



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS**

**POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



*“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”*

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE LA BARRANCA DEL AGUACATE,  
PUEBLA.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Presenta:

**Gabriela Rosales González**

Directora de tesis:

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega



Enero 2025

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero que hizo posible la realización de este trabajo. Su compromiso con la investigación científica ha sido fundamental para mi formación académica y desarrollo profesional.

Agradezco profundamente a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) y al Instituto de Ciencias (ICUAP) por brindarme la oportunidad de formarme en el posgrado de Ciencias Ambientales.

Un agradecimiento especial a mi directora de tesis, la Dra. Rosalía Castelán Vega y a mi tutor, el Dr. Víctor Tamariz Flores. Su guía constante, paciencia y valiosos consejos fueron esenciales en cada etapa de este proceso. Gracias por creer en mí y motivarme a explorar mis límites.

Quiero hacer un reconocimiento muy especial al profe. César Calderón, investigador del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas (CICA), quien nos dejó recientemente. Su pasión por la docencia y compromiso con los estudiantes dejaron una huella profunda e indeleble. Su memoria seguirá inspirando a quienes tuvimos el privilegio de conocerlo. Junto al profe César, agradezco al profe Abel Cruz y a la química Eréndira Corona por su dedicación y apoyo constante en mi formación académica.

Al comité tutorial, a la Dra. Elena Ramos Cassellis y a la Dra. Gabriela Pérez Osorio, les agradezco por su orientación, seguimiento y apoyo durante todo el proceso de investigación. Sus observaciones y recomendaciones fueron fundamentales para el desarrollo y la mejora de este trabajo.

Agradezco al inspector, Leandro Rojas, por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este proyecto. Su conocimiento y trabajo con la comunidad fueron cruciales para el éxito de la investigación.

A los miembros del comité ejidal: Alberto Machorro, comisario ejidal, Fernando Jiménez secretario, y en especial a Antonio Salazar, quien siempre estuvo dispuesto a proporcionar su apoyo y compartir sus conocimientos sobre el manejo de los recursos naturales. Su participación fue fundamental para el trabajo de campo.

A la comunidad del Aguacate, mi más profundo agradecimiento. Cada experiencia, conversación y momento compartido fueron fundamentales para dar vida a esta investigación. Reconozco el valor de nuestras raíces, el conocimiento colectivo y el compromiso con nuestro entorno. Este trabajo no es solo mío, sino de todos los que habitan y cuidan este lugar.

## DEDICATORIA

A la maestra Faby, quien con amor infinito se convirtió en mi madre, llenando mi vida de luz y fortaleza. Tu amor, dedicación y ejemplo han sido el regalo más valioso que la vida me ha dado.

A mis hermanos Verde e Iván, mi fuerza y refugio, por estar siempre a mi lado. Su amor y apoyo incondicional han sido fundamentales en cada paso de mi vida.

A Lore y David, por iluminar mi camino con su presencia. Su cariño ha sido motivación en cada momento.

A Lauro, mi compañero de vida, por tu amor y comprensión en este viaje. Gracias por ser mi soporte y motivación en los momentos más desafiantes.

A mis amigos, especialmente a Ale, Pato, Betty, Jael, Vicente y al Cyto, por llenar de alegría cada momento compartido. Su amistad sincera ha sido un regalo invaluable en este camino.

A mis compañeros y amigos del posgrado, especialmente a Bere, Yessy, Rosy y Julián, por hacer de esta experiencia académica un camino memorable. Juntos aprendimos, crecimos y creamos recuerdos inolvidables.

**EN MEMORIA DE**

**LUCRECIA Y GENARO GONZÁLEZ**

Quienes desde el cielo guían mis pasos. Su amor y enseñanzas permanecen vivos en mi corazón.

Mi madre, quien encontraba en la naturaleza su inspiración y en cada acción una forma de llevar alegría a los demás. Su nobleza y calidez siguen presentes en cada recuerdo.

Mi abuelito, quien con sabiduría compartía sus conocimientos y experiencias, dejando una huella profunda en la memoria de quienes tuvieron el privilegio de conocerlo.

Sus vidas fueron ejemplo de bondad, valores que hoy guían mi camino.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Justificación</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>20</b>
4.1.	Objetivo general .....	20
4.2.	Objetivos específicos .....	20
<b>5</b>	<b>Pregunta de investigación</b> .....	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Hipótesis</b> .....	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Marco teórico</b> .....	<b>21</b>
7.1	Estado del arte .....	21
7.2	Información General .....	22
7.3	Promedio de Citaciones por Año .....	22
7.4	Autores Más Relevantes .....	23
7.5	Red de Co-Citación .....	23
7.6	Marco conceptual .....	25
7.6.1	Cuenca hidrográfica .....	25
7.6.2	Microcuenca .....	26
7.6.3	Barranca .....	27
7.6.4	Eutrofización .....	27
7.6.5	Residuos sólidos urbanos .....	27
7.6.6	Aguas grises y aguas negras .....	27
7.6.7	Escasez de agua .....	28
7.6.8	Degradación de suelo .....	28
7.6.9	Erosión de suelo .....	29
7.6.10	Evaluación socioambiental .....	29
7.6.11	Área natural protegida .....	30
7.6.12	Reserva Estatal Sierra del Tentzo .....	30
7.6.13	Pastizal inducido .....	30
7.6.14	Agricultura .....	31
7.6.15	Bosque de encino .....	31
<b>8</b>	<b>Metodología de la investigación</b> .....	<b>32</b>
8.1	Caracterización de la zona de estudio .....	33
8.2	Morfometría de la microcuenca .....	33
8.3	Mapeo de actores clave .....	33
8.4	Análisis fisicoquímicos de agua .....	33
8.4.1	Muestreo de Agua .....	34
8.4.2	Determinación de pH y temperatura .....	34
8.4.3	Determinación de conductividad eléctrica .....	34
8.4.4	Determinación de dureza por titulación. ....	34
8.4.5	Determinación de alcalinidad .....	34
8.4.6	Demanda química de oxígeno .....	35

8.4.7	Determinación de fósforo total por el método de cloruro estañoso.....	35
8.4.8	Determinación de coliformes fecales termotolerantes y <i>E. coli</i> .....	36
8.4.9	Determinación de concentración de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn).....	36
8.5	Análisis fisicoquímicos de suelo .....	36
8.6	Estimación de la erosión hídrica .....	37
8.7	Evaluación de la vegetación y cambio de uso de suelo .....	38
8.8	Encuestas.....	38
8.9	Prueba piloto de la encuesta.....	39
8.10	Entrevistas .....	39
<b>9</b>	<b>Caracterización de la microcuenca .....</b>	<b>40</b>
9.1	Caracterización biofísica.....	40
9.1.1	Clima .....	42
9.1.2	Balance hídrico .....	44
9.1.3	Geología.....	45
9.1.4	Vegetación y uso de suelo .....	46
9.1.5	Edafología .....	46
9.1.6	Hidrología .....	46
9.2	Caracterización socioeconómica .....	47
9.2.1	Demografía .....	47
9.2.2	Educación .....	47
9.2.3	Empleo.....	47
9.2.4	Infraestructura.....	47
9.2.5	Mapeo de actores clave .....	48
9.2.1	Apoyos Gubernamentales .....	48
9.2.2	Autoempleo.....	49
9.2.3	Desafíos Ambientales .....	49
9.2.4	Inseguridad y su impacto en la comunidad.....	49
9.2.5	Deficiencia en servicios básicos.....	50
9.2.6	Gestión de una planta tratadora de aguas residuales.....	50
9.2.7	Falta de servicio de recolección de basura.....	50
9.2.8	Carencia de atención médica .....	51
9.3	Estudio morfométrico de la microcuenca .....	51
9.3.1	Parámetros morfológicos generales .....	52
9.3.2	Parámetros asociados a la forma de la cuenca .....	54
9.3.3	Parámetros asociados a la forma del relieve .....	58
9.3.4	Parámetros asociados a la red de drenaje .....	62
9.4	Distribución del cambio de uso de suelo .....	67
9.5	Condiciones ambientales del recurso agua.....	73
9.5.1	Puntos de muestreo .....	74
9.5.2	Estudio fisicoquímico y microbiológico de agua .....	80
9.5.3	Contenido de metales pesados en agua .....	84
9.6	Condiciones ambientales del suelo .....	86
9.6.1	Descripción del perfil predominante de suelo .....	87
9.6.2	Caracterización de la zona alta de la microcuenca para muestreos de suelo.....	89
9.6.3	Caracterización de la zona medio cuenca media para muestreos de suelo .....	90
9.6.4	Caracterización de la cuenca baja para muestreos de suelo .....	91
9.6.5	Resultado de los estudios fisicoquímicos de suelo .....	92

9.7	Determinación del grado de erosión hídrica.....	98
9.8	Aplicación de encuestas .....	101
9.8.1	Prueba piloto .....	101
9.8.2	Análisis de las encuestas .....	102
9.9	Aplicación de entrevistas .....	116
<b>10</b>	<b>Diagnóstico general de la microcuenca.....</b>	<b>117</b>
10.1	Cambio de uso de suelo .....	117
10.2	Agua.....	118
10.3	Suelo.....	119
10.4	Erosión hídrica.....	120
10.5	Aspecto social.....	121
<b>11</b>	<b>Propuestas de acciones de manejo para la conservación ambiental y mejoramiento de la salud pública.....</b>	<b>122</b>
	<b>Anexo 1. Marco Legal .....</b>	<b>131</b>
	<b>Anexo 2. Encuesta.....</b>	<b>132</b>
	<b>Anexo 3: Entrevista.....</b>	<b>135</b>
	<b>Anexo 4: Anexo fotográfico .....</b>	<b>136</b>

# GENERALIDADES

## 1 Introducción

El agua es un recurso vital para el ser humano. Por esta razón, el objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018) se centra en "garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos", dado que es primordial para mantener la vida en la Tierra. Sin embargo, el aumento de la temperatura global está alterando el comportamiento de los océanos y los ciclos del agua. Esto ha resultado en sequías y escasez de agua, lo que a su vez provoca niveles de lluvias menores a los normales, ocasionando graves desequilibrios hidrológicos (Greenpeace México, 2021).

Actualmente, a nivel mundial, se estima que solo el 2.5% del agua es dulce, de la cual el 70% se encuentra en forma de glaciares. Casi el 30% restante está en aguas subterráneas, y menos del 1% es agua disponible para el consumo humano y de los ecosistemas (FCEA, 2020). Las barrancas desempeñan un papel crucial en los sistemas hídricos tanto a nivel local como nacional, ya que en estos sistemas se lleva a cabo la captación de aguas pluviales, que actúan como embudos para infiltrar el agua a los mantos acuíferos, los cuales abastecen a la población local.

Una barranca es una depresión geográfica que forma parte del sistema hidrológico de la Tierra, cuyo origen se debe a la erosión o a otros procesos geológicos Norma General de Ordenación, (2005). De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), las barrancas representan un importante valor ecosistémico, ya que albergan una gran diversidad biológica y ofrecen servicios paisajísticos. Además, sirven para la regulación de flujos pluviales, la regulación del clima y la prevención de inundaciones (INECC, 2007). Sin embargo, las barrancas son un recurso frecuentemente relegado por la sociedad, tratadas a menudo como drenajes a cielo abierto o vertederos de basura. Este descuido, sumado al cambio de uso del suelo, ha llevado a la degradación o incluso pérdida de estos ecosistemas. Por lo tanto, es necesario trabajar colectivamente para su rescate y conservación, dada la gran importancia ecosistémica que representan a nivel global (Pacheco et al., 2020).

La relevancia de este proyecto se deriva en la evaluación socioambiental de la barranca del Aguacate en el municipio de Puebla, con el fin de que los resultados obtenidos puedan servir como base para generar una propuesta sustentable para la restauración de la microcuenca. Es así, que buscando un equilibrio entre naturaleza-sociedad-economía, se traduce como un beneficio para la comunidad, pues se espera un aprovechamiento de los recursos naturales, exhortando a la no sobreexplotación, apelando a sus valores ecológicos.

## **2 Planteamiento del problema**

La identificación de la problemática ambiental en la microcuenca del Aguacate se llevó a cabo mediante recorridos de campo preliminares realizados durante la segunda mitad del año 2022. Estos recorridos permitieron reconocer las características físicas, los usos del suelo y las principales fuentes de impacto ambiental en la región.

Con el objetivo de estructurar de manera más efectiva el análisis, se procedió a dividir la microcuenca en tres áreas espaciales, siguiendo la clasificación propuesta por Garrido *et al.* (2010). La delimitación territorial se llevó a cabo utilizando los cerros y parajes identificados y denominados por la población local como puntos de referencia, reconociendo y aprovechando su extenso conocimiento del territorio (imagen 1).

En la microcuenca alta se encuentran los nacimientos y los principales escurrimientos que alimentan el sistema hidrológico de la microcuenca. Destacan los cerros *El Cuezco*, *El Texcal Blanco*, *La Cuilotera* y *Chuchultepetl* como los puntos de origen del flujo hídrico. Estas áreas son fundamentales para la preservación de los recursos hídricos, ya que representan las zonas de mayor captación y recarga de acuíferos, además de ser vulnerables al impacto de actividades como la deforestación o los cambios en el uso del suelo.

En la microcuenca media, se incluyen la base de los cerros a los cuales se incluyen también los cerros de la Chaparrera y la Equizotera. Se encuentran igualmente las represas en el trayecto hacia la presa *Benito Juárez*. Las actividades urbanas influyen directamente en la disponibilidad del agua. En esta zona se encuentran fábricas de mezcal artesanal, y se observa un aumento en la sedimentación debido a la erosión en las represas, cuya desembocadura llega a la presa.

En la microcuenca baja, dominada por tierras agrícolas, donde encontramos la presa y parajes como la *Joya* y el *Corral viejo*, el cauce fluye hasta su llegada a *Poza Larga*. Aquí se encuentra también la comunidad, que depende de las actividades agrícolas como fuente de sustento. Sin embargo, estas actividades también generan desafíos ambientales, como la contaminación por agroquímicos, la pérdida de suelo y el deterioro de las propiedades del agua. Además, la zona enfrenta problemas relacionados con la gestión de aguas residuales y el manejo de desechos sólidos.

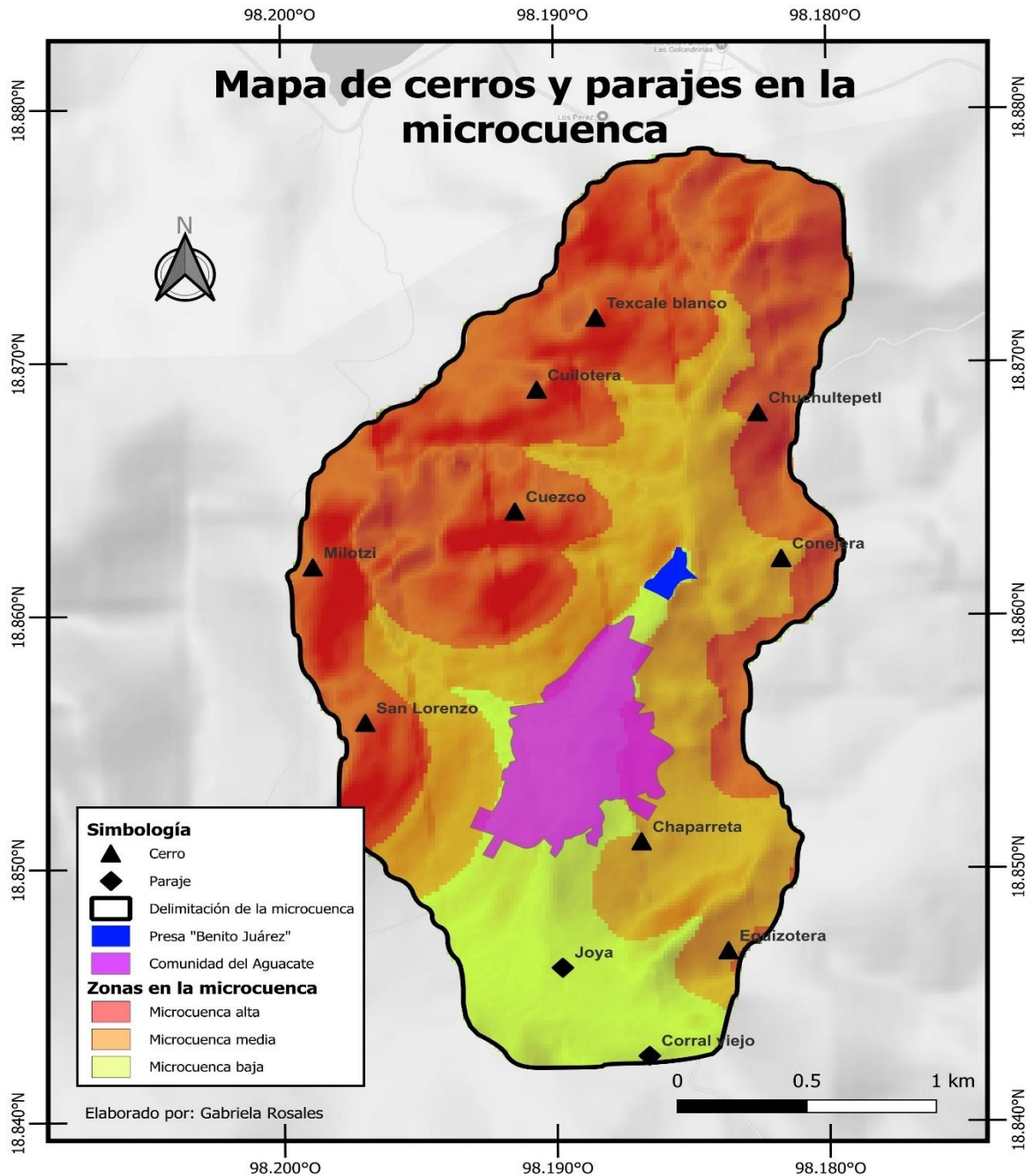


Imagen 1. Mapa para la clasificación de zonas dentro de la microcuenca. Fuente: Garrido et al. (2010)

Uno de los problemas más destacados a lo largo de la barranca es el asolvamiento, un fenómeno evidente en diversos puntos, pero particularmente crítico en la represa situada en la base del cerro del Cuezco (imagen 2). Esta zona, cercana a los nacimientos de agua que alimentan la presa "Benito Juárez" y el cauce principal de la barranca, muestra un patrón recurrente de acumulación de sedimentos debido al arrastre de materiales provocado por la deforestación, la erosión del suelo y las actividades humanas en las áreas circundantes. Este proceso no solo reduce la capacidad de almacenamiento de agua de las represas y cauces, sino que también altera las propiedades y cantidad del flujo hídrico, afectando de forma transversal a toda la microcuenca.



*Imagen 2. Asolvamiento en las represas dentro del cauce.*

La presa "Benito Juárez" es un ecosistema vital para la población local, proporcionando peces como *Micropterus salmoides* (Lobina), *Cyprinus carpio* (Carpa común) y *Gerreidae* (Mojarra) para consumo, especialmente en temporadas como Semana Santa y Navidad. Además, sirve como bebedero para animales de granja y pastoreo. Sin embargo, enfrenta un severo proceso de eutrofización, evidenciado por la proliferación de algas (imagen 3), causado por el exceso de nutrientes provenientes de escorrentías agrícolas y descargas orgánicas. Este fenómeno disminuye el oxígeno disuelto, afectando tanto a las especies acuáticas como las propiedades del agua. Es urgente implementar medidas de manejo sostenible y sensibilización comunitaria para proteger este recurso y el equilibrio ambiental que sustenta.



*Imagen 3. Eutrofización en la presa "Benito Juárez".*

Otro problema significativo identificado en la microcuenca es la contaminación por residuos sólidos urbanos, que impacta tanto de manera física como visual en el entorno. A lo largo del cauce del río, se observan numerosos puntos donde estos desechos, arrastrados por las lluvias y las corrientes, se acumulan junto con material vegetal, formando obstrucciones que dificultan el flujo natural del agua. Esta acumulación (imagen 4), representa un foco de contaminación que afecta las condiciones del agua y daña el ecosistema circundante. Además, la presencia de basura degrada la percepción del paisaje, impactando negativamente las actividades recreativas y culturales en la zona.



*Imagen 4. Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y vegetación de arrastre.*

En la parte media de la cuenca, la contaminación fisicoquímica y biológica del agua se ha convertido en un problema crítico debido a la presencia de grasas, aceites (imagen 5) y aguas grises y negras (imagen 6) derivadas de las actividades diarias de la población. Las aguas grises, que provienen principalmente de baños, cocinas y lavanderías, así como las aguas negras generadas por la falta de los sistemas de alcantarillado, se vierten directamente en el cauce.



*Imagen 5. Presencia de grasa provenientes de una cocina a la orilla del cauce.*



*Imagen 6. Desagüe de aguas negras. Baño público a la orilla del cauce principal.*

Este tipo de contaminación, que involucra sustancias tóxicas y microorganismos patógenos, representa una amenaza para la salud pública, ya que los habitantes que dependen de estas fuentes de agua para consumo, riego o actividades cotidianas (imagen 7) pueden estar expuestos a enfermedades transmitidas por el agua, como cólera, diarreas, y otros trastornos gastrointestinales, así como infecciones dérmicas y respiratorias. Además de la evidente afectación sanitaria, la contaminación fisicoquímica deteriora las propiedades del agua, reduciendo su capacidad de sostener diversas formas de vida acuática y alterando el equilibrio natural del ecosistema fluvial.



*Imagen 7. Poza dentro del cauce. Agua utilizada para riego y actividades domésticas.*

En la microcuenca baja, la escasez crítica de agua (imagen 8) se ha convertido en una de las principales preocupaciones para los pobladores y la fauna local. Esta escasez afecta tanto a la población humana, que debe buscar fuentes de agua a mayores distancias, como a los animales que, en muchas ocasiones, se ven forzados a desplazarse largas distancias en busca de agua, ya que, en algunas áreas distantes de los asentamientos humanos, el agua potable no llega.



*Imagen 8. Escasez total de agua en el cauce de la barranca.*

La falta de un suministro adecuado de agua ha tenido repercusiones directas en la biodiversidad de la región, ya que dependen del agua del cauce para sobrevivir, provocando una merma en la fauna local (imagen 9).



*Imagen 9. Mojarra luchando por sobrevivir en un pequeño charco de agua.*

Ante las problemáticas detectadas en la zona de estudio, fue crucial llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre la situación socioambiental actual. Los resultados obtenidos servirán como una línea base para desarrollar propuestas viables y sostenibles que contribuyan a la restauración de la barranca. Esta investigación incluyó el análisis del estado fisicoquímico del agua las prácticas de uso de recursos por parte de la población y el impacto de la contaminación. La escasez crítica de agua en la microcuenca baja se evidenció como una de las principales preocupaciones, siendo crucial su resolución urgente para cumplir con los objetivos de la Agenda 2030, particularmente en relación con el acceso al agua limpia (ODS 6). La restauración de los cuerpos de agua y el manejo sostenible de los recursos hídricos no solo ayudarán a mejorar las condiciones de vida de los habitantes, sino también a proteger la biodiversidad local.

### **3 Justificación**

En concordancia con el Objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, es imperativo asegurar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento universal. Esta investigación se enfocó en detectar y evaluar la contaminación física, química y biológica presente en la microcuenca del Aguacate, ubicada en el área natural protegida de la Sierra del Tentzo, en la sierra mixteca de Puebla.

La presencia de contaminantes en la microcuenca representa una seria amenaza para la salud de los habitantes, dado que los pozos que proveen agua potable están cerca o dentro del cauce. Además, los turistas que visitan la región, un paso hacia "Clameyaya" (conocido como "Las Cascadas de San Agustín" y el Balneario de Atotonilco en Huehuetlán el Grande), podrían verse afectados, ya que muchos se detienen en la microcuenca para explorar el área o refrescarse durante su trayecto.

Es crucial considerar que el cauce de la microcuenca del Aguacate se une con los de la Barranca de la Cantera y la Barranca de Xacxamayo, que a su vez confluyen con la Barranca de San Agustín Ahuehuetla, ampliando así el impacto de la contaminación a otros ecosistemas.

Otro elemento importante es la escasez de agua en la microcuenca ha tenido efectos devastadores tanto en la flora como en la fauna local. Especies emblemáticas como el venado cola blanca, coyotes y jabalíes han visto disminuir su hábitat y recursos debido a la falta de agua. La agricultura, que anteriormente sustentaba a la comunidad con cultivos básicos como maíz, frijol y calabaza, ahora se ve limitada a la agricultura de secano, dependiente de las lluvias estacionales y vulnerable a las frecuentes sequías

## **4 Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

Evaluar las condiciones ambientales de la Barranca del Aguacate, Puebla.

### **4.2. Objetivos específicos**

- 4.2.1.** Evaluar el cambio de uso de suelo de la microcuenca
- 4.2.2.** Determinar el estado fisicoquímico y microbiológico del agua de la barranca.
- 4.2.3.** Analizar la presencia y concentraciones de metales pesados en el agua de la barranca.
- 4.2.4.** Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del suelo.
- 4.2.5.** Estimar el grado de erosión en la microcuenca.
- 4.2.6.** Identificar los aspectos sociales en los que se ve afectada la población de San José el Aguacate
- 4.2.7.** Establecer las interrelaciones entre factores físicos, biológicos y sociales que determinan el estado socioambiental de la microcuenca.

## **5 Pregunta de investigación**

¿Qué factores socioambientales de la barranca el Aguacate favorecen la degradación de la microcuenca?

## **6 Hipótesis**

Los factores socioambientales que han contribuido a la degradación de la barranca son: las actividades no sustentables, el agua por fuentes contaminación directas como desagües y la falta de gestión para la disposición final de los residuos sólidos urbanos de la población.



## 7.2 Información General

Una vez definidas las palabras clave, se recopiló información clave sobre el tema de estudio, incluyendo el periodo de análisis (2005-2023), la cantidad de fuentes revisadas, documentos publicados, referencias totales, palabras clave más utilizadas y el crecimiento anual promedio de publicaciones. Esta información proporciona una visión general del panorama investigativo en el tema (imagen 11).

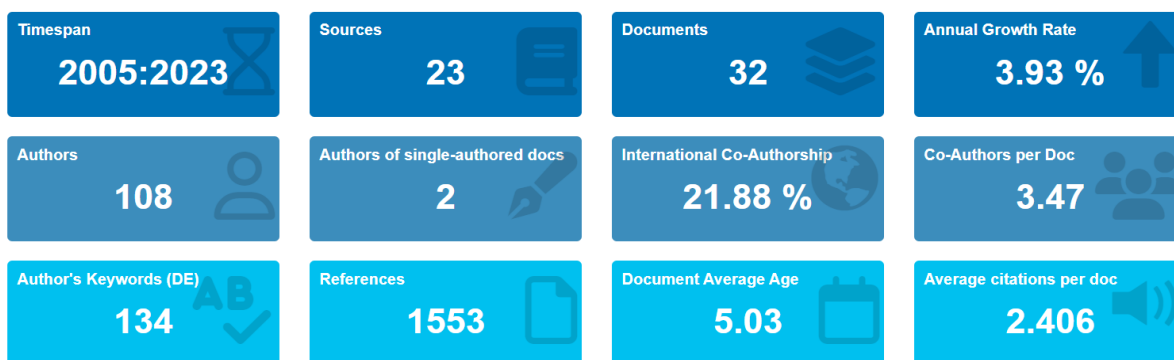


Imagen 11. Resumen de métricas generales del análisis bibliométrico.

## 7.3 Promedio de Citaciones por Año

El promedio de citaciones por año se calculó para evaluar el impacto de las publicaciones a lo largo del tiempo. Este análisis permitió identificar periodos de mayor relevancia y crecimiento dentro del área de estudio, en la gráfica se observa que el mayor número de citaciones se dio en el año 2016 (imagen 12).

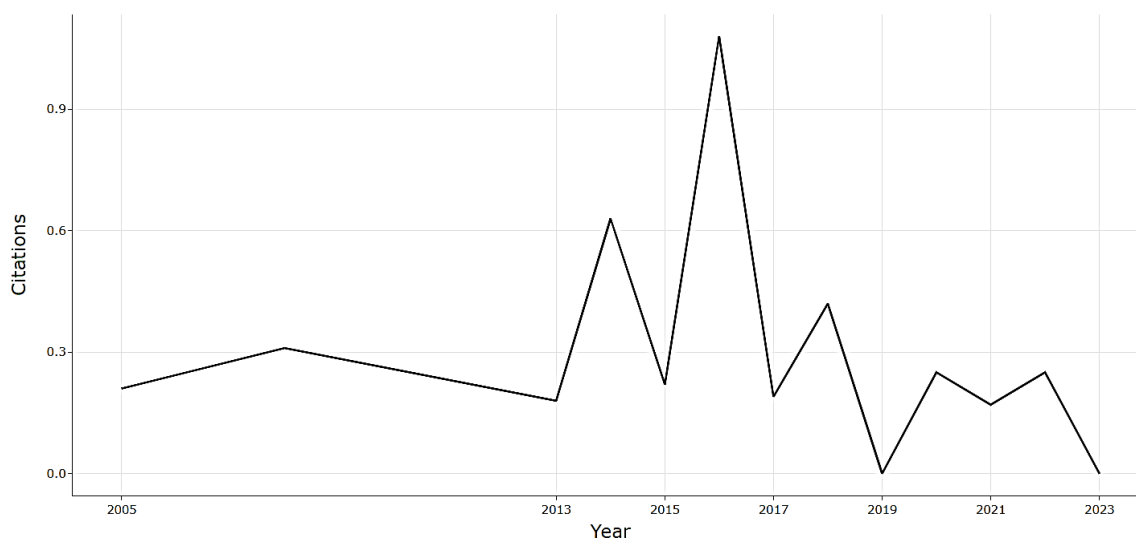


Imagen 12. Tendencias en el promedio de citaciones anuales para el periodo 2005-2023.

## 7.4 Autores Más Relevantes

Se identificaron los autores más destacados en base al número de documentos publicados y su contribución al desarrollo del área de estudio (imagen 13). Este análisis pone en evidencia a los investigadores con mayor influencia dentro de la literatura existente. Siendo Gómez S.E.S., Pacheco V.G. y Vega R.C los principales autores con mayor contribución en el tema.

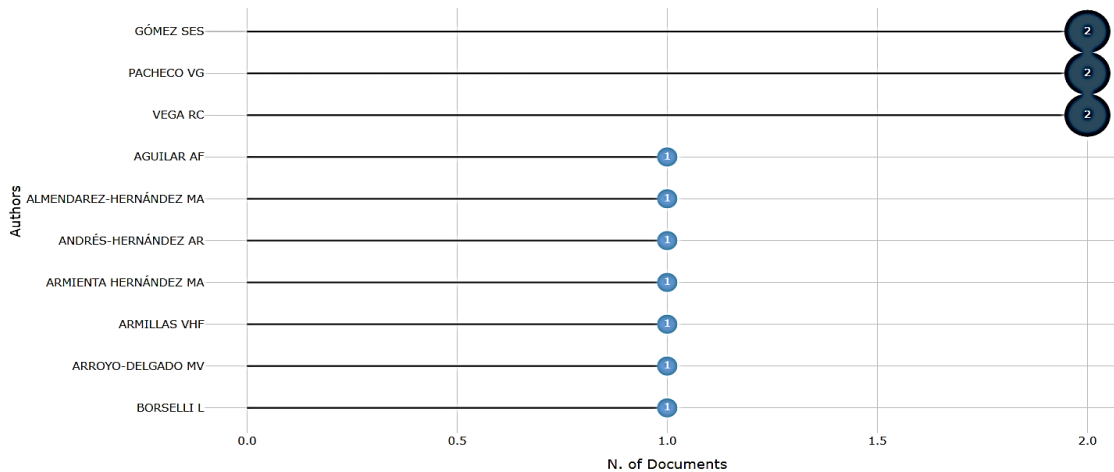


Imagen 13. Lista de los autores más relevantes por cantidad de publicaciones.

## 7.5 Red de Co-Citación

Se construyó una red de co-citación para analizar las relaciones entre autores citados de manera conjunta. Este enfoque permitió identificar colaboraciones clave e influencias destacadas que han marcado el avance en el campo (imagen 14).

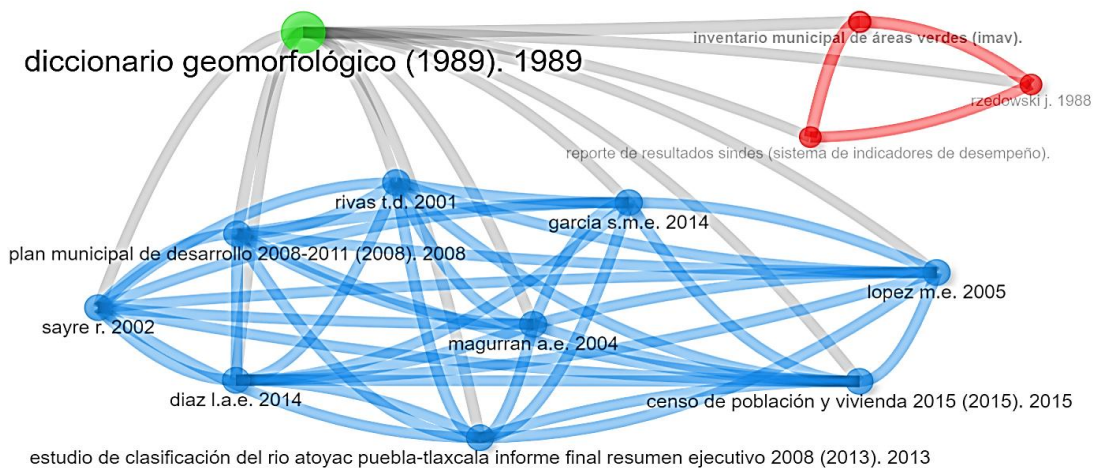


Imagen 14. Red de co-citación

A medida que se avanzó en la revisión bibliográfica, se pudo observar que la cantidad de resultados obtenidos era limitada. Para garantizar la relevancia de la información recopilada, se aplicaron filtros y se priorizó la selección de artículos del autor Pacheco, V., cuyos trabajos se alineaban de manera más cercana con el tema de la investigación.

De los resultados obtenidos a partir del estado del arte se observa que a pesar de que la Sierra del Tentzo fue declarada como ANP desde el 2011, no se han realizado suficientes estudios relacionados con el mejoramiento de la Microcuenca, por lo que destaca la importancia de esta investigación, ya que, con los resultados obtenidos se pueden generar posibles soluciones a esta problemática. La Sierra del Tentzo, presenta cierto grado de perturbación ambiental debido al pastoreo extensivo y la agricultura tradicional, además de ser una de las zonas de mayor riqueza biológica, participa en la regulación climática de Puebla, pues aporta servicios de captación de agua y regulación del ciclo hidrológico (H Ayuntamiento de Puebla, 2014).

Con respecto a la comunidad de San José el Aguacate, se encontró un solo documento donde, Mejía Maldonado (2021) realizó un estudio para evaluar la eficiencia de la gestión comunitaria del agua. Llevando a cabo una investigación mixta, y donde cuyos resultados de los parámetros fisicoquímicos, realizados en pozos de abastecimiento de agua potable. Se encontró la presencia de metales pesados, como Cd, Cr, y Pb, los cuales se encontraban dentro de los límites permisibles por la Norma NOM-117-SSA1-1994; sin embargo, concluye que su presencia supone cierto grado de contaminación, la cual puede estarse dando por filtración del agua proveniente de la barranca, pues el pozo que abastece a la comunidad se encuentra a un costado del cauce de esta.

En cuanto a antecedentes acerca del estudio de las barrancas, ubicó un documento que se tomó como referencia debido a su ubicación. Pacheco et al., (2020) mencionó que las barrancas juegan un papel muy importante dentro de los sistemas hídricos tanto a nivel local como nacional, pues es en estos sistemas donde se lleva a cabo la captación de aguas pluviales, las cuales funcionan como embudo para infiltrar el agua a los mantos acuíferos con los que se alimenta a la población local. Sin embargo, al ser un sistema poco estudiado, se les da poca importancia ambiental y se les utiliza como drenajes a cielo abierto o como vertederos de basura, lo cual, aunado al cambio de uso de suelo ha provocado gran degradación o incluso pérdida de dichos ecosistemas

Dentro de las limitaciones encontradas en la búsqueda de artículos relacionados con el proyecto, fueron los pocos artículos relacionados con el tema de las barrancas. La mayoría de los estudios se han llevado a cabo fuera del área de estudio. Sin embargo, la amplitud del campo de estudio sugiere un potencial para futuras investigaciones. Aunque los resultados no coincidieron con las expectativas iniciales, se consideran aceptables y proporcionan una base sólida para investigaciones en esta temática. Estos antecedentes subrayan la importancia y relevancia de la presente investigación, la cual busca comprender mejor los desafíos ambientales en San José el Aguacate.

## **7.6 Marco conceptual**

### **7.6.1 Cuenca hidrográfica**

De acuerdo con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), las cuencas hidrográficas son aquellas zonas superficiales cuya función es la retención de las aguas pluviales, agua que posteriormente es drenada por un sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (IMTA, 2019). Estas, juegan un papel importante dentro del ciclo hidrológico, debido a que ayudan a cuantificar e identificar los impactos provenientes de actividades antropogénicas o externalidades (sedimentos, contaminantes y nutrientes) presentes adentro del sistema, los cuales, pueden perturbar positiva o negativamente las propiedades y disponibilidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y las condiciones de vida de sus habitantes (SEMARNAT, 2013).

Una cuenca hidrológica, está clasificada como: 1) Cuencas exorreicas (abierta), las que desembocan a un caudal mayor, como el mar; 2) Cuencas endorreicas (cerrada), aquellas que usualmente originan los lagos; 3) Cuencas criptorreicas, que son las que fluyen a través de corrientes subterráneas, como lo son los cenotes; y finalmente, 4) Cuencas arreicas, en donde las aguas se evaporan o se filtran hacia el suelo antes de poder confluir con una red de drenaje, como arroyos y riachuelos (SEMARNAT, 2013; IMTA, 2019).

Así mismo, las cuencas hidrográficas están compuestas por tres partes: 1) Cuenca alta, que corresponde a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, donde se forman los primeros escurrimientos luego que los suelos han absorbido y retenido toda el agua según su capacidad. 2) Cuenca media, donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas, aportando diferentes caudales cuyas concentraciones de sedimentos, contaminantes y materia orgánica dependen de las actividades realizadas en cada región. Y 3) Cuenca baja,

es la es el área de la cuenca donde se acumulan mayormente los impactos de la cuenca media y alta. Esta desemboca a ríos mayores, estuarios o humedales, y usualmente se caracteriza por ser de utilidad para el uso agrícola (Garrido, *et. al.*, 2010; SEMARNAT, 2013).

### 7.6.2 Microcuenca

Se considera que una cuenca hidrográfica abarca un territorio mayor a 50 000 hectáreas, mientras que una subcuenca consta de un área entre 5 000 y 50 000, y una microcuenca es aquella con menos de 5 000 hectáreas. Cabe mencionar que, una cuenca hidrográfica puede estar dividida por varias subcuencas que a su vez se divide en varias microcuencas (Ordoñez-Gálvez, 2011) (imagen 15).

