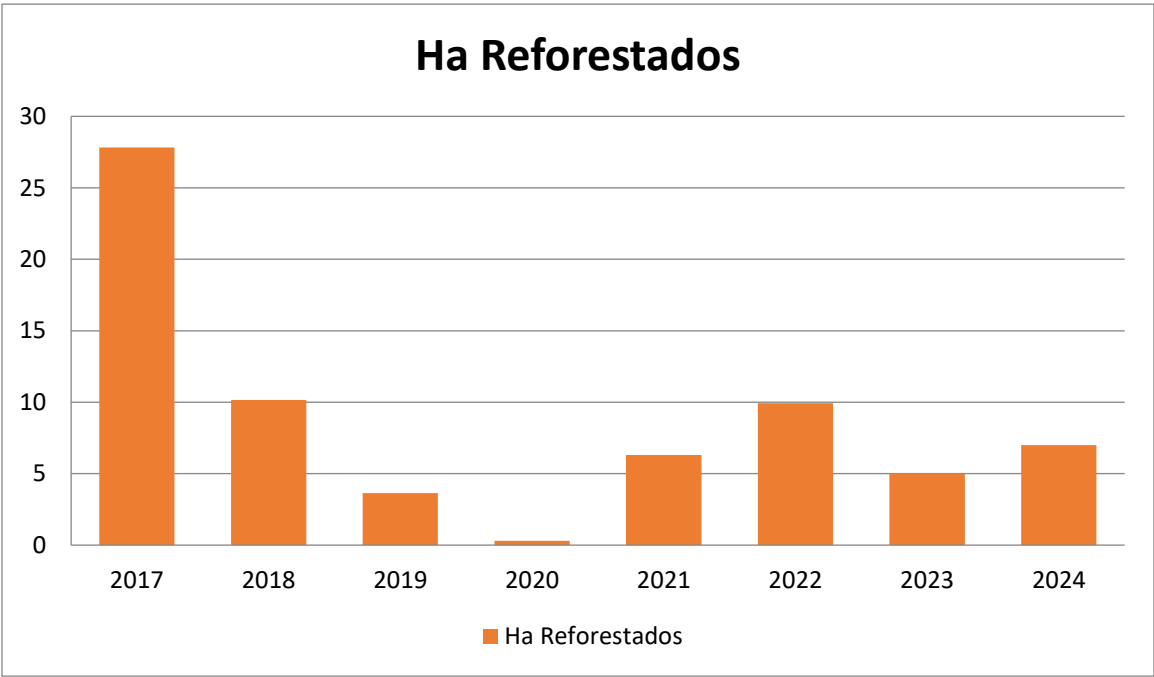
| Año | Total |
|-----|-------|
| 1   | 3.02  |
| 2   | 8.41  |
| 3   | 0.58  |
| 4   | 6.45  |
| 5   | 0.31  |
| 6   | 19.29 |
| 7   | 0     |
| 8   | 4.89  |
| 9   | 1.36  |
| 10  | 1.33  |
| 11  | 17.43 |

**Figura 26***Grafica de hectáreas reforestadas por zona*

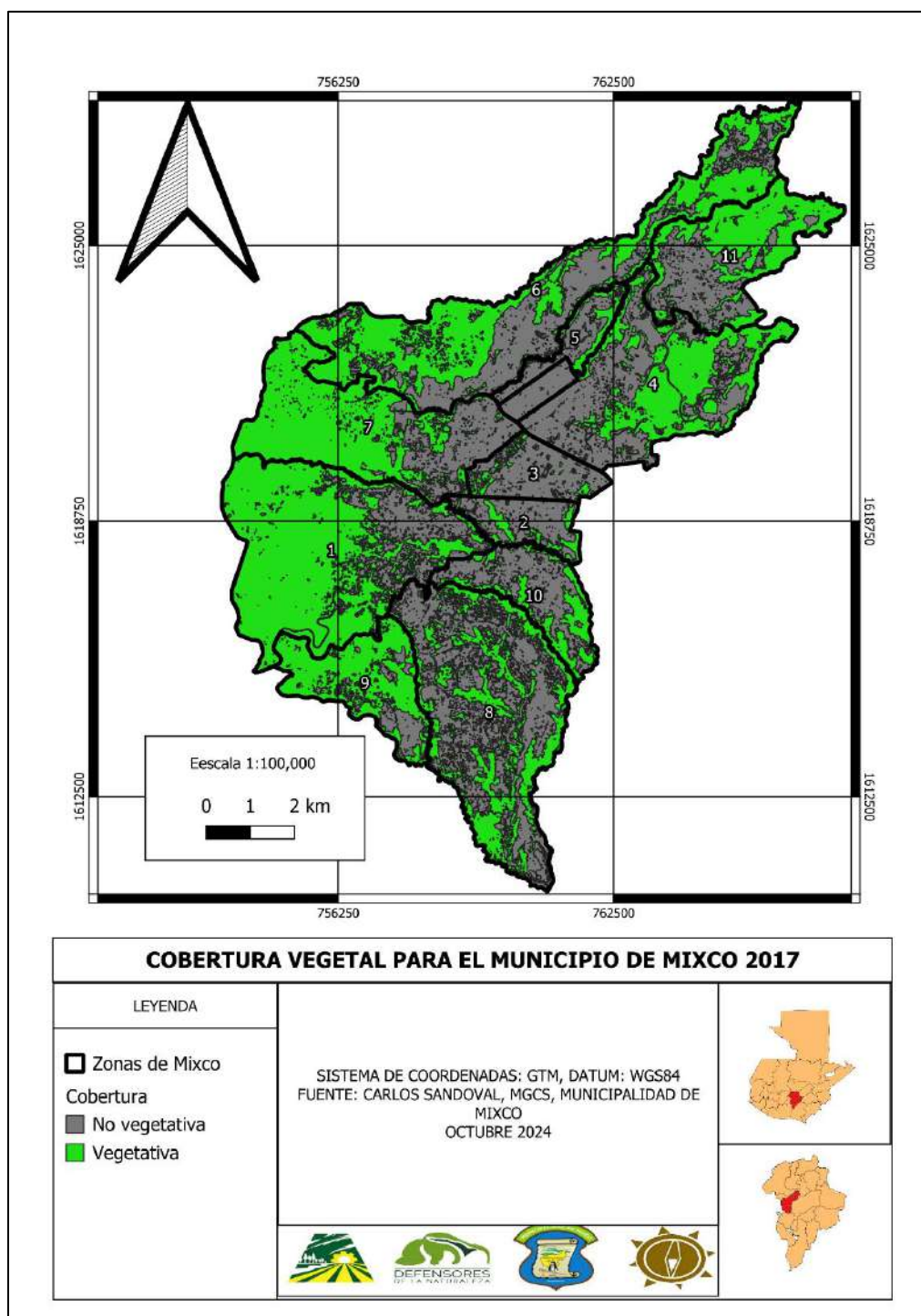
**Tabla 24**  
*Hectáreas reforestadas por año*

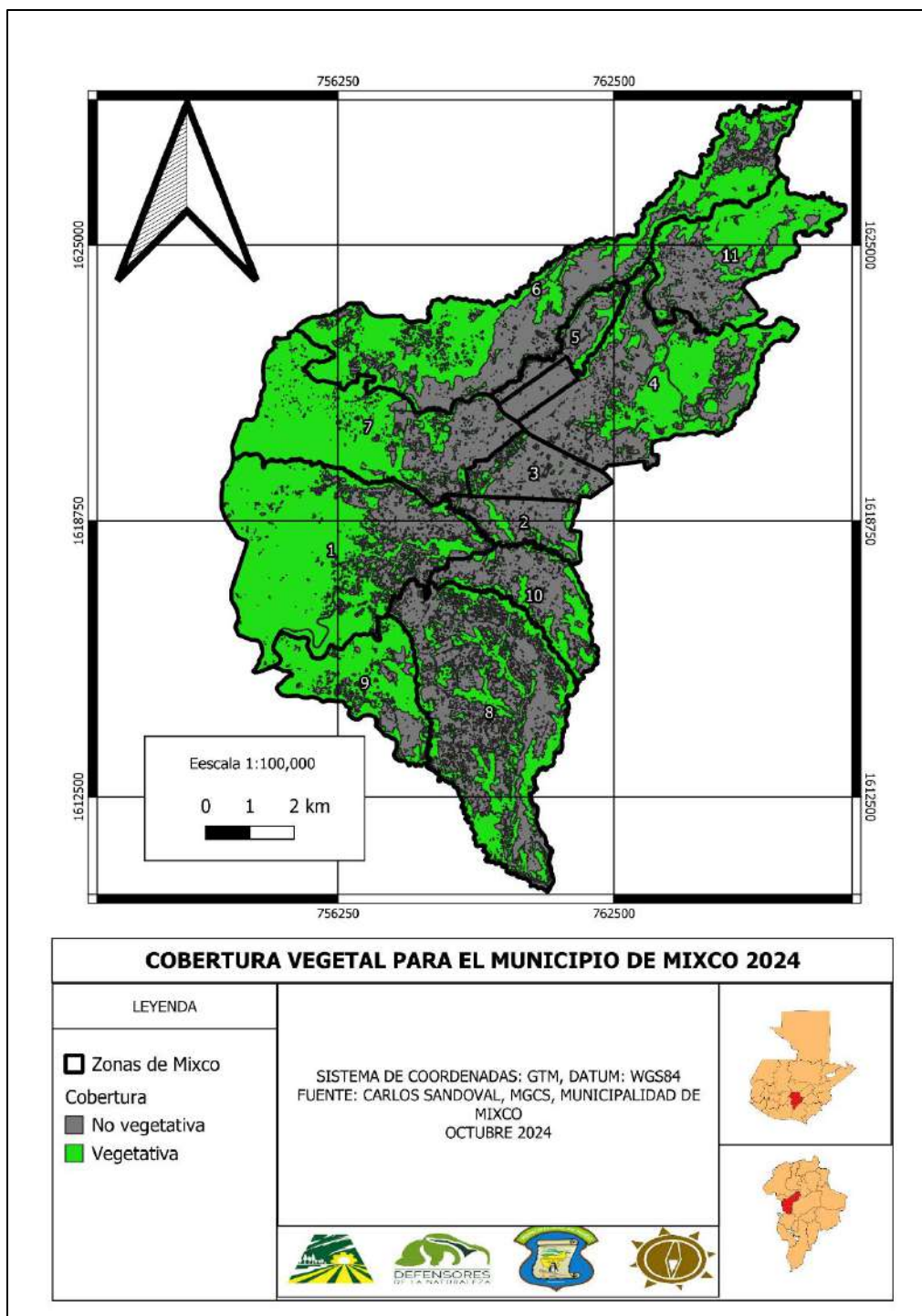
| Año  | Total  |
|------|--------|
| 2017 | 27.82  |
| 2018 | 10.162 |
| 2019 | 3.63   |
| 2020 | 0.3    |
| 2021 | 6.3    |
| 2022 | 9.92   |
| 2023 | 5      |
| 2024 | 7      |

**Figura 27**  
*Grafica de hectáreas reforestadas por año*



## B. Cobertura vegetal

**Figura 28***Evaluación de cobertura vegetal en Mixco, año 2017*

**Figura 29***Evaluación de cobertura vegetal en Mixco, año 2024*

**Tabla 25***Comparación de cobertura vegetal*

| Año  | Cobertura  | Extension (km <sup>2</sup> ) | % Territorial |
|------|------------|------------------------------|---------------|
| 2017 | Vegetal    | 53.47                        | 46.44         |
|      | No Vegetal | 61.53                        | 53.56         |
| 2024 | Vegetal    | 52.95                        | 46.04         |
|      | No Vegetal | 62.05                        | 53.96         |

**3.1.6. Conclusiones**

1. Mediante la generación y documentación del proceso de elaboración de mapas de zonas reforestadas bajo periodos anuales permite una mayor comodidad y facilidad en el manejo de información.
2. Ha pesar de haber reforestado una cifra superior a los 0.6 km<sup>2</sup>, las cifras indican un descenso en la cobertura vegetativa de 0.52 km<sup>2</sup>, el equivalente al 0.45% del territorio del municipio de Mixco, lo que puede estar relacionado al crecimiento poblacional y el aumento de áreas impermeabilizadas que impiden el crecimiento vegetativo y a su vez implica la disminución de la capa vegetal existente

### 3.1.7. Recomendaciones

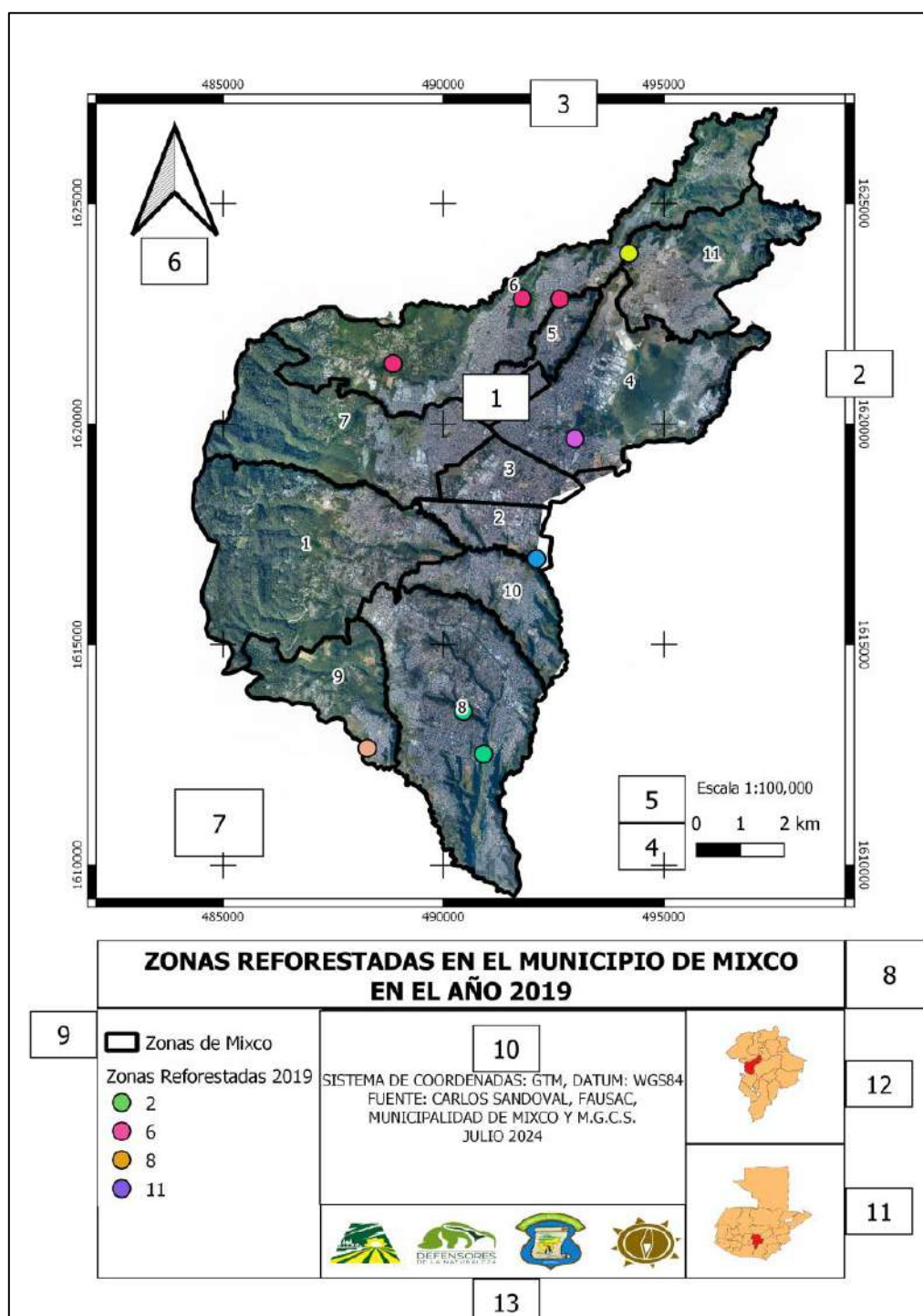
Existen ciertos elementos indispensables que facilitan el entendimiento de un material cartográfico, estos son:

**Tabla 26**

Componentes básicos de un mapa

| No. | Componente                    | Función                                                                                               |
|-----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Mapa                          | Contiene la información geográfica de interés                                                         |
| 2   | Coordenadas                   | Indican la ubicación del mapa                                                                         |
| 3   | Marco                         | Ayuda a facilitar la división de áreas en función de las coordenadas geográficas                      |
| 4   | Escala Grafica                | Indica la distancia entre coordenadas geográficas                                                     |
| 5   | Escala                        | Indica la escala a la que se visualizan los objetos                                                   |
| 6   | Brújula                       | Indicar la dirección Norte                                                                            |
| 7   | Cuadrícula                    | Facilita la agrupación de elementos en función de coordenadas geográficas                             |
| 8   | Título del mapa               | Nombre del proyecto, actividad o fin con el que se realiza el mapa                                    |
| 9   | Leyenda                       | Categoriza los elementos en el mapa                                                                   |
| 10  | Información general y fuentes | Indica el sistema de coordenadas empleado, el autor, entidades cooperantes, fecha de elaboración etc. |
| 11  | Ubicación a nivel de país     | Señalizar la ubicación de la región dentro del país                                                   |
| 12  | Ubicación a nivel de región   | Señalizar la ubicación del área de trabajo dentro de una región, departamento, etc.                   |
| 13  | Logotipo                      | Logotipo de la entidad o entidades que han tenido participación                                       |

**Figura 30**  
*Componentes mínimos sugeridos para un mapa*



### **3.2. Servicio 2: Evaluación de impacto ambiental de los puntos de drenaje y desfogue del sistema sanitario y pluvial de zona 10 de Mixco**

#### **3.2.1. Antecedentes**

La dirección de aguas y drenajes de la municipalidad de Mixco es la encargada de distintas actividades, tales como:

- Diseño y construcción de la red de drenaje
- Mantenimiento de tuberías
- Evaluaciones de calidad de agua

Siendo esta última de las más importantes, pues parte de los normativos vigentes, tales como el acuerdo gubernativo 236-2006, donde se establece la realización de pruebas de laboratorio de calidad de aguas durante periodos específicos, pues uno de los aspectos más importantes a considerar en zona 10 de Mixco es que todos los puntos de drenaje y desfogue desembocan directamente en los ríos alterando las características del agua

#### **3.2.2. Objetivos**

1. Evaluar el impacto de los desechos en los ríos de la zona 10 de Mixco
2. Evaluar el comportamiento y crecidas de los ríos de la zona 10 de Mixco

#### **3.2.3. Metas**

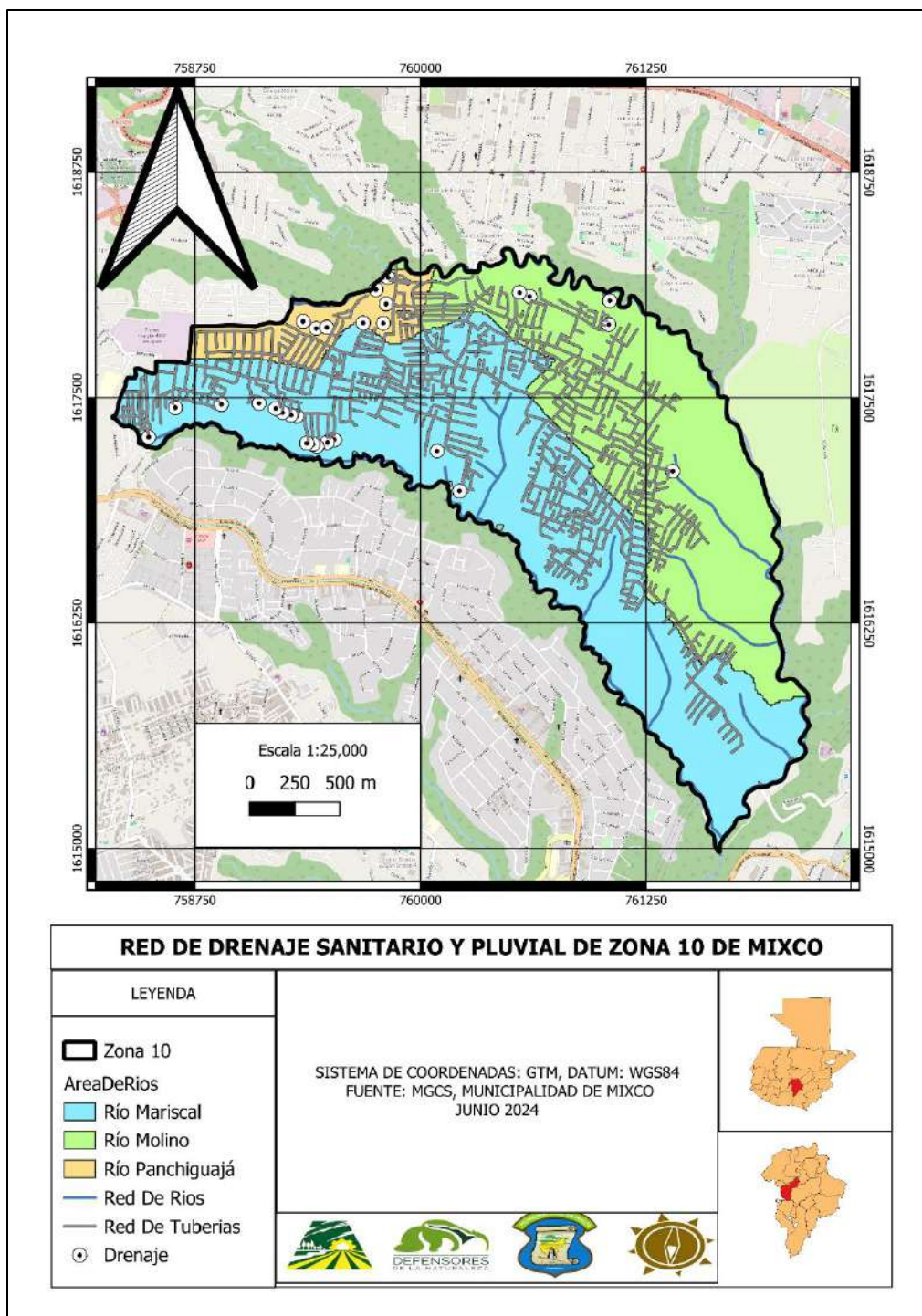
1. Digitalización de material georreferencial
2. Proporcionar una herramienta de impacto ambiental para el manejo de desechos líquidos

### 3.2.4. Metodología

1. Debido a la falta de material georreferencial en medios digitales, el primer paso consistió en la digitalización de la red de drenaje sanitario y pluvial de la zona 10 de Mixco.
2. Complementar la información georreferencial generada con información existente, en este caso para complementar la evaluación de impacto ambiental, las capas agregadas incluyen la extensión territorial de los ríos presentes en la zona 10 de Mixco, la red de ríos y los puntos de desagüe.
3. Una vez determinados los puntos de desagüe se solicitó los resultados de calidad de agua disponibles en la dirección de planificación técnica, donde se proporcionaron los parámetros a evaluar.
4. Mediante investigación bibliográfica se consultó cuáles son los rangos que permitan definir el agua como “contaminada”.
5. Contando con el respaldo bibliográfico se categorizaron los parámetros de calidad de agua en función de su grado de contaminación.
6. Identificación de fuentes de contaminación: Por medio de consultas en la dirección de planificación técnica y miembros de la dirección de aguas y drenajes, informaron que en Mixco todos los ríos están contaminados, debido a que en estos se vierten toda clase de aguas negras, residuos de hogar y contaminación acarreada por lluvia recolectada por medio de la red de drenaje sanitario y pluvial de Mixco cuyos puntos de desagüe se encuentran en 3 ríos contenidos en la zona 10 Mixco.
7. Como parte de protocolos y normativos institucionales donde durante el año 2021 se realizaron una serie de pruebas de calidad de agua donde los parámetros evaluados fueron:
  - Grupo Coliforme Fecal:
  - Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/L)
  - Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)
  - Fosforo (mg/L)
  - Nitrógeno (mg/L)
  - Potencial Hidrogeno (PH)

**Figura 31**

*Mapa de la red de drenaje sanitario y pluvial de la zona 10 de Mixco*



**Tabla 27***Área de los ríos de zona 10 de Mixco*

| No. | Rio         | Área   | % del área de zona 10 |
|-----|-------------|--------|-----------------------|
| 1   | Mariscal    | 2.7345 | 55.5352               |
| 2   | Molino      | 1.8637 | 37.8500               |
| 3   | Panchiguajá | 0.3257 | 6.61467               |

Por medio de los estudios de laboratorio de aguas realizados por el Instituto de fomento municipal (INFOM), realizados en el año 2021, vigentes hasta el año 2026

**Tabla 28**

Análisis de puntos de desfogue

| <b>Análisis Bacteriológico de agua residual en puntos de desfogue<br/>Zona 10 de Mixco</b> |                          |                          |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| No                                                                                         | Dirección                | Parámetro Bacteriológico | Resultado (NMP/100mL) |
| 1                                                                                          | 12 ave. 20-12            | Grupo Coliforme Fecal    | 9.3x10 <sup>8</sup>   |
| 2                                                                                          | 25 calle                 | Grupo Coliforme Fecal    | 9.3x10 <sup>7</sup>   |
| 3                                                                                          | 6a ave. 34 calle         | Grupo Coliforme Fecal    | 9.3x10 <sup>7</sup>   |
| 4                                                                                          | 9na Ave. Col Nazareth    | Grupo Coliforme Fecal    | 2.4x10 <sup>7</sup>   |
| 5                                                                                          | 14 calle                 | Grupo Coliforme Fecal    | 4.6x10 <sup>8</sup>   |
| 6                                                                                          | 10 ave La comunidad      | Grupo Coliforme Fecal    | 4.8x10 <sup>7</sup>   |
| 7                                                                                          | 22 calle Col La libertad | Grupo Coliforme Fecal    | 2.4x10 <sup>8</sup>   |
| 8                                                                                          | 11 ave. Villa Marina     | Grupo Coliforme Fecal    | 2.4x10 <sup>9</sup>   |
| 9                                                                                          | 4ta calle                | Grupo Coliforme Fecal    | 4.3x10 <sup>9</sup>   |
| 10                                                                                         | Col San Jacinto          | Grupo Coliforme Fecal    | 2.3x10 <sup>7</sup>   |
| 11                                                                                         | Entre 1 y 2 ave.         | Grupo Coliforme Fecal    | 9.3x10 <sup>7</sup>   |
| 12                                                                                         | 3era Calle y 1 ave.      | Grupo Coliforme Fecal    | 4.3x10 <sup>9</sup>   |
| 13                                                                                         | 2da Calle y 15 ave.      | Grupo Coliforme Fecal    | 7.5x10 <sup>7</sup>   |

**Tabla 29**  
*Puntos de desagüe*

| No. | Dirección              | DBO<br>(mg/L) | DQO<br>(mg/L) | Fosforo<br>(mg/L) | Nitrógeno<br>(mg/L) | PH  |
|-----|------------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------------|-----|
| 1   | 1 calle                | 555           | 1606          | 12.73             | 88                  | 7.4 |
| 2   | 25 calle               | 440           | 1047          | 7.67              | 28                  | 6.2 |
| 3   | 6 ave 34 calle         | 420           | 1177          | 6.23              | 25                  | 6.2 |
| 4   | 9 ave. Col<br>Nazareth | 630           | 1853          | 12.77             | 98                  | 6.4 |
| 5   | 14 calle               | 360           | 1000          | 9.73              | 51                  | 6.5 |
| 6   | 10 ave                 | 350           | 920           | 8.33              | 31                  | 6.4 |
| 7   | 22 calle               | 915           | 1852          | 15.3              | 78                  | 6   |
| 8   | 11 ave                 | 470           | 1505          | 15.37             | 70                  | 6.7 |
| 9   | 10 ave 2a calle        | 300           | 825           | 6.63              | 41.5                | 7.6 |
| 10  | 1 ave                  | 175           | 470           | 6.17              | 40                  | 7.2 |
| 11  | 3 calle                | 350           | 1172          | 5.87              | 51                  | 7.1 |
| 12  | 2 calle 15 ave         | 600           | 1304          | 6.43              | 56                  | 6.9 |

### 3.2.5. Resultados

Los parámetros evaluados fueron:

- Grupo Coliforme Fecal: La unidad de medida de los coliformes es NMP/100ml (Numero más probable por cada 100ml), en términos de calidad de Agua se sugiere que no deben exceder de los 200 NMP/100ml tanto para agua dulce como en agua marina, algunos criterios generales son:

**Tabla 30**

Uso de aguas según su contenido de NMP/100ml

| No | Valor            | Uso                                                      |
|----|------------------|----------------------------------------------------------|
| 1  | < 1 NMP/100ml    | Apta para uso potable                                    |
| 2  | < 2400 NMP/100ml | Apta para consumo de ganado                              |
| 3  | < 100 NMP/100ml  | Apta para consumo avícola                                |
| 4  | < 1000 NMP/100ml | Agua salada apta para recreación por contacto primario   |
| 5  | < 4000 NMP/100ml | Agua salada apta para recreación por contacto secundario |
| 6  | < 1000 NMP/100ml | Agua dulce apta para recreación por contacto primario    |
| 7  | < 4000 NMP/100ml | Agua dulce apta para recreación por contacto secundario  |

Fuente: (Padilla, 2023)

**Figura 32***Pruebas de laboratorio para la detección de material fecal*

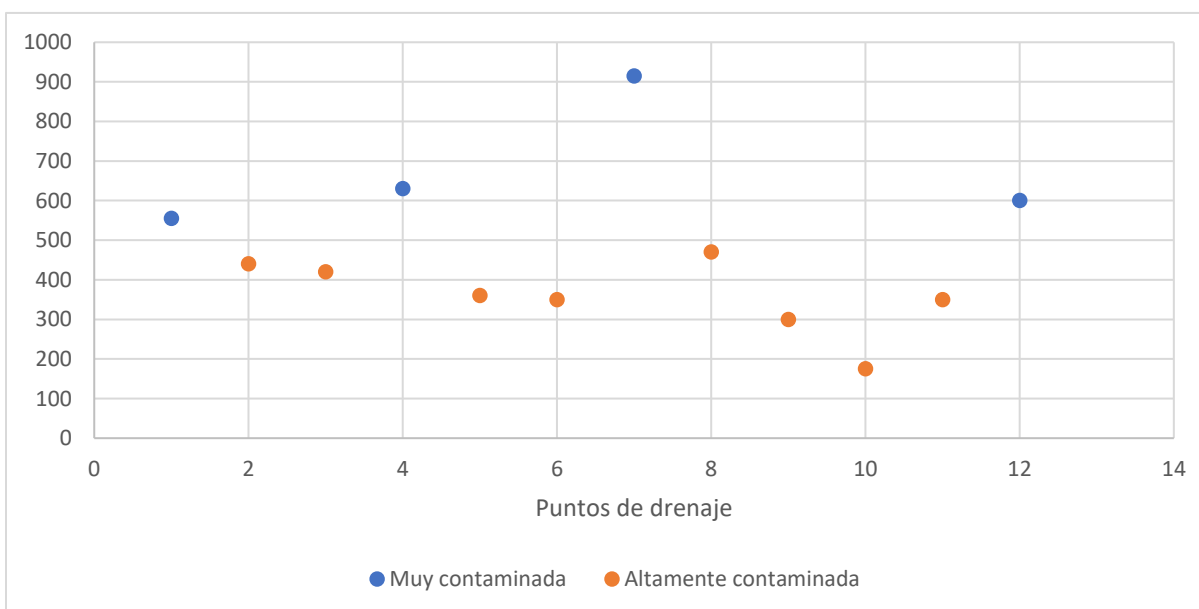
Fuente: (Padilla, 2023)

- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/L): La demanda bioquímica de oxígeno representa la cantidad de oxígeno que consumen las bacterias y otros microorganismos para descomponer la materia orgánica en condiciones aeróbicas, los valores normales de la demanda química de oxígeno son:

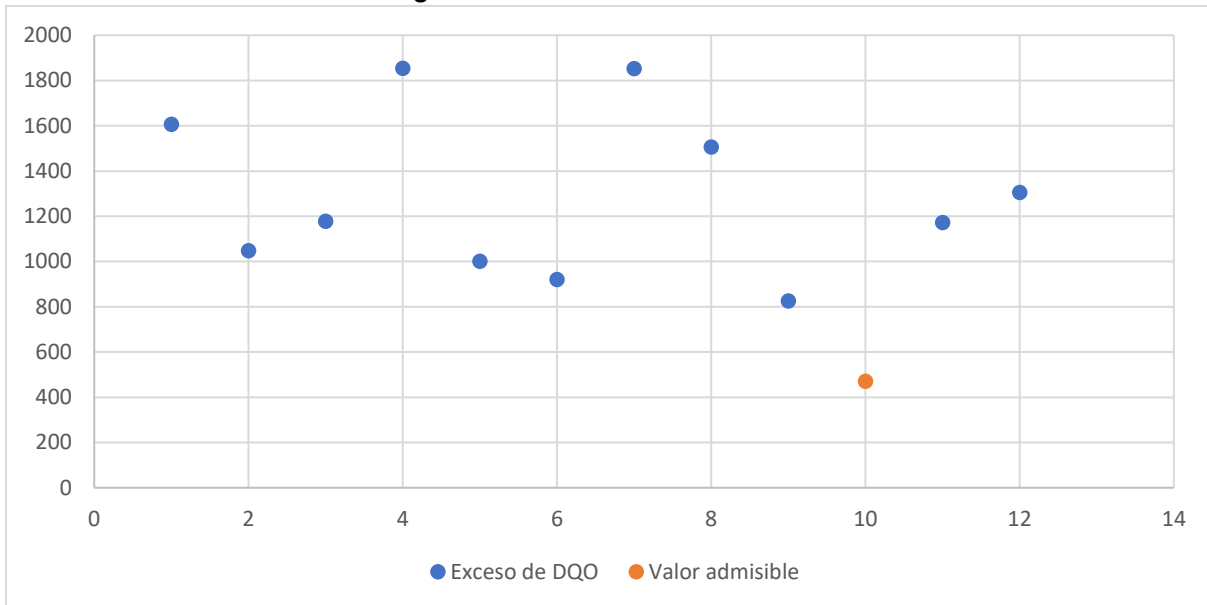
**Tabla 31***Niveles de contaminación del agua según su DBO*

| No | Rango           | Grado de contaminación          |
|----|-----------------|---------------------------------|
| 1  | 0 a 20 mg/L     | Agua potable                    |
| 2  | 21 a 100 mg/L   | Agua ligeramente contaminada    |
| 3  | 101 a 500 mg/L  | Agua moderadamente contaminada  |
| 4  | 501 a 3000 mg/L | Agua muy contaminada            |
| 5  | > 3000 mg/L     | Agua extremadamente contaminada |

Fuente: (AqueaNova, 2023)

**Figura 33***Grado de contaminación según DBO*

- **Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L):** Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica presente en el agua y a diferencia de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno será mayor debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente, se ha señalado: “El valor normal de la demanda química de oxígeno es de hasta 500mg/l” (AqueaNova, 2023)

**Figura 34***Grado de contaminación según DQO*

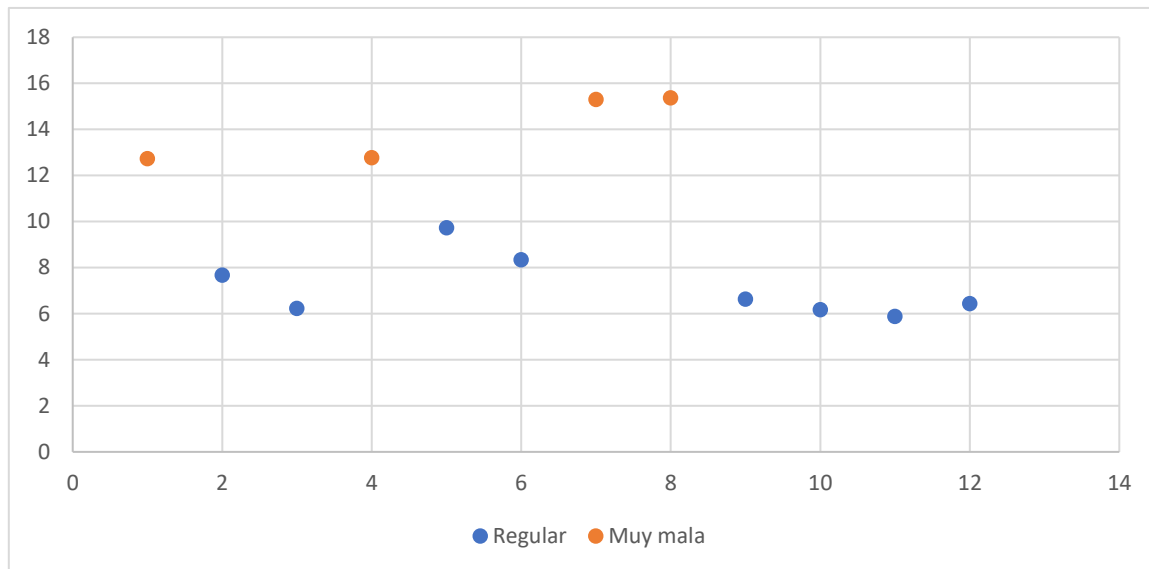
- **Fosforo (mg/L):** El fosforo se encuentra presente en el agua en forma de fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), a menudo las fuentes de agua reciben grandes cantidades de fosforo como producto de: actividades de fertilización agrícola, erosión del suelo o por medio de materia orgánica en descomposición producto de desechos industriales y granjas.

Los excesos de fosforo producen un fenómeno conocido como eutrofización, una de las principales problemáticas que afecta al recurso hídrico, que consiste en: “Un fenómeno que es parte del proceso natural de envejecimiento de los lagos que ocurre de forma lenta e independiente de la actividad humana, la eutrofización consiste en el crecimiento excesivo de fitoplancton y plantas acuáticas por aumento en la concentración de nutrientes como el fosforo” (García & Rosales, 2018), aunque las concentraciones de fosfatos pueden variar dependiendo del cuerpo de agua y el uso que se le dará, por ejemplo: Agua para consumo humano 0.1 ppm a 0.5 ppm mientras que en cuerpos de agua superficiales se ha señalado:

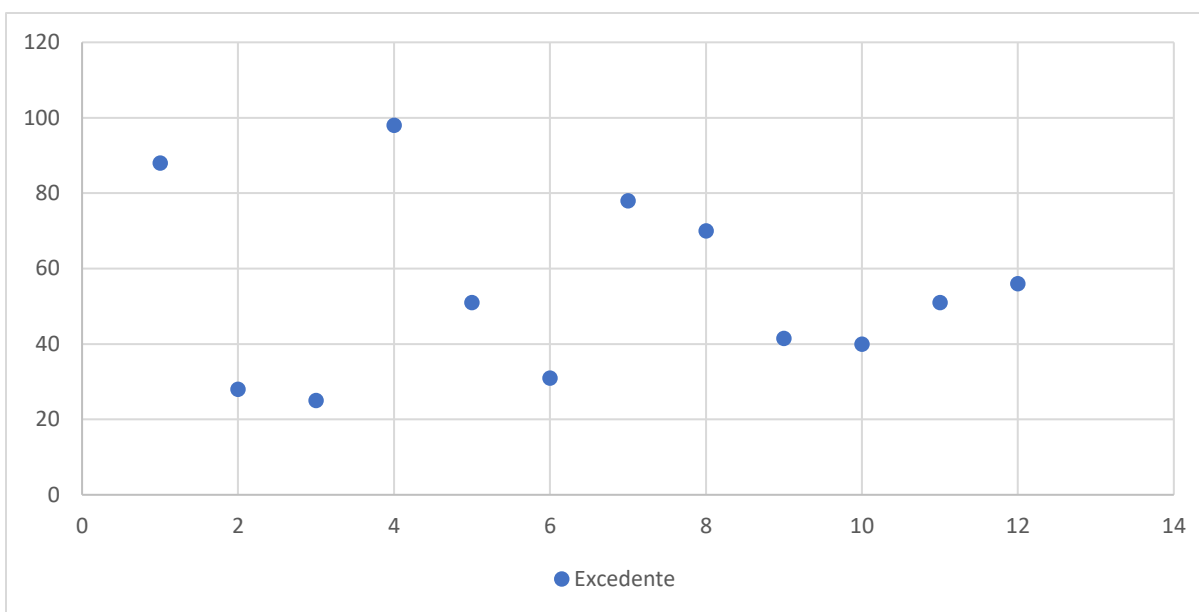
**Tabla 32***Calidad de aguas según su contenido de fosfatos*

| No | Rango             | Calidad del agua |
|----|-------------------|------------------|
| 1  | < 1.0 ppm         | Excelente        |
| 2  | 1.1 ppm – 4.0 ppm | Aceptable        |
| 3  | 4.1 ppm – 9.9 ppm | Regular          |
| 4  | > 10 ppm          | Muy mala         |

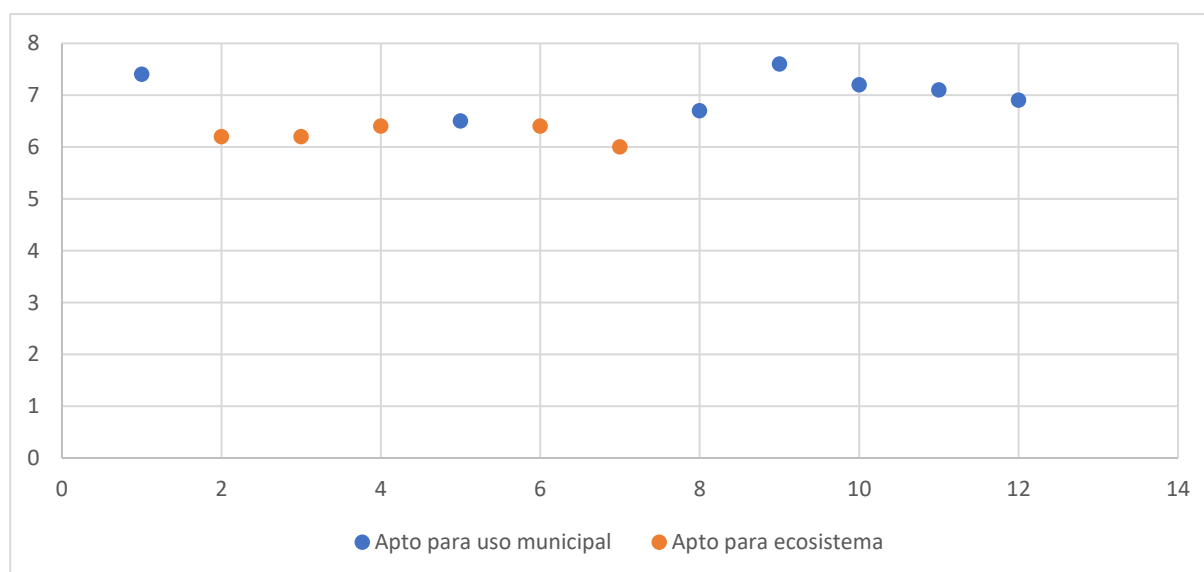
Fuente: (Enviro-SCI, 2011)

**Figura 35***Clasificación de aguas según su contenido de fosfatos*

- **Nitrógeno (mg/L):** El nitrato ( $\text{NO}_3$ ) es un compuesto de nitrógeno que se forma en el agua residual al convertirse en nitrato a través del nitrilo, es uno de los principales nutrientes en la naturaleza, sin embargo, el exceso de este en las aguas conlleva a alteraciones en los ecosistemas, pues el exceso de nitratos en el agua potencia el crecimiento de algas que a su vez conlleva al exceso de liberación de toxinas que puede producir la muerte peces, animales domésticos y riesgos para la salud de quienes consuman esta agua, enfermedades como parálisis o cáncer de hígado, de acuerdo a normativas sobre calidad del agua: “Los niveles de nitratos no deben exceder de las 10 partes por millón, en especial para aguas de potables de consumo público” (D.N.R., 2017)

**Figura 36***Clasificación de aguas según su contenido de nitratos*

- Potencial Hidrogeno (pH): En función del uso que se le dará al agua es permitido que el rango de pH pueda ampliarse o disminuir, por ejemplo, “agua con un pH de 6.5 a 8.5 es apta para suministro municipal, doméstico y agrícola, sin embargo, para no perturbar los ecosistemas marinos el rango ideal de pH debe ser de 7.0 a 8.5” (F.I., 2023), sin embargo, la mayoría de ambientes naturales poseen un pH entre 4 y 9

**Figura 37***Clasificación de aguas según su nivel de pH*

### 3.2.6. Conclusiones

A. La evaluación del grado de contaminación indica:

- Grupo Coliforme Fecal: En todos los puntos de desfogue los niveles fueron demasiado altos en comparación a los límites aceptados para el consumo humano, es decir que es agua no potable.
- DBO: La alta demanda de oxígeno para que las bacterias puedan descomponer la materia orgánica presente en el agua, indica los altos grados de contaminación del agua.
- DQO: Posee valores que aún se encuentran ligeramente por encima de lo admisible
- Fosfatos: Se han encontrado datos mixtos que comparten la característica de disminuir la calidad de agua, desde una categoría regular a una muy mala.
- Nitratos: Todos los puntos presentan excedentes en su contenido de nitratos
- pH: Los valores de pH se encuentran dentro de los límites aceptados para fuentes de agua de origen natural, sin embargo, el contacto excesivo con residuos agrícolas puede alterar el pH del agua por efecto de la escorrentía.

B. Los efectos que provoca el grado de contaminación de los factores evaluados son:

- Grupo Coliforme Fecal: La alta presencia de NMP en coliformes fecales implica una severa contaminación de los cuerpos de agua superficiales, haciendo que el consumo o de está propicie enfermedades causadas por *E. coli*.
- DBO: Altas demanda de oxígeno para la degradación de materia orgánica implica consecuencias para la flora y fauna acuática provocando su muerte por asfixia.
- DQO: Implica una acumulación de materia orgánica que no puede ser degradada por falta de oxígeno.
- Fosfatos: El consumo de aguas con fosfatos puede provocar daños a la salud, que van desde daños al sistema óseo y renal, mientras que en

condiciones naturales provoca un acelerado deterioro de los cuerpos de agua

- Nitratos: Provoca crecimiento desmedido de algas que destruye el balance en los ecosistemas acuáticos y si es consumida puede conllevar a problemas de hígado o parálisis.
- pH: Si se encuentra en un punto muy ácido o muy alcalino puede conllevar a dificultades en la aplicación de productos agrícolas y si es para consumo puede conllevar problemas de salud, pues el pH idóneo para agua potable es de 7.

### **3.2.7. Recomendaciones**

Las recomendaciones se basan en las establecidas por el acuerdo gubernativo 236-2006: (Guatemala, 2006):

- Tratamiento de aguas residuales:  
Se recomienda que por cada punto de desagüe debe haber una planta de tratamiento encargada de darle manejo, sin embargo, por las complicaciones de costos, sería más factible redistribuir los puntos de drenaje por medio de cambios a la red de drenaje.
- Educación y sensibilidad:  
Inculcar y fomentar el cumplimiento de normas de manejo de desechos líquidos, evitando que restos de pesticidas agrícolas, o abonos lleguen a los ríos.
- Mejoramiento de la infraestructura:  
Es recomendable que las autoridades inviertan en la mejora de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales, especialmente en áreas rurales y en municipios pequeños donde la cobertura de servicios de saneamiento es deficiente y las comunidades se ven en la necesidad de abastecerse del agua de los ríos que posee altos niveles de contaminación.

