



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

## Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Departamento de Producción Forestal

Departamento de Ciencias Ambientales

Departamento de Biología Celular y Molecular

## Evaluación hidrológica-forestal 2024 – 2025 de dos microcuencas en el Ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida “Sierra de Quila”

### INFORME TÉCNICO FINAL



**Coordinadores:** Villavicencio-García Raymundo, Santiago-Pérez Ana Luisa, García-Velasco Javier, Casas-Solís Josefina, Quintero-Almodóvar Ofelia, Ávila-Coria Rosaura, Portillo-Mejía Alma Sugey, Barba-Calvillo Guillermo, Rosas-Espinoza Verónica Carolina; Orozco-Medina Martha Georgina

Las Agujas, Zapopan, Jalisco. Octubre de 2025

El presente Informe Técnico es el resultado del proyecto: *Evaluación hidrológica-forestal 2024 – 2025 de dos microcuencas en el Ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila"*, celebrado en convenio de cooperación académica y técnica entre el Organismo Público Descentralizado (OPD) Sierra de Quila, representado por el C. Ing. Marduck Cruz Bustamante, Director General; el Ejido Quila, representado por el Presidente Ejidal C. Ing. Onofre Guijarro Aceves; la Organización Civil "Despierta Quila", representado por la C. Lic. Ofelia Quintero Almodóvar y los investigadores de la Universidad de Guadalajara del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Dr. Raymundo Villavicencio García, M.C. Ana Luisa Santiago Pérez y Dr. Javier García Velasco.

### **Profesores participantes**

Javier García Velasco, Martha Georgina Orozco Medina, integrantes del Cuerpo Académico "Salud Ambiental y Desarrollo Sustentable" (UDG-CA-43).

Josefina Casas Solís, integrante del Cuerpo Académico "Biología de la Respuesta Inmune" (UDG-CA-482).

Ana Luisa Santiago Pérez, Verónica Carolina Rosas Espinoza, integrantes del Cuerpo Académico "Relaciones multiespecíficas en espacios naturales y urbanos" (UDG-CA-976).

Raymundo Villavicencio García, Guillermo Barba Calvillo, Sergio Honorio Contreras Rodríguez y Rosaura Ávila Coria, integrantes y colaborador del Cuerpo Académico "Geobotánica y Gestión del Manejo de Recursos Naturales" (UDG-CA-774).

### **Ejido Quila participantes**

María Almodóvar Jiménez  
Karen Camacho Diaz  
Sergio Camacho Luquin  
Aaron Corona Jiménez  
Octavio Corona Rosas  
Stephanie Corona Jiménez  
Abraham Díaz Regla  
Clara Edith Gómez López  
Alejandro Gutiérrez Andrade  
Julieta Gutiérrez Sánchez  
Therese Catherine Harris  
José Hernández Camacho  
Pedro Jiménez Barbosa

Beatriz Jiménez Gómez  
José de Jesús Jiménez Gómez  
Angelica Jiménez Luquin  
Samantha Jiménez Luquin  
Hiroito Jiménez Pérez  
Ignacio Luquin Pérez  
Ofelia Quintero Almodóvar  
Yanira Quintero Almodóvar  
Hilario Sánchez Escoria  
María Inés Sánchez Sánchez  
Iris de La Paz Sánchez Sánchez  
Eréndira Jacqueline Sedano Quirarte  
Valeria Sedano Quirarte

### **Estudiantes colaboradores del CUCBA - Universidad de Guadalajara**

Uriel Barajas Olmos  
María Fernanda Barraza Cerpa  
Jonatan Manuel López  
Diana Aidée Ortega Ríos  
Alma Sugey Portillo Mejía  
Daniela Monserrat Ríos Grajeda

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO .....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS Y ANEXOS .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
2.1    OBJETIVOS PARTICULARES.....	3
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
3.1    LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	5
3.1.1    Clima.....	6
3.1.2    Geología y suelos .....	6
3.1.3    Hidrología.....	7
3.1.4    Vegetación y otros usos del suelo.....	7
3.1.5    Fauna .....	8
3.2    DESCRIPCIÓN DE MICROCUENCIAS .....	9
3.3    MONITOREO COMUNITARIO DE LA BIODIVERSIDAD EN LOS ARROYOS EL AHOGADO Y EL CAPULÍN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS RIBERAS .....	15
3.4    DESCRIPCIÓN MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA DE MICROCUENCIAS.....	18
3.5    CÁLCULO DE AGUA EN CORRIENTES NATURALES .....	22
3.6    ANÁLISIS SOBRE EL AGUA EN CORRIENTES Y DEPÓSITOS.....	25
3.6.1    Protocolo de muestreo del agua .....	25
3.6.2    Indicadores de la calidad del agua .....	26
3.6.3    Descripción de métodos analíticos del agua .....	31
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
4.1    MEDIO MORFOMÉTRICO E HÍDRICO DE LAS MICROCUENCIAS .....	35
4.1.1    Microcuenca Río Chiquito.....	35
4.1.2    Microcuenca arroyos El Ahogado – El Capulín.....	38
4.2    MONITOREO COMUNITARIO DE LA BIODIVERSIDAD EN LOS ARROYOS EL AHOGADO - EL CAPULÍN Y LA CALIDAD DE LA RIBERA .....	40
4.2.1    Monitoreo biodiversidad 2014-2015.....	40
4.2.2    Monitoreo biodiversidad 2024-2025 .....	46
4.2.3    Evaluación de la condición ecológica 2015-2025.....	53
4.3    ANTECEDENTE CLIMÁTICO Y MEDICIÓN DE CAUDALES NATURALES.....	59
4.3.1    Posibles consecuencias de la disparidad entre caudales .....	71
4.4    MEDICIÓN DE AGUA EN DEPÓSITOS .....	75
4.5    CALIDAD DE AGUA DE CORRIENTES NATURALES Y DEPÓSITOS .....	84
4.5.1    Caracterización de sitios de muestreo del agua 2024-2025.....	84
4.5.2    Análisis fisicoquímicos y microbiológico 2024-2025.....	86
4.5.3    Análisis del índice de calidad del agua (ICA) 2024-2025 .....	93
4.5.4    Análisis de plaguicidas - monitoreo 2024-2025 .....	95
4.5.5    Análisis sobre metales pesados .....	98

<b>5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>111</b>
5.1 MORFOMETRÍA DE CUENCAS Y RED HIDROLÓGICA .....	111
5.2 MONITOREO DE LA BIODIVERSIDAD .....	112
5.3 MONITOREO HIDROLÓGICO DE CAUDALES .....	112
5.4 ANÁLISIS INTEGRAL DEL AGUA .....	114
<b>6 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>115</b>
6.1 MEJORA DEL ESTADO DE LAS MICROCUENCAS Y LOS ARROYOS.....	115
6.2 CONDICIÓN Y MEJORAS DEL ESTADO ACTUAL EN LOS DEPÓSITOS .....	118
6.3 GESTIÓN DEL AGUA Y MONITOREO HIDROLÓGICO .....	120
6.4 ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y CONTROL DE ACTIVIDADES HUMANAS .....	121
6.5 EDUCACIÓN AMBIENTAL Y PARTICIPACIÓN COMUNITARIA .....	122
6.6 INVESTIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	123
<b>7 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>125</b>
<b>8 ANEXOS .....</b>	<b>133</b>
8.1 EVALUACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD (2024) .....	133
8.2 MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LOS REGISTROS DE CAUDAL Y AFORO DE DEPÓSITOS DURANTE EL PERÍODO 2024 - 2025.....	135
8.3 PARÁMETROS Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) 2024-2025 .....	148

## Índice de tablas y anexos

Tabla 1. Atributos de valoración visual del estado de la estructura y funcionamiento de los arroyos mediante el índice de calidad de las riberas (RQI) (González del Tánago y García de Jalón, 2011). ....	16
Tabla 2. Intervalo de puntaje y estado ecológico en la evaluación del índice de calidad de riberas. ....	18
Tabla 3. Interpretación del índice de compacidad de Gravelius. ....	19
Tabla 4. Interpretación del factor de forma. ....	19
Tabla 5. Interpretación del índice de masividad. ....	20
Tabla 6. Interpretación de los órdenes de corriente. ....	20
Tabla 7. Interpretación de la pendiente del cauce principal. ....	21
Tabla 8. Interpretación de la densidad de drenaje. ....	21
Tabla 9. Interpretación de la densidad de corrientes. ....	22
Tabla 10. Interpretación del tiempo de concentración. ....	22
Tabla 11. Ubicación por coordenada UTM (Universal Transversal de Mercator) y elevación de los sitios de muestreo. ....	23
Tabla 12. Especificaciones técnicas de muestreo y preservación del agua (NOM-AA-14-1980)....	26
Tabla 13. Valores de peso asignado por tipo de parámetro. ....	30
Tabla 14. Descripción de principales métodos analíticos del agua. ....	31
Tabla 15. Proceso metodológico para la determinación de los parámetros de calidad. ....	34
Tabla 16. Parámetros morfométricos e hidrológicos de la microcuenca Río Chiquito. ....	36
Tabla 17. Parámetros morfométricos e hidrológicos de la microcuenca arroyos El Ahogado–El Capulín. ....	39
Tabla 18. Valores de riqueza, abundancia, diversidad y equidad de especies arbóreas por arroyo. ....	41
Tabla 19. Descriptores de la estructura arbórea por arroyo en el área de estudio. ....	41
Tabla 20. Descripción de los atributos de los árboles en los sitios de muestreo. ....	44
Tabla 21. Riqueza y abundancia de especies de árboles en los sitios de estudio. ....	49
Tabla 22. Resumen de aspectos evaluados y puntaje de los sitios del arroyo El Ahogado mediante el índice de calidad de ribera. ....	56
Tabla 23. Resumen de aspectos evaluados y puntaje de los sitios del arroyo El Capulín mediante el índice de calidad de ribera. ....	57
Tabla 24. Caudal máximo por tipo de corriente e interpretación. ....	64
Tabla 25. Aforo de agua (litros por segundo) en depósitos por el periodo 2014 - 2015. ....	75
Tabla 26. Aforo de agua (litros por segundo) en depósitos por el periodo 2024 - 2025. ....	76
Tabla 27. Ubicación de sitios y fecha de toma de muestra de agua 2024-2025 (S/R: sin registro). ....	84
Tabla 28. Descripción de los parámetros de campo del muestreo del 25 de abril de 2024. .	85
Tabla 29. Descripción de los parámetros de campo del muestreo 24 de agosto de 2024. ...	85
Tabla 30. Descripción de los parámetros de campo del muestreo 10 de febrero de 2025. ..	86
Tabla 31. Resultados fisicoquímicos del primer muestreo (25 de abril de 2024) comparado con el Límite Máximo Permisible (LMP) según la NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. ....	87

Tabla 32. Resultados fisicoquímicos del primer muestreo (24 de agosto de 2024) comparado con el LMP.....	87
Tabla 33. Resultados fisicoquímicos del primer muestreo (10 de febrero de 2025) comparado con el LMP.....	88
Tabla 34. Resultados fisicoquímicos de los tres muestreos; comparación M1 (origen) con M7 (destino). Celdas marcadas sobrepasan el valor límite máximo permisible (LMP) según la NOM-127-SSA1-2021.....	89
Tabla 35. Resultados fisicoquímicos de los tres muestreos; comparación M2 (origen) con M5 (destino) y M7 (destino). Celdas marcadas sobrepasan el valor LMP. ....	90
Tabla 36. Resultados fisicoquímicos de los tres muestreos; comparación M2 (origen) con M5 (destino) y M7 (destino). Celdas marcadas sobrepasan el valor LMP. ....	92
Tabla 37. Resultados del análisis microbiológico de los tres muestreos 2024-2025 (S/R: sin registro).....	93
Tabla 38. Valores de pesticidas por sitio de muestreo (25/abril/2024) y límites máximos permitidos (LMP) de la NOM-127-SSA1-2021.....	97
Tabla 39. Valores de pesticidas por sitio de muestreo (10/febrero/2025) y LMP.....	97
Tabla 40. Metales pesados y su impacto al medio ambiente y salud humana.....	98
Tabla 41. Valores de metales pesados de los sitios de muestreo 1 a 5 por fecha de toma de muestra 2024-2025 (antes, durante y posterior al temporal de lluvias). ....	101
Tabla 42. Valores de metales pesados de los sitios de muestreo 6 a 10 por fecha de toma de muestra 2024-2025 (antes, durante y posterior al temporal de lluvias). ....	102
Tabla 43. Registro de especies de aves en los arroyos El Ahogado y El Capulín durante febrero-agosto 2024. ....	133
Tabla 44. Registro fotográfico del levantamiento de datos en el Río Chiquito, los arroyos El Ahogado-El Capulín, Paraje La Junta y el Río Grande durante el periodo febrero 2024-marzo 2025 (S/R:Sin registro).....	136
Tabla 45. Registro fotográfico del levantamiento de datos en los depósitos durante el periodo febrero 2024-marzo 2025 (S/R: Sin registro).....	142
Tabla 46. Parámetros e ICA para las muestras de agua previo al temporal de lluvias (24 abril 2024).....	148
Tabla 47. Parámetros e ICA para las muestras de agua durante el temporal de lluvias (25 agosto 2024). ....	150
Tabla 48. Parámetros e ICA para las muestras de agua posterior al temporal de lluvias (10 febrero 2025).....	153