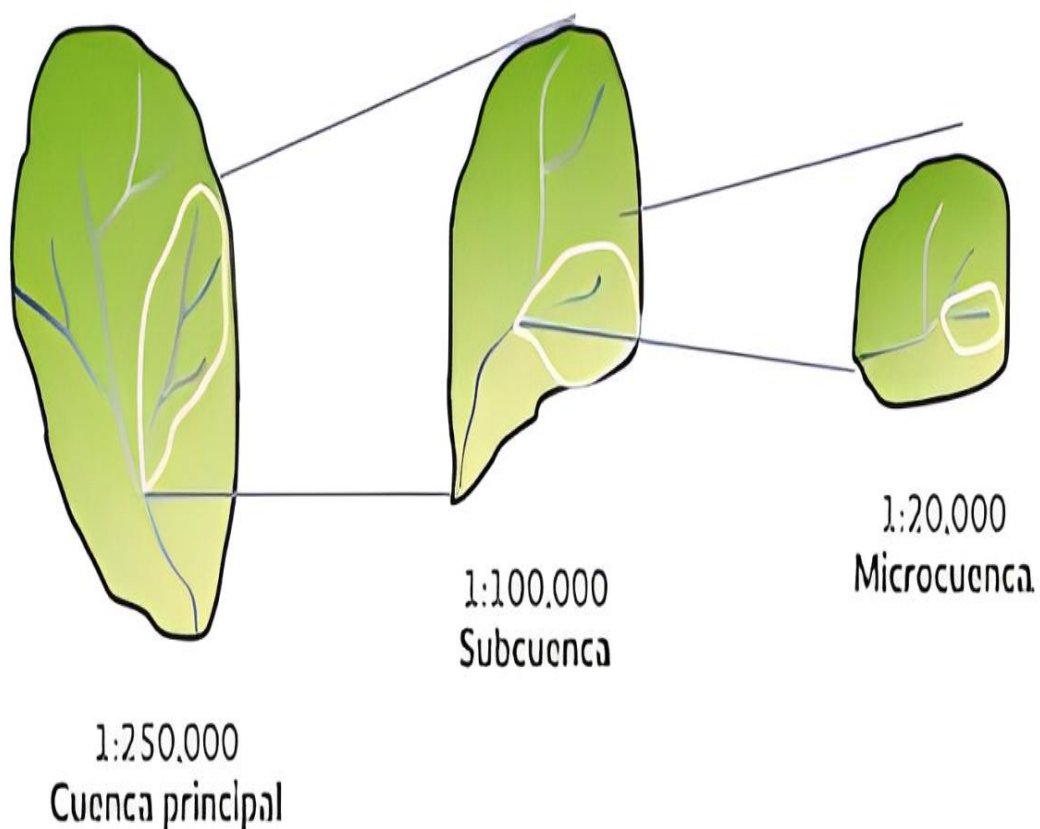


Imagen 15. Estructura Jerárquica de la cuenca hidrográfica. Fuente: Ordoñez-Gálvez.

### **7.6.3 Barranca**

Una barranca, se considera como una depresión (hendidura) geográfica que está delimitada por dos laderas, y que forma parte del sistema hidrológico de la Tierra, cuyo origen se debe a la erosión o a otros procesos geológico como lo es el movimiento de las placas tectónicas (Norma General de Ordenación, 2005). Estas, se pueden clasificar en: Barrancas sin perturbación antropogénica y Barrancas perturbadas. De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología (INECC) estas representan un importante valor ecosistémico, pues en ellas se alberga gran diversidad biológica y servicios paisajísticos, al mismo tiempo que sirven para la regulación de flujos pluviales, regulación del clima y para la prevención de inundaciones (INECC, 2007).

### **7.6.4 Eutrofización**

La eutrofización se refiere al proceso del incremento desmedido de nutrientes presentes en un manto acuático, derivado de las actividades antropogénicas, lo cual provoca un aumento descontrolado de la concentración de fitoplancton, afectando de manera negativa al cuerpo de agua, debido a que, al cambiar las concentraciones naturales nutrientes, la biodiversidad también se modifica, permaneciendo solo las especies que logran adaptarse a dicho cambio (Pedrozo Acuña & Ramírez Salinas, 2020).

### **7.6.5 Residuos sólidos urbanos**

Según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en México, los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) comprenden los desechos que se generan en hogares, establecimientos y áreas públicas como resultado de actividades cotidianas, consumo de productos y el uso de envases y embalajes. Estos residuos incluyen desde restos de alimentos hasta materiales de empaque y productos desechables. La acumulación y disposición inapropiada de estos residuos pueden llevar a la contaminación del suelo y agua, afectando la biodiversidad local y comprometiendo la salud pública.

### **7.6.6 Aguas grises y aguas negras**

Las aguas grises son aquellas que provienen de actividades diarias dentro del hogar, pueden proceder de lavamanos, ducha o incluso de lavado de utensilios de cocina, por lo que, en su mayoría, presentan contenido de jabones y detergentes, así como grasas y aceites. Su característica principal es que no contienen materia ni microorganismos fecales;

y a pesar de que su aspecto es turbio, pueden ser reutilizadas para la limpieza de ciertas áreas con el objetivo de reducir el consumo de agua limpia.

Por su parte, las aguas negras (aguas residuales) son aquellas que, si están contaminadas por materia fecal, la cual, puede encontrarse disuelta, suspendida o en estado intermedio en el agua. En su mayoría, las aguas negras provienen de los retretes por lo que, a diferencia de las aguas grises, estas, no puede reusarse pues contienen bacterias dañinas para el ser humano, como lo es la *Escherichia coli* (*E. coli*) (SAGUAPAC, 2022).

Es importante señalar que de acuerdo con (Rodríguez Pimentel, 2022), gran cantidad de aguas negras y grises, son vertidas sin ningún tipo de tratamiento a los mantos acuíferos subterráneos y superficiales, provocando una grave contaminación con metales pesados, disolventes, aceites, grasas, detergentes, ácidos, sustancias radioactivas, fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos. Lo cual es una problemática urgente de atender pues está en riesgo la salud de la población y la biodiversidad de los diferentes ecosistemas.

#### **7.6.7 Escasez de agua**

La escasez de agua es una de las mayores problemáticas actuales, ya que casi la quinta parte de la población mundial vive en áreas con pocos recursos hídricos, mientras que casi un cuarto de la población presenta un problema de escasez económica de agua, lo cual se traduce como un déficit de infraestructura para la transportación de agua de mantos acuíferos cercanos (iAgua, 2022). Sin embargo, con el aumento de la población, el consumo de agua ha aumentado a un ritmo dos veces superior a la tasa de crecimiento humano lo que a su vez conlleva al aumento de regiones que presentan insuficiencia de agua (ONU - DAES, 2014).

#### **7.6.8 Degradación de suelo**

La degradación de suelo es una de las problemáticas a las que se les debe prestar especial atención, pues el que esté presente en un área, se traduce como un impacto negativo al ecosistema, ya que se relaciona directamente con la capacidad de una región para prestar bienes y servicios tanto ambientales, como económicos y sociales (FAO, 2023).

Cabe mencionar que la degradación de suelo puede darse de manera natural, donde se encuentran involucrados factores como el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y el clima

presentes en la zona; sin embargo, los factores antropogénicos como la densidad poblacional, las políticas ambientales, la tenencia de la tierra y el uso y gestión de la tierra, también influyen negativamente e incluso aceleran esta problemática (Gardi et al., 2014; SNIARN, s/f).

En México, desafortunadamente, debido a la complejidad y los elevados costos para llevar a cabo el levantamiento cartográfico para la caracterización de la degradación de suelo, aunado a que hay diferencias metodologías de acuerdo con los objetivos de su valoración, actualmente, no hay una descripción que permita evaluar los cambios ocurridos por degradación de suelo, que se han ido produciendo a través del tiempo (SNIARN, s/f).

### **7.6.9 Erosión de suelo**

Uno de los principales tipos de degradación del suelo es la erosión que, este término se refiere a la pérdida física de la capa superficial del suelo, lo cual involucra también a la pérdida de los nutrientes presentes en él (FAO, 2023). Es necesario señalar que, al igual que la degradación de suelo, está se puede ver afectada por la climatología, y las actividades antropogénicas, como es el manejo inadecuado de la tierra, las actividades agrícolas y ganaderas (SEMARNAT, 2016).

### **7.6.10 Evaluación socioambiental**

El ámbito socioambiental, podría definirse como las interacciones que se dan sistemáticamente entre la sociedad, que abarca los factores, sociales, económicos, políticos y culturales de una región; y su entorno ambiental, que implica al medio natural en el que sociedad de desarrolla, resaltando que, dicho entorno, puede estar contaminado o no por las actividades antropogénicas que en este se desarrollan (Guttman-Sterimberg et al., 2004).

Para llevar a cabo la evaluación socioambiental de una región se deben tomar en cuenta indicadores a medir mediante el conocimiento del sitio (Dixon y Fallón, 1991; Guttman-Sterimberg et al., 2004) y también de los objetivos propios. Ya que, si se busca medir la sustentabilidad de un lugar, no solo se toman en cuenta los indicadores físicos, químicos y biológicos; sino, también factores del sistema económico, político y social que permitan evaluar a la zona desde todos sus aspectos y con ello, llegar a una solución que se adapte

a las necesidades reales de la sociedad (Dixon y Fallón, 1991; Guttman-Sterimberg et al., 2004).

#### **7.6.11 Área natural protegida**

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son zonas del territorio nacional, consideradas como las herramientas más eficaces para proteger los ecosistemas y sus funciones integrales, debido a que sus ambientes naturales no han sido significativamente alterados por actividades antropogénicas, y cuya función es ayudar a la biodiversidad a adaptarse y superar las consecuencias del cambio climático. Y de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), específicamente en su al Art. 44, las ANP están sujetas al régimen previsto en la presente Ley (LGEEPA, 2022).

#### **7.6.12 Reserva Estatal Sierra del Tentzo**

El área natural protegida del Tentzo perteneciente a la Sierra Mixteca del Municipio de Puebla, fue declarada así el 29 de abril del 2011 en el Periódico Oficial Estatal, con el fin de preservar el equilibrio de los recursos naturales de la región, pues con sus 6,597 hectáreas, representa una zona de gran importancia biogeográfica para el municipio pues comparte continuidad ecológica con el sitio Ramsar de Valsequillo, los cuales se encuentran con ecosistemas en buen estado de conservación como lo es el bosque de encino. Sin embargo, con cierto grado de perturbación ambiental debido al pastoreo extensivo y la agricultura tradicional. La Sierra del Tentzo, además de ser una de las zonas de mayor riqueza biológica, participa en la regulación climática de Puebla, pues aporta servicios de captación de agua y regulación del ciclo hidrológico (H Ayuntamiento de Puebla, 2014).

#### **7.6.13 Pastizal inducido**

El pastizal inducido se refiere a la conversión de áreas naturales en pastizales debido a la intervención humana, generalmente asociada con prácticas agrícolas y ganaderas. Este cambio en el uso del suelo implica la transformación de ecosistemas naturales en paisajes dominados por pastizales. Puede resultar de la tala de bosques, la quema de vegetación o la introducción de especies vegetales que favorecen el desarrollo de pastizales. El pastizal inducido a menudo tiene impactos ecológicos significativos, incluida la pérdida de biodiversidad y cambios en los ciclos hidrológicos locales.

#### **7.6.14 Agricultura**

La agricultura es el uso del suelo destinado al cultivo de plantas y la producción de alimentos. Este componente fundamental de la actividad humana implica la preparación y el cultivo de la tierra para el crecimiento de cultivos que satisfacen las necesidades alimenticias y, en muchos casos, también las necesidades industriales y comerciales. La agricultura puede tener diversos enfoques, desde la agricultura tradicional de subsistencia hasta la agricultura intensiva a gran escala. La expansión de la agricultura a menudo está asociada con la deforestación y la transformación del paisaje.

#### **7.6.15 Bosque de encino**

El bosque de encino es un tipo específico de ecosistema forestal caracterizado por la presencia predominante de árboles de encino. Estos bosques suelen encontrarse en regiones con condiciones climáticas particulares y albergan una diversidad biológica única. Los bosques de encino desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, la regulación del agua y la captura de carbono atmosférico. Sin embargo, estos ecosistemas pueden estar amenazados por la deforestación, la transformación del suelo y otras actividades humanas, lo que destaca la importancia de la gestión sostenible para preservar su integridad.

# METODOLOGÍA

## 8 Metodología de la investigación

La metodología aplicada en la investigación fue de enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para lograr un análisis integral. Se desarrolló en cuatro fases principales (diagrama 1), cada una diseñada para abordar aspectos esenciales del estudio socioambiental de la microcuenca. Al concluir el proceso, se identificaron las interrelaciones que influyen en su estado socioambiental, integrando ambos tipos de datos en modelos que facilitaron la comprensión de las dinámicas presentes.

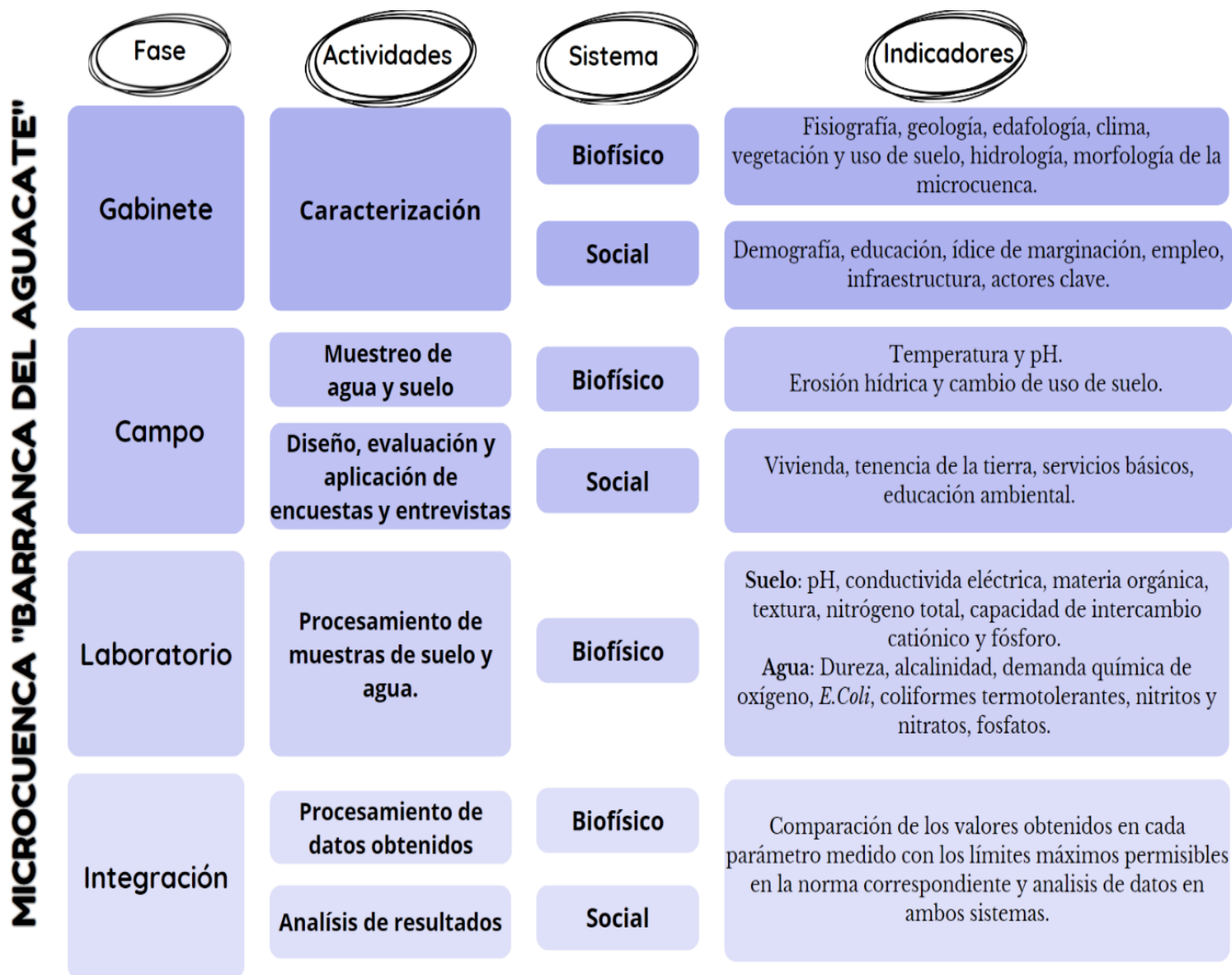


Diagrama 1. Fases de la metodología para la investigación. Elaboración propia.

### **8.1 Caracterización de la zona de estudio**

Para la caracterización biofísica y socioeconómica se recopiló información de diversas fuentes, como las bases de datos y cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021b), el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2020) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Los datos más recientes, correspondientes al año 2020, fueron utilizados para elaborar mapas en el sistema de información geográfica QGIS, facilitando la representación de indicadores clave como la población total, educación, empleo, infraestructura y grado de marginación, aspectos relevantes para el análisis integral del estudio.

### **8.2 Morfometría de la microcuenca**

El análisis morfométrico se llevó a cabo mediante la evaluación de diversos parámetros esenciales para comprender su comportamiento hidrológico y su dinámica geomorfológica. Este proceso se fundamentó en la utilización de herramientas especializadas en información geográfica, como SAGA GIS 9.2.0, GRASS GIS 8.3.2 y QGIS 3.30.3, lo que permitió la delimitación precisa de la cuenca y la extracción de datos clave para el análisis morfológico. La cartografía empleada se obtuvo de Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) a escala de 1:10000 con resolución de 15m x 15m de la página del portal del INEGI (2013).

### **8.3 Mapeo de actores clave**

Se realizó el Mapeo de actores clave para la aplicación de las entrevistas. Los criterios que se consideraron son el liderazgo que representan dentro de la microcuenca y el cargo institucional que ostentan.

### **8.4 Análisis fisicoquímicos de agua**

Con las muestras recolectadas y debidamente identificadas, se procedió al análisis correspondiente para evaluar la condición del agua en cada punto de muestreo. Es importante mencionar que algunas muestras requirieron de filtración para poder llevar a cabo los análisis correspondientes, debido a que presentaban un alto grado de turbidez.

#### **8.4.1 Muestreo de Agua**

Se realizaron salidas de campo para establecer y georreferenciar los puntos de muestreo de agua, llevándose a cabo dos muestreos: uno en época de sequía y otro durante la temporada de lluvias. Las muestras de los cuerpos de agua se tomaron por triplicado en cada punto, de acuerdo con los criterios metodológicos establecidos de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

#### **8.4.2 Determinación de pH y temperatura**

Para la determinación de pH se hizo con base en la norma NMX-AA-008-SCFI-2016. La calibración del pHmetro con las soluciones correspondientes de 4.0, 7.0 y 10.0. Después de cada medición el electrodo se lavó y secó adecuadamente para evitar interferencias en las muestras. Los valores de pH se anotaron una vez que el valor se estabilizó. La temperatura se midió al momento de tomar los valores de pH.

#### **8.4.3 Determinación de conductividad eléctrica**

La determinación de la CE se realizó posteriormente a medir el valor de pH. Para ello, se utilizó un conductímetro debidamente calibrado enjuagando y secando correctamente el electrodo para evitar contaminación de las muestras utilizando agua destilada.

#### **8.4.4 Determinación de dureza por titulación.**

La determinación de la dureza del agua se hizo por medio del kit de campo Hatch, se refiere a la capacidad del agua para causar la precipitación de jabón. Este fenómeno ocurre principalmente debido a la presencia de iones de calcio y magnesio, aunque otros metales polivalentes como el hierro, zinc, aluminio, manganeso y estroncio, así como los iones hidrógeno, también pueden estar involucrados. En agua natural, la dureza se refiere específicamente a la concentración total de calcio y magnesio, expresada como concentración de carbonato de calcio.

#### **8.4.5 Determinación de alcalinidad**

Para la determinación de alcalinidad se utilizó el kit de campo Hatch, en donde se realiza una valoración de 100 ml de las muestras a las que se les agregaron 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína. Posteriormente se tituló con una disolución de ácido clorhídrico (0.02N). Se registraron los valores y se le adicionaron 2 gotas de la disolución indicadora

de naranja de metilo. Finalmente se continuó con la titulación hasta alcanzar que vire de color naranja a amarillo. Es importante destacar que, aunque el viraje puede dar indicios sobre la presencia de ciertos compuestos, se requieren análisis más específicos y detallados para identificar y cuantificar con precisión las sales y compuestos presentes en el agua del río.

#### **8.4.6 Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno (DQO) de las muestras se determinó empleando el equipo HANNA Instruments diseñado específicamente para este tipo de análisis. Para llevar a cabo el procedimiento, se utilizaron viales especiales en los que se colocaron 2 ml de cada muestra, siguiendo minuciosamente las instrucciones detalladas en el manual del equipo. Una vez preparadas las muestras en los viales, se sometieron a un proceso de digestión térmica, durante el cual se oxidaron las sustancias presentes en las muestras. Este paso es crucial para garantizar que los resultados sean precisos y representativos. Finalmente, las muestras digeridas se analizaron utilizando un espectrofotómetro calibrado y adecuado para estos viales, lo que permitió obtener una lectura precisa de la DQO en cada muestra. Este proceso asegura que las mediciones sean consistentes y confiables

#### **8.4.7 Determinación de fósforo total por el método de cloruro estañoso**

La determinación Se agregaron 5 ml de agua destilada, 2 ml de agua muestra, 2 ml de molibdato y 1 ml de cloruro estañoso para obtener un volumen total de 10 ml. Se agitaron los tubos para mezclar la solución y se leyó la intensidad del color por espectrofotometría UV-Visible a longitud de onda de 660nm. Los blancos se prepararon siguiendo el mismo procedimiento que en las muestras. Con una curva de calibración con concentraciones de 0, 0.5 y 1 mg L<sup>-1</sup> de P. Para la curva de calibración con concentración de 0 mg L<sup>-1</sup> de P, se colocaron 7 ml de agua destilada, 2 ml de molibdato y 1 ml de cloruro estañoso. Para la concentración a 0.5 mg L<sup>-1</sup> de P, se añadieron 6 ml de agua destilada, 2 ml de molibdato, 1 ml de cloruro estañoso y 1 ml de solución madre de fósforo a 5 ppm (solución patrón). Finalmente, para la concentración a 1 mg L<sup>-1</sup> de P, se añadieron 5 ml de agua destilada, 2 ml de molibdato, 1 ml de cloruro estañoso y 2 ml de solución madre de fosforo a 5 ppm (solución patrón). Los valores de absorbancia de la curva de calibración como los de las muestras se anotaron en una tabla de Microsoft Excel 2010, los cuales se graficaron para obtener la curva de calibración. Para el cálculo de la concentración de fosforo en agua.

#### **8.4.8 Determinación de coliformes fecales termotolerantes y *E. coli***

Para los análisis microbiológicos, las muestras se trasladaron inmediatamente al Laboratorio de Patogenicidad Microbiana del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla en condiciones de refrigeración. Es importante señalar que, conforme a la norma NMX-AA-042-SCFI-2015, las muestras destinadas a este tipo de análisis microbiológicos no deben permanecer almacenadas por más de 24 horas, ya que la viabilidad de los microorganismos puede verse afectada, comprometiendo la precisión de los resultados por lo que las muestras se entregaron dentro de las primeras 2-4 horas.

#### **8.4.9 Determinación de concentración de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)**

Para la determinación de metales pesados en agua, se utilizaron muestras recolectadas el 31 de enero, las cuales fueron adecuadamente preservadas según lo establecido en la norma NMX-AA-051-SCFI-2001 para garantizar su integridad. Estas muestras fueron sometidas a un proceso de digestión ácida utilizando el equipo MarsXpress, lo que permitió preparar adecuadamente las muestras para su análisis posterior. Finalmente, las muestras fueron trasladadas al laboratorio del Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología de la BUAP (CUVyTT), donde se procedió a la medición precisa de los metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) presentes mediante la técnica de espectroscopía de absorción atómica.

#### **8.5 Análisis fisicoquímicos de suelo**

Los protocolos y las pautas establecidas en la norma NOM-021-RECNAT-2000 fueron seguidas para el muestreo de suelo con el fin de garantizar la precisión y la integridad de las muestras recolectadas. Esto incluye evitar la contaminación con materiales externos y mantener una documentación clara de todo el proceso de muestreo. Las muestras recolectadas se transportaron al laboratorio para su posterior secado a temperatura ambiente, tamizado en tamiz con abertura de 2 mm de diámetro y análisis de parámetros fisicoquímicos. Los parámetros medidos fueron: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, textura y nitrógeno total.

Una vez llegadas las muestras a laboratorio, estas fueron colocadas bajo sombra a una temperatura no mayor a 35°C y una humedad relativa entre 30 y 70%, específicamente a

temperatura ambiente en el laboratorio del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Las muestras se extendieron a una profundidad inferior de 2.5 cm del suelo sobre papel en una superficie plana. Posteriormente, se realizó la molienda. Para ello se retiraron las rocas y material orgánico visible presentes en la muestra y se molieron con un mortero de cerámica en las muestras que se requirió. Usando una malla 10, el suelo molido fue tamizado y se separó 1.5 kg de suelo en una nueva bolsa de plástico donde se homogeneizó y se almacenó para su posterior análisis. Es importante destacar que durante este proceso se les dio una nueva nomenclatura a las primeras muestras para que coincidieran con las del segundo muestreo.

### 8.6 Estimación de la erosión hídrica

Para la erosión hídrica de la microcuenca, se siguió el método propuesto por Mendoza y Tinoco (1994), conocido como el método de clavos y rondanas mejorado. Para llevar a cabo este proceso, se utilizaron varillas de hierro liso de 30 cm de longitud, las cuales fueron introducidas en el suelo hasta alcanzar una profundidad aproximada de 15 a 20 cm, momento en el cual se realizó una marca a nivel del suelo (imagen 16). Al final de la temporada de lluvias se retiraron los clavos y se marcó el nivel final donde llegó el suelo para llevar a cabo los cálculos correspondientes.

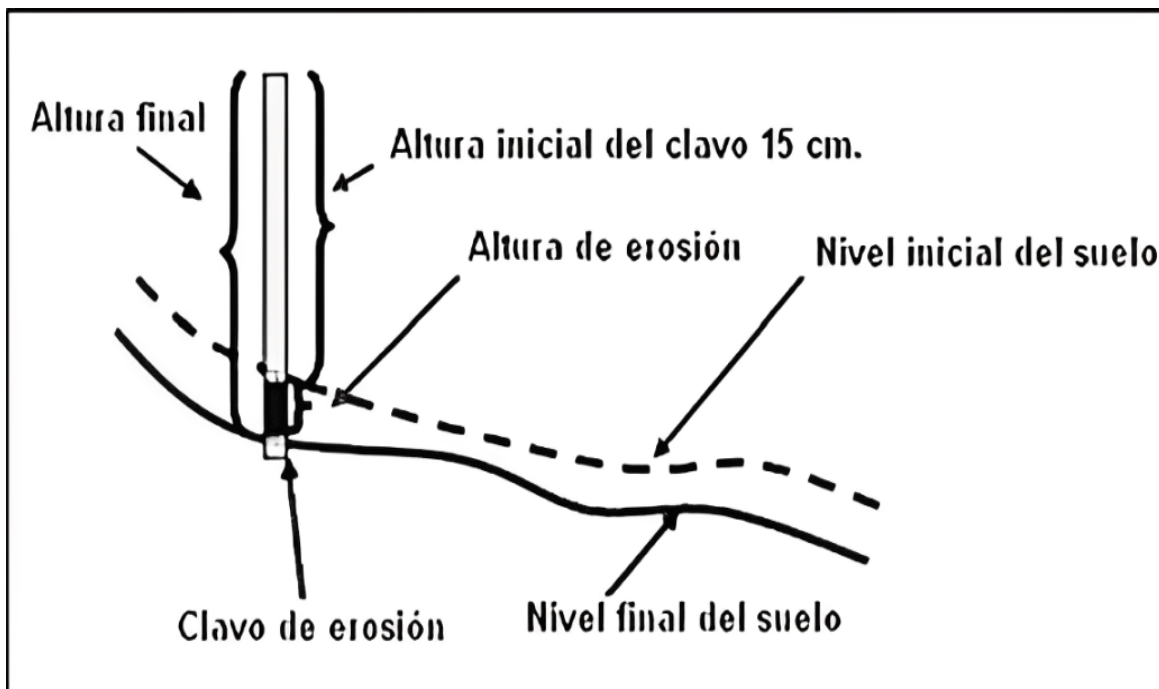


Imagen 16. Diagrama de método de clavos y rondanas mejorado. Fuente: Mendoza y Tinoco (1994.)

La categorización de los datos obtenidos se hizo con base en los criterios de la SEMARNAT, (tabla 1).

Tabla 1. Para la categorización de la erosión de suelos.

Grado	Grado de erosión	Pérdida de suelo (t/ha/año)
1	Nula	< 5
4	Ligera	5-10
3	Moderada	10-50
4	Alta	50-200
5	Muy Alta	> 200

Fuente: SEMARNAT (2012)

## 8.7 Evaluación de la vegetación y cambio de uso de suelo

Para la evaluación de la tasa de deforestación se elaboraron polígonos de la zona de estudio con QGIS 3.30.3 con el objetivo de determinar cuáles han sido las modificaciones que ha tenido el área a través de los años desde el 1976 hasta el 2021. De tal manera que para poder analizar de la tasa de cambio de cobertura del uso del suelo y vegetación se utilizó la ecuación de la FAO (1995) que expresa el proceso de deforestación en porcentaje, al inicio de cada año (ecuación 1).

(Ecuación 1)

$$\delta_n = \left( \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right) * 100$$

Donde:

$\delta$  = Tasa de deforestación

$S_1$  = Superficie en la fecha inicial (ha)

$S_2$  = Superficies en la fecha final (ha)

$n$  = Periodo de tiempo evaluado (años)

Una vez recabada esta información se construyó una matriz de transición, con el objetivo de realizar un análisis de la dinámica del cambio de uso del suelo y la vegetación.

## 8.8 Encuestas

La encuesta se diseñó para recolectar información clave que permitiera evaluar el estado socioambiental de la microcuenca. Se utilizó un enfoque mixto con 23 preguntas de distintos tipos: opción múltiple, dicotómicas, abiertas y de escala Likert, abordando aspectos relacionados con los problemas e impactos socioambientales en la microcuenca. Se incluyó una lista de comprobación donde los pobladores podían identificar y priorizar los problemas que perciben en la zona de estudio.

Este diseño permitió obtener tanto datos cuantitativos como cualitativos, capturando la percepción de los encuestados y proporcionando información fundamental para la creación de estrategias y acciones orientadas a enfrentar los desafíos ambientales y fomentar la participación comunitaria en la conservación de la microcuenca. El tamaño de la muestra se calculó utilizando la fórmula estadística para proporciones poblacionales en muestras finitas (ecuación 2), garantizando la representatividad de los resultados.

*(Ecuación 2)*

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

*Donde:*

*n: Tamaño de la muestra*

*N: Tamaño de la población*

*Z: Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza*

*e: Error de estimación máximo aceptado*

*p: Probabilidad de que ocurra el evento*

*q: (1-p): Probabilidad de que no ocurra el evento*

## **8.9 Prueba piloto de la encuesta**

Considerando los recursos disponibles y la población objetivo, se realizó una prueba piloto con el 10% de la muestra. Esta estrategia es efectiva para identificar y corregir posibles problemas en una encuesta, asegurando así su validez y efectividad. El propósito principal de la prueba piloto fue detectar cualquier confusión o dificultad que pudieran tener los participantes al responder la encuesta, tales como preguntas ambiguas, opciones de respuesta confusas o cualquier otro aspecto que pudiera afectar la comprensión y la calidad de los datos recopilados. Al elegir el 10% de la muestra, se obtuvo una muestra representativa pero más manejable para el análisis y la obtención de retroalimentación valiosa.

## **8.10 Entrevistas**

El método utilizado para el diseño de la entrevista fue semiestructurado que permitió flexibilidad para adaptarse a las respuestas de los entrevistados según fuera necesario (Díaz-Bravo *et al*, 2013). Este método se caracteriza por incluir una guía de preguntas base, detalladas en el anexo 3, diseñadas específicamente para explorar el rol y las perspectivas individuales de los actores clave en la comunidad de San José el Aguacate, enfocándose particularmente en la recuperación de la microcuenca.

# ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 9 Caracterización de la microcuenca

### 9.1 Caracterización biofísica

La Barranca del Aguacate se localiza en el ejido de San José El Aguacate, perteneciente a la junta auxiliar de San Francisco Teotimehuacán, al sur del municipio de Puebla, limitando con el municipio de Huehuetlán el Grande. Se encuentra en la Sierra del Tentzo, una región que constituye la entrada a la Mixteca poblana, reconocida por su alta biodiversidad y su importancia cultural.

Desde 2011, la Barranca del Aguacate forma parte del Área Natural Protegida del Tentzo, un espacio dedicado a la conservación de los ecosistemas locales. Colinda también con el sitio Ramsar "Humedal Valsequillo", un área de relevancia internacional por su biodiversidad, su capacidad para regular los recursos hídricos y su rol en la conservación de especies acuáticas. Este entorno natural es crucial para la preservación de hábitats y especies endémicas de la región, como el coyote, el jabalí y el venado de cola blanca.

La comunidad está ubicada en las coordenadas longitud 98°11'18.452 W y latitud 18°51'14.253 N, a una altitud de 1,922 metros sobre el nivel del mar, según los datos del INEGI (2020) (imagen 17). Estas características geográficas le confieren una gran relevancia ambiental, al ser un punto clave para la conservación de la biodiversidad y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales de la región.

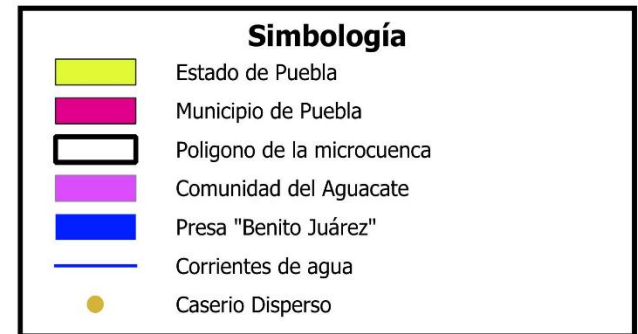
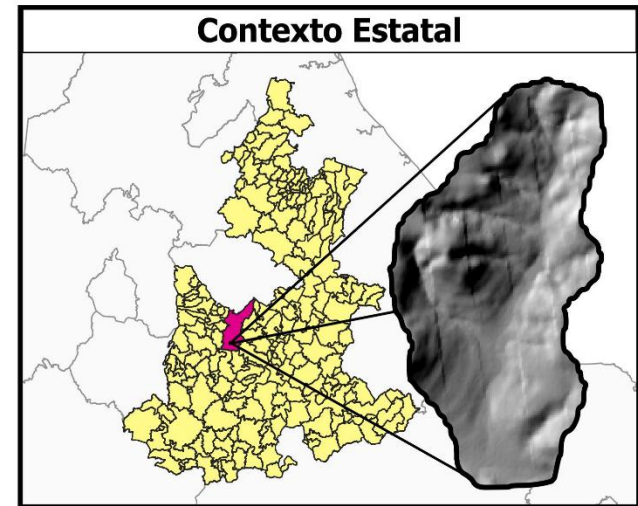
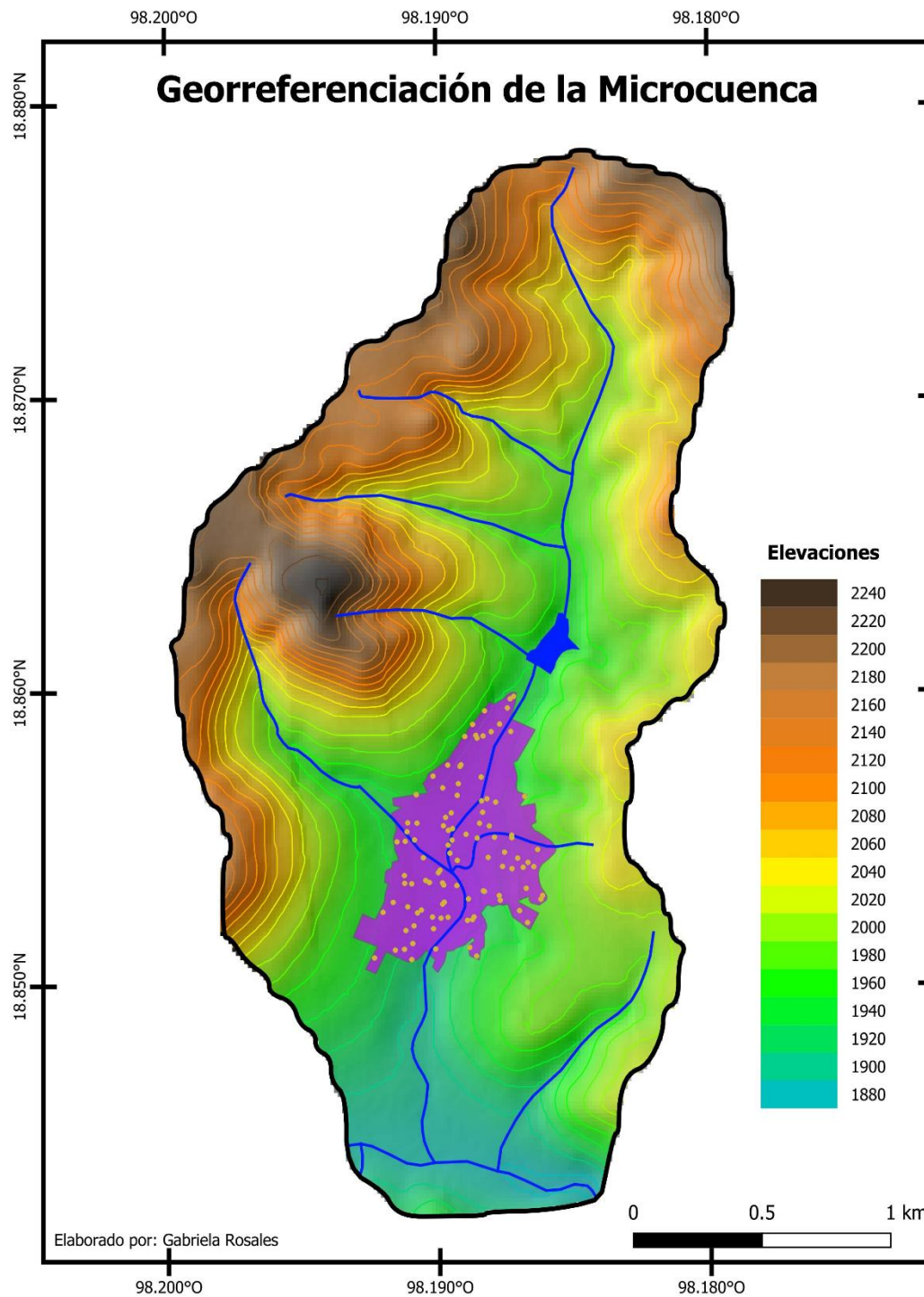


Imagen 17. Georreferenciación de la microcuenca del Aguacate.