### **3.3. Servicio 3: Evaluación de amenaza por incendios forestales en el municipio de Mixco**

#### **3.3.1. Antecedentes**

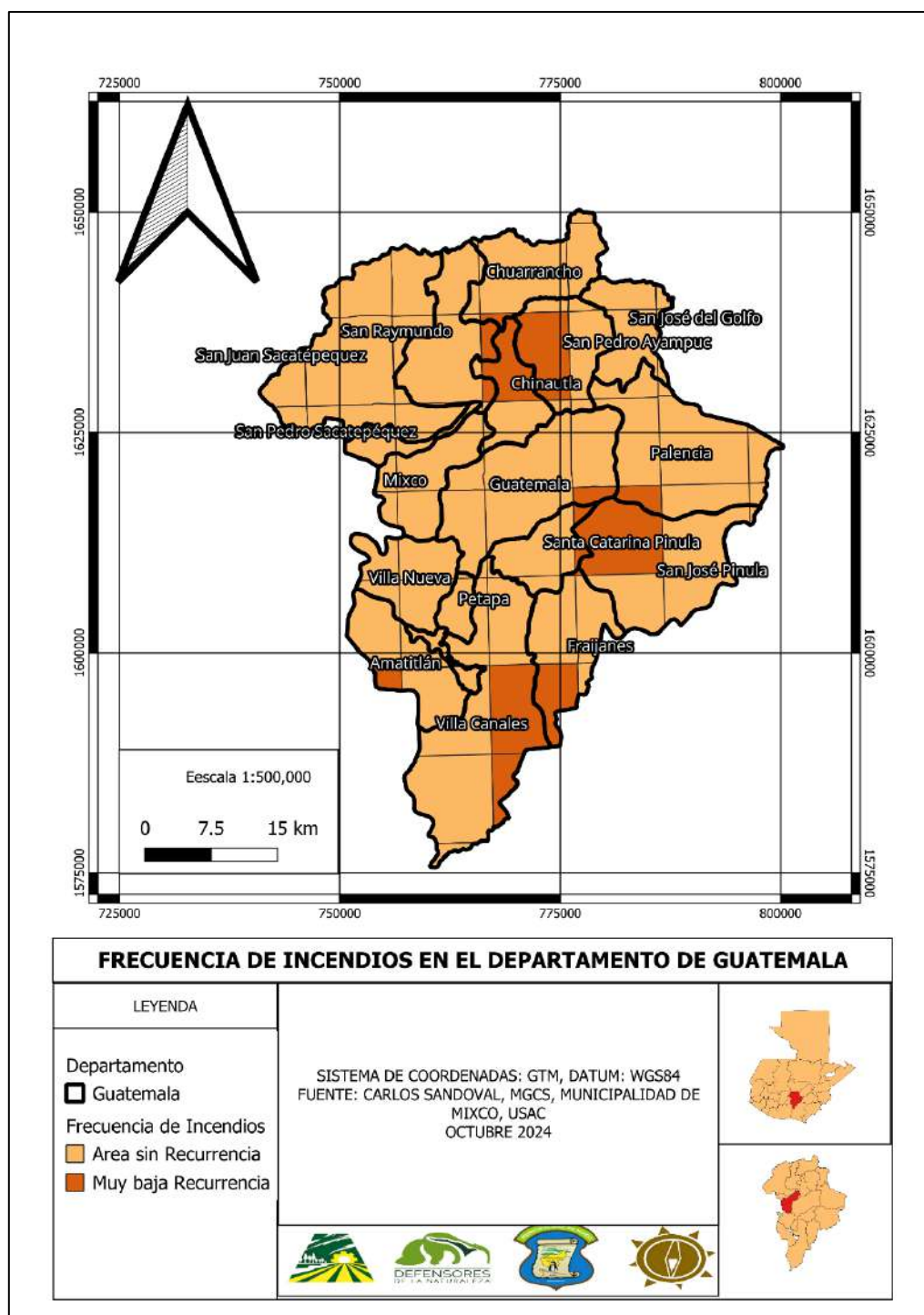
La dirección de planificación técnica, conformada por un equipo multidisciplinario cuya principal función es la planeación y ejecución de proyectos en pro de la población, entre estas actividades encontramos:

- Censos
- Mapas de distribución de víveres
- Evaluaciones para la toma de decisiones

Siendo esta ultima la actividad más importante, pues en base a análisis de eventos previos sirve de precedente para la toma de decisiones fundamentadas en pro de la población, en este caso una herramienta para la toma de decisiones fundamentada en incendios forestales ocurridos desde 2004

**Figura 38**

*Mapa de frecuencia de incendios forestales en los municipios del departamento de Guatemala*



### 3.3.2. Objetivos

1. Evaluar la distribución geográfica de los incendios ocurridos en Mixco en el periodo de 2004 a 2004
2. Evaluar la intensidad de los incendios ocurridos en Mixco en el periodo de 2004 a 2004
3. Describir factores que intervienen en el comportamiento de los incendios ocurridos en Mixco

### 3.3.3. Metas

1. Contribuir al desarrollo de herramientas en la toma de decisiones tanto de manera preventiva como correctiva
2. Proporcionar material georreferencial sobre incendios

### 3.3.4. Metodología

Los sistemas de información geográfica (SIG) han sustituido a las imágenes estáticas, permitiendo realizar monitoreos en tiempo real con el fin de generar datos más precisos, tal es el caso de los incendios forestales, permitiendo combatir el fuego de una manera mucho más eficiente, el software empleado para la recolección de información sobre incendios fue el sitio web NASA, por medio del sistema de información sobre incendios para la gestión de recursos naturales.

#### Figura 39

Software Firms NASA



Fuente: (NASA, 2012)

Por medio de dicho sitio web se accedió al navegador de mapas donde se descargó la información en base a los parámetros de espacio geográfico y periodo de estudio, dividido en tres partes:

1. Enero de 2004 a diciembre de 2009
2. Enero de 2010 a diciembre de 2019
3. Enero de 2020 a octubre de 2024

Con la información proporcionada se empleó el software Qgis para la elaboración de mapas temáticos que indiquen la distribución geográfica, la distribución por fechas, la intensidad, entre otros datos.

Los parámetros de evaluación son los siguientes:

- Tendencias temporales: El periodo de tiempo establecido bajo indicaciones de la dirección de planificación de la municipalidad de Mixco fue de 2004 a 2024, con el objetivo de identificar tendencias o patrones, es decir un tipo de sucesos recurrentes que originan dichos problemas.
- Distribución espacial: El municipio de Mixco posee un total de 11 zonas (enumeradas de 1 a 11) que en total representan una superficie de 132km<sup>2</sup>, pese a estar contenido en el área metropolitana posee grandes extensiones de áreas verdes, entre ellas la más importantes es la cordillera del cerro Alux, donde se ha señalado: "Parte del territorio de Mixco está cubierto por el área de Reserva Natural Forestal Protectora de Manantiales Cordillera Alux, que abarca una superficie de 21.96 km<sup>2</sup>, es decir representa más del 15% del territorio de Mixco" (SEGEPLAN, 2018)
- Intensidad de incendios: La intensidad del fuego se refiere a la tasa de energía terminal que libera de una fuente de combustible, expresada en unidades de calor (calorías) o poder (wats)

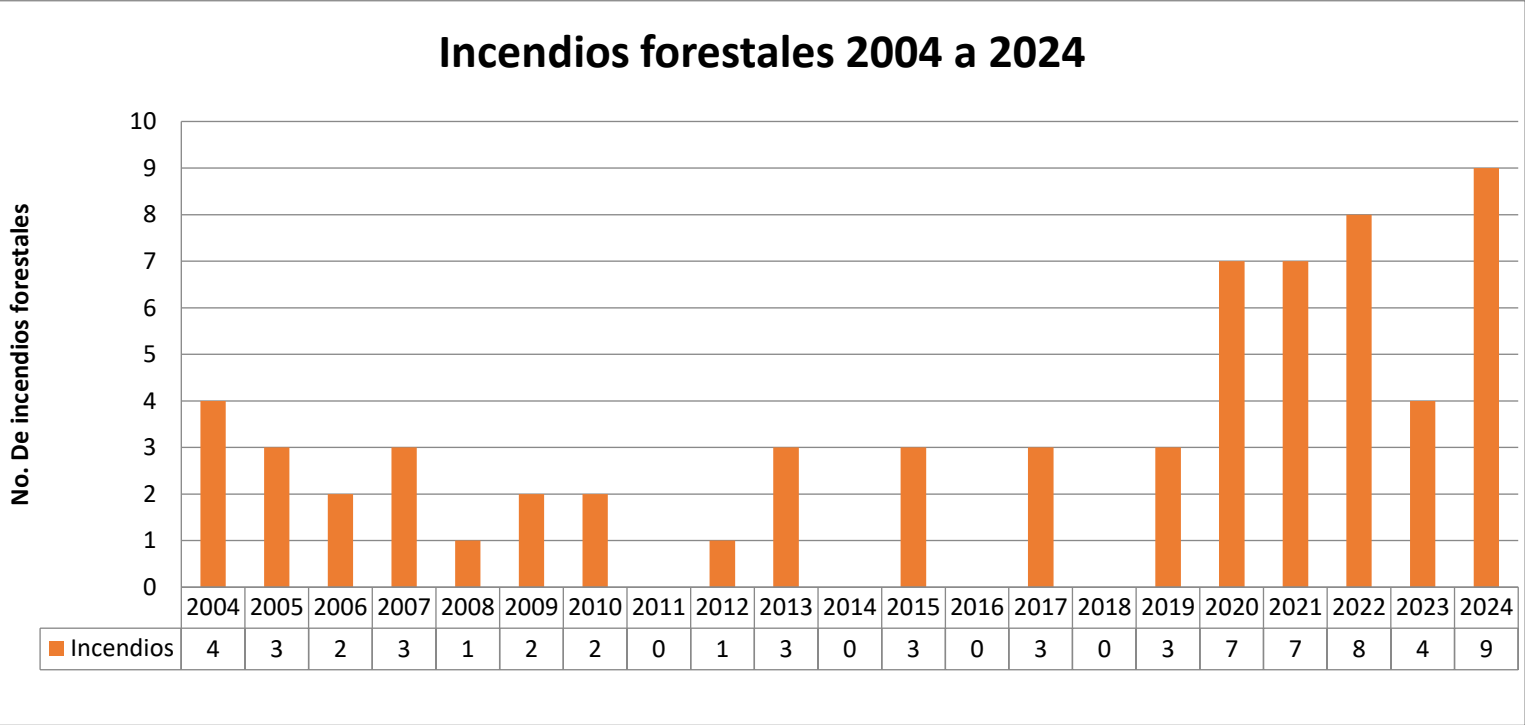
3.3.5. Resultados

Durante el periodo de estudio que comprende del año de enero de 2004 hasta octubre de 2024 se han detectado un total 65 incendios forestales en el municipio de Mixco, evidenciando un incremento considerable durante los últimos 5 años, una cifra preocupante pues, durante el periodo de 2004 a 2019 nunca se sobrepasó el numero de 5 incendios forestales al año, mientras que en los últimos 5 años la cifra de 5 incendios anuales es la más baja.

Varias son las razones que contribuyen a esta cifra, desde actividades humanas, fenómenos naturales, fallas en redes eléctricas, mal manejo agronómico y ambiental de los recursos, cambio climático entre muchas otras.

Tal abundancia de incendios es preocupante pues implica daños irreversibles a los factores bióticos (flora y fauna) y abióticos (agua, suelo y aire) del ecosistema, pérdidas materiales por daños a construcciones, viviendas y caminos sin olvidar el riesgo de daños o muerte a personas que se vean afectados por los mismos.

Figura 40  
Conteo de incendios forestales en Mixco de 2004 a 2024



Fuente: Elaborado en base a los datos proporcionados por (NASA, 2012)

**Tabla 33***Información general de incendios ocurridos en el periodo 2004 a 2009*

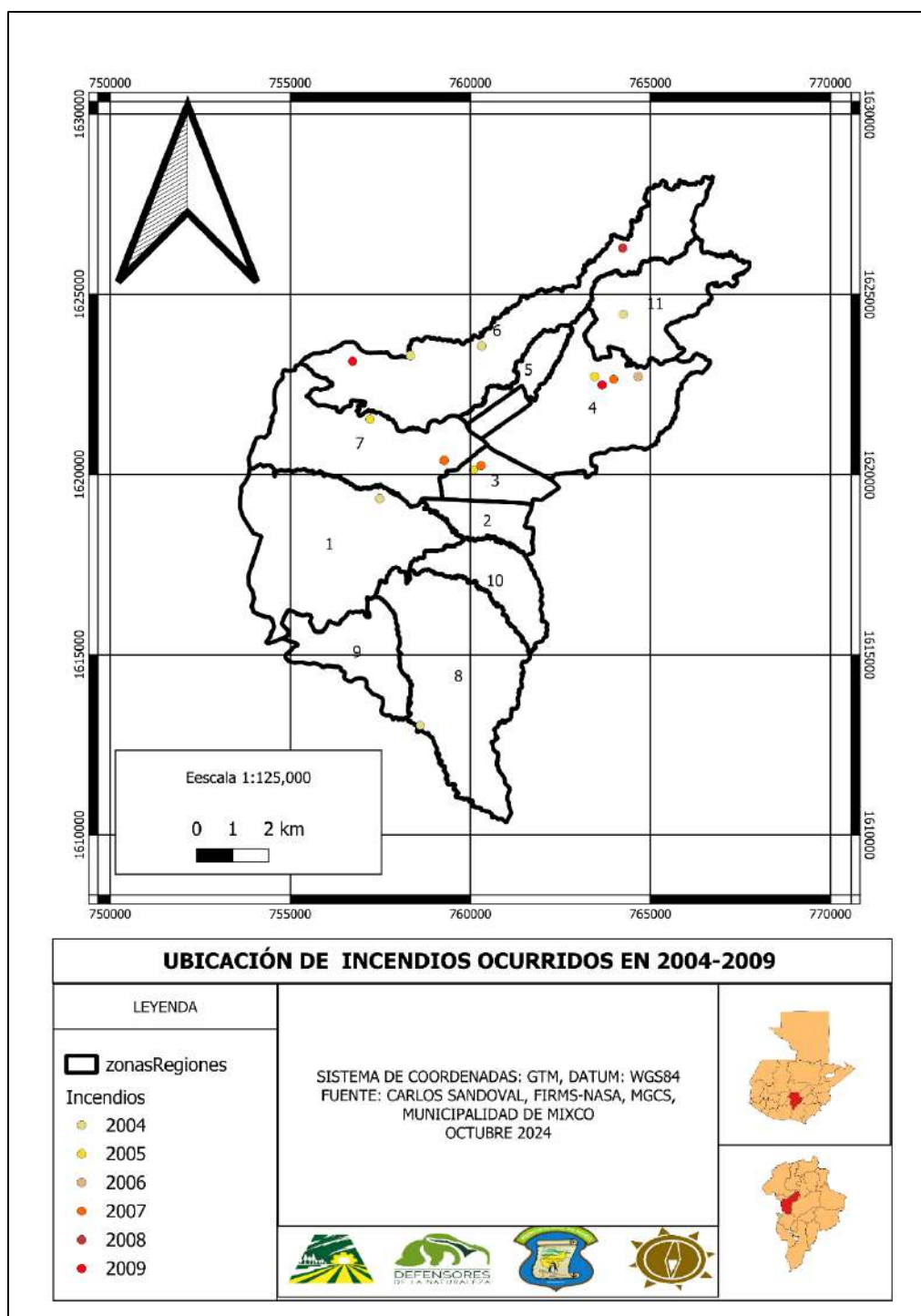
| No. | Fecha      | Zona | Brillo |
|-----|------------|------|--------|
| 1   | 14/02/2004 | 11   | 321    |
| 2   | 3/03/2004  | 1    | 326.3  |
| 3   | 17/03/2004 | 8    | 324.3  |
| 4   | 14/04/2004 | 6    | 324.8  |
| 5   | 14/04/2004 | 6    | 329.3  |
| 6   | 16/02/2005 | 4    | 320    |
| 7   | 13/03/2005 | 7    | 326.2  |
| 8   | 19/04/2005 | 3    | 328.5  |
| 9   | 23/03/2006 | 4    | 335    |
| 10  | 20/02/2007 | 4    | 325    |
| 11  | 8/03/2007  | 7    | 322.9  |
| 12  | 8/03/2007  | 3    | 317.8  |
| 13  | 21/03/2008 | 6    | 329.1  |
| 14  | 30/01/2009 | 4    | 323.4  |
| 15  | 16/04/2009 | 6    | 335    |

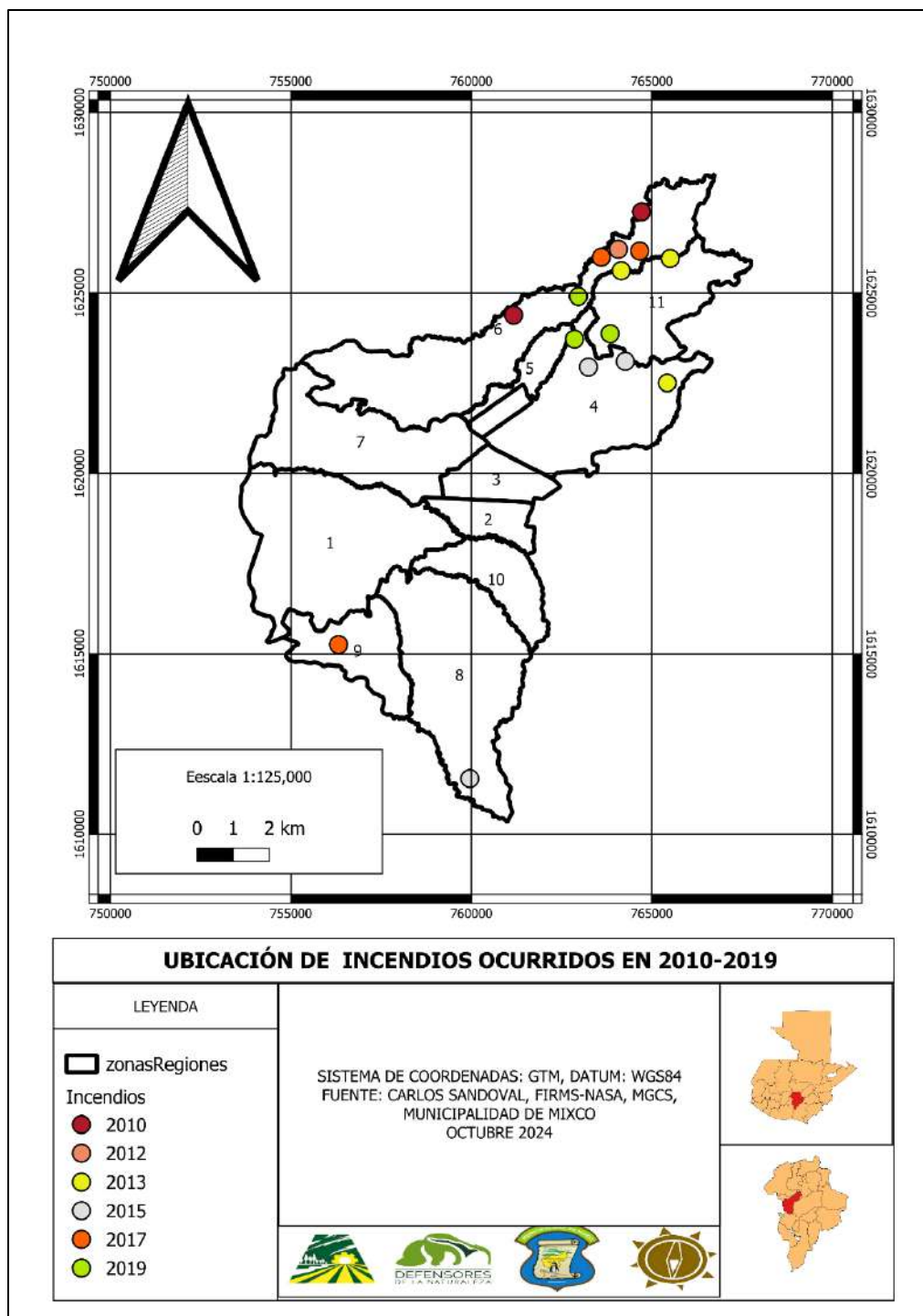
**Tabla 34***Información general de incendios ocurridos en el periodo 2010 a 2019*

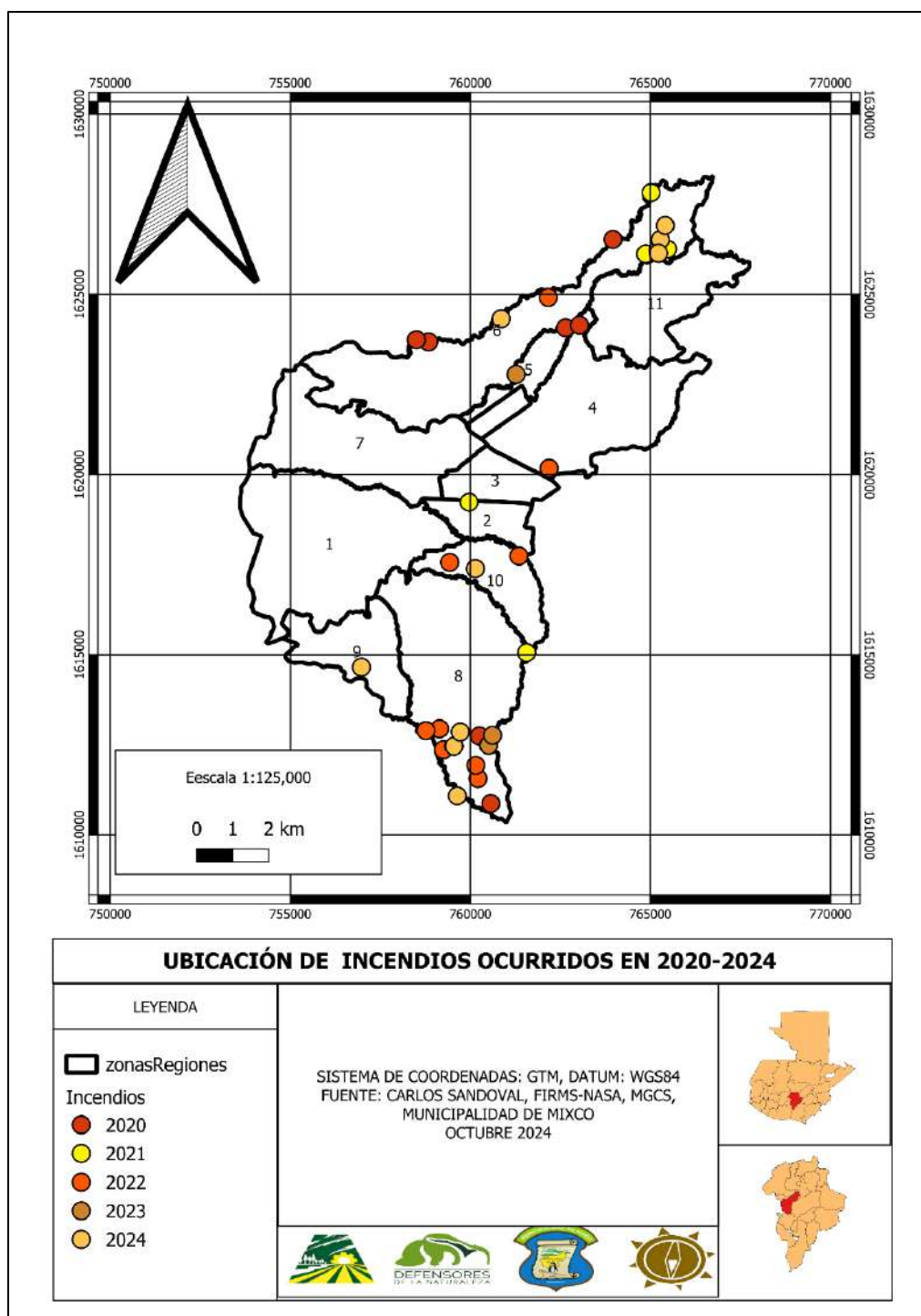
| No. | Fecha      | Zona | Brillo |
|-----|------------|------|--------|
| 1   | 16/03/2010 | 6    | 327.8  |
| 2   | 12/04/2010 | 6    | 329.4  |
| 3   | 3/03/2012  | 6    | 320.6  |
| 4   | 10/03/2013 | 4    | 322.8  |
| 5   | 17/05/2013 | 6    | 328.3  |
| 6   | 17/05/2013 | 6    | 329.3  |
| 7   | 23/03/2015 | 4    | 328.2  |
| 8   | 23/03/2015 | 4    | 330.6  |
| 9   | 28/04/2015 | 8    | 324.1  |
| 10  | 1/03/2017  | 9    | 331.8  |
| 11  | 15/04/2017 | 6    | 364.7  |
| 12  | 15/04/2017 | 6    | 328.1  |
| 13  | 12/04/2019 | 11   | 325.9  |
| 14  | 12/04/2019 | 4    | 335.2  |
| 15  | 12/04/2019 | 6    | 327.8  |

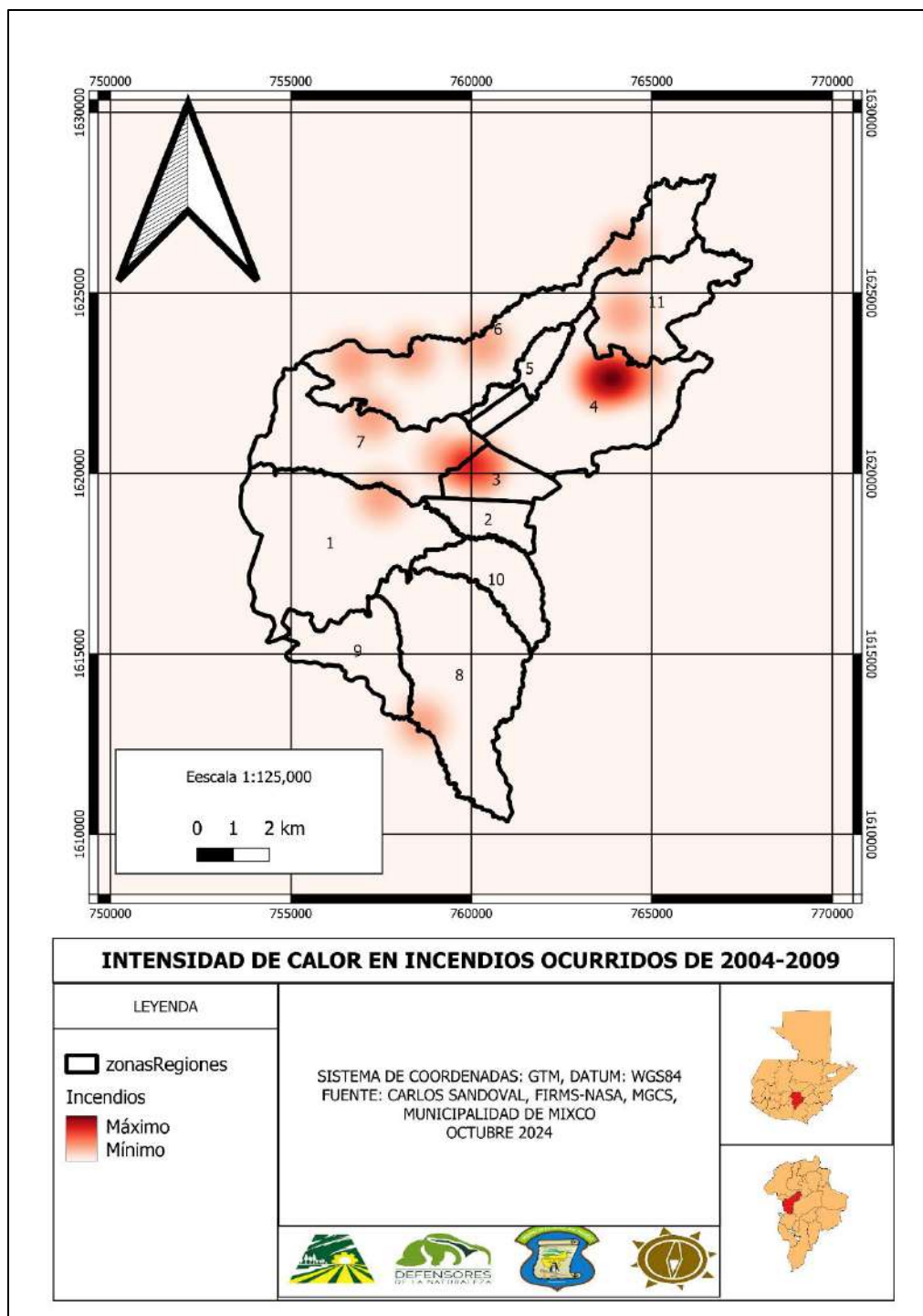
**Tabla 35***Información general de incendios ocurridos en el periodo 2020 a 2024*

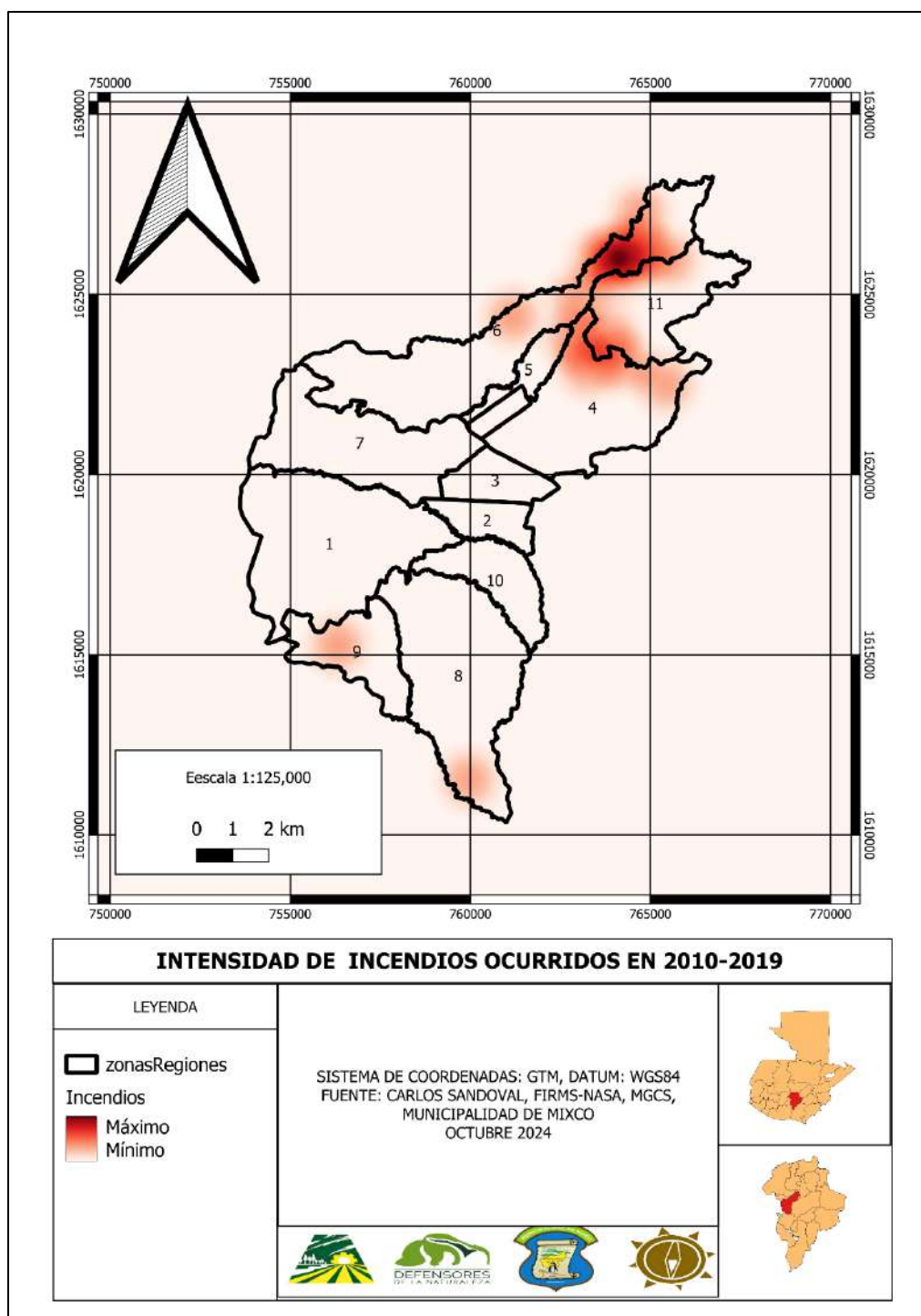
| No. | Fecha      | Zona | Brillo |
|-----|------------|------|--------|
| 1   | 15/03/2020 | 5    | 331.32 |
| 2   | 15/03/2020 | 4    | 334.89 |
| 3   | 16/03/2020 | 6    | 333.72 |
| 4   | 18/03/2020 | 8    | 340.64 |
| 5   | 18/03/2020 | 8    | 353.94 |
| 6   | 24/04/2020 | 6    | 342.07 |
| 7   | 24/04/2020 | 6    | 341.27 |
| 8   | 25/03/2021 | 6    | 335.12 |
| 9   | 10/04/2021 | 6    | 338.26 |
| 10  | 10/04/2021 | 6    | 338.18 |
| 11  | 11/04/2021 | 8    | 301.14 |
| 12  | 11/04/2021 | 2    | 334.75 |
| 13  | 30/04/2021 | 6    | 343.23 |
| 14  | 1/12/2021  | 4    | 329.18 |
| 15  | 3/02/2022  | 6    | 330.93 |
| 16  | 16/02/2022 | 4    | 336.13 |
| 17  | 3/04/2022  | 8    | 337    |
| 18  | 3/04/2022  | 8    | 367    |
| 19  | 3/04/2022  | 8    | 337.41 |
| 20  | 5/04/2022  | 8    | 334.93 |
| 21  | 5/04/2022  | 8    | 345.03 |
| 22  | 6/04/2022  | 10   | 336.23 |
| 23  | 12/04/2023 | 10   | 336.97 |
| 24  | 14/04/2023 | 5    | 345.96 |
| 25  | 23/04/2023 | 8    | 333.4  |
| 26  | 8/05/2023  | 8    | 331.21 |
| 27  | 20/02/2024 | 10   | 332.56 |
| 28  | 24/02/2024 | 6    | 318.33 |
| 29  | 24/02/2024 | 6    | 303.44 |
| 30  | 25/02/2024 | 6    | 295.84 |
| 31  | 13/03/2024 | 8    | 305.23 |
| 32  | 13/03/2024 | 8    | 304.88 |
| 33  | 25/03/2024 | 9    | 346.73 |
| 34  | 25/03/2024 | 6    | 344.42 |
| 35  | 11/04/2024 | 8    | 340.12 |

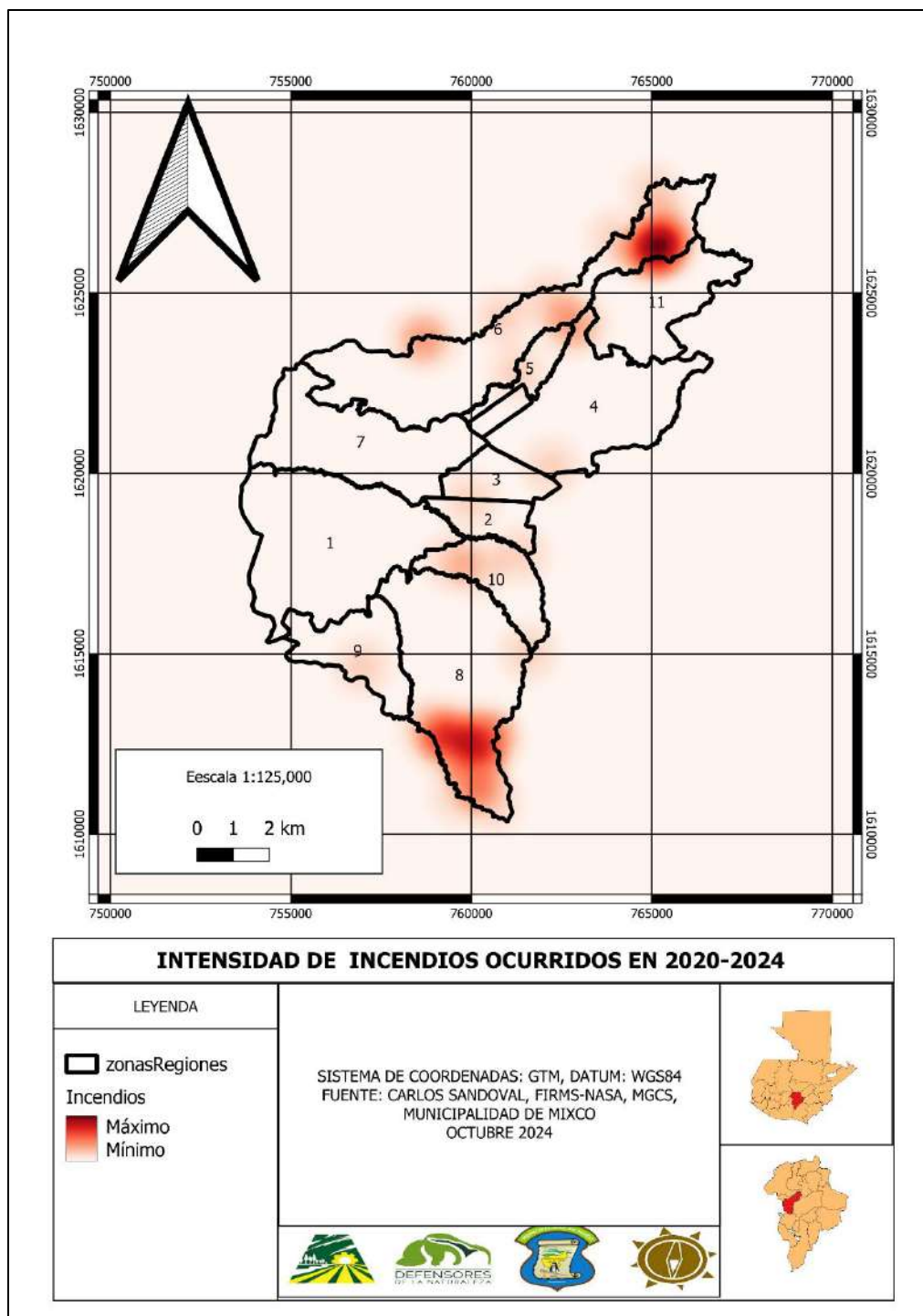
**Figura 41***Ubicación de incendios ocurridos en 2004 a 2009*

**Figura 42***Ubicación de incendios ocurridos en 2010 a 2019*

**Figura 43***Ubicación de incendios ocurridos en 2020 a 2024*

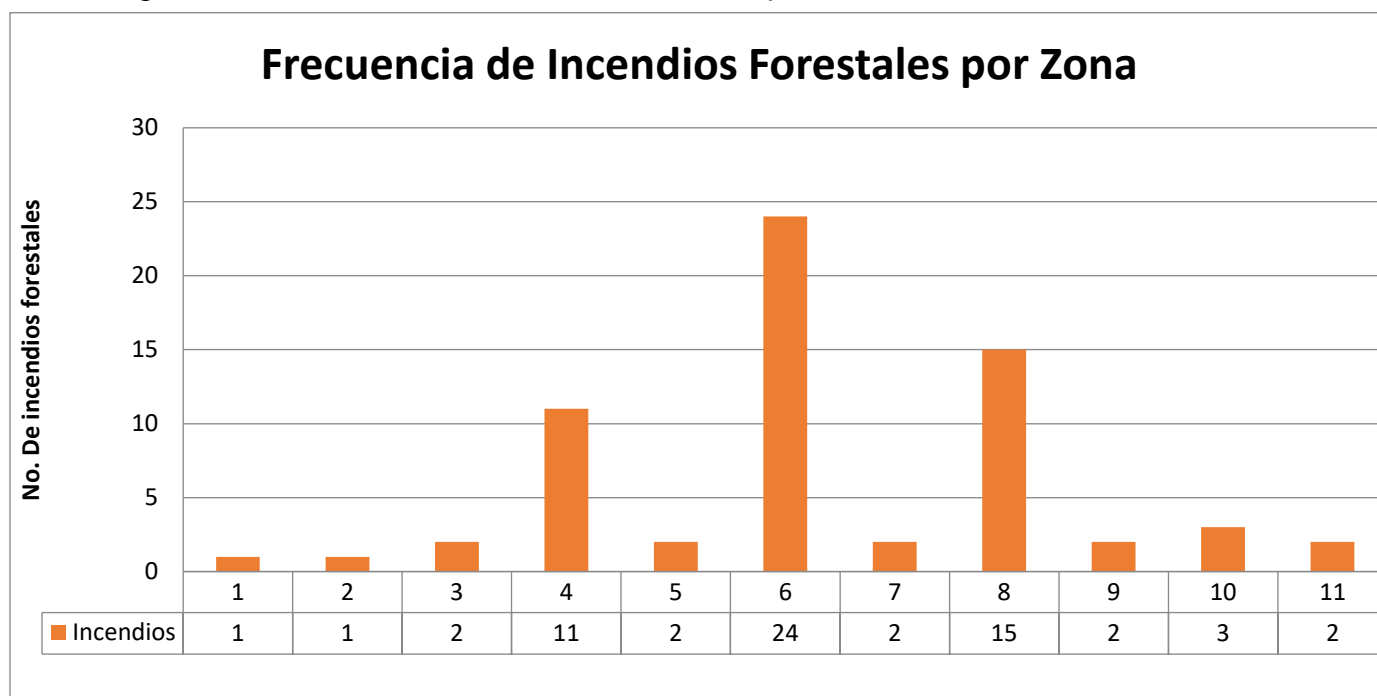
**Figura 44***Intensidad de incendios ocurridos en 2004 a 2009*

**Figura 45***Intensidad de incendios ocurridos en 2010 a 2019*

**Figura 46***Intensidad de incendios ocurridos en 2020 a 2024*

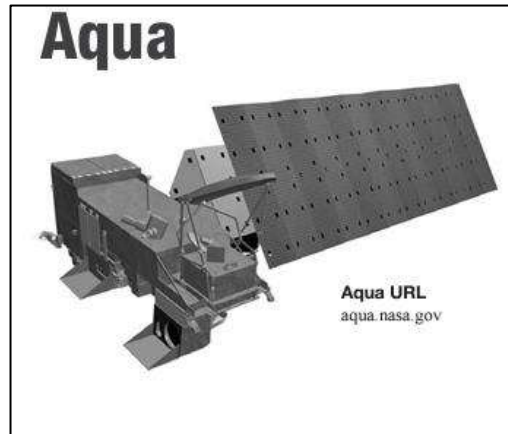
Distribución Geográfica: Las zonas que poseen una mayor frecuencia de incendios forestales, son las zonas 4, 6 y 8, zonas con una amplia extensión territorial, grandes espacios forestales y alta concentración poblacional, factores que representan un peligro para la población en dichas zonas, en contraparte el resto de zonas han presentado una frecuencia de incendios forestales considerablemente baja, en especial la zona 1 de Mixco que es donde se encuentra parte de la reserva natural del cerro Alux.

Figura 47: Frecuencia de incendios forestales por cada zona de Mixco



Evaluar la intensidad de los incendios ocurridos en Mixco en el periodo de 2004 a 2024: La medición de la intensidad de los incendios se realizó por medio de las imágenes satelitales captadas por el satélite Aqua, "Satélite lanzado con éxito por la NASA el 4/5/2002 con el fin de servir para estudios medio ambientales, con la capacidad de medir brillo, coberturas, temperaturas, humedad, nubes, etc." (Earth-Science, 2007)

**Figura 48**  
**Satélite Aqua**



Fuente: (Earth-Science, 2007)

Para evaluar el brillo se empleó la unidad nm, donde todos los incendios evaluados se encontraron en el rango inferior a los 370nm, lo que significa que es imperceptible al ojo humano, debido a: “La luz visible, es decir las ondas electromagnéticas a las que el ojo humano está adaptado se encuentran en el rango de 400nm (violeta) y 700 nm (rojo)” (Garcia, 2012).

Describir factores que intervienen en el comportamiento de los incendios ocurridos en Mixco: Los bosques o áreas forestales, son extensiones de tierra que albergan un gran número de plantas de hábito arbóreo, imprescindibles para la vida en el planeta, ya que cumplen con distintas funciones ecológicas, tales como:

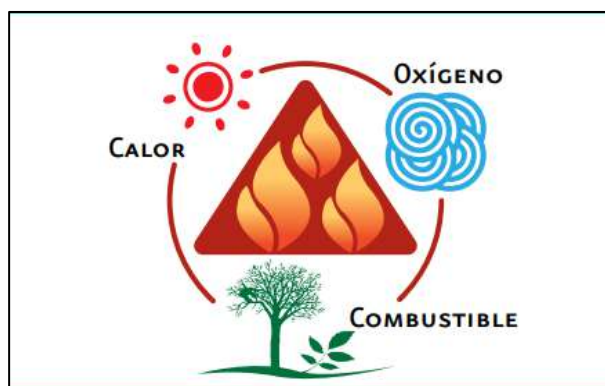
- Fuente de recursos naturales
- Generación de oxígeno
- Captación de carbono y asimilación de contaminantes
- Conservación y recuperación de suelo
- Proteger la biodiversidad, etc.

Sin embargo, dichas áreas se ven afectadas por distintas actividades de origen humano y natural, tales como los incendios forestales, definidos como: “fuegos no controlados que están relacionados a actividades humanas como la agricultura, ganadería y desarrollo humano, que se extiende de manera descontrolada, afectando los bosques, selvas o vegetación en zonas áridas y semiáridas” (Forestal, 2010). Se estima que más del 90% de los incendios forestales son causados por actividades humanas mientras que el resto son de origen natural por fenómenos naturales, existen factores que propician un incendio forestal:

- Calor (origen del fuego)
- Oxígeno (presente en la atmosfera)
- Combustible (materia inflamable como madera y restos vegetales)

**Figura 49**

*Triangulo de elementos que forman un incendio*



Fuente: (INAB, 2022)

Por las causas de origen del incendio forestal estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

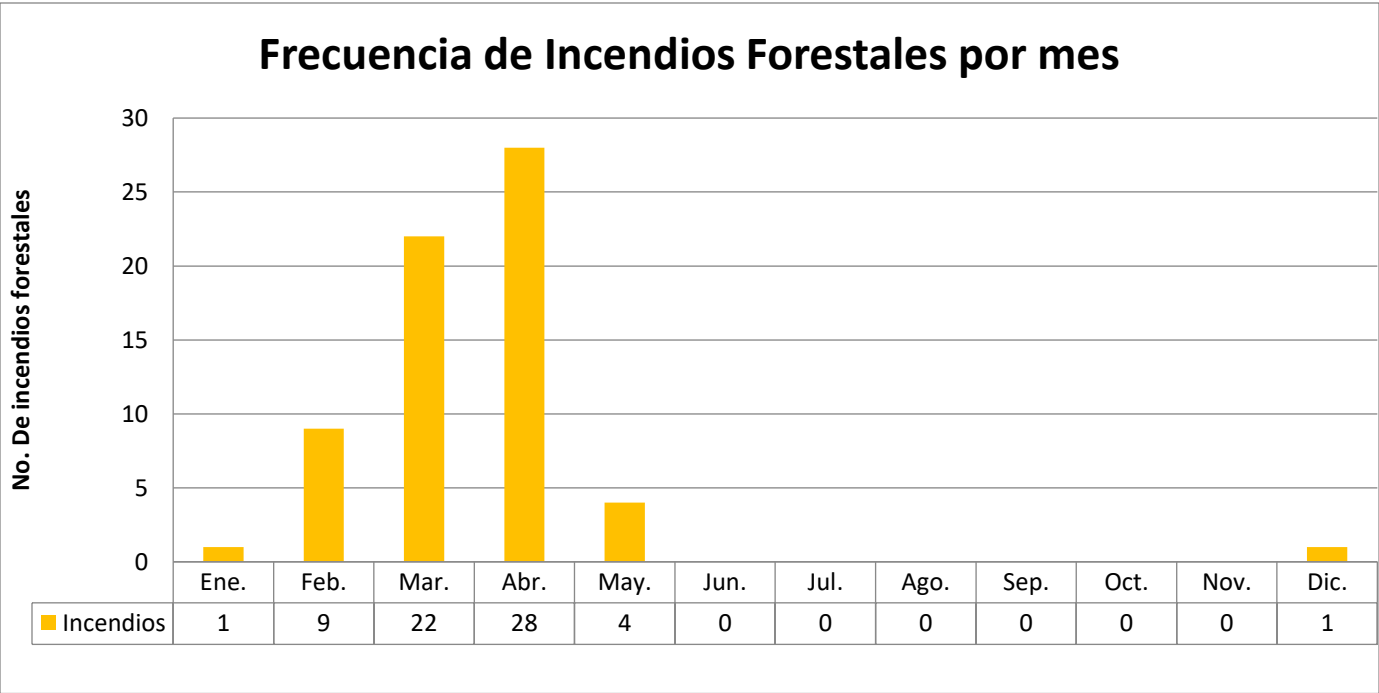
**Tabla 36**

*Causas de incendios forestales*

| Causa         | Descripción                                                                                                                                                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Accidentales  | Rupturas de líneas eléctricas, accidentes automovilísticos, ferroviarios y aéreos.                                                                                                      |
| Negligencias  | Quemas agropecuarias no controladas, fogatas de excursionistas mal apagadas, fumadores, quema de basura, limpieza de vías en carreteras y uso de fuego en otras actividades productivas |
| Intencionales | Quemas a causa de conflictos personales o territoriales, tala ilegal o litigios.                                                                                                        |
| Naturales     | Caída de rayos, erupciones volcánicas y condiciones climáticas adversas que favorezcan la propagación de incendios.                                                                     |

Guatemala por su ubicación geográfica posee un clima tropical, donde no hay estaciones, sino épocas según su contenido de lluvias, la época lluviosa (del mes de mayo al mes de octubre) y la época seca (del mes de noviembre al mes de abril), la época seca es la más propensa a incendios forestales por la cantidad de material vegetal seco, las altas temperaturas y viento que favorece la propagación de incendios.