## Índice de figuras

Figura 1: Área Natural Protegida "Sierra de Quila", delimitación de microcuenca y ubicación de sitios de muestreo del caudal, aforos y análisis del agua. ....	5
Figura 2: Clasificación de los tipos de clima para la microcuenca Río Chiquito (a) y microcuenca Arroyos El Ahogado y El Capulín (b). (Ruiz Corral et al., 2021). ....	11
Figura 3: Distribución de las unidades geológicas en la microcuenca del Río Chiquito (a) y microcuenca Arroyos El Ahogado y El Capulín (b) (SGM (2021)). ....	11
Figura 4: Distribución de las unidades edafológicas en la microcuenca del Río Chiquito (a) y microcuenca Arroyos El Ahogado y El Capulín (b) (IIEG, 2024).....	12
Figura 5: Subtipos de suelo de las Microcuenca Río Chiquito y Arroyos El Ahogado y El Capulín. ....	12
Figura 6: Tipos de uso de suelo y vegetación en la Microcuenca del Río Chiquito (a) y la Microcuenca de los arroyos El Ahogado y El Capulín (b) (Villavicencio Garcia et al., 2016). 14	14
Figura 7: Tipos de vegetación y usos del suelo de las Microcuenca Río Chiquito y Arroyos El Ahogado y El Capulín (Villavicencio Garcia et al., 2016). ....	14
Figura 8: Red de canalización, almacenamiento y, sitios de muestreo de caudal, aforo y análisis de agua. ....	24
Figura 9: Gráfico de curvas hipsométricas. Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud); Curva B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez); Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez) (tomado de Strahler (1964)).....	37
Figura 10: Curva hipsométrica de la microcuenca Río Chiquito. ....	37
Figura 11: Curva hipsométrica de la microcuenca arroyos El Ahogado -El Capulín. ....	39
Figura 12: Inventario forestal realizado en 2014 con el apoyo de estudiantes de Agronomía con formación forestal y muestra de algunos registros de anfibios y de rasgos ambientales observados en los arroyos. ....	45
Figura 13: Sesión de capacitación a integrantes de la comunidad de Quila El Grande, Jalisco. ....	46
Figura 14: Convocatoria y actividades desarrolladas en campo para el registro de la vegetación y de observación de aves por parte del grupo capacitado. ....	47
Figura 15: Localización de los sitios de muestreo en los arroyos El Ahogado - El Capulín. Línea roja indica el límite del ANPSQ (Imagen de Google Inc. (2024)).....	48
Figura 16: Número de árboles por sitio de muestreo. A la izquierda sitios del arroyo El Ahogado y a la derecha sitios del arroyo El Capulín. ....	49
Figura 17: Galería de plantas con flores importantes para polinizadores. ....	50
Figura 18: Fauna silvestre. a) Cría de tuza ( <i>Pappogeomys bulleri</i> ), b) Madriguera de mamífero, c) La función dispersora de semillas y su germinación. Las excretas son de zorra gris, d) Azulejo garganta canela ( <i>Sialia sialis</i> ) como consumidor de insectos. ....	51
Figura 19: Árboles característicos de los arroyos. a) Aile ( <i>Alnus acuminata</i> ), b) Capulincillo ( <i>Prunus rhamnoides</i> ), c) Sauz ( <i>Salix bonplandiana</i> ), d) Aceitunillo ( <i>Cornus excelsa</i> ). ....	52
Figura 20: Estado ecológico de los sitios de muestreo en los tres arroyos en el APFFSQ en el año 2015. ....	53
Figura 21: Estado ecológico de los sitios de muestreo de acuerdo con el puntaje de valoración del índice de calidad de ribera (RQI). ....	54
Figura 22: Diecisiete ailes ( <i>Alnus acuminata</i> ) muertos en pie en el sitio AH10, posiblemente afectados por baja de nivel del agua derivado de sequía. ....	54

Figura 23: Daño al arbolado en arroyo El Ahogado (sitio AH9), en el 21 de abril de 2024 su condición era buena, con esta afectación posterior perjudicaron la calidad del sitio (fecha: 26 de marzo de 2025). ....	55
Figura 24: Importancia de la cobertura de la vegetación para la protección del suelo y la calidad del agua. ....	55
Figura 25: Actividades prácticas del Curso-Taller BIOCOMUNI (2024).....	58
Figura 26: Temperatura máxima, media, mínima; evaporación y precipitación promedio anual durante el periodo mayo de 2013 a mayo 2015 (CONAGUA, 2019 – Servicio Meteorológico Nacional – Estación Tecolotlán 14143). .....	60
Figura 27: Registro de la temperatura y precipitación promedio anual durante el periodo de medición de caudales y depósitos 2014 – 2015; destaca el repunte del mes de marzo debido a frentes fríos y tormentas invernales (CONAGUA, 2019). .....	60
Figura 28: Variación mensual del volumen de agua del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín durante el periodo mayo 2014 a mayo 2015.....	61
Figura 29: Temperatura máxima, media, mínima; evaporación y precipitación promedio anual durante el periodo febrero de 2023 a febrero de 2025 (CONAGUA, 2019 – Servicio Meteorológico Nacional – Estación Tecolotlán 14143). .....	62
Figura 30: Registro de la temperatura y precipitación promedio anual durante el periodo de medición de caudales y depósitos 2024 - 2025 (CONAGUA, 2019).....	63
Figura 31: Variación mensual del volumen de agua del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín durante el periodo febrero de 2024 a febrero de 2025. ....	64
Figura 32: Comparación del volumen medio mensual en el río El Chiquito entre los periodos mayo 2014 -2015 y mayo 2024 -2025. ....	65
Figura 33: Medición de caudal 2014 -2015- y 2024 -2025 en el Río Chiquito. ....	66
Figura 34: Comparación del volumen medio mensual en el arroyo El Ahogado entre los periodos mayo 2014 -2015 y mayo 2024 -2025. ....	67
Figura 35: Medición de caudal 2014 -2015- y 2024 -2025 en el arroyo El Ahogado. ....	68
Figura 36: Comparación del volumen medio mensual en el arroyo El Capulín entre los periodos mayo 2014 -2015 y mayo 2024 -2025. ....	69
Figura 37: Medición de caudal 2014 -2015- y 2024 -2025 en el arroyo El Capulín. ....	70
Figura 38: Represa El Ahogado, municipio de Tecolotlán. ....	73
Figura 39: Panorámica de la represa El Ahogado, municipio de Tecolotlán. ....	74
Figura 40: Panorámica de la represa El Plan, municipio de Tecolotlán. ....	74
Figura 41: Registros obtenidos mediante aforos mensuales en depósitos durante el año 2014 -2015. ....	76
Figura 42: Registros obtenidos mediante aforos mensuales en depósitos durante el año 2024 -2025. ....	77
Figura 43: Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito Principal La Capilla proveniente de los arroyos El Ahogado y El Capulín durante 2014 - 2015 y 2024 -2025. ...	78
Figura 44: Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 2 <sup>do</sup> La Capilla proveniente del arroyo El Capulín durante 2014 - 2015 y 2024 -2025. ....	79
Figura 45: Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 3 <sup>ro</sup> El Veladero proveniente del río Chiquito y del Deposito principal La Capilla durante 2024 -2025. ....	80
Figura 46: Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 4 <sup>to</sup> La Loma proveniente del arroyo El Capulín durante 2014 – 2015 y 2024 -2025.....	82

Figura 47: Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto proveniente del arroyo El Capulín durante 2014 – 2015 y 2024 -2025.....	83
Figura 48: Índice de calidad del agua (ICA) por sitio de muestreo por fecha de toma (2024-2025) M1: Río Chiquito; M2: Arroyo El Ahogado; M3: Arroyo El Capulín; M4: La Junta; M5: Deposito principal La Capilla; M6: Deposito 2 <sup>do</sup> La Capilla; M7: Deposito 3 <sup>ro</sup> El Veladero; M8: Deposito 4 <sup>to</sup> La Loma; M9: Deposito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto; M10: Río Grande.....	95
Figura 49: Toma de muestras de agua e indicadores en el Río Chiquito durante 2014 - 2015 y 2024 -2025.....	103
Figura 50: Toma de muestras de agua e indicadores en el arroyo El Ahogado durante 2014 -2015 y 2024 -2025.....	104
Figura 51: Toma de muestras de agua e indicadores en el arroyo El Capulín durante 2014 -2015 y 2024 -2025.....	105
Figura 52: Toma de muestras de agua e indicadores en el Depósito Principal La Capilla durante 2014 -2015 y 2024 -2025.....	106
Figura 53: Toma de muestras de agua e indicadores en el Depósito 2 <sup>do</sup> La Capilla durante 2014 -2015 y 2024 -2025.....	107
Figura 54: Toma de muestras de agua e indicadores en el Depósito 4 <sup>to</sup> La Loma durante 2014 -2015 y 2024 -2025.....	108
Figura 55: Toma de muestras de agua e indicadores en Deposito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto durante 2014 -2015 y 2024 -2025.....	109
Figura 56: Análisis fisicoquímico y bacteriológico de muestras de agua en Laboratorio de Agua del CUCBA durante 2014 -2015 y 2024 -2025.....	110
Figura 57: Recomendaciones para cuidar el ancho de las riberas de ríos y arroyos (tomado de Flores Díaz y Maass, 2021).....	117
Figura 58: Ganadería y actividad agrícola intensiva cerca de los arroyos ponen en riesgo la calidad del agua.....	117

# 1 Introducción

Las cuencas hidrológicas son tomadas como unidades de gestión tanto a nivel territorial como a nivel político. Las cuencas brindan un hábitat a plantas y animales, además de proporcionar agua potable a las personas, flora y fauna. La hidrología forestal es la ciencia que se ocupa del estudio del comportamiento del ciclo hidrológico bajo el ámbito de los ecosistemas forestales. Su estudio se origina a partir de las funciones hidrológicas que han sido atribuidas al bosque, entre las cuales destaca el efecto “esponja hídrica”, que consiste en reducir la escorrentía proveniente de la precipitación y mantener los caudales (agua proveniente de los mantos acuíferos y otros escurrimientos).

La pérdida y deterioro paulatino de la biodiversidad en todos sus niveles de organización, el cambio en los regímenes de temperatura y precipitación actuales, las proyecciones climáticas que predicen cambios en magnitudes, constante degradación y pérdida de hábitats naturales, cambio de uso de suelo, entre otros componentes del llamado “cambio global”, conducen a la comunidad científica y a los tomadores de decisiones a actuar de manera urgente, si es que se quiere evitar mayores e irreversibles pérdidas en los recursos que utilizamos como especie y sociedad (Peñuelas et al., 2004; IPCC, 2014). En México, la problemática del cambio climático ha sido abordada desde las perspectivas de tipo ambiental, social y económico (Martínez y Osnaya, 2004), así como muchos otros que tratan aspectos particulares de los efectos del cambio climático; por ejemplo, Brizuela Torres et al. (2023) evaluaron diversos escenarios por efecto del cambio climático sobre la distribución potencial de un encinar en México; Ruiz et al. (2017) analizaron la regionalización del cambio climático en México; Azuz Adeath et al. (2010) recopilaron estudios sobre los impactos en las regiones costeras; Gay et al. (2004) analizaron sus potenciales impactos en el cultivo del café en el estado de Veracruz; Magaña et al. (2000) evaluaron escenarios de cambio climático para todo el territorio nacional en diversas regiones.

Las trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés) se basan mediante el desbalance de energía originado por la radiación solar, absorbida por la Tierra y la radiación reflectada (Salinas et al., 2015); los RCP especifican el posible aumento global de energía radiativa en  $\text{W/m}^2$  (vatio por metro cuadrado). El RCP 8.5 es considerado como el escenario más extremo debido a su posible aumento de  $8.5 \text{ W/m}^2$  para el año 2100, esto, como resultado del incremento del gas de efecto de invernadero (Moss et al., 2010). El escenario de cambio climático bajo cualquier RCP, repercutirán en la disminución de la precipitación y los aumentos de las temperaturas mínima y máxima. En este sentido, los efectos del cambio climático sobre las redes hidrológicas también dependerán de las zonas de captación de lluvia (cuencas), escurrimiento e infiltración, la morfología y topología del cauce principal, el almacenamiento y disponibilidad de agua, la demanda en diversos usuarios y sectores, entre otros (Martínez Austria y Patiño Gómez, 2012).

El área natural protegida "Sierra de Quila" está integrada junto con su área de influencia a tres regiones hidrológicas (Armería y Ameca-Atenguillo y presa la Vega-Cocula); el área protegida se identifica principalmente por el aporte hídrico que dentro de los bienes y servicios ambientales genera para la región y es principal fuente de agua para las poblaciones de Quila El Grande, Tecolotlán, Lagunillas, San Martín Hidalgo, entre otras de menor densidad poblacional. Dentro del área natural se delimitan 24 microcuencas, entre las que destacan ocho, por contar con una corriente permanente de agua, entre éstas se encuentran las microcuencas del río Chiquito y las de los arroyos El Capulín y El Ahogado, entre ambas son el principal suministro de agua al poblado de Quila El Grande. Es importante comprender los factores y procesos que participan en la hidrología forestal para describir y cuantificar la influencia de los bosques, y con ello orientar el manejo y protección de la cobertura forestal dirigida a mantener el papel regulador que esta ejerce sobre las microcuencas. En este contexto, el proyecto plantea realizar una evaluación hidrológica forestal que permitan contribuir a las acciones de conservación y manejo de la sierra y su zona de influencia; así como, sugerir acciones de uso eficiente del recurso agua en la localidad urbana.