### 9.1.1 Clima

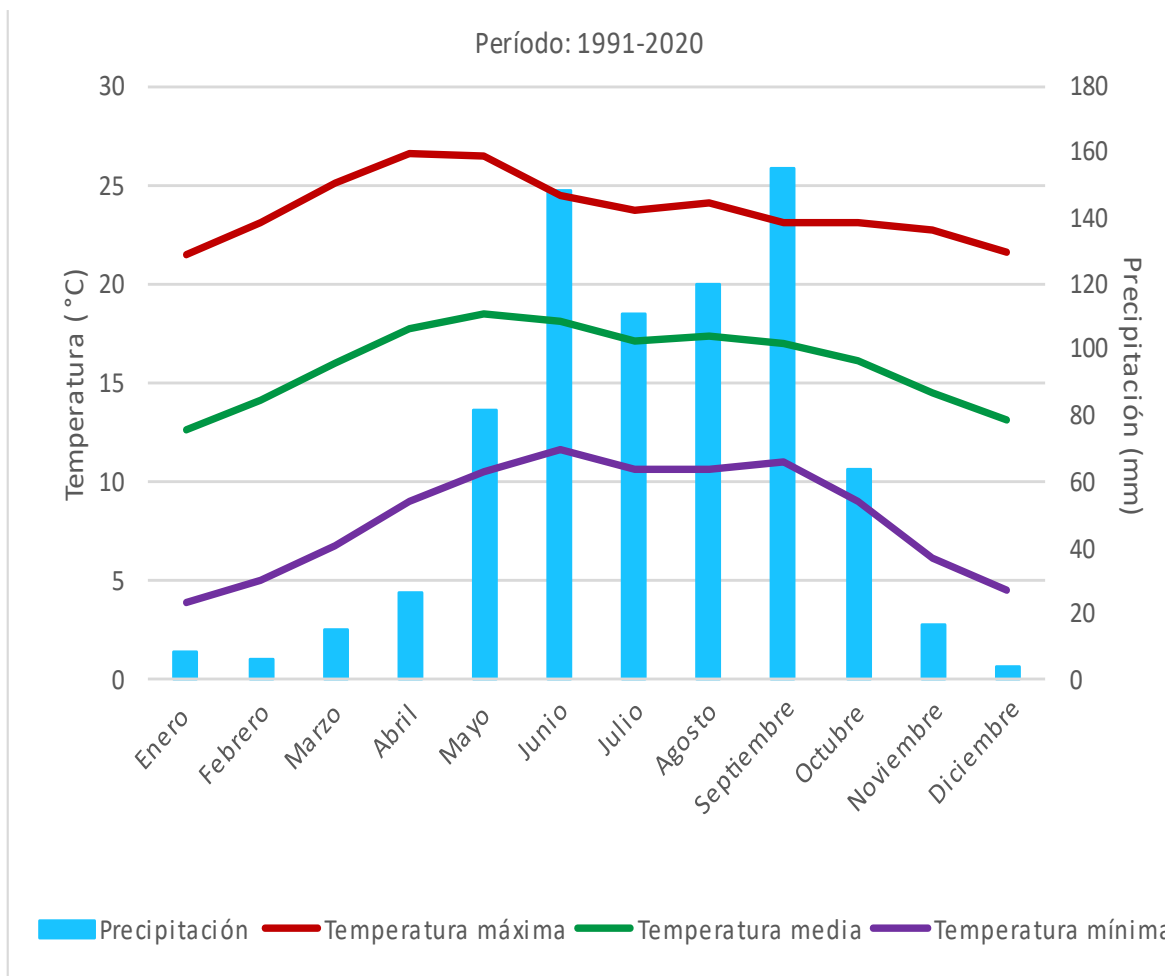
El área de estudio se caracteriza por un clima templado subhúmedo con lluvias concentradas en la temporada de verano, clasificado como C(w1) según el sistema de Köppen. La temperatura media anual varía entre 12°C y 18°C, mientras que la precipitación anual oscila entre 800 y 1032 milímetros (INEGI, 2021).

Para visualizar la variación del clima a lo largo del año, se elaboró un climograma (gráfica 1), el cual sintetiza los principales datos climáticos y facilita su interpretación. La información utilizada para su elaboración proviene de la estación meteorológica más cercana, "Balcón del Diablo", ubicada aproximadamente a 7 km del área de estudio. La distancia fue determinada mediante análisis en QGIS 3.30.3. Los datos registrados corresponden al periodo de 1991 a 2020 (IGN, s.f.) (tabla 2).

Tabla 2. Información climática del área de estudio. Fuente: EMA's Balcón del Diablo. Periodo 1991 - 2020

Climograma												
Estación Meteorológica Balcón del Diablo												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitación (mm)	8.8	6.1	15.4	26.9	82.2	148.3	110.9	121.0	152.80	65.0	16.3	3.9
Temperatura máxima (°C)	21.5	23.2	25.1	26.7	26.5	24.5	23.8	24.1	23.1	23.2	22.8	21.7
Temperatura media (°C)	12.7	14.1	16	17.8	18.5	18.1	17.2	17.4	17	16.1	14.5	13.1
Temperatura mínima (°C)	3.9	5.1	6.8	9	10.6	11.7	10.7	10.7	11	9	6.2	4.5

A continuación, se presenta la representación gráfica de los valores obtenidos, los cuales ilustran las principales tendencias, variaciones y patrones observados en los datos recopilados.

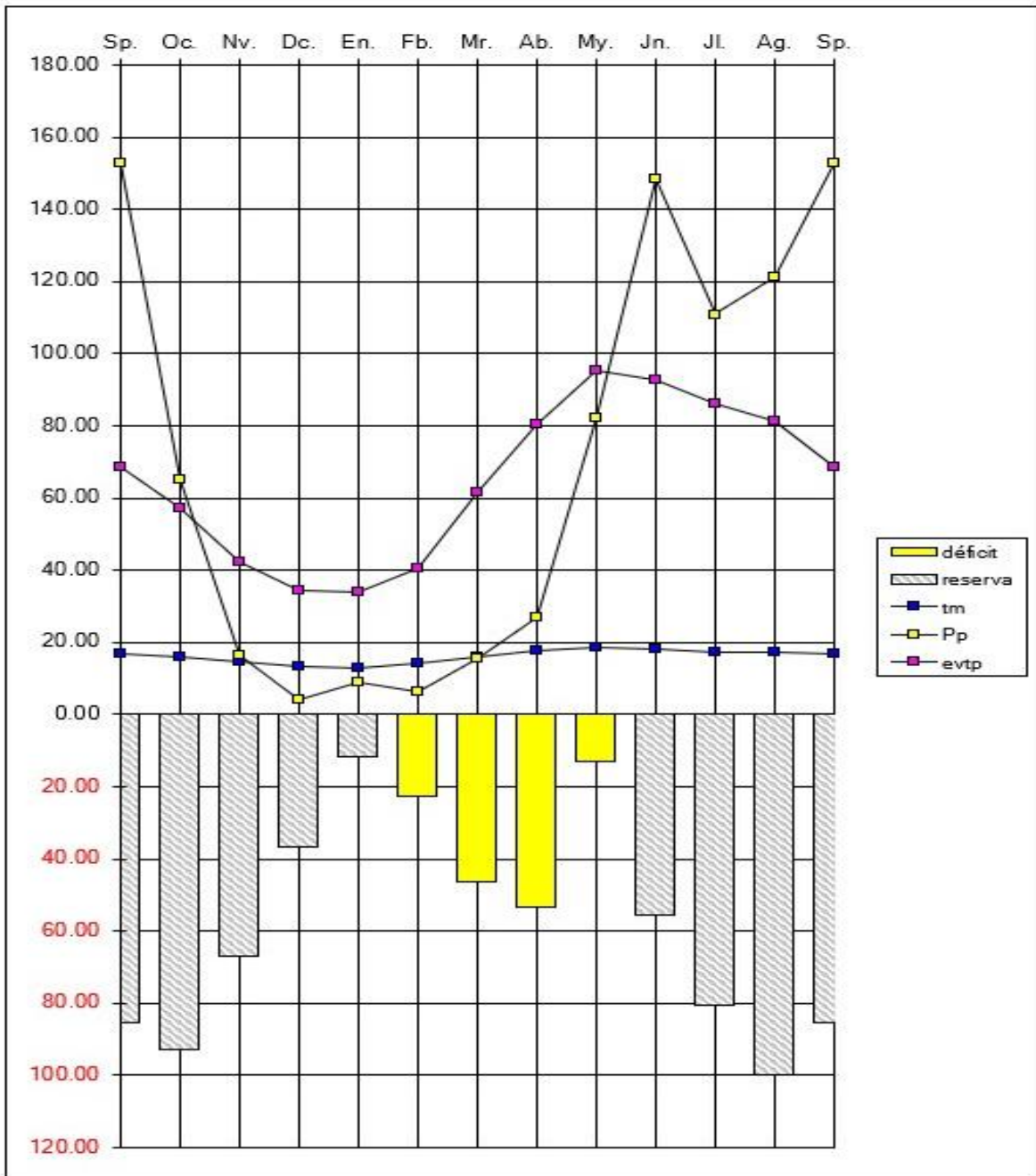


Gráfica 1. Climograma de la zona de estudio.

Se observa que la mayor cantidad de precipitación es dentro de un periodo de tiempo de junio a septiembre, indicando una estación lluviosa pronunciada durante el verano. El pico más alto ocurre en septiembre con 152.8 mm. Por su parte, la estación seca abarca desde noviembre hasta abril, con los valores más bajos en diciembre y febrero. Se observa que las temperaturas máximas, medias y mínimas son relativamente constantes durante el año, aunque la estación lluviosa coincide con un ligero descenso en las temperaturas máximas y mínimas, mientras que la temperatura media tiende a aumentar.

### 9.1.2 Balance hídrico

El balance hídrico es una herramienta fundamental en hidrología que se emplea para evaluar la disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas. Este análisis se basa en la comparación de los diferentes componentes del ciclo hidrológico que influyen en el sistema hídrico de una cuenca (INEGI, s.f.). Para realizar el balance hídrico de la microcuenca se usaron los mismos valores que del climograma (Gráfica 2).



Gráfica 2. Balance hídrico de la zona de estudio con respecto a la EMA's Balcón del Diablo.

La gráfica representa la precipitación promedio ( $Pp$ ) en la cuenca, permitiendo visualizar los patrones de lluvia a lo largo del año. Existe una relación directamente proporcional entre la temporada de lluvias y la disponibilidad de agua: durante este periodo, el incremento en la precipitación favorece la recarga de los mantos acuíferos. Estos reservorios subterráneos almacenan el agua que se infiltra en el suelo, aumentando la reserva hídrica de la región. Esta disponibilidad es crucial para garantizar el suministro de agua durante épocas de menor precipitación o estiaje, contribuyendo a la seguridad hídrica local.

También proporciona información valiosa sobre el periodo de estiaje, que se manifiesta principalmente en los meses de enero a mayo. Durante este periodo, la lluvia disminuye significativamente, y la cuenca depende en mayor medida de las reservas acumuladas durante la temporada de lluvias. Con la disminución de la lluvia, el suministro de agua para la cuenca se basa en gran medida en las reservas acumuladas. Parte de estas reservas se consume a través de procesos de evapotranspiración, donde el agua se pierde por evaporación y transpiración de las plantas. El consumo de las reservas alcanza su punto máximo en los meses de marzo y abril, donde la falta de precipitación se combina con las demandas de agua de la vegetación y otros procesos biogeoquímicos. La disminución de la disponibilidad de agua puede afectar los procesos de regulación térmica, contribuyendo al aumento de las temperaturas en esos meses.

El consumo de las reservas acumuladas destaca la importancia de gestionar de manera eficiente las fuentes de agua y planificar estrategias de conservación durante los meses de sequía.

### **9.1.3 Geología**

Por una parte, en lo que respecta a la litología del área de estudio, San José el Aguacate se localiza sobre el suelo en el área de estudio, se compone principalmente rocas metamórficas del periodo Cretácico con edades de la era del Mesozoico; sin embargo también nos podemos encontrar con roca sedimentaria del periodo Proterozoico-Devónico de la era del Precámbrico-Paleozoico(INEGI, 2021), principalmente la Piedra Caliza, cuyas propiedades, podrían usarse dentro de la industria de la construcción, fundición, productos químicos, agroquímicos y vidrio (Secretaría de economía, 2013).

#### **9.1.4 Vegetación y uso de suelo**

En cuanto a la vegetación y uso de suelo del área de estudio, se refirió a mapas del (INEGI, 2021) escala 1:250000, dónde se muestra que la vegetación es Bosque de Encino (*Quercus Sp*). Lo cual, se complementa con la clasificación de Rzedowsky (1978) obtenida de la Secretaría de Medio Ambiente, (s/f), donde se menciona que la Sierra del Tentzo se conforma también de Selva baja caducifolia cazahuate (*Ipomoea murucoides*), Matorral xerófilo cactáceas (*Cactaceae*) o matorral desértico rosetófilo y Bosque de Táscate como el Sabino (*Juniperus deppeana*). De igual manera, podemos encontrar agricultura de tipo seco (por temporal), donde mayormente se encuentra de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*).

#### **9.1.5 Edafología**

De igual manera, cabe mencionar que de acuerdo con mapas del INEGI (2021) los suelos encontrados en la zona de estudio son el Leptosol (LP), que son suelos fácilmente erosionables debido a que son relativamente delgados (menos de 25 cm de espesor), y que, a su vez están compuestos en un 80% por piedras y grava. Asimismo, al ser una zona de transición, también encontramos Vertisol (VR); suelos muy resistentes a la erosión pues son suelos pesados compuestos en un 30% de arcillas expandibles. Y gracias a su alta retención de humedad y propiedades de intercambio de nutrientes con las plantas que pueden representar gran utilidad agrícola, si se les da el manejo adecuado de labranza (INEGI, 2021).

#### **9.1.6 Hidrología**

Por su parte, la barranca del Aguacate cuenta con una longitud estimada de aproximadamente 4.03 km desde su nacimiento en “Cuezco” hasta su desembocadura en la “Posa Larga”. Dicha microcuenca, se encuentra localizada en la región del Balsas clave RH18, cuenca del Río Atoyac clave A, subcuenca Atoyac-Balcón del Diablo clave b, (INEGI, 2017), acuífero Ixcaquixtla clave 2106 (DOF, 2016).

## **9.2 Caracterización socioeconómica**

Para la obtención de la información socioeconómica de la comunidad, se recurrió a la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021b), localizada dentro del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2020), donde la información más reciente, data del año 2020.

### **9.2.1 Demografía**

Para el año 2020 contaba con una población de 263 habitantes, de los cuales 142 son hombres, lo que representa el 54% de la población y 121 mujeres, representando el 46% mujeres, distribuidos en un total de 90 viviendas. (INEGI, 2020; Mejía Maldonado, 2021)

### **9.2.2 Educación**

En cuanto a educación, cifras del INEGI (2021b), muestran que al menos 46 personas mayores de 15 años no saben ni leer ni escribir; que al menos 36 personas de más de 15 años no asistieron nunca a la escuela y que para el año 2020, solo 10 personas de 15-17 años asistían a la escuela. Lo cual de acuerdo con datos del CONAPO (2020) , significa que el 22.22% de la población es analfabeta y el 60.39% de la población no cuenta ni con educación básica.

### **9.2.3 Empleo**

Por otro lado, el (INEGI, 2020a), muestra que 150 personas mayores de 12 años, lo que representa al 57% es económicamente activa, mientras que, el 43%, solo 63 personas de más de 12 años, no genera ningún tipo de ingresos.

### **9.2.4 Infraestructura**

Con respecto a la Infraestructura y equipamiento con los que cuenta la comunidad de San José el Aguacate, se recolectaron datos del INEGI (2020), donde se menciona que la comunidad no cuenta con recubrimiento de calles ni banquetas. Pero si con una plaza pública, una cancha deportiva, parque con juegos infantiles y una biblioteca donde las personas de la comunidad se desenvuelven en su día a día.

### 9.2.5 Mapeo de actores clave

Los actores clave de la comunidad de San José el Aguacate son, el inspector como la máxima autoridad de la comunidad, al cual conciernen tanto la seguridad, como las actividades lúdicas, culturales y recreativas con el fin de mantener el bienestar de los pobladores. Y sus homónimos, el comité ejidal; conformado por un presidente, un secretario y un tesorero, encargados principalmente del uso y manejo de los recursos naturales (diagrama 2). Finalmente, es necesario enfatizar que, la barranca, al encontrarse dentro de la zona de dos ANP de competencia estatal por lo que también involucra al gobierno de Puebla.



*Diagrama 2. Actores clave de la comunidad de San José el Aguacate.*

### 9.2.1 Apoyos Gubernamentales

Los apoyos gubernamentales desempeñan un papel crucial en el bienestar socioeconómico de la comunidad, proporcionando recursos que fomentan el desarrollo y mejoran las condiciones de vida. Entre los programas destacados se encuentran las becas dirigidas a niños de educación básica y media superior, cuyo objetivo es reducir las desigualdades educativas y ampliar las oportunidades para las generaciones futuras. Asimismo, el programa de pensión para adultos mayores ofrece subsidios económicos a las personas de la tercera edad, quienes, debido a su vulnerabilidad, dependen de este apoyo para garantizar una vejez digna.

En el ámbito ambiental, el programa Sembrando Vida impulsa la reforestación y la agricultura sostenible, apoyando a pequeños productores agrícolas mientras promueve la restauración de los ecosistemas. Iniciativas como la instalación de cámaras de monitoreo

en zonas forestales y los proyectos de reforestación complementan estos esfuerzos, contribuyendo a la seguridad y la preservación del entorno natural. Estos apoyos reflejan el compromiso del gobierno por alcanzar un desarrollo integral que equilibre las necesidades sociales y ambientales de la comunidad.

### **9.2.2 Autoempleo**

El autoempleo es una de las principales fuentes de sustento en la comunidad, destacando actividades como la agricultura, la ganadería, la elaboración de mezcal y el comercio local. La agricultura, practicada a pequeña y mediana escala, se centra en cultivos básicos como el maíz y el frijol, esenciales para la subsistencia familiar. Paralelamente, la ganadería juega un papel significativo al garantizar el autoconsumo y generar ingresos mediante la venta de ganado en el mercado local.

La elaboración de mezcal, una tradición artesanal profundamente arraigada, constituye otra fuente importante de empleo. Los productores locales se involucran en todo el proceso, desde el cultivo del agave hasta la destilación, preservando prácticas tradicionales que otorgan valor cultural al producto.

El auge del turismo, aunque mayormente de paso hacia destinos cercanos, ha impulsado el comercio local. Los visitantes suelen detenerse en la comunidad para descansar, consumiendo en tiendas y locales de comida, lo que genera ingresos temporales pero valiosos para la economía local.

### **9.2.3 Desafíos Ambientales**

A pesar de los esfuerzos realizados, la comunidad enfrenta diversos retos sociales y ambientales que obstaculizan su desarrollo. La tala ilegal de árboles es uno de los problemas más críticos, ya que degrada los ecosistemas, afecta la biodiversidad y compromete recursos clave como el aire y el agua. De igual forma, la caza ilegal amenaza especies locales y altera el equilibrio de los ecosistemas.

### **9.2.4 Inseguridad y su impacto en la comunidad**

En el ámbito de la seguridad, la comunidad enfrenta un incremento en la violencia, evidenciado por la presencia de actos extremos como el abandono de cuerpos en distintos puntos del territorio. Estos hechos perpetrados por individuos ajenos al lugar afectan gravemente la percepción de seguridad, dañando la cohesión social y generan una imagen negativa que perjudica el turismo.

Actualmente, la seguridad de la comunidad recae en el inspector, cuya labor es limitada debido a la falta de recursos y apoyo. La vigilancia se ve aún más afectada por la insuficiencia de patrullas, ya que solo se dispone de un vehículo para cubrir todas las inspectorías colindantes. Esta escasez de recursos impide una respuesta rápida y efectiva ante emergencias, dejando a la comunidad en una situación de vulnerabilidad.

#### **9.2.5 Deficiencia en servicios básicos**

La comunidad también enfrenta problemas derivados de la ausencia de servicios básicos esenciales, como un sistema de drenaje en funcionamiento, la disponibilidad de atención médica primaria y la recolección de basura. Si bien se ha instalado un sistema de drenaje como parte de la urbanización de la calle hacia el panteón, este aún no está en funcionamiento, lo que impide que la comunidad aproveche sus beneficios. La falta de operación del drenaje sigue representando un problema de saneamiento, ya que la acumulación de aguas residuales puede provocar contaminación del suelo y riesgos para la salud de los habitantes.

#### **9.2.6 Gestión de una planta tratadora de aguas residuales**

Para enfrentar los problemas de saneamiento, se ha propuesto la gestión de una planta tratadora de aguas residuales, con el objetivo de mejorar las condiciones del agua y reducir la contaminación. El terreno para la construcción de esta planta ha sido donado por el ejido, lo que representa un avance significativo hacia la materialización del proyecto. Sin embargo, la falta de recursos financieros y el apoyo gubernamental retrasan su implementación. La operación de una planta tratadora permitiría no solo el tratamiento adecuado de las aguas residuales, sino también la reutilización del agua para actividades agrícolas o industriales, beneficiando directamente a la comunidad y contribuyendo a la protección del medio ambiente.

#### **9.2.7 Falta de servicio de recolección de basura**

Otro problema importante es la ausencia de un servicio eficiente de recolección de basura. La acumulación de residuos en calles y espacios públicos no solo afecta la imagen del lugar, sino que también representa un foco de contaminación y propagación de enfermedades. Sin un sistema adecuado para la disposición de los desechos, la comunidad enfrenta riesgos ambientales y de salud, lo que agrava aún más las condiciones de vida de los habitantes.

### **9.2.8 Carencia de atención médica**

La ausencia de un consultorio médico en la zona obliga a los habitantes a desplazarse largas distancias para recibir atención médica, lo que pone en riesgo la salud de personas con enfermedades crónicas, mujeres embarazadas, niños y adultos mayores. Esta situación agrava la vulnerabilidad de la población, dificultando la prevención y el tratamiento oportuno de padecimientos.

Esto se debe al cierre de la única clínica existente en 2009, debido a conflictos locales y al robo de equipo médico. Desde entonces, los habitantes se ven obligados a recorrer largas distancias para recibir atención médica, dependiendo de desplazamientos a Puebla para acceder a servicios básicos. A pesar de estos problemas, las autoridades han ignorado en gran medida las necesidades de la comunidad. (Mega noticias, 2021).

### **9.3 Estudio morfométrico de la microcuenca**

Los parámetros geomorfológicos de una cuenca hidrográfica son fundamentales para comprender su comportamiento frente a la precipitación y otros procesos hidrológicos. Según Ibáñez Asensio et al. (s.f.), factores como la geomorfología, la climatología, el uso del suelo y la cobertura vegetal, junto con el nivel de urbanización, influyen en la respuesta de las cuencas al ciclo hidrológico. El análisis morfométrico de una cuenca, como señala Méndez (2006), es esencial para entender su dinámica hidrológica, lo que permite no solo inferir su estructura y atributos, sino también examinar su comportamiento morfodinámico. Vélez y Vélez (s.f.) resaltan la importancia de estos aspectos en el comportamiento hidrológico de las cuencas, ya que influyen en la activación de procesos geomorfológicos y sus efectos, considerando la cuenca como un sistema integrado.

El análisis morfométrico de la microcuenca de San José el Aguacate se llevó a cabo mediante una evaluación de diversos parámetros esenciales para comprender su comportamiento hidrológico y su dinámica geomorfológica. Este proceso se fundamentó en la utilización de herramientas especializadas en información geográfica, como SAGA GIS 9.2.0, GRASS GIS 8.3.2 y QGIS 3.30.3, lo que permitió la delimitación precisa de la cuenca y la extracción de datos clave para el análisis morfológico. La cartografía empleada se obtuvo de Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0) a escala de 1:10000 con resolución de 15m x 15m de la página del portal del INEGI (2013).

### 9.3.1 Parámetros morfológicos generales

Los parámetros generales morfológicos comprenden aspectos como el área total de la cuenca, perímetro, longitud y el desnivel altitudinal. Estos datos son esenciales para comprender la estructura y dinámica de la cuenca, ya que proporcionan información clave sobre cómo está organizada y cómo se comporta en términos de flujo de agua y distribución de recursos naturales (Ibáñez, s.f.).

El **área de la cuenca (A)** influye en la magnitud del caudal: en condiciones normales, los caudales promedio, mínimo y máximo aumentan con el incremento del área de la cuenca.

La **longitud (L)** del cauce, se define como la distancia que recorre su cauce principal desde el punto de desagüe aguas abajo hasta el punto más alejado topográficamente aguas arriba. Este parámetro tiene un impacto significativo en la generación de escorrentía, esencial para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos. La categorización del cauce se basa en su longitud según IBAL (2009), (tabla 3).

*Tabla 3. Clase de valores de longitud del cauce principal.*

Rangos de Longitud (Km)	Clases de longitud del Cauce
1,69 – 4,17	Corto
4,18 – 6,65	Mediano
6,66 – 9,13	Largo

Fuente: IBAL (2009)

El **perímetro de la cuenca (P)** representa la extensión de la línea divisoria de aguas y delinea el contorno del área de la cuenca. Es útil para distinguir la forma de la cuenca cuando se comparan cuencas de tamaño similar, ayudando a determinar si es alargada o redondeada. Cuencas con perímetros más largos tienden a ser alargadas, mientras que aquellas con perímetros más cortos suelen ser redondeadas.

El **ancho (a)** se obtiene a partir del área (A) y de la longitud de la cuenca (L). Este parámetro proporciona información sobre la forma y la distribución del área en relación con la longitud de la cuenca (ecuación 3).

(Ecuación 3)

$$a = \frac{A}{L}$$

Dónde:

*a*: Ancho de la cuenca (km)

*A*: superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

*L*: longitud de la cuenca (km)

El **desnivel altitudinal (DA)** corresponde a la diferencia entre la altitud más alta y la más baja dentro de la cuenca (ecuación 4). Este valor está relacionado con la variabilidad climática y ecológica, ya que una cuenca con una mayor variación altitudinal puede albergar una diversidad de ecosistemas debido a las importantes variaciones en precipitación y temperatura a lo largo de su extensión.

(Ecuación 4)

$$DA = C_{m\acute{a}x} - C_{m\acute{i}n}$$

Donde:

*DA*: Desenivel altitudinal (msnm)

*C<sub>máx</sub>*: Cota máxima de la cuenca

*C<sub>mín</sub>*: Cota mínima de la cuenca

Los datos morfológicos generales proporcionan una visión integral de la microcuenca de San José el Aguacate, ofreciendo información esencial sobre su estructura y dinámica (tabla 4).

Tabla 4. Datos morfológicos generales de la microcuenca Barranca del Aguacate.

Parámetro	Símbolo	Valor	Observaciones
Área (km <sup>2</sup> )	A	5.918	Sin observaciones
Perímetro (km)	P	11.010	Sin observaciones
Longitud Máxima de la cuenca (km)	L	4.030	Sin observaciones
Ancho de la cuenca (km)	a	1.468	Sin observaciones
Longitud del Cauce Principal (Km)	Lc	4.804	Tamaño Mediano
Desnivel altitudinal (m)	DA	363	Sin observaciones

Los valores generales revelan que la microcuenca cuenta con una superficie de 5.918 km<sup>2</sup>, su perímetro es de 11.010 km, la longitud máxima del cauce es de 4.030 km y el ancho de 1.468 km. Estos datos ofrecen información detallada sobre la forma y la distribución del área en relación con su longitud, lo que indica una configuración más alargada asociada a un recorrido extenso dentro de la cuenca. Además, la longitud del cauce principal es de 4.804 km, clasificándola como una cuenca de tamaño mediano de acuerdo con IBAL (2009).

Con una diferencia de altitud de 363 metros entre la cota máxima y mínima, la cuenca muestra una marcada variabilidad altitudinal, lo que da lugar a la diversidad de ecosistemas y condiciones climáticas a lo largo de su extensión. Esto se refleja en la vegetación presente

a lo largo de su cauce, que incluye bosque de encino, selva baja caducifolia, matorral xerófilo, matorral desértico y bosque de táscate.

### 9.3.2 Parámetros asociados a la forma de la cuenca

La forma de una cuenca desempeña un papel crucial en su comportamiento hidrológico, las cuencas más anchas tienden a ser más propensas a generar crecidas, ya que el agua recorre la cuenca en menos tiempo que en cuencas alargadas, lo que resulta en una concentración más rápida de las aguas superficiales y crecidas más violentas. Por otro lado, en cuencas alargadas donde el tiempo de recorrido del agua es más largo, los picos de crecida tienden a ser menos abruptos incluso durante lluvias intensas o tormentas, debido al tiempo adicional que tarda el agua en recorrer la cuenca.

El **coeficiente de Gravelius o índice de compacidad (Kc)** define la forma de la cuenca en relación con su similitud con formas redondas (ecuación 5).

(Ecuación 5)

$$Kc = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

*Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius*

*P: Perímetro de la cuenca (km)*

*A: Área de la Cuenca (km<sup>2</sup>)*

Este parámetro ofrece información sobre la forma de la cuenca y su relación con el riesgo de crecidas. Un valor cercano a 1 indica una forma más circular, lo que aumenta la probabilidad de crecidas debido a una distribución equitativa de puntos de drenaje. Mientras que, valores más altos indican cuencas más alargadas, lo que reduce el riesgo de crecidas repentinas al permitir una dispersión más gradual del agua a lo largo de la cuenca (Camino, 2018). La clasificación de la cuenca (tabla 5) se basa en relación con su índice de compacidad de acuerdo con Campos (1992).

Tabla 5. Formas de la cuenca de acuerdo con el índice de compacidad.

Clase de forma	Índice de compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 - 1.25	Casi redondea a oval-redonda
Clase II	1.26 - 1.50	Oval-Redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 - 1.75	Oval-Oblonga a rectangular-oblonga
Clase IV	> 1.76	Rectangular oblonga

El **Factor de Forma (Ff)** es un parámetro adimensional que indica cómo se distribuye el flujo superficial en una cuenca. Se calcula dividiendo el área de la cuenca (A) entre la longitud de la cuenca (L) (ecuación 6).

(Ecuación 6)

$$Ff = \frac{A}{L}$$

Donde:

*Ff*: Factor de forma

*A*: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

*L*: Longitud de la cuenca (km)

Cuando la cuenca tiene una forma cercana a la circularidad, el valor del Ff tiende a 1, mientras que, valores menores representan cuencas alargadas. En cuencas alargadas, las descargas de agua son menos voluminosas debido a que el cauce principal es más largo que los cauces secundarios (Córdova, 2016). En una cuenca alargada, la probabilidad de recibir lluvias intensas y simultáneas en toda su área es menor, lo que se traduce en crecidas de menor magnitud en comparación con una cuenca de igual tamaño, pero con un Ff mayor (Henaó Sarmiento, 1988; Camino, 2016) (imagen 18).

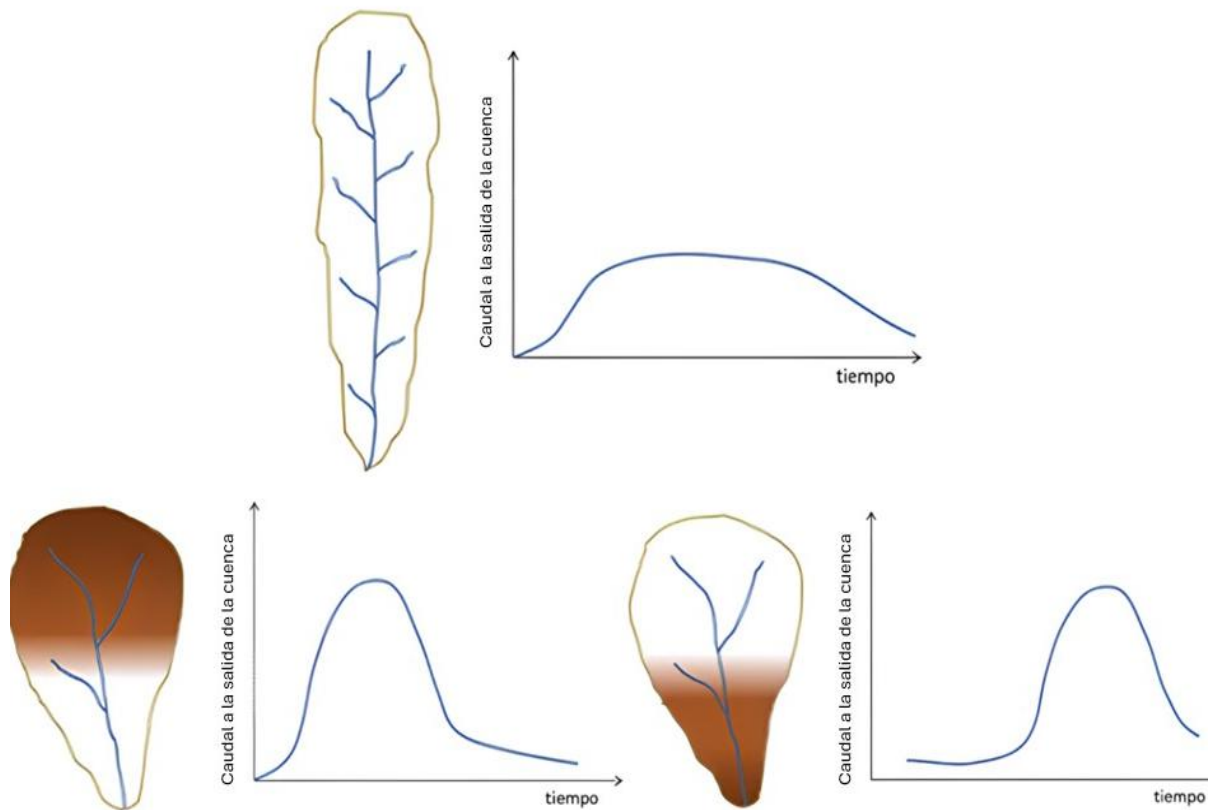


Imagen 18. Relación de la forma de la cuenca con la descarga. Fuente: Córdova, 2016.

La morfología de la cuenca (tabla 6), se presenta en función de rangos aproximados del Factor de Forma (Pérez, 1979; Córdova, 2016).

Tabla 6. Rangos aproximados del Factor de Forma.

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

El **Índice de Alargamiento (Ia)** es la relación entre la Longitud (L) y el Ancho (a) de la cuenca (ecuación 7). Un valor mayor a 1.5, indica que la cuenca es alargada. Por otro lado, cuando el valor se acerca a 1, indica que la cuenca tiene una forma de abanico en su red de drenaje, posiblemente con un río principal corto.

(Ecuación 7)

$$Ia = \frac{L}{a}$$

Donde:

Ia: Índice de alargamiento

L: Longitud

a: Ancho máximo de la cuenca

Los rangos del índice de alargamiento (tabla 7), se muestran en base a datos recabados de IBAL, (2009).

Tabla 7. Rangos aproximados del Índice de alargamiento.

Índice de alargamiento (Ia)	Forma de la cuenca
< 1.4	Poco alargada
1.5 - 2.8	Moderadamente alargada
> 2.9	Muy alargada.

El **Coefficiente de Circularidad (Cc)**, también conocido como coeficiente de circularidad de Miller. El coeficiente de circularidad (ecuación 8) varía en un rango entre 0 y 1. Valores cercanos a 1 indican cuencas con morfologías m, mientras que valores cercanos a 0 indican cuencas alargadas.

(Ecuación 8)

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

Donde:

*Cc*: Coeficiente de circularidad

*A*: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

*P*: Perímetro de la <cuenca (km)

Los valores obtenidos para la microcuenca en relación con su morfología se detallan a continuación (tabla 8). Estos datos permiten analizar las características de la cuenca y su influencia en la dinámica hídrica del área de estudio.

Tabla 8. *Parámetros Morfométricos Asociados a la Forma de la Cuenca de la microcuenca Barranca del Aguacate.*

Parámetro	Símbolo	Valor	Observación
Factor forma de Horton	Rf	0.36	Ligeramente alargada
Coeficiente de Compacidad de Gravelius	Kc	1.27	Clase II
Coeficiente de Circularidad de Miller	Cc	0.61	Ligeramente ensanchada
Índice de alargamiento	la	2.74	Moderadamente alargada

Se determinó que la cuenca presenta una forma ligeramente alargada, con un factor de forma de 0.36. Aunque su coeficiente de compacidad de 1.27 sugiere una forma relativamente compacta, el coeficiente de circularidad de 0.61 indica un poco ensanchada. Asimismo, el índice de alargamiento de 2.74 confirma que la cuenca es moderadamente alargada.

Dado que la cuenca es ligeramente alargada y tiene un coeficiente de compacidad clasificado como Clase II, se puede anticipar que las crecidas en esta cuenca podrían no ser tan abruptas como en cuencas más estrechas y alargadas. La forma oval-redonda a oval oblonga sugiere que las aguas superficiales tienden a concentrarse de manera más uniforme durante eventos de precipitación, lo que puede resultar en un tiempo de respuesta hidrológica más equilibrado en toda la cuenca. (Silva *et al.*, 2021) Además, el coeficiente de circularidad indica que la cuenca está ligeramente ensanchada, lo que puede implicar un menor riesgo de crecidas repentinas, ya que el agua tiene más espacio para dispersarse y fluir a lo largo de la cuenca en lugar de concentrarse en puntos específicos.

### 9.3.3 Parámetros asociados a la forma del relieve

Los parámetros morfométricos asociados al relieve son esenciales para comprender la dinámica hidrológica de una cuenca. Cabe destacar que el relieve ejerce una influencia más significativa en esta dinámica que la propia forma de la cuenca. A medida que aumenta el relieve o la pendiente, se observa una mayor propensión a la generación de escorrentía en intervalos de tiempo más reducidos (Arulbalaji *et al.*, 2017).

La **pendiente media del cauce (j)** representa el promedio de las pendientes presentes en las diferentes áreas topográficas de la cuenca (ecuación 9). Este parámetro ayuda a determinar la velocidad del escurrimiento superficial a lo largo de la cuenca a partir de la fórmula.

(Ecuación 9)

$$j = \frac{DA}{L}$$

Donde:

*j*: Pendiente media del cauce

*DA*: desnivel altitudinal (km)

*L*: longitud máxima del cauce (km)

La topografía característica de una cuenca se muestra en rangos aproximados de su pendiente media (tabla 9).

Tabla 9. Rangos aproximados de la pendiente media de la cuenca.

Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Pérez, 1979; Córdova, 2016

La curva hipsométrica es una representación gráfica que muestra cómo varía el área drenada en función de la altitud de la superficie de la cuenca. Esta curva se relaciona con las distintas etapas evolutivas de los ríos en las cuencas correspondientes, identificándose

tres tipos principales: ríos jóvenes, maduros y viejos (imagen 19) reflejando las características de los ríos en diferentes etapas de su evolución (Ordoñez Gálvez, 2011)

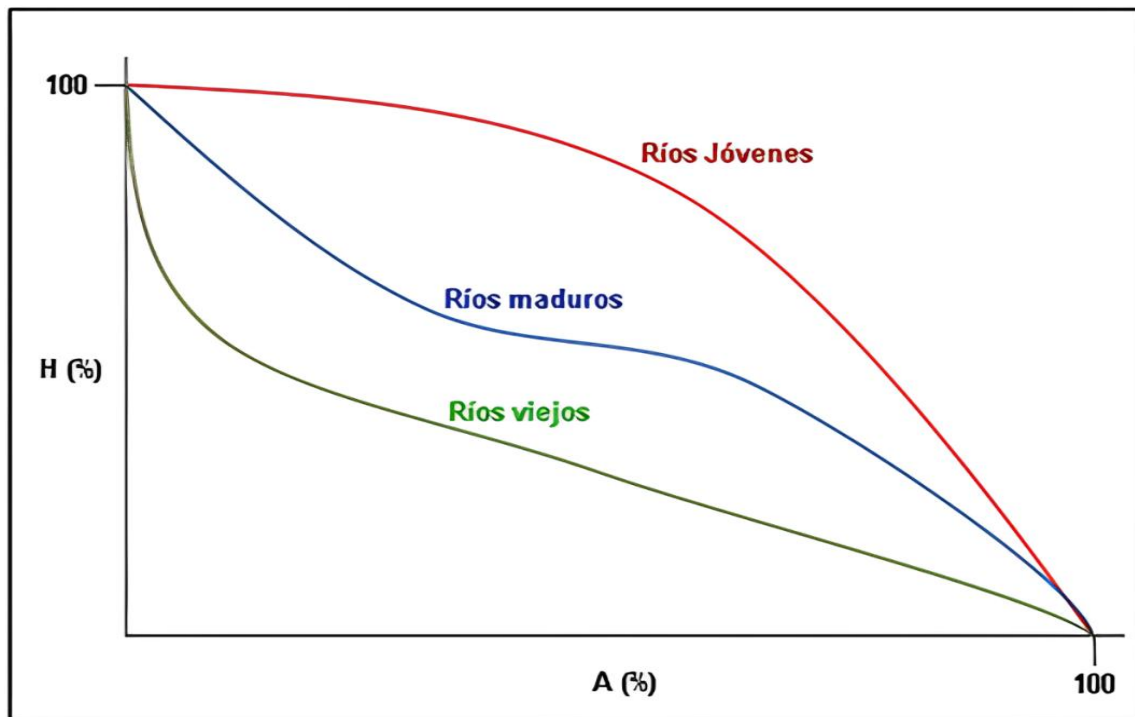


Imagen 19. Tipos de curvas con respecto a la edad de la cuenca. Fuente: Ordoñez Gálvez, 2011.