**Figura 50**  
*Grafica de la frecuencia de incendios por mes*



### **3.3.6. Conclusiones**

1. Las zonas que han demostrado estar más expuestas a incendios forestales son las zonas 4, 6 y 8 de Mixco, zonas con altas concentraciones poblacionales y amplias áreas verdes.
2. Los incendios forestales han presentado un rango de intensidad similar en base a la unidad de medida de brillo, donde todas fueron superiores a los 300 nm pero ninguno supero los 370 nm indicando que fue una intensidad moderada sin repercusiones a gran escala
3. Los incendios forestales al ser fenómenos altamente destructivos que en su mayoría son de origen humano a causa de descuidos, negligencias

### **3.3.7. Recomendaciones**

- Aumentar las medidas preventivas durante la época de mayor frecuencia de incendios forestales, es decir la época seca con un especial énfasis a los meses de febrero a mayo donde factores como las altas temperaturas, déficit hídrico, baja humedad y el viento propician la dispersión de incendios forestales
- Ya que la mayor parte de incendios forestales son causados por actividades humanas, las autoridades locales hacen las siguientes recomendaciones: “Evitar fogatas en la época seca, dados los fuertes vientos, evitar la quema de basura y para zonas forestales los monitoreos constantes para evitar actividades ilícitas como tala ilegal o extracción de miel “ (INAB, 2022)

### 3.4. Bibliografía

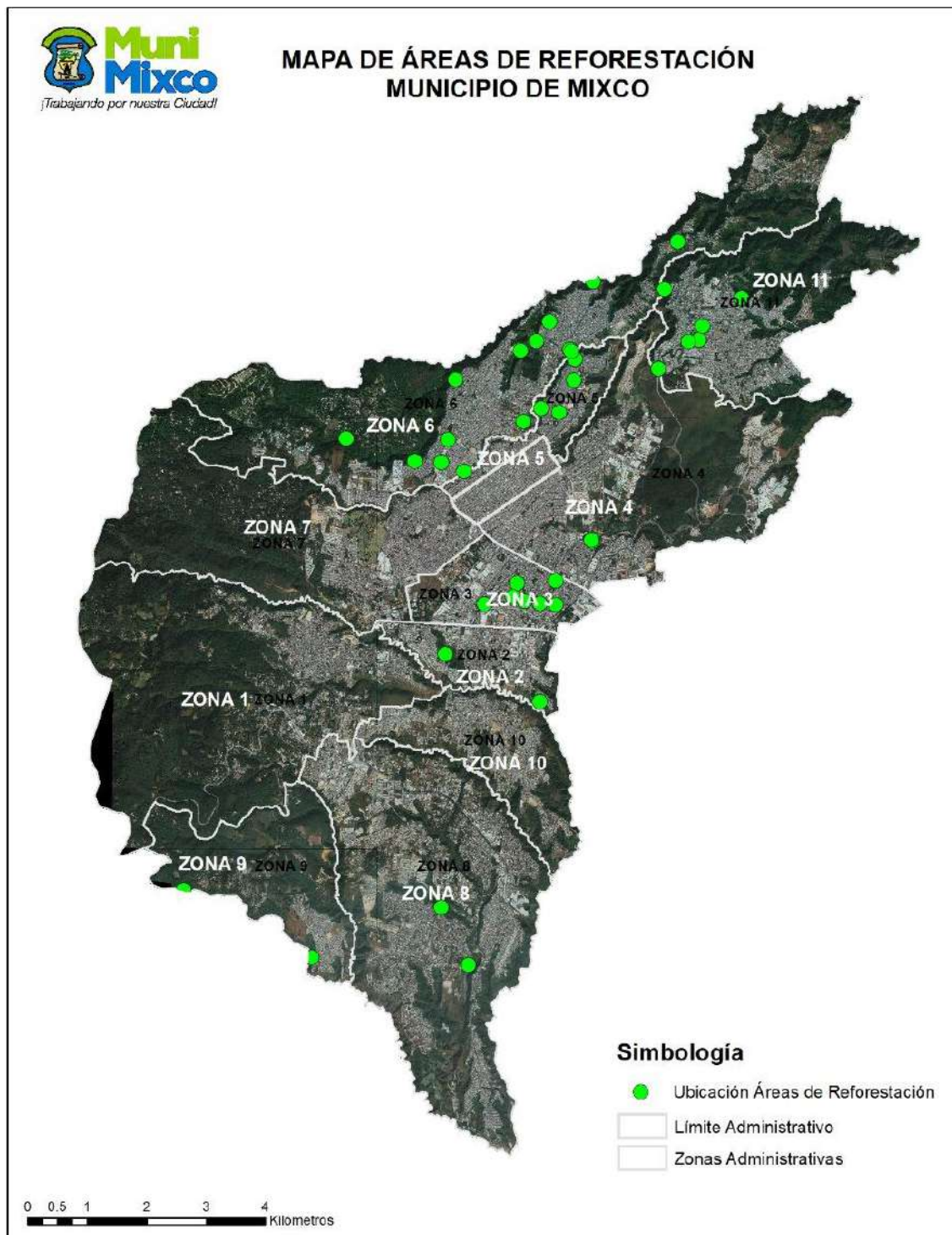
- AqueaNova. (Agosto de 2023). *Ques es la DBO y DQO*. Obtenido de <https://www.aquanova.es/2020/04/que-es-el-dbo-y-dqo/>
- CopernicusBrowser. (2019). *Copernicus Browser*. Obtenido de <https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=10&lat=14.70781&lng=-90.4985&themeld=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=U2FsdGVkX1%2F%2FGZV1lcT0BQS3sOIZFT%2F16ktAm23NWvfxqtWqLJTQVKKvbpwTrFAPTx75789ntVL51lotZW%2FtrOnZ5K4rw6NNK6MtLLkXu3SPQ9QKquG1487IZcKUr0&data>
- D.N.R. (2017). *Nitrate in Drinking Water DG032 2017*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/<https://dnr.wisconsin.gov/sites/default/files/topic/DrinkingWater/Publications/DG032.pdf>
- Earth-Science. (2007). *Aqua*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/<https://atrain.nasa.gov/publications/Aqua.pdf>
- Enviro-SCI. (2011). *Fosfatos*. Obtenido de [https://ei-lehigh-edu.translate.google.com/translate/en/es/wq/wqbackground/phosphatesbg.html?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=sge#:~:text=A%20reading%20between%201.1%2D4.0%20mg/L%20is%20good.](https://ei-lehigh-edu.translate.google.com/translate/en/es/wq/wqbackground/phosphatesbg.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=A%20reading%20between%201.1%2D4.0%20mg/L%20is%20good.)
- F.I. (2023). *Folleto informativo pH*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/[https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf)
- García, F. G., & Rosales, V. M. (2018). *EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/[https://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2\\_Parte1\\_Eje3\\_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf](https://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf)
- García, S. (2006). *ESTUDIO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES E IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHE*. Obtenido de <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-02430.pdf>
- Garcia, S. (2012). *Instrumentos de observación*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/<https://webs.um.es/gregomc/IntroduccionAstronomia/Temas/04%20INSTRUMENTOS%20DE%20OBSERVACION.pdf>
- Guatemala. (2006). *Acuerdo Gubernativo 236*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/<https://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2016/04/07-Acuerdo-Gubernativo-236-2006.pdf>
- INAB. (2022). *Boletín Informativo*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/<https://www.inab.gob.gt/images/boletines/2022/abril/Recomendaciones%20incendios%20forestales.pdf>

- INEGI. (2021). *Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI Landsat*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_e struc/889463908272.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_e struc/889463908272.pdf)
- NASA. (2012). *Sistemas de información sobre incendios para la gestión de recursos*. Obtenido de <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- Padilla, T. (2023). *Curso: Calidad del agua*. Ciudad de Guatemala: USAC.
- SEGEPLAN. (2018). *Plan de desarrollo municipal 2017 a 2032*. Obtenido de [https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/07/108\\_PDM\\_OT\\_Mixco.pdf](https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/07/108_PDM_OT_Mixco.pdf)

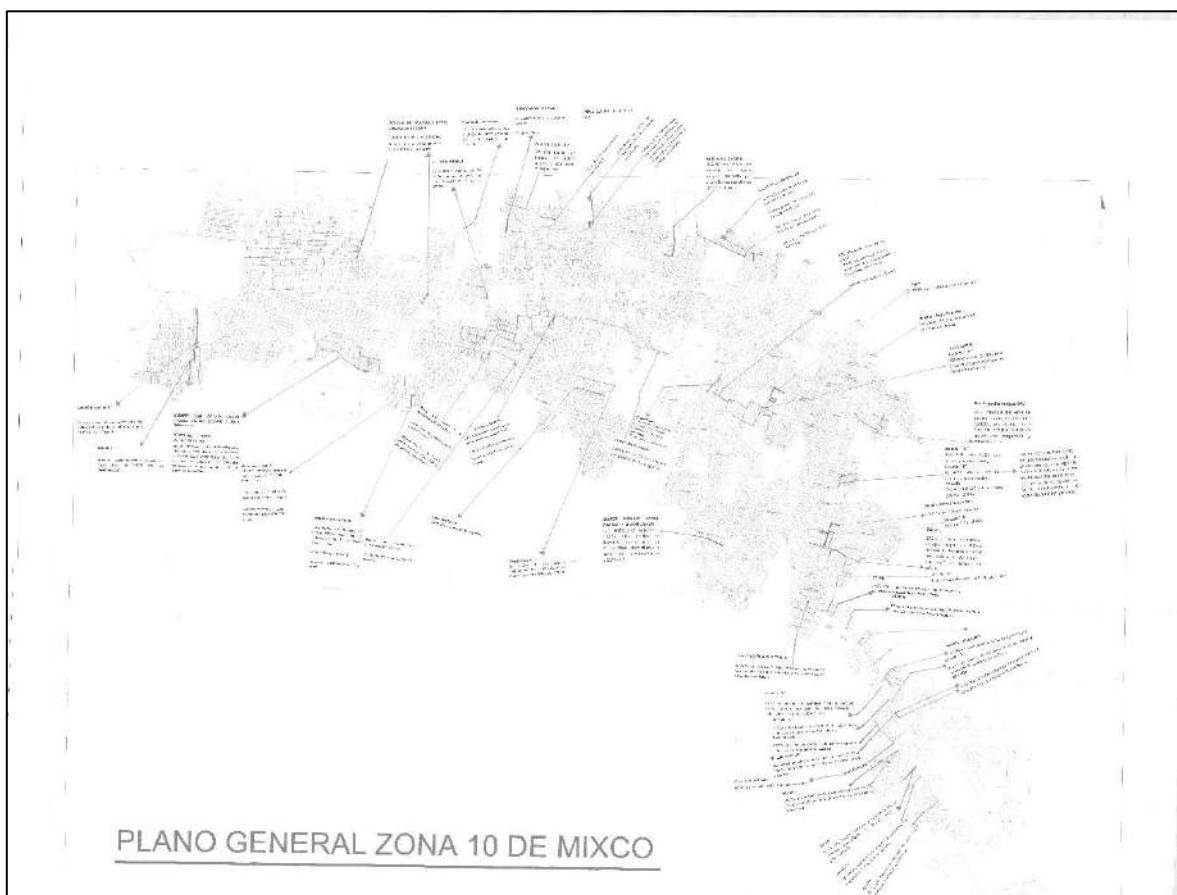
### 3.5. Anexos

**Figura 51A**

*Material georreferencial de zonas reforestadas disponible*



**Figura 52A**  
*Red de drenaje sanitario y pluvial de zona 10*

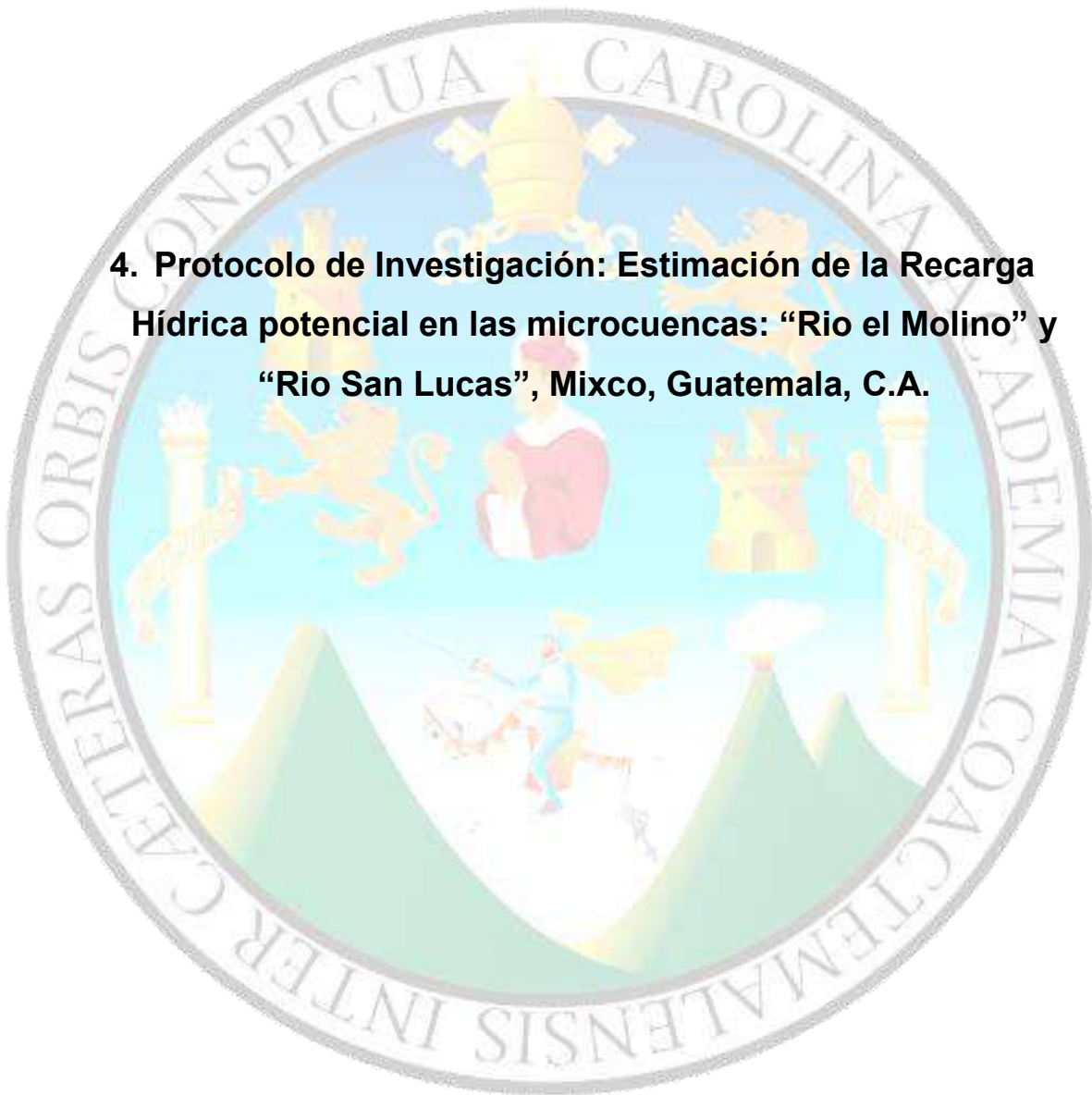


**Figura 53A**  
*Manejo del software Firms NASA*





**4. Protocolo de Investigación: Estimación de la Recarga  
Hídrica potencial en las microcuencas: “Rio el Molino” y  
“Rio San Lucas”, Mixco, Guatemala, C.A.**





#### 4.1. Resumen

##### **Determinación De La Recarga Hídrica Potencial En Las Microcuencas: Rio Molino Y Rio San Lucas Y Propuesta De Lineamientos En El Fortalecimiento En La Restauración Forestal, Mixco, Guatemala, C.A.**

##### **POTENTIAL WATER RECHARGE ESTIMATION FOR MOLINO AND SAN LUCAS RIVERS MICRO BASINS AND FOREST RESTORED-RELATED GUIDANCE PROPOSAL IN THE TOWNSHIP OF MIXCO, GUATEMALA, C.A.**

El municipio de Mixco ubicado en la parte norte de la sub cuenca hidrográfica del lago de Amatitlán, representa un punto estratégico para el manejo apropiado de los recursos naturales, concentrando una gran cantidad de centros urbanos, abastecidos de agua por medio de la recarga de acuíferos, por medio del agua de lluvia que cae a la superficie terrestre en forma de precipitación pluvial, desplazándose a través del suelo en el proceso denominado como recarga hídrica.

La recarga hídrica es un proceso natural en el que influyen numerosos factores tales como el clima, el suelo, la formación geológica, el relieve, vegetación y propiedades físicas del suelo, factores determinados mediante el uso de distintas metodologías como: Evapotranspiración por el método de Hargreaves; velocidad de infiltración por el método de Porchet y determinación de recarga potencial por medio de balances hídricos bajo la metodología de Gunther Schokinsky, estos factores han permitido la clasificación de zonas críticas de recarga hídrica, áreas que de no someterse a un manejo apropiado corren el riesgo de disminuir su capacidad de recarga hídrica.

El municipio de Mixco posee extensas áreas impermeables que impiden el paso de agua, esta problemática se ve reflejada en los resultados obtenidos, pues la mayor cantidad de espacios urbanos se encuentran en la microcuenca rio Molino donde la recarga hídrica potencial representa el 35.84%, comparado con la microcuenca del rio San Lucas representa el 64.16%, lugar donde se encuentra la mayor cantidad zonas críticas de recarga hídrica, gracias a su extensa cobertura forestal. **Palabras clave:** Precipitación pluvial, infiltración, zonas críticas de recarga hídrica y recursos naturales.

## 4.2. Introducción

Las cuencas hidrográficas son áreas delimitadas naturalmente, que albergan un complejo sistema de flujo de agua, tales como cuerpos de agua superficiales de carácter permanente e intermitente y cuerpos de agua subterráneos, los cuales representan el mayor medio de abastecimiento de agua para las comunidades, el principal medio de recarga es el agua que cae a la superficie en forma de precipitación pluvial, atravesando distintos estados e interactuando de distintas formas con los elementos contenidos en este sistema, tales como la temperatura, el suelo y la vegetación, hasta descender y permanecer almacenada en los acuíferos hasta ser empleada para actividades humanas.

Empleando constantemente los sistemas de información geográficos para delimitar los espacios en base a las características determinadas mediante distintas metodologías como: Método de Hargreaves, balance hídrico de suelos, clasificación de pendiente, análisis físicos de suelo, etc., dentro del área de estudio de 66.18 km<sup>2</sup> solo hay 42.65 km<sup>2</sup> de área permeable, espacios donde el agua puede filtrarse a través del suelo para recargar los cuerpos de agua subterráneos, destacando que no toda el agua de lluvia es absorbida por el suelo y no toda el agua infiltrada descende hasta los acuíferos, pues una parte de esta es retenida por el suelo que se encuentra disponible para la vegetación.

El municipio de Mixco, por su ubicación geográfica es un punto estratégico para el abastecimiento de agua, la conservación del recurso hídrico y su correcta gestión, pues en este municipio se encuentran manantiales que emergen en el cerro Alux que descienden y desembocan al lago de Amatitlán, donde las corrientes superficiales y subterráneas atraviesan los municipios de Guatemala, Villa Nueva y el casco central de Amatitlán donde sus características y disponibilidad se ve condicionada debido a las actividades humanas, es decir que una correcta gestión de los recursos naturales asegurará la disponibilidad del recurso hídrico para el municipio de Mixco y los municipios colindantes.

### **4.3. Planteamiento del problema**

La creciente demanda de servicios, espacios para vivienda y disminución de áreas permeables por parte de una población en constante crecimiento que habitan dentro del área de estudio, conlleva a la explotación de recursos naturales y alteraciones en el ecosistema que pueden resultar irreversibles, comprometiendo la disponibilidad de recursos hídricos, las ciudades son uno de los aspectos más importantes de la sociedad, pues en ella se concentran la mayor cantidad de habitantes y actividades económicas de una zona determinada, generalmente con una escasa presencia de zonas permeables donde el agua pueda infiltrarse.

Actividades humanas como la industrialización, agricultura y vivienda, han afectado las cualidades de cuerpos de agua superficiales, requiriendo de procesos de saneamiento para ser aptas para consumo e higiene, sin embargo, la principal fuente de agua para las ciudades se encuentra en cuerpos de aguas subterráneos, obteniendo el recurso hídrico por medio de pozos, dichos cuerpos de agua se abastecen por medio de la infiltración de agua de lluvia a través del suelo, la determinación de la recarga hídrica potencial permite la identificación de áreas críticas de recarga hídrica, áreas propensas a disminuir su capacidad de recarga hídrica de no ser gestionadas apropiadamente, considerando las características propias de cada zona, tales como su pendiente, uso actual del suelo y sus propiedades físicas.

El municipio de Mixco alberga en su punto más alto la reserva natural de Alux una gran extensión forestal donde se encuentran múltiples manantiales que marcan el inicio de ríos que desembocan en el lago de Amatitlán, sin embargo, debido a factores de formación geológica, Mixco abastece de agua a Villa Nueva y al casco central de Amatitlán, por medio de agua que se desplaza a través del manto freático hacia estos municipios lo que ha provocado drásticos descensos en el manto freático, lo que reafirma la importancia de una correcta gestión de los recursos naturales, que aseguren la disponibilidad del recurso hídrico, pues las lluvias a menudo presentan distintos comportamientos año con año, limitando la principal fuente de obtención de agua.

#### 4.4. Marco Teórico

##### 4.4.1. Marco Conceptual

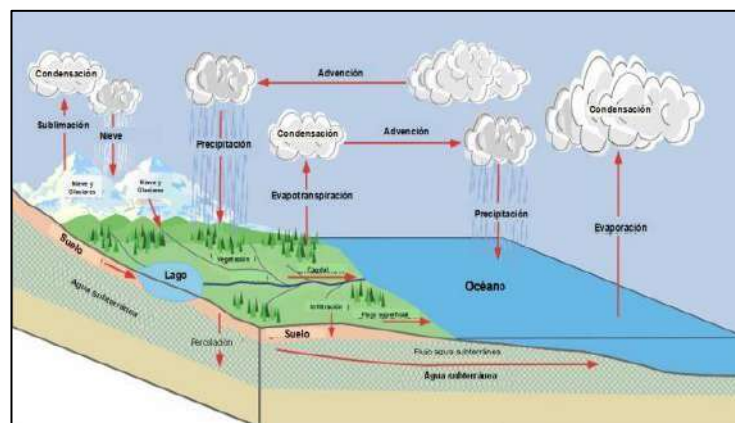
##### A. Ciclo Hidrológico:

El agua es una sustancia esencial para la vida y para el desarrollo de las sociedades, descrito, según Fernández (2012) como: “Un recurso renovable, pero finito, que posee propiedades únicas, contribuyendo a la regulación del clima en el mundo” (p.148), el agua se encuentra presente de forma natural en el medio ambiente, tales como ríos, lagos; en el aire, e incluso en el suelo, esto se debe a que el agua cambia de estado por medio del ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto geográfico a otro entre sus diferentes estados (líquido, sólido y gaseoso), que menudo se describe, según Ovalles y Rodríguez (2010) como: “Una sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmosfera y volver a la tierra, pasando por la evaporación de aguas superficiales, condensación de nubes y precipitación para volver a acumularse” (p.2), como se muestra en Figura 54.

**Figura 54**

*Representación del ciclo hidrológico*



*Nota.* Ovalles & Rodríguez (2010). Ciclo hidrológico, Universidad Tecnológica de Santiago (<https://pabelbastista.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/ciclo-del-agua.pdf>). Derechos de autor 2010 por Ovalles y Rodríguez.

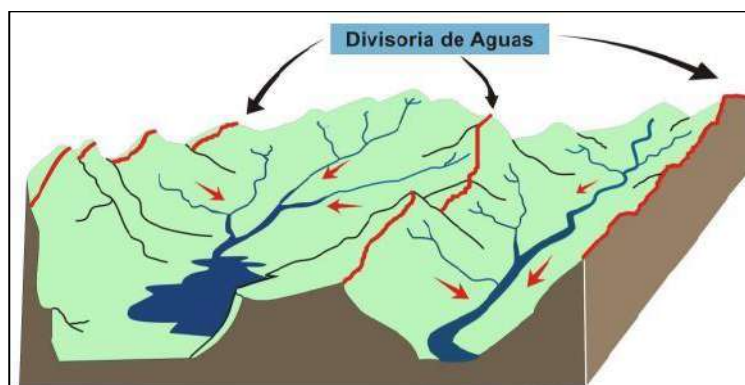
## B. Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define, según Aranque (2019) como: “Un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado” (p.15). Al ser un área donde el agua que se precipita o se escurre, converge en un mismo punto principal, donde atraviesa distintos accidentes geográficos, tales como montañas, cerros, quebradas, valles etc. que a su vez sirven para delimitar su área.

Las cuencas hidrográficas al ser áreas definidas se delimitan, según Ordoñez (2011) por: “Divisores de agua, que limitan las vertientes hidrográficas continuas y suelen dirigir el agua hacia una u otra vertiente, suelen estar en la parte alta de las montañas” (p.11), como se muestra en la Figura 55.

**Figura 55**

Divisoria de una cuenca hidrográfica



*Nota.* Ordoñez (2011). Divisoria de aguas, Sociedad Geográfica de Lima ([https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)). Derechos de autor 2011 por Ordoñez.

Una cuenca hidrográfica, al ser un sistema complejo y delimitado, donde distintos ecosistemas interaccionan entre sí, posee zonas con características propias, estas son:

**Zonas de una cuenca hidrográfica.** Una cuenca hidrográfica se puede dividir en tres principales zonas, diferenciadas por su elevación y por las características que presenta el río, como se muestra en la Figura 56, dichas zonas son:

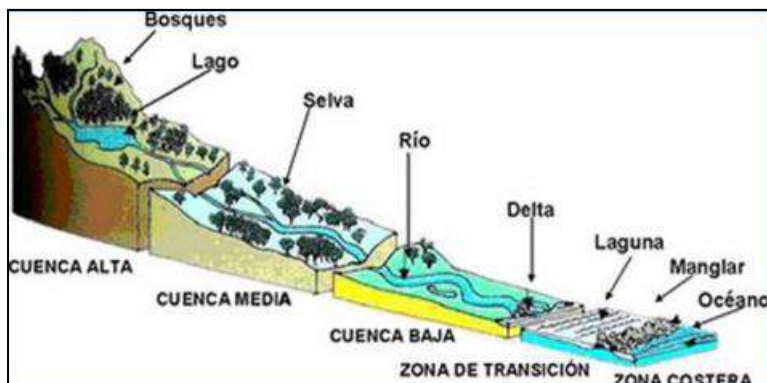
**Cuenca Alta.** Ubicada en la parte superior de la cuenca hidrográfica, según Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana (FUNCAGUA, 2020) describe como: “Áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas” (p.5), en esta zona también suelen haber pequeños caudales que provienen de manantiales de agua y suelen presentar las características más puras al estar en menor contacto con agentes contaminantes

**Cuenca Media.** Situada en la parte central, según su elevación, según FUNCAGUA (2020) se describe como: “El punto donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido” (p.5), también está más expuesta a la contaminación debido a obras hidráulicas, actividades agrícolas y viviendas humanas.

**Cuenca Baja.** Se encuentra en la parte más baja de la cuenca, según FUNCAGUA (2020) le describe como: “La parte donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas como estuarios, lagos o humedales” (p.5), es decir que la principal característica de la zona baja es la presencia del punto de aforo.

**Figura 56**

Partes de una cuenca hidrográfica



*Nota.* Ordoñez (2011). Partes de una cuenca hidrográfica, Sociedad Geográfica de Lima ([https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)). Derechos de autor 2011 por Ordoñez.

### C. Componentes De Una Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas en sus distintas zonas albergan algunos componentes fundamentales para el flujo de agua, estos son:

**Río Principal. Definido**, según Ordoñez (2011) como: “El curso con mayor caudal de agua o con mayor longitud entre su nacimiento y su desembocadura” (p.12), es el cuerpo de agua superficial más representativo de una cuenca hidrográfica, por su cauce, extensión y a menudo unión con otros cuerpos de agua superficial.

**Afluentes Perennes.** Las afluentes son ríos secundarios que vierten sus aguas en un río de mayor caudal, cabe señalar que son muy propensos a la contaminación por actividades agrícolas o presencia humana y reciben el nombre de perennes porque según Aranque (2019) se tratan de: “Ríos que permanecen con agua durante todo el año, suelen ser alimentados por aguas subterráneas y por lo general son el cauce principal” (p.20).

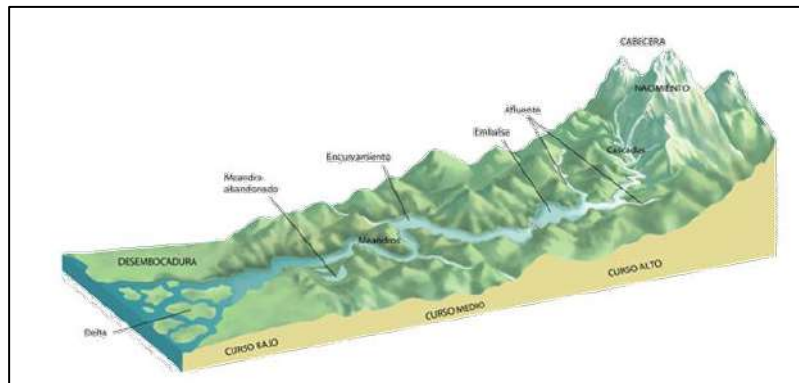
**Afluentes Intermitentes.** De acuerdo con Aranque (2019) se trata de: “Ríos formados durante la época lluviosa, que se secan cuando terminan las lluvias” (p.20) al ser ecosistemas tan singulares son propensos a cambios severos por cuestiones temporales o espaciales.

**Afluentes Efímeros.** Según Aranque (2019) estos afluentes son: “Respuestas inmediatas al periodo de precipitación, formadas debido al escurrimiento superficial” (p.20), es decir, que a diferencia de los intermitentes que suelen durar algunos meses después que finaliza la época de lluvias, los ríos efímeros se secan en periodos mucho más cortos de tiempo desde que finaliza la época de lluvia.

**Punto De Aforo.** También llamado como desembocadura, según Ordoñez (2011) este punto representa: “Corresponde a un flujo de agua que desemboca en otro río más importante con el cual se une” (p.13), ver Figura 57.

**Figura 57**

Desembocadura de un río



*Nota.* Ordoñez (2011). Partes de un río, Sociedad Geográfica de Lima ([https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)). Derechos de autor 2011 por Ordoñez.

## D. Funciones De Una Cuenca Hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es un sistema complejo en el cual se desarrolla una serie de actividades que cumplen distintas funciones ambientales y socioeconómicas que favorecen al ciclo natural de elementos bióticos y abióticos, tales como:

**Función Ambiental.** Consiste en una serie de actividades que proporcionan un equilibrio natural y sostenible para los seres vivos, tales como:

**Sumideros de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).** Un sumidero de CO<sub>2</sub>, según la Federación Española de Municipios y Provincias (2012) indicó: “Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmosfera un gas de efecto invernadero, aerosol o precursor de un gas de efecto invernadero”, (p.19) debido a que los ecosistemas terrestres y marítimos son los principales sumideros de efecto invernadero de la biósfera, absorbiendo en su mayoría Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

**Albergan bancos de germoplasma.** Según Condón y Rossi (2018) se le considera como banco de germoplasma a: “Un repositorio de semillas, tejidos o plantas que tienen por objetivo preservar la diversidad genética” (p.52), debido a que la diversidad genética comprende la variación hereditaria dentro de poblaciones determinadas como resultado de las condiciones externas a las que se han visto sometidos, tales bancos se encuentran de forma natural en los ecosistemas como bosques, junglas etc.

**Regulación De La Recarga Hídrica.** La recarga hídrica es un proceso que Figueredo (2019) describió como: “Un proceso de infiltración del agua hacia un acuífero, la zona donde se da este proceso recibe el nombre de zona de recarga” (p.2).

**Regulación De Los Ciclos Biogeoquímicos.** Se le denomina ciclo biogeoquímico según Torres (2021) a: “El movimiento cíclico y conversión de elementos a través de organismos y el ambiente físico” (p.3), debido a que dentro de una cuenca hidrográfica toma lugar el proceso de almacenamiento y liberación de sedimentos; almacenamiento y reciclaje de nutrientes y materia orgánica aprovechable por las plantas, para que eventualmente un consumidor secundario se alimente de la planta.

**Función Ecológica.** Una función ecológica es descrita según Ordoñez (2011) como: “Aquellas actividades que proveen un hábitat a seres vivos y que influye la calidad física y química de factores abióticos” (p.32), algunos ejemplos son:

**Conservación de la Biodiversidad:** En una cuenca hidrográfica se albergan una serie de factores abióticos (clima, suelo, agua, etc.) que permite la existencia e

interacción entre distintas especies animales, vegetales, entre otras, según Ordoñez (2011) “Una cuenca hidrográfica provee sitios y rutas donde se llevan a cabo interacciones físicas y químicas” (p.32).

**Hábitat:** Provee hábitat para la flora y fauna, elementos biológicos del ecosistema que interactúan con otros elementos.

**Función Hidrológica.** La función hidrológica de una cuenca se enfoca en el almacenamiento y flujo de agua en sus distintos estados, algunas acciones son:

**Captación De Agua.** La captación de agua se da en zonas específicas que reciben el nombre de zona de captación, descritas según Ordoñez (2011), como: “Porción de la cuenca que se encarga de captar la mayor parte del agua que entra al sistema, así como transportar el agua proveniente de la zona alta”, (p.33).

**Almacenamiento De Aguas:** El agua se encuentra en constante cambio debido al ciclo hidrológico, cuando esta se precipita y cae a la superficie en forma de lluvia puede fluir a cuerpos de agua superficiales o infiltrarse a través del suelo, bajo el fundamento que, según Aparicio (2001) provienen: “Del agua infiltrada una parte es absorbida por las plantas y eventualmente transpirada, mientras que una parte se filtra a través de la tierra almacenada como agua subterránea que aflora a la superficie a través de ríos, manantiales, etc.” (p. 18).

**Función Socioeconómica.** Las actividades socioeconómicas se enfocan en el suministro de recursos aprovechables por una comunidad de seres humanos, en pro de satisfacer sus necesidades y favorecer a su desarrollo social, mediante una gestión integrada de recursos que promuevan el desarrollo y gestión equitativa de los recursos que maximicen el bienestar económico sin comprometer la sostenibilidad del ambiente, algunos ejemplos son:

**Suministro De Recursos Naturales.** Los recursos naturales son aquellos productos o materiales que se encuentran en la naturaleza, tal es el caso de la madera para cocina o construcción; suelo para el desarrollo de actividades agrícolas; agua para consumo, higiene y actividades agrícolas; entre otras.

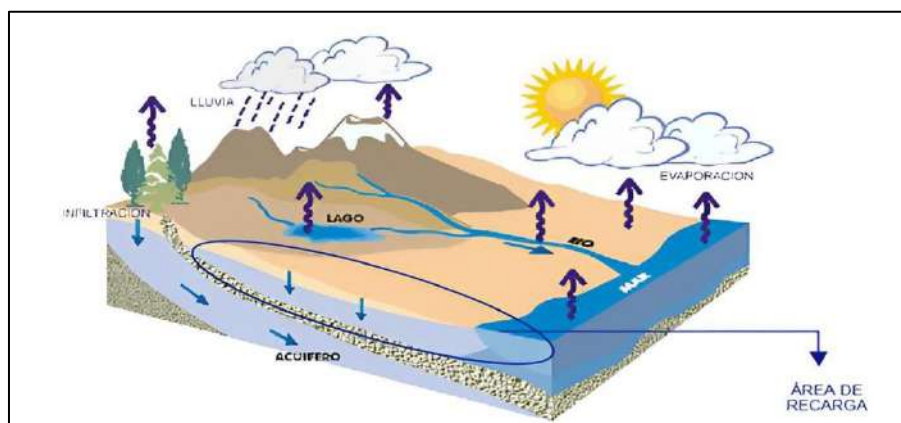
Provee Espacio. Las cuencas hidrográficas proporcionan un espacio físico para el establecimiento de comunidades y el desarrollo social y cultural, donde los límites administrativos son gestionados por las autoridades locales.

### E. Recarga hídrica

La recarga hídrica es el proceso que permite que el agua alimente un acuífero, este proceso ocurre de manera natural cuando la lluvia se filtra hacia un acuífero a través del suelo o roca, según Bardales (2011) quien citó a Orozco et al. (2003) “La recarga directa al acuífero se puede estimar y comprobar mediante el balance hídrico de suelos, pues en este se integran todos los valores en los que se divide la precipitación que cae sobre la zona determinada” (p.2).

**Figura 58**

Área de recarga hídrica



*Nota.* Figueredo (2019). Área de recarga hídrica de aguas subterráneas, Universidad Militar de Granada

([https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)). Derechos de autor 2019 por Figueredo.

En términos generales se denomina recarga hídrica al proceso por el cual se incorpora a un acuífero, agua procedente del exterior del contorno que lo limita, son varias las procedencias de esa recarga, tales como:

Lluvia (la más importante en general)

Aguas superficiales (importantes en climas poco lluviosos)

Transferencia de agua desde otro acuífero

La recarga hídrica se cuantifica mediante un balance hídrico de suelos, la importancia de este radica según Schosinsky (2007) “Poder estimar el agua que queda libre para recargar el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado, e identificar el potencial de las aguas subterráneas para que no sea sobreexplotado” (P.14), tomando en cuenta factores como el clima, suelo, cobertura vegetal y topografía, a continuación, se describen las características generales del balance hídrico en la Tabla 37.

**Tabla 37**

Descripción del balance hídrico

| No. | Características del método de balance hídrico                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Puede ser estimado para cualquier subsistema del ciclo hidrológico, así como para diferentes tamaños de áreas, e intervalos de tiempo                                                                                                                            |
| 2   | Sirve para controlar, si todo el flujo y los componentes involucrados, han sido considerados cuantitativamente                                                                                                                                                   |
| 3   | Permite calcular los elementos desconocidos de una ecuación de balance, previendo que los otros componentes son conocidos                                                                                                                                        |
| 4   | También puede ser considerado como un modelo del proceso hidrológico completo bajo estudio, esto indica que se puede usar para predecir cómo afectan los cambios imperantes en ciertos componentes que podrían estar sobre componentes del sistema o subsistema. |

*Nota.* Adaptado de “Balance hídrico de suelos”, por S. García, 2006, *Estudio De Los Recursos Naturales Renovables E Identificación De Las Áreas De Recarga Hídrica En La Microcuenca Del Río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché*, p.66 y p.67. Copyright 2006 por Universidad de San Carlos de Guatemala.

El proceso de recarga hídrica proviene en su mayoría de las precipitaciones que alcanza la superficie del suelo, saturando los espacios vacíos, sin embargo, Bardales (2011) señaló: “El agua cuando se infiltra en la superficie terrestre y que no es retenida por la humedad se mueve hacia corrientes subsuperficiales o se infiltra hacia el manto freático” (p.2), existen tres factores fundamentales que influyen en la recarga hídrica, estos son:

**Clima.** Además de la temperatura existen dos principales factores a considerar que influyen en el proceso de recarga hídrica natural, estos son la precipitación pluvial y la evapotranspiración, descritas a continuación:

**Precipitación Pluvial.** La precipitación pluvial o lluvia es la fase del ciclo hidrológico en que el agua llega a la tierra, definida según Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC, 2016) como: “El volumen de lluvia que llega al suelo en un periodo determinado, expresado en función del nivel que alcanzaría sobre una proyección horizontal de la superficie de la tierra” (p.22), por medio de su medición se pueden establecer los periodos de duración de las lluvias.

**Evapotranspiración.** Existen dos tipos de evapotranspiración: Real (ETR): Cantidad de agua efectiva que se pierde por el complejo suelo-planta en las condiciones meteorológicas y edáficas existentes; Potencial (ETP): Cantidad de agua que se evapotranspira bajo condiciones en que el sistema suelo-planta son constantes y solo varía la temperatura, según FAUSAC (2016) “La pérdida de agua que ocurriría si en ningún momento hubiera deficiencia de agua en el suelo para uso de la vegetación” (p.35).

La evapotranspiración es el resultado de la sumatoria entre la evaporación, que es la pérdida de agua en forma de vapor que se da en el terreno que rodea la planta, así como en el agua libre de la superficie de la planta misma y la transpiración, que es la pérdida de agua de la planta en forma de vapor, dicho proceso se ve afectado por la estructura y fisiología de la planta y factores físicos que controlan la evaporación, entre otros factores que influyen están:

Agua: Por su disponibilidad y cantidad.

Suelo: Por sus propiedades físicas y químicas.

Planta: Por sus características anatómicas y fisiológicas.

Clima: Por humedad, radiación solar, temperatura y viento.

**Suelo.** La importancia del suelo radica principalmente en sus características físicas, pues es a través del suelo que el agua llega a los acuíferos, ya que no toda el agua que se infiltra en el suelo llega al manto freático, algunos factores a considerar son:

**Textura.** Consiste según Barreno (2009) en: “La proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que componen al suelo” (p.122), los principales componentes del suelo son arena, arcilla y limo, según su porcentaje de distribución permite determinar la textura a la que el suelo pertenece.

**Estructura.** Consiste en la descripción de la organización o agregación naturales de sus separados individuales, en unidades conocidas como partículas secundarias o agregados, estas unidades están separadas por planos de debilidad caracterizados por persistir en el lugar, por más de un ciclo de humedecimiento-desecamiento del suelo.

**Densidad Aparente.** Es la densidad del suelo seco en su conjunto (fase sólida + fase gaseosa), su importancia radica, según Bardales (2011) “La densidad aparente depende básicamente de la textura del suelo, pero puede ser modificada por la compactación y aumentar su densidad aparente, reduciendo el espacio entre partículas” (p.4).

**Contenido De Humedad.** Capacidad de Campo: Según Schosinsky (2007) “Corresponde al valor máximo de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de la gravedad, dicho valor se ve condicionado por el número, tamaño, distribución y forma de los poros” (p.14); Punto de Marchitez Permanente: Según Schosinsky (2007) “Corresponde al valor mínimo de agua higroscópica, agua que no es absorbida por las raíces, cuando el agua es igual o menor al punto de marchitez, las plantas no tienen agua disponible y mueren” (p.18).

**Topografía.** Es un factor importante en la infiltración, debido a que la pendiente puede ser un factor limitante, en superficies planas favorece al proceso de infiltración debido a que el tiempo de contacto del agua con la superficie es mayor y su movimiento será lento, mientras que en superficies de alta pendiente la infiltración es menor por estar en contacto con la superficie del suelo una menor cantidad de tiempo, favoreciendo al proceso de escorrentía, disminuyendo la recarga hídrica.

**Estratigrafía Geológica.** La estratigrafía de una zona puede ser definida según Bardales (2011) quien citó a Orozco et al. (2003) “Un estudio que permite conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica”. Es decir, la disposición de los diferentes materiales geológicos que forman capas hasta llegar a los acuíferos, que condicionan el proceso de infiltración y la cantidad de recarga hídrica.

**Cobertura Vegetal.** La importancia de la vegetación en el suelo según Bardales (2011) radica en: “Proteger al suelo de la compactación ante el impacto de la lluvia y disminuir la pérdida de volumen por la escorrentía” (p.6), la vegetación participa activamente en el proceso de recarga hídrica, por dos aspectos fundamentales, tales aspectos son:

**Profundidad Radicular.** La mayoría de las plantas poseen raíces que absorben agua dentro de los primeros 30 cm de profundidad del suelo, aunque algunos cultivos agrícolas y forestales pueden alcanzar más de un metro de profundidad, según Bardales (2011) quien citó a Orozco et al. (2003), la importancia radica en: “El aumento de la profundidad radicular aumenta el rango de agua edáfica que puede ser aprovechada por la vegetación existente” (p.7).

**Intercepción.** Consiste en el proceso de retención de agua en los estratos de vegetación que limita la cantidad de agua que llega al suelo, según García (2006) es descrito como: “El agua retenida en los estratos de vegetación que puede evaporarse antes de llegar al suelo” (p.61), no toda el agua que se infiltra en el suelo representa la recarga hídrica potencial, pues una parte de esta permanece disponible para ser aprovechadas por las plantas.

**Escurrecimiento.** La precipitación pluvial es la principal fuente de abastecimiento de agua en el proceso de recarga hídrica, sin embargo, no toda el agua que llega a la superficie del suelo es absorbida, para entender este comportamiento es necesario conocer los siguientes fundamentos:

**Escorrentía.** Según Bardales (2011) quien citó a Orozco et al. (2003) se le denomina así a “La cantidad de agua que fluye dentro de un trayecto desde que alcanza a la superficie terrestre hasta llegar a un cauce, según sus características” (p.7), se le clasifica de la siguiente manera: Superficial: Consiste en la parte agua que circula en la superficie de la tierra y se concentra dando lugar a la formación de barrancos, arroyos y ríos; Sub-Superficial: Es la porción de agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra, donde puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente y Subterránea: Consiste en la formación por infiltración del agua en el terreno, percolándose y formando acuíferos, circulando por conductos subterráneos.

**Punto de Desagüe.** Consiste en el punto en común situado en la parte más baja de la cuenca hidrográfica donde se unen los afluentes y se incorporan a un cuerpo de agua de mayor tamaño, tales como un río, lago, etc.

#### **F. Zonas Críticas de Recarga Hídrica**

Las áreas críticas son aquellos espacios geográficos donde el agua proveniente de la lluvia se desplaza con mayor facilidad hasta el manto freático, estas áreas, según González (2018) son definidas como: “Áreas que, por sus características específicas, se consideran susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a manejos inadecuados, determinadas a partir de las áreas principales de recarga hídrica natural” (p.71).

Al identificar zonas de recarga hídrica se proporciona una herramienta para la reducción del deterioro de los recursos naturales causado por el uso de la tierra y la explotación de recursos naturales, pues la alteración de recursos hídricos, forestales o del suelo repercute en la recarga hídrica debido al papel que dichos recursos desempeñan el ciclo hidrológico, principalmente por actividades humanas como la deforestación para el crecimiento urbano, acciones que limitan la capacidad de recarga hídrica al privar al suelo de la vegetación que facilite el movimiento de agua o por medio de impermeabilización donde la cantidad de agua infiltrada es nula.