## **2 Objetivo**

Realizar y comparar una evaluación hidrológica-forestal en arroyos permanentes de las microcuenca del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín del área natural protegida “Sierra de Quila” durante los periodos 2014-2015 y 2024-2025.

### **2.1 Objetivos particulares**

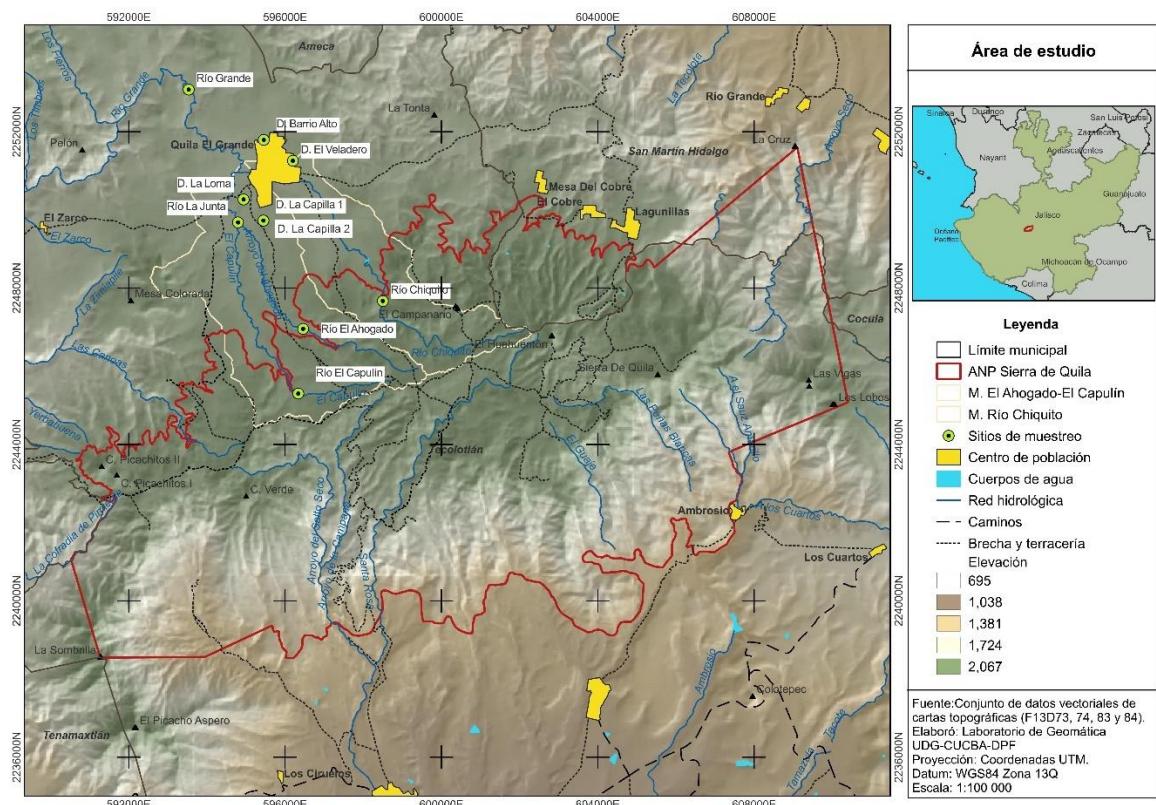
- 1) Calcular el volumen de agua de las corrientes naturales de los arroyos de las microcuenca,
- 2) Realizar un monitoreo comunitario de la biodiversidad de los arroyos y la evaluación de calidad de riberas,
- 3) Determinar la calidad de agua captada de los arroyos y depósitos de almacenamiento.



### 3 Materiales y métodos

#### 3.1 Localización y descripción del área de estudio

El área protegida “Sierra de Quila” abarca una superficie de 151km<sup>2</sup>, sus coordenadas extremas UTM son al norte 2,251,601, al sur 2,238,534; al este 610,397 y al oeste 590,520. Las cotas altitudinales varían de 1,350m hasta 2,560m y está comprendida en los municipios de Tecolotlán, Tenamaxtlán y San Martín Hidalgo en el estado de Jalisco, México. El área de estudio comprende las microcuenca del río Chiquito (MRCH) y la de los arroyos El Ahogado y El Capulín (MAAC), ubicadas en la parte centro-noroeste del área protegida. Sus coordenadas UTM extremas de ambas microcuenca se ubican al norte en 2,251,530, al sur en 2,244,450; al este en 602,296 y al oeste en 592,556. El rango altitudinal es de 1,920 hasta 2,420 msnm. El clima es templado húmedo, con una precipitación promedio anual de 882 mm; presenta 6 tipos de vegetación: bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de galería, bosque espinoso, selva baja caducifolia y bosque mesófilo de montaña. La MRCH cubre una superficie de 13.31km<sup>2</sup> (1331.49ha), su cauce principal tiene una longitud aproximada de 11.8 km; la MAAC cubre una superficie de 20.07km<sup>2</sup> (2007.75ha), la longitud del arroyo El Ahogado se aproxima a 7.5 km, mientras que el del Capulín es de 10 km. (Figura 1).



**Figura 1:** Área Natural Protegida “Sierra de Quila”, delimitación de microcuenca y ubicación de sitios de muestreo del caudal, aforos y análisis del agua.

### **3.1.1 Clima**

Se identifican dos climas en la región, de acuerdo con Ruiz Corral et al. (2021) estos son: (A)C( $w_1$ )(w) que se describe como cálido y húmedo con larga temporada seca, y C ( $w_2$ )(w) que se le describe como templado y húmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 18.4°C, la precipitación pluvial promedio de 881.8 milímetros, la humedad relativa promedio anual es de 64.4%, con una evapotranspiración promedio anual de 1,418.2 milímetros.

### **3.1.2 Geología y suelos**

La mayor parte del territorio de la sierra (99%) está compuesto por afloramientos de roca ígnea, como basalto (52.4%) roca extrusiva ácida (44%) y solo 1.3% de Toba (Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, 1973), según su origen geomorfológico data del período terciario; y una pequeña región data del período cretácico, la cual está compuesta por roca ígnea intrusiva, como el granito y otra porción con suelo aluvial (Guerrero y López, 1997).

Dentro del área protegida se identifican y describen los siguientes subtipos de suelo de acuerdo con las cartas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (1972, 2001), basadas en la clasificación FAO/UNESCO:

Los suelos Feozem háplico se caracterizan por presentar una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes, con alta permeabilidad; la susceptibilidad a la erosión está en función de sus condiciones ambientales. El suelo Regosol éutrico no presenta capas en forma horizontal, presenta permeabilidad alta; susceptible a la erosión y alta fertilidad.

Por otro lado, los suelos Cambisol húmico presenta una capa superficial de color oscuro o negro, rico en materia orgánica, pero demasiado ácida por su bajo contenido de sales, menor al 50%, pobre en nutrientes; presenta una permeabilidad media alta; mientras que el Cambisol éutrico se caracteriza por presentar un subsuelo rico o muy rico en nutrientes. Por otra parte, los suelos Feozem lúvico muestran una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y minerales, tiene también alta acumulación de arcilla en el subsuelo por lo que su permeabilidad es media.

Los suelos Litosoles se asocian con otros tipos de suelos; son suelos someros con profundidad no mayor a 10 cm y con permeabilidad baja. Por el contrario, los suelos Luvisol crómico contienen un enriquecimiento destacable de arcilla, con colores amarillentos o rojizos; permeabilidad de media a baja; es de alta susceptibilidad a la erosión. El suelo Vertisol pélico es un suelo muy arcilloso de color negro o gris oscuro, pegajoso cuando se encuentra mojado y muy duro cuando está seco, por lo que al deshidratarse se forman grandes grietas; es suelo fértil en el llano, aunque presenta algunas limitantes, tiene permeabilidad baja por su alto contenido de arcilla y por lo general es de susceptibilidad baja a la erosión.

### **3.1.3 Hidrología**

El APFFSQ capta aguas para dos cuencas hidrológicas de Jalisco, por el lado norte la del río Ameca (RH14) y por el lado sur la del río Armería (RH16). El tipo de drenaje en el área natural es de tipo subdendrítico el cual presenta numerosos arroyos intermitentes, así como varios de carácter perenne. De acuerdo con Guerrero Nuño y López Coronado (1997) los arroyos, denominados El Salto y Palmillas, forman en la temporada de lluvia un río de regular corriente, denominado río Grande, que fluye al noreste de la zona de estudio y al bajar de la sierra por esta parte cambia su nombre por el de río San Martín, que desemboca al río Ameca. Otro de los ríos de la sierra se localiza al oeste de la zona de estudio denominado río Yerbabuena, que se convierte luego en el río Atengo, después en el río Ayutla y más abajo en el río Ayuquila, el cual es tributario del río Armería. De igual manera, el río Tecolotlán viene a formar el río Tuxcacuesco, que finalmente vierte sus aguas al del río Armería.

### **3.1.4 Vegetación y otros usos del suelo**

Guerrero Nuño y López Coronado (1997) describen para la Sierra de Quila seis tipos de vegetación, predominando el Bosque de Pino-Encino, el Bosque de Encino y la Selva baja caducifolia; el resto son fracciones de Bosque espinoso, Bosque de galería y Bosque mesófilo de montaña.

El Bosque de Pino-Encino es el más característico dentro del área protegida, y se distribuye desde los 1,900 msnm hasta los límites más altos de la sierra. Los géneros representativos de esta comunidad vegetal son: *Pinus*, *Quercus*, y algunos individuos del género *Alnus* y *Arbutus*; mientras que el Bosque de Encino atraviesa de manera horizontal en dirección este-oeste toda la sierra, situándose entre los 1,500 y 1,900 msnm, traslapándose en ocasiones con la Selva baja caducifolia. En las partes más bajas de la sierra se encuentran especies como *Quercus magnoliifolia* mezclada con elementos de *Q. gentryi*, *Q. splendens* y *Q. laeta*; mientras que en la parte media predominan las especies *Q. magnoliifolia*, *Q. resinosa*, *Q. castanea*, *Q. eduardii* y *Q. coccologobifolia* (Guerrero Nuño y López Coronado, 1997).

El Bosque de galería se denomina a las agrupaciones arbóreas que crecen a lo largo de ríos y arroyos, estos elementos se encuentran desde los 1,300 hasta los 2,100 msnm. El estrato arbóreo es muy diverso, siendo *Agonandra*, *Alnus*, *Bunchosia*, *Casimiroa*, *Colubrina*, *Ficus*, *Prunus*, *Psidium*, *Salix*, *Bursera*, *Inga*, *Leucaena*, *Lysiloma*, *Montanoa*, *Morus*, *Oreopanax*, *Phoebe*, *Pithecellobium*, *Picrasma*, *Thouninia*, *Vitex*, *Wimmeri*, *Xylosma* y *Yucca* los géneros característicos de este tipo de vegetación; asimismo el Bosque mesófilo de montaña ocupa zonas muy húmedas, se compone por elementos perennifolios y caducifolios ya que posee características de tipos de vegetación tanto templada como tropical. Su presencia es fragmentada, se encuentra en cañadas o en lugares con nacimientos de agua permanente, distribuyéndose desde 1,950 a 2,560 msnm. Las especies arbóreas que conforman este tipo de vegetación pertenecen a los géneros *Ardisia*, *Clethra*, *Meliosma*, *Phoebe*,

*Prunus*, *Quercus*, *Styrax* y *Ternstroemia* (Guerrero Nuño y López Coronado, 1997).

El Bosque espinoso se desarrolla en condiciones de clima seco. Está situado a los 1,300 msnm en las faldas de la sierra en suelos aluviales con mantos de agua profundos. A causa de que los suelos son aptos para la agricultura, este tipo de bosque ha sido paulatinamente modificado, siendo la principal causa el cambio de uso de suelo. Este tipo de bosque se encuentra dominado por la especie *Prosopis laevigata* (mezquite); acompañándole especies de géneros como *Pithecellobium*, *Guazuma* y *Acacia*, este último conformando el estrato arbustivo; por otro lado, la Selva baja caducifolia se distribuye sobre las laderas de los cerros, desarrollándose en suelos someros bien desarrollados y pedregosos, asentándose entre los 1,300 hasta 1,850 msnm. Presenta elementos arbóreos que pierden sus hojas una parte del año, una estructura densa y heterogénea donde se reconocen tres estratos bien definidos, el arbóreo, el arbustivo y el herbáceo, participando de manera importante las plantas trepadoras anuales, los bejucos leñosos y las epífitas. Entre los géneros que conforman la fisonomía de este tipo de vegetación se encuentran *Bursera*, *Ceiba*, *Cordia*, *Erythrina*, *Helicocarpus*, *Leucaena*, *Liabán*, *Lysiloma*, *Stenocereus*, *Thouinia*, *Siguiera*, *Wimmeria* y *Zanthoxylum*, así como especies favorecidas por el disturbio como *Guazuma ulmifolia* e *Ipomea murucoides* (Guerrero Nuño y López Coronado, 1997).

### **3.1.5 Fauna**

La Sierra de Quila presenta una alta diversidad biológica, al estar conformada por ecosistemas de clima templado y cálido a lo largo de su amplia variación altitudinal, esto posibilita la presencia de múltiples hábitats para la fauna silvestre. Además de constituir un importante corredor biológico que se conecta con otras sierras o montañas y permite el desplazamiento de las especies animales (Villavicencio García et al., 2009).