Los **ríos jóvenes** corresponden a cuencas con alto potencial erosivo debido a su fase temprana de desarrollo. Transportan grandes volúmenes de sedimentos y modifican rápidamente su entorno, típicamente en regiones montañosas o recién elevadas geológicamente.

Los **ríos maduros** representan cuencas en equilibrio dinámico, donde la capacidad de erosión y transporte de sedimentos se equilibra con la deposición. Tienen meandros desarrollados y planicies de inundación estables, comúnmente encontrados en regiones geológicamente estables.

Los **ríos viejos** indican cuencas sedimentarias donde la erosión ha sido menos activa y predomina la acumulación de sedimentos. Tienen cauces amplios y poco profundos, con topografía suave y planicies de inundación bien definidas, típicamente en regiones de bajo relieve y geológicamente antiguas.

Esta clasificación refleja diferencias en el equilibrio entre erosión, transporte y deposición de sedimentos, lo que influye en la morfología del cauce y el desarrollo de sus planicies de inundación (tabla 10).

Tabla 10. Características de los ríos con respecto a su edad.

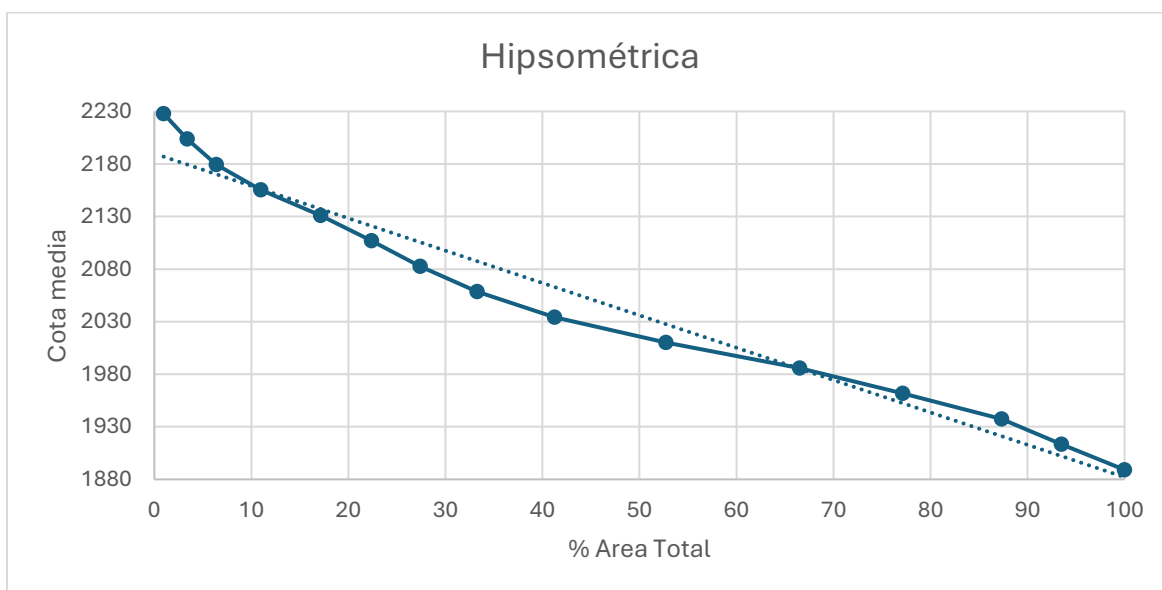
Edad	Características
Ríos jóvenes	Corresponden a cuencas con un alto potencial erosivo.
Ríos maduros	Representan cuencas en un estado de equilibrio.
Ríos viejos	Indican cuencas sedimentarias.

En la microcuenca de San José el Aguacate, los valores relacionados con la forma del relieve se presentan a continuación (tabla 11)

Tabla 11. Parámetros Morfométricos Asociados a la Forma del Relieve de la microcuenca.

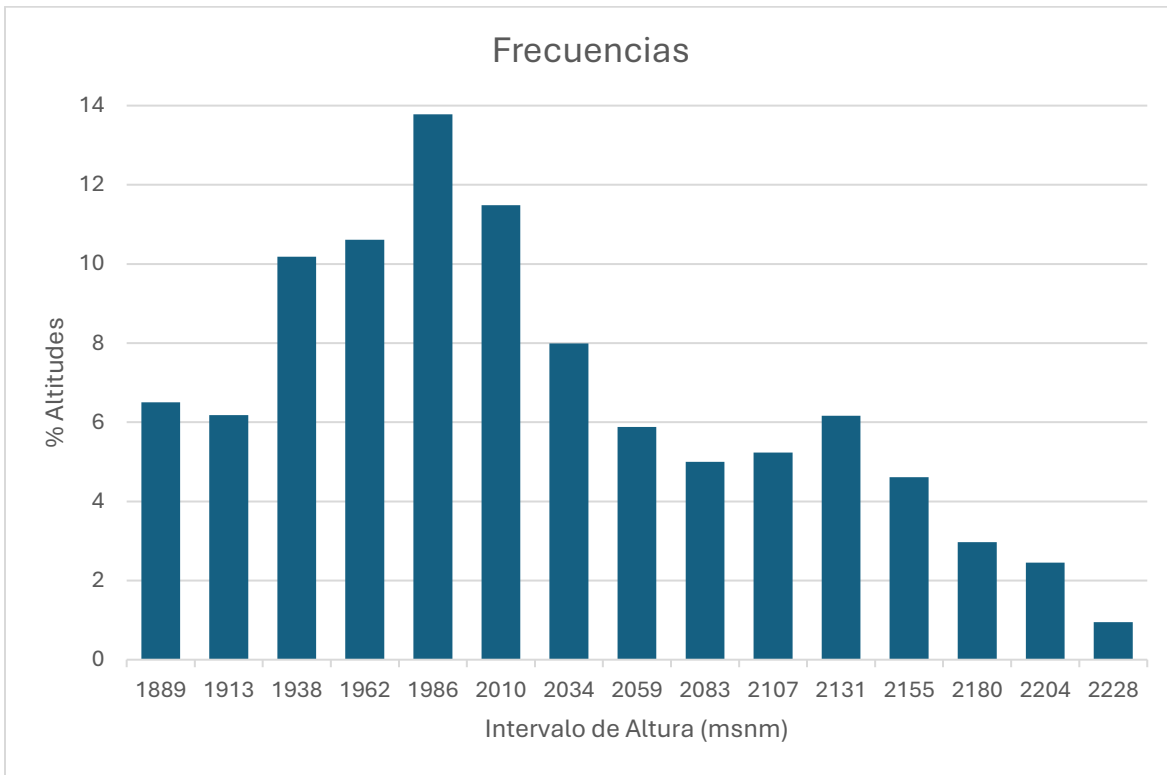
Parámetro	Símbolo	Valor	Observaciones
Cota máxima de la cuenca	$C_{m\acute{a}x}$	2240	Sin observaciones
Cota mínima de la cuenca	$C_{m\acute{i}n}$	1877	Sin observaciones
Altitud Media de la cuenca	H	2019	Sin observaciones
Altitud más Frecuente del Cauce	$C_f$	1986	Sin observaciones
Altitud mayor del cauce	$H_{m\acute{a}x}$	2130	Sin observaciones
Altitud menor del cauce	$H_{m\acute{i}n}$	1877	Sin observaciones
Pendiente promedio de la cuenca (%)	j	7.56	Accidentado medio

A partir de estos parámetros, se elaboró la curva hipsométrica (gráfica 3), la cual indica que la microcuenca posee características propias de un río en estado maduro.



Gráfica 3. Curva hipsométrica de la microcuenca.

El polígono de frecuencia (gráfica 4) complementa la curva hipsométrica al representar la distribución de altitudes en la cuenca. En esta gráfica, el eje de las ordenadas indica el porcentaje parcial del área estudiada, mientras que el eje de las abscisas muestra las altitudes. Su análisis permite identificar los rangos altitudinales más frecuentes a partir del porcentaje máximo registrado.



*Gráfica 4. Frecuencias de altitudes en la microcuenca.*

El análisis de la pendiente y la edad del río indica que la microcuenca ha experimentado un proceso evolutivo gradual, lo que favorece la estabilidad hidrológica y reduce la ocurrencia de eventos extremos. Con un pendiente promedio del 7.56%, la cuenca se clasifica como una zona de inclinación moderada, lo que sugiere un balance entre los procesos de erosión y sedimentación a lo largo del tiempo. Esta dinámica ha permitido la consolidación de un río maduro, caracterizado por una red de drenaje estable y bien desarrollada. Como resultado, la microcuenca presenta una menor susceptibilidad a inundaciones repentinas o deslizamientos, contribuyendo a la regulación natural del flujo hídrico y al mantenimiento de los ecosistemas asociados.

### 9.3.4 Parámetros asociados a la red de drenaje

Los parámetros asociados a la red de drenaje juegan un papel fundamental en la comprensión tanto de la configuración como del funcionamiento del sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica, ofreciendo información sobre las propiedades del suelo y las características de las superficies de la cuenca, lo que permite una evaluación más completa y precisa de su comportamiento hidrológico. Los parámetros por evaluar para la microcuenca de San José el Aguacate son la densidad de drenaje, la frecuencia de drenaje, el coeficiente de torrencialidad y el tiempo de concentración, entre otros valores necesarios para los cálculos. Para la estimación del tiempo de concentración se emplearon cinco estimaciones diferentes de acuerdo con la recomendación de Rojo Hernández con el objetivo de tener un valor más preciso.

La **densidad de drenaje (Dd)** es una medida que describe la cantidad de ríos y arroyos que desembocan en el río principal dentro del área de la cuenca (ecuación 10). Este parámetro proporciona información valiosa sobre el patrón y la forma de la cuenca, al relacionar la longitud total de los cursos de agua con el área total de la cuenca. Una densidad de drenaje alta indica un sistema de drenaje más denso y una respuesta hidrológica más rápida, mientras que una densidad baja sugiere una respuesta más lenta del sistema de drenaje.

(Ecuación 10)

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Donde:

*Dd: Densidad de drenaje*

*Lt:  $\Sigma$ longitud de las corrientes (km)*

*A: Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)*

La densidad de drenaje está relacionada con la geología, topografía, suelos y vegetación de la cuenca, y afecta el tiempo de salida del escurrimiento superficial. Los rangos de densidad de drenaje se clasifican en tres categorías (tabla 12) de acuerdo con los parámetros del IBAL (2009):

Tabla 12. Clases de densidad de drenaje.

Rangos de Densidad	Clases
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

La **frecuencia de drenaje (Fd)** es un parámetro hidrológico clave que proporciona información sobre la capacidad de drenaje de una cuenca hidrográfica. Definida como la relación entre el número total de cauces de cualquier orden y el área total de la cuenca (ecuación 11). La Fd ayuda a complementar la clasificación de las cuencas de manera más completa que la densidad de drenaje sola. Una mayor frecuencia de drenaje sugiere una mejor capacidad de la cuenca para evacuar el agua.

(Ecuación 11)

$$Fd = \frac{\text{\#total de cauces}}{A}$$

Donde:

Fd: Densidad de drenaje

A: Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

La **jerarquización de la red fluvial** proporciona una comprensión más clara de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de una cuenca. El orden en la jerarquización está relacionado con el caudal relativo del segmento del canal. El sistema utilizado para este estudio es el propuesto por Horton en 1945 (imagen 20). Según este sistema, los canales se numeran en función del número de afluentes que reciben. Un canal sin ningún afluente se considera de orden 1, mientras que un canal con dos afluentes de orden 1 se clasifica como de orden 2. Si un canal recibe un afluente de orden 1 y otro de orden 2, su orden sería 3. El orden de los canales aumenta en uno con cada nuevo afluente que reciben. Es importante destacar que cada canal tiene un único orden, correspondiente al mayor que puede tener al final de su recorrido.

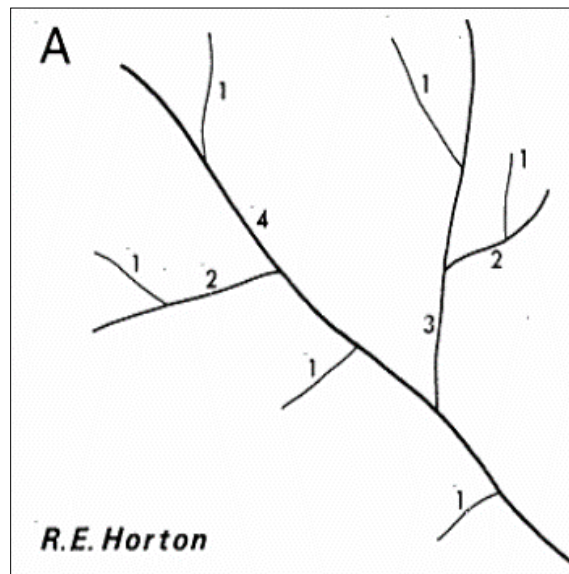


Imagen 20. Método de ordenación de los segmentos y cursos fluviales según Horton. (Gregory y Walling, 1973; Ordoñez Gálvez, 2011)

La segmentación de la microcuenca se llevó a cabo tomando como referencia la red fluvial y aplicando el método de Horton. Este enfoque permite clasificar y organizar las corrientes fluviales en función de su jerarquía, lo cual es fundamental para comprender la dinámica hidrológica y estructural de la microcuenca (imagen 21).

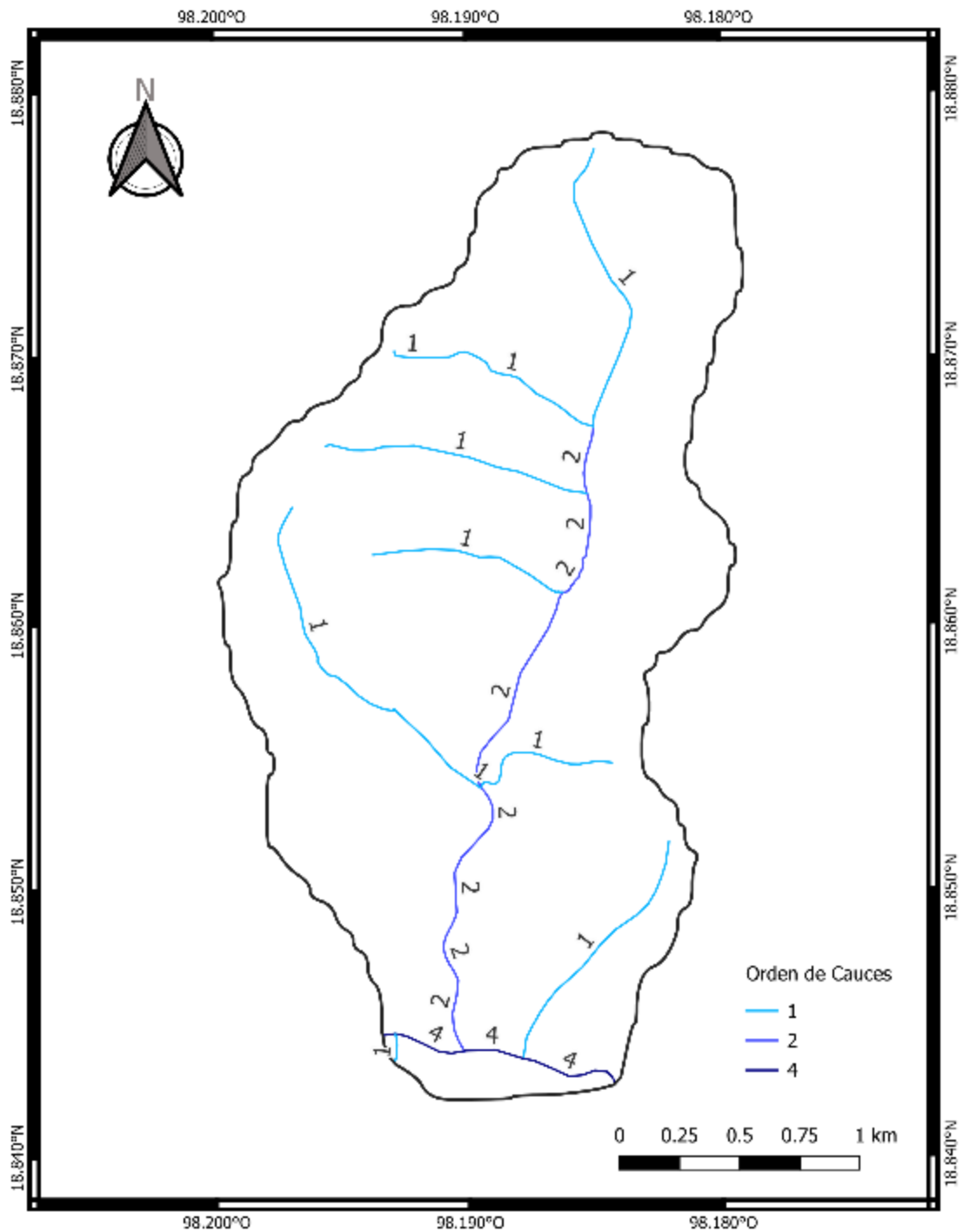


Imagen 21. Segmentación por orden de cauces de la microcuenca de San José el Aguacate.

El **Coefficiente de torrencialidad (Ct)** se determina a partir de la relación entre el número de cursos de primer orden y el área total de la cuenca (ecuación 12), lo que permite evaluar la susceptibilidad de la cuenca a la erosión y su capacidad de descarga. Un Ct más alto indica una mayor torrencialidad y una mayor susceptibilidad a la erosión, especialmente cuando hay una alta densidad de cursos de primer orden en relación con la superficie de la cuenca. Esto puede resultar en flujos torrenciales y rápidas inundaciones aluviales (Camino, 2018).

(Ecuación 12)

$$Ct = \frac{N_1}{A}$$

Donde:

*Ct*: Coeficiente de Torrencialidad  
*N<sub>1</sub>*: Total de Drenajes de orden 1  
*A*: Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>)

El **Tiempo de Concentración (Tc)** se define como el tiempo teórico que tarda una gota de agua en recorrer desde la parte más alta de la cuenca hasta su desembocadura. En cuencas alargadas, se observa variabilidad en los tiempos de concentración en la mayoría de los puntos de la cuenca (IBAL,2009). Las ecuaciones para calcular el Tc fueron las siguientes:

(Ecuación 13)

California Culvert Practice:

$$Tc = \left[ \frac{0.870 * L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Donde:

*Tc*: Tiempo de concentración  
*L*: Longitud del Cauce Principal (km)  
*H*: Diferencia de altura (m)

(Ecuación 14) Témez:

$$Tc = 0.3 \left[ \frac{Lc}{J_1} \right]^{0.76}$$

Donde:

*Tc*: Tiempo de concentración  
*Lc*: Longitud del Cauce Principal (km)  
*J<sub>1</sub>*: Pendiente del Cauce (%)

(Ecuación 15) Kirpich:

$$Tc = 0.066 \left[ \frac{Lc}{\sqrt{J_2}} \right]^{0.77}$$

Donde:

*Tc*: Tiempo de concentración  
*L*: Longitud del Cauce Principal (km)  
*J<sub>2</sub>*: Pendiente del Cauce (m/m)

(Ecuación 16) Ventura-Heron:

$$Tc = 0.3 \left[ \frac{Lc}{J_1^{0.25}} \right]^{0.75}$$

Donde:

*Tc*: Tiempo de concentración  
*L*: Longitud del Cauce Principal (km)  
*J<sub>1</sub>*: Pendiente del Cauce (%)

(Ecuación 17) V.T. Chow:

$$Tc = 0.8773 \left[ \frac{Lc^{1.5}}{\sqrt{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{m}n}}} \right]^{0.385}$$

Donde:

*Tc*: Tiempo de concentración  
*L*: Longitud del Cauce Principal (km)  
*H<sub>máx</sub>*: cota máxima del cauce principal (m.s.n.m)  
*H<sub>mín</sub>*: cota mínima del cauce principal (m.s.n.m)

Los parámetros asociados a la red de drenaje de la microcuenca (tabla 13), que permiten analizar aspectos como la densidad de canales, longitud y orden de los cauces, se detallan a continuación.

*Tabla 13. Parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje de la microcuenca del Aguacate.*

Parámetro	Símbolo	Valor	Observaciones
Orden de la Cuenca	Oc	4	Sin observaciones
# Drenajes de orden 1	N1	12	Sin observaciones
Longitud total de drenajes (km)	Lt	11.52	Sin observaciones
Densidad de drenaje (km)	Dd	1.95	Moderada
Textura de drenaje	Td	2.36	Textura gruesa
Frecuencia de drenaje	Fd	4.39	Moderada
Coefficiente de Torrencialidad %	Ct	2.03	Sin observaciones
Pendiente del Cauce (%)	J <sub>1</sub>	5.27	Sin observaciones
Pendiente del Cauce (m/m)	J <sub>2</sub>	0.05	Sin observaciones
Tiempo de concentración (horas)	Tc	0.60	California Culvert Practice
		0.72	Témez
		0.69	Kirpich
		0.71	Ventura-Heron
		0.67	V.T. Chow

El análisis de los parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje revela que la microcuenca cuenta con un sistema hidrológico bien desarrollado y eficiente. La cuenca exhibe una distribución moderada de cursos de agua, con una densidad y frecuencia de drenaje que indican una buena capacidad para evacuar el agua de manera eficaz. La presencia de múltiples drenajes de orden 1 y una longitud total 11.52 km, sugiere una red fluvial densa y bien ramificada. Lo que se complementa con una densidad de drenaje moderada 1.95 km y una frecuencia de drenaje de 4.39. Por su parte, la pendiente del cauce con un valor del 5.27% y el tiempo de concentración promedio de 0.68 horas sugieren una respuesta rápida del sistema de drenaje ante eventos de precipitación. Además, el coeficiente de torrencialidad igual 2.03% revela una susceptibilidad moderada a la erosión, lo que sugiere una capacidad de descarga adecuada en la cuenca. En conjunto, estos hallazgos indican que la microcuenca Barranca del Aguacate está bien adaptada para gestionar los flujos de agua y responder de manera efectiva a las condiciones hidrológicas variables.

Con base en los resultados del análisis morfológico de la microcuenca se puede inferir que, la forma alargada de la cuenca, junto con su longitud de cauce principal y el ancho de esta, influyen en cómo el agua se distribuye y fluye a lo largo de la cuenca durante eventos de precipitación ya que presenta un recorrido extenso desde su cota máxima hasta su desembocadura. La variabilidad altitudinal dentro de la cuenca contribuye a la diversidad de ecosistemas y a las condiciones climáticas presentes en ella, lo que se refleja en la presencia de diferentes tipos de vegetación a lo largo del cauce. La forma oval-redonda a oval oblonga de la cuenca sugiere que las aguas superficiales tienden a concentrarse de manera más uniforme durante eventos de precipitación, lo que puede resultar en un tiempo de respuesta hidrológica más equilibrado en toda la cuenca. Esto podría implicar un menor riesgo de crecidas repentinas en comparación con cuencas más estrechas y alargadas.

La pendiente moderada de la cuenca y su proceso evolutivo gradual sugieren que la cuenca ha alcanzado un estado de equilibrio relativo en su evolución hidrológica. Lo que puede contribuir a una mayor estabilidad hidrológica y una menor probabilidad de eventos extremos como inundaciones repentinas o erosión del suelo. La presencia de un sistema de drenaje bien desarrollado y eficiente, junto con una red fluvial densa y bien ramificada, indica una buena capacidad para evacuar el agua de manera eficaz. Esto sugiere que la microcuenca está bien adaptada para gestionar los flujos de agua y responder de manera efectiva a las condiciones hidrológicas variables. En resumen, la microcuenca del Aguacate presenta características que favorecen una respuesta hidrológica equilibrada y una gestión efectiva de los flujos de agua, lo que puede contribuir a su estabilidad y resiliencia frente a eventos climáticos extremos.

#### **9.4 Distribución del cambio de uso de suelo**

Con base en las Series I y VII de los productos cartográficos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a escala 1:250 000 se elaboró una comparación de los mapas de vegetación y uso de suelo de una microcuenca en los años 1976 y 2021 (imagen 22). Este análisis hecho en QGIS 3.30.3 permitió identificar los cambios ocurridos en el uso del suelo y la cobertura vegetal durante 47 años, aportando información clave para comprender las dinámicas territoriales y los procesos de transformación en la microcuenca.

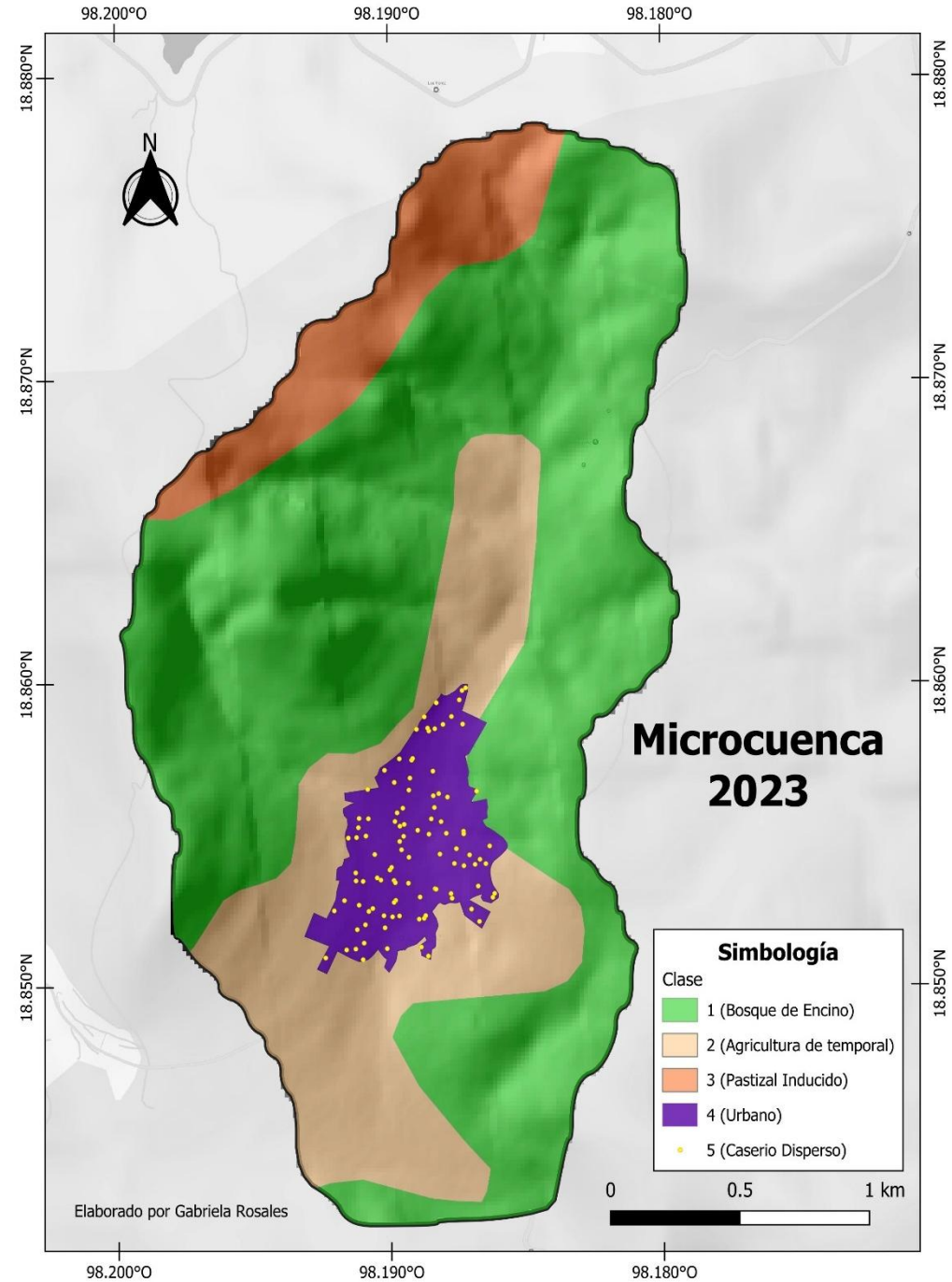
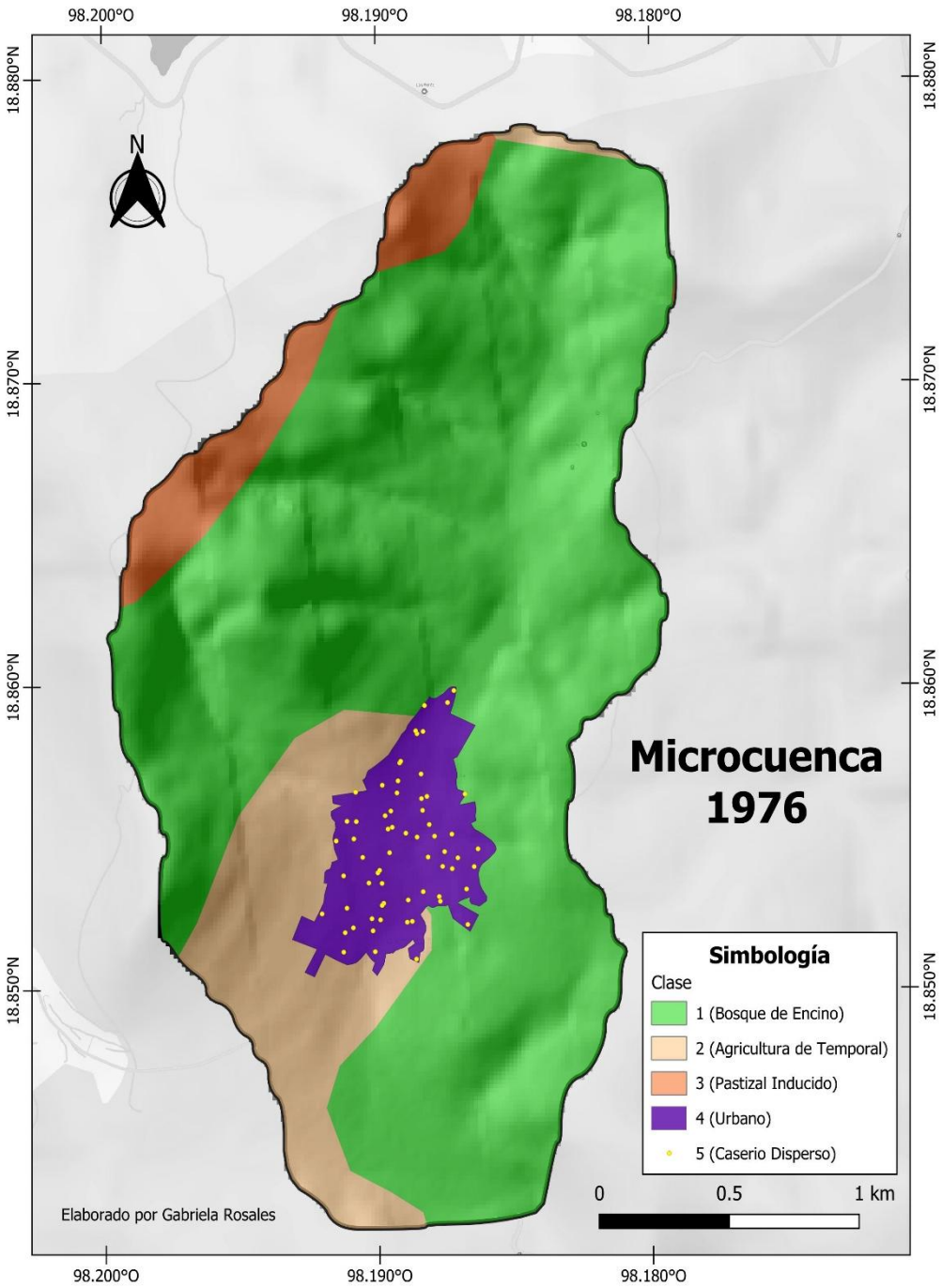


Imagen 22. Comparativa de las clases de uso de suelo en la microcuenca en 47 años.

Con esta información se desarrollaron tablas en Microsoft Excel con el propósito de organizar y detallar la información obtenida (tablas 14 y 15). Lo que proporciona una estructura sistemática para registrar y analizar los datos geoespaciales, permitiendo una fácil referencia y comparación de los diferentes atributos del uso del suelo y la vegetación en las áreas de interés.

Una vez recabada esta información se construyó una matriz de transición, donde se analiza de la dinámica de la vegetación y cambio de uso del suelo en hectáreas entre los años 1976 y 2021.

*Tabla 14. Tasa de cambio de vegetación y uso de suelo en la microcuenca.*

Clase	Superficie (Ha)		Tasas de Cambio 1976-2021	Porcentaje de Cambio (%)	Porcentaje en 1976	Porcentaje en 2021
	1976	2021				
<b>BE</b>	438.155	364.363	-0.00409	-0.41	79.78	66.34
<b>AT</b>	77.354	133.288	0.01216	1.22	14.08	24.27
<b>PI</b>	33.706	51.564	0.00949	0.95	6.14	9.39
<b>Total</b>	549.215	549.215				

VE: Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino

AT: Agricultura de temporal

PI: Pastizal Inducido

La tabla 14 revela cambios significativos en la vegetación y el uso del suelo dentro de la microcuenca durante el periodo comprendido entre 1976 y 2021. Se observa una disminución notable en la superficie cubierta por la vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (BE), con una tasa de cambio del -0.41%. Esta reducción implica una pérdida del hábitat boscoso, lo que podría tener consecuencias adversas para la biodiversidad local y la estabilidad ecológica de la microcuenca.

Por otro lado, se evidencia un incremento sustancial en la superficie destinada a la agricultura de temporal (AT), con una tasa de cambio del 1.22%. Este cambio en el uso del suelo puede generar impactos ambientales, como la pérdida de hábitats naturales, la erosión del suelo y la contaminación del agua debido al uso de agroquímicos. Asimismo, se registra un aumento en la superficie de pastizal inducido (PI) con una tasa de cambio del 0.95%. Este incremento sugiere una conversión de áreas anteriormente destinadas a otros usos hacia la creación de pastizales, lo que puede estar relacionado con actividades ganaderas o cambios en las prácticas de manejo del suelo. La expansión de pastizales inducidos puede tener implicaciones tanto ambientales como socioeconómicas, incluyendo

la pérdida de biodiversidad, cambios en el ciclo hidrológico y la generación de ingresos para los productores ganaderos.

*Tabla 15 Matriz de transición (2002 - 2021). Dinámica de uso de suelo (Ha).*

		T2_S7 (2021)			
T1_S2(1976)	BE	AT	PI	Total	
BE	337.748	76.028	24.379	438.155	
AT	19.060	57.259	1.035	77.354	
PI	7.556	NA	26.150	33.706	
Total	364.364	133.287	51.564	549.215	

La tabla 15 de la matriz de transición revela cambios significativos en el uso del suelo en la microcuenca durante el período de tiempo analizado. La pérdida notable de bosque de encino hacia la agricultura, que representa 76.028 hectáreas, sugiere una conversión considerable de áreas naturales hacia actividades agrícolas. La expansión del pastizal inducido en 24.379 hectáreas refleja una tendencia preocupante de deforestación y degradación del suelo. La conversión de áreas forestales en pastizales puede resultar en la pérdida de servicios ecosistémicos clave, como la captura de carbono, la regulación del agua y la protección contra la erosión del suelo.

Por otro lado, en la matriz de transición se observa una pequeña recuperación del bosque de encino de 19.060 contra la agricultura y de 7.556 contra el pastizal inducido, lo que sugiere una posible tendencia hacia la diversificación del uso del suelo o esfuerzos de restauración ambiental. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta recuperación es considerablemente menor que la pérdida experimentada hacia la agricultura y el pastizal inducido. Esta discrepancia resalta la urgencia de implementar medidas de conservación y manejo sostenible del paisaje para contrarrestar los efectos negativos de la deforestación y promover la recuperación de ecosistemas saludables.

Las transiciones y permanencias en el uso del suelo dentro de la microcuenca se explican con detalle en los datos analizados y se muestran claramente para su comprensión en el análisis visual correspondiente (imagen 23).

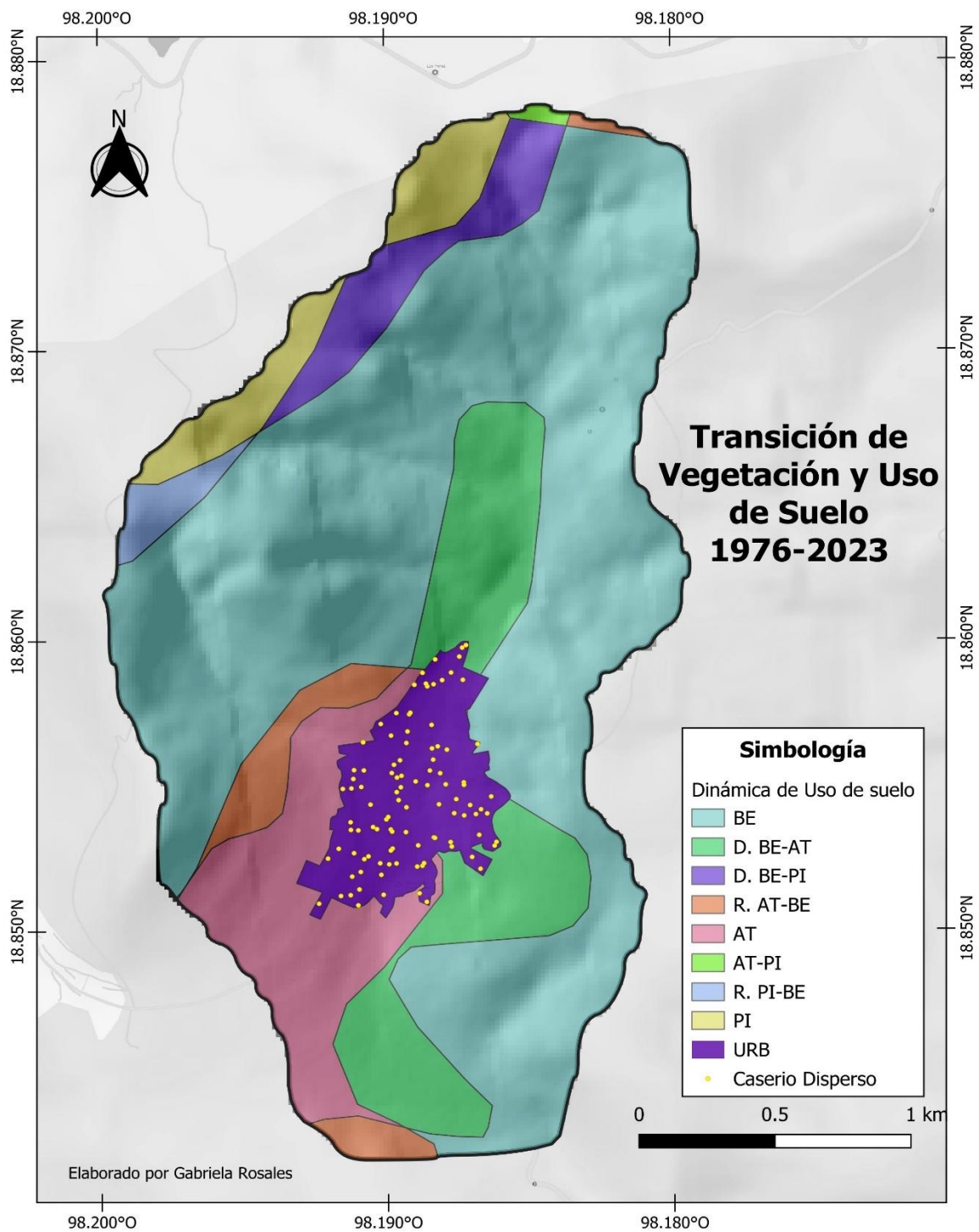
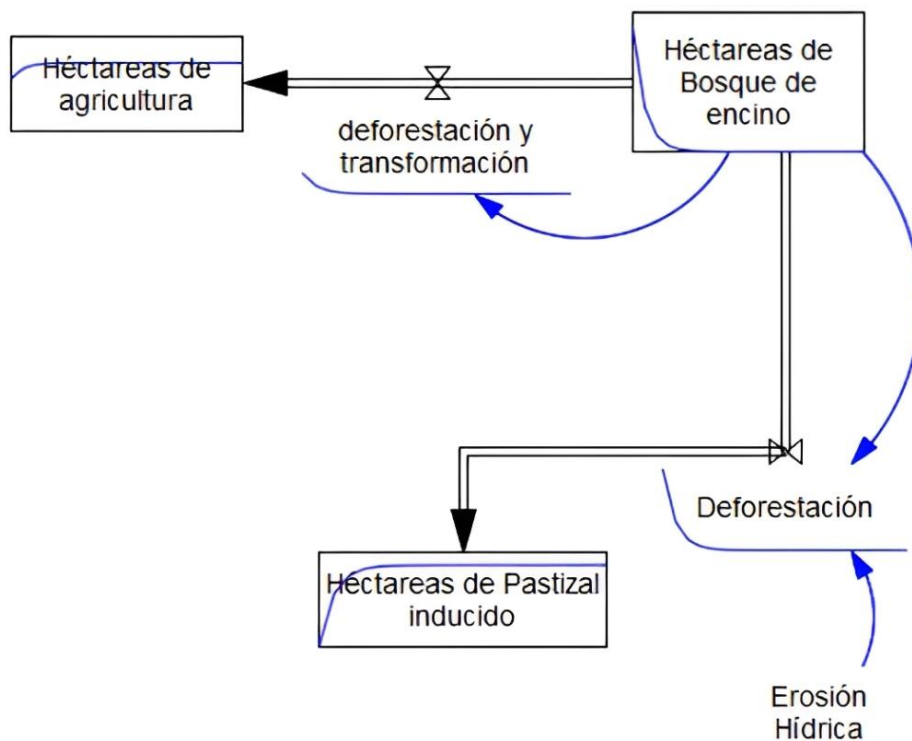


Imagen 23. Dinámica de transiciones de uso de suelo en la microcuenca.