## G. Situación de Aguas en Guatemala

**Tabla 38**

Leyes sobre aguas en la Republica de Guatemala

| Ley/Artículo/Código                                   | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artículo 97: Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico    | La constitución política de la república de Guatemala establece: "El acceso al agua es un derecho constitucional que obliga al Estado a proporcionar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga un equilibrio ecológico en aras de satisfacer las necesidades de los habitantes"                                                                                                                 |
| Artículo 121: Bienes del Estado:                      | La constitución política de la república de Guatemala establece: "Aguas de zonas marítimas, lagos, ríos navegables, vertientes y arroyos que sirvan como límite internacional de Guatemala, aguas subterráneas y otras que sean susceptibles a la regulación por la ley y aguas no aprovechables                                                                                                                                                          |
| Artículo 122: Reservas territoriales del Estado:      | La constitución política de la república de Guatemala establece: "El Estado se reserva el dominio de una faja terrestre de 3 km a lo largo de los océanos; 200 m alrededor de la orilla de lagos; 100m alrededor de riberas de los ríos navegables y 50m alrededor de fuentes y manantiales donde nazca agua que surta a las poblaciones".                                                                                                                |
| Artículo 126: Reforestación                           | Se declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación del país y la conservación de los bosques, donde la ley determinara la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, la constitución política de la república de Guatemala establece: "Los bosques y vegetación en las riberas de los ríos, lagos y cercanías de las fuentes de agua gozarán de especial protección"                   |
| Artículo 127: Régimen de aguas:                       | Establece que todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles, donde su aprovechamiento y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social regulado por leyes específicas.                                                                                                                                                                                                            |
| Artículo 128: Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos: | El aprovechamiento de las aguas de ríos y lagos para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de otra naturaleza que contribuya a la economía nacional, está al servicio de la comunidad y no de personas particulares, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los caces correspondientes para facilitar las vías de acceso                                                                                                     |
| Artículo 142: De la soberanía y el territorio:        | El Estado ejerce plena soberanía sobre: El territorio integrado por su suelo, subsuelo, aguas interiores, mar territorial en la extensión que fija la ley y espacio aéreo sobre los mismos; zona contigua del mar adyacente al mar territorial; recursos naturales y vivos del lecho y subsuelo marinos y la extensión de aguas adyacentes a las costas fuera del territorio nacional.                                                                    |
| Código municipal: Decreto 12-2002                     | El organismo legislativo, establece que es deber de las municipalidades brindar el servicio de agua potable y red de distribución a los habitantes del municipio, en función del artículo 142, obligados a formular y ejecutar planes de ordenamiento territorial y desarrollo integral, donde de acuerdo al artículo 147, se determinará el uso del suelo dentro de la circunscripción territorial del municipio, para actividades de desarrollo humano. |

*Nota.* Gobierno de Guatemala (1993). Constitución política de la república de Guatemala

## **H. Manejo Forestal**

Los bosques son complejas estructuras dinámicas que permiten la relación entre distintos factores bióticos y abióticos que pueden ser totalmente diferentes según su ubicación geográfica, condicionando la vegetación, fauna, clima etc. Los bosques también reciben el nombre de unidades forestales, que consisten en áreas determinadas donde se gestionan los recursos forestales, mediante un apropiado manejo forestal que comprende, según Aguirre (2015) “Decisiones y actividades encaminadas al aprovechamiento del recurso forestal de manera ordenada, satisfaciendo las necesidades sociales, sin comprometer la provisión de bienes y servicios a generaciones futuras” (p.17).

Los recursos forestales se encuentran altamente relacionados con los recursos hídricos, según Hamilton (2009) “Los bosques influyen en la cantidad de agua disponible, de aguas subterráneas y masas de aguas superficiales al interceptar la lluvia, mediante la evaporación de la humedad superficial de la vegetación, transpiración, captación de agua e infiltración en el suelo” (p.1), los bosques influyen en distintos procesos del ciclo del agua como se muestra en la Figura 6.

### **I. Anomalías de lluvia**

En el caso de las precipitaciones, las anomalías consisten en, según Díaz y Mormeneo (2002) “La separación entre el valor de precipitación actual y un valor normal establecido históricamente” (p.161), conocer las tendencias en las lluvias permite la creación de un historial de lluvia, pues la importancia de las lluvias radica en que son el principal medio de abastecimiento y recarga de agua, el objetivo de evaluar las anomalías en lluvias es para: Reflejar la situación del evento en relación con la serie de datos pasados y emitir recomendaciones que mitiguen los efectos de dichos eventos anómalos.

Otro aspecto fundamental de las precipitaciones es por erosión, cuando existe una cantidad de agua que no puede ser absorbida por el suelo y esta desplaza las partículas superficiales del suelo provoca la pérdida de pequeñas capas del suelo, para mitigar dicho efecto se han contemplado las siguientes medidas:

### **Prácticas de Conservación Agronómicas**

Las prácticas de conservación son técnicas que se implementan en las actividades agrícolas con el objetivo de proteger y mejorar las características físicas y químicas de un recurso como lo es el suelo, dado que este recurso es altamente vulnerable a la erosión, las actividades que ayuden a dar manejo a posibles fuentes de erosión son:

**Manejo Agronómico De Infiltración.** La infiltración es el proceso por el cual el agua ingresa al suelo, a mayor velocidad de infiltración menor será la cantidad de agua escurrida y en consecuencia será menor el riesgo de erosión, las prácticas que mejorar este apartado se basan en los principios descritos por Cisneros, et al. (2012) “Protección mecánica de la superficie del suelo; incremento de la estabilidad de agregados superficiales y homogenización de la condición física interna del perfil de suelo para disminuir la compactación” (p.103), dichas prácticas se presentan en la Figura 59 y estas son:

Cobertura de rastrojo de cosecha

Cultivos de cobertura

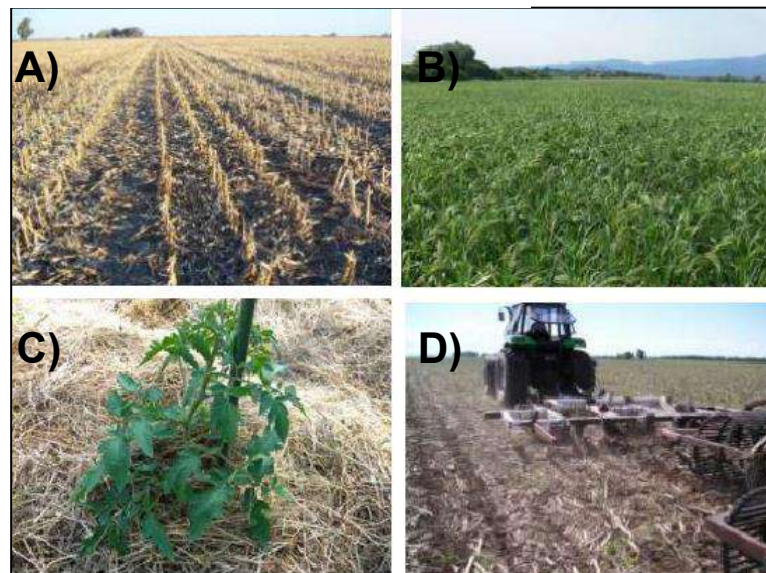
Uso de abonos verdes

Enmiendas cálcicas

Laboreos de des compactación

**Figura 59**

Prácticas de manejo agronómico de infiltración



*Nota.* A) Adaptado de cobertura dejada por los residuos de maíz en rotación con soja. B) Adaptado de Cultivo de mijo, sembrado al voleo con cubrimiento total del suelo. C) Adaptado de Mulch de paja cubriendo el área circundante a una planta. D) Adaptado de Conjunto de tractor-escarificador-descompactador-rollo sobre un rastrojo de maíz. UniRio. (<https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/978-987-688-024-4.pdf>). Derechos de autor 2012 por Cisneros et al.

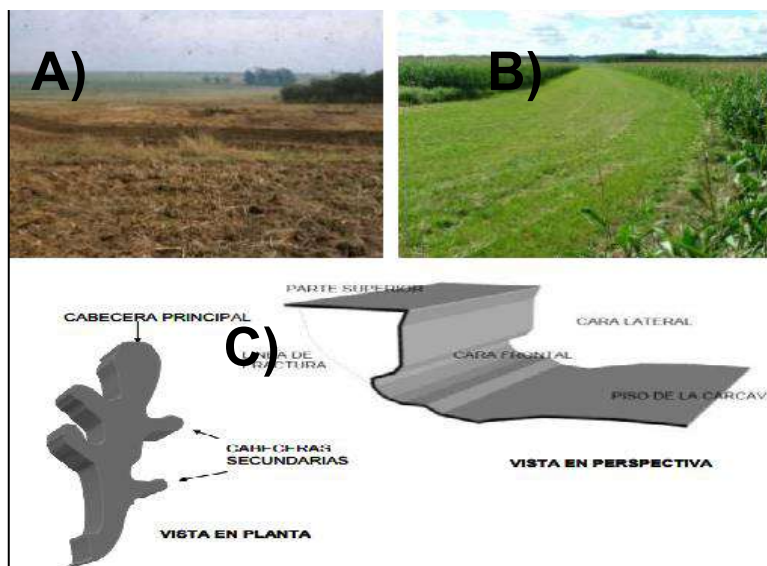
**Manejo Agronómico De Escurrimiento.** El manejo del escurrimiento tiene como objetivos, descritos por Cisneros, et al. (2012) “Estabilizar la red de drenaje a través de conducción controlada de escurrimientos que permitan el control de la erosión en las vías de drenaje, reduciendo los caudales máximos” (p.173), la implementación de estas técnicas conlleva una mayor inversión y magnitud lo que implica un cambio significativo que en la mayoría de veces requiere de la intervención de autoridades locales, sin embargo en casos de menor magnitud destinado al manejo racional de una unidad productiva, las prácticas a recomendar se presentan en la Figura 60 y estas son:

Canales de guarda e interceptores

Canales de desagüe

Cárcavas

**Figura 60**  
Prácticas de manejo agronómico de escurrimiento



*Nota.* A) Adaptado de Canales interceptores o de guarda por Cisneros. B) Adaptado de Canal de desagüe de sistematización por Cisneros. C) Adaptado de Esquema de componentes de cárcavas, UniRio. (<https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/978-987-688-024-4.pdf>). Derechos de autor 2012 por Cisneros et al.

**Manejo Agronómico De Pendiente.** Las técnicas de manejo de relieve, también llamadas como prácticas de conservación de elevación, son un conjunto de técnicas que se basan en los principios del ordenamiento hidrológico, descritos por Cisneros, et al. (2012) “Acortar la longitud de la pendiente para reducir el escurrimiento; generación de micro relieves para incrementar la retención de aguas; captura de sedimentos móviles por efecto de esorrentía y disminuir el impacto de la erosión” (p.149), las principales técnicas empleadas para el manejo del relieve se presentan en la Figura 61 y estas son:

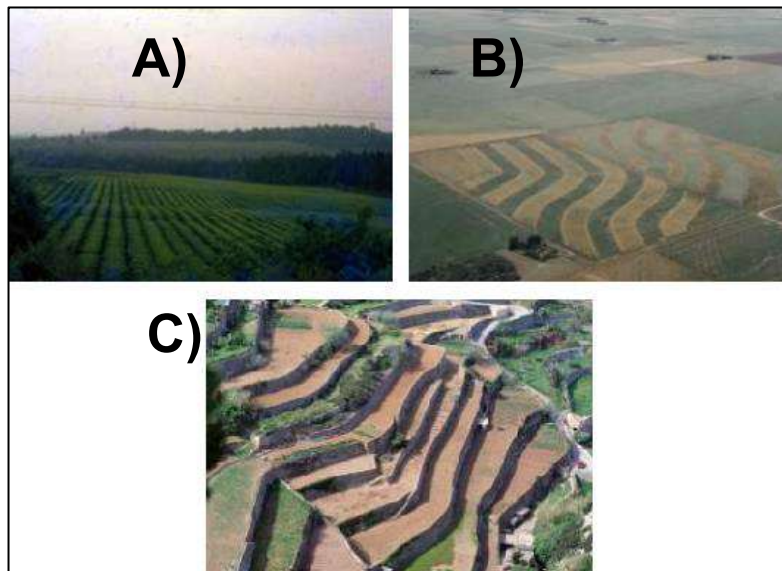
Cultivos cortando la pendiente

Cultivos en curva de nivel

Cultivos en terrazas

**Figura 61**

Prácticas de manejo agronómico de pendiente



*Nota.* A) Adaptado de Cultivo de cobertura agrícola completa. B) Adaptado de Cultivos anuales intercalados en franjas a nivel. C) Adaptado de Bancales de Banyalbufar (España), UniRio. (<https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/978-987-688-024-4.pdf>). Derechos de autor 2012 por Cisneros et al.

**Manejo De Conservación De Agua.** La disponibilidad del recurso hídrico es uno de los factores más importantes para el desarrollo de cualquier actividad agrícola o forestal, según Meza et al. (2011) “La disponibilidad de agua es el factor más limitante en el establecimiento y desarrollo de cualquier especie vegetal, incluyendo pasturas herbáceas, arbustos forrajeros y recursos forestales diversos” (p.4). Para asegurar la disponibilidad del recurso en épocas donde la lluvia es escasa, las temperaturas son elevadas y necesidad de riego es mayor, se han desarrollado una serie de actividades que faciliten la obtención, almacenamiento y conservación de agua, algunos ejemplos de dichas prácticas se presentan en la Figura 62, estos son:

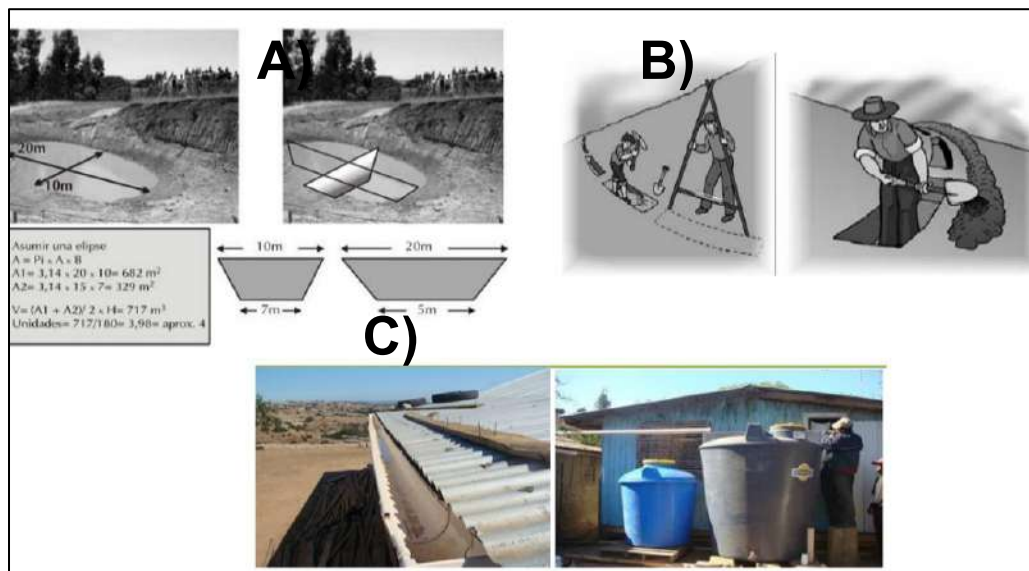
Aguadas superficiales

Zanjas de infiltración

## Cosecha de lluvia

**Figura 62**

Conservación de agua

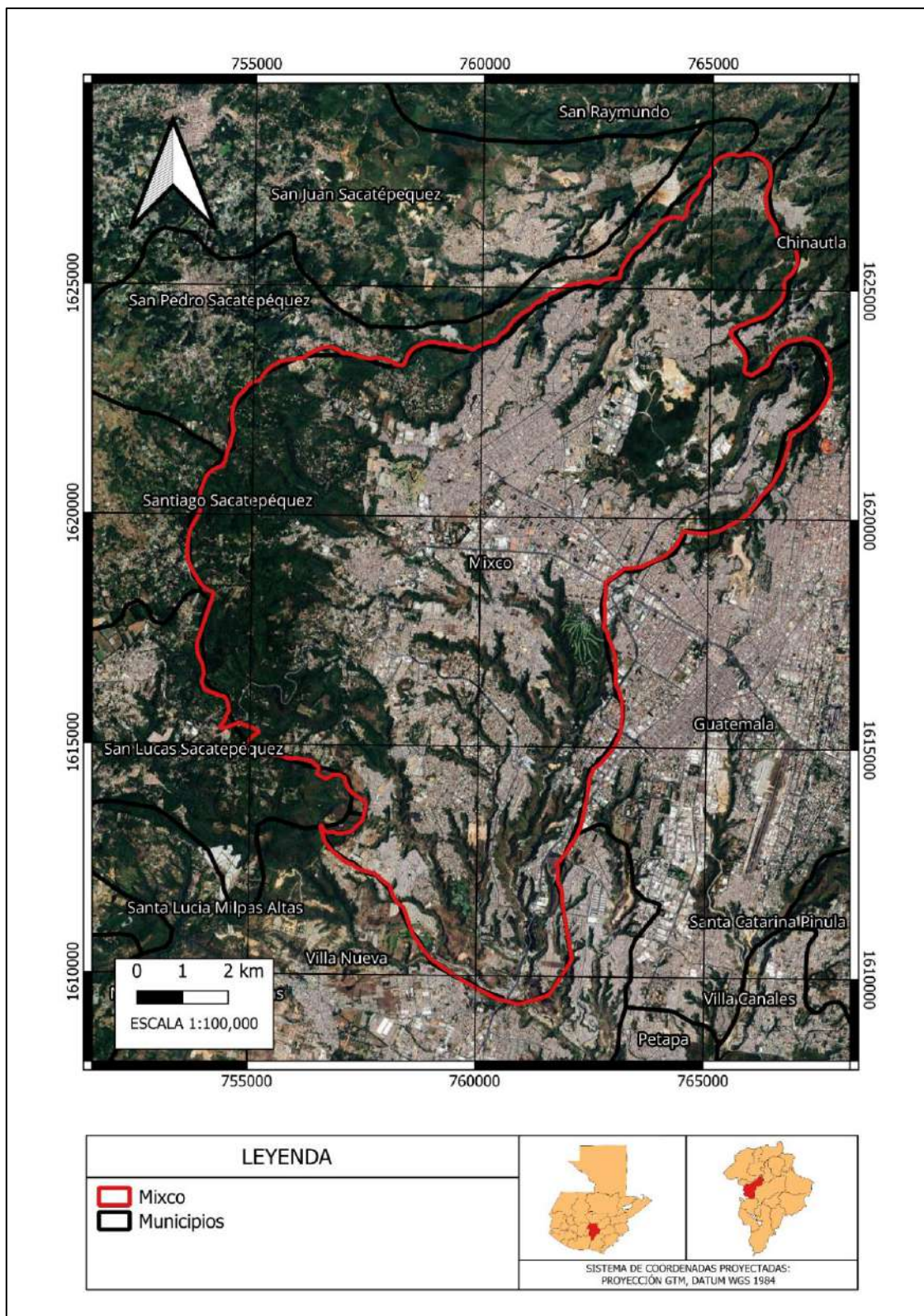


*Nota.* A) Adaptado de Cubicación de la capacidad de almacenamiento de agua superficial. B) Adaptado de Trazado de la línea sin caída para la zanja de infiltración. C) Adaptado de Cosecha de aguas de lluvia a través de canaleta instalada en el techo de una casa y estanque de recolección, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b4ee2073-6cdb-4acd-b6b5-b42f261cf7b1/content>). Derechos de autor 2011 por Meza et al.

**4.4.2. Marco Referencial****A. Ubicación Geográfica:**

El municipio de Mixco se encuentra en el extremo oeste del departamento de Guatemala, a 17 km de la ciudad de Guatemala, ver Figura 63, posee una extensión superior a los 132 km<sup>2</sup>, es un municipio altamente urbanizado que cuenta con numerosos bosques, barrancos y ríos colinda con los siguientes municipios: Al norte con San Pedro Sacatepéquez; al noreste con Chinautla; al este con la ciudad de Guatemala; al sur con Villa Nueva y al oeste con San Lucas Sacatepéquez.

**Figura 63**  
Mapa de ubicación del municipio de Mixco



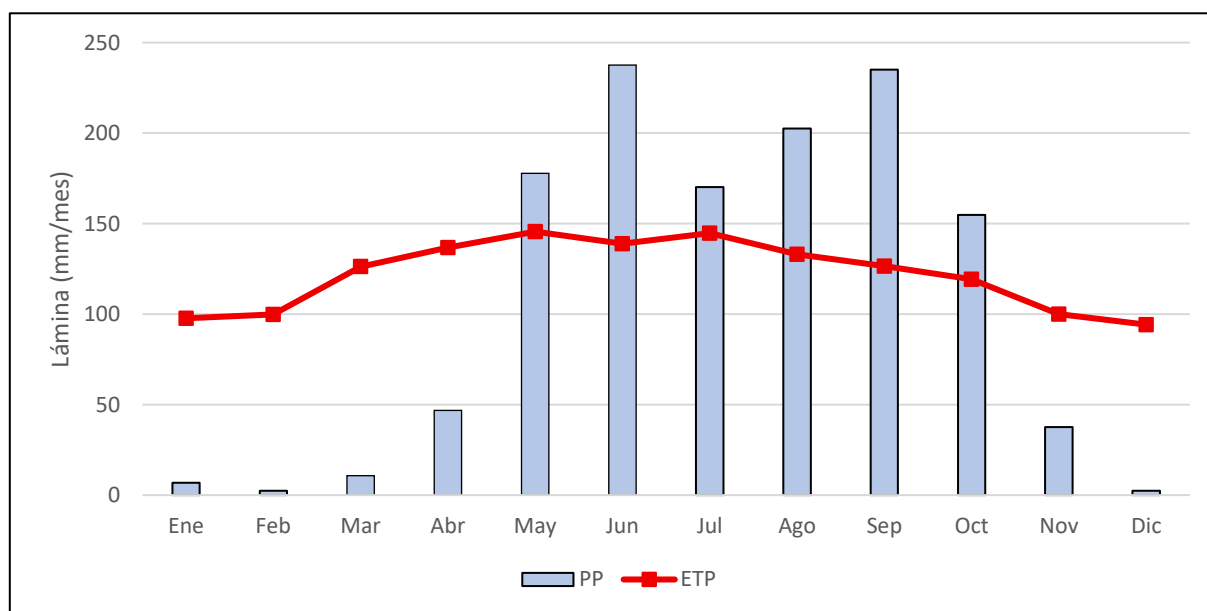
## B. Clima

Para la obtención de información meteorológica (precipitación pluvial y temperatura), se consultaron tres estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, con la mayor cantidad de datos disponibles en años previos, estas son:

**Estación INSIVUMEH.** Como se muestra en la Figura 64, la época lluviosa inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre, con un descenso en las lluvias en el mes de julio y agosto debido a la canícula, mientras que la época seca comprende desde el mes de noviembre hasta el mes de abril, el rango de cobertura de estación INSIVUMEH corresponde al extremo sur y este del área de estudio como se muestra en el Figura 84A.

**Figura 64**

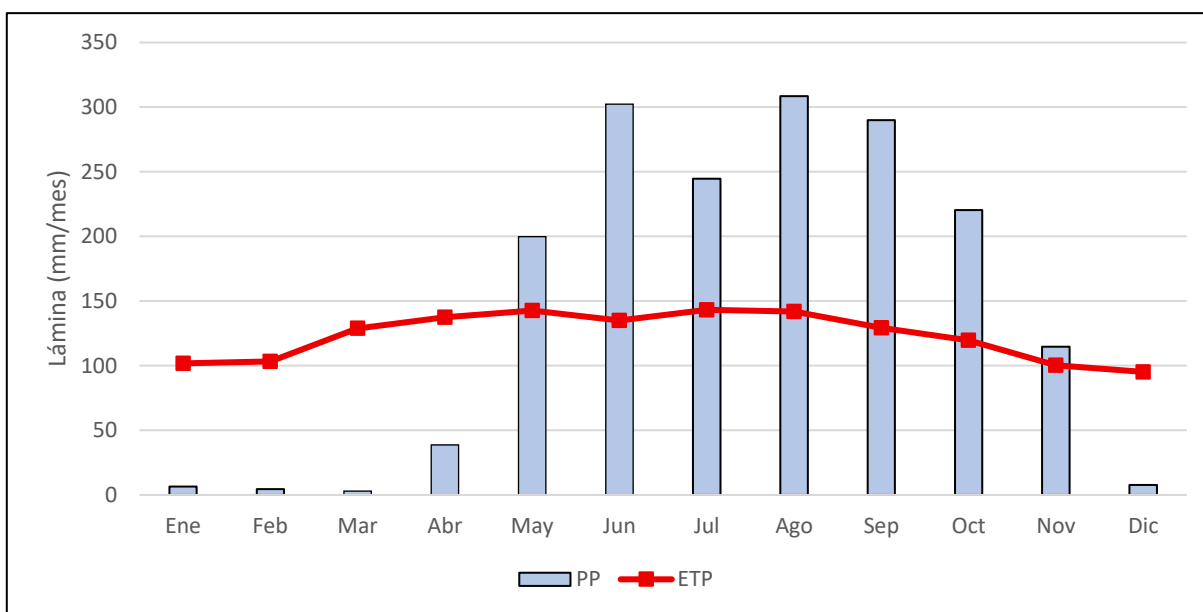
Balance hídrico climático: Estación INSIVUMEH



**Estación Lo De Coy.** Como se muestra en la Figura 65, la época lluviosa inicia en el mes de mayo y termina en el mes de noviembre, con un descenso en las lluvias en el mes de julio debido a la canícula, mientras que la época seca inicia en el mes de diciembre y culmina en el mes de abril, el rango de cobertura de estación Lo De Coy corresponde a la franja central del área de estudio como se muestra en el Figura 84A.

**Figura 65**

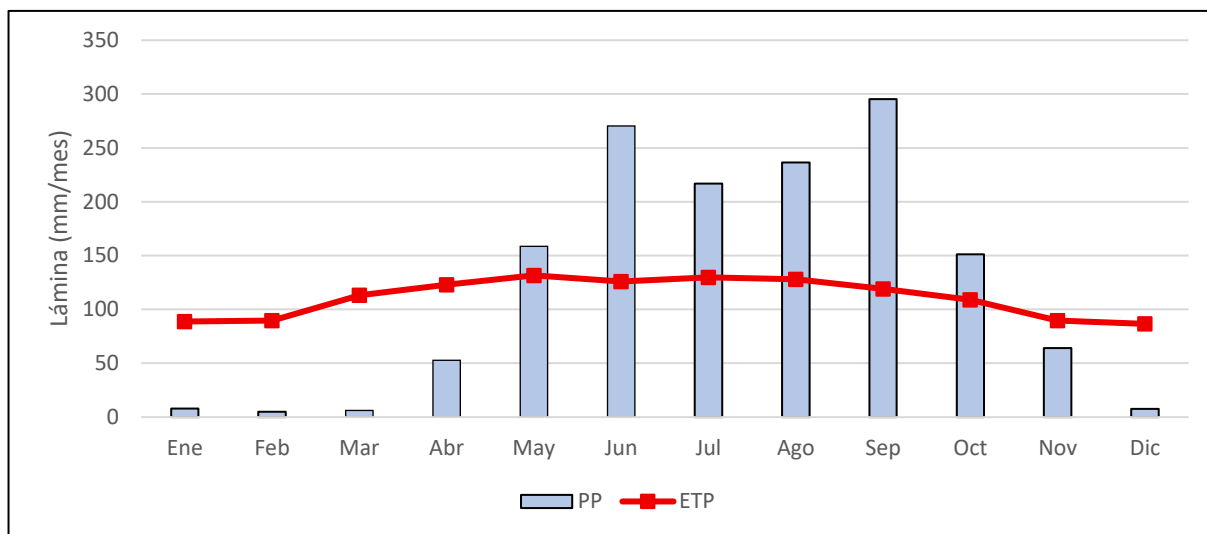
Balance hídrico climático: Estación Lo De Coy



**Estación Suiza Contenta.** Como se muestra en la Figura 66, la época lluviosa inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre, con un descenso en las lluvias en el mes de julio y agosto debido a la canícula, mientras que la época seca comprende desde el mes de noviembre hasta el mes de abril el rango de cobertura de estación Suiza Contenta corresponde al extremo oeste del área de estudio como se muestra en el Figura 84A.

**Figura 66**

Balance hídrico climático: Estación Suiza Contenta



En base a lo expuesto mediante el análisis de los balances hídricos climáticos, se indica lo siguiente:

La época lluviosa: Comienza en el mes de mayo y termina en el mes de octubre, aunque ocasionalmente se extiende al mes de noviembre; junio es el mes más lluvioso, seguido del mes de septiembre y la canícula ocurre en los meses de julio y agosto evidenciando un ligero descenso en la precipitación pluvial.

La época seca: Regularmente inicia en el mes de noviembre hasta el mes de abril, en este periodo se presentan las mayores temperaturas de todo el año, especialmente en los meses de marzo y abril, meses donde la gestión del recurso hídrico en plantas requiere de un mayor énfasis.

En general el municipio de Mixco posee un clima fresco que es ligeramente cálido en los meses más secos, con una época lluviosa bien definida que ocasionalmente puede extenderse al mes de noviembre.

### C. Suelos

El municipio de Mixco posee tres clases texturales de suelo predominantes, como se indica en la Figura 67, estas son: Franco Arenosa, Franco Arcillo Arenosa y Arenas Francas, por el material de origen y la forma se le ha clasificado como: “Valle tectónico de Ciudad de Guatemala” según Alvarado y Herrera (2001) “Se encuentra todo el valle donde se asienta la Ciudad de Guatemala en el Departamento de Guatemala, delimitado por las fallas del municipio de Mixco en el extremo Oeste” (p.32), dentro de este se alberga una gran cantidad de material piroclástico.

El municipio de Mixco se encuentra contenido en el departamento de Guatemala, formando parte del Valle tectónico de la ciudad de Guatemala, donde sus principales características se detallan en la Tabla 39.

**Tabla 39** Características del valle tectónico de Guatemala

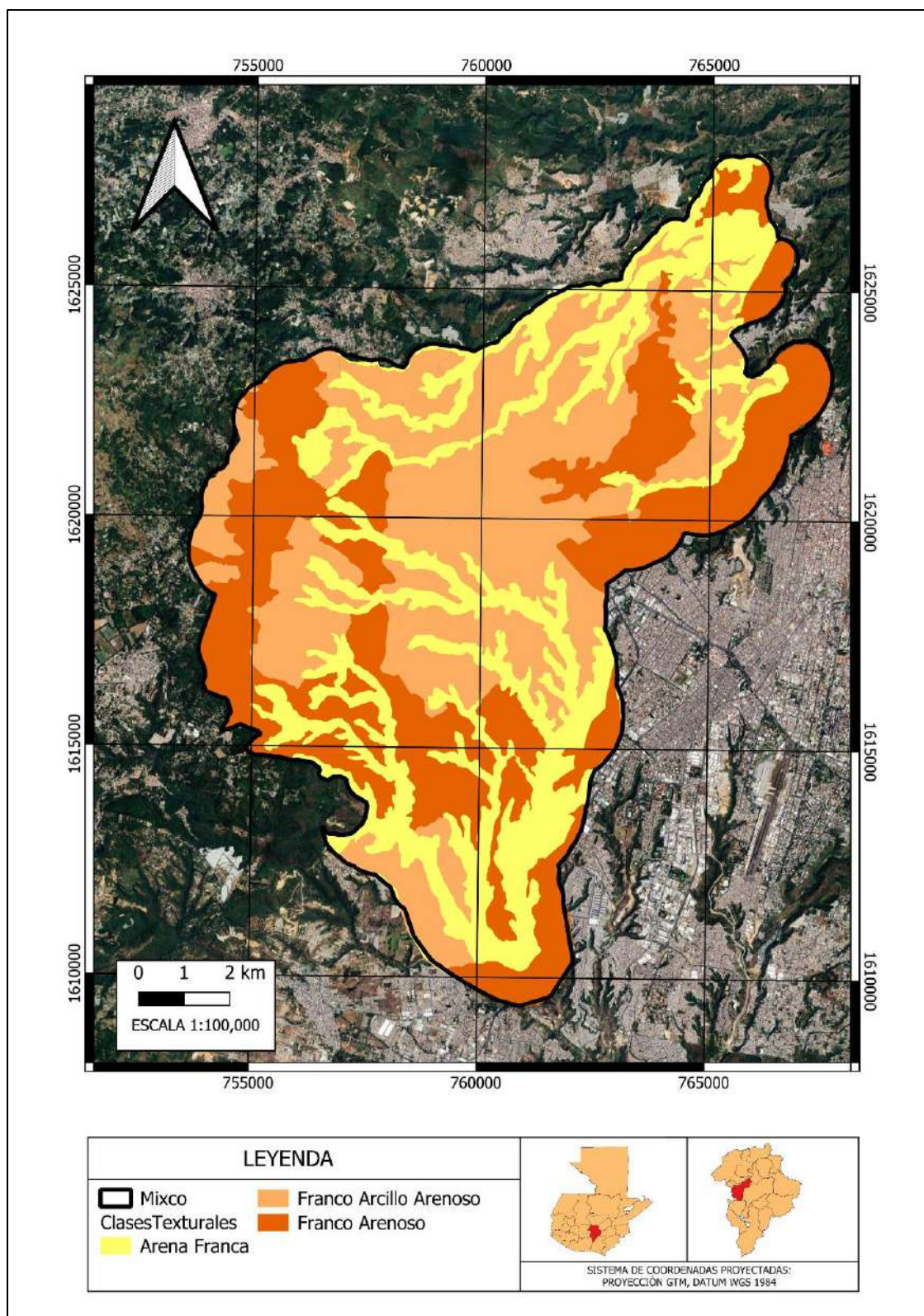
| Característica   | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Morfo grafía     | La unidad es un relleno piroclástico de topografía suave, con pendientes de 4 a 18% orientadas al Norte y otras al Sur, que sirve como divisoria ente las vertientes del mar Caribe y del océano pacífico.                                                                                                                                                                                                                         |
| Tipo de roca     | La unidad es un relleno piroclástico de pómez con aportes de coluvios al pie de los cerros, constituidos de rocas ande siticas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Morfo génesis    | El valle de Guatemala es una fosa tectónica que produjo un relleno que formó un valle que fue erosionándose, actualmente se observan grandes valles en forma de “V” producto de lavas terciarias y basculó en una serie de bloques con orientación Norte y Sur que provoco la deposición de materiales piroclásticos en el periodo pleistoceno (periodo que ocurrió hace 1.8 millones de años extendiéndose hasta el 10,000 a.C.). |
| Morfo cronología | Es probable que la unidad se haya empezado a formar durante el periodo plioceno (periodo que hace referencia a la proliferación de la fauna moderna que ocurrió hace 5 millones de años) y el relleno tuvo lugar en el Pleistoceno.                                                                                                                                                                                                |

*Nota.* Adaptado de “Gran Paisaje: Valle tectónico de la ciudad de Guatemala” por G. Alvarado y I.

Herrera, *Estratigrafía, Mapa Fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala*, p.32,

Copyright 2001 por MAGA.

**Figura 67**  
 Mapa de clases texturales del municipio de Mixco



#### **D. Elevación**

El municipio de Mixco, De acuerdo con Quiñonez (2019) “Posee una elevación promedio de 1,800 msnm, cubierto por numerosos accidentes geográficos, como barrancos y quebradas donde fluyen una red hídrica con abundantes corrientes de flujo permanente e intermitente” (p.5), fundado como un lugar de descanso para los viajeros entre los lugares que hoy conocemos como la Antigua Guatemala y la Ciudad de Guatemala, se encuentra en el extremo superior del valle tectónico de Guatemala, entre sus accidentes geográficos se encuentran:

**Cordilleras.** Serie de montañas entrelazadas entre sí, correspondiente al comúnmente llamado “Cerro Alux”, una zona boscosa ubicada en el oeste del municipio de Mixco,

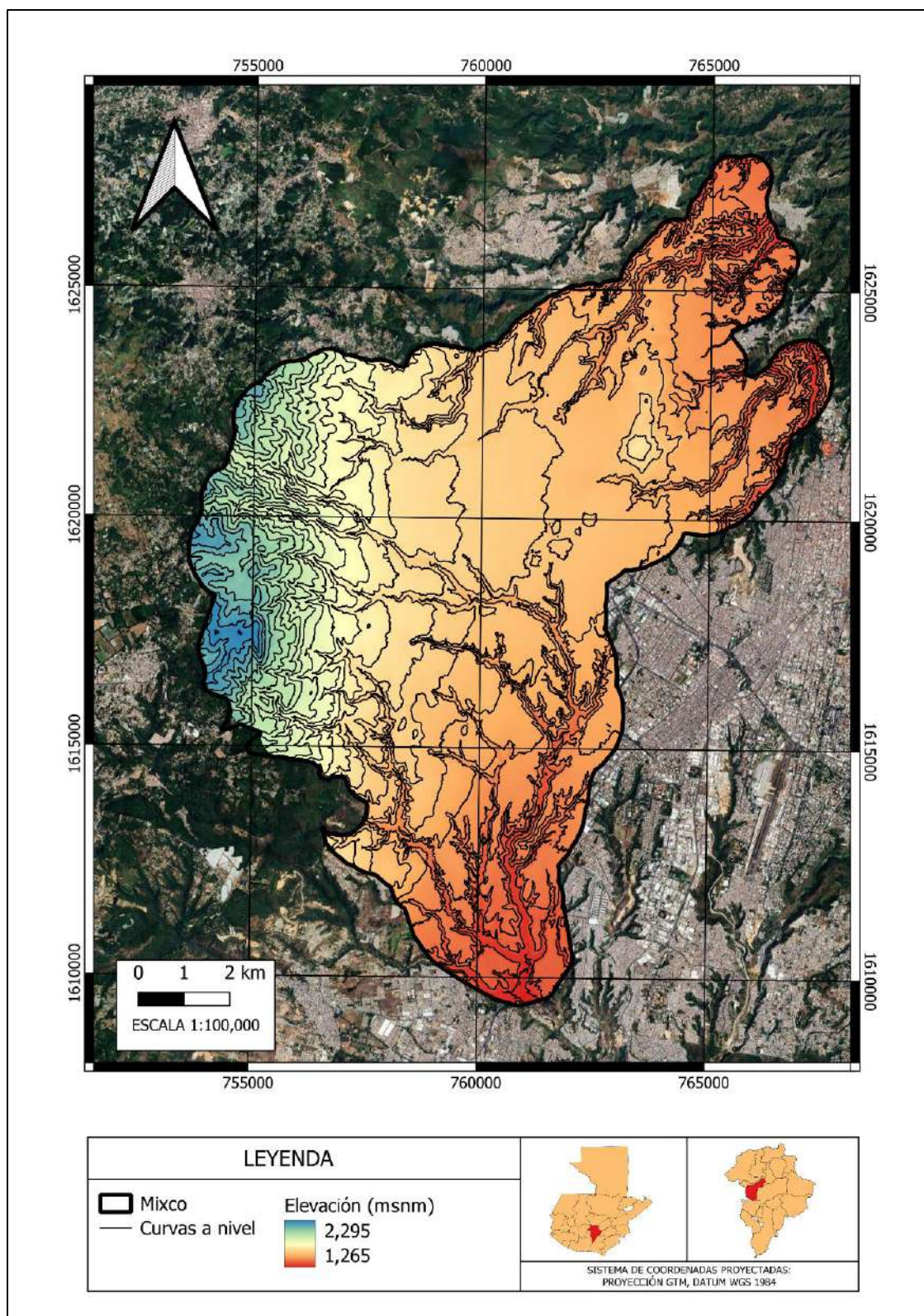
**Cerros.** Consisten en formaciones geográficas con alturas que rara vez superan los 300 metros desde su base, poseen pendientes considerables dispersas en todo el municipio de Mixco.

**Montañas.** Consisten en formaciones geográficas con alturas que superan los 300 metros desde su base, poseen pendientes considerables, la mayor cantidad de montañas se encuentran en el extremo oeste del municipio de Mixco.

**Valles.** Depresiones alargadas en el terreno formados por la erosión de ríos, que es donde estos fluyen, con una mayor presencia en el extremo sur y noreste del municipio de Mixco.

Como se indicó el municipio de Mixco posee una elevación promedio de 1,800 msnm, en su punto más bajo se encuentra a 1280 msnm correspondiente al río villa lobos, ubicado en el extremo sur del municipio, por el contrario, su punto más alto se encuentra sobre los 2,220 msnm, correspondiente al Cerro Alux, ubicado al extremo oeste del municipio, una de las reservas naturales más importantes de Guatemala donde se hayan los nacimientos de agua que desembocan el lago de Amatitlán.

**Figura 68**  
Mapa de elevación del municipio de Mixco



## E. Hidrografía

El municipio de Mixco por su ubicación geográfica se encuentra contenido dentro de dos cuencas hidrográficas, que a su vez se dividen en tres microcuencas como se muestra en la Figura 69, estas son:

**Cuenca Hidrográfica del Río Motagua.** Ubicada en la parte norte, perteneciente a la vertiente del mar caribe, cuyas aguas desembocan en el departamento de Izabal hacia el mar caribe comprende un total de 65.82 km<sup>2</sup>, representando un 49.86% del territorio de Mixco, dentro de esta área se encuentra la microcuenca del mismo nombre, es decir la microcuenca Río Motagua, que alberga una serie de ríos de carácter permanente e intermitente.

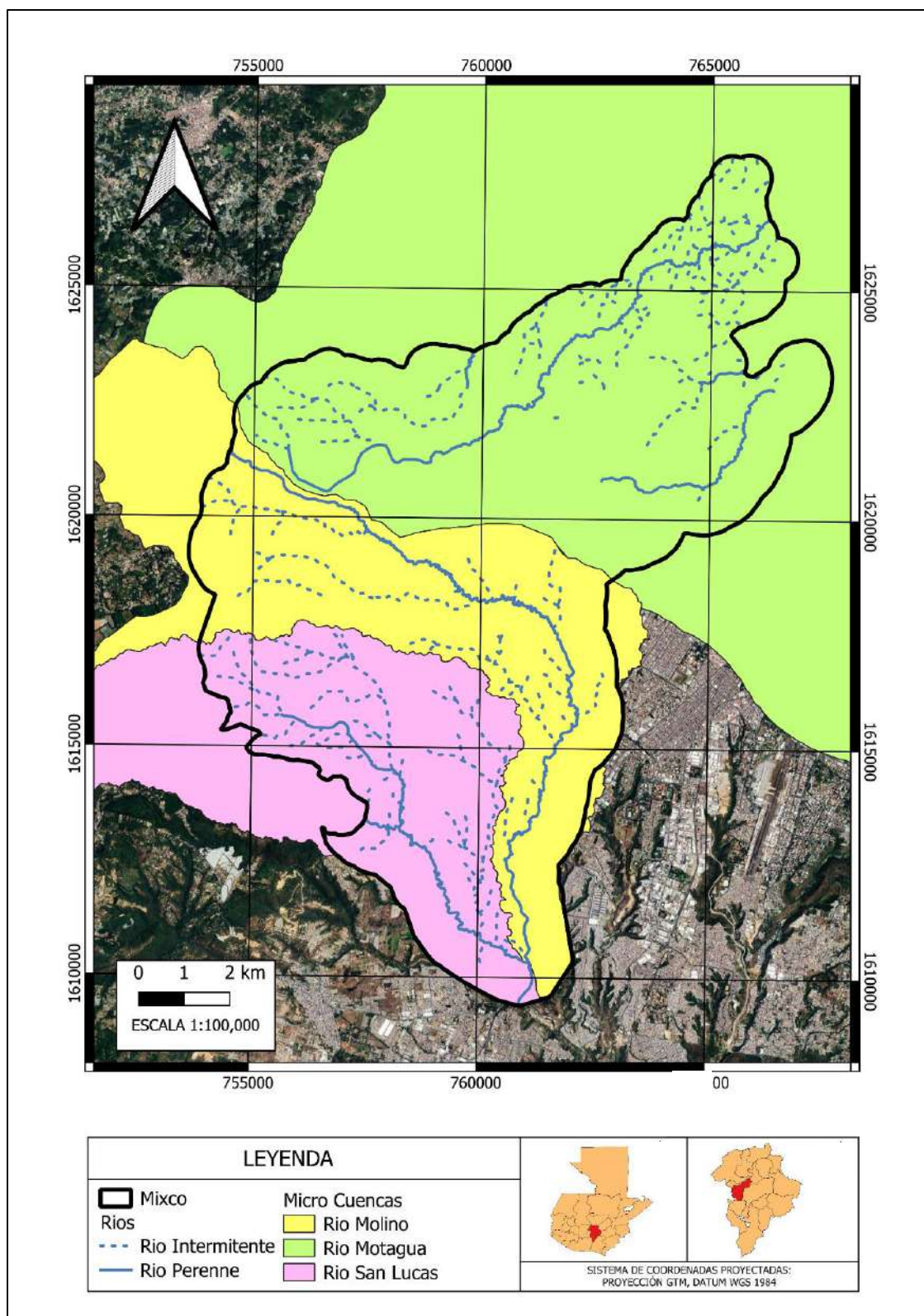
**Cuenca Hidrográfica Del Río María Linda.** Ubicada en la parte sur, perteneciente a la vertiente del del pacifico cuyas aguas desembocan en el departamento de escuintla hacia el mar pacifico (ver Anexo), comprende un total 66.18 km<sup>2</sup>, representando un 50.14% del territorio de Mixco, dentro de esta área se encuentran dos microcuencas, estas son:

**Microcuenca Río Molino.** Ubicada en la parte central y sureste, comprende una extensión total 31.10 km<sup>2</sup>, representando un 23.56% del territorio de Mixco, albergando una serie de ríos de carácter permanente e intermitente, ubicados en valles pronunciados, cuyo punto de aforo se encuentra en el extremo sur del municipio.

**Microcuenca Río San Lucas.** Ubicada en la parte suroeste, comprende una extensión total 31.10 km<sup>2</sup>, representando un 26.58% del territorio de Mixco, albergando una serie de ríos de carácter permanente e intermitente, ubicados en valles pronunciados, cuyo punto de aforo se encuentra en el extremo sur del municipio.

Por su ubicación y factores de formación gran parte del recurso hídrico del municipio de Mixco se desplaza a municipios cercanos como Villa Nueva y el casco central de Amatitlán, provocando según Barales (2019) “Un descenso de hasta 400 metros en el nivel piezométrico con respecto al año de 1978” (p.28), como se muestra en la Figura 85A.