En el área protegida se han realizado varios estudios de fauna, que han documentado la presencia de 312 especies de vertebrados. Ramírez Martínez y Ruan (2010), reportan 53 especies de mamíferos pertenecientes a 37 géneros y 17 familias; entre las cuales 21 especies corresponden a murciélagos, 16 a carnívoros entre estos las seis especies de felinos silvestres de México como el puma (*Puma concolor*), ocelote (*Leopardus pardalis*) y tigrillo (*Leopardus wiedii*) (Ramírez Martínez et al., 2014); así como, el lince (*Lynx rufus*) y jaguarundi u onza (*Herpailurus yagoraroundi*) en la parte baja de la Sierra de Quila (J. Valle, comunicación personal, 2024). En particular Moreno Arzate et al. (2022) registraron la presencia de jaguar (*Panthera onca*) mediante el método de cámara-trampa y la presencia de nutria de río (*Lontra longicaudis*).

Las aves registradas en diferentes estudios suman 149 especies; siendo las familias más representativas Tyrannidae y Parulidae, de las cuales 80% son residentes, y un 20% son migratorias (Rosas Espinoza et al., 2011). Seis especies han sido de reciente registro como: codorniz rayada (*Philortyx*

*fasciatus*), carpintero enmascarado (*Melanerpes chrysogenys*), chivirín sinaloense (*Thryophilus sinaloa*), chipe rojo (*Cardellina rubra*), colorín pecho naranja (*Passerina leclancherii*) y zacatonero pecho negro (*Peucaea humeralis*) (Escobar Ibáñez et al., 2016).

En el grupo de los reptiles hasta el año 2012 se habían identificado 46 especies con la mayor riqueza de especies presentes en el bosque tropical caducifolio (Santiago Pérez et al., 2012). Entre estas, 21 especies (45% del total) se encuentran clasificadas con alguna categoría de protección dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019), por mencionar algunas como zolcuate o cantil, tres especies de víboras de cascabel, dos de coralillo, escorpión grande y la boa.

Los anfibios registrados son 24 especies entre ranas, sapos y salamandras (Santiago Pérez et al., 2012). Destaca la presencia del ajolote de Chapala (*Ambystoma flavipiperatum*) que es endémico de distribución muy restringida en la parte central del estado de Jalisco a las presas o porciones de los arroyos que se localizan en elevaciones de montaña entre 1,800 a 2,300 m (Santiago Pérez et al., 2024). Su presencia es un indicador de la buena calidad del agua, debido a que su piel es altamente sensible al deterioro ambiental y absorbe con rapidez las sustancias tóxicas o contaminantes cuando son vertidos en cuerpos de agua donde este habita y se reproduce (Canseco Márquez y Gutiérrez Mayén, 2010). En la Sierra de Quila, 7 especies de anfibios se encuentran en riesgo según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019).

En el grupo de los insectos la Sierra de Quila resalta como una zona importante para la conservación de 200 especies de abejas silvestres, esto representa cerca del 64% de las especies reportadas para el estado de Jalisco. Razo León (2015) hace mención sobre la riqueza de especies de abejas mayor en la selva baja caducifolia con 153 especies y con 93 en el bosque de pino encino.

### 3.2 Descripción de microcuencas

La delimitación de las microcuencas y el cálculo de las características hidrométricas de los arroyos se realizaron a partir del modelo continuo de elevaciones mexicano (CEM 3.0) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con ancho de celda de 30 m (Villavicencio García et al., 2016); se utilizó el software ArcMap 10.4 (Environmental Systems Research Institute, 2022) con las herramientas 3D y *Spatial Analyst*. Las microcuencas se obtuvieron a partir del modelo con la extensión HEC-GeoHMS v. 4.2, con el criterio de obtener superficies no menores a 1,000 hectáreas.

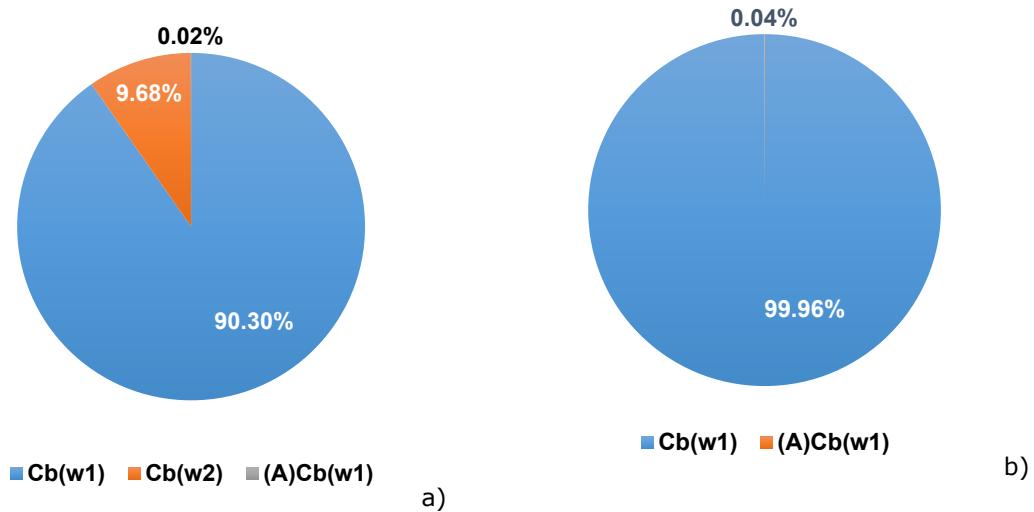
La extensión territorial de la **Microcuenca del Río Chiquito (MRCH)** corresponde a 1,332.2 hectáreas (ha), con una delimitación perimetral de 220.8 kilómetros (km). Parte de la red hidrográfica de la microcuenca está conformada por el río Chiquito, de carácter perenne, lo que significa que es un cauce que lleva flujo todo el año, producto del drenaje natural de los acuíferos

que lo alimentan durante la temporada de sequías y que, además, en temporada de lluvias, reciben los escurrimientos generados en la cuenca de captación Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2019). De acuerdo con la carta topográfica de INEGI F13D73 escala 1:50,000, la longitud total del cauce principal del río es de 10.8 km. A la altura del kilómetro 6.6 de su recorrido, el cauce es interrumpido por un bordo (El Plan). Posteriormente, desde la salida de dicho bordo el río continúa su trayecto, recorriendo 4.2 km para finalizar su trayectoria total.

La **Microcuenca de los arroyos El Ahogado y El Capulín (MAAyC)** abarca una superficie de 2,008.9 hectáreas, delimitada por un perímetro de 31.3 kilómetros. De acuerdo con la carta topográfica de INEGI F13D73, escala 1: 50,000, la red hidrológica está integrada por los cauces principales: el arroyo El Capulín, con una longitud de 4.4 km; el arroyo El Ahogado con 7.5 km; el río Grande con 6.2 km y un segmento del río Chiquito, que comprende 1.1 km dentro de la microcuenca. La longitud total de la red hidrográfica se estimó en 19.2 km.

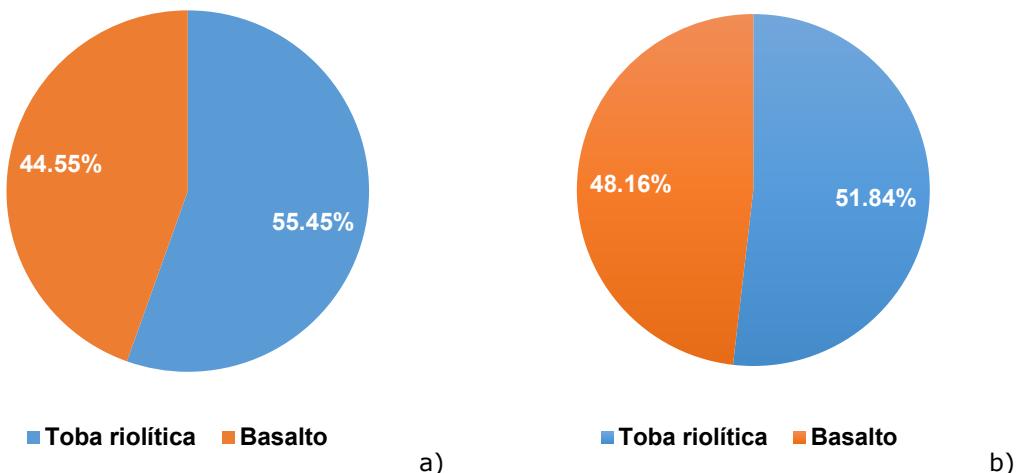
En la **MRCH** predomina el clima del tipo  $Cb(w_1)$ , categorizado como Templado con verano fresco largo y presencia de lluvias, con temperaturas medias menores a  $22^{\circ}\text{C}$  y una precipitación anual entre 43.2 a 55 mm. En menor proporción se encuentra el clima  $Cb(w_2)$  que mantiene las mismas temperaturas, pero con una diferencia en la precipitación anual, con un valor mayor a 55 mm. Finalmente, una pequeña porción del área presenta el clima  $(A)Cb(w_1)$ , semicálido, con condiciones similares al tipo  $Cb(w_1)$  (Figura 2a).

Por otro lado, la condición climática predominante en la **MAAyC** corresponde al tipo  $Cb(w_1)$ , categorizado como templado con verano fresco y lluvias, con temperatura media del mes más cálido inferior a  $22^{\circ}\text{C}$  y precipitación anual entre 43.2 y 55 mm. En proporción reducida se identifica el tipo  $(A)Cb(w_1)$  semicálido (Ruiz Corral et al., 2021) (Figura 2b).



**Figura 2:** Clasificación de los tipos de clima para la microcuenca Río Chiquito (a) y microcuenca Arroyos El Ahogado y El Capulín (b). (Ruiz Corral et al., 2021).

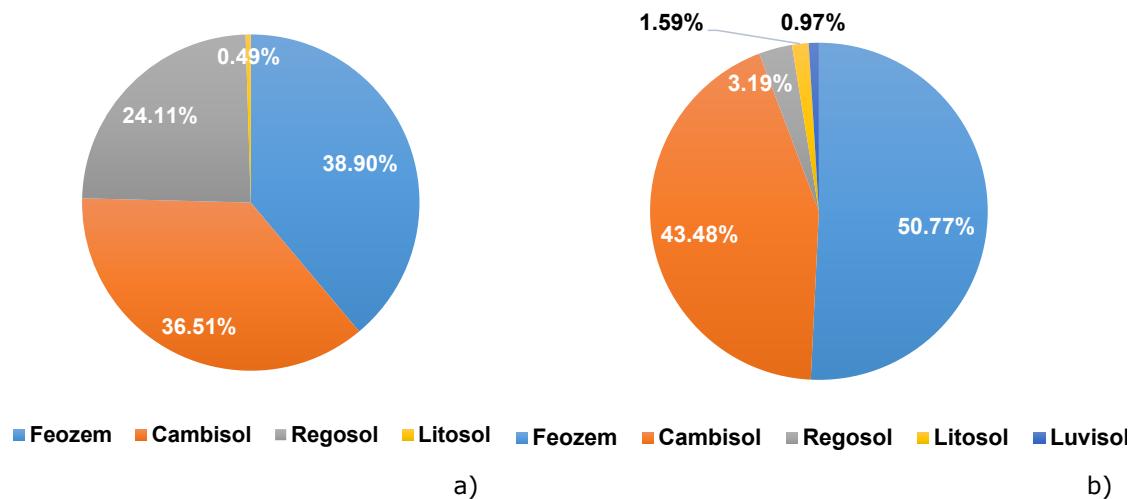
En cuanto al aspecto geológico de la **MRCH**, la litología predominante corresponde a la toba riolítica, que cubre una extensión de 738.7 ha, mientras tanto el basalto abarca una superficie de 593.5 ha. Respecto a la configuración geológica de la **MAAyC**, la litología está compuesta por toba riolítica, que abarca una cobertura de 1041.5 ha, seguida por unidades de basalto, con una superficie de 967.4 ha (Figura 3).