Nota: "D" = deforestación. "R": recuperación

Finalmente se empleó el software VENSIM 10.2.1 para modelar las interacciones entre las clases de uso del suelo como parte del proceso de modelado del sistema. La información recolectada previamente y organizada utilizando QGIS y Excel sirvió como base para esta tarea. Los datos relacionados con las áreas, tasas de cambio y porcentajes de cambio entre las diferentes clases de uso del suelo ofrecen la información esencial para establecer las relaciones en el modelo (imagen 24).



*Imagen 24. Modelado del sistema de uso de suelo en la microcuenca del Aguacate.*

En el modelo, se comprueba que el bosque de encino está experimentando una reducción de su área en comparación con la agricultura y el pastizal inducido. Atribuyendo esta disminución a las transformaciones en el uso del suelo y a la deforestación que están ocurriendo en la zona.

El análisis detallado de la deforestación y el cambio de uso de suelo en la microcuenca revela una situación preocupante con importantes implicaciones ambientales y socioeconómicas. El modelado de interacciones entre las clases de uso del suelo confirma la tendencia hacia la reducción de 100.407 Ha de Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino. El aumento de áreas destinadas a la agricultura y pastizales inducidos refleja una tendencia hacia la transformación del paisaje natural en áreas dedicadas a actividades humanas.

Estos cambios están asociados con una serie de impactos negativos, incluyendo la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de servicios ecosistémicos clave. Además, el análisis estadístico revela que las tasas de cambio no siguen una distribución normal, lo que subraya la complejidad y la no linealidad de los procesos que influyen en la transformación del paisaje.

Se destaca la urgencia de implementar medidas de conservación y manejo sostenible del paisaje. Es crucial promover prácticas que fomenten la restauración ambiental y la protección de ecosistemas saludables, así como involucrar a las comunidades locales en procesos de planificación y toma de decisiones para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. En última instancia, abordar eficazmente la deforestación y el cambio de uso de suelo en la microcuenca requerirá una acción coordinada a nivel gubernamental, comunitario y científico, así como un compromiso continuo con la conservación de la biodiversidad y la protección del medio ambiente para las generaciones futuras.

#### **9.5 Condiciones ambientales del recurso agua**

Para el muestreo de agua en los diferentes puntos de la cuenca media y baja, se siguió la normativa mexicana aplicable, en particular la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. En este caso, se utilizaron botellas de PET limpias de aproximadamente 1 litro de capacidad, las cuales se enjuagaron con agua de la muestra para evitar su contaminación. Posteriormente, se llenaron las botellas siguiendo la misma norma.

Las muestras se almacenaron en recipientes etiquetados y se mantuvieron a una temperatura cercana a 4°C hasta su procesamiento en el laboratorio del Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas, donde se llevó a cabo su caracterización fisicoquímica y el análisis de metales pesados. Los parámetros de pH (medidos con un pHmetro electrónico de la marca HANNA).

### 9.5.1 Puntos de muestreo

Los puntos seleccionados para el muestreo identificados como A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5 corresponden a las áreas donde se detectó la presencia de agua a lo largo de la red hidrológica de la microcuenca. Para una mejor comprensión de su ubicación exacta, puede consultarse la representación cartográfica correspondiente (imagen 25).

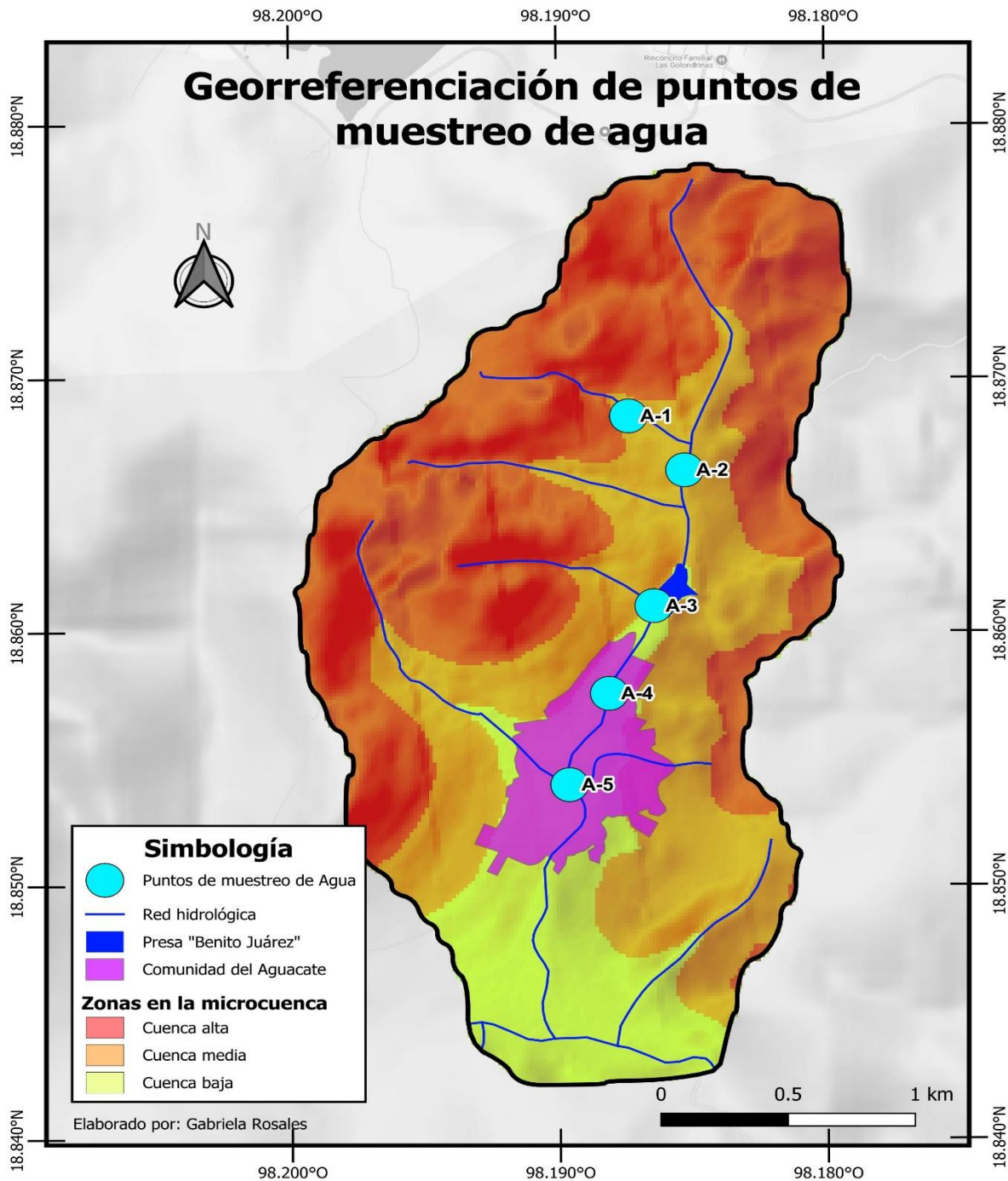


Imagen 25. Puntos de muestreo de agua

La georreferenciación de los puntos de muestreo de agua se detalla en cada sitio de la barranca, especificando las coordenadas de latitud, longitud y altitud (Tabla 16).

*Tabla 16. Localización geográfica de los puntos de muestreo de Agua.*

<b>Ubicación</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>
<b>Manantial</b>	A-1	18°52'6.5964" N	98°11'14.45316" W	2000 msnm
<b>Sembradío de Agave</b>	A-2	18°51'58.91"N	98°11'6.94" W	1964 msnm
<b>Presa "Benito Juárez"</b>	A-3	18°51'39.63888" N	98°11'11.15448" W	1950 msnm
<b>Desagüe</b>	A-4	18°51'27.21564" N	98°11'17.196" W	1931 msnm
<b>Jaguey</b>	A-5	18°51'14.274" N	98°11'22.58412" W	1917 msnm

En el primer punto de muestreo identificado como A-1 se recolectó en uno de los nacimientos de agua más cercanos a la población (imagen 26) que alimenta directamente el cauce de la barranca. Se consideró como un punto importante en el muestreo pues servirá como un punto de referencia para analizar el avance en la contaminación de la barranca.



*Imagen 26. Punto de muestro de agua A-1. Nacimiento de agua.*

El segundo punto de muestreo, identificado como A-2, se localiza al pie del Cuezco, una zona caracterizada por la presencia de un sembradío de agave. Este punto fue seleccionado por su ubicación intermedia entre el nacimiento del cuerpo de agua y la presa 'Benito Juárez', permitiendo así analizar las características y posibles variaciones en las condiciones del agua conforme avanza en su trayecto. Además, su posición ofrece una perspectiva representativa de los efectos que podrían tener tanto las actividades agrícolas como otros factores naturales o antropogénicos presentes en esta zona (imagen 27).



*Imagen 27. Punto de muestreo A-2. Sembradío de agave.*

El tercer punto de muestreo, identificado como A-3, está ubicado en la presa 'Benito Juárez', la cual se encuentra en la cuenca baja (imagen 28). Esta presa constituye un recurso hídrico de gran relevancia para la localidad, debido a su aporte fundamental en las actividades agrícolas locales. Su agua es utilizada por algunos pobladores para el riego de cultivos, una práctica esencial que no solo garantiza la producción agrícola, sino también el sustento económico y alimentario de las familias que dependen de estas labores.



*Imagen 28. Punto de muestreo A-3. Presa "Benito Juárez".*

En el cuarto punto, identificado como A-4, se localiza al inicio del asentamiento humano. En este lugar, se encuentra un desagüe de aguas grises que proviene de los hogares situados junto a la barranca. Es crucial señalar que, al lado de este desagüe expuesto al aire libre, están ubicados el kínder y la primaria de la comunidad, instituciones educativas que atienden a niños de entre 3 y 12 años.

Adicionalmente, en esta misma área se hallan tres establecimientos comerciales: una miscelánea y dos cocinas. Estos locales son frecuentados diariamente por decenas de turistas que hacen una parada para consumir alimentos y bebidas, aprovechando su ubicación estratégica y la oferta local (imagen 29).



*Imagen 29. Punto de muestreo A-4. Desagüe a cielo abierto.*

El quinto punto, identificado como A-5, se encuentra ubicado junto a la plaza principal de la localidad, lugar donde también se localizan el bachillerato y la capilla de la comunidad. Este punto fue seleccionado como el último sitio de muestreo debido a su relevancia ya que aquí es donde el cauce natural culmina su trayecto. Actualmente, el flujo del cauce ha sido desviado con el propósito de formar un pequeño jagüey, el cual cumple una función clave al servir como fuente de riego para un sembradío de alfalfa ubicado a un costado de la carretera, frente a la plaza principal (imagen 30).



*Imagen 30. Punto de muestreo A-5. Jagüey a un costado de la plaza principal.*

En cada uno de los puntos de muestreo seleccionados, se llevaron a cabo procedimientos estrictamente alineados con los protocolos establecidos en la normativa mexicana vigente, con el objetivo de asegurar tanto la validez como la integridad de los resultados obtenidos. Durante la realización del muestreo, se documentaron de manera minuciosa y detallada todas las etapas del proceso, lo que incluyó registrar las condiciones ambientales predominantes en el momento de la recolección, describir exhaustivamente las técnicas y herramientas empleadas para la toma de muestras, así como anotar cualquier observación relevante. Estos registros abarcaron factores como posibles alteraciones en las características físicas del agua, fuentes de contaminación cercanas y cualquier variable que pudiera influir directa o indirectamente en las muestras recolectadas. Este enfoque riguroso permitió garantizar un mayor nivel de precisión en el análisis posterior y asegurar que los datos recopilados sean representativos de las condiciones reales del entorno evaluado.

### **9.5.2 Estudio fisicoquímico y microbiológico de agua**

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua se realizó en dos muestreos consecutivos para evaluar las condiciones del recurso hídrico en cinco puntos específicos (A-1 a A-5). Estos puntos incluyen un manantial, áreas cercanas a cuerpos de almacenamiento de agua y zonas posiblemente influenciadas por actividades humanas. Los resultados obtenidos permiten describir las características químicas y microbiológicas del agua en cada sitio, en comparación con los límites establecidos en normativas oficiales.

Los valores medidos para cada parámetro en ambos muestreos se presentan junto con los límites establecidos en las normas NOM-001-SEMARNAT-2021, que regula descargas de aguas residuales, y NOM-127-SSA1-2021, aplicable al agua destinada para consumo humano. Los parámetros analizados incluyen indicadores fisicoquímicos como el pH, la conductividad eléctrica y la dureza, así como indicadores microbiológicos como la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* sp. Este análisis permite identificar diferencias entre los puntos de muestreo y su relación con los valores normativos (Tabla 17).

Tabla 17. Resultados obtenidos para el análisis del agua de la barranca.

Parámetros		Unidades	Muestreo 1					Muestreo 2					NOM-001-SEMARNAT-2021			NOM-127-SSA1-2021
			A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	Embalse	Arroyo	Infiltración y otros riegos	Uso y consumo humano
Fisicoquímicos	pH	UpH	7.6	7.6	8.4	9.0	7.7	7.4	7.8	8.9	7.7	7.8	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6.5 - 8.5
	Conductividad eléctrica	µS/cm	478	676	391	3968	740	491	718	343	1605	795	NA	NA	NA	NA
	Alcalinidad	mg/L	340	365	210	435	365	300	472.5	860	400	560	NA	NA	NA	NA
	Dureza		208.2	320	168.1	252.2	336.3	92.0	196.0	16.0	236	216	NA	NA	NA	500
	DQO		21	86	92	114	16	42	17	69	195	11	140	210	210	NA
Fosforo Total	0		0.307	0.177	4.190	0.223	0.180	0.142	0.233	4.905	0.277	15	21	NA	NA	
Microbiológicos	<i>E. Coli.</i>	NMP/100 ml	5	ND	2	>16	16	>16	ND	>16	>16	ND	600	600	600	< 1.1 o No detectable
	Coliformes fecales Termotolerantes	Ausencia (A) o Presencia (P) /100 ml	P	A	P	P	P	P	A	P	P	A	NA	NA	NA	Ausencia
	<i>Salmonella sp.</i>		-	-	-	-	-	P	A	P	P	A				

Nota: 1) NA: No aplica. 2) No presenta. 3) La muestra A-3 es la única que se compara con la normativa para embalses.

Los parámetros fisicoquímicos reflejan condiciones del agua entre neutras y ligeramente alcalinas, con valores de pH entre 7.4 y 9.0. Durante la sequía, los valores más altos se registraron en A-3 y A-4, con 8.4 y 9.0, respectivamente, debido a la acumulación de compuestos alcalinos. En la temporada de lluvias, el pH disminuyó en la mayoría de los puntos lo que podría deberse a la dilución llevada a cabo durante esta temporada, aunque en A-3 persisten condiciones alcalinas, lo que indica que los aportes externos no logran neutralizar estos compuestos.

La conductividad eléctrica varió significativamente, alcanzando un máximo de 3968  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en A-4 durante la sequía, lo que señala una alta concentración de sales por evaporación y acumulación de compuestos. Con las lluvias, la conductividad disminuye en la mayoría de los puntos debido a la dilución, excepto en A-2, donde aumentó de 676 a 718  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , probablemente por el arrastre de minerales provenientes del sembradío de agave cercano.

La alcalinidad elevada en todos los puntos indica una alta capacidad para neutralizar ácidos, favoreciendo la estabilidad del pH. Durante la sequía, el punto A-4 presentó un valor de 435 mg/L, mientras que en las lluvias este valor se incrementó a 860 mg/L. En A-5, los valores aumentaron de 365 mg/L a 560 mg/L, lo que refleja el aporte de sedimentos alcalinos arrastrados desde las áreas circundantes.

La dureza del agua varió ampliamente, reflejando la presencia de minerales como calcio y magnesio. En la sequía, A-5 presentó el valor más alto, con 336.3 mg/L, lo que indica acumulación de minerales en este punto. Durante las lluvias, la dureza disminuyó en la mayoría de los puntos debido a la dilución, pero en A-4 se mantuvieron niveles elevados (252.2 mg/L y 236 mg/L respectivamente), probablemente debido al arrastre continuo de materiales calcáreos.

La demanda química de oxígeno (DQO), que mide la cantidad de materia orgánica y compuestos químicos en el agua, presentó valores elevados en A-3 (92 mg/L) y A-4 (114 mg/L) durante la sequía. En las lluvias, este parámetro aumentó significativamente en A-4, alcanzando 195 mg/L, lo que refleja un aporte considerable de materia orgánica y compuestos químicos transportados por las escorrentías hacia el desagüe.

El fósforo total presentó concentraciones muy altas en A-4, con 4.190 mg/L durante la sequía y 4.905 mg/L en las lluvias. Estos valores indican un fuerte arrastre de compuestos

fosfatados, posiblemente provenientes de jabones y detergentes que ingresan al desagüe junto con aguas residuales. La temporada de lluvias acentúa este fenómeno al movilizar residuos domésticos o compuestos agrícolas desde las áreas circundantes hacia este punto. La acumulación de fósforo en el desagüe sugiere que este lugar actúa como un receptor significativo de contaminantes asociados a actividades humanas.

En el caso de *E. coli*, A-1 mostró una carga baja de 5 NMP/100 ml, que aumentó a >16 NMP/100 ml, lo que sugiere que las precipitaciones contribuyeron al arrastre de contaminantes. A-2 no presentó *E. coli* en ninguna medición, lo que indica que esta fuente estuvo libre de contaminación. En A-3, los valores eran bajos con 2 NMP/100 ml, pero aumentaron a >16 NMP/100 ml, lo que podría deberse a la escorrentía que arrastró contaminantes hacia la presa. A-4 mostró niveles altos con >16 NMP/100 ml, y A-5 presentó 16 NMP/100 ml inicialmente, pero luego fue ND, lo que sugiere que las precipitaciones pudieron haber diluido o desplazado la contaminación.

En cuanto a los coliformes fecales termotolerantes, A-1 mostró presencia en ambas mediciones, indicando contaminación constante. A-2 no presentó coliformes en ninguna medición, lo que sugiere que esta fuente estuvo limpia de contaminación fecal. A-3, A-4 y A-5 mostraron presencia de coliformes en la primera medición, y aunque A-5 mostró ausencia en la segunda, las otras fuentes mantuvieron la presencia de coliformes.

En cuanto a *Salmonella sp.*, A-1 mostró presencia en ambas mediciones, lo que indica contaminación continua. A-2 no presentó *Salmonella sp.* en la primera medición, pero sí en la segunda, lo que sugiere que las precipitaciones facilitaron la propagación de este patógeno. A-3, A-4 y A-5 mostraron presencia en ambas mediciones, aunque A-5 mostró ausencia en la segunda medición, lo que sugiere que las precipitaciones pudieron haber reducido la carga de este patógeno en esa fuente.

Al analizar las muestras en dos épocas del año, se encontró que los parámetros del agua no exceden los límites permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-2021; sin embargo, los valores microbiológicos no cumplen con la NOM-127-SSA-2021, lo que impide su uso como agua potable o para actividades domésticas. A pesar de esta limitación, el agua puede destinarse a riego y a procesos de infiltración en el suelo, siempre que se respeten las normativas correspondientes y se evite el contacto directo con humanos.

### 9.5.3 Contenido de metales pesados en agua

Los resultados obtenidos en los análisis de las muestras de agua recolectadas en distintos puntos del área de estudio se sintetizan, incluyendo las concentraciones detectadas de metales pesados clave, como cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu) y zinc (Zn), en cada una de las muestras etiquetadas de A-1 a A-5 (tabla 18).

Tabla 18. Resultados obtenidos para el análisis del agua de la barranca.

Parámetros		Unidades						NOM-001-SEMARNAT-2021			NOM-127-SSA1-2021
			A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	Embalse	Arroyo	Infiltración y otros riegos	Uso y consumo humano
Metales	Cadmio	mg/L	NP	NP	NP	NP	NP	0.4	0.2	0.2	0.005
	Cromo		1.07	0.16	0.08	0.10	0.01	1.50	1	1	0.05
	Cobre		0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	6	6	6	2
	Níquel		NP	NP	NP	NP	NP	4	4	4	0.07
	Plomo		NP	NP	NP	NP	NP	0.4	0.4	0.4	0.01
	Zinc		0.18	0.09	0.07	0.06	0.05	20	20	20	NA

Nota: 1) NA: No aplica. 2) No presenta. 3) La muestra A-3 es la única que se compara con la normativa para embalses.

En el análisis de los metales pesados en las muestras de agua, no se detectó cadmio en ninguna de las muestras (A-1 a A-5), lo que es un resultado positivo, dado que el cadmio es altamente tóxico incluso en concentraciones muy bajas. Esto cumple con los límites establecidos para el consumo humano según la NOM-127-SSA1-2021, que establece un límite de 0.005 mg/L para este metal. La ausencia de cadmio sugiere que no existen fuentes de contaminación relevantes para este metal en la zona evaluada.

Por otro lado, el cromo presentó una concentración alta en la muestra A-1, con 1.07 mg/L, lo que supera el límite permitido para consumo humano de 0.05 mg/L, según la misma

norma. Las muestras A-2 y A-3 mostraron concentraciones más bajas (0.16 mg/L y 0.08 mg/L, respectivamente), y A-4 y A-5 estuvieron por debajo del límite permitido. Este hallazgo podría estar relacionado con la contaminación vehicular en la zona cercana al manantial, ya que las partículas de cromo generadas por el desgaste de frenos y componentes automotrices pueden ser transportadas por el aire y depositadas en el agua.

En cuanto al cobre, las concentraciones fueron bajas y homogéneas en todas las muestras (0.01 a 0.02 mg/L), lo que está muy por debajo del límite establecido para el consumo humano (2 mg/L). Este resultado refleja un bajo impacto de fuentes externas de contaminación con cobre en las áreas analizadas. Sin embargo, se podría considerar que el cobre podría ser transportado por corrientes de aire o arrastre desde suelos agrícolas o urbanos cercanos, aunque en niveles no preocupantes.

Respecto al níquel y al plomo, no se detectaron en ninguna de las muestras. Este resultado es favorable, ya que ambos metales son tóxicos y su presencia en niveles superiores a los establecidos por la NOM-127-SSA1-2021 representaría un riesgo significativo para la salud humana. La ausencia de estos metales sugiere que no existen fuentes locales evidentes ni transporte significativo desde áreas cercanas a través del aire o el agua.

Finalmente, las concentraciones de zinc fueron moderadamente bajas (entre 0.05 mg/L y 0.18 mg/L) y se mantuvieron muy por debajo del límite permitido para riego, que es de 20 mg/L según la NOM-001-SEMARNAT-2021. Aunque no existe un límite específico para el consumo humano, los valores encontrados no representan un riesgo. El zinc podría estar siendo transportado por la deposición atmosférica o el arrastre de materiales de construcción, especialmente en las muestras de A-1 y A-2, donde las concentraciones fueron ligeramente más altas.

## 9.6 Condiciones ambientales del suelo

Se seleccionaron y georreferenciaron 21 puntos de muestreo de suelo (imagen 31). En cada punto se recolectaron aproximadamente 2 kg de suelo a una profundidad de 40 cm, empleando una barrena para obtener muestras homogéneas y representativas. Todas las muestras fueron etiquetadas con la fecha de recolección y datos relevantes para su identificación, garantizando un análisis detallado y trazable

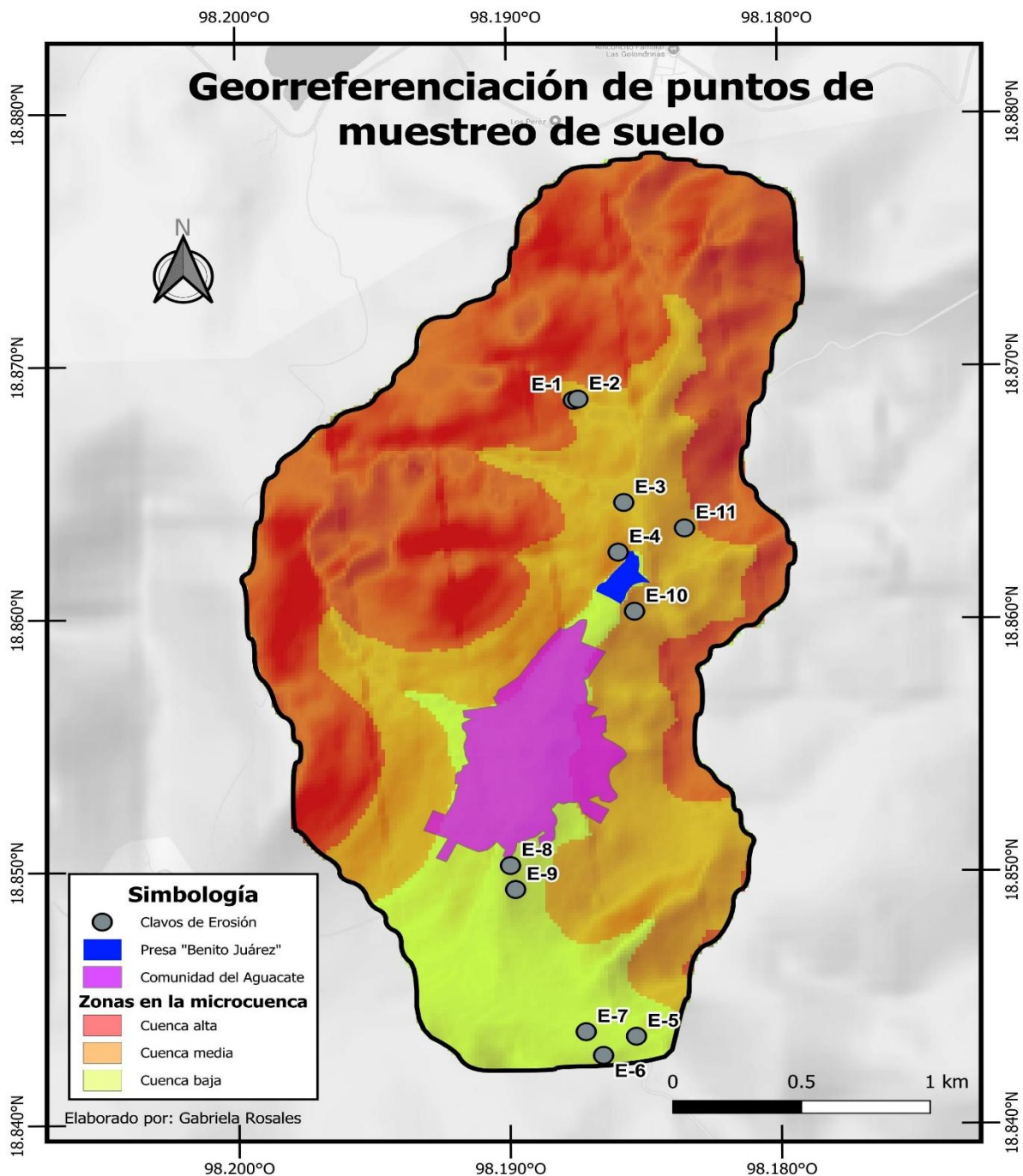


Imagen 31. Puntos muestreo de suelo

La ubicación geográfica de los puntos de muestreo de suelo se detalla, proporcionando información precisa sobre las coordenadas y características específicas de cada sitio evaluado (tabla 19).

Tabla 19. Localización geográfica de los puntos de muestreo de suelo.

Muestra	Latitud (DMS)	Longitud (DMS)	Altitud (msnm)
S-1	18° 52' 4.566" N	98° 11' 22.428" W	2068
S-2	18° 52' 3.456" N	98° 11' 23.726" W	2063
S-3	18° 51' 56.793" N	98° 11' 26.475" W	2024
S-4	18° 51' 55.23" N	98° 11' 22.422" W	2025
S-5	18° 51' 55.163" N	98° 11' 19.178" W	2006
S-6	18° 51' 53.627" N	98° 11' 9.251" W	1963
S-7	18° 52' 3.088" N	98° 11' 6.954" W	1971
S-8	18° 52' 3.801" N	98° 10' 52.779" W	2076
S-9	18° 52' 5.49" N	98° 10' 53.682" W	2065
S-10	18° 52' 5.418" N	98° 10' 53.706" W	2065
S-11	18° 52' 5.418" N	98° 10' 53.706" W	2065
S-12	18° 51' 37.164" N	98° 11' 7.164" W	1971
S-13	18° 51' 3.92" N	98° 11' 22.402" W	1912
S-14	18° 50' 57.343" N	98° 11' 23.553" W	1917
S-15	18° 50' 38.142" N	98° 11' 7.488" W	1901
S-16	18° 50' 34.084" N	98° 11' 3.276" W	1877
S-17	18° 50' 57.126" N	98° 11' 32.106" W	1919
S-18	18° 50' 59.369" N	98° 11' 33.704" W	1929
S-19	18° 52' 6.596" N	98° 11' 14.453" W	2000
S-20	18° 51' 59.7" N	98° 11' 8.264" W	1973
S-21	18° 50' 35.721" N	98° 11' 6.597" W	1877

### 9.6.1 Descripción del perfil predominante de suelo

En el perfil del suelo se aprecia la presencia de un espesor friable en las capas, lo que favorece la aireación y retención de agua, beneficiando el crecimiento de las plantas, especialmente el desarrollo de raíces y la absorción de nutrientes (tabla 20). Dentro de la capa A y B, se pueden encontrar raíces abundantes lo que indica una actividad biológica saludable, lo cual es positivo para la descomposición de la materia orgánica y la mejora de la estructura del suelo (imagen 32). Dado que la textura es friable en las tres capas se puede llegar a la conclusión que se presenta un posible Fluvisol. Un Fluvisol es un tipo de suelo que se forma a partir de sedimentos depositados por la acción fluvial, lo que significa que es influenciado por la actividad de ríos o corrientes de agua. Los Fluvisoles se hallan en zonas elevadas y en pendientes pronunciadas, y constituyen suelos formados a partir de aluviones recientes (SEMARNAT, 2023). Por otra parte, la revisión bibliográfica muestra

que la zona se encuentra dentro de un Vertisol (INEGI, 2022). En general, la combinación de un espesor friable y la presencia de raíces saludables sugiere un suelo propicio para la agricultura u otras actividades vegetales. Si efectivamente se trata de un Fluvisol, la influencia fluvial puede haber contribuido a estas características.

Tabla 20. Características del perfil de suelo, punto de muestreo S-7.



Imagen 32. Perfil de Suelo. Elaborado por Dr. Víctor Tamariz

Horizonte	Profundidad	Descripción
A	0-30	<p>Espesor friable</p> <p>Abundantes raíces</p> <p>Raíces delgadas y medianas</p> <p>Color café oscuro</p>
B	30-60	<p>Ligeramente compacta</p> <p>Friable</p> <p>Raíces abundantes</p> <p>Color café oscuro</p> <p>Sin reacción al HCl</p>
C	60-120	<p>Más compacta</p> <p>Friable</p> <p>Sin raíces</p> <p>Color café claro</p>

### 9.6.2 Caracterización de la zona alta de la microcuenca para muestreos de suelo

Los puntos de muestreo en la cuenca alta se localizan en una zona predominantemente cubierta por un bosque de encino \*sensu\* Pérez et al. (2018), cerca de los nacimientos de agua que alimentan la presa Benito Juárez y el cauce de la barranca. La caracterización del sitio se resume a continuación (tabla 21).

Tabla 21. Características de la zona de muestreo de suelo cuenca alta.

<b>Muestreo en la cuenca alta</b>	
<b>Vegetación</b>	Encino. Pino. Mezquite. Palma. Abundante hojarasca
<b>Erosión</b>	Muy fuerte. Roca expuesta. Erosión en laminas
<b>Relieve</b>	Pendiente alomada. Mayor a 30°
<b>Agua</b>	Cauce del rio prácticamente seco. Agua estancada. Abundantes algas en el agua
<b>Suelo</b>	Abundantes raíces y microorganismos. Depósito de Materia orgánica. Presencia de Carbonatos. Textura arenosa. Posible Fluvisol
<b>Uso de suelo</b>	Pastoreo mayormente caprino y bovino.

En estos puntos se encuentra una vegetación variada, que incluye encinos, pinos, mezquites y palmas, lo cual, indica una riqueza biológica significativa en el área de estudio. La abundante hojarasca sugiere una alta producción de materia orgánica y un potencial ciclo de nutrientes activo en el suelo. Cabe mencionar que en la zona muestreada hay presencia de agua estancada y escasez de flujo en el cauce. La abundancia de algas en el agua remanente es un indicio de la disponibilidad de nutrientes y las propiedades del agua en el sitio de muestreo. Pues podría estar relacionado con la deposición de materia orgánica y nutrientes provenientes de la vegetación circundante.

La erosión pronunciada y la exposición de rocas encontradas en la zona de estudio son indicadores de un alto grado de perturbación en el área puede estar relacionado con factores como la topografía, las condiciones climáticas y la actividad humana. Por su parte, el uso de suelo para el pastoreo de cabras y vacas es un factor importante por considerar, ya que puede tener implicaciones en la estructura del suelo y la composición de la comunidad microbiana. La presencia de abundantes raíces y microorganismos sugiere una actividad biológica activa y la posibilidad de interacciones ecológicas complejas en el suelo.

La presencia de carbonatos indica la posible existencia de fluvisoles, suelos ricos en minerales de carbonato y suelen estar asociados con la sedimentación fluvial. Estos suelos

pueden tener propiedades físicas y químicas únicas que influyen en la disponibilidad de nutrientes y la retención de agua. La textura arenosa del suelo implica una alta proporción de partículas de arena, lo que puede afectar la retención de agua y nutrientes. Además, la presencia de erosión en láminas sugiere la acción de procesos erosivos que pueden llevar a la pérdida de suelo fértil y la degradación del paisaje.

### 9.6.3 Caracterización de la zona medio cuenca media para muestreos de suelo

Los puntos de muestreo en la cuenca media se ubican en la desembocadura hacia la presa y en la base de los cerros mencionados anteriormente, cerca de la comunidad. La caracterización de esta zona se resume a continuación (tabla 22).

Tabla 22. Características de la zona de muestreo de suelo y agua en la cuenca media.

<b>Muestreo en la cuenca media</b>	
<b>Vegetación</b>	Encino. Chaparro. Palma.
<b>Erosión</b>	Muy fuerte. Roca expuesta. Erosión en laminas
<b>Relieve</b>	Pendiente alomada. Mayor a 30°
<b>Agua</b>	Moderada
<b>Suelo</b>	Abundantes raíces y microorganismos. Depósito de Materia orgánica. Presencia de Carbonatos.
<b>Uso de suelo</b>	Pastoreo mayormente caprino y bovino.

En el primer muestreo, el agua presente en el cauce de la barranca era baja, mientras que en el segundo muestreo era moderada debido a que los días anteriores había estado lloviendo. En estos puntos podemos encontrar una vegetación variada, que incluye mayormente palmas y cactáceas, aunque también cuenta con encinos y chaparros (*Quercus coccoifera*), lo que indica una riqueza biológica significativa en la parte media de la microcuenca. La hojarasca se encuentra presente, pero en menor grado que en la parte alta.

En este tramo la erosión es aún más pronunciada, la exposición de rocas es mayor en esta zona lo cuales son indicadores de un alto grado de perturbación en el área puede estar relacionado con factores como la topografía, las condiciones climáticas y mayormente la actividad humana como. El uso de suelo para el pastoreo de cabras y vacas, al igual que la agricultura, puede tener implicaciones en la estructura física y química del suelo.

#### 9.6.4 Caracterización de la cuenca baja para muestreos de suelo

En la cuenca baja se realizaron muestreos durante las visitas a campo efectuadas el 8 de mayo y el 22 de agosto. Estas muestras permiten analizar las condiciones del área en distintos momentos del año, considerando posibles variaciones estacionales. Las características específicas de los puntos de muestreo y sus condiciones ambientales se detallan a continuación (tabla 23).

Tabla 23. Características de la zona de muestreo de suelo en la cuenca baja.

<b>Punto de muestreo 3</b>	
<b>Vegetación</b>	Encino. Mezquite. Palma. Chaparro. Poca hojarasca. Cactáceas
<b>Erosión</b>	Leve. Roca expuesta. Erosión en laminas
<b>Relieve</b>	Pendiente alomada. Mayor a 30°
<b>Agua</b>	Cauce del río seco
<b>Suelo</b>	Abundantes raíces y microorganismos. Presencia de Carbonatos. Textura arenosa
<b>Uso de suelo</b>	Pastoreo intensivo (caprino, bovino y equino)

Durante el primer muestreo llevado a cabo donde se evidencia la escasez total de agua. Sin embargo, durante el segundo muestreo, por la temporada de lluvias, los cauces de las barrancas del Aguacate y de la Cantera, se unieron en el Jagüey conocido como “La poza larga” se encontraba con abundante agua. En este punto, se recolectaron muestras de suelo para evaluar posibles cambios en la composición del suelo debido a la falta de humedad.

La vegetación presente es, encinos, mezquites, palmas y chaparros. La erosión leve encontrada, puede indicar una menor degradación del suelo en comparación con los otros puntos. El relieve se caracteriza por una pendiente alomada mayor a 30 grados es un factor determinante en la distribución de la vegetación y en los procesos erosivos del suelo. Es importante destacar, que este punto, representa un lugar importante por su papel histórico y su influencia en la hidrología local, ya que sin importar la época del año siempre se podía encontrar agua estancada en ella, sin embargo, en la primera visita, está se encontraba totalmente seca. Mientras que la abundancia de raíces y microorganismos en el suelo indica una alta actividad biológica y una posible mejora de las propiedades y la estructura del suelo.