**Figura 69**  
Hidrografía del municipio de Mixco



## F. Uso de Suelo

El municipio de Mixco forma parte de la AMG (Área Metropolitana de Guatemala), conformada por los municipios de: Amatitlán Guatemala, Mixco, donde las principales actividades económicas se basan en la transformación de materias primas y su comercialización, es decir las actividades productivas como la agricultura y la ganadería son considerablemente escasas, sin embargo, las áreas destinadas para el aprovechamiento de recursos forestales son mayor, como se muestra en la Figura 70 las principales actividades que ocupan los suelos del municipio de Mixco son 3:

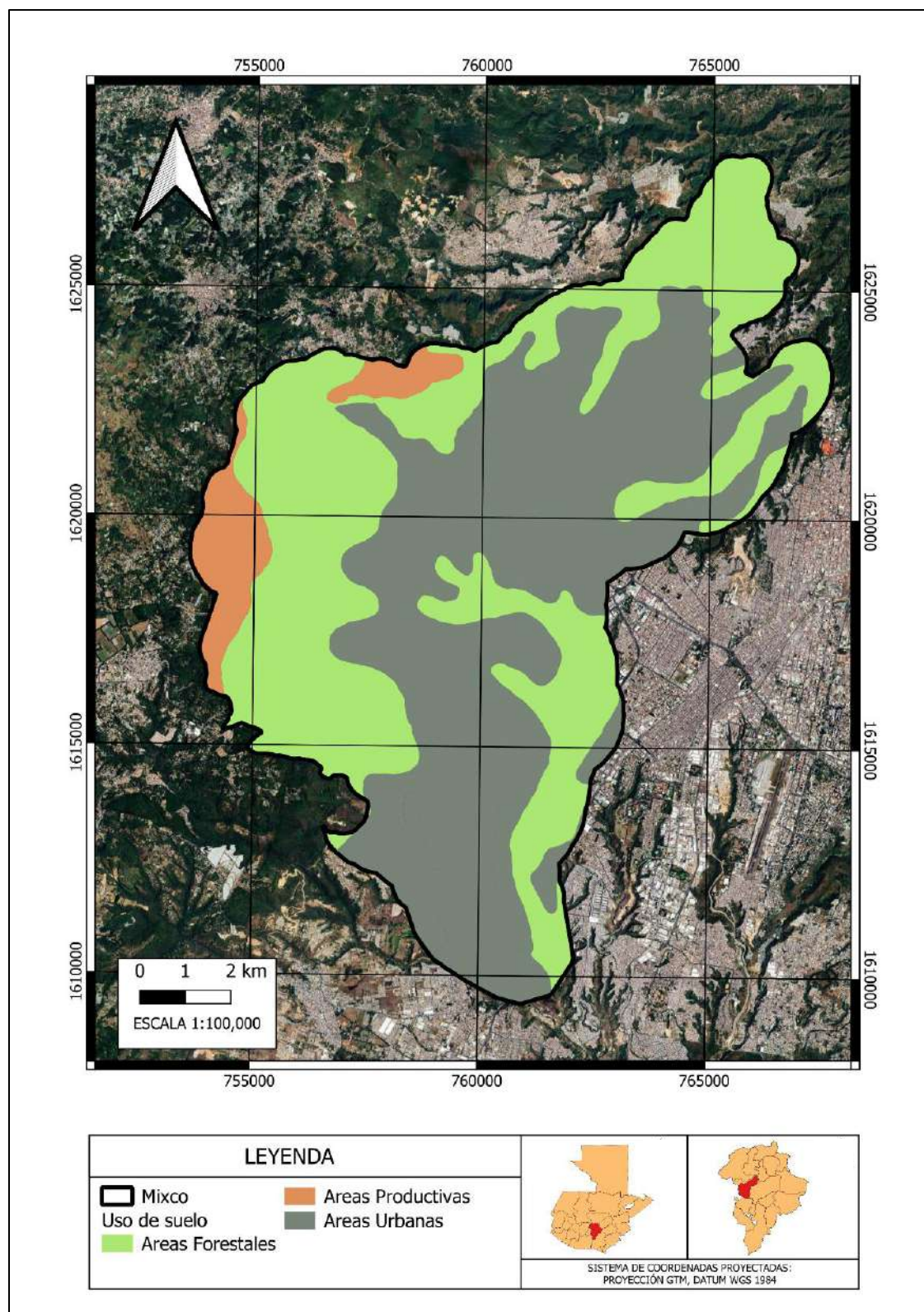
**Áreas Urbanas.** Comprende una serie de espacios urbanizados, tales como viviendas, edificios, caminos, etc. Estos espacios representan la mayor parte del municipio de Mixco, una extensión de 81.84 km<sup>2</sup>, que representan el 62% de la extensión total del municipio.

**Áreas Forestales.** Comprende una serie de espacios destinados a la obtención de recursos forestales y espacios protegidos tal es el caso de la reserva natural del “Cerro Alux”, estos espacios representan una extensión de 34.32 km<sup>2</sup>, que representan el 26% de la extensión total del municipio.

**Áreas Agrícolas.** Comprende una serie de espacios destinados a la explotación agrícola como la producción de hortalizas y granos, estos espacios representan la menor parte del municipio de Mixco, una extensión de 15.84 km<sup>2</sup>, que representan el 12% de la extensión total del municipio.

En términos generales el municipio de Mixco mayormente urbanizado, donde más de la mitad de su extensión territorial es destinada a espacios urbanos, sin embargo, posee una gran cantidad de espacios forestales, situados a lo largo de los barrancos y montañas presentes en el municipio de Mixco, no obstante, la cantidad de espacios destinados a actividades agrícolas es muy baja, tratándose de pequeñas parcelas donde se producen granos, hortalizas y en algunos casos pastos para alimento de ganado.

**Figura 70**  
Uso de suelos en Mixco



## **4.5. Objetivos**

### **4.5.1. Objetivo General**

- Estimar la recarga hídrica potencial en las micro cuencas de “Rio San Lucas” y “El Molino”, para el municipio de Mixco.

### **4.5.2. Objetivos Específicos**

1. Realizar el balance hídrico de suelos en las micro cuencas de “Rio San Lucas” y “El Molino”.
2. Cuantificar a través del balance hídrico de suelos la recarga hídrica de suelos.
3. Clasificar las zonas de recarga hídrica potencial en base a la matriz de criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica natural.
4. Proponer lineamientos en el fortalecimiento en la restauración forestal en las áreas críticas de Recarga hídrica.

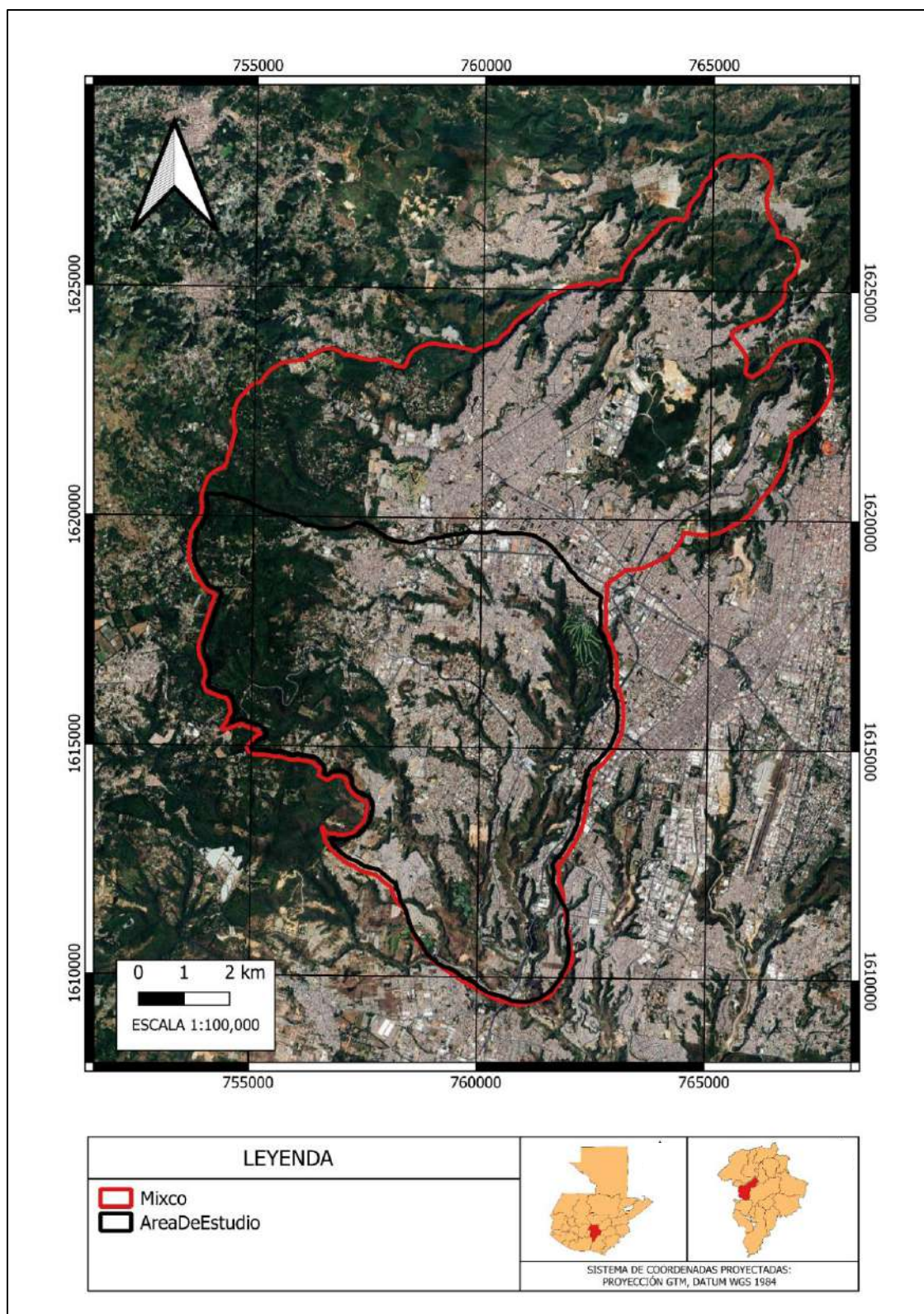
## **4.6. Metodología**

### **4.6.1. Delimitación del área de estudio**

Mixco es un municipio cuya extensión es de 132 km<sup>2</sup>, donde una de las principales características hidrográficas es que pertenece a 2 cuencas hidrográficas, la cuenca hidrográfica del: río Motagua al norte y la cuenca hidrográfica de: río María Linda al sur, como parte de las actividades asignadas por Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, se determinó que el área de estudio corresponde al territorio de Mixco contenido en la cuenca hidrográfica del Río María Linda, las micro cuencas: río Molino y río San Lucas.

Para la elaboración de mapas y material georreferencial se empleó el programa “Quantum Gis” que en sus opciones permite el desarrollo de material georreferencial mediante el uso de capas existentes proporcionadas por distintas entidades, para la delimitación del área de estudio se determinó que esta corresponde a la parte sur del municipio de Mixco, con una extensión de 66.18 km<sup>2</sup>, como se muestra en la Figura 71.

**Figura 71**  
Mapa de ubicación del área de estudio

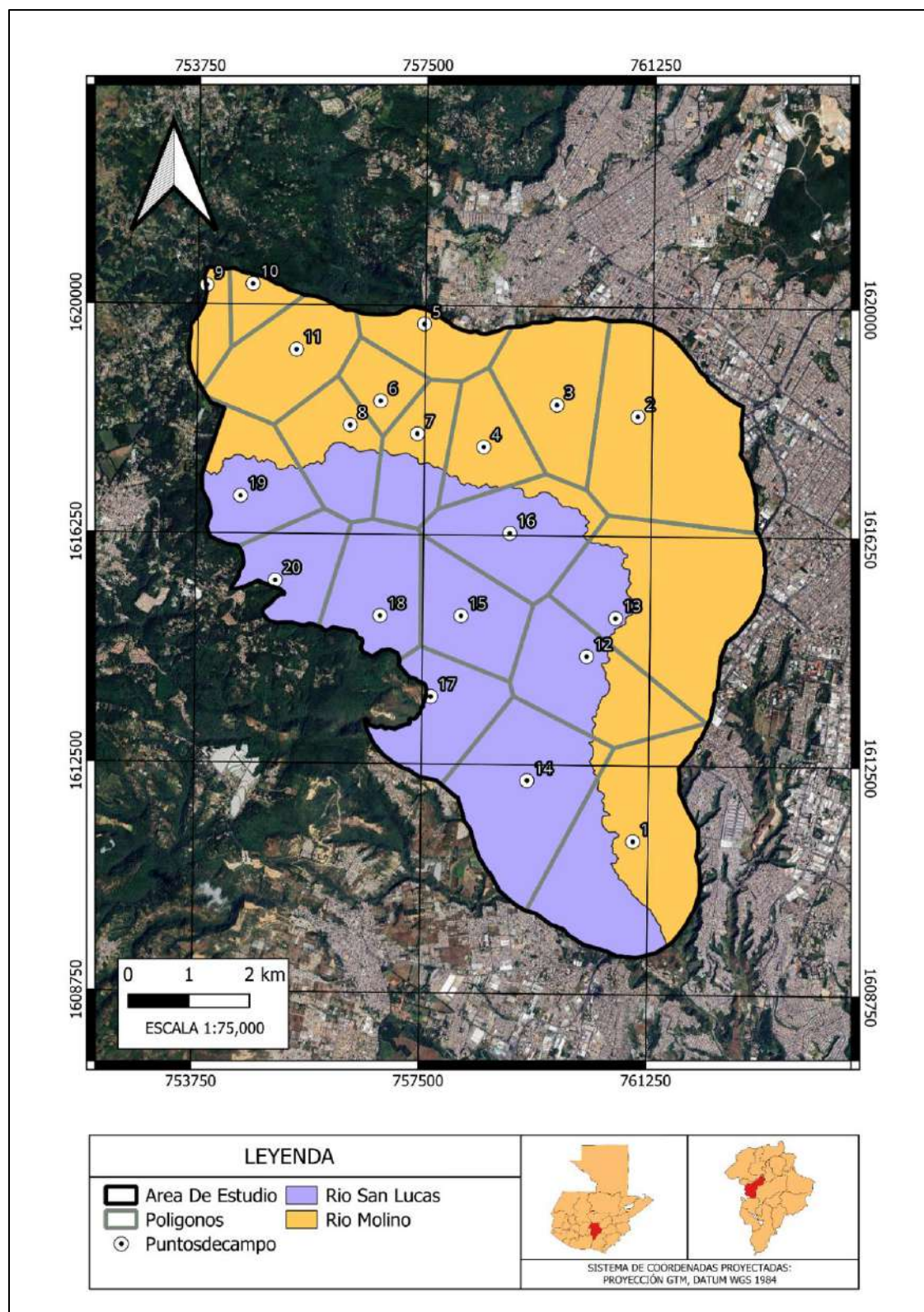


Para facilitar la agrupación de datos se utilizó la metodología de los polígonos de Voronoi, dicha metodología es descrita según Rodríguez (2009) como: “Polígonos que se crean al unir entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión, donde cada punto pertenece a una celda” (p.12), para ello se determinó una serie de puntos de interés para la toma de muestras de suelo, elegidos en función de su distribución geográfica y vías de acceso, como se muestra en la Tabla 4 e ilustrados en la Figura 72.

**Tabla 40**  
Información de los polígonos de estudio

| No.   | Nombre                                     | Microcuenca                   |                                  | Extensión total (km <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
|       |                                            | Rio Molino (km <sup>2</sup> ) | Rio San Lucas (km <sup>2</sup> ) |                                    |
| 1     | Rio Villa Lobos                            | 3.9524                        | 3.0052                           | 6.9576                             |
| 2     | Santa Mónica                               | 6.9597                        | 0                                | 6.9597                             |
| 3     | Planta de Tratamiento Alvarado             | 3.6538                        | 0                                | 3.6538                             |
| 4     | Lo de Coy                                  | 1.9983                        | 0.2566                           | 2.2549                             |
| 5     | Rio Pansalic                               | 1.8181                        | 0                                | 1.8181                             |
| 6     | Las Hojarascas                             | 1.2309                        | 0                                | 1.2309                             |
| 7     | Nueva Vida                                 | 1.1741                        | 1.1069                           | 2.2810                             |
| 8     | San Andresito                              | 1.4314                        | 1.1409                           | 2.5723                             |
| 9     | Pozo municipal, El Manzanillo              | 0.00                          | 0.9399                           | 0.9399                             |
| 10    | Ciénaga I, El Manzanillo                   | 0.00                          | 0.8265                           | 0.8265                             |
| 11    | Antigua Calle Real                         | 0.00                          | 3.1691                           | 3.1691                             |
| 12    | Predio Municipal “El Caracol”              | 1.5741                        | 2.4166                           | 3.9907                             |
| 13    | Las Tres Ceibas                            | 5.7022                        | 1.3899                           | 7.0921                             |
| 14    | Balcones de San Cristóbal                  | 0.1372                        | 5.0884                           | 5.2256                             |
| 15    | Planta de Tratamiento de Agua El Campanero | 0.00                          | 2.7508                           | 2.7508                             |
| 16    | San Marino                                 | 0.5311                        | 3.2103                           | 3.7414                             |
| 17    | Pozo Municipal 3                           | 0.00                          | 2.7207                           | 2.7207                             |
| 18    | Predio Municipal El aguacate               | 0.00                          | 2.8478                           | 2.8478                             |
| 19    | Senderos de Alux                           | 0.9353                        | 1.9910                           | 2.9263                             |
| 20    | El Mirador                                 | 0.00                          | 2.2242                           | 2.2242                             |
| Total |                                            | 31.0986                       | 35.0848                          | 66.1834                            |

**Figura 72**  
Polígonos de estudio





La información meteorológica proporcionada en la estación INSIVUMEH, se presentó datos completos, presentados en la Tabla 43.

**Tabla 43**

Precipitación pluvial Estación INSIVUMEH

| <b>Año</b>  | <b>Ene.</b> | <b>Feb.</b> | <b>Mar.</b> | <b>Abr.</b> | <b>May.</b> | <b>Jun.</b> | <b>Jul.</b> | <b>Ago.</b> | <b>Sep.</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dic.</b> | <b>Total</b> |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>2020</b> | 5.3         | 0.9         | 0           | 42.1        | 213.4       | 110.3       | 155.1       | 171.1       | 310.4       | 238.8       | 58.1        | 0.3         | 1305.8       |
| <b>2021</b> | 12.8        | 5.7         | 0           | 33.4        | 145.9       | 316.7       | 149.6       | 217.3       | 100.7       | 158         | 2.3         | 3.7         | 1146.1       |
| <b>2022</b> | 1.0         | 0           | 2.5         | 106.6       | 208.5       | 336.4       | 126.9       | 268.9       | 352.4       | 114.1       | 73          | 4.7         | 1480.9       |
| <b>2023</b> | 8.4         | 2.9         | 40.4        | 5.1         | 143.3       | 187         | 249.4       | 153.1       | 176.6       | 108.4       | 16.9        | 0.7         | 1092.2       |

*Nota.* Información general de precipitación pluvial de la estación meteorológica INSIVUMEH por la entidad: INSIVUMEH, (datos desde 2020 debido a disponibilidad reciente). Realizado con Word.

La información meteorológica proporcionada para la estación Lo de Coy, presentó datos faltantes en 2 meses, en diciembre del año 2021 y noviembre del año 2023, como se presenta a continuación en la Tabla 44.

**Tabla 44**

Precipitación pluvial (incompleta), Estación: Lo de Coy

| <b>Año</b>  | <b>Ene.</b> | <b>Feb.</b> | <b>Mar.</b> | <b>Abr.</b> | <b>May.</b> | <b>Jun.</b> | <b>Jul.</b> | <b>Ago.</b> | <b>Sep.</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dic.</b> | <b>Total</b> |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>2020</b> | 18.7        | 13.6        | 0.2         | 95.8        | 357.4       | 390         | 381.1       | 370.4       | 480         | 382.8       | 239.5       | 0           | 2729.5       |
| <b>2021</b> | 1.7         | 0           | 0           | 19          | 191.6       | 214.1       | 130.9       | 282         | 56          | 139.4       | 3.6         | X           | 1038.3       |
| <b>2022</b> | 0           | 0           | 0.2         | 37.3        | 166.9       | 397.5       | 233.6       | 444.4       | 470         | 159.6       | 101.2       | 10          | 2020.7       |
| <b>2023</b> | 5.1         | 4.5         | 11.5        | 2.6         | 83.3        | 207.6       | 232.7       | 137.4       | 153.7       | 199.3       | X           | 13          | 1050.7       |

*Nota.* Información general de precipitación pluvial de la estación meteorológica Lo De Coy por la entidad: INSIVUMEH, (datos desde 2020 debido a disponibilidad reciente). Realizado con Word.

La información meteorológica proporcionada por la estación Suiza Contenta, presentó un dato faltante en el mes de noviembre de 2023, como se presenta a continuación en la Tabla 45.

**Tabla 45**

Precipitación pluvial (incompleta), Estación: Suiza Contenta

| Año  | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May.  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Sep.  | Oct.  | Nov. | Dic. | Total  |
|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| 2020 | 6.2  | 1.4  | 0.2  | 66.8 | 155.9 | 140.7 | 145.2 | 202.2 | 214.5 | 158.6 | 78.6 | 1.2  | 1171.5 |
| 2021 | 12.2 | 2.1  | 0.4  | 92.8 | 160.7 | 276.5 | 106.1 | 308.3 | 207.8 | 103.6 | 11.7 | 3.3  | 1285.5 |
| 2022 | 6.1  | 1.4  | 7.4  | 47.7 | 189.7 | 509.3 | 337.7 | 285.5 | 530.7 | 191   | 102  | 21.9 | 2230.4 |
| 2023 | 7.8  | 14.8 | 16.8 | 3.8  | 128.1 | 155.1 | 278.4 | 150.1 | 227.7 | 152   | X    | 4.3  | 1138.9 |

*Nota.* Información general de precipitación pluvial de la estación meteorológica Suiza Contenta por la entidad: INSIVUMEH, (datos desde 2020 debido a disponibilidad reciente). Realizado con Word.

### B. Datos Faltantes.

A menudo se presentan factores que limitan la obtención de datos precisos, tal es el caso de la precipitación pluvial, donde factores externos condicionan la toma de datos, sin embargo, es posible estimar los datos faltantes por medio de metodologías previamente establecidas, es importante señalar el margen de error de esta comparación es cercano al 10%, puede ser considerado aceptable.

Herrera (2014) recomienda: “Utilizar la mayor cantidad de registros de años previos, sin embargo, para países latinoamericanos es difícil encontrar este periodo por lo que un periodo de 10 años o menos es aceptable” (p.62), para la determinación de datos faltantes se empleó la ecuación planteada por Herrera (2014):

$$\frac{Xi}{Ni} = \frac{Xi + Xj}{P}$$

Donde:

$$\frac{\text{Precipitación durante el mes } i \text{ del año de estudio}}{\text{Promedio de precipitación durante el mes } i \text{ para todos los años de registro}} = \frac{\text{Suma de todas las lluvias mensuales en el año de estudio}}{\text{Promedio anual de precipitación para todos los años de registro}}$$

### C. Evapotranspiración Potencial.

La metodología empleada para la determinación de la evapotranspiración potencial es el método de Hargreaves, dicha metodología fue descrita por FAUSAC (2016), desarrollándose de la siguiente manera:

**Evapotranspiración.** La fórmula para calcular la evapotranspiración es la siguiente:

$$ETP = 0.0075 * TMF * RSM$$

Donde:

ETP: evapotranspiración (mm/mes)

TMF: Temperatura media mensual (°F)

RSM: Radiación solar incidental mensual

**Radiación Solar Media.** Para calcular la evapotranspiración es necesario conocer el valor de la radiación solar media, que se calcula con la siguiente formula:

$$RSM = 0.075 * RMM * S^{1/2}$$

Donde:

RMM: radiación mensual extraterrestre

S: brillo medio mensual (%)

**Radiación Mensual Extraterrestre.** Para calcular el valor de la radiación solar media es necesario determinar el valor de la radiación mensual extraterrestre por medio de datos presentes en la Tabla 46 y la siguiente formula:

$$RMM = RS * No. de dias del mes$$

Donde:

RS: Radiación solar (mm/mes)

El valor medio anual de la radiación solar extraterrestre se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 46**Valores medios anuales de radiación solar extraterrestre (W/m<sup>2</sup>)

| Lat.<br>Norte | Ene.  | Feb.  | Mar.  | Abr.  | May.  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Sep.  | Oct.  | Nov.  | Dic.  |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10            | 13.30 | 14.28 | 15.27 | 15.72 | 15.61 | 15.42 | 15.51 | 15.72 | 15.54 | 14.71 | 13.61 | 12.98 |
| 15            | 12.29 | 13.51 | 14.83 | 15.77 | 16.02 | 16.00 | 16.02 | 15.93 | 15.33 | 14.07 | 12.66 | 11.91 |
| 20            | 11.20 | 12.64 | 14.37 | 15.70 | 16.35 | 16.48 | 16.42 | 16.04 | 15.00 | 13.33 | 11.63 | 10.76 |

*Nota.* Adaptado de “Valores medios mensuales de radiación solar extraterrestre” por Orozco et al. 2003, citado por Bardales 2011, Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala, 3, copyright 2003 por Orozco et al.

**Brillo Medio Mensual.** Para calcular el valor de la radiación solar media es necesario determinar el valor del brillo medio mensual por medio de datos presentes en la Tabla 47 y la siguiente formula:

$$S = K_s * (100 - HR)^{1/2}$$

Donde:

Ks: Constante para Centroamérica igual a 12.5

HR: Humedad Relativa (%)

El brillo medio mensual se calcula por medio de valores estandarizados, presentes en la Tabla 47 y se aplica la siguiente formula:

$$S = \left( \frac{N}{24} \right) * 100$$

**Tabla 47**

Duraciones diarias de horas de brillo solar para distintos meses y latitudes

| Lat.<br>Norte | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10            | 11.6 | 11.8 | 12.0 | 12.3 | 12.6 | 12.7 | 12.6 | 12.4 | 12.1 | 11.8 | 11.6 | 11.5 |
| 15            | 11.3 | 11.6 | 12.0 | 12.5 | 12.8 | 13.0 | 12.9 | 12.6 | 12.2 | 11.8 | 11.4 | 11.2 |
| 20            | 11.0 | 11.5 | 12.0 | 12.6 | 13.1 | 13.3 | 13.2 | 12.8 | 12.3 | 11.7 | 11.2 | 10.9 |

*Nota.* Adaptado de “Duración máxima, media y diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes” por Orozco et al. 2003, citado por Bardales 2011, Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala, 3, copyright 2003 por Orozco et al.

Se presentan los cálculos para la determinación de la evapotranspiración potencial para cada una de las 3 estaciones meteorológicas consultadas, dicho valor será de importancia para el desarrollo de los balances hídricos:

Estación INSIVUMEH: Cálculos de ETP, ver Tabla 69B.

Estación Lo de Coy: Cálculos de ETP, ver Tabla 70B.

Estación Suiza Contenta: Cálculos de ETP, ver Tabla 71B

#### **D. Características Físicas del Suelo.**

Para determinar las características físicas de suelo, se tomaron 20 muestras de suelo, una muestra por cada polígono de estudio, los criterios para la selección de puntos fueron: distribución geográfica, vías de acceso no restringidas y disponibilidad de áreas verdes.

El objetivo de determinar las pruebas físicas de suelo es la determinación de:

**Capacidad De Campo.** Schosinsky (2007) la describió como: “La máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentre saturado” (p.14).

**Punto De Marchitez Permanente.** Schosinsky (2007) la describió como: “El aproximado a la mínima humedad que puede tener un suelo, con humedades menores las plantas se mueren” (p.18).

**Densidad Aparente.** Según Sandoval (1989) “Una característica que puede ser modificada por la compactación, cuando un suelo se compacta aumenta la densidad aparente, porque se reduce el espacio entre las partículas del suelo que disminuyen el volumen del espacio poroso” (p.36).

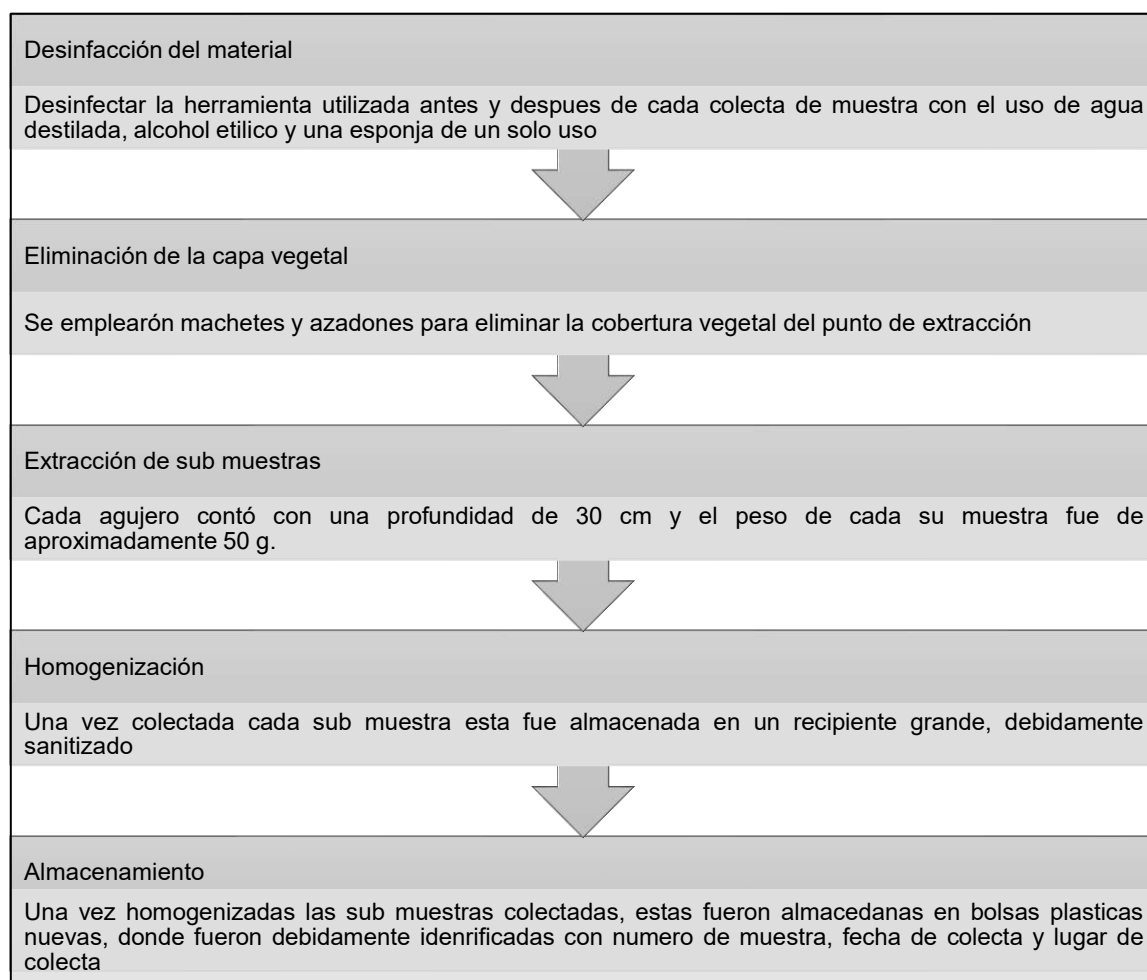
**Textura.** La textura o también llamada proporción relativa, según Sandoval (1989) “Se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla de este” (p.33), su importancia radica en la capacidad de retención disponibilidad y movimiento de agua.

**Estructura.** Consiste según Sandoval (1989) “La agregación de partículas de suelo, compuestas por arena, limo y arcilla en grupos de partículas primarias, separadas de los agregados adyacentes de la superficie” (p.35).

La metodología empleada para la obtención de muestras fue la establecida en el manual de prácticas del laboratorio de edafología II por Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC, 2025). Para cada uno de los 20 puntos se tomó una muestra de suelo de 1kg, cada muestra se compone de 20 submuestras de 50g c/u extraídas a 5 metros de distancia entre sí como mínimo, como se muestra en la Figura 74. La metodología para obtener dichas muestras de suelo fue la siguiente:

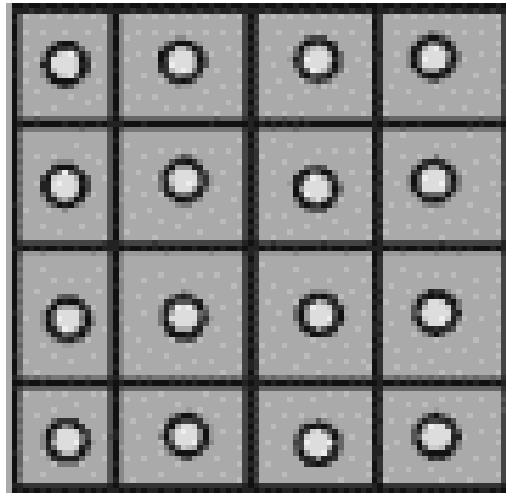
### Figura 73

Metodología para la extracción de muestras de suelo



**Figura 74**

Metodología de muestreo de suelo tipo cuadrícula



*Nota.* Adaptado de “Tipos de muestreo” por FAUSAC 2025, Manual del laboratorio de Edafología I, 14, copyright 2025 por FAUSAC.

### **E. Capacidad de Infiltración.**

La infiltración es un proceso, que según Bardales (2011) consiste en: “El agua penetra desde la superficie del suelo, en un determinado tiempo, ocupando parcial o totalmente los espacios porosos, llegando hasta sus capas inferiores saturadas” (p.4), para desarrollar una prueba de infiltración básica se empleó el método de Porchet, se debe tomar en cuenta que el suelo no esté en condiciones de saturación (en su máxima capacidad de agua), o en condiciones de Punto de marchitez permanente (en su mínima capacidad de agua), para desarrollar las pruebas de infiltración se realizó lo siguiente :

Limpeza el área a emplear

Se excavó un agujero con radio y altura conocida

Se agregó agua al agujero, cerca del punto de saturación del suelo

Se anotó el descenso en función del tiempo

Una vez establecidas las condiciones para desarrollar las pruebas de infiltración y haberlas desarrollado en campo, la fórmula para determinar la infiltración o factor de infiltración es la siguiente:

$$F = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} * \ln \left( \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$$

Donde:

F: Infiltración (cm/min)

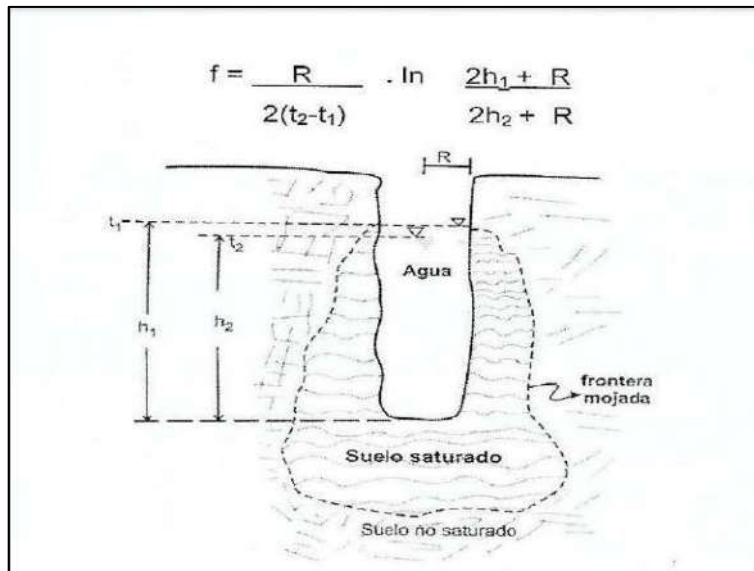
R: Radio del cilindro (6.5 cm)

H: Altura del cilindro (60 cm)

T: Tiempo (min)

### Figura 75

Esquema de campo del método de Porchet



*Nota.* Adaptado de “Esquema de campo del método de Porchet” por Herrera 2014, Manual del laboratorio de Hidrología, p. 92, copyright 2014 por Herrera.

Una vez determinada la infiltración básica del suelo expresada en cm/hora, se pudo determinar el porcentaje de agua que es capaz de infiltrarse, para ello se utilizó la siguiente ecuación desarrollada para América Central, recomendada y citada por Herrera (2014):

$$\% \text{ Infiltración} = (-2.74 \times 10^{-5} * fc + 0.2284) * \ln(fc) + 0.000159 * fc - 0.586$$

Donde:

Ln: Logaritmo natural

Fc: Factor de infiltración básica (mm/día)

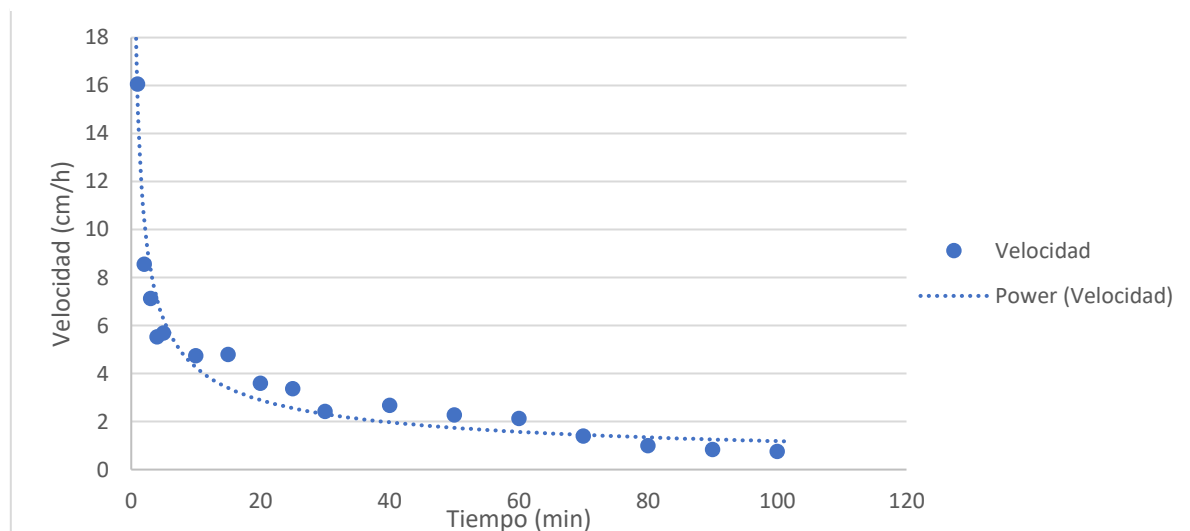
Para convertir el factor de infiltración obtenido en las pruebas de infiltración, la conversión es la siguiente:

$$FC = \frac{cm}{hora} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} * \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} = \frac{mm}{día}$$

Durante el desarrollo de pruebas de infiltración se tomó medida del descenso durante distintos periodos de tiempo, como se muestra en la Figura 76, correspondiente al punto no.1:

**Figura 76**

Velocidad de infiltración



De acuerdo con lo expuesto en la Figura 24, se presentó el comportamiento del descenso del agua para el punto no. 1, determinando que el suelo en un tiempo de 100 minutos, en un agujero de 60 cm de profundidad y 6.5 cm de radio, ubicado en el río villa lobos posee una infiltración básica de 0.9876 cm/h, se presenta un resumen de los descensos según la microfrecuencia a la que pertenecen de la siguiente manera:

**Microcuenca: Rio Molino.** El resumen de los 11 puntos contenidos en esta microcuenca se encuentra en la Tabla 77B, la microcuenca Rio Molino, comprende los puntos 1 a 11, donde el descenso se encuentra graficado para los puntos 1 a 5, en la Figura 86A; mientras que los puntos 6 a 11 se encuentran graficados en la Figura 87A.

**Microcuenca: Rio San Lucas.** El resumen de los 9 puntos contenidos en esta microcuenca se encuentra en la Tabla 78B, la microcuenca Rio San Lucas, comprende los puntos 12 a 20, donde el descenso se encuentra graficado para los puntos 12 a 16, en la Figura 88A; mientras que los puntos 17 a 20 se encuentran graficados en la Figura 89A.

**Tabla 48**

Estimación del porcentaje de lluvia infiltrada

| Punto | velocidad de infiltración (cm/h) | velocidad de infiltración (mm/día) | Porcentaje de infiltración del suelo | Porcentaje de infiltración (ajustado) |
|-------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1     | 0.9876                           | 237.0240                           | 0.6651                               | 66.51                                 |
| 2     | 1.0502                           | 252.0480                           | 0.6779                               | 67.79                                 |
| 3     | 0.8712                           | 209.088                            | 0.6359                               | 63.59                                 |
| 4     | 0.9325                           | 223.800                            | 0.6512                               | 65.12                                 |
| 5     | 1.2791                           | 306.9840                           | 0.7226                               | 72.26                                 |
| 6     | 1.3584                           | 326.016                            | 0.7349                               | 73.49                                 |
| 7     | 0.4075                           | 97.8000                            | 0.4640                               | 46.40                                 |
| 8     | 1.6821                           | 403.7040                           | 0.7814                               | 78.14                                 |
| 9     | 4.9006                           | 1176.1440                          | 0.9880                               | 98.80                                 |
| 10    | 3.5302                           | 847.2480                           | 0.9311                               | 93.11                                 |
| 11    | 4.5201                           | 1084.8240                          | 0.9751                               | 97.51                                 |
| 12    | 1.1041                           | 264.9840                           | 0.6900                               | 69.00                                 |
| 13    | 1.0132                           | 243.1680                           | 0.6708                               | 67.08                                 |
| 14    | 2.1007                           | 504.1680                           | 0.8295                               | 82.95                                 |
| 15    | 2.5196                           | 604.7040                           | 0.8669                               | 86.69                                 |
| 16    | 1.2301                           | 295.2240                           | 0.7130                               | 71.30                                 |
| 17    | 4.1205                           | 988.9200                           | 0.9596                               | 95.96                                 |
| 18    | 1.5819                           | 379.6560                           | 0.7681                               | 76.81                                 |
| 19    | 3.5107                           | 842.5680                           | 0.9301                               | 93.01                                 |
| 20    | 2.9585                           | 710.04                             | 0.8977                               | 89.77                                 |

## F. Profundidad Radicular.

Determinar la lámina de agua aprovechable por los cultivos resulta complicado debido a que depende del tipo de cultivo, suelo, clima, sin embargo, existe una serie de profundidades radicales establecidas para distintos cultivos, pues según Schosinsky (2007) la importancia radica en que: “Es necesario conocer la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua en la zona a realizar un balance hídrico, similar a un prisma donde una de las caras es la profundidad radicular” (p.15), para clasificar de mejor manera las profundidades radicales en función del tipo de vegetación ver Tabla 49, señalando los valores a empleados en la Tabla 50.

**Tabla 49**

Profundidad radicular en distintos cultivos y suelos

| Clase textural      | Profundidad radicular (m) |                   |                       |
|---------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
|                     | Arboles                   | Pastos y arbustos | Maíz y caña de azúcar |
| Arena Fina          | 2.50                      | 1.00              | 0.75                  |
| Franco arenoso fino | 2.00                      | 1.67              | 1.00                  |
| Franco limoso       | 2.00                      | 1.50              | 1.00                  |
| Franco arcilloso    | 1.60                      | 1.00              | 0.80                  |
| Arcilloso           | 1.17                      | 0.67              | 0.50                  |

*Nota.* Adaptado de “Profundidad radicular en diferentes combinaciones de suelos y plantas” por Sandoval 1989, citado por García 2006, Estudio De Los Recursos Naturales Renovables E Identificación De Las Áreas De Recarga Hídrica En La Microcuenca Del Río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché, p.61, copyright Sandoval 1989.

**Tabla 50**

Profundidad radicular según la vegetación

| Tipo de vegetación                       | Profundidad radicular (mm) | Puntos                                     |
|------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| Pastos                                   | 400                        | 1, 4, 12, 13 y 17                          |
| Arbustos                                 | 1000                       | 3                                          |
| Bosques (franco arenoso y franco limoso) | 2000                       | 7 y 14                                     |
| Bosques (Arenas Finas)                   | 2500                       | 2, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 15, 16, 18, 19 y 20 |

### G. Balance Hídrico de Suelos.

Un balance hídrico de suelos es una metodología que permite estimar la recarga potencial y los déficits de un punto específico, basándose en el principio descrito por Herrera (2014) de la siguiente manera: “Durante un cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca, masa de agua o región geográfica, debe ser igual a la salida total del agua más la variación neta en el almacenamiento” (p.225).

Para desarrollar un balance hídrico por la metodología de Gunther Schosinsky modificado, son necesarias las siguientes variables:

**Tabla 51**

Datos necesarios para desarrollar balance hídrico de suelos

| Símbolo  | Variable                      | Fuente                   |
|----------|-------------------------------|--------------------------|
| I        | Infiltración                  | Campo y Cálculos         |
| PR       | Profundidad Radicular         | Medios Literarios        |
| CC       | Capacidad de campo            | Campo y laboratorio      |
| PMP      | Punto de Marchitez Permanente | Campo y laboratorio      |
| Pp       | Precipitación Pluvial         | Entidades meteorológicas |
| $\rho_a$ | Densidad aparente del suelo   | Campo y laboratorio      |
| ETP      | Evapotranspiración Potencial  | Cálculos                 |

*Nota.* Adaptado de “Balance hídrico de suelos” por Martínez 2020, Balance hídrico de suelos, copyright 2020 por Martínez.

Un balance hídrico se desarrolla de forma mensual, iniciando en un mes con antecedentes de lluvia, en este caso se inició en el mes de noviembre con antecedentes de lluvia del mes de octubre, determinando el comportamiento de la precipitación pluvial, de la siguiente manera:

La precipitación pluvial se fragmenta en dos categorías: escorrentía superficial, que representa la cantidad de agua que no fue absorbida por el suelo y precipitación infiltrada, correspondiente al agua que, si fue absorbida por el suelo, desplazándose a una velocidad previamente determinada, una parte de esta agua infiltrada es retenida por el suelo que está disponible para que las plantas puedan desarrollar sus procesos fisiológicos, tales como la transpiración, el agua resultante corresponde a la humedad final de ese mes, que a su vez corresponde a la humedad

inicial del siguiente mes, determinando la cantidad de agua que si llega a los acuíferos, es decir la recarga potencial, cuando la precipitación pluvial es insuficiente para recargar un acuífero ocurre un déficit, que corresponde a la cantidad de agua que necesita para alcanzar su capacidad de campo, las fórmulas para determinar dichos valores se presentan a continuación en la Tabla 52.

**Tabla 52**

Formulas a desarrollar en balance hídrico de suelos

| Símbolo   | Variable                                                                                                                                                                                                                                                                      | Formula                           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| CC        | Capacidad de campo<br>Nota: Es necesario convertir el dato a milímetros, pues los estudios de laboratorio lo expresan en porcentaje (%)                                                                                                                                       | $\frac{CC(\%) * \rho * Pr}{100}$  |
| PMP       | Punto de Marchitez Permanente<br>Nota: Es necesario convertir el dato a milímetros, pues los estudios de laboratorio lo expresan en porcentaje (%)                                                                                                                            | $\frac{PMP(\%) * \rho * Pr}{100}$ |
| Pi        | Precipitación infiltrada                                                                                                                                                                                                                                                      | $Pp * I (\%)$                     |
| Esc Sup   | Escorrentía superficial                                                                                                                                                                                                                                                       | $Pp - P_i$                        |
| Hsi       | Humedad del suelo inicial<br>Nota: En el primer mes la humedad del suelo inicial es equivalente a la capacidad de campo (Hsi=CC)                                                                                                                                              | $Hs_i = Hs_{f(mes anterior)}$     |
| HD        | Humedad Disponible                                                                                                                                                                                                                                                            | $Hs_i - PMP + P_i$                |
| RAD + ETP | Comparador                                                                                                                                                                                                                                                                    | $RAD + ETP$                       |
| ETR       | Evapotranspiración Real<br>Nota: Solo se calcula de esa manera si (HD > (RAD+ETP)), en caso contrario ((RAD+ETP) > HD), La evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial (ETR=ETP)                                                                       | $\frac{HD * ETP}{RAD + ETP}$      |
| Hsf       | Humedad del suelo final<br>Nota: La lamina de humedad final del suelo no debe superar a la capacidad de campo, si la humedad del suelo final es mayor que la capacidad de campo (Hsf>CC), entonces la humedad del suelo final es equivalente a la capacidad de campo (Hsf=CC) | $H_D - ETR + PMP$                 |
| Df        | Déficit<br>Nota: Solo se calcula cuando la humedad final del suelo es inferior a la capacidad de campo, en caso contrario se calcula recarga potencial.                                                                                                                       | $CC - Hs_f$                       |
| Rp        | Recarga potencial<br>Nota: Solo se calcula la recarga potencial en caso de que la humedad final del suelo es superior a la capacidad de campo, en caso contrario se calcula déficit.                                                                                          | $(H_D - ETR + PMP) - CC$          |

*Nota.* Adaptado de “Balance hídrico de suelos” por Martínez 2020, Balance hídrico de suelos, copyright 2020 por Martínez.