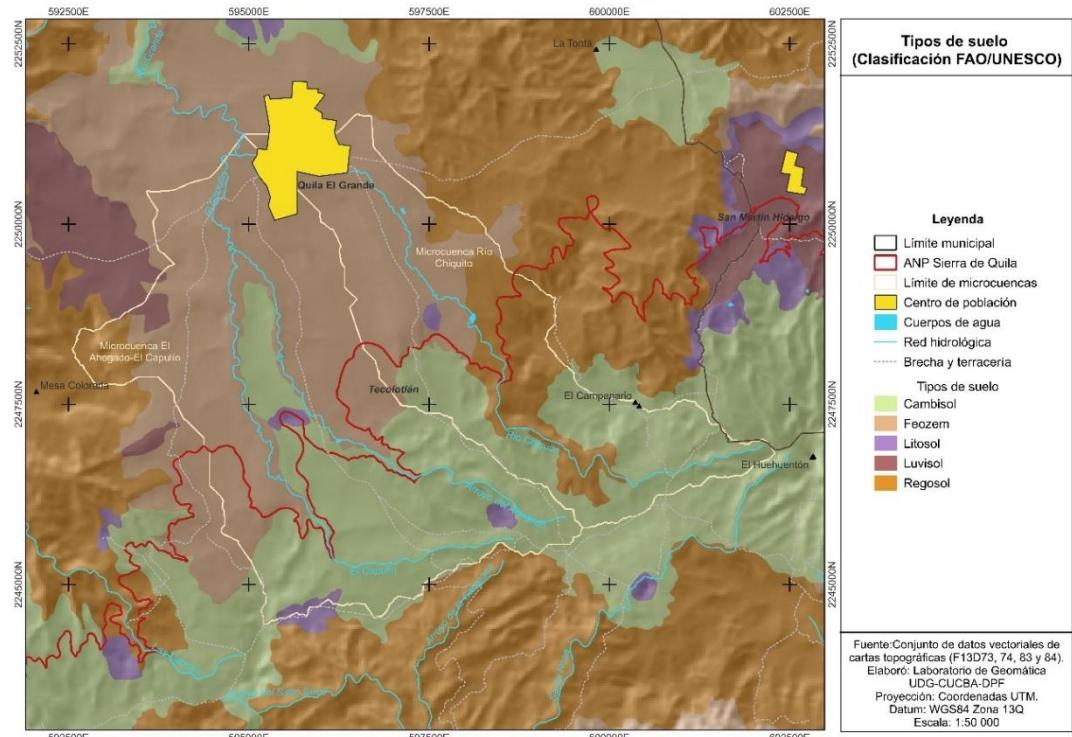
**Figura 3:** Distribución de las unidades geológicas en la microcuenca del Río Chiquito (a) y microcuenca Arroyos El Ahogado y El Capulín (b) (SGM (2021)).

Cabe señalar que, además de su estructura geológica, la **MRCH** presenta una significativa diversidad edafológica en la que destaca el feozem, que cubre una superficie de 518.2 ha, seguido del cambisol con una distribución de 486.4 ha, con menor cobertura se encuentra el regosol, que abarca un área de 321.1 ha.

Finalmente, el litosol siendo el menor representativo con una extensión de 6.5 ha. Por otro lado, la **MAAyC** al igual que la MRCH, presenta una composición diversa de suelos; predominando el feozem, con una cobertura de 1,019.8 ha, seguido por el cambisol con 873.6 ha; en menor proporción se distribuye el tipo de suelo regosol (64.0 ha), el litosol (32 ha) y en última instancia el luvisol con 19.5 ha (Figuras 4 y 5).



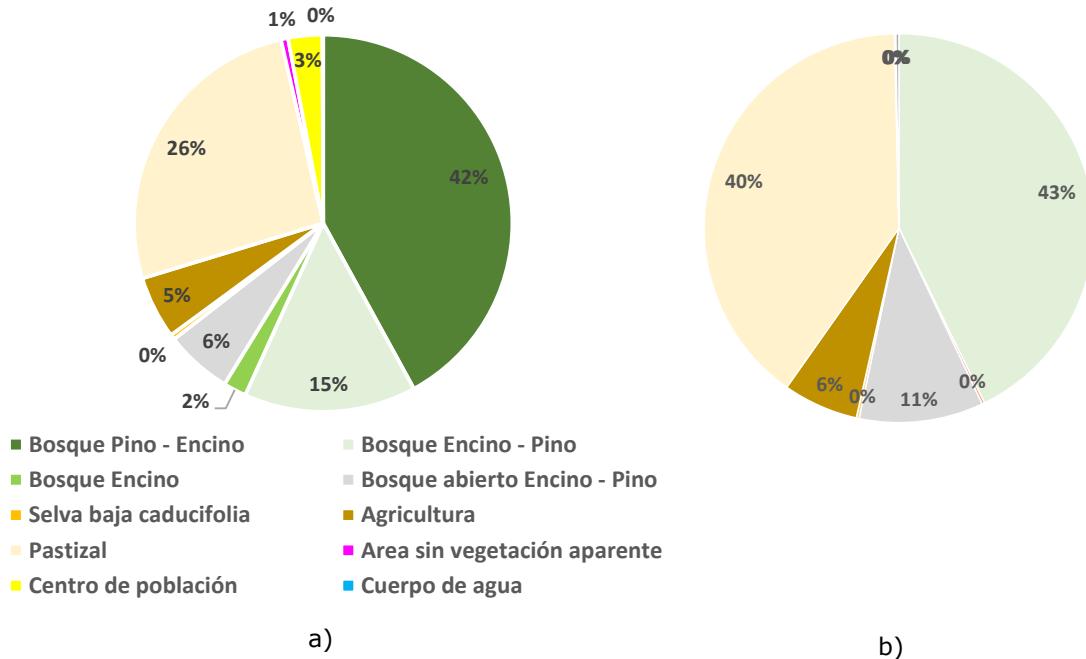
**Figura 4:** Distribución de las unidades edafológicas en la microcuenca del Río Chiquito (a) y microcuenca Arroyos El Ahogado y El Capulín (b) (IIEG, 2024).



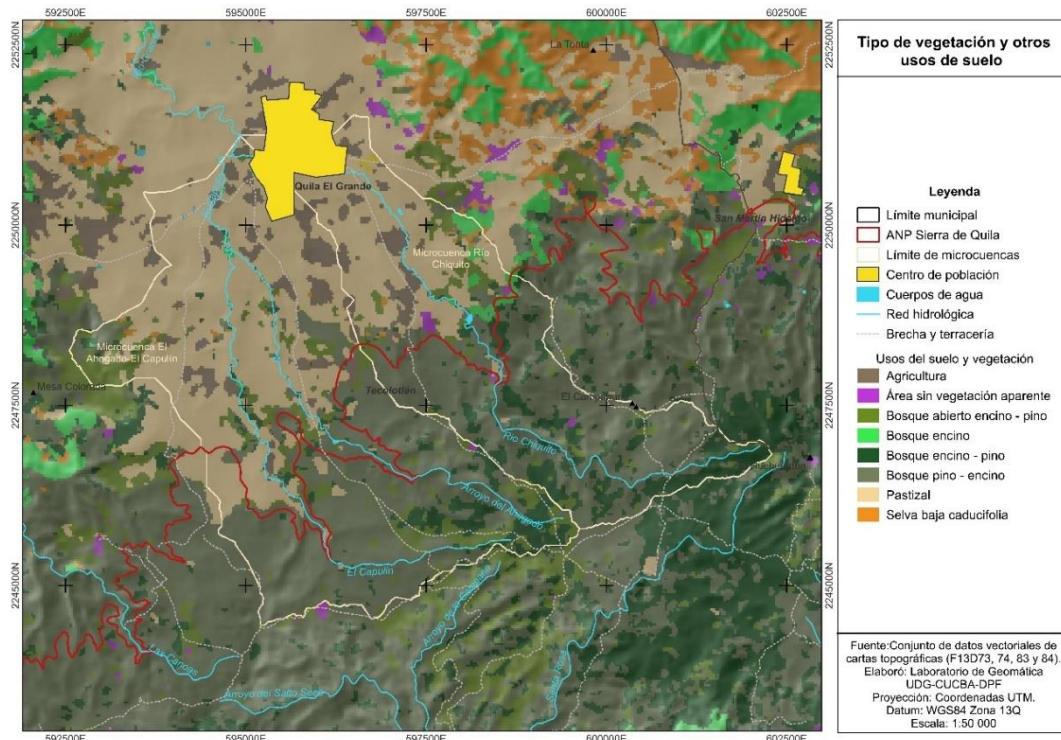
**Figura 5:** Subtipos de suelo de las Microcuenca Río Chiquito y Arroyos El Ahogado y El Capulín.

Villavicencio García et al. (2016), realizaron un mapa de vegetación y uso del suelo en el ANP Sierra de Quila y su zona de influencia. El estudio se basó partir de cartas de vegetación y uso de suelo obtenidas de la clasificación de imágenes de satélite Landsat 8; adquiridas, procesadas y clasificadas de manera automática (clasificación basada en píxeles) por el método de máxima probabilidad. El proceso de clasificación se combinó con la utilización de cartas temáticas, un modelo de elevación del terreno, fotografía aérea color-infrarrojo en escala 1:10000 y foto-documentación tomada en campo. El mapa de vegetación registró una precisión de píxeles correctamente clasificados de 83%. En este contexto, en relación con las características del territorio, es relevante destacar las actividades de origen antropogénico tales como el uso de suelo, así como la diversidad de ecosistemas presentes en la **MRCH**. En cuanto a su vegetación alberga varias formaciones boscosas siendo representadas por bosque pino – encino (560.1 ha), el bosque encino – pino (196.2 ha), el bosque encino (26.2 ha) y el bosque abierto encino-pino (76.2 ha). Además, se encuentra una extensión de selva baja caducifolia (5.9 ha) y áreas destinadas a la agricultura (71.7 ha) y centros de población (38.9 ha), respecto a pastizales la superficie que abarca es de 348.0 ha. También se observan áreas sin vegetación aparente (8.1 ha) y pequeños cuerpos de agua que representan 0.81 ha (Figuras 6 y 7).

Considerando el tipo de uso de suelo y vegetación, la **MAAyC** presenta una importante cobertura forestal, representada por bosque encino – pino (858.9 ha), bosque de encino (4.5 ha) y bosque abierto encino – pino (206.8 ha). De manera adicional, se registran áreas de selva baja caducifolia (4.9 ha); mientras que las superficies destinadas a la agricultura cubren (125.4 ha) y las zonas correspondientes a centros de población en 5.0 ha. A su vez, se identificaron coberturas de pastizales (801.1 ha), área sin vegetación aparente (1.2 ha), y pequeñas extensiones de cuerpos de agua (1.1 ha) (Figuras 6 y 7).



**Figura 6:** Tipos de uso de suelo y vegetación en la Microcuenca del Río Chiquito (a) y la Microcuenca de los arroyos El Ahogado y El Capulín (b) (Villavicencio García et al., 2016).



**Figura 7:** Tipos de vegetación y usos del suelo de las Microcuenca Río Chiquito y Arroyos El Ahogado y El Capulín (Villavicencio García et al., 2016).

### **3.3 Monitoreo comunitario de la biodiversidad en los arroyos El Ahogado y El Capulín y evaluación de la calidad de las riberas**

En el año 2015 se desarrolló un proyecto de caracterización forestal de la vegetación ribereña en el que se establecieron 30 sitios a lo largo del río Chiquito y los arroyos del Ahogado y El Capulín (Cristóbal et al., 2015). Para febrero del 2024 fueron relocalizados 8 sitios de muestreo en los arroyos El Ahogado y El Capulín con la finalidad de realizar actividades demostrativas para la capacitación técnica a personas de la comunidad de Quila El Grande. Los sitios fueron localizados mediante sus coordenadas geográficas con un navegador GPS Garmin Map 60CSX. Cada sitio se encuentra separado entre sí por 400 m de distancia y cada uno cubre un área de 500 m<sup>2</sup> conformados por dos cuadrantes de 5 x 50 m, uno por cada lado del cauce del arroyo.

Con el objetivo de fortalecer las capacidades de dueños y poseedores de terrenos en el Ejido de Quila El Grande, se llevó a cabo un taller de capacitación a un grupo de personas de la comunidad con la finalidad de instruirles conocimientos y habilidades para realizar el protocolo de monitoreo comunitario de biodiversidad (BIOCOMUNI) diseñado por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza y la Comisión Nacional Forestal (FMCN et al., 2018a, 2018b). El taller se llevó a cabo los días 24 y 25 de febrero de 2024 en la casa ejidal Quila El Grande. El programa de actividades consistió en exposiciones de temas de la biodiversidad de la Sierra de Quila, cómo se implementa el protocolo BIOCOMUNI para el monitoreo de la vegetación y de la fauna, plataformas y aplicaciones móviles como Naturalista (iNaturalist México, 2025) con recursos para la identificación de la biodiversidad de México. Posterior a las exposiciones se realizó la práctica de campo para el monitoreo de la vegetación, aves y mamíferos para que los asistentes al taller conocieran la aplicación de las diferentes técnicas y uso de equipo y materiales para llevar a cabo los muestreos en campo. Para los subsecuentes muestreos programados se contó con la participación voluntaria de varios miembros de la comunidad de Quila El Grande.

Con base en la información de los sitios de muestreo establecidos en 2015 se seleccionaron una muestra de 8 sitios en total de los arroyos El Ahogado y El Capulín. Para el muestreo de la vegetación, al interior de cada sitio de muestreo, se confirmó la presencia del arbolado > 7 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP), se registró la composición y porcentaje de cobertura de la regeneración natural, y de los estratos arbustivo y herbáceo, así también la superficie de suelo desnudo.

Para el muestreo de aves se realizó en horario por las mañanas entre 6:30 a 10:00 horas mediante el método de observación directa en cada uno de los sitios de muestreo, este consistió en caminar y registrar a los organismos presentes a lo largo de los cuadrantes. Se registró toda ave observada o

escuchada durante los diferentes muestreos en los meses entre febrero a agosto de 2024. La identificación de las especies se determinó con el apoyo de la aplicación Merlín (Cornell Laboratorio de Ornitología, 2025).

Por cada sitio de muestreo se llenó un formato de campo para posteriormente integrarse en una base de datos con las siguientes variables:

- a) físicas: datos de ubicación (coordenadas x, y), exposición, pendiente, relieve, topografía, altitud, tipo de suelo, pedregosidad, rocosidad.
- b) vegetación: riqueza y abundancia de especies del arbolado, árboles dañados, vitalidad, estado sanitario; en el caso de la regeneración natural, estratos arbustivo y herbáceo, se anotó la riqueza de especies y la cobertura espacial total por sitio.
- c) historial de manejo: se anotaron indicios de afectaciones por erosión (grado y extensión), presencia de incendios, pastoreo, cultivos, residuos o basura y otros usos del suelo.