Los puntos de muestreo de suelo seleccionado son de interés debido a las diversas características observadas en el lugar. Estas características ofrecen una oportunidad para investigar y comprender los procesos ecológicos y geológicos que ocurren en esta zona, con el objetivo de recopilar datos precisos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, así como analizar las condiciones y composición del agua. Las muestras recolectadas fueron trasladadas a los laboratorios del departamento de investigación en ciencias agrícolas (DICA) donde fueron tamizadas y secadas según la norma NOM-021-RECNAT-2000 para su posterior almacenamiento y análisis.

#### **9.6.5 Resultado de los estudios fisicoquímicos de suelo**

Los parámetros fisicoquímicos del suelo influyen directamente en los procesos ecológicos y productivos del área. Estos incluyen el pH, la conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica, la textura del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes esenciales. Cada uno de estos factores tiene un impacto directo en la fertilidad del suelo y en su capacidad para sustentar la vida vegetal y microbiana, elementos clave para el equilibrio del ecosistema (FAO, 2006; SEMARNAT, 2002).

El pH regula la solubilidad de los nutrientes y la actividad microbiana, mientras que la conductividad eléctrica mide la concentración de sales disueltas, lo que permite identificar problemas de salinidad (SEMARNAT, 2002). El contenido de materia orgánica es esencial porque está vinculado con la retención de humedad, la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes (FAO, 2006). Además, la textura, determinada por la proporción de arena, limo y arcilla, influye en el drenaje, aireación y retención de agua, factores cruciales para el crecimiento vegetal (USDA, 2017).

La capacidad de intercambio catiónico refleja la cantidad de nutrientes que el suelo puede retener y liberar para las plantas, siendo un factor clave para la fertilidad y productividad del ecosistema (FAO, 2006). El análisis de los resultados, basado en la NOM-021-RECNAT-2021, permite comprender el estado del suelo en distintas áreas de la microcuenca. Los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos se presentan a continuación (Tablas 24 y 25).

Tabla 24. Propiedades químicas de los suelos evaluados.

Localización	Clave	pH	CE (dS/m)	% M.O.	% N total	Fósforo Olsen (mg Kg-1)	CIC (Cmol (+) Kg-1)	Bases Intercambiables (Cmol (+) Kg-1)			
								Na	K	Ca	Mg
								Flamometría		Volumetría	
Microcuenca alta	AS-1	6.4 ± 0.04	0.29 ± 0.68	3.0 ± 0.05	0.11 ± 0.00	5.9 ± 0.013	28.0 ± 0.05	0.39	3.79	11.40	5.40
	AS-2	6.8 ± 0.01	0.33 ± 0.15	3.2 ± 0.12	0.14 ± 0.10	8.8 ± 0.014	21.3 ± 0.03	0.38	1.95	15.00	2.00
	AS-3	6.3 ± 0.03	0.25 ± 0.30	3.0 ± 0.14	0.15 ± 0.07	3.8 ± 0.015	20.0 ± 0.05	0.43	1.72	10.00	4.20
	AS-4	6.3 ± 0.02	0.34 ± 0.52	1.7 ± 0.05	0.08 ± 0.01	3.2 ± 0.004	16.0 ± 0.00	0.42	1.87	10.80	0.80
	AS-8	6.6 ± 0.04	0.59 ± 0.53	5.6 ± 0.00	0.20 ± 0.13	4.6 ± 0.008	14.7 ± 0.03	0.37	5.13	8.20	1.20
	AS-9	8.0 ± 0.01	1.13 ± 0.64	8.1 ± 0.00	0.31 ± 0.23	2.4 ± 0.002	16.0 ± 0.03	0.49	4.97	27.80	1.20
	AS-10	7.4 ± 0.01	0.80 ± 0.15	4.7 ± 0.05	0.23 ± 0.08	5.3 ± 0.012	20.0 ± 0.06	0.44	1.82	17.00	3.00
	AS-11	7.0 ± 0.03	0.54 ± 0.72	3.3 ± 0.08	0.15 ± 0.11	6.1 ± 0.011	17.3 ± 0.03	0.62	4.10	17.40	3.80
Microcuenca media	MS-5	7.7 ± 0.01	1.21 ± 0.87	9.7 ± 0.08	0.22 ± 0.20	5.0 ± 0.012	21.3 ± 0.00	0.36	4.15	28.00	1.20
	MS-6	6.5 ± 0.01	0.75 ± 0.00	7.3 ± 0.08	0.25 ± 0.16	7.2 ± 0.006	21.3 ± 0.05	0.40	1.79	18.60	2.20
	MS-7	7.6 ± 0.03	0.32 ± 1.07	1.2 ± 0.05	0.04 ± 0.03	1.9 ± 0.026	18.7 ± 0.03	0.50	1.77	12.40	3.00
	MS-12	8.1 ± 0.01	0.58 ± 0.71	0.6 ± 0.05	0.03 ± 0.10	1.5 ± 0.003	32.0 ± 0.00	0.43	1.54	30.20	0.80
	MS-19	7.8 ± 0.01	1.39 ± 0.45	13.0 ± 0.00	0.53 ± 0.17	4.5 ± 0.014	32.0 ± 0.06	0.43	7.24	27.40	1.60
	MS-20	7.5 ± 0.01	0.34 ± 1.25	4.4 ± 0.00	0.17 ± 0.43	7.6 ± 0.001	24.0 ± 0.13	0.46	1.72	11.80	2.00
Microcuenca baja	BS-13	8.0 ± 0.00	0.48 ± 0.61	6.2 ± 0.05	0.13 ± 0.50	7.2 ± 0.014	42.7 ± 0.00	0.52	4.05	27.40	1.20
	BS-14	7.8 ± 0.01	0.56 ± 0.80	9.2 ± 0.09	0.24 ± 0.15	14.1 ± 0.006	36.0 ± 0.00	0.43	19.23	22.40	1.40
	BS-15	7.8 ± 0.03	0.65 ± 0.95	10.5 ± 0.00	0.38 ± 0.04	10.3 ± 0.009	48.0 ± 0.00	0.42	4.77	27.20	1.60
	BS-16	8.3 ± 0.01	0.39 ± 0.40	2.2 ± 0.05	0.06 ± 0.00	13.7 ± 0.005	16.0 ± 0.03	0.36	1.71	15.20	2.40
	BS-17	7.8 ± 0.01	0.36 ± 0.00	4.0 ± 0.08	0.20 ± 0.18	14.1 ± 0.001	24.0 ± 0.00	0.40	1.74	14.40	1.40
	BS-18	8.4 ± 0.01	0.40 ± 0.95	3.4 ± 0.08	0.13 ± 0.03	11.2 ± 0.001	26.7 ± 0.00	0.35	2.64	25.80	1.40
	BS-21	8.0 ± 0.01	0.72 ± 1.79	5.9 ± 0.05	0.18 ± 0.16	0.6 ± 0.000	25.3 ± 0.03	0.38	7.37	26.00	1.60

Tabla 25. Propiedades físicas de los suelos evaluados.

Localización	Clave	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Clase Textural				Análisis Cualitativo de CaCO <sub>3</sub> con HCl 10%	
			Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)	Clave	Concentración	Descripción
Microcuencia alta	AS-1	1.15 ± 0.18	52	12	36	Arcillo arenosa	<0.5%	No calcáreo
	AS-2	1.12 ± 0.32	39	18	43	Arcillosa	<0.5%	No calcáreo
	AS-3	1.13 ± 0.21	42	16	42	Arcillosa	<0.5%	No calcáreo
	AS-4	1.15 ± 0.29	49	27	24	Franco arcillo arenosa	<0.5%	No calcáreo
	AS-8	1.00 ± 0.09	50	20	30	Franco arcillo arenosa	<0.5%	No calcáreo
	AS-9	0.88 ± 0.21	50	22	28	Franco arcillo arenosa	5-10%	Calcáreo
	AS-10	1.15 ± 0.39	45	27	28	Franco arcillosa	<0.5%	No calcáreo
	AS-11	1.19 ± 0.67	50	25	25	Franco arcillo arenosa	<0.5%	No calcáreo
Microcuencia media	MS-5	0.84 ± 0.47	63	14	23	Franco arcillo arenosa	5-10%	Calcáreo
	MS-6	0.98 ± 0.33	35	20	45	Arcillosa	1-2%	Ligeramente calcáreo
	MS-7	1.12 ± 0.37	30	28	42	Arcillosa	<0.5%	No calcáreo
	MS-12	0.91 ± 0.24	55	25	20	Franco arenosa	10%	Altamente calcáreo
	MS-19	0.87 ± 0.21	60	30	10	Franco arenosa	5-10%	Calcáreo
	MS-20	1.19 ± 0.44	68	16	16	Franco arenosa	1-2%	Ligeramente calcáreo
Microcuencia baja	BS-13	0.97 ± 0.11	54	30	16	Franco arenosa	1-2%	Ligeramente calcáreo
	BS-14	0.96 ± 0.03	57	25	18	Franco arenosa	<0.5%	No calcáreo
	BS-15	0.92 ± 0.25	35	30	35	Franco arcillosa	1-2%	Ligeramente calcáreo
	BS-16	1.26 ± 0.05	65	20	15	Franco arenosa	1-2%	Moderadamente calcáreo
	BS-17	1.28 ± 0.14	75	15	10	Franco arenosa	<0.5%	No calcáreo
	BS-18	1.15 ± 0.52	54	18	28	Franco arcillo arenosa	10%	Altamente calcáreo
	BS-21	1.00 ± 0.14	48	38	14	Franca	5-10%	Calcáreo

El pH del suelo varía entre 6.3 y 8.4, con un promedio de 7.4, lo que indica una tendencia hacia la neutralidad y alcalinidad. Se clasifican en suelos moderadamente ácidos (5.1-6.5) en un 19%, neutros (6.6-7.3) en un 14%, y moderadamente alcalinos (7.4-8.5) en un 67%. La microcuenca alta presenta suelos mayormente neutros a moderadamente ácidos, mientras que en la microcuenca baja predominan los moderadamente alcalinos. Esto puede estar relacionado con la presencia de carbonatos de calcio y la menor lixiviación de bases en la zona baja. Además, la erosión hídrica en la microcuenca alta contribuye a la pérdida de minerales alcalinos, mientras que, en la baja, la acumulación de materiales transportados favorece un pH más alto.

La conductividad eléctrica (CE) oscila entre 0.25 y 1.39 dS/m, con un promedio de 0.59 dS/m, lo que indica suelos en su mayoría con efectos despreciables de salinidad (<1 dS/m) en un 86% de las muestras y un 14% con valores muy ligeramente salinos. Aunque no se presentan problemas de salinidad, los valores más altos se observan en la microcuenca alta y media, lo que podría deberse a la baja lixiviación de sales en suelos con menor infiltración de agua debido a la compactación generada por el pastoreo. En la microcuenca baja, la actividad agrícola puede evitar una concentración elevada de sales debido al manejo del suelo y la infiltración de agua.

El contenido de materia orgánica (M.O.) varía entre 1.2% y 13%, con un promedio de 5.6%, lo que indica suelos con media fertilidad natural. Se clasifican en muy alto contenido de materia orgánica en un 38%, alto contenido en un 24%, contenido medio en un 33% y bajo contenido en un 5%. Los suelos de la microcuenca alta presentan los valores más bajos, lo que podría estar relacionado con procesos de erosión y deforestación, que reducen la acumulación de residuos vegetales y la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. En la microcuenca media y baja, los valores son mayores, posiblemente por la acumulación de sedimentos transportados hacia estas zonas y por la influencia de la actividad agrícola, que puede incrementar los aportes orgánicos.

El nitrógeno total en el suelo oscila entre 0.03% y 0.53%, con un promedio de 0.19%, lo que indica alta disponibilidad de este nutriente esencial. Predominan los suelos con un alto contenido de N en un 38%, seguidos de un 29% con contenido medio, un 14% con un contenido muy alto, y finalmente un 10% con bajo y muy bajo contenido. La microcuenca media presenta los valores más altos de nitrógeno total, lo que sugiere una mayor fertilidad en comparación con la microcuenca alta y baja. La baja cantidad de nitrógeno en la mayoría

de las muestras puede deberse a la degradación de la materia orgánica y al lavado de nutrientes, factores exacerbados por la erosión y el cambio de uso de suelo.

El fósforo Olsen varía entre 0.6 y 14.0 mg/kg, con un promedio de 6.6 mg/kg, lo que indica una disponibilidad limitada de este nutriente. El 48% de los suelos presentan un nivel bajo de fósforo, el 33% un nivel medio y el 19% un nivel alto. En la microcuenca alta y media, los valores más bajos pueden deberse a la erosión del suelo y el arrastre de nutrientes por las lluvias, junto con la deforestación y el cambio de uso de suelo, que reducen la capacidad del suelo para retener fósforo. En la microcuenca baja, los valores más altos pueden estar relacionados con la acumulación de sedimentos transportados desde las partes altas y el uso de fertilizantes agrícolas.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) oscila entre 14.7 y 48.0 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>, con un promedio de 24.8 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>, indicando una variabilidad significativa en la capacidad del suelo para retener nutrientes. Se clasifica en baja en un 5%, media en un 57%, alta en un 29% y muy alta en un 10%. La microcuenca baja presenta los valores más altos de CIC, lo que sugiere suelos con alta capacidad para retener nutrientes esenciales, favoreciendo la fertilidad del suelo. La erosión en la microcuenca alta puede reducir la CIC al eliminar material fino y materia orgánica, mientras que, en la baja, la acumulación de estos materiales favorece una mayor retención de nutrientes.

Respecto a las bases intercambiables, el sodio (Na) muestra valores bajos, sin problemas de salinidad. El potasio (K) presenta una gran variabilidad, alcanzando hasta 19.23 Cmol/kg en la microcuenca baja, posiblemente por acumulación de sedimentos y la influencia de prácticas agrícolas. El calcio (Ca) es predominante en la mayoría de las muestras, con valores de hasta 30.2 Cmol/kg, reflejando la influencia geológica en la disponibilidad de este elemento. El magnesio (Mg) mantiene valores entre 0.8 y 5.4 Cmol/kg, siendo menor en la microcuenca media, posiblemente debido a lixiviación y diferencias en la composición del suelo.

En cuanto a las propiedades físicas de los suelos, la densidad aparente del suelo varía entre 0.84 y 1.28 g/cm<sup>3</sup>, con un promedio de 1.06 g/cm<sup>3</sup>, indicando suelos con buena porosidad y aireación. Se clasifican como suelos de baja densidad (<1.3 g/cm<sup>3</sup>) en un 100%, lo que sugiere una estructura favorable para el crecimiento de raíces. En la microcuenca alta y media, los valores más bajos pueden estar relacionados con mayor materia orgánica

y mejor agregación del suelo. En la microcuenca baja, valores más altos pueden deberse a compactación causada por el uso agrícola y el pastoreo intensivo.

La textura del suelo varía ampliamente, predominando clases franco arenosa (33%), franco arcillo arenosa (29%), arcillosa (19%), franco arcilloso (10%) y franca (5%). La microcuenca alta tiene más suelos arcillosos, lo que influye en la retención de agua y la susceptibilidad a la compactación. En la microcuenca baja predominan los suelos franco-arenosos, que favorecen el drenaje, pero pueden ser más propensos a la erosión debido a la actividad agrícola y el pastoreo.

El análisis cualitativo de carbonatos de calcio revela que el 48% de los suelos son no calcáreos (<0.5%), el 19% ligeramente calcáreos (1-2%), el 19% calcáreos (5-10%) y el 10% altamente calcáreos (>10%). La microcuenca media y baja presentan más suelos calcáreos, posiblemente por la acumulación de materiales transportados desde las partes más altas debido a la erosión hídrica.

## 9.7 Determinación del grado de erosión hídrica

Para medir el grado de erosión se georreferenciaron 10 puntos a lo largo de la barranca (imagen 33).

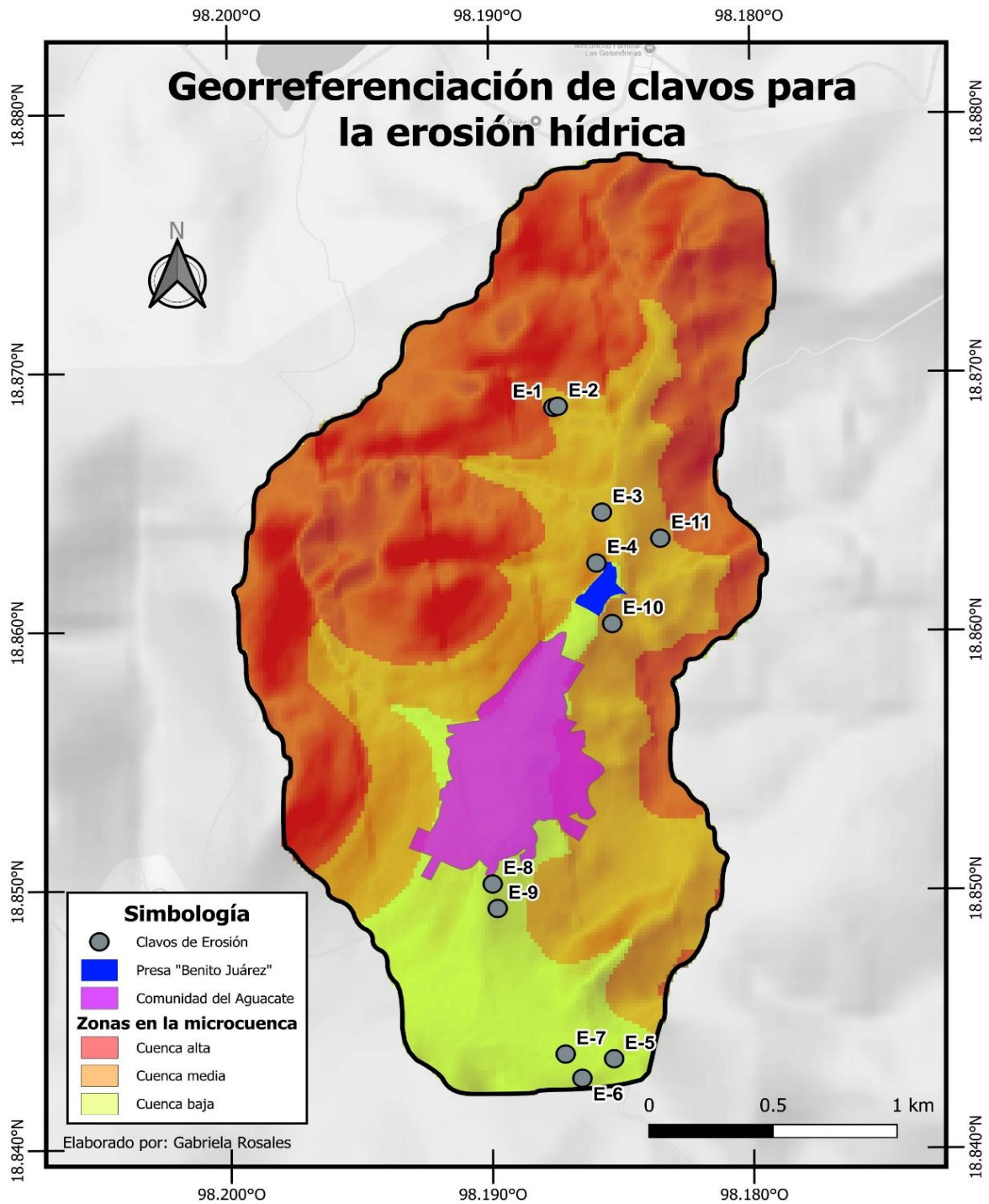


Imagen 33. Georreferenciación de puntos de clavos para la erosión hídrica.

El monitoreo se llevó a cabo durante cinco meses, de julio a noviembre, cubriendo la temporada de lluvias. En el primer mes, las verificaciones de los clavos se realizaron semanalmente, mientras que en los meses siguientes la frecuencia se redujo a una cada 15 días. Dado que no se observaron diferencias significativas entre las mediciones, se decidió continuar las verificaciones hasta el final del periodo de lluvias más intensas. La geolocalización de los puntos se presenta a continuación (tabla 26).

*Tabla 26. Georreferenciación para la erosión de suelos.*

<b>Punto</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
E-1	18°52'7.12"N	98°11'15.20"W
E-2	18°52'7.27"N	98°11'14.60"W
E-3	18°51'52.52"N	98°11'8.59"W
E-4	18°51'45.44"N	98°11'9.36"W
E-6	18°50'33.78"N	98°11'11.64"W
E-7	18°50'37.16"N	98°11'13.93"W
E-9	18°50'57.45"N	98°11'23.20"W
E-10	18°51'0.86"N	98°11'23.87"W

Al concluir el periodo de observación, se retiraron los clavos y se marcó hasta donde había llegado el suelo al final de la temporada de lluvias (imagen 34). Durante esta etapa, se realizó una medición precisa de la diferencia en milímetros entre la marca inicial registrada al momento de la instalación y la marca final obtenida. Este proceso permitió evaluar de manera cuantitativa el impacto de las precipitaciones en la erosión del suelo.



*Imagen 34. Clavo para medir la erosión de hídrica*

Para calcular la erosión hídrica de la cuenca, se utilizó la ecuación 18, la cual integra los datos recolectados en el monitoreo y permite estimar de forma sistemática y estandarizada el volumen de suelo perdido o desplazado.

*(Ecuación 18)*

$$PS = h * DAP * A$$

*Donde:*

*PS: Pérdida de suelo (ton/ha/año)*

*h: Diferencia entre la marca inicial y final (mm)*

*DAP: Densidad aparente del suelo (ton/m<sup>3</sup>)*

*A: Área medida*

Los valores obtenidos a partir de estas mediciones permiten analizar la variabilidad de las condiciones evaluadas a lo largo del periodo de monitoreo. Los resultados detallados de estas mediciones se presentan a continuación (Tabla 27).

*Tabla 27. Riesgo de Erosión hídrica en la microcuenca.*

<b>Lámina pérdida (mm)</b>	<b>Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Suelo perdido (T/ha año)</b>	<b>Riesgo de erosión*</b>
6.25	1.00	5.9	36.99	Severa

La tabla revela que la microcuenca tiene un riesgo “severo” de erosión hídrica, con una lámina pérdida de 6.25 mm, densidad aparente del suelo de 1.00, un área afectada de 5.9 km<sup>2</sup>, y una cantidad de suelo perdido de 36.99 toneladas por hectárea al año. Clasificada como “Severa” según SEMARNAT (2012), esta erosión representa una amenaza significativa para la estabilidad y productividad del suelo, afectando tanto la capacidad agrícola como la salud del ecosistema.

## 9.8 Aplicación de encuestas

Se aplicaron 47 encuestas a la población, utilizando el método de estratificación. Este método implica dividir la población en 4 cuadrantes y seleccionar una muestra representativa de cada cuadrante. La aplicación de este enfoque asegura que se obtenga información relevante y representativa de los distintos grupos dentro de la comunidad de San José el Aguacate.

Dado que la comunidad cuenta con solo 263 habitantes distribuidos en 90 hogares (INEGI, 2020), se optó por tomar como unidad de análisis a los hogares, evitando sesgos en las encuestas debido a posibles repeticiones en las respuestas. Para la determinación del tamaño de muestra, se utilizó un nivel de confianza del 95% y un error máximo aceptable del 10%. Además, al desconocer la probabilidad de participación de la población, se asumió un valor del 50% para \*p\*, garantizando un cálculo conservador. Como resultado, se obtuvo un tamaño de muestra de 47 hogares. Los datos utilizados en este cálculo se presentan a continuación (tabla 28).

Tabla 28. Datos estadísticos para calcular el tamaño de muestra. Elaboración propia.

Variable	Descripción	Valor
$N$	Tamaño total de la población (hogares)	90
$Z_{\alpha}$	95% confianza	1.96
$p$	Probabilidad de éxito del 50%	0.5
$q$	Probabilidad que no ocurra (1 - p)	0.5
$e$	10% error	0.1
$n$	$\frac{(90 * 3.84 * 0.5 * 0.5)}{(0.01 * (90 - 1) + 3.84 * 0.5 * 0.5)}$	47

### 9.8.1 Prueba piloto

Considerando los recursos disponibles y la población objetivo, se realizó una prueba piloto con el 10% de la muestra. Esta estrategia es efectiva para identificar y corregir posibles problemas en una encuesta, asegurando así su validez y efectividad. El propósito principal de la prueba piloto fue detectar cualquier confusión o dificultad que pudieran tener los participantes al responder la encuesta, tales como preguntas ambiguas, opciones de respuesta confusas o cualquier otro aspecto que pudiera afectar la comprensión y la calidad de los datos recopilados. Al elegir el 10% de la muestra, se obtuvo una muestra

representativa pero más manejable para el análisis y la obtención de retroalimentación valiosa.

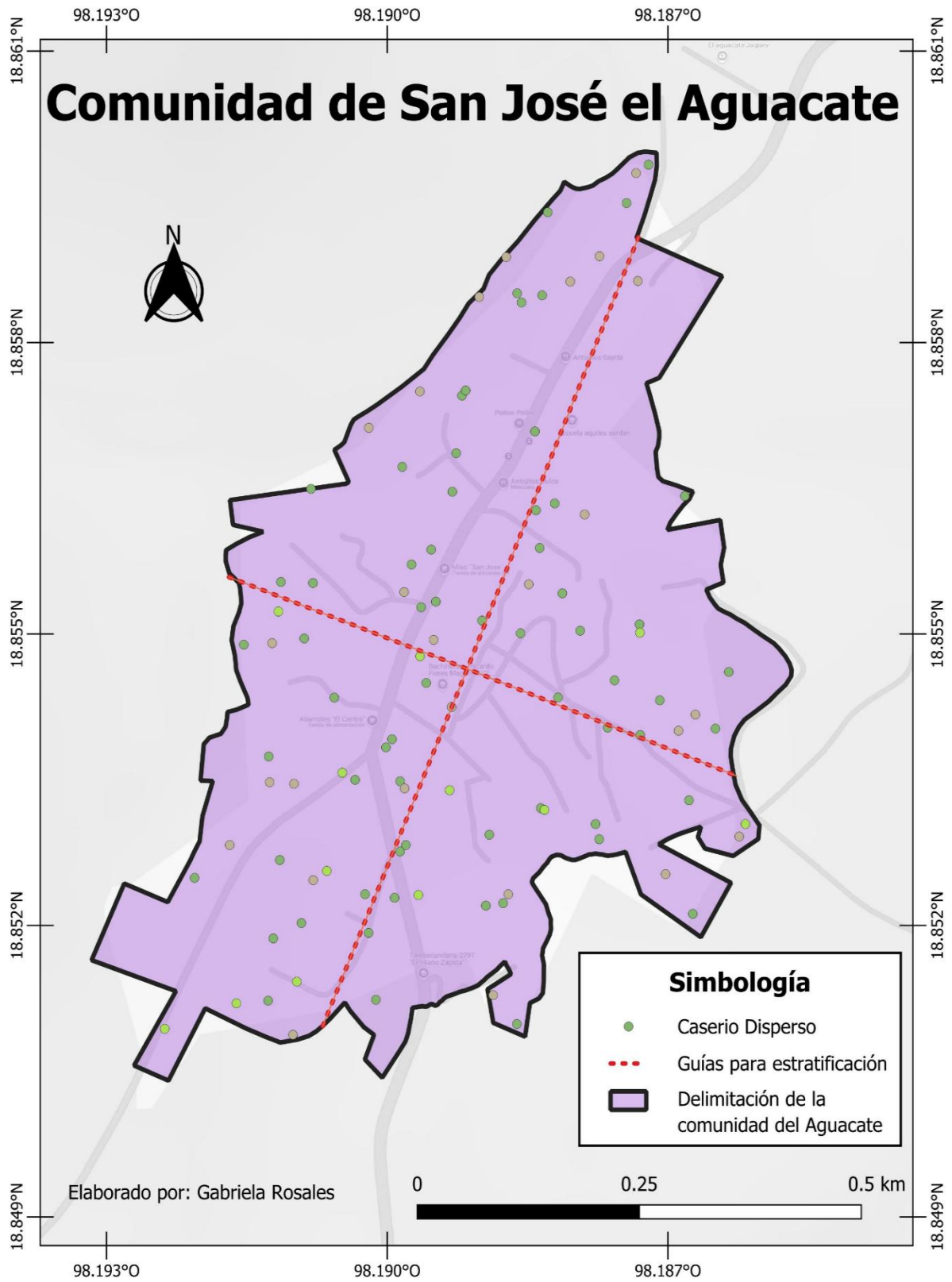
Durante la prueba piloto, se solicitó a los participantes que comentaran sobre la claridad de las preguntas, la relevancia de los temas abordados y cualquier otro aspecto que consideraran importante. Una vez finalizada la prueba piloto, se analizaron los resultados y comentarios recibidos para identificar áreas problemáticas y realizar los ajustes necesarios en la encuesta. Esto permitió reescribir preguntas, proporcionar opciones de respuesta adicionales y eliminar preguntas confusas o irrelevantes.

Después de realizar los ajustes, se envió la encuesta a expertos para una validación más rigurosa, siguiendo la Guía para validar instrumentos de investigación de la Universidad Adventista de Chile. Tras recibir las respuestas de los expertos, se implementaron las correcciones pertinentes y se aplicó la encuesta a la muestra seleccionada.

Las encuestas se aplicaron en los meses de noviembre y diciembre. Este periodo fue elegido estratégicamente para asegurar una mayor participación y precisión en los resultados, ya que se considera que hay más personas presentes en la localidad durante estos meses. Este análisis permitió identificar tendencias, comportamientos y preferencias de la población objetivo, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones futuras.

### **9.8.2 Análisis de las encuestas**

Para analizar la percepción que tiene la población acerca de esta problemática, se aplicaron encuestas durante el mes de agosto a 48 personas mayores de 20 años. Para la selección de la muestra se tomó en cuenta el número total de hogares en base a datos del INEGI 2020. El proceso de muestreo fue el Muestreo Aleatorio Estratificado. Para ello se dividió a la comunidad físicamente en 4 cuadrantes (imagen 35 considerando que en cada cuadrante cumpliera con la cantidad de hogares necesarios para este estudio. De cada cuadrante se entrevistaron a 12 hogares elegidos aleatoriamente. Cabe señalar que 4 de las encuestas aplicadas durante el análisis fueron descartadas por un sesgo encontrado en ellas. Dejando un total de 43.

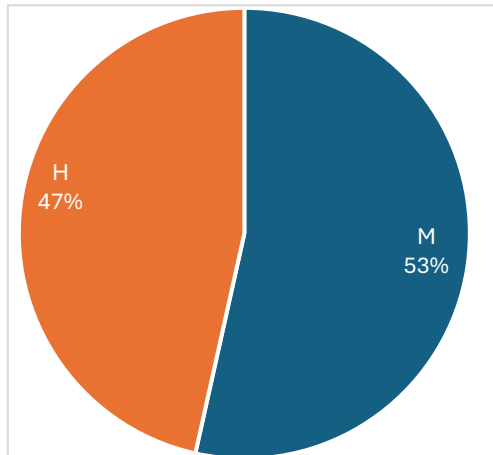


Elaborado por: Gabriela Rosales

Imagen 35. División de la comunidad en cuadrantes.

### 9.8.2.1 Clasificación por sexo

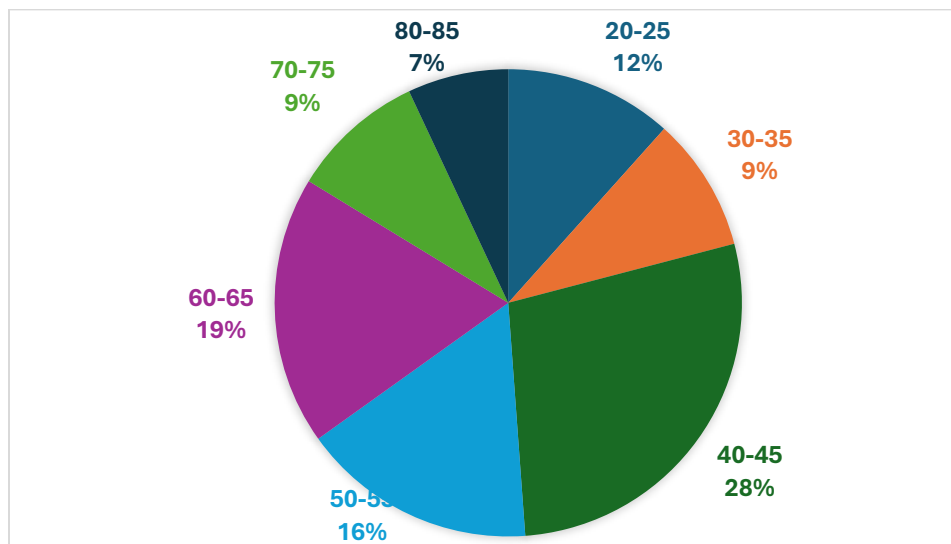
La grafica 11, muestra mayoría de la muestra está compuesta por mujeres, representando un 53% del total. Esto sugiere una mayor participación femenina en la población encuestada. La participación de los hombres constituye el 47%, aunque el porcentaje es menor, su participación es bastante significativa en el análisis general de este estudio.



Gráfica 5. Encuestados divididos por sexo

### 9.8.2.2 Clasificación por edades

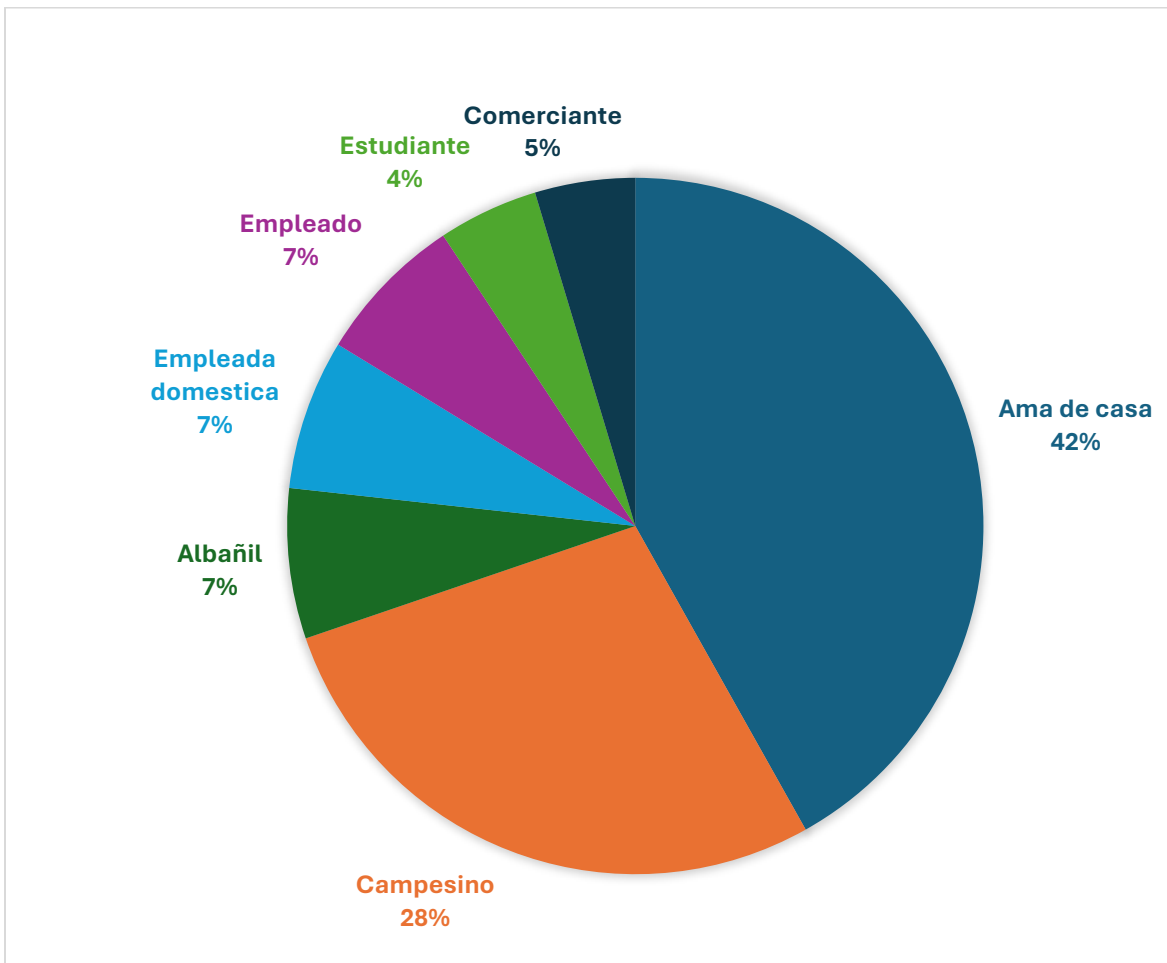
La muestra está dividida en grupos de edades específicos con un rango de 5 años, lo que permite una presentación clara y fácil de entender de su distribución. El grupo de edades más representado es el de 40-45 años con 12 participantes, seguido por 60-65 años con 8 participantes (gráfica 12).



Gráfica 6. Encuestados divididos por edades.

### 9.8.2.3 Clasificación por ocupación

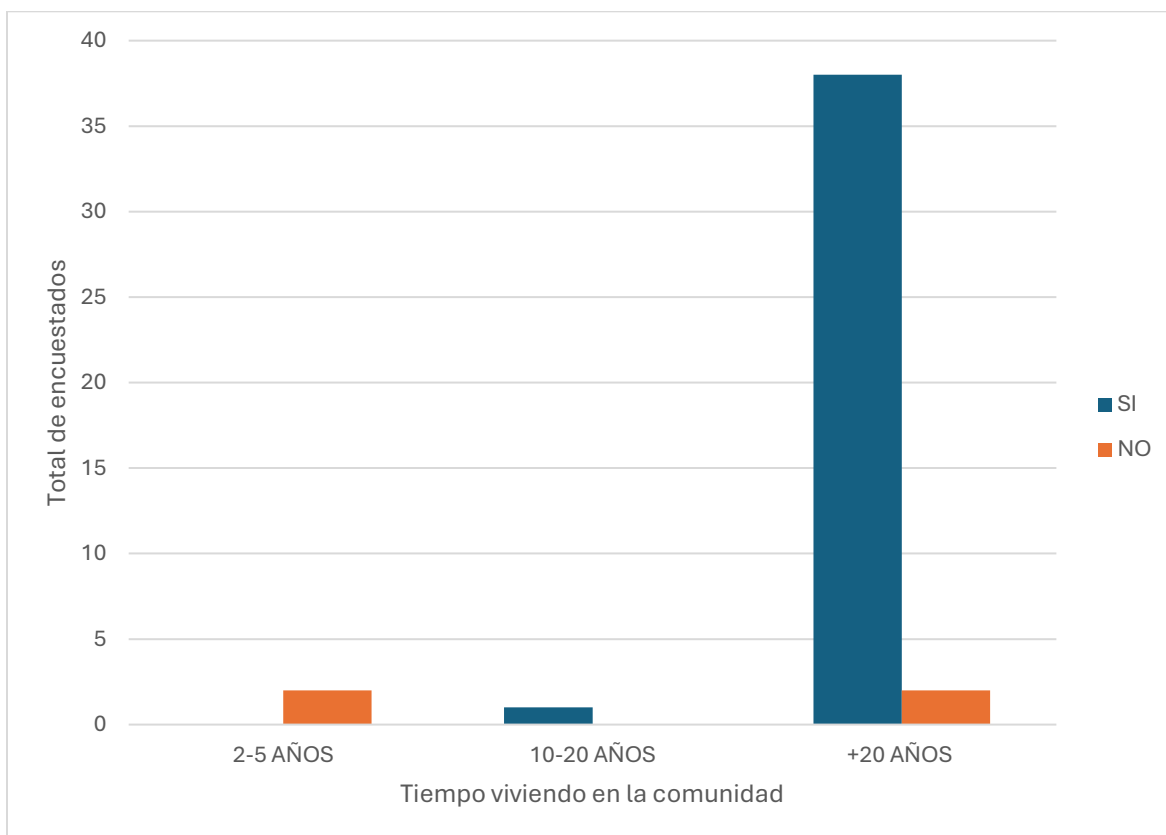
La gráfica 13 revela una variada diversidad de ocupaciones entre los encuestados, destacando que un 42% se identificó como "Ama de Casa". Además, un 28% de los encuestados se identificó como "Campesino". La significancia de estos dos sectores de la población radica en que la presencia de amas de casa y campesinos en la comunidad, son los dos grupos que más tiempo permanecen en la localidad. Su conexión arraigada con la barranca resalta la importancia de su punto de vista, ya que sus vidas se desarrollan en estrecha relación con este entorno geográfico.