#### 4.6.3. Clasificación de áreas críticas de recarga hídrica natural:

Las áreas críticas de recarga hídrica natural son descritas según González (2018) como: “Áreas que se les considera susceptibles a disminuir su recarga potencial de ser sometidas a un manejo inadecuado” (p.68), estas áreas poseen una mayor recarga hídrica y la importancia de su determinación es, según Bardales (2011) “Dar una herramienta de aporte para la reducción del deterioro de los recursos naturales causado por el uso de la tierra” (p.1), pues la alteración de los recursos suelo, agua y bosque repercuten en la recarga hídrica, las áreas críticas se determinaron en base a los siguientes aspectos:

Geología

Infiltración

Pendiente

Recarga anual

En función de las características propias de cada factor se clasifican y permiten una clasificación mediante la suma de valores unitarios otorgados en base a sus características, el resultado permite clasificarlos de la siguiente manera, como lo muestra la Tabla 53.

**Tabla 53**

Matriz de criterios de Vulnerabilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica

| <b>Categoría</b> | <b>Rango</b> |
|------------------|--------------|
| Baja             | 0 a 5        |
| Moderada         | 6 a 9        |
| Alta             | 10 a 12      |
| Muy Alta         | 13 a 14      |

*Nota.* Adaptado de “Criterios de susceptibilidad de áreas a ser considerada áreas críticas de recarga hídrica natural” por Orozco et al. 2003, citado por Bardales 2011, *Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala*, p.9, copyright 2003 por Orozco et al.

Para realizar la sumatoria de los coeficientes y poder clasificarlos según su categoría, se utilizó el programa “Quantum Gis”, bajo la metodología de “Algebra de mapas”, que consiste en la asignación de valores numéricos a distintas capas que permitirá el desarrollo de operaciones matemáticas.

## Geología

Según Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2016) la geología se define como: “La ciencia de la tierra, que tiene por objeto entender la formación del planeta, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de rocas” (p.1), partiendo de la premisa de que el relieve actual de la tierra es el resultado de un largo y variado proceso de evolución.

Para la clasificación de áreas de recarga natural en función de su geología se emplearon medios digitales (Capas de geología), proporcionadas por la dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco, para la elaboración de mapas en función a lo indicado en la Tabla 54:

**Tabla 54**

Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas de recarga natural

| Geología                                   | Código |
|--------------------------------------------|--------|
| Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas | 0      |
| Rocas ígneas o metamórficas fracturadas    | 1      |
| Arenas finas, basaltos y permeables        | 2      |
| Arenas gruesas y gravas                    | 3      |

*Nota.* Adaptado de “Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural” por Orozco et al. 2003, citado por Bardales 2011, *Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala*, p.8, copyright 2003 por Orozco et al.

## Infiltración

La infiltración representa una parte clave del proceso de recarga hídrica, según García (2006) “La recarga hídrica se produce cuando la precipitación pluvial o curso de agua, desciende en el suelo hasta alcanzar el nivel freático por efecto de la infiltración” (p.50), durante el proceso de infiltración el agua penetra en el suelo durante un determinado tiempo, ocupando total o parcialmente los poros del suelo, dicha capacidad de infiltración se ve condicionada por características físicas del suelo, vegetación, topografía, estratificación, etc.

La forma para determinar la tasa de infiltración expresada en cm/hora, fue mediante el método de Porchet, empleando dimensiones conocidas en suelos previamente analizados, como se muestra en la Figura 75, clasificados en lo expuesto en la Tabla 55.

**Tabla 55**

Matriz de criterios de infiltración para la determinación de áreas de recarga natural

| Tasa de infiltración básica (cm/h) | Código |
|------------------------------------|--------|
| < 0.15                             | 0      |
| 0.15 – 1.5                         | 1      |
| > 1.5 – 15                         | 2      |
| > 15                               | 3      |

*Nota.* Adaptado de “Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural” por Orozco et al. 2003, citado por Bardales 2011, *Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala*, p.8, copyright 2003 por Orozco et al.

## Pendiente

La pendiente es un factor determinante para la escorrentía, según Bardales (2011) sus efectos en el suelo son: “Los suelos con relieves más planos no favorecen la escorrentía del suelo y permiten un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo, favoreciendo la infiltración, mientras que suelos con altas pendientes favorecen la velocidad de escorrentía” (p.9), es decir, que terrenos con mayores pendientes son considerados críticos por ser vulnerables a un mayor grado de degradación, que pueda minimizar la recarga hídrica en estas áreas.

La pendiente fue evaluada en la unidad de porcentaje (%), como indica la Tabla 56, empleando medios digitales para la elaboración de la capa de pendiente, una capa en formato DEM (Modelo de elevación digital), que corresponde a una representación de una superficie continua de la tierra, dicho material fue proporcionado por la dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco.

**Tabla 56**

Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas de recarga natural

| Pendiente (%) | Código |
|---------------|--------|
| 0 – 12        | 0      |
| 12 – 26       | 1      |
| 26 – 36       | 2      |
| 36 – 55       | 3      |
| > 55          | 4      |

*Nota.* Adaptado de “Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural” por Orozco et al. 2003, citado por Bardales 2011, *Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala*, p.9, copyright 2003 por Orozco et al.

En base al material proporcionado por la dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco, se elaboró el mapa de la Figura 33A, donde se clasifica la pendiente por su porcentaje (%) y en base a ello se elaboró la Tabla 22, donde se presenta la extensión de cada categoría.

## Recarga Anual

La recarga anual se refiere a la recarga hídrica en el periodo de un año, proceso natural a través del cual, en un espacio determinado, como una cuenca o zona de estudio, gracias a ciertas características biofísicas, el agua proveniente de la precipitación pluvial se infiltra en el suelo, donde una parte que no es aprovechada por las plantas se desplaza hasta llegar a los acuíferos, permitiendo su recarga.

Para la clasificación de áreas de recarga natural en función de su recarga anual, se emplearon medios digitales, elaborando un mapa por polígonos como se muestra en la Figura 93A, tras realizar los cálculos para la recarga anual, descritos en las Tablas 51 y 52, permitió el desarrollo del balance hídrico de suelos presentado en la Tabla 61 y clasificado en cada polígono en la Tabla 62, bajo los criterios indicados en la Tabla 57.

**Tabla 57**

Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas de recarga natural

| Recarga anual (mm/año) | Código |
|------------------------|--------|
| 0 – 50                 | 0      |
| 50 – 100               | 1      |
| 100 – 150              | 2      |
| 150 – 200              | 3      |
| > 200                  | 4      |

*Nota.* Adaptado de “Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural” por Orozco et al. 2003, citado por Bardales 2011, *Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala*, p.9, copyright 2003 por Orozco et al.

## Permeabilidad

La permeabilidad del suelo es un tema de interés para la recarga hídrica pues suelos permeables favorecen a la recarga de los acuíferos, según Angelone et al. (2006) el término permeable en los suelos corresponde a: “La facultad con la que el agua pasa a través de los poros” (p.3), en el caso de las áreas impermeabilizadas es todo lo contrario pues el agua no puede filtrarse a través del suelo, acumulándose y formando escorrentía superficial que desemboca en cuerpos de agua superficiales, los ejemplos más comunes de zonas impermeables se encuentran en las zonas urbanizadas que han sido asfaltadas para construcción de caminos, viviendas, espacios de trabajo, etc..

Para evaluar la cantidad de área permeable, se utilizó la metodología del índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocida como: NDVI por sus siglas en inglés (Normalized Difference Vegetation Index), el índice de vegetación de diferencia normalizada es una de las metodologías más comunes para evaluar vegetación y derivados, según Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021) cuyo principio se basa en: “La relación entre la cantidad de luz reflejada por los rasgos de la superficie terrestre en dos regiones del espectro electromagnético, así como la emisión de una luz roja e infrarroja” (p.7).

Para la elaboración de material georreferencial, se trabajó en conjunto con la dirección de planificación técnica de la municipalidad de Mixco, empleando medios digitales para la determinación de espacios permeables, pues el municipio de Mixco se encuentra en el área metropolitana, donde una de las principales características es el constante desarrollo urbano y procesos de urbanización, en consecuencia, con el crecimiento urbano se da un proceso de impermeabilización de los suelos, nulificando el paso de agua mediante el suelo, por la construcción de espacios para vivienda, caminos, etc. La distribución de zonas permeables e impermeables se ilustra en la Figura 94A.

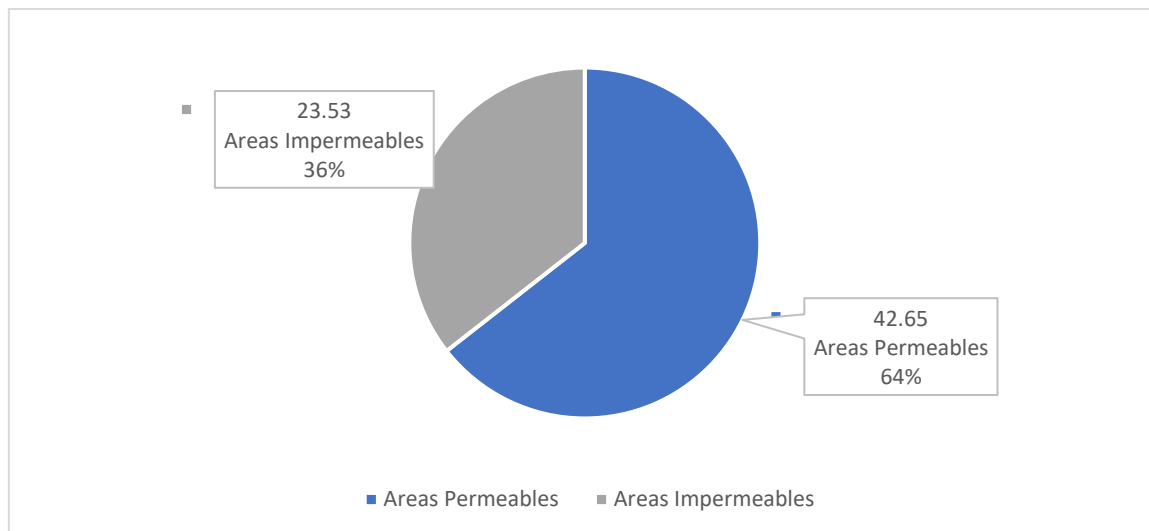
A continuación, en la Tabla 58, se presenta la distribución porcentual de zonas permeables e impermeables dentro del área de estudio y graficado en la Figura 77.

**Tabla 58**  
Zonas Permeables

| No. | Tipo de zona | Área (km <sup>2</sup> ) | %      |
|-----|--------------|-------------------------|--------|
| 1   | Impermeable  | 23.53                   | 35.56  |
| 2   | Permeable    | 42.65                   | 64.44  |
|     | Total        | 66.18                   | 100.00 |

**Figura 77**

Distribución de áreas permeables e impermeables



#### **4.6.4. Lineamientos para el fortalecimiento de la restauración forestal en las áreas críticas de recarga hídrica:**

Una vez que las áreas críticas de recarga hídrica han sido determinadas, los lineamientos para el fortalecimiento en la restauración forestal se basan en dos ideas centrales, el uso de especies forestales que puedan ser aprovechadas por la población y que estas especies se vean favorecidas de las prácticas de conservación apropiadas según su ubicación en base a los antecedentes de lluvia, descritos a continuación:

##### **Bosques Energéticos**

La importancia de los bosques radica en su papel ambiental y en los recursos que se pueden obtener de estos, considerando estos factores una alternativa viable para el aprovechamiento de estos es la implementación de bosques energéticos, descritos según Cifuentes y España (2016) como: “Una plantación de una determinada variedad de árboles para usar como combustible debido a la alta cantidad de energía calórica que provee su leña, en un periodo corto de obtención que no condicione la disponibilidad de los recursos forestales” (p.1).

El principal recurso que proporciona un bosque es la madera que puede estar destinada a usos comerciales para construcción de viviendas, muebles etc. O según su tipo a ser empleada como material combustible, denominado como “leña” uno de los combustibles más utilizados en Guatemala y en muchos países, tratándose de un combustible mucho más barato en comparación con los derivados del petróleo, sin embargo, el principal problema del uso de leña consiste en su obtención que implica la deforestación, para reducir el impacto que conlleva la obtención de leña se plantea la implementación de bosques energéticos.

Para Guatemala se ha discutido el uso de bosques energéticos como, Cifuentes y España (2016) “Factible para el uso principal de leña en hogares guatemaltecos” (p.3), pues la leña aún hoy en día sigue siendo una alternativa más viable para muchos hogares que los derivados del petróleo, como el gas propano que proviene del proceso de refinación del petróleo crudo.

La metodología para determinar cómo implementarlos es la siguiente:

**Consultar Las Especies Disponibles Para Actividades De Reforestación.** El primer paso fue consultar las especies con las que se cuenta actualmente para proyectos de reforestación, desarrollados por la dirección de ambiente de la municipalidad de Mixco por medio de consultas directas, que permitió la elaboración de la Tabla 80B.

**Identificar El Uso Actual Del Suelo.** Durante las visitas de campo para el desarrollo de la toma de muestras de suelo y pruebas de infiltración se describió cual es el uso principal del suelo, identificando áreas destinadas a pastos, explotación forestal y espacios urbanizados, con dicha información se elaboró el mapa presente en la Figura 96A.

**Proponer Especies Adecuadas.** Una vez identificadas las especies empleadas para las actividades de reforestación, se consultó por medios bibliográficos a entidades responsables de la gestión de los recursos forestales de Guatemala, el Instituto Nacional de Bosques (INAB), con el objetivo de proponer especies para programas de reforestación considerando aspectos como: alto contenido calórico para el uso de leña; especies endémicas de la región, con el fin de conservar el material genético y proponer especies que se han adaptado a las condiciones climáticas del territorio de Mixco.

**Identificar Áreas Críticas Para El Establecimiento De Bosques.** Las áreas críticas de recarga hídrica son zonas específicas donde se produce una alta recarga hídrica que alimenta a los acuíferos, dichas áreas son determinadas por la sumatoria de los coeficientes de los factores geología, infiltración, recarga anual y pendiente presentado en la Figura 79, dichas áreas se consideran susceptibles a disminuir su potencial de recarga, el criterio para dictaminar si un área crítica es apta para el establecimiento de un bosque energético es:

- Poseer una cobertura actual de pastos o especies forestales.
- Estructura del suelo, poseer un alto rango de humedad disponible que permita la disponibilidad de agua y reduzca el estrés hídrico que las plantas puedan padecer, un rango de agua disponible superior a los 100mm.

- Poseer la menor cantidad de espacios urbanos posible.

### Prácticas de Conservación

Para recomendar las prácticas de conservación de suelo y agua más apropiadas que beneficien a los bosques energéticos, es por medio de las anomalías de lluvias, en base al concepto presentado por Bardales (2018) explicando “El concepto de variabilidad climática se refiere a las variaciones del estado medio y otras características estadísticas del clima en todas escalas temporales y espaciales de los fenómenos meteorológicos” (p.3), se consultó a la entidad INSIVUMEH, solicitando la mayor cantidad de registros para las estaciones consultadas, donde se proporcionó información desde el año 2012, que permitieron la elaboración de la Tabla 59:

**Tabla 59**

Precipitaciones anuales en el periodo 2012-2023

| Año  | Precipitación anual (mm) |           |                |
|------|--------------------------|-----------|----------------|
|      | INSIVUMEH                | Lo de Coy | Suiza Contenta |
| 2012 | 1076.1                   | 1016.84   | 1071.3         |
| 2013 | 1451.9                   | 1291.1    | 1330.9         |
| 2014 | 1365.4                   | 2318.9    | 1070.9         |
| 2015 | 1301.2                   | 1516.4    | 1282.9         |
| 2016 | 999.5                    | 1366.1    | 1017.3         |
| 2017 | 1125.8                   | 1636.2    | 1120.8         |
| 2018 | 1013.8                   | 2154.3    | 1052           |
| 2019 | 1061.7                   | 2247.8    | 1089.5         |
| 2020 | 1305.8                   | 2729.5    | 1171.5         |
| 2021 | 1146.1                   | 1042.87   | 1285.5         |
| 2022 | 1672.98                  | 2020.7    | 2230.4         |
| 2023 | 1092.2                   | 1119.99   | 1188.47        |

*Nota.* Elaborado en base a datos proporcionados por INSIVUMEH, elaborado en Excel.

Para determinar cuándo un evento es anómalo, se empleó la ecuación de anomalías estandarizadas, citada por Bardales (2018) que consiste en: “Sirve de indicador entre los periodos evaluados” (p.4):

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

Donde:

Z: Anomalía estandarizada

$X_i$ : Evento observado

$\bar{x}$ : Media del periodo

$\sigma$ : Desviación Estándar del periodo base

En base al resultado obtenido este se clasificó utilizando la Tabla 60 para la interpretación de anomalías estandarizadas, citada por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2018):

**Tabla 60**

Clasificación de anomalías estandarizadas

| Rango   | Categoría               |
|---------|-------------------------|
| > 3     | Extremadamente lluvioso |
| 2 a 3   | Moderadamente lluvioso  |
| 1 a 2   | Ligeramente lluvioso    |
| -1 a 1  | Normal                  |
| -2 a -1 | Ligeramente seco        |
| -3 a -2 | Moderadamente seco      |
| < -3    | Extremadamente seco     |

*Nota.* Adaptado de “Interpretación de la anomalía estandarizada” por SENAMHI 2018, Precipitación observada copyright 2018 por SENAMHI.

En base a lo expuesto en la Tabla 60, se consideró que la práctica de conservación a recomendar se basa en el siguiente criterio:

Prácticas de manejo agronómico de infiltración y prácticas de manejo agronómico de escurrimiento, se recomendaron cuando se presentaron tendencias ligera, moderada o extremadamente lluviosas.

Prácticas de manejo agronómico de pendiente, se recomendaron cuando se presentaron tendencias normales y la pendiente es demasiado elevada superior a un 55%.

Prácticas de manejo de conservación de agua, se recomendaron cuando se presentaron tendencias ligera, moderada o extremadamente secas.

## **4.7. Resultados**

### **4.7.1. Determinación de la recarga hídrica**

En base a los datos presentados en la Tabla 61, que corresponde al balance hídrico realizado en el punto No.1 Rio Villa Lobos, en base a la información promedio del periodo 2020 a 2023:

- Precipitación total anual: Representa la lluvia total que cayó durante el periodo de estudio, correspondiente a 1,777.5 mm.
- Agua infiltrada: Representa la cantidad de agua que fue absorbida por el suelo, correspondiente a 1,183.80 mm.
- Agua escurrida: Representa el agua que no fue absorbida por el suelo, correspondiente a 593.70 mm.
- Agua retenida en el suelo: representa la cantidad de agua que fue absorbida por el suelo pero que no llegó al manto freático, correspondiente a 922.21 mm.
- Rango de agua disponible: 57.28 mm que es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, correspondiente a 92.36 mm y 35.08 mm respectivamente
- Recarga potencial: representa la cantidad de agua que fue absorbida por el suelo y que, si logró llegar al manto freático, correspondiente a 261.60 mm.

En general la capacidad de recarga hídrica potencial para el punto no.1 Rio Villa Lobos es alta y la esorrentía representa el 33.40% de la precipitación total, lo que indica que el 66.60% del agua se infiltra en el suelo, sin embargo, presenta un rango de agua disponible ligeramente bajo, indicando que el suelo no tiende a retener tanta humedad lo que puede conllevar complicaciones en el manejo de agua de una plantación agrícola o forestal.

Tabla 61  
Balance hídrico punto 1

| Punto No.1 Rio Villa Lobos      |                     |        |                       |        |                       |        |                     |        |        |                 |        |         |      |           |
|---------------------------------|---------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|---------------------|--------|--------|-----------------|--------|---------|------|-----------|
| Características del suelo       | Densidad Aparente   | 1.29 g | Profundidad Radicular |        | 400 mm                |        | CC (%)              |        | 17.9   | PMP (%)         | 6.8    | RAD (%) | 11.1 |           |
|                                 |                     | Cm³    |                       |        |                       |        |                     |        |        |                 |        |         |      |           |
| Características de infiltración | Infiltración básica | 0.9876 | Infiltración básica   |        | 237.02<br>4 mm<br>Día |        | Infiltración básica |        | 66.51% | Humedad Inicial |        |         |      | 92.364 mm |
|                                 |                     | cm     |                       |        |                       |        |                     |        |        |                 |        |         |      |           |
| Concepto                        | Ene.                | Feb.   | Mar.                  | Abr.   | May.                  | Jun.   | Jul.                | Ago.   | Sep.   | Oct.            | Nov.   | Dic.    |      |           |
| Precipitación (pp)              | 6.88                | 2.38   | 10.73                 | 46.8   | 227.78                | 300    | 250                 | 264    | 325    | 254             | 37.58  | 2.35    |      |           |
| Precipitación Infiltrada        | 4.58                | 2.38   | 7.14                  | 31.13  | 184.75                | 199.53 | 166.28              | 175.59 | 216.16 | 168.94          | 24.99  | 2.35    |      |           |
| Escorrentía Superficial         | 2.30                | 0.00   | 3.59                  | 15.67  | 93.03                 | 100.47 | 83.28               | 88.41  | 108.84 | 85.06           | 12.59  | 0.00    |      |           |
| ETP                             | 97.71               | 99.90  | 126.17                | 136.78 | 145.58                | 138.90 | 144.78              | 133.09 | 126.51 | 119.36          | 100.02 | 94.19   |      |           |
| Humedad Inicial                 | 47.30               | 41.29  | 38.22                 | 38.29  | 45.22                 | 90.11  | 92.36               | 92.36  | 92.36  | 92.36           | 92.36  | 65.05   |      |           |
| Humedad Disponible              | 16.79               | 8.59   | 10.27                 | 34.33  | 194.89                | 254.56 | 223.55              | 232.86 | 273.43 | 226.21          | 82.27  | 32.31   |      |           |
| ETR                             | 10.59               | 5.46   | 7.06                  | 24.20  | 139.86                | 138.90 | 144.78              | 133.09 | 126.51 | 119.36          | 52.31  | 20.09   |      |           |
| Humedad final                   | 41.29               | 38.22  | 38.29                 | 45.22  | 90.11                 | 92.36  | 92.36               | 92.36  | 92.36  | 92.36           | 65.05  | 47.30   |      |           |
| Déficit                         | 51.07               | 54.15  | 54.07                 | 47.14  | 2.25                  | 0.00   | 0.00                | 0.00   | 0.00   | 0.00            | 22.74  | 43.33   |      |           |
| Recarga Potencial               | 0.00                | 0.00   | 0.00                  | 0.00   | 0.00                  | 58.38  | 21.50               | 42.50  | 89.65  | 49.58           | 0.00   | 0.00    |      |           |
| Necesidad de Riego              | 138.19              | 148.59 | 173.18                | 159.72 | 7.97                  | 0.00   | 0.00                | 0.00   | 0.00   | 0.00            | 75.03  | 119.16  |      |           |
| RAD + ETP                       | 154.99              | 157.18 | 183.45                | 194.06 | 202.86                | 196.18 | 202.06              | 190.37 | 183.79 | 176.64          | 157.30 | 151.47  |      |           |

De la misma manera para cada uno de los 20 polígonos de estudio se determinó: la precipitación pluvial infiltrada; la cantidad de agua escurrida; la cantidad de agua retenida en el suelo y la recarga anual, resumido como se muestra a continuación, en la Tabla 62.

**Tabla 62**  
Resumen de balances hídricos

| Punto | Pp (mm) | Rango de agua disponible (mm) | Pp infiltrada (mm) | Pp escurrida (mm) | Recarga anual (mm) |
|-------|---------|-------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 1     | 1777.50 | 57.28                         | 1183.80            | 593.70            | 261.60             |
| 2     | 1740.41 | 217.01                        | 1182.28            | 558.13            | 138.46             |
| 3     | 1740.41 | 80.91                         | 1109.62            | 630.79            | 168.50             |
| 4     | 1740.41 | 27.82                         | 1136.13            | 604.28            | 214.51             |
| 5     | 1740.41 | 262.44                        | 1258.17            | 482.25            | 204.40             |
| 6     | 1740.41 | 271.73                        | 1281.11            | 459.30            | 218.96             |
| 7     | 1740.41 | 368.14                        | 1294.60            | 445.81            | 200.47             |
| 8     | 1740.41 | 259.88                        | 1361.67            | 378.74            | 286.91             |
| 9     | 1472.53 | 485.08                        | 1453.49            | 19.04             | 374.17             |
| 10    | 1472.53 | 261.98                        | 1371.48            | 101.05            | 373.27             |
| 11    | 1472.53 | 409.00                        | 1434.58            | 37.95             | 376.94             |
| 12    | 1777.50 | 48.30                         | 1226.33            | 551.17            | 303.91             |
| 13    | 1777.50 | 43.34                         | 1204.72            | 572.78            | 275.81             |
| 14    | 1777.50 | 180.44                        | 1473.62            | 303.88            | 460.14             |
| 15    | 1740.41 | 263.35                        | 1508.10            | 232.31            | 408.57             |
| 16    | 1740.41 | 249.80                        | 1243.21            | 497.20            | 202.04             |
| 17    | 1740.41 | 103.37                        | 1668.71            | 71.70             | 635.35             |
| 18    | 1740.41 | 421.01                        | 1283.01            | 457.41            | 245.63             |
| 19    | 1777.50 | 914.95                        | 1369.98            | 407.52            | 604.62             |
| 20    | 1777.50 | 376.60                        | 1322.48            | 455.02            | 282.92             |

En base a lo expuesto en la Tabla 26, se procedió a calcular el volumen de la recarga anual, considerando las áreas que ocupa cada polígono según la microcuenca a la que pertenece, como muestra a continuación, en la Tabla 63.

**Tabla 63**

Volumen de recarga hídrica expresada en m<sup>3</sup>

| No.          | Nombre                                     | Microcuencas                  |                    |                           |                                  |                    |                           |
|--------------|--------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|
|              |                                            | Rio Molino (km <sup>2</sup> ) | Recarga anual (mm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) | Rio San Lucas (km <sup>2</sup> ) | Recarga anual (mm) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
| 1            | Rio Villa lobos                            | 3.9524                        | 261.60             | 1,033,934.92              | 3.0052                           | 261.60             | 786,150.50                |
| 2            | Santa Mónica                               | 6.9597                        | 138.46             | 962,615.40                | -                                | -                  | -                         |
| 3            | Planta de tratamiento Alvarado             | 3.6538                        | 168.50             | 615,652.64                | -                                | -                  | -                         |
| 4            | Lo de Coy                                  | 1.9983                        | 214.51             | 428,659.08                | 0.2566                           | 214.51             | 55,043.63                 |
| 5            | Rio Pansalic                               | 1.8181                        | 204.40             | 371,615.52                | -                                | -                  | -                         |
| 6            | Las Hojarascas                             | 1.2309                        | 218.96             | 269,517.36                | -                                | -                  | -                         |
| 7            | Nueva Vida                                 | 1.1741                        | 200.47             | 235,368.00                | 1.1069                           | 200.47             | 221,896.63                |
| 8            | San Andresito                              | 1.4314                        | 286.91             | 410,677.79                | 1.1409                           | 286.91             | 327,331.48                |
| 9            | Pozo municipal, El Manzanillo              | -                             | -                  | -                         | 0.9399                           | 374.17             | 351,686.32                |
| 10           | Ciénaga I, El Manzanillo                   | -                             | -                  | -                         | 0.8265                           | 373.27             | 308,507.20                |
| 11           | Antigua Calle Real                         | -                             | -                  | -                         | 3.1691                           | 376.94             | 1,194,567.96              |
| 12           | Predio Municipal "El Caracol"              | 1.5741                        | 303.91             | 478,386.91                | 2.4166                           | 303.91             | 734,432.25                |
| 13           | Las tres ceibas                            | 5.7022                        | 275.81             | 1,572,705.49              | 1.3899                           | 275.81             | 383,343.86                |
| 14           | Balcones de San Cristóbal                  | 0.1372                        | 460.14             | 63,131.35                 | 5.0884                           | 460.14             | 2,341,381.49              |
| 15           | Planta de tratamiento de agua El campanero | -                             | -                  | -                         | 2.7508                           | 408.57             | 1,123,901.69              |
| 16           | San Marino                                 | 0.5311                        | 202.04             | 107,302.99                | 3.2103                           | 202.04             | 648,606.25                |
| 17           | Pozo municipal 3                           | -                             | -                  | -                         | 2.7207                           | 635.35             | 1,728,592.66              |
| 18           | Predio municipal El aguacate               | -                             | -                  | -                         | 2.8478                           | 245.63             | 699,499.25                |
| 19           | Senderos de Alux                           | 0.9353                        | 604.62             | 565,501.09                | 1.991                            | 604.62             | 1,203,798.42              |
| 20           | El Mirador                                 | -                             | -                  | -                         | 2.2242                           | 282.92             | 629,277.05                |
| <b>Total</b> |                                            | <b>31.0986</b>                | <b>3,539.11</b>    | <b>7,116,068.52</b>       | <b>35.0848</b>                   | <b>5,597.19</b>    | <b>12,738,016.76</b>      |

$$1m^3 * \frac{(100cm)^3}{1m^3} * \frac{1ml}{1cm^3} * \frac{1L}{1000ml} = 1,000 L$$

$$7,116,068.52 m^3 * \frac{(100cm)^3}{1m^3} * \frac{1ml}{1cm^3} * \frac{1L}{1000ml} = 7,116,068,520 L$$

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 27, la recarga expresada en volumen para la microcuenca rio Molino, corresponde 7,116,068.52 m<sup>3</sup>, equivalente a 7,116,068,520 L.

$$12,738,016.76m^3 * \frac{(100cm)^3}{1m^3} * \frac{1ml}{1cm^3} * \frac{1L}{1000ml} = 12,738,016,760 L$$

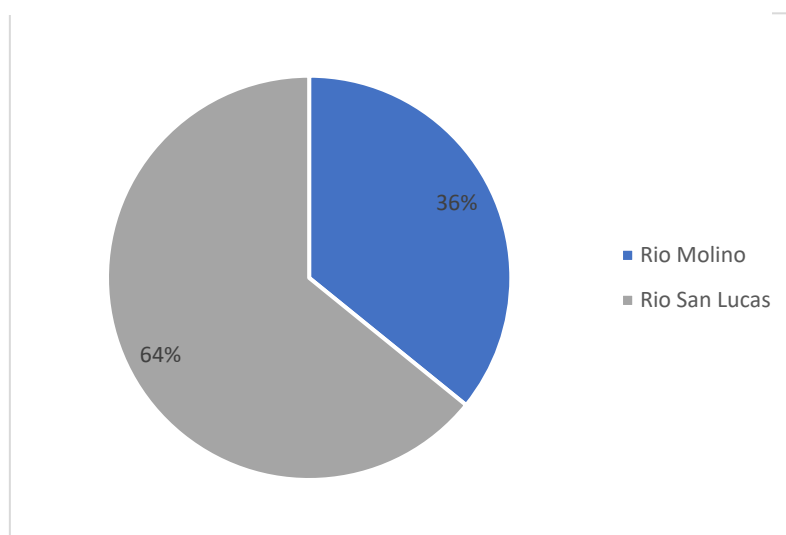
De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 27, la recarga expresada en volumen para la microcuenca rio San Lucas, corresponde 12,738,016.76 m<sup>3</sup>, equivalente a 12,738,016,760 L.

Dentro del área de estudio la recarga hídrica corresponde a: 19,854,085.28 m<sup>3</sup> donde la distribución se ilustra en la Figura 78, en base a:

- Rio Molino: 7,116,068.52 m<sup>3</sup>, equivalente al 35.84%
- Rio San Lucas 12,738,016.76 m<sup>3</sup>, equivalente al 64.16%

**Figura 78**

Distribución porcentual de la recarga hídrica potencial



#### 4.7.2. Clasificación

##### Geología

Como muestra la Figura 90A, existen dos periodos de formación geológica dentro del área de estudio, estos son:

**Periodo de formación terciario.** Consiste en la formación de roca ígnea volcánica sin dividir, en consecuencia, según la Tabla 54, corresponde a un código 0, rocas ígneas o metamórficas no fracturadas.

**Periodo de formación cuaternario.** Consiste en la formación de roca ígnea volcánica dividida, en consecuencia, según la Tabla 54, corresponde a un código 1, rocas ígneas o metamórficas fracturadas.

##### Infiltración

Como muestra la Figura 91A elaborada en base a los datos de la Tabla 12, donde se agrupan las velocidades de infiltración para cada polígono, fueron clasificadas según los criterios expuestos en la Tabla 55, donde los resultados indican código 1 y 2.

##### Pendiente

Como se muestra en la Figura 92A la pendiente fue clasificada según los criterios expuestos en la Tabla 56, donde debido al relieve del área de estudio hubo presencia de cada código.

##### Recarga Anual

Como se muestra en la Figura 93A, cada polígono recibió un Código en base a los datos calculados en la Tabla 62, clasificado en función de los criterios definidos en la Tabla 57, donde los códigos presentados fueron 3 y 4.

En función de la sumatoria de códigos, se elaboró la Tabla 64, donde se presentan los resultados de dicha sumatoria y la categoría a la que pertenecen, en

base a dichos resultados se elaboraron 2 mapas, la Figura 79, en función de la categoría a la que pertenecen y la Figura 95A en función del resultado de la sumatoria de códigos.

Las zonas de baja capacidad de recarga hídrica representan el 4.91% del área permeable dentro del área de estudio, es decir 2.09 km<sup>2</sup>, concentradas en la zona Noreste del área de estudio, zona con alta urbanización que refleja como los espacios urbanos disminuyen la capacidad de recarga hídrica.

Las zonas de moderada capacidad de recarga hídrica representan el 66.17% del área permeable dentro del área de estudio, es decir 28.22 km<sup>2</sup>, estas se encuentran distribuidas entre zonas urbanas, bosques y pastizales, con tendencias levemente superiores hacia la disminución de su capacidad de recarga hídrica.

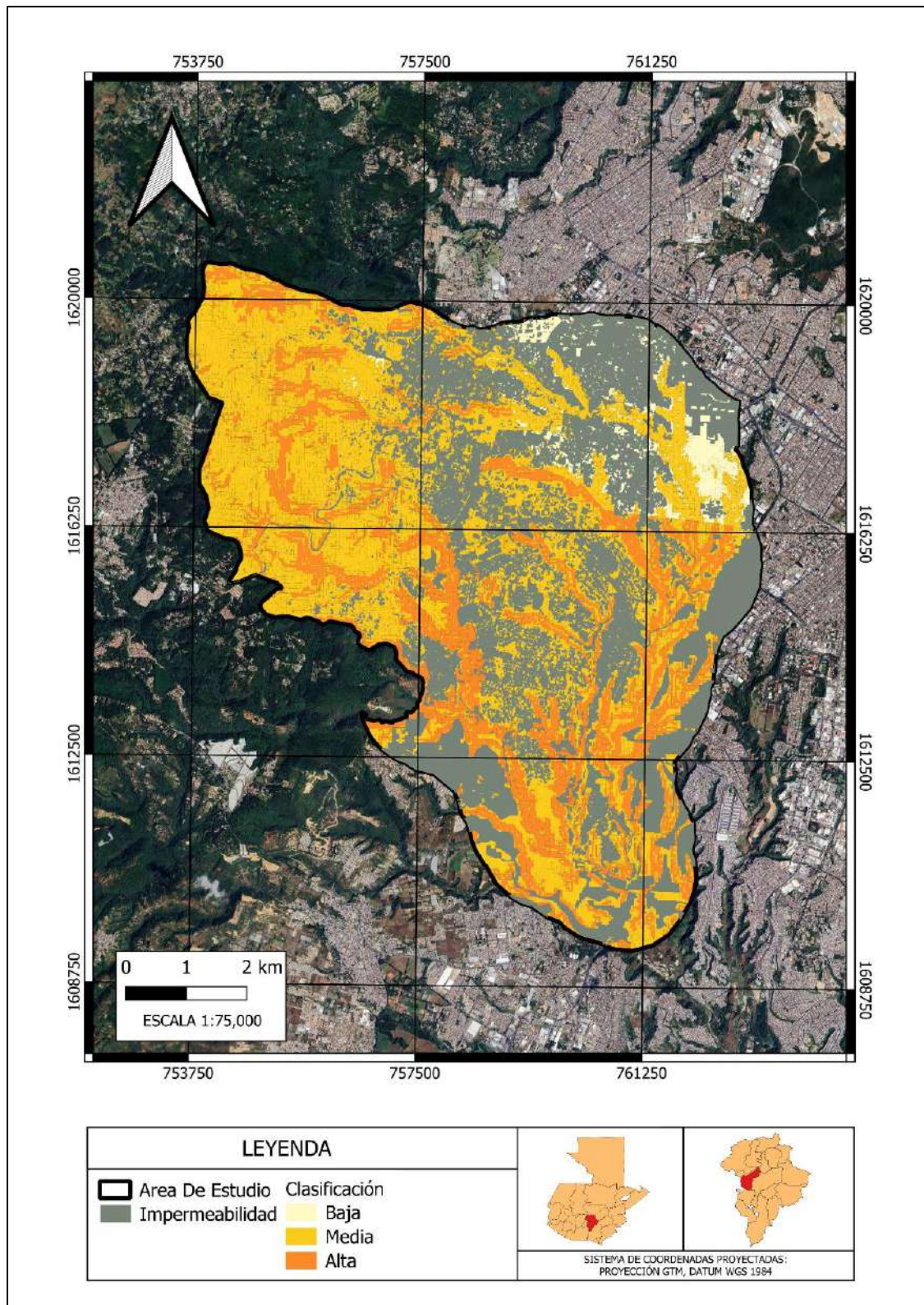
Las zonas de alta capacidad de recarga hídrica representan el 28.92% del área permeable dentro del área de estudio, es decir 12.33 km<sup>2</sup>, se encuentran distribuidas principalmente en zonas de alta pendiente, como barrancos y orillas de ríos, se les considera áreas críticas debido a que una mayor pendiente beneficia a la escorrentía, volviendo estas zonas vulnerables a disminuir su capacidad de recarga hídrica por efecto de la erosión.

**Tabla 64**

Distribución del área de zonas de recarga hídrica en áreas permeables

| <b>Categoría</b> | <b>No</b> | <b>% De Área</b> | <b>Km<sup>2</sup></b> | <b>% De Zona (categorizada)</b> | <b>Km<sup>2</sup> (categorizada)</b> |
|------------------|-----------|------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Baja             | 4         | 2.55             | 1.09                  | 4.91                            | 2.09                                 |
|                  | 5         | 2.36             | 1.01                  |                                 |                                      |
|                  | 6         | 14.26            | 6.08                  |                                 |                                      |
| Moderada         | 7         | 18.76            | 8.00                  | 66.17                           | 28.22                                |
|                  | 8         | 15.90            | 6.78                  |                                 |                                      |
|                  | 9         | 17.25            | 7.36                  |                                 |                                      |
| Alta             | 10        | 22.96            | 7.9                   | 28.92                           | 12.33                                |
|                  | 11        | 5.96             | 2.54                  |                                 |                                      |
| Total            |           | 100              | 42.65                 | 100                             | 42.65                                |

**Figura 79**  
Áreas Críticas dentro de zonas permeables



#### **4.7.3. Lineamientos para el fortalecimiento de la restauración forestal en las áreas críticas de recarga hídrica:**

##### **Establecimiento de Bosques Energéticos**

Como se muestra en la Tabla 80B, la municipalidad de Mixco se emplea en su mayoría especies de hábito arbóreo, tales como:

Cedro (*Cedrus*)

Ciprés común (*Cupressus*)

Encino (*Quercus xalapensis*)

Hormigón (*Platymiscium dimorphandrum*)

Matilisguate (*Tabebuia rosea*).

Especies frutales como aguacate (*Persea americana*), guayaba (*Psidium guajava*) y nance (*Byrsonima crassifolia*).

La principal razón del uso de dichas especies es por el apoyo que han proporcionado distintas entidades privadas, para favorecer la conservación de bosques y actividades de reforestación, algunas de las principales especies recomendadas para bosques energéticos son:

Pinabete (*Abies guatemalensis*)

Pino oocarpa (*Pinus oocarpa*)

Pino candelillo (*Pinus Maximinoi*).

En base a los aspectos mencionados se ha determinado que las áreas donde la implementación de bosques energéticos es apropiada en áreas donde el rango de agua disponible es superior a los 100 mm y menor espacio urbano, dictaminando que el área apta es de 5.80 km<sup>2</sup>, ubicados principalmente en el área Noroeste del área de estudio.

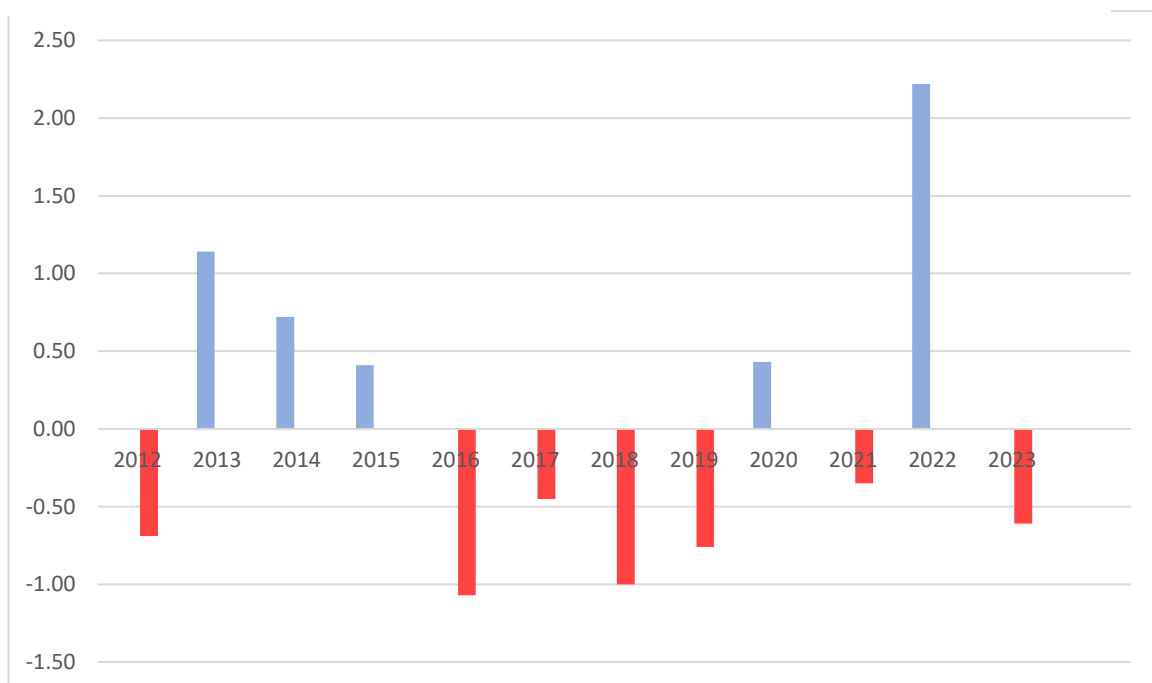
## Anomalías de lluvia

Durante el periodo evaluado de 2012 a 2023, se han determinado distintos comportamientos que rara vez han caído en un comportamiento extremos, los comportamientos presentados según la cobertura de cada estación son:

**Estación INSIVUMEH.** En función a lo expuesto en la Figura 80, 9 años presentaron una tendencia de lluvia normal, es decir que se encuentran dentro de la media; un único año presentó una tendencia inferior a la media y 2 años estuvieron por encima de la media, dadas las predominancias de años secos, las prácticas más apropiadas son las de conservación de agua, que faciliten la disponibilidad del recurso en épocas secas y de altas temperaturas presentadas en la Figura 62, tales como aguadas superficiales, zanjas de infiltración y cosecha de lluvia.

**Figura 80**

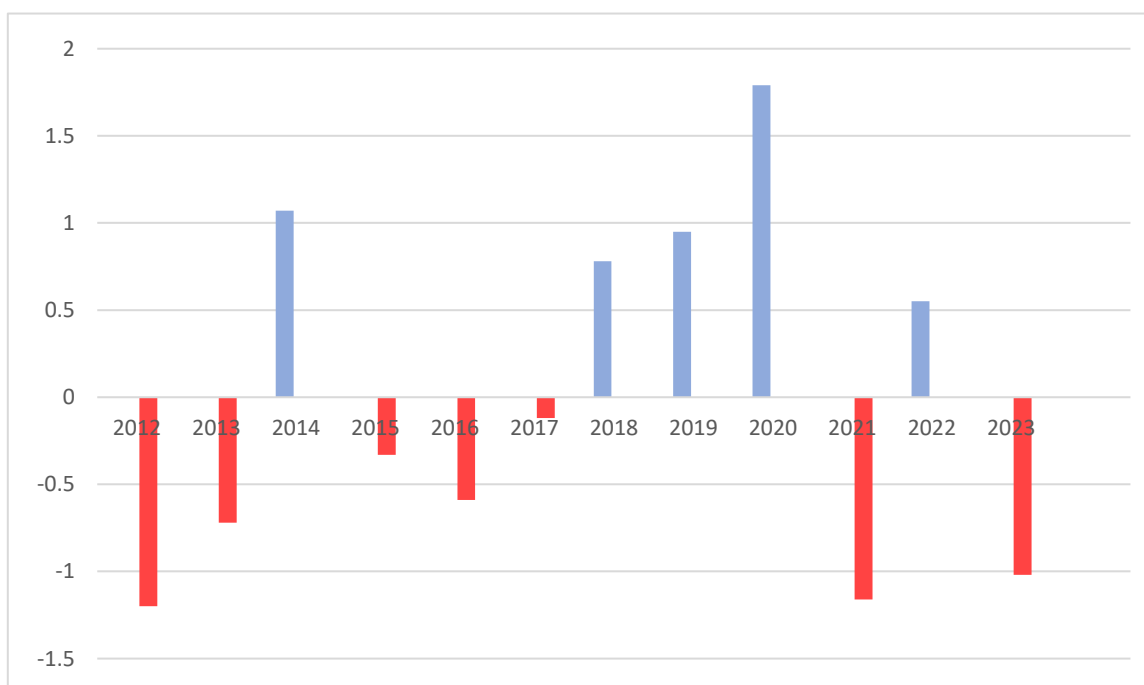
Anomalías en lluvias registradas en estación INSIVUMEH período 2012-2023



**Estación Lo De Coy.** En función a lo expuesto en la Figura 81, 7 años presentaron una tendencia de lluvia normal; 3 años presentaron tendencias ligeramente secas, por debajo de la media y 2 años presentaron una tendencia ligeramente lluviosa, es decir por encima de la media, en consecuencia, las tendencias ligeramente secas, implica que las prácticas más apropiadas son las de conservación de agua, para asegurar la disponibilidad del recurso en época seca como muestra la Figura 10, tales como: aguadas superficiales, zanjas de infiltración y cosecha de lluvia; en conjunto con prácticas agronómicas de manejo de relieve, debido a las pronunciadas pendientes como muestra la Figura 60, tales como cultivos cortando la pendiente, cultivos en curva de nivel y cultivos en terrazas.