### **Valoración de la calidad de las riberas**

Para evaluar la calidad de las riberas en los sitios de muestreo se utilizó el Índice de Calidad de la Ribera (RQI, por sus siglas en inglés - *Riparian Quality Index*) propuesto por González del Tánago y García de Jalón (2011). Este índice se trata de un método estandarizado que permite evaluar la estructura y el estado ecológico de una zona ribereña con base en características visibles. Utiliza siete parámetros que son evaluados en cinco categorías, las cuales describen escenarios óptimos o perturbados de una zona ribereña a través de siete atributos de reconocimiento visual en campo y que se describen a continuación (Tabla 1).

**Tabla 1.** Atributos de valoración visual del estado de la estructura y funcionamiento de los arroyos mediante el índice de calidad de las riberas (RQI) (González del Tánago y García de Jalón, 2011).

Atributo de valoración	Importancia ecológica	Forma de evaluación
<i>Estructura de la ribera</i>		
I) Dimensiones en anchura del espacio ripario con vegetación natural asociada al río	Evalúa la magnitud del espacio donde tienen lugar los procesos y funciones ecológicas del corredor fluvial (almacenamiento de agua, disipación de energía, la vegetación, etc.).	Se identifica la anchura del corredor de vegetación riparia y se observa la presencia de restricciones debido a la influencia humana.  Toma en consideración que las dimensiones de la ribera pueden ser reducidas de manera natural en valles confinados.

II) Continuidad longitudinal, cobertura y patrón de distribución de la vegetación leñosa riparia.	<p>Es una característica natural del patrón de distribución de la vegetación leñosa riparia en el paisaje fluvial.</p> <p>Asegura la existencia de un corredor, a lo largo del cual se desarrolla el movimiento y transporte de materia, energía y especies.</p>	<p>Se estima basándose en la continuidad del corredor de vegetación riparia presente en el tramo fluvial, estimando la intensidad de la fragmentación con base en el tamaño y frecuencia de áreas abiertas formadas por la acción humana y el uso del suelo.</p>
III) Composición y estructura de la vegetación riparia	<p>La composición de especies nativas y la estructura de los estratos de vegetación riparia son indicadores de su «calidad» y naturalidad.</p>	<p>Se identifica la composición de especies, densidad y altura de los estratos de la vegetación riparia del tramo de estudio.</p> <p>Este aspecto se valora en relación con las condiciones de referencia o de la vegetación potencial que corresponde al tramo según su tipología.</p> <p>La presencia de especies introducidas indica alteración antrópica.</p>
<i>Funcionamiento del sistema ripario</i>		
IV) Diversidad de edades y regeneración natural de especies leñosas	<p>Es un indicador del grado de equilibrio de la vegetación existente con el actual régimen de caudales y otras intervenciones humanas.</p>	<p>Evaluá la diversidad de edades y regeneración de las principales especies leñosas ribereñas.</p> <p>La ausencia de renuevos indica falta de dinámica fluvial y riesgo de desaparición de la vegetación actual.</p>
V) Condición de las orillas	<p>La condición de orillas es un indicador de la dinámica y naturalidad del cauce, además de que refleja la calidad del hábitat físico.</p>	<p>Se observan procesos de erosión y sedimentaciones locales relacionadas con la sinuosidad del cauce.</p>
VI) Conectividad transversal del cauce con sus riberas	<p>La conectividad transversal se refiere a la conexión hidrológica y ecológica que existe de forma natural entre el cauce y sus riberas, puesta de manifiesto</p>	<p>Se califica la proximidad de restricciones físicas que impidan la conexión del cauce con su ribera. Se observa la intensidad de las regulaciones del flujo hidrológico en relación con</p>

	durante las avenidas, a partir de la cual se establece el intercambio de materia y energía entre el cauce y su llanura de inundación.	la frecuencia de inundación o conexión hidrológica.
VII) Calidad del substrato y conectividad vertical	Es un indicador de la capacidad de conectividad vertical del cauce y su ribera con el medio hiperreico y los acuíferos locales, de gran importancia para el intercambio hidrológico y ecológico en el conjunto del sistema fluvial.	La compactación o sellado del suelo ripario dificulta estas funciones.  Se observa el tipo y permeabilidad de los materiales que predominan en las riberas, y se evalúa su capacidad de infiltración y recarga de acuíferos.

El criterio de evaluación del índice de calidad de riberas (RQI) se determina con cada atributo que es valorado con una puntuación de 1 a 15. El estado ecológico se determina por la suma de las calificaciones asignados a cada atributo. De tal manera se determine el puntaje total para su clasificación en cinco categorías (Tabla 2).

**Tabla 2.** Intervalo de puntaje y estado ecológico en la evaluación del índice de calidad de riberas.

Intervalo de puntaje	Estado ecológico
Muy bueno	15 a 13
Bueno	12 a 10
Moderado	9 a 7
Pobre	6 a 4
Malo	3 a 1

### 3.4 Descripción morfométrica e hidrológica de microcuencas

En hidrología, el índice de compacidad de Gravelius es una medida que ayuda a interpretar qué tan redonda o compacta es la forma de una cuenca; mientras más compacta sea, más rápido se concentran los escurrimientos, lo cual puede significar un mayor riesgo de avenidas súbitas o inundaciones (Chow, 1964).

El índice de Gravelius se calcula con la siguiente formula y se interpreta de la siguiente manera (Tabla 3):

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:

$K_c$  = Índice de compacidad

P = Perímetro de la cuenca (en km)

A = Área de la cuenca (en  $\text{km}^2$ )

$\pi = 3.1416$

**Tabla 3.** Interpretación del índice de compacidad de Gravelius.

<b>Valor de Kc</b>	<b>Forma de la cuenca</b>	<b>Interpretación</b>
1.00 – 1.25	Muy compacta (casi circular)	Alta eficiencia de escurrimiento, riesgo elevado de inundaciones
1.26 – 1.50	Moderadamente compacta	Escurrimiento eficiente, respuesta rápida
1.51 – 1.75	Algo alargada	Escurrimiento más disperso, menor concentración rápida
1.76 – 2.00	Alargada	Baja eficiencia de escurrimiento, menos riesgo inmediato
> 2.00	Muy alargada o irregular	Flujo lento y disperso, menor riesgo de inundaciones súbitas

El factor de forma ( $K_f$ ), explica qué tan alargada o compacta es una cuenca hidrográfica, a partir de su relación entre área y longitud principal; esto influye directamente en cómo fluye el agua y qué tan rápido puede concentrarse en el cauce principal (Pérez Rodríguez y Rodríguez Sánchez, 2006) (Tabla 4). Se calcula con la siguiente formula:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

$K_f$  = Factor de forma

$A$  = Área de la cuenca (en  $\text{km}^2$ )

$L$  = Longitud máxima del cauce principal (en km)

**Tabla 4.** Interpretación del factor de forma.

<b>Valor de Kf</b>	<b>Forma de la cuenca</b>	<b>Interpretación hidrológica</b>
> 0.50	Muy compacta	Alta eficiencia de escurrimiento, riesgo elevado de crecidas súbitas
0.40 – 0.50	Moderadamente compacta	Flujo eficiente, concentración relativamente rápida
0.30 – 0.39	Moderadamente alargada	Escurrimiento algo más retardado, menor riesgo de inundaciones
0.20 – 0.29	Alargada	Escurrimiento lento y disperso
< 0.20	Muy alargada o irregular	Tiempo de concentración largo, menor riesgo de crecida rápida

El índice de masividad ( $K_m$ ) según Becerra Moreno (2005), relaciona la elevación media de una cuenca con su superficie. Cuanto más alto sea  $K_m$ , más inclinadas y abruptas serán las laderas, provocando escorrentía rápida y mayor erosión potencial. En cambio, valores bajos indican cuencas más suaves y una respuesta hidrológica más lenta y distribuida (Tabla 5). Se calcula con la siguiente formula:

$$K_m = \frac{H}{A}$$

Donde:

$K_m$  = Índice de masividad

$H$  = Altura media del relieve de la cuenca (promedio de elevación)

$A$  = Área de la cuenca (en  $\text{km}^2$ )

**Tabla 5.** Interpretación del índice de masividad.

Valor de $K_m$	Tipo de relieve	Interpretación hidrológica
> 1.5	Muy abrupto / montañoso	Alta escorrentía rápida, alto riesgo de erosión e inundación repentina
1.0 – 1.5	Moderadamente inclinado	Escorrentía eficiente, erosión moderada
0.5 – 1.0	Ligeramente inclinado / colinas bajas	Escorrentía dispersa, riesgo moderado de erosión
< 0.5	Plano o suave	Escorrentía lenta, baja erosión, respuesta hidrológica más gradual

El orden de corrientes es una forma de clasificar los drenajes o ríos dentro de una cuenca con base en cómo se unen entre sí (Strahler, 1952). Esta clasificación define la estructura jerárquica de una red hidrográfica. La Tabla 6 muestra los órdenes y su interpretación:

**Tabla 6.** Interpretación de los órdenes de corriente.

Orden	Tipo de corriente	Características principales
1	De primer orden	Nacientes, pequeños arroyos o escurreimientos; no tienen tributarios
2	De segundo orden	Formados por la unión de dos de primer orden; caudal mayor, recogen más escurreimiento
3	De tercer orden	Unión de dos de segundo orden; mayor caudal, mayor influencia en la escorrentía
4-5	De orden intermedio	Ríos regionales; ya visibles en mapas, canalizan grandes volúmenes de agua
6 o más	De alto orden	Ríos principales o troncales; largos, anchos, con muchos afluentes

La pendiente media del cauce principal es una medida que indica cuánto desciende el cauce principal de un río o arroyo a lo largo de su recorrido, desde el punto más alto (nacimiento) hasta su desembocadura (salida de la cuenca) (Tabla 7). Se expresa normalmente en porcentaje (%) y se calcula con la fórmula:

$$\text{Pendiente media (\%)} = \left( \frac{\Delta h}{L} \right) \times 100$$

Donde:

$\Delta h$  = Diferencia de altura (m) entre el nacimiento y la desembocadura del río principal.

$L$  = longitud total del cauce principal (m o km).

**Tabla 7.** Interpretación de la pendiente del cauce principal.

Pendiente (%)	Clasificación del cauce	Características del flujo y del relieve
> 10 %	Muy fuerte	Corrientes torrenciales, alta erosión, zonas montañosas
5 – 10 %	Fuerte	Corrientes rápidas, posible erosión moderada
2 – 5 %	Moderada	Flujo estable, transición entre montaña y zona baja
0.5 – 2 %	Suave	Ríos meándricos, posible acumulación de sedimentos
< 0.5 %	Muy suave o casi plana	Ríos lentos, riesgo de inundación, acumulación de sedimentos

La densidad de drenaje (Dd) indica qué tan densa es la red de ríos y arroyos en una cuenca (Chow, 1964) (Tabla 8). Se define como la longitud total de los cauces (ríos, arroyos, canales) dividida entre la superficie total de la cuenca:

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

Donde:

Dd = Densidad de drenaje ( $\text{km}/\text{km}^2$ )

L = Longitud total de los cauces (km)

A = Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

**Tabla 8.** Interpretación de la densidad de drenaje.

Dd ( $\text{km}/\text{km}^2$ )	Clasificación	Características generales
> 2.5	Muy alta	Suelo impermeable, pendientes fuertes, escurrimiento rápido
1.5 – 2.5	Alta	Red de drenaje densa, escasa infiltración
1.0 – 1.5	Moderada	Equilibrio entre escurrimiento e infiltración
0.5 – 1.0	Baja	Suelo permeable, vegetación densa, flujo lento
< 0.5	Muy baja	Escasa red de drenaje, alta infiltración, suelos muy porosos o planos

La densidad de corrientes indica cuántos cauces hay en una determinada área de una cuenca (Becerra Moreno, 2005) (Tabla 9). Se calcula como:

$$\text{Densidad de corrientes (Nc)} = \frac{N}{A}$$

Donde:

Nc = Densidad de corrientes (número de cauces por  $\text{km}^2$ )

N = Número total de cauces

A = Área total de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

**Tabla 9.** Interpretación de la densidad de corrientes.

Densidad de corrientes (Nc)	Clasificación	Características hidrológicas
> 4.0 cauces/km <sup>2</sup>	Muy alta	Alto desarrollo fluvial, escasa infiltración, relieves abruptos
2.5 – 4.0	Alta	Drenaje bien desarrollado, suelos menos permeables
1.0 – 2.5	Moderada	Equilibrio entre escurrimiento e infiltración
0.5 – 1.0	Baja	Mayor infiltración, menor densidad de canales
< 0.5	Muy baja	Suelos altamente permeables o relieves planos

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida, después de una lluvia intensa y uniforme. En otras palabras, es el tiempo máximo que tarda el agua superficial en recorrer toda la cuenca (Becerra Moreno, 2005) (Tabla 10).

$$T_c = 0.02 \cdot L^{1.15} / S^{0.385}$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración (en minutos)

$L$  = Longitud del cauce principal (en metros)

$S$  = Pendiente del cauce principal (m/m)