Gráfica 7. Encuestados divididos por ocupación.

#### 9.8.2.4 Percepción de la problemática vs tiempo viviendo en la comunidad

Se les hicieron dos preguntas claves a los pobladores: ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en el Aguacate? ¿Considera que la barranca presenta actualmente algún problema? Con el objetivo de medir la perspectiva que tienen los habitantes sobre el entorno en el que se desenvuelven. Las respuestas, proporcionan una visión fascinante de la percepción de los habitantes del Aguacate sobre su entorno. Los resultados se observan en la gráfica 14.



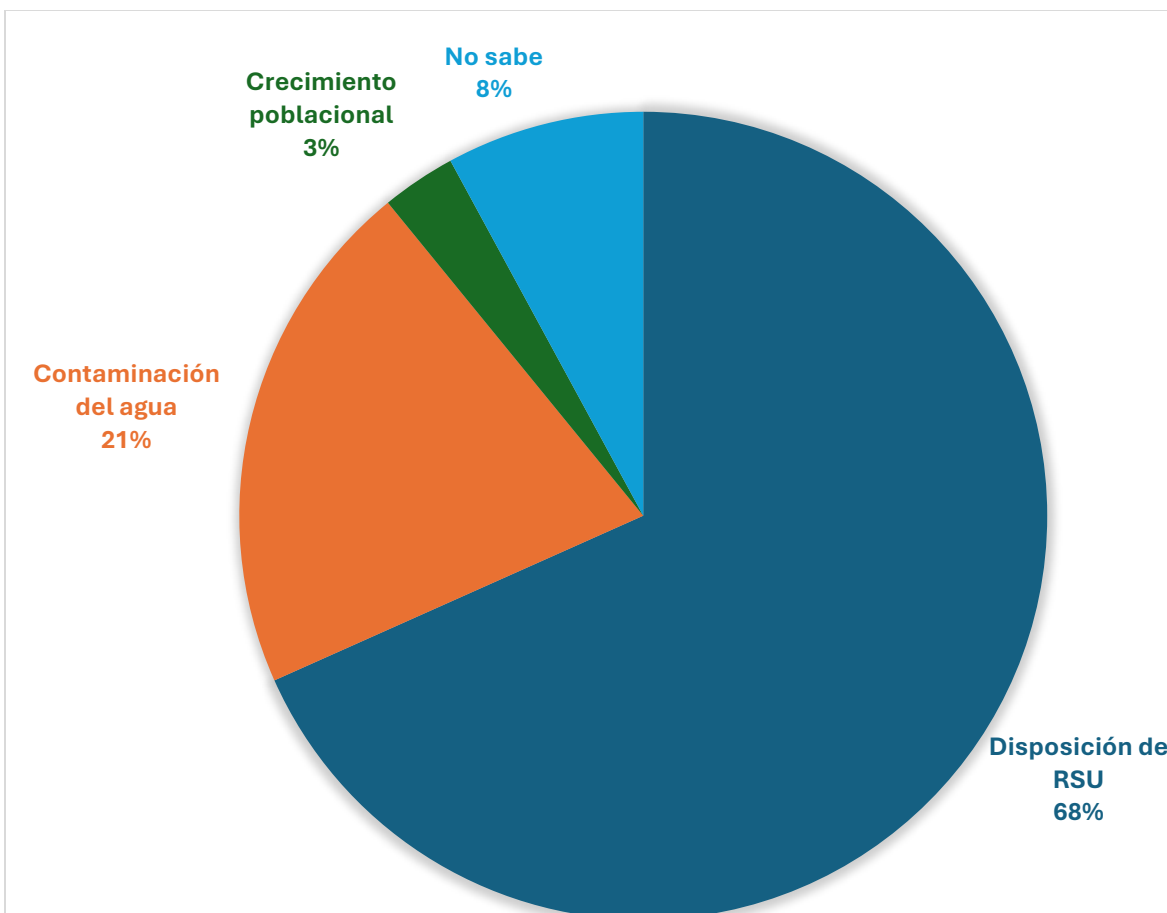
Gráfica 8. Tiempo que llevan viviendo en la comunidad con su percepción si existe o no una problemática.

Según los datos recolectados, el 91% de los encuestados consideran que sí hay un problema en la comunidad, abarcando un rango de edades entre 20 y 85 años y con más de 10 años de residencia en la comunidad. En contraste, el 9% de los encuestados no consideran que haya un problema, siendo este grupo compuesto principalmente por amas de casa. Dentro de este grupo, se destacan dos subcategorías: una con edades de 25 y 31 años, quienes han vivido en la comunidad entre 2 y 5 años, y otra con edades de 54 y 59 años, con más de 20 años de residencia en la comunidad. Esta información proporciona una visión más clara sobre la percepción de los problemas en la comunidad, considerando tanto la opinión mayoritaria como las particularidades de los grupos minoritarios.

### 9.8.2.5 Percepción del inicio la problemática en la microcuenca

A los encuestados que contestaron que si existe una problemática también se les preguntó sobre su percepción de como dio inicio dicha problemática. Sus respuestas se ven reflejadas en la gráfica 15. Esta se dejó como una pregunta abierta con el fin de obtener información cualitativa detallada de parte de los participantes. Aunque las respuestas fueron diversas, se encontraron ciertas tendencias en ellas.

Los resultados arrojados muestran a los RSU (basura) como un factor determinante para el inicio de esta problemática. Seguido, por la contaminación de agua. Cabe mencionar que dentro de la clasificación de “Disposición de RSU” se consideran respuestas como, “El camión de la basura no pasa”, “Falta de un lugar donde tirar la basura” y “La gente tira su basura a la barranca”.



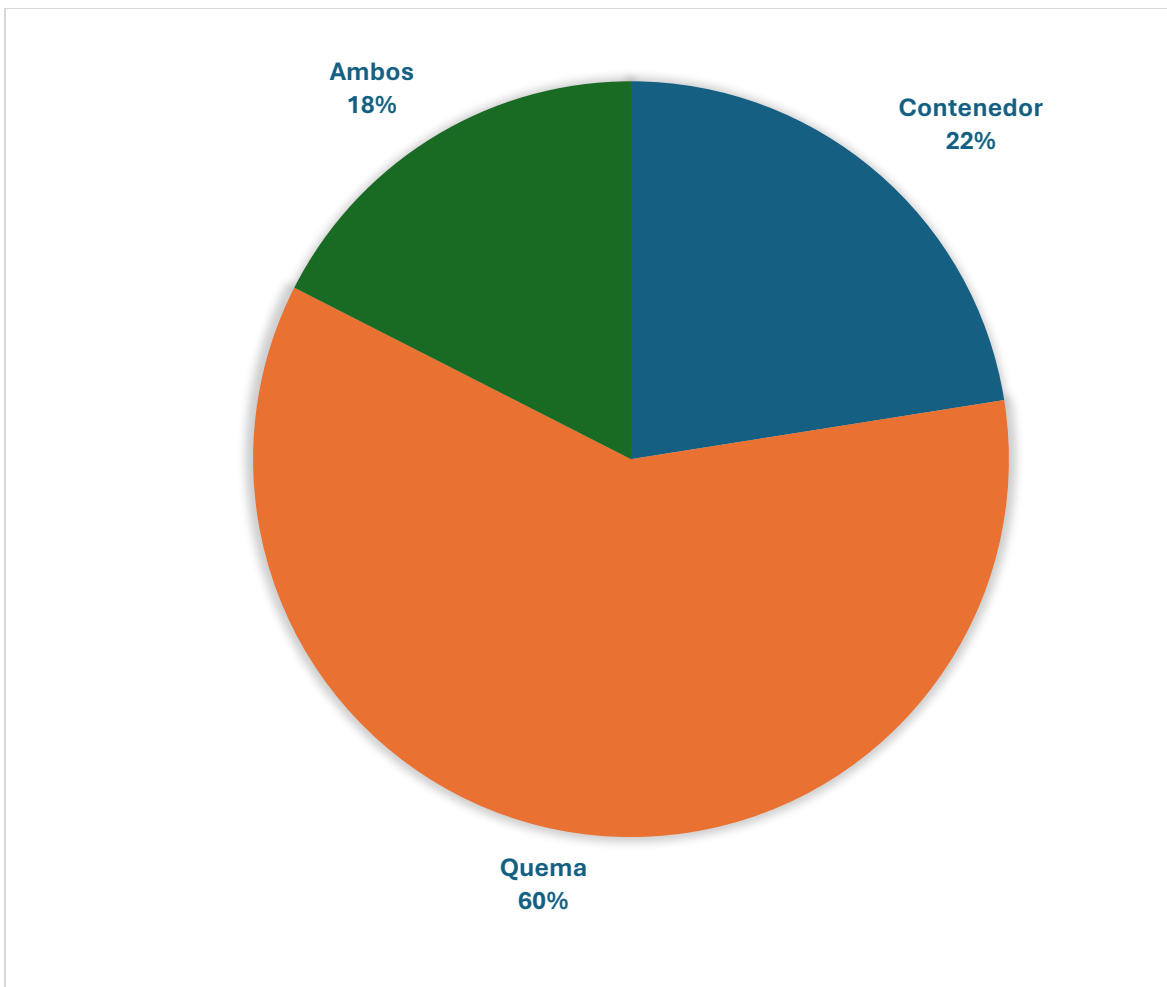
Gráfica 9. Conocimiento de como inició la problemática.

### **9.8.2.6 Disposición de los residuos sólidos urbanos de la población encuestada**

La observación de residuos como un problema recurrente a lo largo del cauce durante las visitas de campo, recalca la importancia de abordar la gestión de desechos en el contexto del proyecto. La pregunta "¿Qué hace con su basura?" se vuelve representativa en este proyecto por varias razones fundamentales:

- Comprender cómo los habitantes manejan sus desechos es crucial para abordar y mitigar estos impactos.
- Obtener información sobre las prácticas actuales de eliminación de basura permite comprender la contribución de la comunidad al problema y a explorar formas de mejorar las prácticas individuales.
- Refleja la importancia de la concientización y la educación en la comunidad.
- Si se identifican patrones de eliminación inadecuada de basura, se pueden desarrollar estrategias para mejorar la infraestructura de gestión de desechos, implementar campañas de sensibilización o establecer programas de reciclaje.

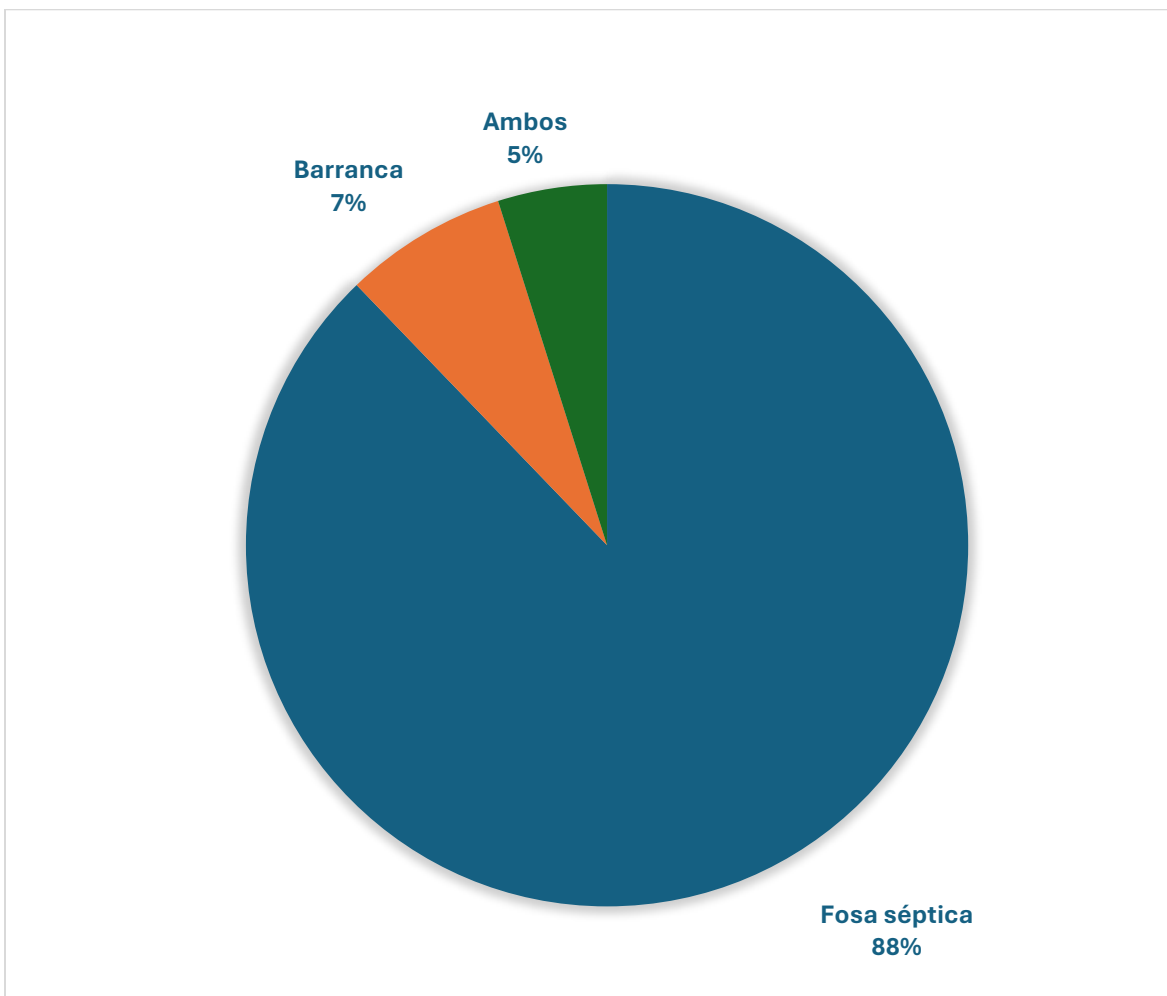
La observación clave es que la mayoría de los encuestados opta por un manejo inadecuado de sus residuos, siendo la quema la práctica más comúnmente adoptada en la comunidad (Gráfica 16). Este patrón sugiere una falta de conciencia sobre alternativas más sostenibles y la necesidad de abordar este problema de manera urgente. Debido a que la liberación de sustancias contaminantes durante la quema puede afectar negativamente las condiciones del aire en la comunidad, generando riesgos para la salud respiratoria de los habitantes.



Gráfica 10. Disposición de Residuos Sólidos Urbanos

### 9.8.2.7 Disposición de las aguas residuales de la población encuestada

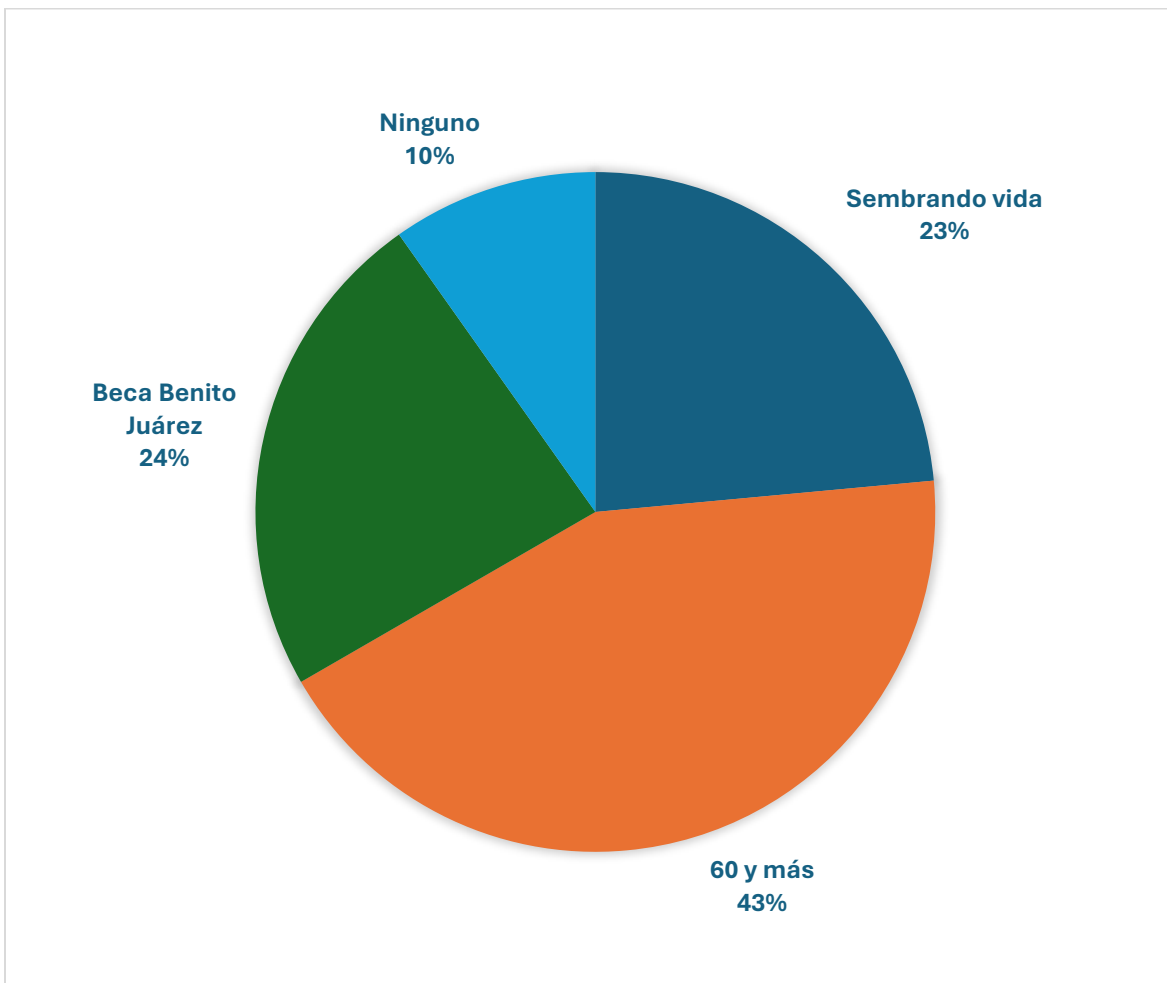
Con la pregunta “¿Dónde descarga sus aguas residuales (agua de baño, de lavadora, trastes, etc.)?”, se ha formulado para entender la salud ambiental y comunitaria. La información recabada destaca que la mayoría de los encuestados utiliza fosas sépticas como método principal para la disposición de sus aguas residuales. Esto indica una conciencia generalizada sobre la necesidad de gestionar adecuadamente estos efluentes y es un signo positivo de prácticas más responsables. Aunque es preocupante observar que aún existen respuestas que sugieren la disposición de residuos directamente en la barranca. Esta práctica puede tener impactos graves en el agua y en el entorno natural, generando riesgos para la salud y el ecosistema circundante por lo que se considera como una problemática que debe ser abordada con urgencia.



Gráfica 11. Disposición de aguas residuales

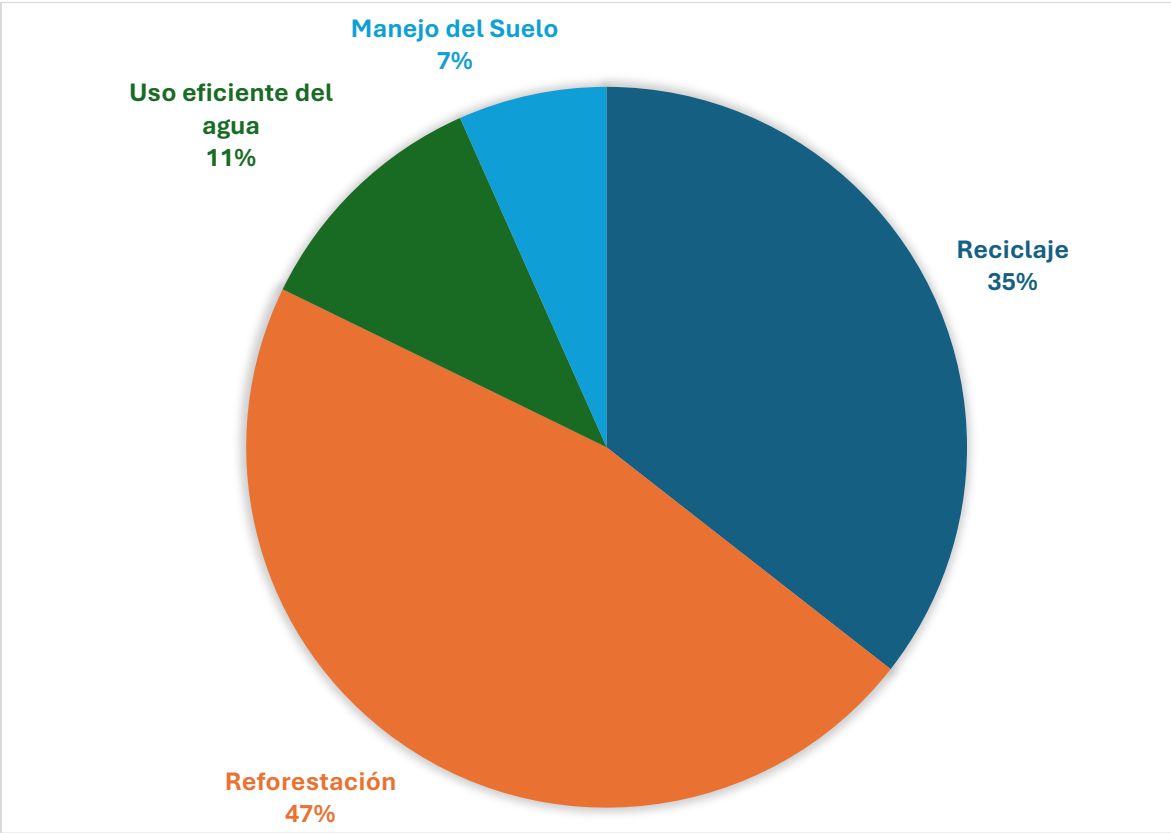
### 9.8.2.8 Apoyos gubernamentales que recibe la población encuestada

La indagación sobre los apoyos gubernamentales y la participación comunitaria revela aspectos esenciales para comprender el involucramiento del gobierno en la problemática ambiental y la dinámica participativa de la comunidad. Por un lado, la recopilación de datos sobre los apoyos gubernamentales proporciona una visión sobre el compromiso y la inversión estatal en abordar la problemática específica. Mientras que, la participación de la comunidad es un indicador clave de la conciencia y el interés de los residentes en abordar la problemática local. Identificar el grado de participación revela el nivel de compromiso y la disposición de la comunidad para colaborar en la implementación de soluciones. La sinergia entre el gobierno y la comunidad es esencial para abordar los problemas de manera efectiva, si bien el apoyo gubernamental es valioso, la colaboración activa de los residentes puede potenciar los esfuerzos y garantizar la sostenibilidad de las soluciones propuestas. Los resultados están expresados en las gráficas 18 y 19.



Gráfica 12. Encuestados que cuentan con algún apoyo gubernamental.

La gráfica 18 proporciona información valiosa sobre la recepción de apoyos gubernamentales y la participación comunitaria en programas específicos. La mayoría de la población encuestada indica recibir algún tipo de apoyo o beca por parte del gobierno. La presencia destacada de programas como "Sembrando Vida" y "Beca Benito Juárez" sugiere que estos son accesibles y conocidos en la comunidad. Lo que indica que estos programas abordan necesidades específicas de la comunidad, ya sea en términos de educación o empleo. Mientras que el programa de "60 y más" sugiere una atención especial a la población de edad avanzada. La alta participación en programas de apoyo refleja que la comunidad tiene acceso a la información y a los recursos proporcionados por el gobierno.



Gráfica 13. Participación de encuestados en campañas gubernamentales.

En la gráfica 19, se observa una tendencia de baja participación en talleres relacionados con el "Uso eficiente del agua" y el "Manejo de suelos". Este hallazgo puede indicar áreas de oportunidad para aumentar la conciencia y la educación en temas ambientales específicos. La participación positiva en campañas de "Reciclaje" y "Reforestación" destaca el interés y la disposición de la comunidad para participar en acciones que contribuyan al cuidado del medio ambiente.

### 9.8.2.9 Conocimiento del rol que juega la barranca en los diferentes sistemas biofísicos

En la gráfica 20 se revela información crucial sobre el conocimiento de la comunidad respecto al papel de la barranca en diferentes aspectos, como el ciclo del agua, su potencial como foco de infección y su importancia en la prevención de la erosión.

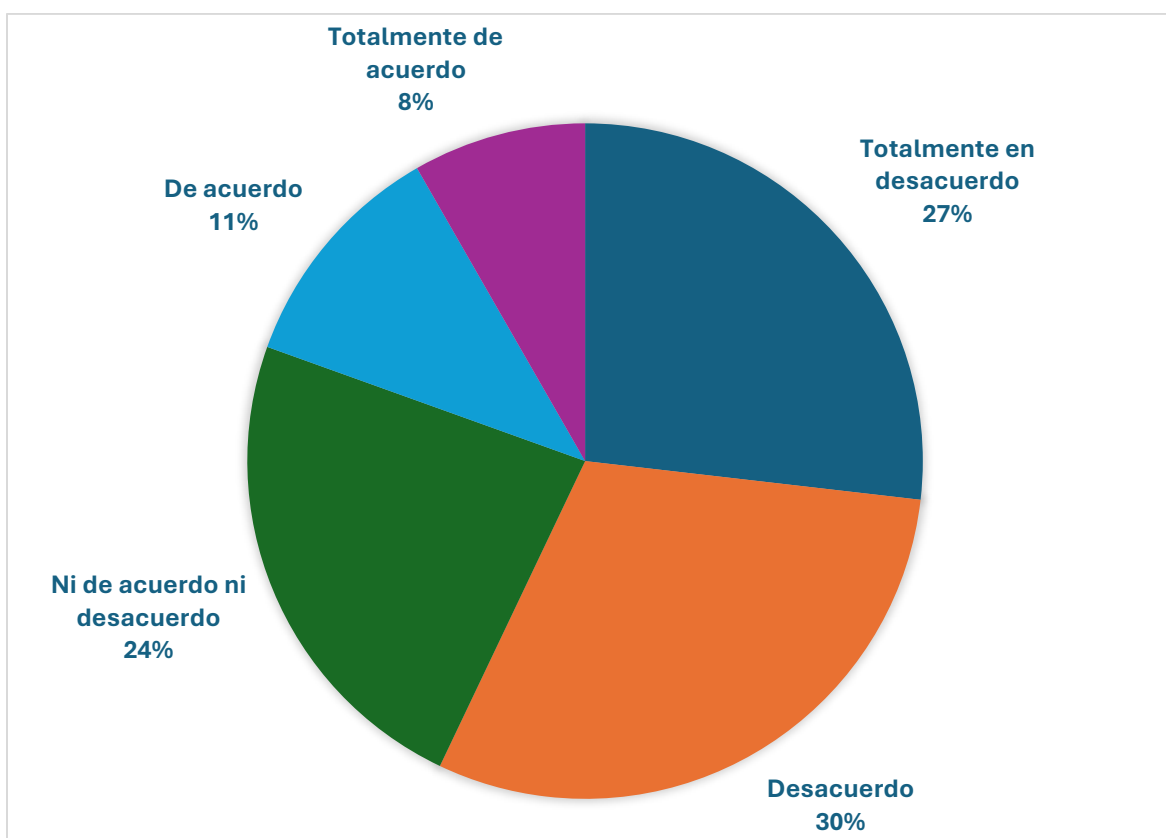


Gráfica 14. Conocimiento de los encuestados acerca del papel de las barrancas.

Se destaca una persistencia en la respuesta "NO". Este hallazgo sugiere una falta generalizada de conciencia en la comunidad sobre la función que desempeña la barranca. Con lo cual se confirma la afirmación de que el papel de las barrancas está subestimado en la percepción de la comunidad. Esta subestimación puede tener implicaciones significativas para la gestión ambiental, ya que la falta de comprensión sobre el papel de la barranca podría llevar a prácticas inadecuadas que afecten negativamente al entorno.

### 9.8.2.10 Interés de la población en talleres o pláticas de conservación ambiental

En la encuesta se planteó la pregunta sobre su interés en participar en talleres o pláticas de educación ambiental. La escala de Likert, que va del 1 al 5, se utilizó para evaluar el nivel de interés de los encuestados en participar en actividades de educación ambiental. Este enfoque permite una medición cuantitativa del interés, donde 5 representa un interés alto y 1 indica el nivel más bajo. La interpretación considera los valores del 1 al 3 como negativos y los valores de 4 y 5 como positivos.



Gráfica 15. Interés de los encuestados en participar en pláticas o talleres de educación ambiental y manejo de la microcuenca.

La gráfica 21 refleja una persistencia en la falta de interés de los encuestados en participar en actividades de educación ambiental. Los resultados revelan una falta de interés, lo cual es preocupante, sin embargo, esta situación puede considerarse como un área de oportunidad para reevaluar y replantear estrategias de educación ambiental. Es posible que la falta de participación esté relacionada con la forma en que se presentan o estructuran dichos programas. Es fundamental abordar esta cuestión para aumentar la efectividad de futuras iniciativas.

### 9.8.2.11 Jerarquización de las problemáticas

Para la jerarquización, los encuestados organizaron del 1-13 las problemáticas presentes en la hoja 3. Una vez obtenidos los resultados, estos se subieron a la base de datos en Excel. Se obtuvo la moda estadística para organizar y jerarquizar cada una de las opciones. Los resultados se muestran en la gráfica 22.



Gráfica 16. Jerarquización de las problemáticas presentes en la microcuenca

Como se observa en la gráfica 22, la percepción de los pobladores coincide con la evaluación de la microcuenca en que la mayor problemática presente en la microcuenca es la falta de un sitio para la disposición de RSU. Esto sugiere que la acumulación de desechos es un problema crítico en la zona. La descarga de aguas negras y falta de agua ocupan el segundo lugar, lo que indica que el manejo de aguas residuales y el acceso al recurso hídrico son preocupaciones importantes. La pérdida de cultivo y filtración a pozos de agua potable se encuentran en tercer lugar, evidenciando la afectación al sector agrícola y posibles riesgos de contaminación del agua potable.

## 9.9 Aplicación de entrevistas

Para las entrevistas, se entrevistó al Inspector de manera individual y al Comité Ejidal de manera grupal, asegurando un ambiente donde cada participante se sintiera cómodos y estimulado a compartir sus ideas de manera abierta y honesta. Este enfoque no solo permitió recopilar información valiosa sobre las percepciones y compromisos de los actores clave hacia la gestión ambiental y la recuperación socioambiental, sino que también sentó las bases para el desarrollo de estrategias efectivas destinadas a mejorar las condiciones ambientales en la comunidad de San José el Aguacate.

Las entrevistas realizadas con los ejidatarios, responsables de la conservación de las tierras y los recursos naturales de la región, revelaron información relevante sobre las iniciativas del gobierno para apoyar al pueblo y su disposición como ejidatarios para proteger los recursos de la zona. En su calidad de ejido, el pueblo se beneficia de diferentes programas gubernamentales destinados a proteger el medio ambiente. Entre los proyectos más recientes destaca la instalación de cámaras dentro del bosque para evitar la tala ilegal y la caza furtiva. Este esfuerzo busca reducir el impacto antropogénico negativo sobre los recursos naturales. Además, cuentan con programas como "Sembrando Vida" y diversas iniciativas de reforestación y vigilancia que demuestran su compromiso por recuperar áreas que están en peligro por la deforestación y otras amenazas ambientales.

Por otro lado, la conversación con el inspector subrayó la preocupación más inmediata relacionada con la salud de la población, pues mencionó que durante las faenas que se realizan en la barranca, tanto niños como adultos han presentado problemas en la piel, como salpullidos, que pueden variar en severidad. Mientras que algunos casos son leves y desaparecen por sí solos en poco tiempo, otros resultan más graves, lo que provoca que las lesiones tarden meses en sanar. Sin embargo, la mayor complicación radica en la ausencia de un consultorio médico en la zona, lo que dificulta que las personas afectadas reciban un tratamiento adecuado. En consecuencia, muchos recurren a remedios caseros, confiando en soluciones tradicionales para tratar de mejorar los síntomas.

Es importante mencionar que a pesar de que las entrevistas se llevaron a cabo en diferentes momentos, tanto el inspector como los ejidatarios, coinciden en que es necesario y urgente contar con servicios básicos como el drenaje y servicios de recolección de basura.

## **10 Diagnóstico general de la microcuenca**

El diagnóstico de la microcuenca revela una combinación de características favorables y preocupaciones que requieren atención inmediata para garantizar la salud del ecosistema y la comunidad circundante. Las características morfológicas de la microcuenca indican que está estructurada de manera que favorece una respuesta hidrológica equilibrada y una gestión efectiva de los flujos de agua. Esta disposición natural es fundamental para mantener el equilibrio hidrológico y la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos.

### **10.1 Cambio de uso de suelo**

El diagnóstico de la situación en la microcuenca revela una tendencia preocupante hacia la deforestación y el cambio de uso de suelo, con consecuencias ambientales y socioeconómicas significativas. El análisis muestra una reducción considerable en la cobertura de vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, lo que indica una transformación drástica del paisaje natural debido a la expansión de actividades humanas, como la agricultura y la ganadería.

Estos cambios están estrechamente asociados con una serie de impactos negativos, que van desde la pérdida de biodiversidad hasta la degradación del suelo y la contaminación del agua. La deforestación y el cambio de uso de suelo también conducen a la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del clima, la provisión de agua limpia y la protección contra desastres naturales.

El análisis estadístico revela la complejidad y la no linealidad de los procesos que impulsan la transformación del paisaje, lo que subraya la necesidad de abordar estos problemas de manera integral y coordinada.

Es urgente implementar medidas de conservación y manejo sostenible del paisaje para revertir esta tendencia destructiva. Esto incluye promover prácticas que fomenten la restauración ambiental, como la reforestación y la recuperación de suelos degradados, así como involucrar activamente a las comunidades locales en procesos de planificación y toma de decisiones.

## 10.2 Agua

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua revelan una serie de preocupaciones significativas. Aunque el pH del agua varía dentro de un rango aceptable para la mayoría de los organismos acuáticos (7.4 a 9.0), se observa una considerable variabilidad en la conductividad eléctrica, con un pico máximo sugiriendo la presencia de altas concentraciones de sales disueltas en ciertos puntos. Esta variabilidad puede indicar la presencia de contaminantes y resalta la necesidad de identificar y abordar las fuentes de contaminación.

La alcalinidad elevada del agua es un aspecto positivo en términos de estabilidad del pH, pero la amplia variabilidad en la dureza del agua refleja diferentes niveles de minerales disueltos, lo que puede tener impactos tanto positivos como negativos en la salud de los organismos acuáticos.

La presencia de materia orgánica y posibles contaminaciones orgánicas, indicada por los valores de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), plantea preocupaciones adicionales sobre las condiciones del agua y su capacidad para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto para la vida acuática.

Además, los altos niveles de fósforo total, junto con la detección de E. Coli y coliformes termotolerantes en múltiples puntos de muestreo, señalan una contaminación fecal significativa, lo que plantea riesgos para la salud humana y el equilibrio ambiental.

En cuanto a los metales pesados, los resultados indican condiciones favorables, sin riesgos significativos de contaminación. Estos hallazgos reflejan un ambiente acuático saludable y el cumplimiento con los estándares normativos vigentes, lo cual es crucial para la salud pública y la protección de los ecosistemas.

En general, el análisis de agua demuestra que estas cumplen con los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 en cuanto a parámetros fisicoquímicos, lo que las hace aptas para su uso en actividades de riego agrícola. Esto garantiza que el agua puede ser empleada sin riesgo significativo para el medio ambiente y los cultivos, permitiendo mantener prácticas agrícolas seguras dentro de los estándares normativos. Su composición química se encuentra dentro de los valores aceptables, lo que reduce la posibilidad de afectaciones al suelo y a las plantas.

Sin embargo, los resultados de los parámetros microbiológicos indican la presencia de contaminantes como coliformes fecales termotolerantes, *E. coli*. y *Salmonella* sp. Y la determinación de metales pesados indican concentraciones de cromo en la mayoría de las muestras que exceden los límites permitidos para uso o consumo humano de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021. Estos microorganismos representan un alto riesgo para la salud si el agua es utilizada para beber, cocinar o en actividades relacionadas con el consumo directo. Por esta razón, aunque el agua es segura para riego, no puede considerarse apta para aplicaciones domésticas o de abastecimiento de agua potable, ya que podría causar enfermedades transmitidas por el agua.

### **10.3 Suelo**

Los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante la fase de laboratorio son de importancia a la hora de realizar la evaluación de la microcuenca. Ya que obtenemos información valiosa sobre la salud y las propiedades del suelo de la microcuenca.

La diversidad textural observada resalta la necesidad de estrategias de manejo adaptadas a cada tipo de suelo. Los suelos más arenosos pueden beneficiarse de prácticas como la adición de materia orgánica para mejorar su capacidad de retención de agua y nutrientes, mientras que los suelos con mayor contenido de arcilla podrían requerir técnicas que favorezcan el drenaje y minimicen problemas de compactación. Esta información es crucial para el desarrollo de planes de manejo sostenible, ya que la textura del suelo influye directamente en su capacidad de soporte para la agricultura, la disponibilidad de agua y la productividad general.

En general se puede observar una variabilidad de pH, lo cual puede tener implicaciones directas para la vegetación en la microcuenca y debido a que las plantas tienen preferencias específicas de pH, y la diversidad en los valores de pH puede indicar la necesidad de ajustes para adaptarse a diferentes tipos de vegetación.

La conductividad eléctrica es un indicador clave para evaluar la salinidad del suelo, ya que mide la capacidad de este para conducir electricidad en función de la concentración de sales disueltas. Valores elevados de conductividad pueden reflejar una acumulación significativa de sales, lo que podría alterar el equilibrio hídrico de la microcuenca y afectar el desarrollo de la vegetación y la actividad biológica del suelo. Un exceso de sales puede

dificultar la absorción de agua por parte de las plantas y modificar la estructura del suelo, generando posibles impactos en los ecosistemas locales. No obstante, en la mayoría de los suelos, los niveles de salinidad suelen ser despreciables, por lo que los efectos negativos asociados a este fenómeno no representan un problema común.

Los niveles de materia orgánica, nitrógeno y fósforo son indicadores clave de la fertilidad del suelo. En la microcuenca podemos encontrar gran variabilidad de estos indicadores. Cabe mencionar que en cuanto a parámetros de materia orgánica y nitrógeno se refiere, estos son normalmente proporcionales. Por lo cual, se esperaría tener valores altos de N donde hay valores altos de M.O. Sin embargo, aunque la mayoría de los suelos lo cumplen, encontramos que 6 de los suelos no cumplen esta relación (S4, S5, S6, S13, S14 y S15), lo cual podría estar reduciendo el potencial de estos suelos. El fósforo por su parte está vinculado al pH del suelo, y cuando este último es alcalino, la solubilidad del fósforo tiende a disminuir. Esto se debe a que, en suelos alcalinos, el fósforo reacciona con el calcio (Ca), dando lugar a la formación de compuestos insolubles o de baja solubilidad, como los fosfatos de calcio (INTAGRI, 2017).