**Figura 81**

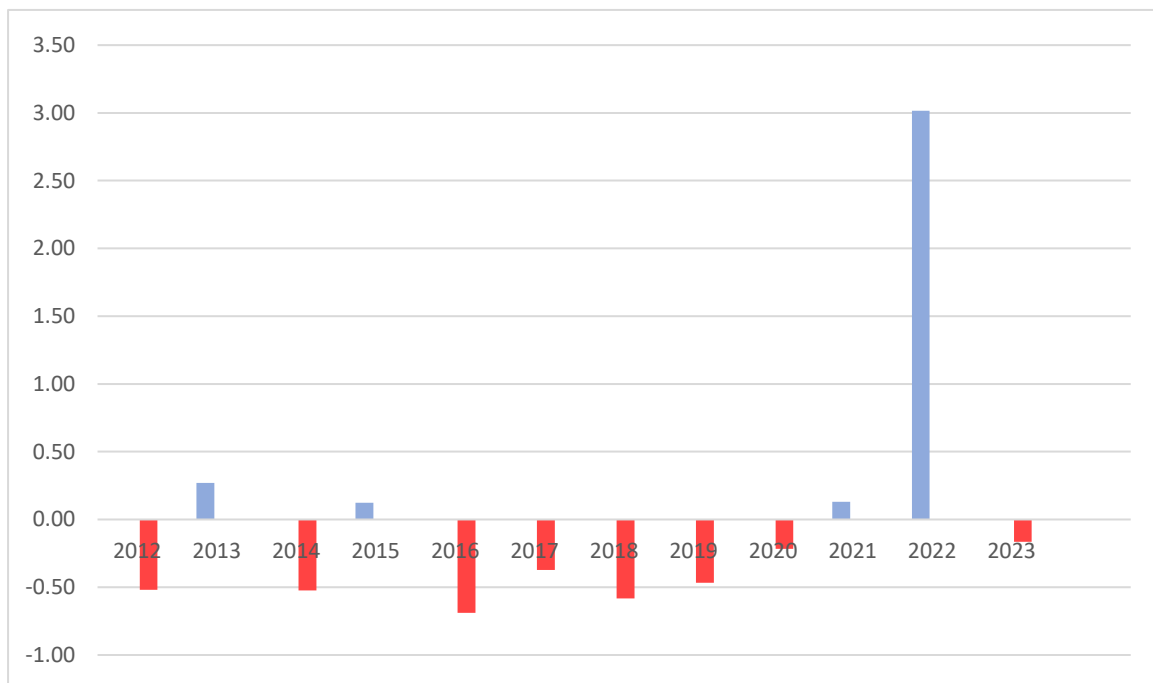
Anomalías en lluvias registradas en estación Lo de Coy período 2012-2023



**Estación Suiza Contenta.** En función a lo expuesto en la Figura 82, en el territorio que comprende la información meteorológica de la estación suiza contenta, 10 años presentaron una tendencia de lluvia normal; un único año presentó una tendencia extremadamente lluviosa, por encima de la media y un año presentó una tendencia por debajo de la media, en consecuencia, dadas las tendencias secas se recomienda la implementación de prácticas de conservación y almacenamiento de agua presentadas en la Figura 62, tales como aguadas superficiales, zanjas de infiltración y cosecha de lluvia..

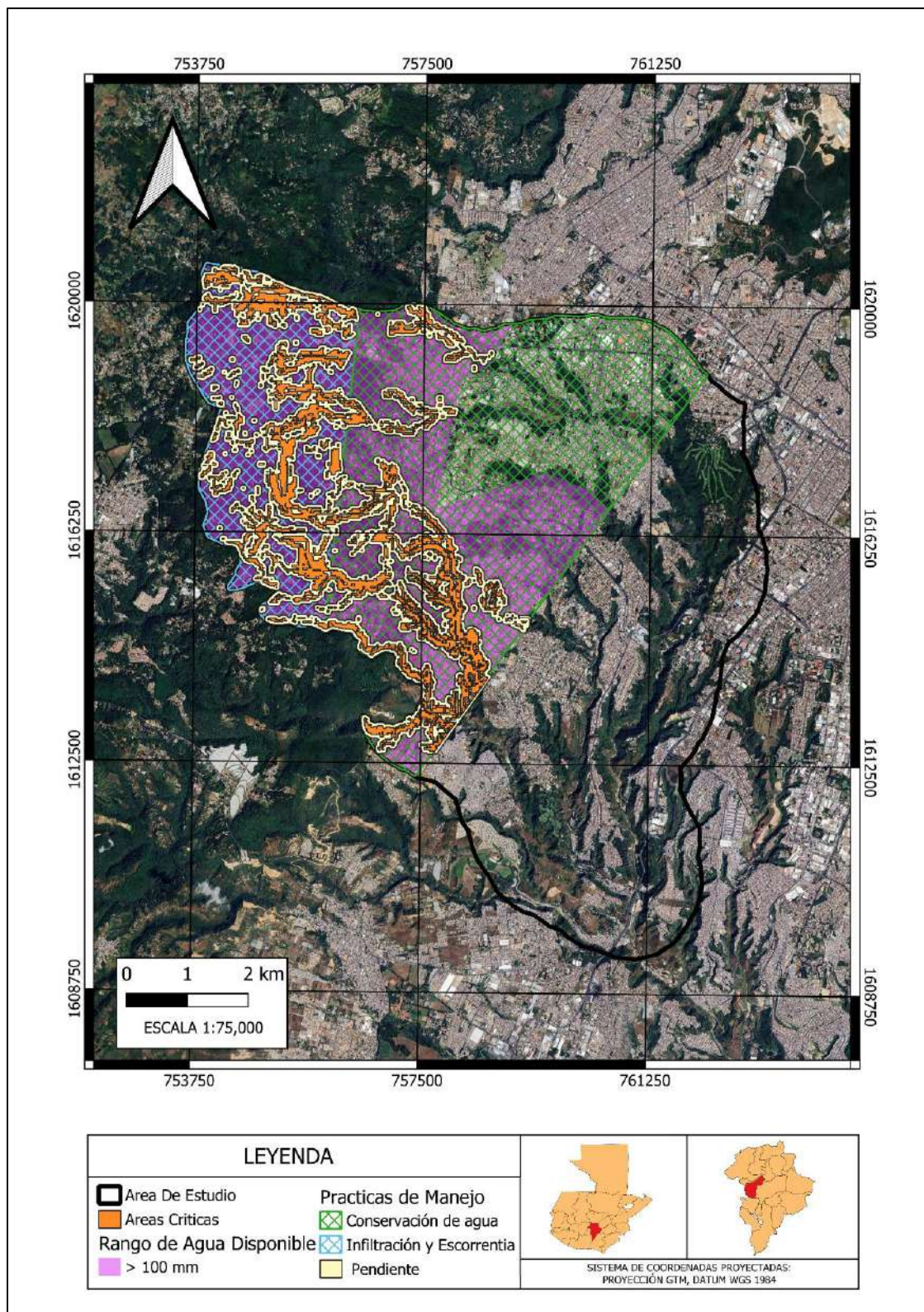
**Figura 82**

Anomalías en lluvias registradas en estación Suiza Contenta período 2012-2023



**Figura 83**

Espacios aptos para la implementación de bosques energéticos



#### **4.8. Conclusiones**

La recarga hídrica potencial, en toda el área de estudio, corresponde a 19,854,085.28 m<sup>3</sup>, donde río Molino equivale al 35.84%, es decir 7,116,068.52 m<sup>3</sup> y río San Lucas corresponde al 64.16%, equivalente a 12,738,016.76 m<sup>3</sup>.

La clasificación de áreas críticas de recarga natural, en áreas permeables indicó que, dentro del área permeable del área de estudio, el 4.91% (2.09 km<sup>2</sup>) pertenece a capacidad de recarga hídrica baja; el 66.17% (28.22 km<sup>2</sup>) pertenece a capacidad de recarga hídrica moderada y el 28.92% (12.33 km<sup>2</sup>) pertenece a baja capacidad de recarga hídrica alta.

El área apta para la implementación de bosques energéticos corresponde a 5.80km<sup>2</sup>, asociadas con prácticas de conservación de agua, manejo de infiltración, pendiente y escurrimiento.

#### 4.9. Recomendaciones

Implementar especies de pino nativas para actividades de reforestación, especies como: Pinabete (*Abies guatemalensis*), Pino oocarpa (*Pinus oocarpa*) y Pino candelillo (*Pinus maximinoi*).

Favorecer a la categoría que la categoría de capacidad de recarga hídrica moderada, mediante prácticas de conservación de suelo que prevengan la erosión como la cobertura vegetal.

Mejorar el cuidado del equipo de medición en las estaciones meteorológicas, pues estas representan una herramienta valiosa para la toma de datos a futuro para una apropiada gestión de los recursos naturales.

#### 4.10. Bibliografía

- Aguirre, O. (2015). *Manejo forestal en el siglo XXI. Madera y Bosques*, 21(17), 17-18. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21nspe/v21nspea2.pdf>
- Alvarado, G., & Herrera, I. (2003). *Estratigrafía, mapa fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala*. Ministerio de agricultura y ganadería. <https://www.maga.gob.gt/download/fisiografia.pdf>
- Angelone, S., Cauhapé, M., & Garibay, T. (2006). *Geología y geotecnia: permeabilidad de suelos*. Universidad Nacional de Rosario Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- Aparicio, F. (2001). *Fundamentos de hidrología de superficie*. de Limusa. [https://www.academia.edu/8254237/Fundamentos\\_de\\_hidrologia\\_de\\_superficie\\_Aparicio](https://www.academia.edu/8254237/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_Aparicio)
- Aranque, M. (2019). *Cuencas hidrográficas*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Barales, L. (2019). *Análisis piezométrico de pozos de agua para los municipios de la mancomunidad gran ciudad del sur*. FUNCAGUA. <https://funcagua.org.gt/2019-analisis-piezometrico-de-pozos-de-agua-para-los-municipios-de-la-mancomunidad-gran-ciudad-del-sur-funcagua/>
- Bardales, W. (2011). *Metodología para la identificación de zonas de recarga hídrica naturales en las cuencas de Guatemala*. SCRIBD. <https://es.scribd.com/document/214922958/Metodologia-Para-La-Identificacion-de-Zonas-de-Recarga-Hidrica-Naturales-en-Las-Cuencas-de-Guatemala>
- Bardales, W. (2018). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. INSIVUMEH. [https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Variabilidad\\_y\\_cambio\\_climatico.pdf](https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Variabilidad_y_cambio_climatico.pdf)
- Barreno, V. (2009). *Identificación de áreas de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago de Atitlán*. [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9268/1/T-02792.pdf>
- Cifuentes, J., & España, L. (2016). *Bosques energéticos y su posibilidad en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4506/1/BOSQUES%20ENERGETICOS%20Y%20SU%20POSIBILIDAD%20EN%20GUATEMALA.pdf>
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, A., Gonzalez, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo*. UniRio. <https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/978-987-688-024-4.pdf>
- Condón, F., & Rossi, C. (2018). Banco de germoplasma INIA: Conservando la diversidad de nuestras plantas. *Revista INIA*, 52(12), 52-53. <https://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8972/1/Revista-inia-52-12.pdf>

- Díaz, R., & Mormeneo, I. (2002). *Metodo para clasificar la anomalía de las lluvias*. Revista brasileira de agrometeorologia, <https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://agrometeorologia.criba.edu.ar/Downloads/ANOMALIAS.pdf>
- Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. (2016). *Manual de laboratorio de climatología*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial universitaria.
- Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. (2025). *Manual de prácticas de laboratorio de Edafología I*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial universitaria.
- Federación Española de Municipios y Provincias. (2012). *Sumideros de carbono a nivel local*. Gráficas NASARBE. <https://redciudadesclima.es/sites/default/files/2020-06/c2dd700737802664a97469104e56f17d.pdf>
- Fernández, A. (2012). *El agua: un recurso esencial*. *Química viva*, 3(11), 148-149. <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v11n3/fernandez.pdf>
- Figueredo, J. (2019). *Metodología para determinar zonas de recarga hídrica en municipios o comunidades con recursos financieros limitados*. Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/7a2c8a97-be71-4073-91a7-1ab90133b697/content>
- Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana. (2020). *Modulo 2: conociendo una cuenca*. Funcagua. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/m%C3%B3dulo-2-conociendo-una-cuenca.pdf>
- García, S. (2006). *Estudio de los recursos naturales renovables e identificación de las áreas de recarga hídrica en la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, Quiché*. [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-02430.pdf>
- González, B. G. (2018). *Identificación de áreas de recarga hídrica natural en la subcuenca del río Panajachel, cuenca del lago de Atitlán, Guatemala, C.A.; diagnóstico y servicios en el marco del proyecto "Impacto hidrológico derivado del uso del suelo en plantaciones de coníferas"*. [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-03541.pdf>
- Gobierno de Guatemala (1993). *Constitución política de la república de Guatemala*. Corte Constitucional.
- Hamilton, L. (2009). *Los bosques y el agua*. FAO. <https://www.fao.org/4/i0410s/i0410s00.pdf>
- Herrera, I. (2014). *Manual de hidrología*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial universitaria.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*. Landsat. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/889463908272.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463908272.pdf)
- Martínez, F. (15 de Mayo de 2020). *Balance hídrico de suelos*. [Archivo de video]. <https://www.youtube.com/watch?v=v1zDm05F2zs>

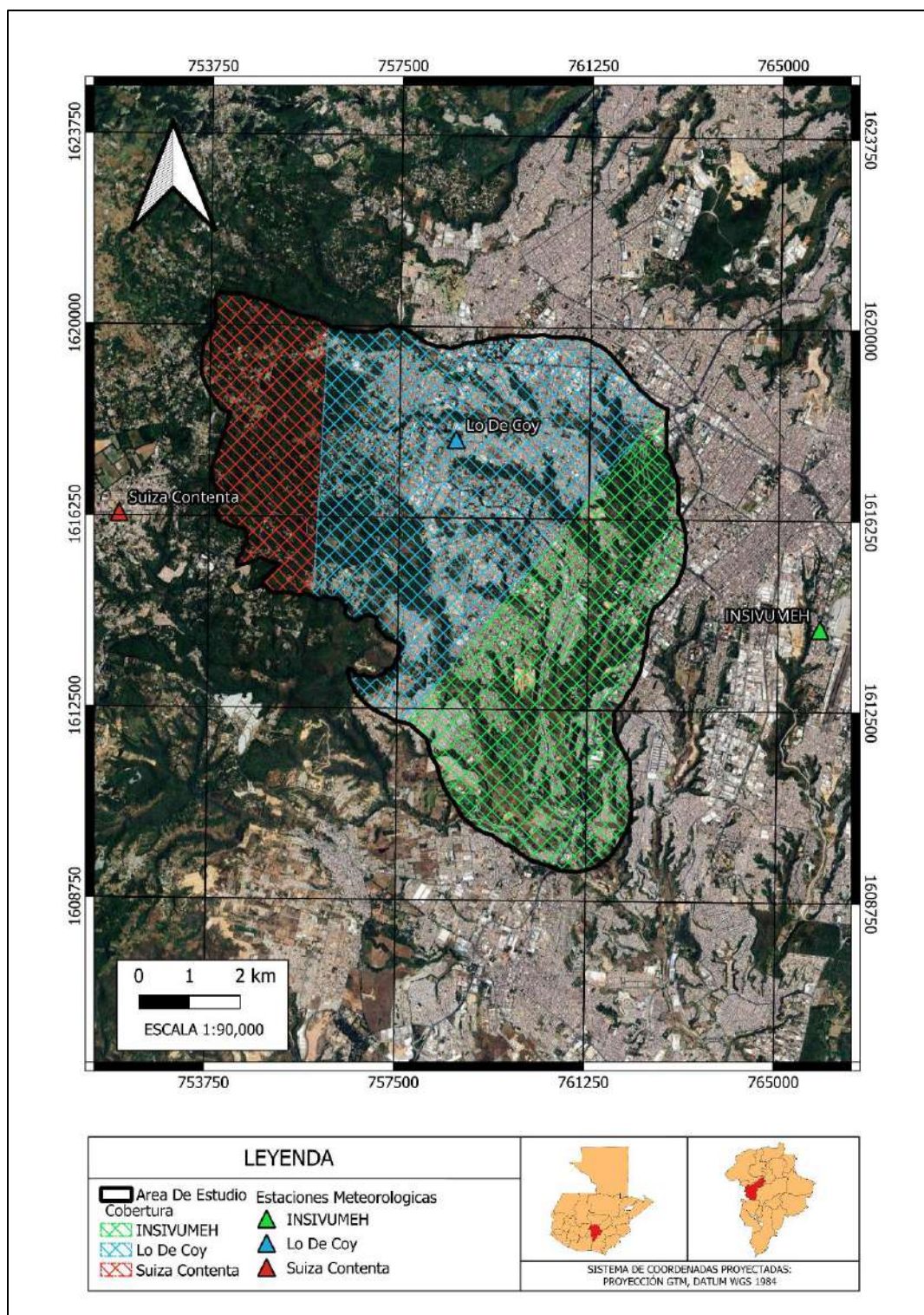
- Meza, L., Soza, S., Valle, P., & Wambeke, J. (2011). *Prácticas de conservación de suelos y agua para la adaptación productiva a la variabilidad climática*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b4ee2073-6cdb-4acd-b6b5-b42f261cf7b1/content>
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla Técnica: ¿Qué es una cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)
- Orozco, E., Padilla, T., & Salguero, M. (2003). *Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial Universitaria.
- Ovalles, M., & Rodríguez, A. (2010). *El ciclo hidrológico*. [Diapositivas de Power Point] Universidad Tecnológica de Santiago. <https://pabelbastista.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/ciclo-del-agua.pdf>
- Quiñonez, P. (2019). *Datos generales del municipio de Mixco*. Municipalidad de Mixco. <https://www.siem.260mb.net/docs/infgenmix.pdf>
- Rodríguez, G. (2009). *Representación gráfica de superficies mediante mapas térmicos*. Universidad politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/1800/1/PFC\\_GINES\\_RODRIGUEZ\\_GAVILAN.pdf](https://oa.upm.es/1800/1/PFC_GINES_RODRIGUEZ_GAVILAN.pdf)
- Sandoval, J. (1989). *Principios de riego y drenaje*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Editorial universitaria.
- Schosinsky, G. (2007). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista geológica de America Central*, 34(35), 14-28. [https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=6a7ab10ea6&attid=0.1&permmsgid=msg-a:r2810774232967791364&th=18eee0de3bedf2c1&view=att&disp=inline&realattid=f\\_lv4cn7fc4&zw&sadbat=A](https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=6a7ab10ea6&attid=0.1&permmsgid=msg-a:r2810774232967791364&th=18eee0de3bedf2c1&view=att&disp=inline&realattid=f_lv4cn7fc4&zw&sadbat=A)
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2018). *Precipitación observada*. [http://ons.ana.gob.pe:8080/maproom/Monitoring/Meteorological/Precipitation\\_SE\\_NAMHI.html](http://ons.ana.gob.pe:8080/maproom/Monitoring/Meteorological/Precipitation_SE_NAMHI.html)
- Servicio Geológico Mexicano. (2016). *¿Que es la geología?* Gob.mx. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157537/Que-es-la-Geologia.pdf>
- Torres, C. (2021). *Ciclos biogeoquímicos*. [Diapositivas de Power Point] Instituto Claret. <https://institutoclaret.cl/wp-content/uploads/2021/04/CICLOS-BIOGEOQU%C3%8DMICOS.pdf>



## 4.11. Anexos

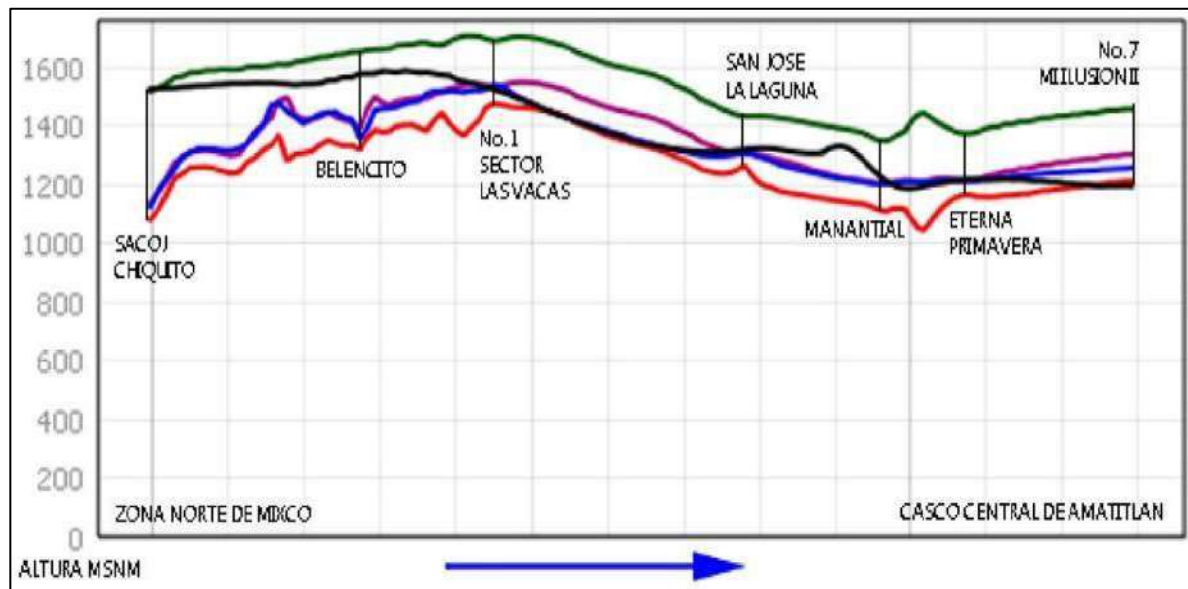
**Figura 84A**

*Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas y su rango de cobertura*

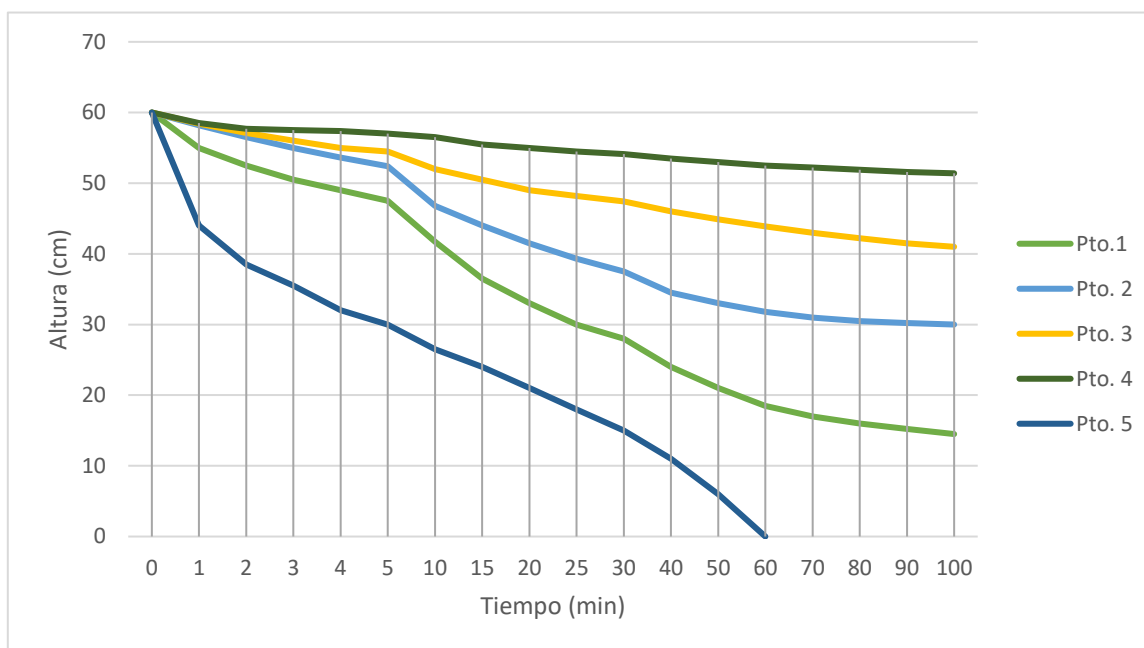
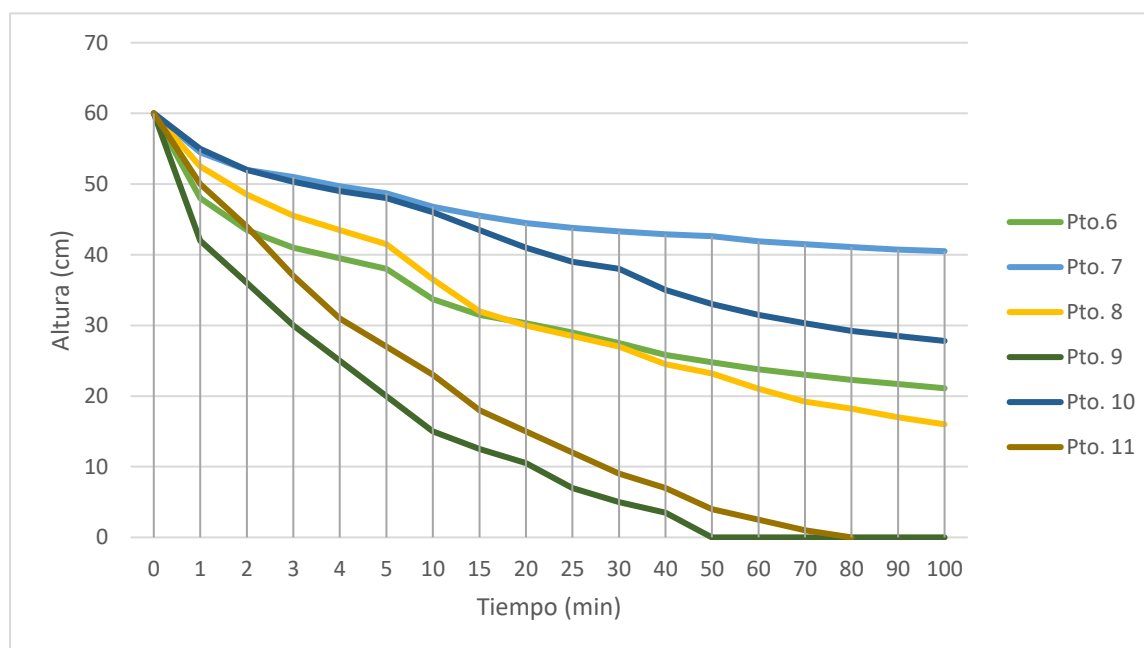


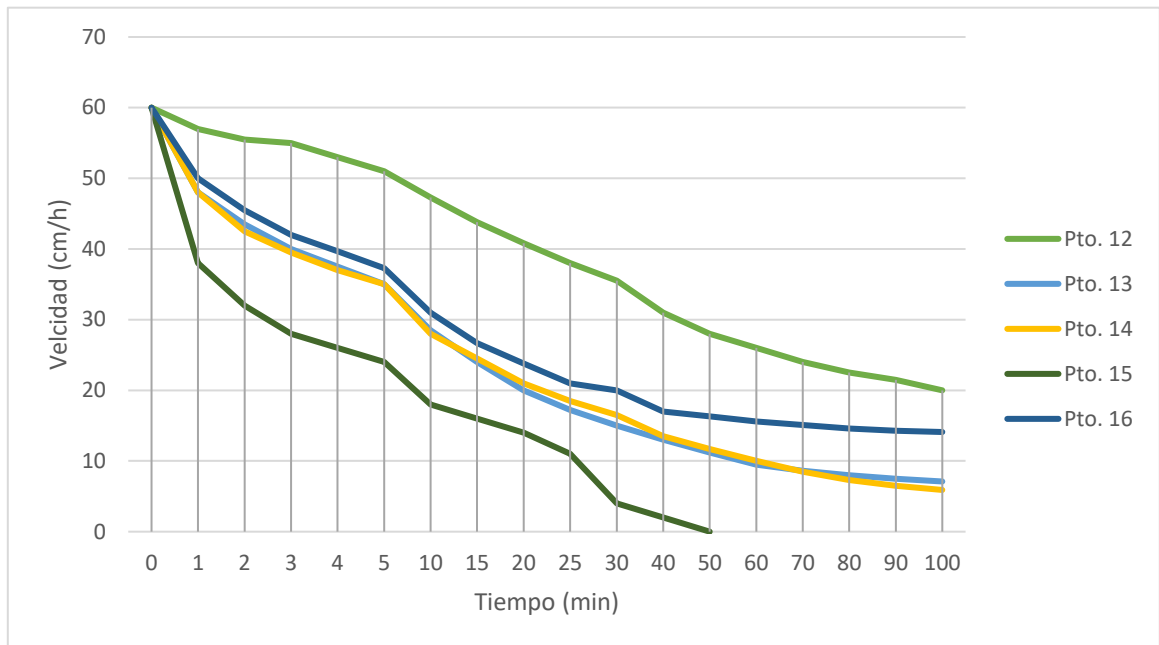
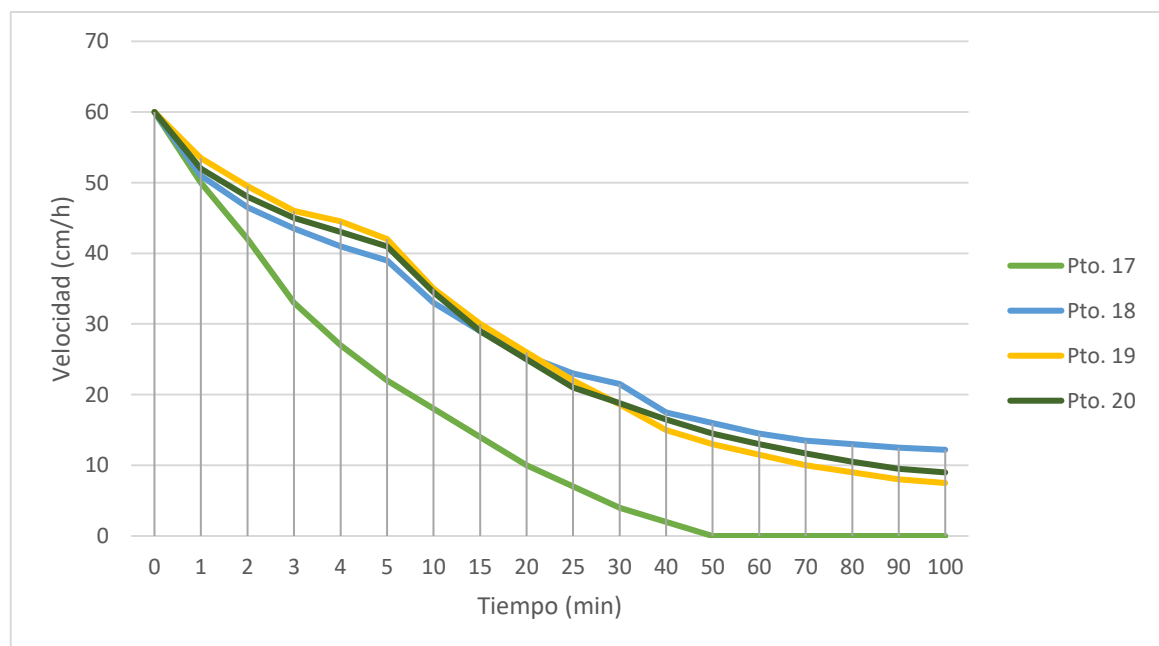
**Figura 85A**

*Perfil de pozos de los municipios de Amatitlán, Mixco y Villa Nueva año 2018*

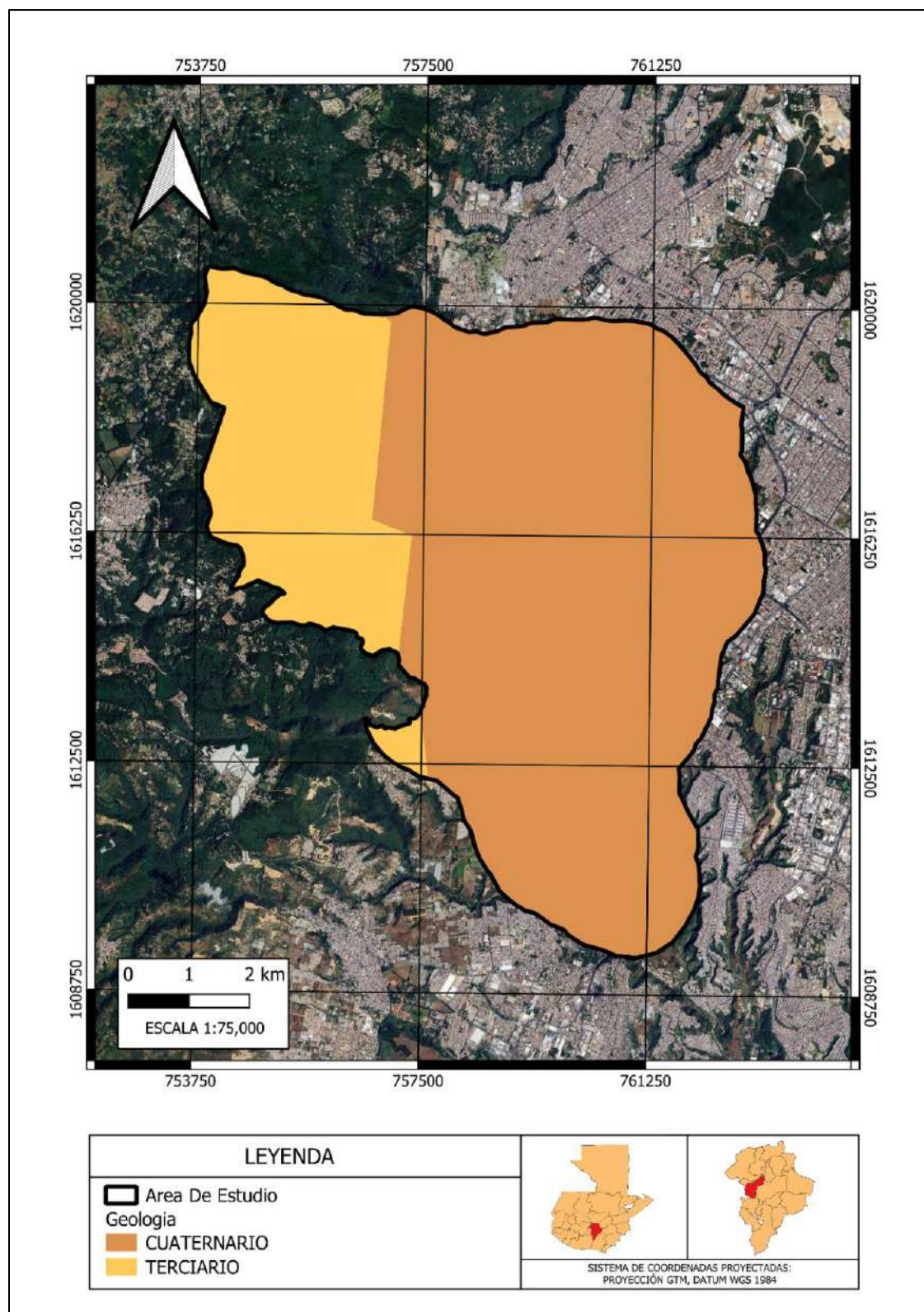


*Nota.* Barales, Perfil 1: municipios de Mixco, Villa Nueva y Amatitlán. Fondo para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala. (<https://funcagua.org.gt/2019-analisis-piezometrico-de-pozos-de-agua-para-los-municipios-de-la-mancomunidad-gran-ciudad-del-sur-funcagua/>). Derechos de autor 2019 por Barales.

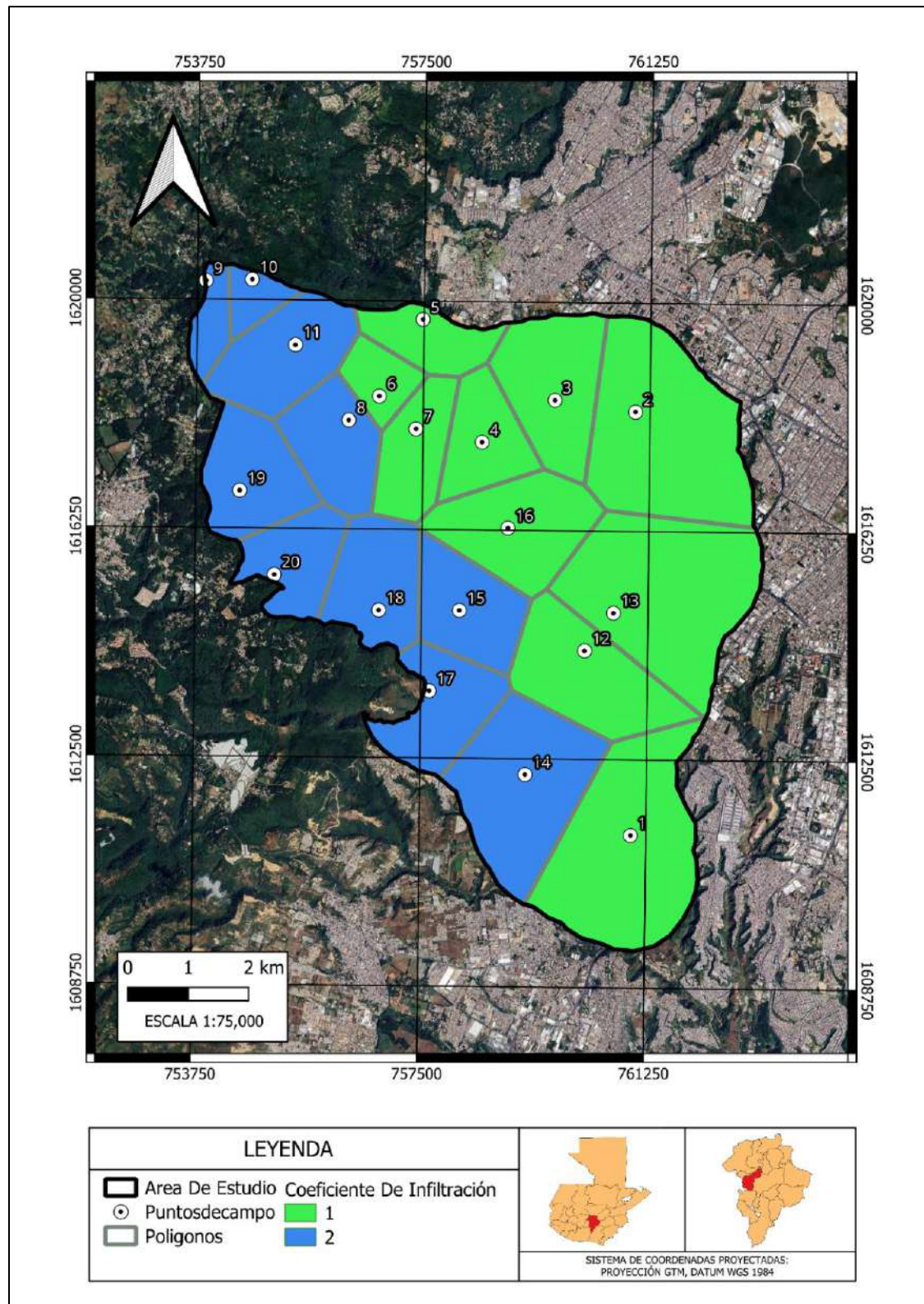
**Figura 86A***Descenso en puntos 1 a 5 microcuenca Río Molino***Figura 87A***Descenso en puntos 6 a 11 microcuenca Río Molino*

**Figura 88A***Descenso en puntos 12 a 16 microcuenca Río San Lucas***Figura 89A***Descenso en puntos 17 a 20 microcuenca Río San Lucas*

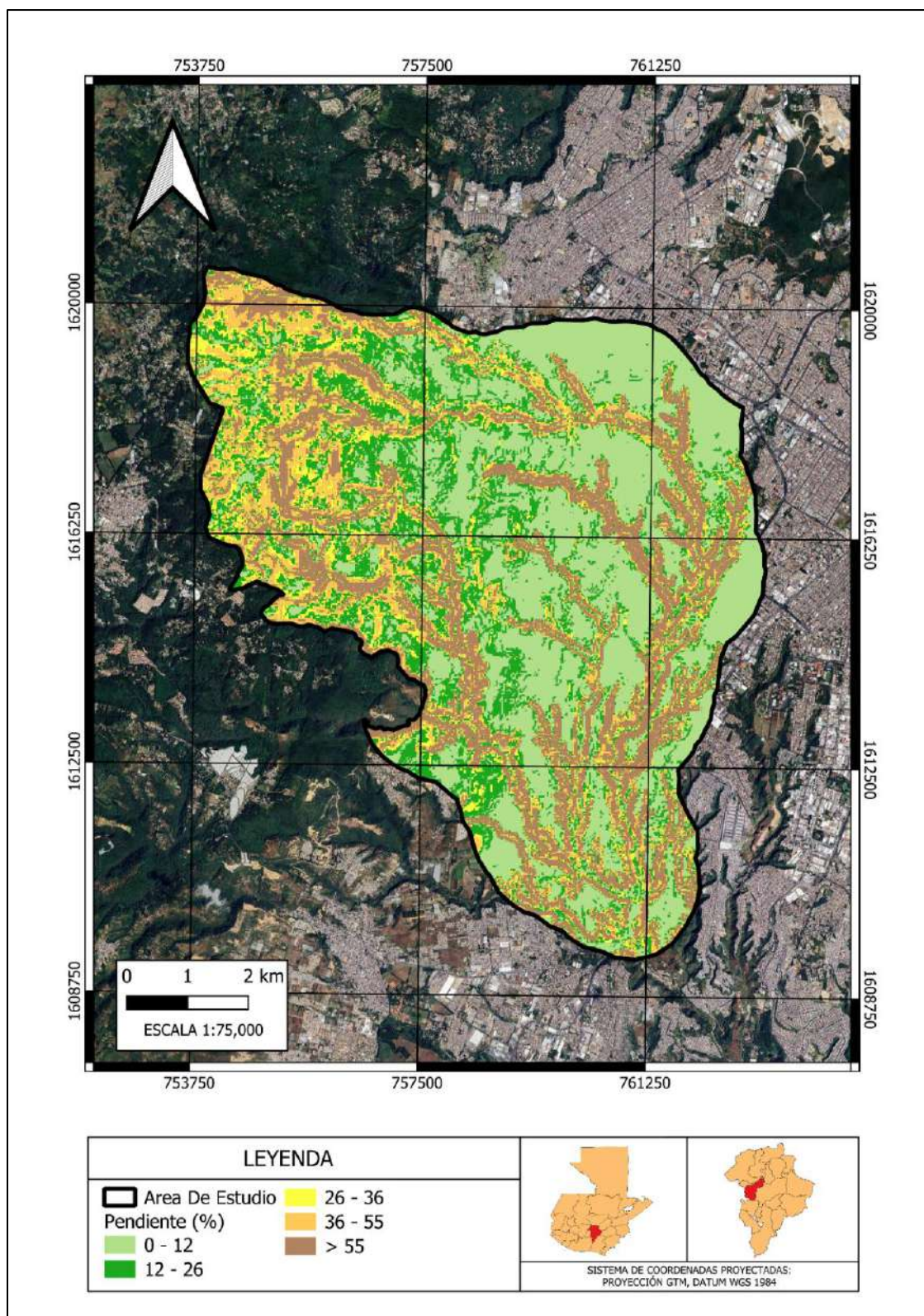
**Figura 90A**  
*Mapa de periodos de formación geológica*