**Tabla 10.** Interpretación del tiempo de concentración.

Tiempo de concentración (Tc)	Clasificación	Interpretación general
< 30 min	Muy rápido	Cuenca pequeña, pendientes fuertes, respuesta muy rápida
30 min – 2 h	Rápido	Cuenca media, pendientes firmes
2 h – 6 h	Moderado	Cuenca rural de tamaño medio
6 h – 24 h	Lento	Grandes cuencas, vegetación densa, suelos permeables
> 24 h	Muy lento	Cuenca extensa, plana, respuesta hidrológica paulatina

### 3.5 Cálculo de agua en corrientes naturales

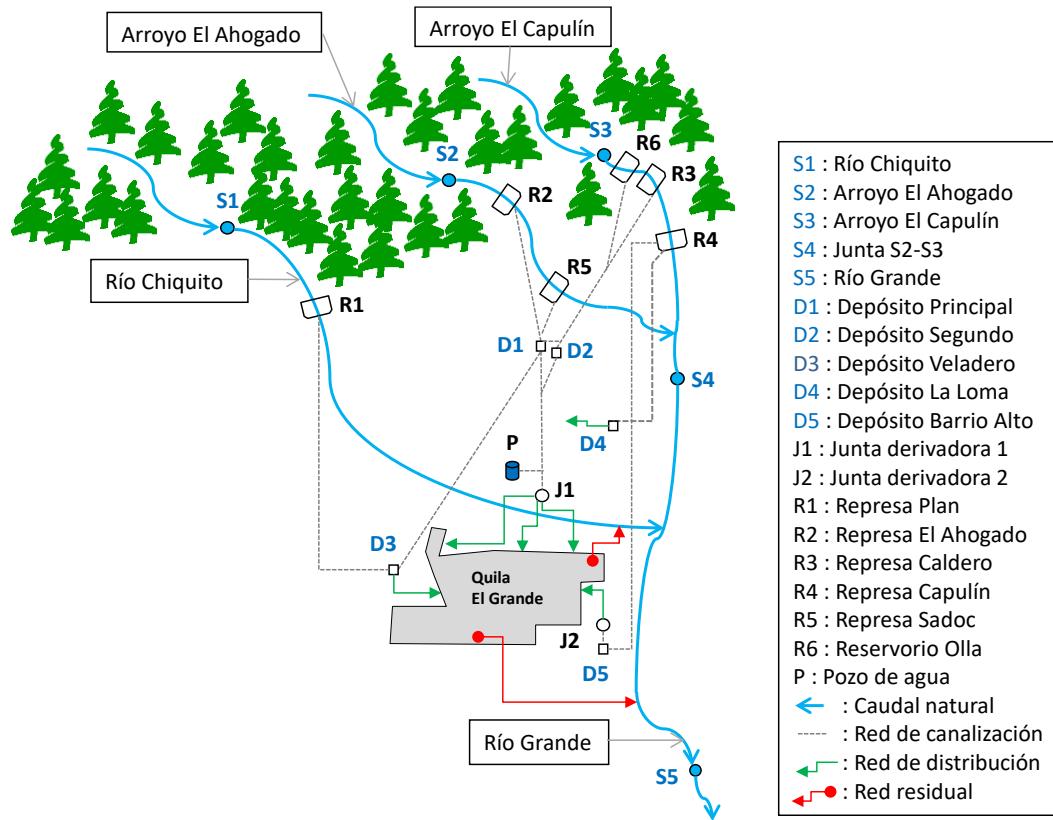
Para la medición del caudal natural de los arroyos se establecieron cinco sitios fijos sobre el flujo de la corriente y cinco más en lugares de almacenamiento de agua (Tabla 11).

**Tabla 11.** Ubicación por coordenada UTM (Universal Transversal de Mercator) y elevación de los sitios de muestreo.

No .	Clave	Nombre	X-Longitud	Y-Latitud	Z-Elevación (msnm)
1	S1	Río Chiquito	598500	2247670	2009
2	S2	Arroyo El Ahogado	596460	2246958	1983
3	S3	Arroyo El Capulín	596337	2245303	2005
4	S4	Junta S2-S3	594795	2249681	1923
5	D1	Depósito Principal La Capilla	595444	2249728	1947
6	D2	Depósito 2 <sup>do</sup> La Capilla	595438	2249736	1946
7	D3	Depósito 3 <sup>ro</sup> El Veladero	596199	2251258	1941
8	D4	Depósito 4 <sup>to</sup> La Loma	594938	2250274	1923
9	D5	Depósito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto	595453	2251791	1925
10	S5	Río Grande	593533	2253078	1879

La Figura 8 interpreta la red de corrientes naturales, sitios de medición de caudal, zonas de captación (represas), redes de canalización y distribución de agua. La ubicación de los sitios de medición del gasto hídrico buscó cubrir de manera sistemática la red principal de drenaje de cada microcuenca, esto es, que a partir de la zona media se designaron sitios sobre los arroyos permanentes (cauce principal) (S1, S2 y S3), así como en la parte baja (S4), por último, como punto de unión de las tres corrientes (S5). Por otro lado, se aforaron los cinco depósitos de agua (D1 a D5) que distribuyen la misma en diferentes sectores de la población de Quila El Grande; los depósitos 1 y 2 son administrados por el municipio de Tecolotlán a través de la delegación, mientras que los otros tres son administrados de manera independiente por particulares.

Todos los sitios establecidos sobre los arroyos y ríos se caracterizaron por encontrarse en fragmentos rectos del caudal, tener poca pendiente y un ancho de cauce promedio, sin venidas de agua cercanas (desniveles o pequeñas cascadas), y tener un entorno de vegetación homogénea. El programa de monitoreo del agua se estableció de manera quincenal durante por dos períodos diferentes a lo largo de un año, el primero periodo transcurrió del 30 de mayo de 2014 al 30 de mayo de 2015 y el segundo, durante el 24 de febrero de 2024 a 08 de marzo de 2025.



**Figura 8:** Red de canalización, almacenamiento y, sitios de muestreo de caudal, aforo y análisis de agua.

El cálculo del gasto que conduce la corriente de agua de los arroyos y ríos se determinó con el método “Sección-velocidad” o de “Huella máxima”, el cual conlleva estimar el área hidráulica de la sección, además de la ecuación de continuidad:

$$Q = VA$$

Donde:

$Q$  = gasto ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = área de la sección ( $\text{m}^2$ )

$V$  = velocidad ( $\text{m/s}$ )

$$A = d \left( \frac{he1}{2} + \sum hi + \frac{he2}{2} \right)$$

Donde:

$A$  = área hidráulica de la sección ( $\text{m}^2$ )

$d$  = ancho de las porciones (cm o m)

$h1 \dots hn$  = alturas intermedias (m)

$he1, he2$  = alturas extremas medidas sobre el talud de la sección (m)

$\sum hi$  = suma de alturas intermedias (m)

$$V = \frac{l}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i}$$

Donde:

$V$  = Velocidad del flujo (m/s);

$n$  = número de registro de tiempos

$t_1 \dots t_n$  = Tiempo que tarda flotador en recorrer un transecto sobre el caudal (m/s)

$l$  = Longitud del transecto (m)

$\Sigma t_i$  = Suma de tiempos (m/s)

Para medir la velocidad promedio del flujo se utilizó un dispositivo mecánico (flotador). Por otro lado, el método de medición directa se utilizó para los sitios con infraestructura (depósitos).

## 3.6 Análisis sobre el agua en corrientes y depósitos

### 3.6.1 Protocolo de muestreo del agua

El muestreo de agua se realizó según los lineamientos técnicos establecidos en los Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, APHA, AWWA-WDCF (1992), y los establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "Cuerpos receptores, muestreo", así como los descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Se seleccionarán 10 estaciones de monitoreo en las dos microcuencas (**MRCH** y **MAAyC**) para muestrear agua (ver Figura 8).

Las especificaciones técnicas para cada uno de los parámetros a evaluar se resumen en la Tabla 12. Se determinó en cada punto de muestreo: Coordenadas, hora, altitud (msnm), presión atmosférica (Hpa), viento (m/s), nubosidad (%), humedad relativa (%), temperatura ambiente (°C), temperatura de agua (°C), profundidad (m), pH (pH), conductividad (μs/cm), salinidad (%), sólidos disueltos totales [SDT] (mg/L), color aparente, materia flotante, presencia de peces, olor y oxígeno disuelto.

La totalidad de las muestras se tomaron en frascos de plástico y/o vidrio, su traslado al laboratorio se realizó manteniendo una temperatura menor a 4 grados centígrados.

**Tabla 12.** Especificaciones técnicas de muestreo y preservación del agua (NOM-AA-14-1980).

Parámetro	Material	Volumen (ml)	Preservación	Tiempo máx. de almacén
pH	p, v	—	Analizar inmediatamente	-
Alcalinidad a la fenolftaleína		200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Alcalinidad total		200		14 d
Conductividad		200		28 d
Turbiedad		100		48 h
Dureza total		100		14 d
Dureza de calcio		100		14 d
Dureza de Mg		100		14 d
Cloruros		200		48 h
SDT		1000		7 d
Sulfatos		100		28 d
Nitritos		100		48 h
Salinidad		100		48 h
Fluoruros		100		48 h

Abreviaturas; p: (plástico), pH: (potencial de hidrógeno), s: (vidrio enjuagado con solventes orgánicos; interior de la tapa del envase recubierta con teflón), v: (vidrio); SDT: (solidos disueltos totales).

Para el análisis bacteriológico, se realizaron muestreos simples por duplicado en frascos estériles de 200ml, en donde se determinaron bacterias mesófilas totales y bacterias coliformes. Los datos recolectados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se compararon con los rangos establecidos por las normas legales vigentes relacionadas con el uso y disposición final del recurso hídrico; tanto para uso doméstico como para riego.

### 3.6.2 Indicadores de la calidad del agua

La manera de estimar la calidad del agua incluye la determinación de índices o proporciones de mediciones de ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos en situaciones reales y otras que se consideran admisibles o deseables y definidas por ciertos estándares o criterios. Los parámetros físicos más importantes son la transparencia, turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad eléctrica y pH.

Le siguen los plaguicidas, metales pesados y microbiológicos como bacterias, virus u hongos. La selección de los parámetros se puede determinar en función

de los usos del agua, siendo los más comunes el uso doméstico, industrial, de riego, recreativo y vida acuática, con una variedad del número y tipo de parámetros debido a los requisitos de calidad.

Los estándares constituyen un punto de referencia para determinar la calidad del agua, y sufre de frecuentes revisiones a medida que se avanza en el estudio de las consecuencias de la contaminación y son, en todo caso, independientes del propio medio que se pretende estudiar, lo que lleva a pensar en la conveniencia de establecer estándares diferentes para contextos territoriales distintos. Por tales motivos existen diferentes estándares de calidad que cada país, región o comunidad adopta según sus criterios de seguridad establecidos.

En México las especificaciones de contaminantes y de calidad se señalan en los "Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89" y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de esta. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado, si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

En este trabajo, se consideró el Índice de Calidad del Agua propuesto por Martínez de Bascárran (1979) que es ampliamente utilizado debido a su diseño sencillo y a que permite incluir n número de variables en la integración, previa ponderación de su magnitud, siendo entonces aplicable a series de datos tanto numerosas como pequeñas. El índice proporciona un valor global de la calidad del agua, en función de los valores individuales de una serie de parámetros, para lo cual se realizan varias transformaciones numéricas en cada uno de los resultados a integrar. Para elaborar el ICA, se seleccionarán aquellos parámetros de calidad del agua más usuales en la evaluación de ríos y lagos y que se enumeran en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001-89) y son: pH, cloruros, conductividad, dureza total, turbiedad, nitratos, sulfatos, nitritos, coliformes totales, oxígeno disuelto, color, sólidos disueltos totales y temperatura.

## **pH**

El pH (potencial de hidrógeno) es una medida que indica la concentración de iones de hidrógeno y determina su grado de acidez o alcalinidad. Se expresa en una escala de 0 a 14, donde valores bajos representan acidez, valores altos indican alcalinidad y los valores medios representan neutralidad (ISSSTE, 2018). Este parámetro es fundamental porque influye directamente en la corrosión de las tuberías y en la calidad final del agua, dependiendo si es ácido o alcalino el agua puede sufrir alteraciones en su sabor y aspecto. De acuerdo

con la NOM-127-SSA1-2021, el rango permitido para agua de uso y consumo humano es de 6.5 a 8.5.

### **Turbiedad**

Se expresa generalmente como unidades nefelométricas de turbidez (UNT), describen la pérdida de claridad del agua causada por partículas en suspensión como lo pueden ser arcilla y sedimentos precipitados químicos (manganese y hierro), partículas orgánicas (desechos vegetales) entre otros organismos. En niveles elevados puede ocasionar manchas en los materiales, accesorios y ropa expuesta durante el lavado. El aumento de la turbidez reduce la claridad del agua al limitar la transmisión de la luz, además su visibilidad reduce la aceptabilidad del agua potable Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018). La NOM-127-SSA1-2021 indica que el límite máximo permisible es de 4.0 UNT.

### **Dureza**

La dureza del agua es un indicador de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), expresada comúnmente en miligramos por litro de carbonato de calcio ( $\text{mg/L CaCO}_3$ ), y tiene su origen en la disolución de rocas y minerales. Se distinguen tres tipos principales: *dureza total*, que corresponde al conjunto de sales de calcio y magnesio; *dureza carbonatada o temporal*, asociada a carbonatos y bicarbonatos; y *dureza no carbonatada o permanente*, vinculada a sales de cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y magnesio. Según su concentración, las aguas pueden clasificarse como blandas ( $<60 \text{ mg/L}$ ), ligeramente duras ( $60\text{-}120 \text{ mg/L}$ ), moderadamente duras ( $120\text{-}180 \text{ mg/L}$ ) y duras ( $>180 \text{ mg/L}$ ) (Solís Castro et al., 2018). De acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021, el límite máximo permisible de dureza total en agua destinada a uso y consumo humano es de  $500 \text{ mg/L CaCO}_3$ .