La diversidad en los tipos de suelo dentro de la microcuenca influye en factores clave como la capacidad de retención de agua, la susceptibilidad a la erosión y la sostenibilidad a largo plazo del ecosistema. La presencia de carbonatos puede modificar las propiedades químicas del suelo, afectando su capacidad para retener nutrientes esenciales y alterar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es un indicador fundamental de la fertilidad del suelo, ya que determina su habilidad para retener y suministrar nutrientes a las plantas de manera continua. Un suelo con una CIC adecuada contribuye a la estabilidad de la microcuenca al favorecer el crecimiento vegetal y reducir la pérdida de nutrientes por lixiviación.

#### **10.4 Erosión hídrica**

Un grado de Erosión clasificado como "Severo", según SEMARNAT (2012) representa una amenaza significativa para la estabilidad y productividad del suelo, afectando tanto la capacidad agrícola como la salud del ecosistema. La alta tasa de pérdida de suelo implica que, sin intervención, la degradación del suelo continuará, disminuyendo su capacidad para

soportar cultivos y vegetación natural, y aumentando la vulnerabilidad a inundaciones y deslizamientos de tierra.

Es esencial implementar medidas de conservación del suelo y manejo del agua. Estas pueden incluir la reforestación, la construcción de terrazas y la implementación de barreras vegetales para reducir la velocidad del agua y promover la infiltración. La gestión adecuada del agua es también crucial, como la construcción de estructuras de captación de agua de lluvia y la mejora de sistemas de drenaje para reducir la escorrentía superficial. Además, es fundamental establecer un programa de monitoreo continuo para evaluar la efectividad de las medidas adoptadas y ajustar las estrategias según sea necesario.

### **10.5 Aspecto social**

La información recopilada a través de encuestas proporciona una visión detallada de cómo la comunidad percibe la problemática en cuestión. Queda claro que existe una problemática presente y que los residentes son conscientes de su existencia. Sin embargo, se observa que la falta de información o difusión del valor que representan las barrancas en la sociedad ha llevado a que las costumbres y acciones que han contribuido a la situación actual sigan y prevalezcan a través de los años.

Un aspecto llamativo es la aparente falta de interés por parte de la comunidad en participar en campañas o talleres destinados a fomentar prácticas sostenibles. Esta actitud genera preocupación, ya que indica una posible resistencia al cambio o una falta de comprensión sobre la importancia de adoptar acciones más sostenibles. Ante esta situación, se vuelve imperativo diseñar estrategias que se adapten a las necesidades específicas de la comunidad. Esto implica no solo proporcionar información clara y accesible sobre la problemática y las prácticas sostenibles, sino también abordar las barreras que pueden estar impidiendo la participación de los residentes. Estas estrategias deben ser diseñadas de manera participativa, teniendo en cuenta las opiniones y preocupaciones de la comunidad para garantizar su relevancia y aceptación. Al adaptar estrategias a sus necesidades, se puede esperar un mayor compromiso y adopción de prácticas que contribuyan a la resolución de la problemática.

## **11 Propuestas de acciones de manejo para la conservación ambiental y mejoramiento de la salud pública.**

Para mejorar la salud socioambiental de San José el Aguacate, se proponen diversas acciones integrales de manejo. En términos de conservación ambiental, se propone implementar programas de reforestación enfocados en especies nativas, con el objetivo de restaurar áreas degradadas y aumentar la cobertura vegetal. Además, se contempla el uso de técnicas avanzadas de restauración ecológica, como la construcción de terrazas, para controlar la erosión del suelo y proteger las áreas vulnerables de la microcuenca.

En el manejo del agua, se prioriza la captación y almacenamiento de agua de lluvia mediante la instalación de sistemas adecuados en hogares y edificios comunitarios. Esta estrategia no solo disminuye la dependencia de fuentes externas, sino que también fomenta un uso más eficiente del recurso, especialmente en la agricultura local, mediante técnicas como el riego por goteo. Además, se plantea la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que contribuiría a reducir la contaminación ambiental y mejorar la disponibilidad de agua para diversos usos, promoviendo así una gestión sostenible del recurso hídrico en la comunidad.

Para fortalecer los servicios básicos, se propone desarrollar infraestructura sanitaria mediante la construcción de letrinas o un sistema de drenaje que faciliten un manejo adecuado de los desechos humanos. Esto incluye programas educativos destinados a promover prácticas de higiene y salud pública entre los residentes. Asimismo, se plantea la implementación de un sistema integral de gestión de residuos sólidos urbanos, con recolección regular y programas de reciclaje y compostaje para reducir la contaminación ambiental y mejorar la limpieza de espacios públicos.

Educacionalmente, se propone implementar programas educativos y talleres en las escuelas locales centrados en la conservación ambiental, el manejo sostenible de recursos naturales y la conciencia sobre el cambio climático. Estos esfuerzos se complementarán con talleres comunitarios que promuevan prácticas agrícolas sostenibles, eficiencia energética y uso responsable de los recursos naturales, buscando empoderar a la comunidad y fomentar una cultura de cuidado ambiental.

Finalmente, se propone la creación de un sistema de monitoreo ambiental continuo para evaluar la efectividad de las acciones implementadas y realizar ajustes según sea necesario. Este sistema incluirá la medición periódica de indicadores clave, como la disponibilidad y características del agua, la cobertura vegetal y otros factores determinantes de la salud ambiental. Al adoptar un enfoque adaptativo y basado en datos, se garantizará la sostenibilidad de las intervenciones y se fortalecerá la resiliencia socioambiental de San José el Aguacate, promoviendo una gestión más eficiente y responsable de sus recursos naturales.

## CONCLUSIONES

Con base en el análisis morfométrico, la microcuenca del Aguacate exhibe características de un río maduro, lo cual favorece una respuesta hidrológica equilibrada y una gestión efectiva de los flujos de agua, fortaleciendo su estabilidad y resiliencia frente a eventos climáticos extremos. Sin embargo, las condiciones del agua presentan desafíos significativos, evidenciados por niveles elevados de contaminantes y la presencia de bacterias en varias muestras.

La pérdida de 76.028 ha de vegetación arbustiva de bosque de encino, reemplazada por áreas agrícolas, y de 24.379 ha transformadas en pastizales, refleja el impacto de las actividades humanas en la cobertura vegetal. Esta transformación responde a la expansión de tierras para cultivo y ganadería, lo que modifica las dinámicas ecológicas de la zona. La reducción de vegetación natural puede afectar la retención de agua, la estabilidad del suelo y la biodiversidad local. Sin embargo, la recuperación de 26.616 ha de vegetación arbustiva de bosque de encino sugiere esfuerzos de conservación por parte de los pobladores, quienes buscan preservar los recursos naturales. Además, evidencia la resiliencia del medio ambiente.

Los parámetros químicos del agua revelan que las muestras se encuentran dentro de los límites permisibles según la normativa mexicana, aunque la muestra A-4 (desagüe) muestra concentraciones más altas de CE, DQO y fósforo total en ambos muestreos. Los análisis microbiológicos indican la presencia de E. coli, coliformes termotolerantes y Salmonella sp. en la mayoría de las muestras, exceptuando la muestra A-2 en ambos muestreos y la

muestra A-5 al final de la temporada de lluvias, lo que subraya la necesidad de un monitoreo continuo de estos parámetros para evitar enfermedades en la población.

Los análisis de metales pesados en la microcuenca de San José el Aguacate revelan que las muestras de agua cumplen con los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021, mostrando ausencia de cadmio, níquel y plomo, así como concentraciones aceptables de cromo (entre 0.01 mg/L y 1.07 mg/L), cobre (entre 0.01 mg/L y 0.02 mg/L) y zinc (entre 0.05 mg/L y 0.18 mg/L). Sin embargo, en cuanto a cromo, los valores superan los límites permisibles para uso y consumo humano, establecidos en la NOM-127-SSA1-2021. Por lo que es fundamental establecer un monitoreo continuo para prevenir la acumulación de metales pesados, ya que factores como el uso de agroquímicos y la erosión del suelo pueden representar riesgos en el futuro.

En cuanto al suelo, se registra un pH medianamente alcalino, lo que indica condiciones químicas favorables para el desarrollo vegetal. La conductividad eléctrica presenta valores despreciables de salinidad, lo que sugiere la ausencia de problemas asociados a la acumulación de sales en el perfil del suelo. Además, el alto contenido de materia orgánica y nitrógeno contribuye a mejorar la estructura del suelo y favorecer el crecimiento de la vegetación. La disponibilidad media de fósforo indica que este nutriente está presente en cantidades moderadas, lo que puede influir en la productividad del ecosistema. Por otro lado, la alta capacidad de intercambio catiónico sugiere una buena retención de nutrientes esenciales para las plantas. Estos factores en conjunto favorecen la fertilidad del suelo y su capacidad para sostener la biodiversidad local.

No obstante, la erosión severa representa una amenaza significativa para la estabilidad del suelo, afectando su capacidad agrícola y su función en el ecosistema. La pérdida de la capa superficial disminuye la cantidad de materia orgánica y nutrientes disponibles, lo que repercute en la productividad del suelo a largo plazo. Además, la compactación y el arrastre de partículas pueden reducir la infiltración de agua, aumentando el riesgo de escorrentía y degradación del terreno. La disminución de la cobertura vegetal como consecuencia de la erosión también afecta la biodiversidad y la regulación climática de la zona. Si no se implementan medidas de conservación, la erosión continuará comprometiendo la sostenibilidad del suelo y su capacidad para mantener la vegetación natural. Por ello, es fundamental aplicar estrategias de manejo adecuadas que minimicen la degradación y promuevan su recuperación.

Las entrevistas y encuestas realizadas a residentes y líderes locales revelan una fuerte conciencia sobre los desafíos que enfrenta la microcuenca. La comunidad expresa una gran preocupación por la salud y el bienestar de sus habitantes, reconociendo cómo la degradación ambiental afecta su bienestar y el equilibrio ecológico de la región. Además, los actores clave han manifestado su disposición y compromiso para llevar a cabo acciones de mitigación, incluyendo proyectos de conservación del suelo, manejo eficiente del agua, reforestación y programas de educación ambiental. Adaptar estas estrategias a las necesidades locales favorecerá una mayor participación y la adopción de prácticas sostenibles. Estas iniciativas reflejan el carácter proactivo de la comunidad, preparada para enfrentar los desafíos ambientales y avanzar hacia la restauración integral de la microcuenca, asegurando un entorno más saludable y resiliente para las generaciones futuras.

Las interrelaciones entre los factores físicos, biológicos y sociales en la microcuenca son evidentes y tienen un impacto significativo en el ecosistema local. Las condiciones del agua influyen directamente en la salud de la comunidad, afectando su bienestar general y productividad económica. Asimismo, la erosión del suelo repercute negativamente en la agricultura, lo que puede conducir a inseguridad alimentaria y descontento social. La transformación del paisaje, marcada por la pérdida de vegetación, compromete la regulación hídrica, exacerbando la contaminación del agua y disminuyendo la biodiversidad. Sin embargo, la disposición de la comunidad para participar en proyectos de conservación y restauración se presenta como una oportunidad clave; su involucramiento activo puede mitigar los efectos adversos de la degradación ambiental y contribuir de manera sustancial a la restauración del equilibrio ecológico en la microcuenca.

# REFERENCIAS

- CONAGUA. (2023). *Calidad del Agua*.  
[https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=6#:~:text=Para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la,S%C3%B3lidos%20Suspendidos%20Totales%20\(SST\).](https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=6#:~:text=Para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20de%20la,S%C3%B3lidos%20Suspendidos%20Totales%20(SST).)
- CONAPO. (2020). *Población total, indicadores socioeconómicos, índice y grado de marginación por localidad, 2020*.
- Danny Ibarra Vega. (2022, May 11). Diagrama niveles y flujos en Vensim. Cambio uso de suelo y alimentos (Dinámica de Sistemas). [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=gZkZs1qy1p8>
- De Estadística y Geografía, I. N. (s.f.). Continuo de elevaciones mexicano y modelos digitales de elevación. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- De Estadística Y Geografía, I. N. (s.f.). Uso de suelo y vegetación. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Del Razo, R. (2023, August 21). ¿Cómo estará el clima en Puebla este martes 22 de agosto de 2023? Azteca Puebla. <https://www.aztecapuebla.com/clima/clima-en-puebla-este-martes-22-agosto-2023>
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Inv. Ed Med*, 2(7), 162–167. [www.elsevier.es](http://www.elsevier.es)
- DOF. (2002). *NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*.
- DOF. (2016). *Acuífero Ixcaquixtla, Clave 2106*. Diario Oficial de La Federación.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5424264&fecha=03/02/2016&print=true](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5424264&fecha=03/02/2016&print=true)
- FAO. (2023). *Degradación del Suelo*. Portal de Suelos de La FAO.
- FCEA. (2020). *Agua en el planeta*. Fondo para la comunicación y educación ambiental. Recuperado el 2 de diciembre de 2022, a partir de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- Greenpeace México. (2021). *¿Por qué en México hay escasez de agua?*  
<https://www.greenpeace.org/mexico/blog/10163/por-que-en-mexico-hay-escasez-de-agua/>

- Guttman-Sterimberg, E., Zorro-Sánchez, C., Cuervo-de Forero, A., & Ramírez-J., J. C. (2004). *Diseño de un sistema de indicadores socio ambientales para el Distrito Capital de Bogotá*. Naciones Unidas CEPAL.
- H Ayuntamiento de Puebla. (2014). *Gobierno del estado de puebla programa municipal de desarrollo urbano sustentable de puebla*.
- IBAL. (s. f.). Plan de ordenación y manejo de la microcuenca de las Quebradas Las Panelas y la Balsa. Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. I. (s. f.). Morfología de las cuencas hidrológicas [Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- Ibáñez, J. J. (2010, enero 22). Carbonatos del Suelo: Curso de Diagnóstico de Suelos en Campo (Régulo León Arteta) - Un Universo invisible bajo nuestros pies. Un Universo invisible bajo nuestros pies - Los suelos y la vida. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/01/64693#comments>
- iAgua. (2022). *El mapa de la escasez de agua en el mundo* | <https://www.iagua.es/blogs/facts-and-figures/mapa-escasez-agua-mundo>
- IMTA. (2019). *¿Qué es una cuenca?* Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua. <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>
- INECC. (2007). *Memoria del Taller “Barrancas urbanas: Soluciones a la problemática ambiental y opciones de financiamiento”*.
- INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2017. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)
- INEGI. (2020a). Principales resultados por localidad (ITER) 2020. En *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*.
- INEGI. (2020b). *San José el Aguacate, Puebla, Puebla*. México En Cifras. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Resumen>
- INEGI. (2021). *Aspectos Geográficos*. [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)
- LGEEPA. (2022). Áreas naturales protegidas. *Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente*.

- Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques.* (n.d.). Obtenido de:  
<https://www.fao.org/3/xii/ms12a-s.htm>
- Mejía Maldonado, A. (2021). La gestión comunitaria del agua potable para uso doméstico: caso San José el Aguacate, Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/16119>
- Meganoticias. (2021). Necesidades para pobladores en San José el Aguacate. *Meganoticias*.  
<https://www.meganoticias.mx/puebla/noticia/necesidades-para-pobladores-en-san-jose-el-aguacate/257715>
- Naciones Unidas. (2018). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- NESTLE. (2022, abril 20). *Desechos sólidos: Qué son, tipos y cómo gestionarlos*. Nestlé a Gusto Con La Vida. <https://www.nestleagustoconla vida.com/re/desechos-solidos-como-gestionarlos>
- Norma general de ordenación 21. (2005). *Barrancas*.
- ONU - DAES. (2014). “El agua, fuente de vida” 2005-2015. *Decenio Internacional Para La Acción*.
- Ordoñez-Gálvez, J. J. (2011). Cartilla Técnica: ¿Qué es cuenca hidrológica? *Contribuyendo al Desarrollo de Una Cultura Del Agua y La Gestión Integral Del Recurso Hídrico, 1*.
- Pacheco, V. G., Emilia, S., Gómez, S., Chaves Bravo, E., Zayas Pérez, T., & Castelán Vega, R. (2020). *The Ravines of puebla city, mexico: an untapped resource in a metropolis with a deficit of green areas*. 45(2).
- Pedrozo Acuña, A., & Ramírez Salinas, N. (2020). La eutrofización de cuerpos de agua: un síntoma antropogénico que requiere atención. *Perspectivas IMTA, 1(08)*. <https://doi.org/10.24850/B-IMTA-PERSPECTIVAS-2020-08>
- Pizarro Tapia, R., Cuitiño M., H., Flores V., J. P., Sangüesa P., C., & Martínez A., E. (s.f.). *Metodología de los clavos de erosión para la evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial*. Sociedad EIAS Ltda. Recuperado de [https://www.cuhs.atalca.cl/ex-ctha/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/j\\_metodologia\\_clavos\\_erosion.pdf](https://www.cuhs.atalca.cl/ex-ctha/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/j_metodologia_clavos_erosion.pdf)
- Profesor SIG. (2021, July 17). QGIS. Cambio de cobertura y uso del suelo. Curso completo con datos oficiales (proceso vectorial) [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=51ErOj8JlrU>

- Rodríguez Pimentel, H. (2022). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. IAgua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Sánchez Ledezma, G., García Flores, F., & Morales Fuentes, H. (2001). *Manual de conservación de suelos y agua* (1ª reimpresión). Centro Campesino para el Desarrollo Sustentable, A.C. y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/185891.pdf>
- SAGUAPAC. (2022, febrero 12). *¿Qué son las aguas negras y grises?* <https://www.saguapac.com.bo/que-son-las-aguas-negras-y-grises-y-cual-es-su-impacto-en-en-medioambiente/>
- Secretaría de economía. (2013). Perfil del Mercado de la Caliza. *Dirección General de Desarrollo Minero*. [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_caliza\\_1013.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_caliza_1013.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente, D. S. y O. T. (s/f). *ESTUDIO PREVIO JUSTIFICATIVO PARA LA DECLARATORIA DE LA RESERVA ESTATAL "SIERRA DEL TENTZO"*.
- SEMARNAT. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. *Cuadernos de Divulgación Ambiental*, 5–31.
- SEMARNAT. (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. En *SEMARNAT* (2015a ed.). SEMARNAT.
- SEMARNAT (s.f). Vegetación y uso de suelo. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. [https://paot.org.mx/centro/informacion-semarnat/informe02/estadisticas\\_2000/informe\\_2000/02\\_Vegetacion/2.2\\_Cambios/index.htm](https://paot.org.mx/centro/informacion-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.2_Cambios/index.htm)
- SICMA ECUADOR. (2022). *Aluviones: Alarmas de cambio climático*. <https://www.sicmaecuador.com/post/aluviones-alarmas-de-cambio-clim%C3%A1tico>
- SNIARN. (s/f). *Informe del Medio Ambiente - Suelos*. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Recuperado el 25 de enero de 2023, a partir de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap3.html#tema2>

Somarriba Chang, M. (1998). *Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica*. PASOLAC. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Matilde-Somarriba-Chang/publication/259952614\\_Manual\\_de\\_metodos\\_sencillos\\_para\\_estimar\\_erosion\\_hidrica/links/0deec52eac6bcd94000000/Manual-de-metodos-sencillos-para-estimar-erosion-hidrica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Matilde-Somarriba-Chang/publication/259952614_Manual_de_metodos_sencillos_para_estimar_erosion_hidrica/links/0deec52eac6bcd94000000/Manual-de-metodos-sencillos-para-estimar-erosion-hidrica.pdf)

Villegas, P. (2020, 25 febrero). *Análisis Morfométrico de una cuenca*. Agua y SIG. [https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/#:~:text=El%20Desnivel%20altitudinal%20\(DA\)%2C,DA%3DHMax%2DHmin\)](https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/#:~:text=El%20Desnivel%20altitudinal%20(DA)%2C,DA%3DHMax%2DHmin)).

*Vista de Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas*. (s. f.). <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/495/466>

Todos por un nuevo país. (s. f.). Caracterización de la cuenca del río La Vieja. En Plan de Ordenación y manejo de la cuenca del río La Vieja. [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes\\_y\\_Programas/Planes\\_de\\_Ordenacion\\_y\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7\\_CapituloI\\_Diagnostico\\_Morfometrica.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometrica.pdf)

Villegas, P. (2020, 25 febrero). *Análisis Morfométrico de una cuenca*. Agua y SIG. [https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/#:~:text=El%20Desnivel%20altitudinal%20\(DA\)%2C,DA%3DHMax%2DHmin\)](https://aguaysig.com/analisis-morfometrico-de-una-cuenca/#:~:text=El%20Desnivel%20altitudinal%20(DA)%2C,DA%3DHMax%2DHmin)).

*Vista de Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas*. (s. f.). <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/495/466>

Zhica y Lombaida, J. I. (2019). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca Río San Francisco, Cantón Gualaceo. [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>

# ANEXOS

## Anexo 1. Marco Legal

- a. NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- b. NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- c. NMX-AA-008-SCFI-2016, Medición de PH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.
- d. NMX-AA-007-SCFI- 2013,-Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
- e. NMX-AA-051-SCFI-2001 Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba
- f. NMX-AA-072-SCFI-2001 Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. (kit)
- g. NMX-AA-030/1-SCFI-2012, Medición de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
- h. NMX-AA-051-SCFI-200, Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.
- i. NMX-AA-042-SCFI-2015 Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli - Método del número más probable en tubos múltiples.

## Anexo 2. Encuesta

### PRESENTACIÓN

Buen día, mi nombre es \_\_\_\_\_, estudiante del Instituto de Ciencias BUAP. Visitando algunos hogares del Aguacate para obtener datos sobre tenencia de la tierra y algunos temas relacionados con estos aspectos para mi investigación en relación con el estado ambiental de la Barranca. La información proporcionada será confidencial y será utilizada para fines estadísticos para este estudio. ¿Está usted de acuerdo en contestar este cuestionario?

Identificación Geográfica	Control	Fecha:
No de Cuadrante: _____	No. de Cuestionario: _____ de 47	DD/MM/AA: _____

Nombre: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_

Ocupación: \_\_\_\_\_

Puesto que ocupa dentro de la comunidad (solo para actores clave): \_\_\_\_\_

Tipo de vivienda: a) Casa Propia, b) Casa Prestada, c) Casa restada, d) Cuarto Solo, e) Departamento

### SITUACIÓN ACTUAL

1. ¿Es propietario de tierras (incluyendo la parcela donde vive)? (SI) ¿Cuál es la extensión de sus tierras? (NO) pasar a la pregunta 8.	a) Menos de 1ha b) 1-5 ha c) 5-10 ha d) Más de 10 ha		
2. ¿Cuenta con tierras abandonadas o que no se trabajen?	a) Menos 10% d) 50 -100%	b) 10-25% e) No cuenta con tierras ociosas	c) 25-50%
3. ¿Cuál es la tenencia de sus tierras?	a) Ejidal d) Propiedad privada	b) Comunal	c) Agrícola y ganadera e) Federal o publica
4. ¿Tiene tierras de cultivo? (SI) ¿Qué cultivo(s) siembra? (NO) pasar a la pregunta 9	a) Maíz d) Maíz y calabaza	b) Frijol	c) Calabaza d) Maíz y Frijol e) Otro: _____
5. ¿Qué sistema de cultivo maneja?	a) De Temporal	b) De Riego	
6. ¿Aplica fertilizantes en sus cultivos?	a) Orgánico	b) Inorgánico	
7. ¿Cuál es la disposición de sus cosechas?	a) Consumo personal d) Otro _____	b) Venta	c) Donación
8. ¿Tiene otro ingreso aparte de la agricultura?	SI	NO	(Si) ¿Cuál? _____
9. ¿En general, realiza alguna práctica para la conservación de la biodiversidad, suelo o agua? <b>Biodiversidad:</b> No cazar, No talar árboles, etc. <b>Suelo:</b> Barreras vivas, Abandono de fertilizantes y pesticidas sintéticos, etc. <b>Agua:</b> Bañarse en 5 min, cerrar la llave durante el cepillado de los dientes, etc.	SI	NO	(Si) ¿Cuál(es)? <b>Biodiversidad:</b> _____ _____ <b>Suelo:</b> _____ _____ <b>Agua:</b> _____ _____
10. ¿Realiza actividades de reciclaje o compostaje?	SI	NO	(Si) ¿Cuál(es)? _____ _____
11. ¿Dónde descarga sus aguas residuales (agua de baño, de lavadora, trastes, etc.)?	a) Fosa séptica d) Otro: _____	b) Barranca	c) Biodigestor
12. ¿Qué hace con su basura?	a) Va a la barranca d) La lleva al cerro	b) La quema	c) Se Entierra e) La lleva a un contenedor f) Otro: _____

**CONOCIMIENTO DEL ÁREA**

13. ¿Recuerda en qué condiciones se encontraba la barranca cuando era niño(a)?, ¿podría explicar lo que recuerda? <b>(NO) pasar a la siguiente pregunta:</b> _____		
14. ¿Considera que la barranca presenta actualmente algún problema? <i>(NO) Continuar con la pregunta 18</i>	SI	NO
15. ¿Cuándo considera que inició la problemática en la barranca? <b>(Anotar en años):</b> _____		
16. ¿Cómo considera que dio inicio esta problemática? <i>(Falta de un sitio para la disposición de la basura, creación o falta de fosas sépticas, etc.)</i> _____		
17. ¿Cómo considera que la(s) problemática(s) que menciona le afectan a usted, a su familia o a sus cosechas? _____		

**APOYOS GUBERNAMENTALES**

18. El gobierno o alguna institución han hablado con usted sobre:			
18.1 La protección de la flora y fauna silvestre.	SI	NO	(SI) ¿Qué institución o dependencia de gobierno? _____
18.2 La restauración de la barranca	SI	NO	¿Qué método recuerda? _____
19. ¿Usted o alguien de su núcleo familiar, recibe algún apoyo gubernamental? <i>(Sembrando vida, 60 y más, Procampo, Jóvenes construyendo el futuro, etc.)</i>	SI	NO	(SI) ¿Cuál? _____

**SOBRE SU PARTICIPACIÓN**

20. En la escala del 1-5, donde 1 es lo más bajo y 5 el más alto que tan de acuerdo estaría con:					
20.1 Aplicar en su(s) tierra(s) algunas prácticas de conservación como reforestación, policultivos, etc. <b>(Solo si el encuestado contestó SI en la pregunta 1)</b>	1	2	3	4	5
20.2 Participar en talleres de reciclaje o compostaje.	1	2	3	4	5
20.3 Recibir pláticas o talleres sobre la importancia de la conservación de los recursos naturales.	1	2	3	4	5
20.4 Recibir pláticas o talleres sobre la conservación de las barrancas	1	2	3	4	5

**PROPUESTAS DE LOS HABITANTES**

21. ¿Qué sugiere para restablecer la flora y fauna del lugar? _____
_____
22. ¿Qué propondría para que la población participe en la recuperación de la barranca? _____
_____
_____

23. Según su criterio, jerarquice del 1 al 12 cuales son las problemáticas presentes en la barranca. Si considera que no hay este problema, deje en blanco.

	Deforestación	
	Eutrofización	
	Descarga de aguas negras (agua del inodoro)	
	Basura	
	Falta de agua	
	Pérdida de cultivos	
	Caza furtiva	
	Filtración de agua contaminada a pozos de agua potable	
	Descarga de aguas grises (agua de duchas, bañeras y lavamanos, de lavadora, trastes)	
	Azolvamiento (Material arrastrado por las corrientes de agua que forma un banco de arena o disminuye la profundidad de la superficie marina o fluvial)	
	Erosión de suelo (La erosión es un proceso en que se va perdiendo la capa superficial del suelo, que proporciona a las plantas la mayoría de los nutrientes y el agua que necesitan)	
	Fauna <u>feral</u> (perros, gatos, serpientes, iguanas o cualquiera otra especie que siendo domésticas se vuelven salvajes al sobrevivir en el medio silvestre y que puede afectar a la fauna nativa)	

### **Anexo 3: Entrevista**

¿Qué actividades tiene a su cargo?

¿cuántos años lleva viviendo en el aguacate?

¿Cree que la barranca presenta un problema actualmente?

¿Hace cuantos años cree que dio inicio esta problemática?

¿Como recuerda que se encontraba la barranca ante de dicha problemática?

¿Como le afecta a usted y su familia?

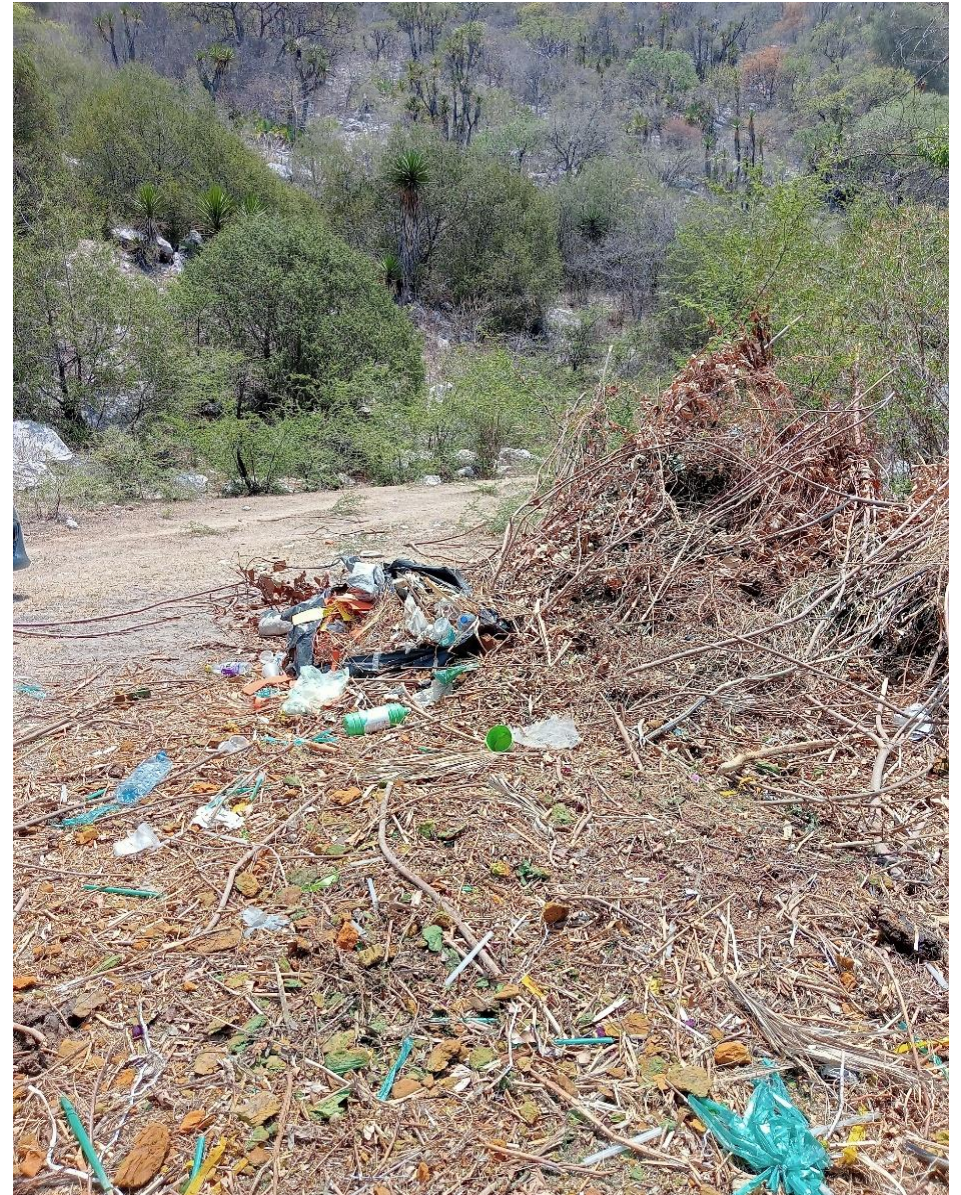
¿Como le gustaría ver la barranca en un futuro?

¿Como autoridad que acciones tomaría para su restauración?

#### Anexo 4: Anexo fotográfico



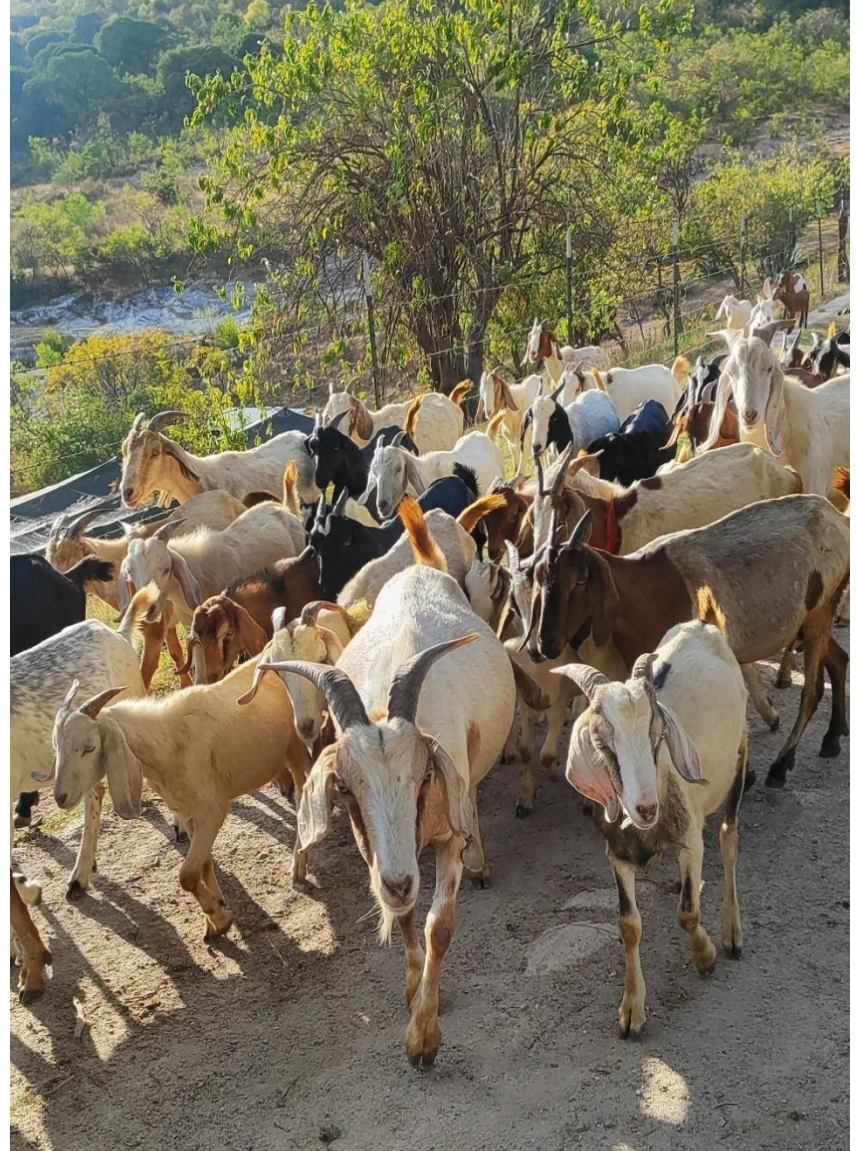
*Imagen 36. Neumático en el cauce principal a la entrada de la comunidad.*



*Imagen 37. Arrastre de RSU y aluvión.*



*Imagen 38. Arroyo después durante la temporada de lluvia*



*Imagen 39. Pastoreo caprino.*



*Imagen 40. Presa, fuente de agua para el ganado.*



Imagen 41. Turismo en la presa.



Imagen 42. Gran flujo vehicular en la carretera Puebla-Huehuetlán



*Imagen 43. Participación ciudadana para mantener limpia el área.*



*Imagen 44. Reunión del comité del agua potable.*



*Imagen 45. Apoyo del gobierno con despensas.*



*Imagen 46. Apoyo federal. Sembrando vida*



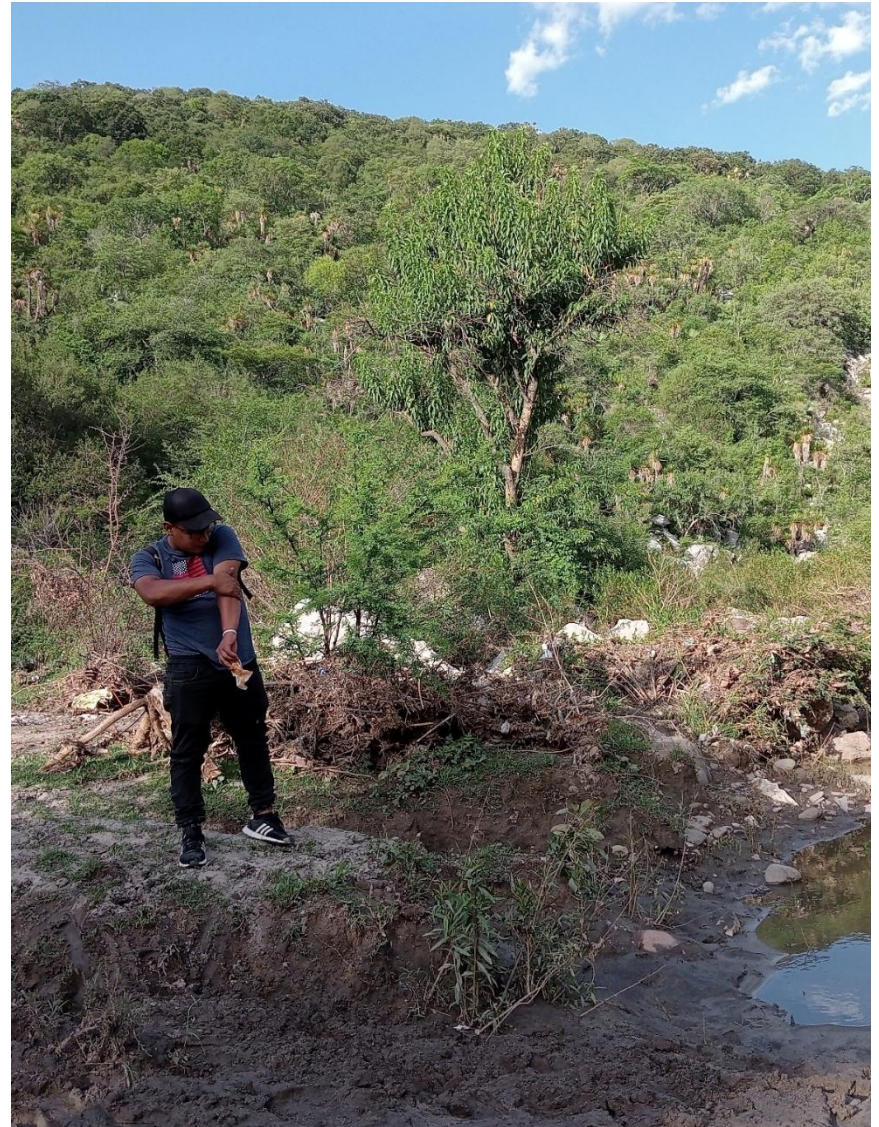
*Imagen 47. Día de muestreo en La Cuilotera*



*Imagen 48. Obteniendo perfiles de suelo.*



*Imagen 49. Poza Larga.*



*Imagen 50. Base del La Equizotera.*



*Imagen 51. Leandro Rojas.  
Inspector de la comunidad  
(2022-2025)*



*Imagen 52. Alberto Machorro.  
Comisario Ejidal  
(2021-2024)*



*Imagen 53. Fernando Jiménez  
secretario del comité Ejidal  
(2021-2024)*



*Imagen 54. Antonio Salazar.  
tesorero del comité Ejidal  
(2021-2024)*