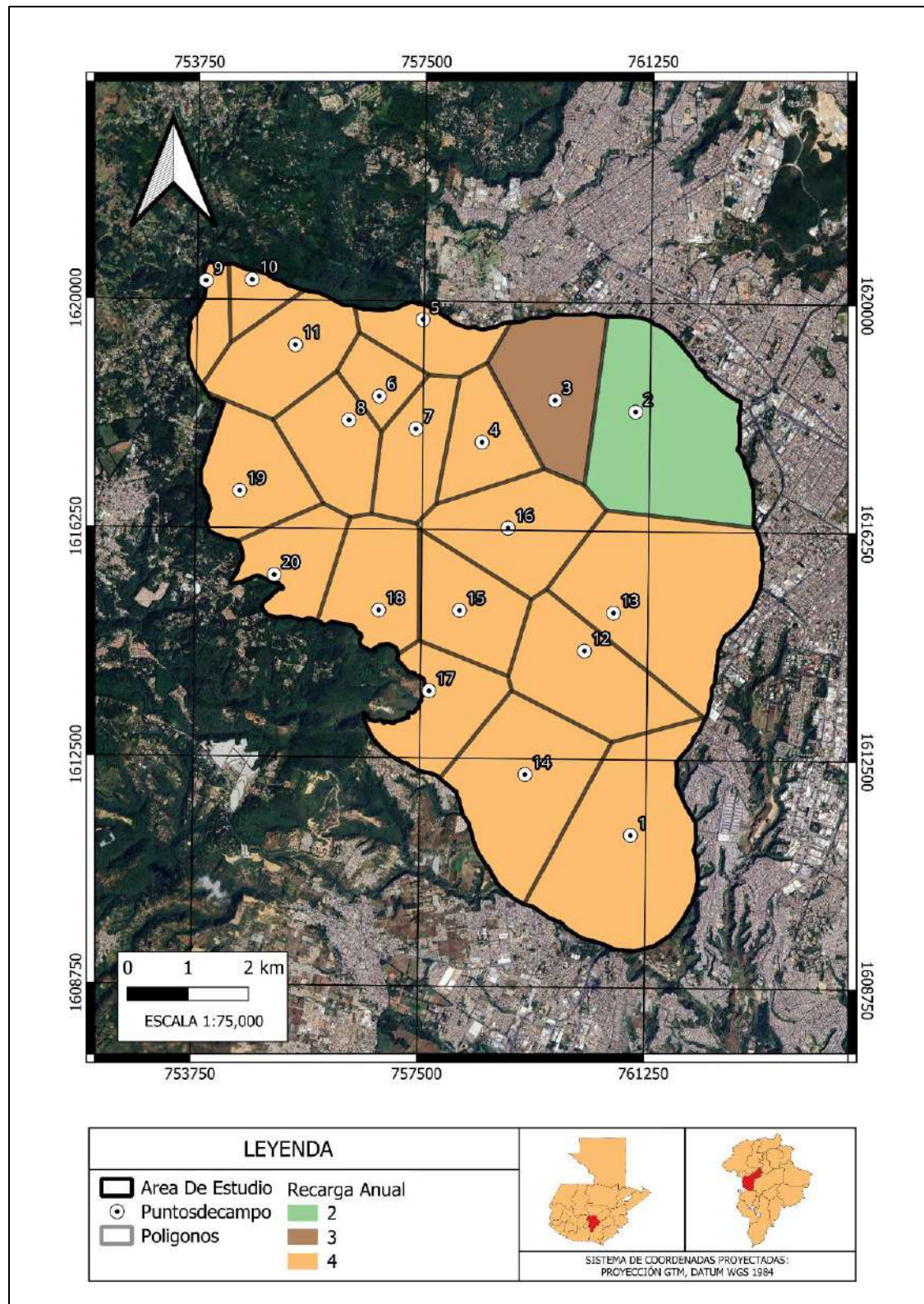


**Figura 91A**  
*Mapa de coeficientes de infiltración básica*

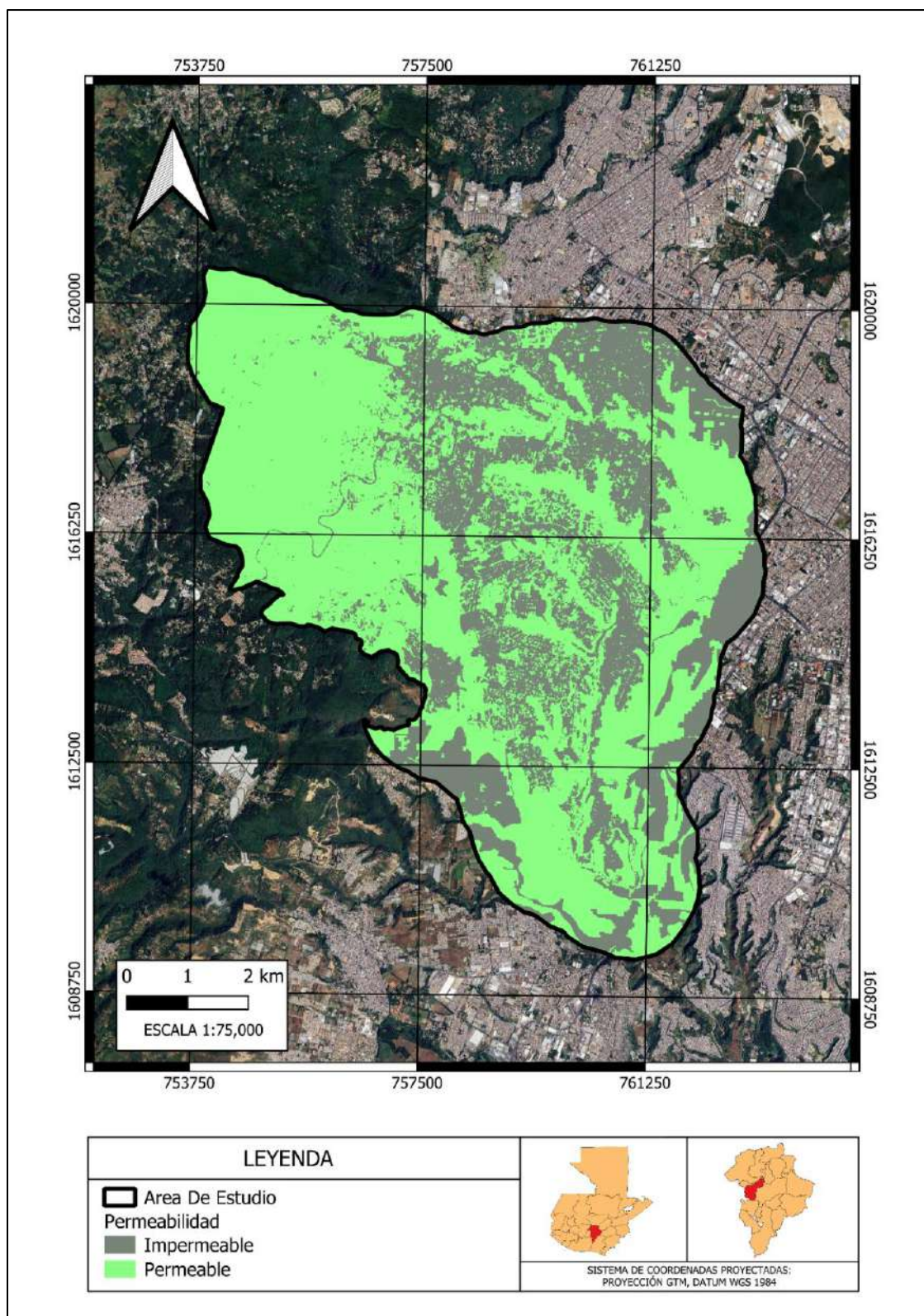


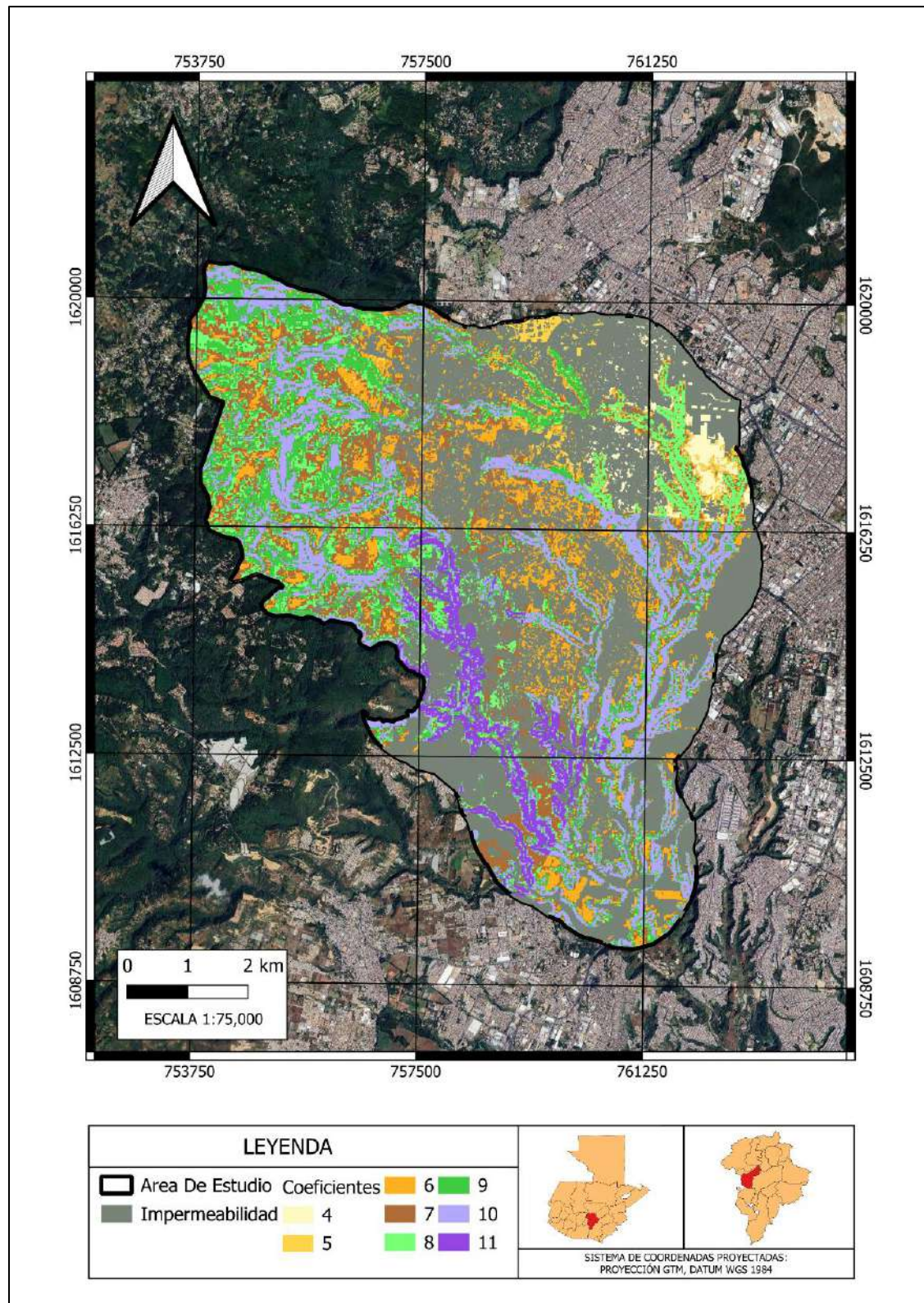
**Figura 92A**  
**Mapa clasificación de pendiente**



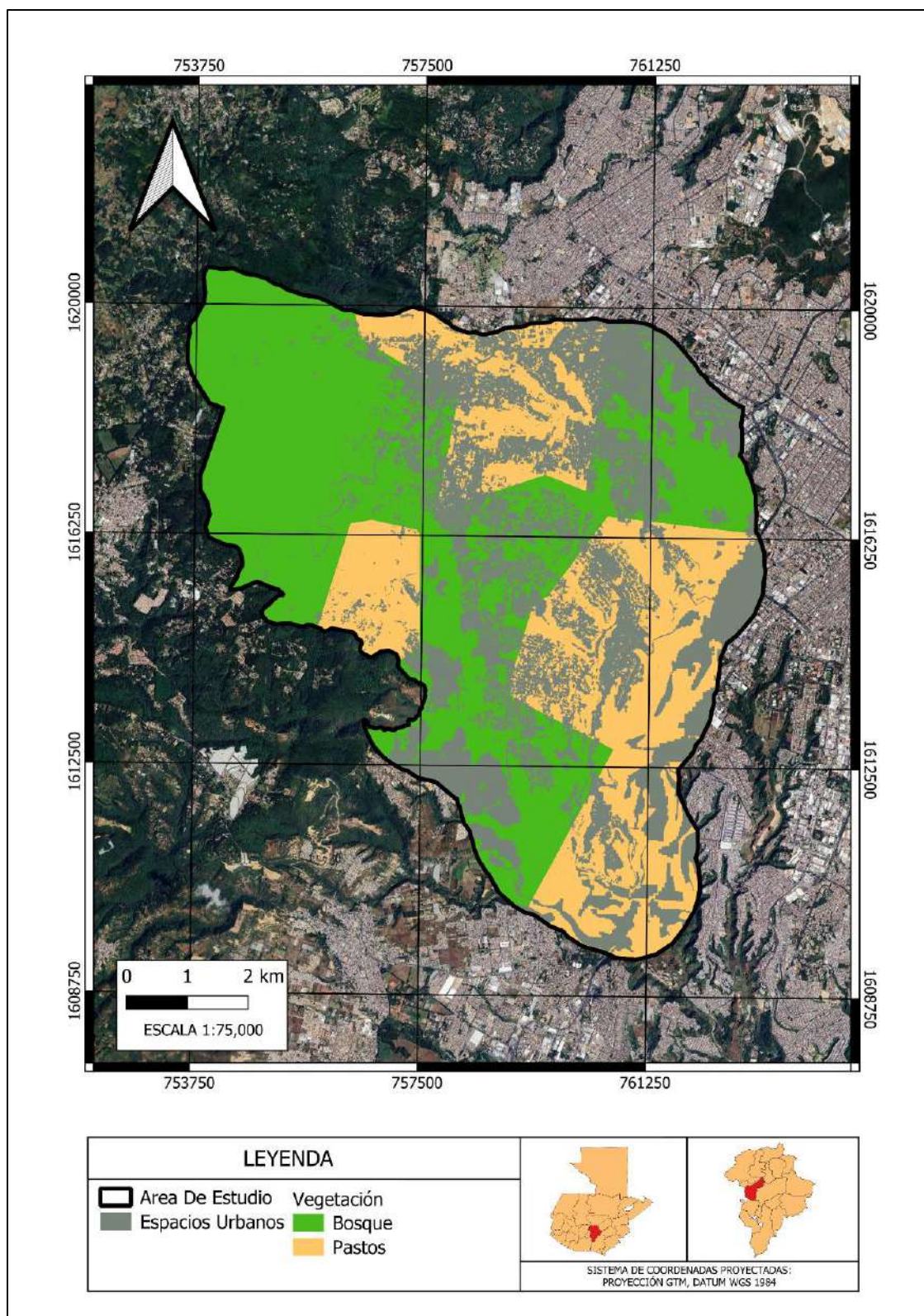
**Figura 93A***Mapa de coeficientes de recarga hídrica anual*

**Figura 94A**  
*Mapa de áreas permeables*



**Figura 95A***Mapa de sumatoria de coeficientes dentro de zonas permeables*

**Figura 96A**  
*Mapa de uso de suelos*



**Figura 97A**

*Desarrollo de tomas de muestra de suelo*



**Figura 98A**

*Muestra de suelo colectada*



**Figura 99A**

*Entrega de muestras de suelo a laboratorio de UVIGER*

**Figura 100A**

*Desarrollo de pruebas de infiltración básica*



**Figura 101A***Formato de entrega de resultados de pruebas físicas de suelo*

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b><br><b>FACULTAD DE AGRONOMIA</b><br><b>LABORATORIO DE ANALISIS</b><br><b>DE SUELO, AGUA Y PLANTA</b><br><b>"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"</b> | <b>FACULTAD DE</b><br><b>AGRONOMIA</b><br><small>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</small>  |                |             |           |       |                       |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|-----------|-------|-----------------------|----------------|--|----------------|-----|----|---------|------|-------|------------|--------|-------|------|------|-------|-------|-----------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                     |                |             |           |       |                       |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
| <b>INTERESADO:</b><br><b>RESPONSABLE:</b><br><b>PROCEDENCIA:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>FUNDACION DEFENSORES DE LA NATURALEZA</b><br><b>CARLOS RAUL SANDOVAL</b><br><b>RIO VILLA LOBOS, MIXCO, GUATEMALA</b>                                                                  |                                                                                                                                                                                     |                |             |           |       |                       |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
| <b>ANALISIS FISICOS DE SUELOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                     |                |             |           |       |                       |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDENTIFICACION</th> <th rowspan="2">Gr/cc<br/>Da</th> <th colspan="2">% HUMEDAD</th> <th colspan="3">%</th> <th rowspan="2">CLASE TEXTURAL</th> </tr> <tr> <th>1/3</th> <th>15</th> <th>Arcilla</th> <th>Limo</th> <th>Arena</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>M-1</b></td> <td>1.2903</td> <td>17.90</td> <td>6.80</td> <td>5.88</td> <td>18.52</td> <td>75.60</td> <td><b>FRANCO ARENOSO</b></td> </tr> </tbody> </table> |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                     | IDENTIFICACION | Gr/cc<br>Da | % HUMEDAD |       | %                     |                |  | CLASE TEXTURAL | 1/3 | 15 | Arcilla | Limo | Arena | <b>M-1</b> | 1.2903 | 17.90 | 6.80 | 5.88 | 18.52 | 75.60 | <b>FRANCO ARENOSO</b> |
| IDENTIFICACION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Gr/cc<br>Da                                                                                                                                                                              | % HUMEDAD                                                                                                                                                                           |                |             | %         |       |                       | CLASE TEXTURAL |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                          | 1/3                                                                                                                                                                                 | 15             | Arcilla     | Limo      | Arena |                       |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
| <b>M-1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1.2903                                                                                                                                                                                   | 17.90                                                                                                                                                                               | 6.80           | 5.88        | 18.52     | 75.60 | <b>FRANCO ARENOSO</b> |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                     |                |             |           |       |                       |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |
| <small>             CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA<br/>             EDIFICIO UVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA<br/>             CÓDIGO POSTAL 01012. APARTADO POSTAL 1545. TEL.: (502) 24189308 (502) 24189300           </small>                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                     |                |             |           |       |                       |                |  |                |     |    |         |      |       |            |        |       |      |      |       |       |                       |

**Tabla 65B**  
*Estimación de datos faltantes*

| <b>Estación Lo de Coy</b>       |                                                                                                                 |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diciembre 2021                  | $\frac{Xi}{7.67} = \frac{1038.30}{1740.41}$ $Xi = \left(\frac{1038.30}{1740.41}\right) * 7.67$ $Xi = 4.57$      |
| Noviembre 2023                  | $\frac{Xi}{114.77} = \frac{1050.70}{1740.41}$ $Xi = \left(\frac{1050.70}{1740.41}\right) * 114.77$ $Xi = 69.29$ |
| <b>Estación Suiza Contenta:</b> |                                                                                                                 |
|                                 | $\frac{Xi}{64.10} = \frac{1138.90}{1472.60}$ $Xi = \left(\frac{1138.90}{1472.60}\right) * 64.10$ $Xi = 49.57$   |

**Tabla 66B**  
*Información meteorológica: Estación INSIVUMEH*

| <b>Precipitación (mm)</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Año                       | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct    | Nov   | Dic   |
| 2020                      | 5.3   | 0.9   | 0     | 42.1  | 213.4 | 110.3 | 155.1 | 171.1 | 310.4 | 238.8  | 58.1  | 0.3   |
| 2021                      | 12.8  | 5.7   | 0     | 33.4  | 145.9 | 316.7 | 149.6 | 217.3 | 100.7 | 158    | 2.3   | 3.7   |
| 2022                      | 1.00  | 0     | 2.5   | 106.6 | 208.5 | 336.4 | 126.9 | 268.9 | 352.4 | 192.08 | 73    | 4.7   |
| 2023                      | 8.4   | 2.9   | 40.4  | 5.1   | 143.3 | 187   | 249.4 | 153.1 | 176.6 | 108.4  | 16.9  | 0.7   |
| <b>Temperatura (°C)</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |
| Año                       | Ene   | Feb   | Mar   | Abril | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct    | Nov   | Dic   |
| 2020                      | 19.37 | 20.48 | 21.36 | 22.37 | 22.2  | 21    | 21.98 | 12.98 | 20.12 | 20.72  | 20.12 | 18.73 |
| 2021                      | 19.08 | 19.36 | 20.43 | 21.37 | 21.43 | 20.77 | 21.41 | 20.37 | 19.06 | 20.94  | 19.06 | 19.28 |
| 2022                      | 18.62 | 19.13 | 19.48 | 21.6  | 21.14 | 20.02 | 21.12 | 20.64 | 19.88 | 20.25  | 19.88 | 18.47 |
| 2023                      | 18.75 | 19.48 | 20.74 | 21.88 | 22.76 | 22.55 | 21.59 | 21.99 | 22.21 | 20.83  | 20.13 | 19.07 |

**Tabla 67B***Información meteorológica: Estación Lo de Coy*

| <b>Precipitación (mm)</b> |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|---------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Año                       | Ene  | Feb  | Mar  | Abril | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic  |
| 2020                      | 18.7 | 13.6 | 0.2  | 95.8  | 357.4 | 390   | 381.1 | 370.4 | 480   | 382.8 | 239.5 | 0    |
| 2021                      | 1.7  | 0    | 0    | 19    | 191.6 | 214.1 | 130.9 | 282   | 56    | 139.4 | 3.6   | 4.57 |
| 2022                      | 0    | 0    | 0.2  | 37.3  | 166.9 | 397.5 | 233.6 | 444.4 | 470   | 159.6 | 101.2 | 10   |
| 2023                      | 5.1  | 4.5  | 11.5 | 2.6   | 83.3  | 207.6 | 232.7 | 137.4 | 153.7 | 199.3 | 69.29 | 13   |
| <b>Temperatura (°C)</b>   |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| Año                       | Ene  | Feb  | Mar  | Abril | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic  |
| 2020                      | 19   | 21   | 22   | 23    | 22    | 20.5  | 19.8  | 20    | 18    | 17.47 | 17.7  | 17   |
| 2021                      | 20   | 20.5 | 21   | 22    | 21    | 20.2  | 20.5  | 20.7  | 20.5  | 20.3  | 19.8  | 19.5 |
| 2022                      | 20.4 | 20.8 | 21.3 | 22    | 21.2  | 20.1  | 21.2  | 21.5  | 21.1  | 20.7  | 20    | 19.6 |
| 2023                      | 20.1 | 20.4 | 21.1 | 21.5  | 21.2  | 20.5  | 20.8  | 20.4  | 20.3  | 20    | 19.6  | 19.4 |

**Tabla 68B***Información meteorológica: Estación Suiza Contenta*

| <b>Precipitación (mm)</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Año                       | Ene   | Feb   | Mar   | Abril | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |
| 2020                      | 6.2   | 1.4   | 0.2   | 66.8  | 155.9 | 140.7 | 145.2 | 202.2 | 214.5 | 158.6 | 78.6  | 1.2   |
| 2021                      | 12.2  | 2.1   | 0.4   | 92.8  | 160.7 | 276.5 | 106.1 | 308.3 | 207.8 | 103.6 | 11.7  | 3.3   |
| 2022                      | 6.1   | 1.4   | 7.4   | 47.7  | 189.7 | 509.3 | 337.7 | 285.5 | 530.7 | 191   | 102   | 21.9  |
| 2023                      | 7.8   | 14.8  | 16.8  | 3.8   | 128.1 | 155.1 | 278.4 | 150.1 | 227.7 | 152   | 49.57 | 4.3   |
| <b>Temperatura (°C)</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Año                       | Ene   | Feb   | Mar   | Abril | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |
| 2020                      | 15.88 | 16.82 | 16.96 | 18.44 | 18.53 | 17.37 | 17.52 | 17.85 | 18.48 | 17.47 | 17.1  | 16.44 |
| 2021                      | 15.61 | 15.63 | 16.32 | 17.75 | 18.25 | 17.75 | 17.5  | 17.23 | 17.71 | 17.21 | 15.4  | 15.7  |
| 2022                      | 14.82 | 15.14 | 16.24 | 17.53 | 17.74 | 16.85 | 17.06 | 17.15 | 17.37 | 16.7  | 16.5  | 15.41 |
| 2023                      | 15.6  | 15.21 | 16.51 | 17.49 | 18.17 | 18.27 | 18.1  | 18.35 | 18.84 | 17.6  | 14.4  | 15.98 |

**Tabla 69B**  
ETP Estación INSIVUMEH

| Mes  | Días | Temperatura |       | Radiación Extraterrestre |        | Brillo Solar<br>horas/día | Brillo medio mensual (%) | Radiación Solar mensual (mm) | ETP        |        |
|------|------|-------------|-------|--------------------------|--------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|------------|--------|
|      |      | °C          | °F    | mm/día                   | mm/mes |                           |                          |                              | mm/dmm/mes | es     |
| Ene  | 31   | 18.62       | 65.52 | 12.34                    | 382.54 | 11.32                     | 47.17                    | 197.04                       | 3.12       | 96.82  |
| Feb  | 28   | 19.13       | 66.43 | 13.55                    | 379.4  | 11.61                     | 48.38                    | 197.91                       | 3.52       | 98.61  |
| Mar  | 31   | 19.48       | 67.06 | 14.85                    | 460.35 | 12.0                      | 50.00                    | 244.14                       | 3.96       | 122.80 |
| Abr  | 30   | 21.6        | 70.88 | 15.77                    | 473.1  | 12.49                     | 52.04                    | 255.97                       | 4.54       | 136.07 |
| May  | 31   | 21.14       | 70.05 | 16.02                    | 496.62 | 12.79                     | 53.29                    | 271.90                       | 4.61       | 142.86 |
| Jun  | 30   | 20.02       | 68.04 | 16.00                    | 480.00 | 12.98                     | 54.08                    | 264.75                       | 4.50       | 135.09 |
| Jul  | 31   | 21.12       | 70.02 | 16.02                    | 496.62 | 12.88                     | 53.67                    | 272.86                       | 4.62       | 143.28 |
| Ago. | 31   | 20.64       | 69.15 | 15.92                    | 493.52 | 12.59                     | 52.46                    | 268.09                       | 4.49       | 139.04 |
| Sep. | 30   | 19.88       | 67.78 | 15.34                    | 460.2  | 12.19                     | 50.79                    | 245.98                       | 4.17       | 125.05 |
| Oct  | 31   | 20.25       | 68.45 | 14.1                     | 437.1  | 11.8                      | 49.17                    | 229.87                       | 3.81       | 118.01 |
| Nov  | 30   | 19.06       | 66.31 | 12.71                    | 381.3  | 11.41                     | 47.54                    | 197.18                       | 3.27       | 98.06  |
| Dic  | 31   | 19.28       | 66.7  | 11.97                    | 371.07 | 11.22                     | 46.75                    | 190.29                       | 3.07       | 95.20  |

**Tabla 70B**  
ETP Estación Lo de Coy

| Mes  | Días | Temperatura |       | Radiación Extraterrestre |        | Brillo Solar<br>horas/día | Brillo medio mensual (%) | Radiación Solar mensual (mm) | ETP    |        |
|------|------|-------------|-------|--------------------------|--------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------|--------|
|      |      | °C          | °F    | mm/día                   | mm/mes |                           |                          |                              | mm/día | mm/mes |
| Ene  | 31   | 20.4        | 68.72 | 12.37                    | 383.47 | 11.32                     | 47.17                    | 197.52                       | 3.28   | 101.7  |
| Feb  | 28   | 20.8        | 69.44 | 13.57                    | 379.96 | 11.62                     | 48.42                    | 198.29                       | 3.69   | 103.4  |
| Mar  | 31   | 21.3        | 70.34 | 14.86                    | 460.66 | 12.0                      | 50.00                    | 244.30                       | 4.16   | 128.9  |
| Abr  | 30   | 22.0        | 71.6  | 15.77                    | 473.1  | 12.48                     | 52.00                    | 255.87                       | 4.58   | 137.4  |
| May  | 31   | 21.2        | 70.16 | 15.99                    | 495.69 | 12.78                     | 53.25                    | 271.29                       | 4.60   | 142.8  |
| Jun  | 30   | 20.1        | 68.18 | 15.96                    | 478.8  | 12.98                     | 54.08                    | 264.09                       | 4.50   | 135.2  |
| Jul  | 31   | 21.2        | 70.16 | 15.98                    | 495.38 | 12.88                     | 53.67                    | 272.18                       | 4.62   | 143.8  |
| Ago. | 31   | 21.5        | 70.7  | 15.91                    | 493.21 | 12.58                     | 52.42                    | 267.81                       | 4.58   | 142.1  |
| Sep. | 30   | 21.1        | 69.98 | 15.35                    | 460.5  | 12.19                     | 50.79                    | 246.14                       | 4.31   | 129.3  |
| Oct  | 31   | 20.7        | 69.26 | 14.12                    | 437.72 | 11.8                      | 49.17                    | 230.19                       | 3.86   | 119.1  |
| Nov  | 30   | 19.8        | 67.64 | 12.73                    | 381.9  | 11.42                     | 47.58                    | 197.58                       | 3.34   | 100.2  |
| Dic  | 31   | 19.5        | 67.1  | 11.99                    | 371.69 | 11.22                     | 46.75                    | 190.60                       | 3.09   | 95.9   |

**Tabla 71B***ETP estación Suiza Contenta*

| Mes  | Días | Temperatura |       | Radiación Extraterrestre |        | Brillo Solar<br>horas/día | Brillo medio mensual (%) | Radiación Solar mensual (mm) | ETP    |       |
|------|------|-------------|-------|--------------------------|--------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|--------|-------|
|      |      | °C          | °F    | mm/día                   | mm/mes |                           |                          |                              | mm/día | m/mes |
| Ene  | 31   | 14.82       | 58.68 | 12.37                    | 383.47 | 11.32                     | 47.17                    | 197.52                       | 2.80   | 86.9  |
| Feb  | 28   | 15.14       | 59.25 | 13.57                    | 379.96 | 11.62                     | 48.42                    | 198.29                       | 3.15   | 88.7  |
| Mar  | 31   | 16.24       | 61.23 | 14.86                    | 460.66 | 12.00                     | 50.00                    | 244.30                       | 3.62   | 112   |
| Abr  | 30   | 17.53       | 63.55 | 15.77                    | 473.10 | 12.48                     | 52.00                    | 255.87                       | 4.07   | 121   |
| May  | 31   | 17.74       | 63.93 | 15.99                    | 495.69 | 12.78                     | 53.25                    | 271.29                       | 4.20   | 130   |
| Jun  | 30   | 16.85       | 62.33 | 15.96                    | 478.80 | 12.98                     | 54.08                    | 264.09                       | 4.12   | 123   |
| Jul  | 31   | 17.06       | 62.71 | 15.98                    | 495.38 | 12.88                     | 53.67                    | 272.18                       | 4.13   | 128   |
| Ago. | 31   | 17.15       | 62.87 | 15.91                    | 493.21 | 12.58                     | 52.42                    | 267.81                       | 4.07   | 126   |
| Sep. | 30   | 17.37       | 63.27 | 15.35                    | 460.50 | 12.19                     | 50.79                    | 246.14                       | 3.89   | 116   |
| Oct  | 31   | 16.7        | 62.06 | 14.12                    | 437.72 | 11.80                     | 49.17                    | 230.19                       | 3.46   | 107   |
| Nov  | 30   | 15.42       | 59.76 | 12.73                    | 381.90 | 11.42                     | 47.58                    | 197.58                       | 2.95   | 88.5  |
| Dic  | 31   | 15.7        | 60.26 | 11.99                    | 371.69 | 11.22                     | 46.75                    | 190.60                       | 2.78   | 86.7  |

**Tabla 72B***Información meteorológica a utilizada en estación INSIVUMEH*

| INSIVUMEH |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Ene.      | Feb.  | Mar.   | Abr.   | May.   | Jun.   | Jul.   | Ago.   | Sep.   | Oct.   | Nov.   | Dic.  |
| PP (mm)   |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| 6.88      | 2.38  | 10.73  | 46.80  | 177.78 | 237.60 | 170.25 | 202.60 | 235.03 | 154.83 | 37.58  | 2.35  |
| T (°C)    |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| 18.96     | 19.61 | 20.50  | 21.81  | 21.88  | 21.09  | 21.53  | 19.00  | 20.32  | 20.69  | 19.80  | 18.89 |
| ETP (mm)  |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| 97.71     | 99.90 | 126.17 | 136.78 | 145.58 | 138.90 | 144.78 | 133.09 | 126.51 | 119.36 | 100.02 | 94.19 |

**Tabla 73B***Información meteorológica a utilizada en estación Lo de Coy*

| <b>Lo De Coy</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Ene.</b>      | <b>Feb.</b> | <b>Mar.</b> | <b>Abr.</b> | <b>May.</b> | <b>Jun.</b> | <b>Jul.</b> | <b>Ago.</b> | <b>Sep.</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dic.</b> |
| <b>PP (mm)</b>   |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 6.88             | 2.38        | 10.73       | 46.80       | 177.78      | 237.60      | 170.25      | 202.60      | 235.03      | 154.83      | 37.58       | 2.35        |
| <b>T (°C)</b>    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 18.96            | 19.61       | 20.50       | 21.81       | 21.88       | 21.09       | 21.53       | 19.00       | 20.32       | 20.69       | 19.80       | 18.89       |
| <b>ETP (mm)</b>  |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 97.71            | 99.90       | 126.17      | 136.78      | 145.58      | 138.90      | 144.78      | 133.09      | 126.51      | 119.36      | 100.02      | 94.19       |

**Tabla 74B***Información meteorológica a utilizada en estación Suiza Contenta*

| <b>Suiza Contenta</b> |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Ene.</b>           | <b>Feb.</b> | <b>Mar.</b> | <b>Abr.</b> | <b>May.</b> | <b>Jun.</b> | <b>Jul.</b> | <b>Ago.</b> | <b>Sep.</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dic.</b> |
| <b>PP (mm)</b>        |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 8.08                  | 4.93        | 6.20        | 52.78       | 158.60      | 270.40      | 216.85      | 236.53      | 295.18      | 151.30      | 64.00       | 7.68        |
| <b>T (°C)</b>         |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 15.48                 | 15.70       | 16.51       | 17.80       | 18.17       | 17.56       | 17.55       | 17.65       | 18.10       | 17.25       | 15.86       | 15.88       |
| <b>ETP (mm)</b>       |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 88.68                 | 89.62       | 113.08      | 122.89      | 131.65      | 125.99      | 129.81      | 128.09      | 119.22      | 108.85      | 89.72       | 86.61       |

**Tabla 75B***Resultados de pruebas físicas de suelo en polígonos de microcuenca Río Molino*

| No. | DAP  | CC    | PMP   | Composición % |       |       | Clase Textural         |
|-----|------|-------|-------|---------------|-------|-------|------------------------|
|     |      |       |       | Arcilla       | Limo  | Arena |                        |
| 1   | 1.29 | 17.90 | 6.8   | 5.88          | 18.52 | 75.60 | Franco Arenoso         |
| 2   | 1.11 | 24.64 | 16.82 | 20.58         | 14.70 | 64.72 | Franco Arcillo Arenoso |
| 3   | 1.17 | 29.15 | 19.93 | 27.26         | 20.62 | 52.12 | Franco Arcillo Arenoso |
| 4   | 1.02 | 29.36 | 20.27 | 23.06         | 16.42 | 60.52 | Franco Arcillo Arenoso |
| 5   | 1.08 | 24.08 | 14.36 | 14.66         | 16.42 | 68.92 | Franco Arenoso         |
| 6   | 1.17 | 32.71 | 23.42 | 24.78         | 18.52 | 56.7  | Franco Arcillo Arenoso |
| 7   | 0.93 | 33.06 | 10.44 | 18.16         | 18.52 | 62.62 | Franco Arenoso         |
| 8   | 1.05 | 40.57 | 30.67 | 31.08         | 23.10 | 45.82 | Franco Arcillo Arenoso |
| 9   | 1.00 | 40.63 | 29.91 | 20.58         | 23.10 | 56.32 | Franco Arcillo Arenoso |
| 10  | 1.05 | 32.09 | 22.11 | 18.48         | 14.70 | 66.82 | Franco Arenoso         |
| 11  | 1.00 | 34.68 | 18.32 | 14.28         | 20.62 | 65.10 | Franco Arenoso         |

*Nota.* Tabla elaborada en base a los resultados proporcionados por el laboratorio de suelos UVIGER.**Tabla 76B***Resultados de pruebas físicas de suelo en polígonos de microcuenca Río San Lucas*

| No. | DAP  | CC    | PMP   | Composición % |       |       | Clase Textural         |
|-----|------|-------|-------|---------------|-------|-------|------------------------|
|     |      |       |       | Arcilla       | Limo  | Arena |                        |
| 12  | 1.25 | 18.16 | 8.5   | 6.90          | 18.10 | 75.00 | Franco Arenoso         |
| 13  | 1.25 | 19.87 | 9.55  | 10.08         | 18.90 | 71.02 | Franco Arenoso         |
| 14  | 1.05 | 31.63 | 21.81 | 25.16         | 20.62 | 54.22 | Franco Arcillo Arenoso |
| 15  | 1.11 | 28.00 | 18.51 | 18.48         | 16.80 | 64.72 | Franco Arenoso         |
| 16  | 1.17 | 28.24 | 19.70 | 24.78         | 21.00 | 54.22 | Franco Arcillo Arenoso |
| 17  | 1.14 | 27.58 | 9.91  | 4.16          | 14.32 | 81.52 | Arena Franca           |
| 18  | 1.02 | 28.98 | 12.47 | 8.36          | 11.84 | 79.80 | Franco Arenoso         |
| 19  | 1.81 | 56.78 | 36.56 | 12.18         | 23.10 | 64.72 | Franco Arenoso         |
| 20  | 0.97 | 38.34 | 22.81 | 12.18         | 18.52 | 69.30 | Franco Arenoso         |

*Nota.* Tabla elaborada en base a los resultados proporcionados por el laboratorio de suelos UVIGER.

**Tabla 77B***Descenso (cm) en microcuenca Río Molino*

| <b>Tiempo<br/>(min)</b> | <b>Pto. 1</b> | <b>Pto. 2</b> | <b>Pto.3</b> | <b>Pto.4</b> | <b>Pto. 5</b> | <b>Pto. 6</b> | <b>Pto.7</b> | <b>Pto.8</b> | <b>Pto.9</b> | <b>Pto.10</b> | <b>Pto.11</b> |
|-------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 0                       | 0             | 0             | 0            | 0            | 0             | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0             |
| 1                       | 5             | 1.8           | 1.6          | 1.5          | 16            | 12            | 5.5          | 7.5          | 18           | 12            | 10            |
| 2                       | 7.5           | 3.5           | 2.9          | 2.3          | 21.5          | 16.5          | 8            | 11.5         | 24           | 17            | 16            |
| 3                       | 9.5           | 5             | 4            | 2.5          | 24.5          | 19            | 9            | 14.5         | 30           | 19            | 23            |
| 4                       | 11            | 6.4           | 5            | 2.6          | 28            | 20.5          | 10.3         | 16.5         | 35           | 21.5          | 29            |
| 5                       | 12.5          | 7.6           | 5.5          | 3            | 30            | 22            | 11.3         | 18.5         | 40           | 23            | 33            |
| 10                      | 18.3          | 13.2          | 8            | 3.5          | 33.5          | 26.3          | 13.2         | 23.5         | 45           | 29            | 37            |
| 15                      | 23.5          | 16            | 9.5          | 4.5          | 36            | 28.5          | 14.5         | 28           | 47.5         | 31            | 42            |
| 20                      | 27            | 18.5          | 11           | 5            | 39            | 29.7          | 15.5         | 30           | 49.5         | 35            | 45            |
| 25                      | 30            | 20.7          | 11.8         | 5.5          | 42            | 31            | 16.2         | 31.5         | 53           | 36.5          | 48            |
| 30                      | 32            | 22.5          | 12.6         | 5.9          | 45            | 32.5          | 16.7         | 33           | 55           | 39            | 51            |
| 40                      | 36            | 25.5          | 14           | 6.5          | 49            | 34.2          | 17.1         | 35.5         | 56.5         | 40.5          | 53            |
| 50                      | 39            | 27            | 15.1         | 7            | 54            | 35.2          | 17.4         | 36.8         | 58           | 43.5          | 56            |
| 60                      | 41.5          | 28.2          | 16.1         | 7.5          | 60            | 36.2          | 18.1         | 39           | 59.2         | 48            | 57.5          |
| 70                      | 43            | 29            | 17           | 7.8          | -             | 37            | 18.5         | 40.8         | 60           | 50            | 59            |
| 80                      | 44            | 29.5          | 17.8         | 8.1          | -             | 37.7          | 18.9         | 41.8         | -            | 51            | 60            |
| 90                      | 44.8          | 29.8          | 18.5         | 8.4          | -             | 38.3          | 19.3         | 43           | -            | 52            | -             |
| 100                     | 45.5          | 30            | 19           | 8.6          | -             | 38.9          | 19.5         | 44           | -            | 52.5          | -             |

**Tabla 78B***Descenso (cm) en microcuenca Río San Lucas*

| <b>Tiempo<br/>(min)</b> | <b>Pto.12</b> | <b>Pto.13</b> | <b>Pto.14</b> | <b>Pto.15</b> | <b>Pto.16</b> | <b>Pto.17</b> | <b>Pto.18</b> | <b>Pto.19</b> | <b>Pto.20</b> |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                         | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 1                       | 3             | 12            | 12            | 22            | 10            | 13            | 9             | 6.5           | 8             |
| 2                       | 4.5           | 16.5          | 17.5          | 28            | 14.5          | 23            | 13.5          | 10.5          | 12            |
| 3                       | 5             | 20            | 20.5          | 32            | 18            | 30            | 16.5          | 14            | 15            |
| 4                       | 7             | 22.5          | 23            | 34            | 20.3          | 35            | 19            | 15.5          | 17            |
| 5                       | 9             | 25            | 25            | 36            | 22.7          | 39            | 21            | 18            | 19            |
| 10                      | 12.7          | 31.5          | 32            | 42            | 29            | 43            | 27            | 25            | 25.5          |
| 15                      | 16.2          | 36            | 35.5          | 44            | 33.3          | 47            | 31            | 30            | 31            |
| 20                      | 19.2          | 40            | 39            | 46            | 36.2          | 51            | 34.5          | 34            | 35            |
| 25                      | 22            | 42.8          | 41.5          | 49            | 39            | 55            | 37            | 38            | 39            |
| 30                      | 24.5          | 45            | 43.5          | 56            | 40            | 58            | 38.5          | 41.4          | 41.2          |
| 40                      | 29            | 47            | 46.5          | 58            | 43            | 60            | 42.5          | 45            | 43.5          |
| 50                      | 32            | 48.8          | 48.3          | 60            | 43.7          | -             | 44            | 47            | 45.5          |
| 60                      | 34            | 50.5          | 50            | -             | 44.4          | -             | 45.5          | 48.5          | 47            |
| 70                      | 36            | 51.4          | 51.5          | -             | 44.9          | -             | 46.5          | 50            | 48.3          |
| 80                      | 37.5          | 52            | 52.7          | -             | 45.4          | -             | 47            | 51            | 49.5          |
| 90                      | 38.5          | 52.5          | 53.5          | -             | 45.7          | -             | 47.5          | 52            | 50.5          |
| 100                     | 40            | 52.9          | 54.1          | -             | 45.9          | -             | 47.8          | 52.5          | 51            |

**Tabla 79B***Cálculos para la determinación de infiltración (Punto 1)*

| Tiempo<br>(min) | Descenso<br>(min) | Altura<br>(cm) | R<br>$\frac{R}{2(T_2 - T_1)}$ | (A)<br>2h1+R | (B)<br>2h2+R | Ln(A/B) | Vel<br>(cm/min) | Vel<br>(cm/h) |
|-----------------|-------------------|----------------|-------------------------------|--------------|--------------|---------|-----------------|---------------|
| 0               | 0                 | 60             |                               |              |              |         |                 |               |
| 1               | 5                 | 55             | 3.25                          | 126.5        | 116.5        | 0.0824  | 0.2676          | 16.0585       |
| 2               | 7.5               | 52.5           | 3.25                          | 116.5        | 111.5        | 0.0439  | 0.1426          | 8.5540        |
| 3               | 9.5               | 50.5           | 3.25                          | 111.5        | 107.5        | 0.0365  | 0.1187          | 7.1241        |
| 4               | 11                | 49             | 3.25                          | 107.5        | 104.5        | 0.0283  | 0.0920          | 5.5192        |
| 5               | 12.5              | 47.5           | 3.25                          | 104.5        | 101.5        | 0.0291  | 0.0947          | 5.6800        |
| 10              | 18.3              | 41.7           | 0.65                          | 101.5        | 89.9         | 0.1214  | 0.0789          | 4.7331        |
| 15              | 23.5              | 36.5           | 0.65                          | 89.9         | 79.5         | 0.1229  | 0.0799          | 4.7947        |
| 20              | 27                | 33             | 0.65                          | 79.5         | 72.5         | 0.0922  | 0.0599          | 3.5946        |
| 25              | 30                | 30             | 0.65                          | 72.5         | 66.5         | 0.0864  | 0.0561          | 3.3690        |
| 30              | 32                | 28             | 0.65                          | 66.5         | 62.5         | 0.0620  | 0.0403          | 2.4194        |
| 40              | 36                | 24             | 0.325                         | 62.5         | 54.5         | 0.1370  | 0.0445          | 2.6708        |
| 50              | 39                | 21             | 0.325                         | 54.5         | 48.5         | 0.1166  | 0.0379          | 2.2744        |
| 60              | 41.5              | 18.5           | 0.325                         | 48.5         | 43.5         | 0.1088  | 0.0354          | 2.1217        |
| 70              | 43                | 17             | 0.325                         | 43.5         | 40.5         | 0.0715  | 0.0232          | 1.3934        |
| 80              | 44                | 16             | 0.325                         | 40.5         | 38.5         | 0.0506  | 0.0165          | 0.9876        |
| 90              | 44.8              | 15.2           | 0.325                         | 38.5         | 36.9         | 0.0424  | 0.0138          | 0.8277        |
| 100             | 45.5              | 14.5           | 0.325                         | 36.9         | 35.5         | 0.0387  | 0.0126          | 0.7542        |

**Tabla 80B***Especies empleadas en programas de reforestación por la municipalidad de Mixco*

| No. | Especie                                        | Usos                                                                                                                                                             |
|-----|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Aguacate ( <i>Persea americana</i> )           | Comercialización y consumo de frutos                                                                                                                             |
| 2   | Aliso ( <i>Alnus Glutinosa</i> )               | Medicinales, protección de fuentes de agua y fijación de carbono                                                                                                 |
| 3   | Aripin ( <i>Caesalpinia Velutinia</i> )        | maderables, forrajes, conservación de suelos y componente de plaguicidas y fungicidas                                                                            |
| 4   | Cedro ( <i>Cedrus</i> )                        | Madereros y de sistemas agroforestales                                                                                                                           |
| 5   | Ciprés común ( <i>Cupressus</i> )              | Madereros, barrera viva y usos medicinales                                                                                                                       |
| 6   | Encino ( <i>Quercus xalapensis</i> )           | Maderables, carbón y elaboración de artesanías con la semilla                                                                                                    |
| 7   | Guayaba ( <i>Psidium guajava</i> )             | Consumo y comercialización del fruto, mientras que las hojas se emplean para medicina naturista                                                                  |
| 8   | Hormigo ( <i>Platymiscium dimorphandrum</i> )  | Maderables, ornamentales, elaboración de instrumentos musicales y usos en actividades apícolas                                                                   |
| 9   | Liquidambar ( <i>Liquidambar styraciflua</i> ) | Hojas simples, alternas más anchas que largas<br>Usos: Usos madereros, leña y uso en barreras vivas                                                              |
| 10  | Matasano ( <i>Casimiroa Edulis</i> )           | Consumo y comercialización de frutos, (mayormente autoconsumo) y usos medicinales en la medicina naturista                                                       |
| 11  | Matilisquate ( <i>Tabebuia rosea</i> )         | Usos maderables y ornamentales                                                                                                                                   |
| 12  | Nance ( <i>Byrsonma crassifolia</i> )          | Posee propiedades medicinales, usos madereros en construcciones ligeras, producción debido a sus frutos ácidos empleados en para elaborar refrescos, jaleas, etc |
| 13  | Palo Blanco Mac. ( <i>Picconia excelsa</i> )   | Usos maderables y componente de sistemas agroforestales y silvopastoriles                                                                                        |
| 14  | Timboque ( <i>Tecoma stans</i> )               | Usos apícolas, Usos maderables, conservación de suelos y barreras vivas                                                                                          |

**Tabla 81B***Anomalía estandarizada de lluvias para estación INSIVUMEH periodo 2012-2023*

| <b>Año</b> | <b>PRECIPITACIÓN</b> | <b><math>X_i - \bar{x}</math></b> | <b>Anomalía</b> |
|------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 2012       | 1076.10              | -141.6067                         | -0.6913         |
| 2013       | 1451.90              | 234.1933                          | 1.1433          |
| 2014       | 1365.40              | 147.6933                          | 0.7210          |
| 2015       | 1301.20              | 83.4933                           | 0.4076          |
| 2016       | 999.50               | -218.2067                         | -1.0652         |
| 2017       | 1125.80              | -91.9067                          | -0.4487         |
| 2018       | 1013.80              | -203.9067                         | -0.9954         |
| 2019       | 1061.70              | -156.0667                         | -0.7618         |
| 2020       | 1305.80              | 88.09333                          | 0.4300          |
| 2021       | 1146.10              | -71.6067                          | -0.3496         |
| 2022       | 1672.98              | 455.2733                          | 2.2225          |
| 2023       | 1092.20              | -125.5067                         | -0.6126         |

**Tabla 82B***Anomalía estandarizada de lluvias para estación Lo de Coy periodo 2012-2023*

| <b>Año</b> | <b>PRECIPITACIÓN</b> | <b><math>X_i - \bar{x}</math></b> | <b>Anomalía</b> |
|------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 2012       | 1016.84              | -688.2183                         | -1.2024         |
| 2013       | 1291.10              | -413.9583                         | -0.7232         |
| 2014       | 2318.90              | 613.8417                          | 1.0725          |
| 2015       | 1516.40              | -188.6583                         | -0.3296         |
| 2016       | 1366.10              | -338.9583                         | -0.5922         |
| 2017       | 1636.20              | -68.8583                          | -0.1203         |
| 2018       | 2154.30              | 449.2417                          | 0.7849          |
| 2019       | 2247.80              | 542.7417                          | 0.9482          |
| 2020       | 2729.50              | 1024.4417                         | 1.7899          |
| 2021       | 1042.87              | -662.1883                         | -1.1569         |
| 2022       | 2020.70              | 315.6417                          | 0.5515          |
| 2023       | 1119.99              | -585.0683                         | -1.0222         |

**Tabla 83B**

*Anomalía estandarizada de lluvias para estación Suiza Contenta periodo 2012-2023*

| <b>Año</b> | <b>PRECIPITACIÓN</b> | <b><math>X_i - \bar{x}</math></b> | <b>Anomalía</b> |
|------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| 2012       | 1071.30              | -171.3225                         | -0.5232         |
| 2013       | 1330.90              | 88.2775                           | 0.2696          |
| 2014       | 1070.90              | -171.7225                         | -0.5244         |
| 2015       | 1282.90              | 40.2775                           | 0.1230          |
| 2016       | 1017.30              | -225.3225                         | -0.6882         |
| 2017       | 1120.80              | -121.8225                         | -0.3720         |
| 2018       | 1052.00              | -190.6225                         | -0.5822         |
| 2019       | 1089.50              | -153.1225                         | -0.4676         |
| 2020       | 1171.50              | -71.1225                          | -0.2172         |
| 2021       | 1285.50              | 42.8775                           | 0.1309          |
| 2022       | 2230.40              | 987.7775                          | 3.0169          |
| 2023       | 1188.47              | -54.1525                          | -0.1654         |



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA - FAUSAC -  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS  
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 33/2025

EL INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN TITULADO: "DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA POTENCIAL EN LAS MICROCUENCAS: "RIO MOLINO" Y "RIO SAN LUCAS" Y PROPUESTA DE LINEAMIENTOS EN EL FORTALECIMIENTO EN LA RESTAURACIÓN FORESTAL, MIXCO, GUATEMALA, C.A."

DESARROLLADO POR EL ESTUDIANTE: CARLOS RAÚL SANDOVAL HERNÁNDEZ

REGISTRO ACADÉMICO: 201804421

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:  
Dr. Tomás Padilla Cámara  
Ing. Agr. Félix Martínez  
Ing. Agr. Félix Obdulio Medrano Chinchilla

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. Félix Martínez  
ASESOR

Ing. Agr. Félix Obdulio Medrano Chinchilla  
ASESOR

Dr. Eddi Alejandro Vaneegas Chacón  
DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE

Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona  
DECANO

EAVC/ja  
c.c. Archivo