### **Sólidos disueltos totales (SDT)**

Los sólidos disueltos totales (SDT) corresponden a la suma de todas las sustancias presentes en el agua en forma disuelta, principalmente sales inorgánicas (como calcio, magnesio, sodio y cloruros), minerales traza y pequeñas cantidades de materia orgánica. Su concentración se expresa en  $\text{mg/L}$  y es un indicador relevante de la composición química del agua. Los SDT influyen directamente en propiedades como el sabor, la conductividad eléctrica y la capacidad del agua para sostener vida acuática; cuando los niveles son elevados, el agua puede adquirir un sabor salobre o metálico, lo que disminuye su aceptabilidad para consumo humano (Chavarría Márquez et al., 2024).

Aunque los SDT no se consideran contaminantes primarios, su monitoreo es esencial para evaluar la potabilidad y calidad organoléptica del agua; la NOM-127-SSA1-2021 establece que el límite máximo permisible de sólidos disueltos totales es de  $1000 \text{ mg/L}$ .

### **Sulfatos**

Los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) son aniones muy abundantes en la naturaleza, y su presencia en cuerpos de agua se asocia tanto a procesos naturales como a

fuentes antropogénicas; de acuerdo con Bolaños-Alfaro et al. (2017), en términos de calidad del agua para consumo humano, las concentraciones de sulfato de sodio y sulfato de magnesio superiores a 100 mg/L pueden producir efectos laxantes en la población. Asimismo, cuando los sulfatos alcanzan valores mayores a 200 mg/L, se incrementa la corrosión de metales y se modifica el sabor del agua. La NOM-127-SSA1-2021 establece que el límite máximo permisible de sulfatos en agua de uso y consumo humano es de 400 mg/L. Este valor busca garantizar que el agua mantenga características aceptables para el consumo, evitando tanto efectos adversos en la salud como daños en la infraestructura hidráulica.

### **Nitritos y nitratos**

Los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) son compuestos solubles conformados por nitrógeno y oxígeno. En condiciones ambientales, el nitrito se oxida con facilidad a nitrato, por lo que rara vez se encuentra en concentraciones significativas en aguas subterráneas. El nitrato, en cambio, desempeña un papel esencial en el crecimiento vegetal, razón por la cual constituye el principal componente de los fertilizantes nitrogenados, producidos en grandes volúmenes a nivel industrial.

Las actividades humanas han intensificado sus concentraciones en el ambiente, especialmente en suelos agrícolas; debido a su elevada solubilidad en agua, el nitrato puede infiltrarse fácilmente y alcanzar concentraciones relevantes en ríos, acuíferos y lechos profundos, representando un riesgo potencial para la calidad del agua destinada a consumo humano (Bolaños-Alfaro et al., 2017). Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) no se consideran compuestos altamente tóxicos por sí mismos; sin embargo, la ingesta en concentraciones elevadas puede generar un efecto diurético en los consumidores. En contraste, los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) presentan mayor relevancia sanitaria, ya que pueden reaccionar con aminas secundarias o terciarias, formando nitrosaminas, compuestos reconocidos por su carácter cancerígeno. La NOM-127-SSA1-2021 establece como límites máximos permisibles 1.0 mg/L de  $\text{N-NO}_2^-$  para nitritos y 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  para nitratos en agua de uso y consumo humano.

### **Fluoruros**

Los fluoruros ( $\text{F}^-$ ) son compuestos formados por flúor y otro elemento, comúnmente presentes como sales. Entre estos destacan el fluoruro de sodio, altamente soluble en agua, y el fluoruro de calcio, de baja solubilidad. El fluoruro de sodio se utiliza en el suministro de agua potable y en productos dentales como pastas y enjuagues Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 2003). El consumo excesivo de fluoruros a largo plazo se reconoce como un problema de salud pública, los efectos más ampliamente documentados son la fluorosis dental y la fluorosis esquelética, entre otros. La principal vía de exposición en humanos es el agua de consumo, dado que el flúor constituye uno de los contaminantes inorgánicos más frecuentes en aguas subterráneas, asociado a la composición de las unidades geológicas por las que circula (Vázquez Bojórquez et al., 2022). Con el fin de

reducir algún riesgo, la NOM-127-SSA1-2021 establece un límite máximo permisible de 1.5 mg/L de F<sup>-</sup> en agua para uso y consumo humano.

Los procesos metodológicos por aplicar a cada uno de los parámetros del ICA, son:

1. La normalización de los valores individuales que conforman el índice al establecer una correspondencia de los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros con una escala variable de 0 a 100 que se construye en función de los valores límite establecidos. Se asume como valor de 100 % al que indica condiciones naturales u óptimas en un lago, y el 50 % corresponde al máximo permitido. Una valoración menor al 50 % significa que existen limitantes de importancia para su utilización,
2. La asignación de un peso numérico a cada uno de los parámetros (Tabla 13).

**Tabla 13.** Valores de peso asignado por tipo de parámetro.

Peso asignado	Parámetro
Valor máximo de 4	Conductividad, oxígeno disuelto, S.A.A.M. (detergentes), color, mercurio
Valor medio de 3	Turbiedad, fósforo total, coliformes totales, arsénico, cadmio, cromo total, hierro, manganeso, plomo
Valor menor de 2	Sólidos disueltos, sulfatos, nitrógeno de nitratos, nitrógeno de nitritos, aluminio, cromo hexavalente
Valor mínimo de 1	pH, cloruros, temperatura, dureza total

La aplicación de la siguiente fórmula para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA):

$$ICA = \frac{\sum C_i P_i}{\sum P_i} \cdot k$$

Donde:

$C_i$  = Valor porcentual asignado a los parámetros,

$P_i$  = Peso asignado a cada parámetro,

$k$  = Constante que varía de 1 a 0,25 según la contaminación aparente del agua, definida de la siguiente forma:

- 1,00 para aguas claras sin aparente contaminación.
- 0,75 para aguas con ligero color, con espumas y ligera turbiedad aparentemente no natural.
- 0,50 para aguas con apariencia de estar contaminadas y con fuerte olor.
- 0,25 para aguas negras que presentan fermentaciones y olores.

### 3.6.3 Descripción de métodos analíticos del agua

En cada uno de los parámetros a analizar se determinará previamente el límite mínimo de detección, así como las pruebas correspondientes a la precisión y exactitud, procediendo a su aplicación de acuerdo con los lineamientos que para cada caso en particular existen en la literatura. La descripción de los métodos analíticos aplicados se presenta en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Descripción de principales métodos analíticos del agua.

Parámetro	Descripción
<b>Alcalinidad</b>	<b>Método volumétrico de Warder.</b> Se basa en añadir con exactitud el volumen necesario de una solución patrón, ácida, para efectuar una reacción de neutralización en una cantidad desconocida de otra sustancia básica.
<b>Cloruros</b>	<b>Método argentométrico de Morh.</b> También llamado de nitrato de plata, la determinación se basa en la formación de cromato de plata de color rojizo insoluble, esto ocurre cuando se adicionan al agua iones cromato como indicador e iones de plata como reactivo precipitante.
<b>Cianuros</b>	<b>Método colorimétrico piridina-ácido barbitúrico y cuantificación con nitrato de plata.</b> Se basa en la destilación como ácido cianhídrico (HCN) de los cianuros simples y complejos, que se absorbe en una solución alcalina. Posteriormente, se hace reaccionar con una mezcla de piridina-pirazolona, dando lugar a la formulación de un complejo colorido azul, cuya intensidad se puede medir colorimétricamente y es proporcional a la cantidad de cianuros presente.
<b>Color</b>	<b>Comparación espectrofotométrica de la muestra con soluciones coloridas de Platino-Cobalto de concentraciones conocidas.</b> Se compara visualmente el color de la muestra con soluciones coloridas de platino cobalto de concentraciones conocidas, también se pueden comparar con discos – patrón. El color que produce 1mg/l de platino en forma de ion platinato constituye la unidad de comparación.
<b>Conductividad</b>	<b>Método electrométrico.</b> Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, capacidad que dependerá del tipo de iones presentes en la disolución de una concentración y naturaleza, así como de la temperatura a la que se efectúe la medida.
<b>Cromo hexavalente</b>	El cromo hexavalente reacciona con la difenilcarbazida en medio ácido para dar un complejo de color violeta, de composición desconocida, el cual se cuantifica a 540 nm.
<b>Demandा bioquímica de oxígeno</b>	<b>Método de incubación por cinco días.</b> Se basa en la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales, y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de 5 días de incubación a 20°C.

<b>Demandas químicas de oxígeno</b>	<b>Método de la oxidación ácida.</b> Se basa en la oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amoniácal en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador interno.
<b>Dureza total Dureza cárlica Dureza magnésica</b>	<b>Método del EDTA.</b> En este método los alcalinotérreos presentes en el agua forman un complejo con la sal disódica del ácido etilen-diaminotetracético (EDTA), se emplea como indicador el negro de erio cromo T, el cual al ser agregado a una solución que contenga iones calcio y magnesio, reacciona formando complejos de un color rojo vino. Después se adiciona la sal disódica del ácido etilen-diaminotetracético EDTA, que remueve los iones calcio y magnesio de los complejos coloridos formando complejos solubles. Cuando ha sido agregada suficiente solución de EDTA, para liberar todos los iones calcio y magnesio, el indicador regresa a su color azul original. En un medio adecuadamente tamponado para evitar la precipitación del magnesio, el método permite determinar la suma de los iones calcio y magnesio.
<b>Fenoles</b>	<b>Método de destilación-colorimétrico de la aminoantipirina, lectura en espectrofotómetro UV-visible Lambda 35.</b> Los fenoles purificados reaccionan con la 4 aminoantipirina a un pH de $10 \pm 0.2$ , en presencia de ferricianuros de potasio, para formar anilina de antipirina; esta anilina se extrae con cloroformo de la solución acuosa.
<b>Fósforo total</b>	<b>Colorimétrico con método de cloruro estañoso, lectura con espectrofotómetro UV-visible Lambda 35.</b> En una solución diluida y en condiciones ácidas el ion fosfato se combina con el molibdato de amonio para formar un complejo conocido como fosfomolibdato de amonio. El molibdato contenido en el fosfomolibdato de amonio se reduce fácilmente para producir una solución de color azul que es proporcional a la cantidad de fosfato presente.
<b>Grasas y aceites</b>	<b>Extracción Soxhlet con hexano, gravimétrico.</b> Los jabones metálicos solubles se hidrolizan durante la acidificación. Las grasas sólida o viscosa y cualquier aceite presente se separa de la muestra líquida por filtración. Después se efectúa una extracción con freón en un equipo Soxhlet, se evapora el disolvente, y el residuo remanente se pesa para determinar el contenido de grasa y aceites de la muestra. Los compuestos que se volatizan a menos de $103^{\circ}\text{C}$ se perderán cuando se seque el filtro.
<b>Metales pesados</b>	<b>Lectura directa en espectrofotómetro de absorción atómica.</b>
<b>Nitrógeno amoniácal</b>	El amoníaco se destila en medio alcalino, se absorbe en una solución de ácido bórico y se determina por valoración con ácido sulfúrico.
<b>Nitrógeno total</b>	Mediante digestión en presencia de ácido sulfúrico, sulfato de potasio y sulfato mercúrico, el nitrógeno de compuestos orgánicos se convierte en sulfato de amonio. El amoníaco libre y también el nitrógeno amoniácal se transforma en sulfato de amonio.

<b>Nitrógeno de nitratos</b>	<b>Método colorimétrico con brucina, lectura en espectrofotómetro UV-visible Lambda 35.</b> Dos moles de NO <sub>3</sub> reaccionan con un mol de ácido cromotrópico para formar un producto de reacción de color amarillo, con una absorbancia máxima de 410 nm. La máxima intensidad en color se desarrolla en 10 minutos y es estable 24 horas. El método se recomienda para unas concentraciones entre 0.1 y 5 mg de NO <sub>3</sub> /litro.
<b>Nitrógeno de nitritos</b>	<b>Método espectrofotométrico de la diazotización.</b> El principio del método consiste en que los nitritos presentes reaccionan en medio ácido (pH = 1.9 a 2.5), por diazotación con la sulfanilamida para formar una sal de diazonio, la cual por copulación con el dihidrocloruro de N-(I-Naftil) etilendiamina forma un colorante azoico de color púrpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a 543 nm.
<b>Oxígeno disuelto</b>	<b>Método electrométrico.</b> Utilizando un electrodo de membrana unible al oxígeno, en determinaciones de campo. En laboratorio se aplica el método iodometrónico de Winkler
<b>pH</b>	<b>Método Electrométrico.</b> Se basa en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno medidos en un potenciómetro usando un electrodo de vidrio y otro de referencia. La fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema.
<b>Sólidos disueltos totales</b>	<b>Método Gravimétrico.</b> Se basa en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de base para el cálculo del contenido de sólidos.
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	<b>Método Gravimétrico.</b> Son aquellos retenidos en filtros de fibra de vidrio, se secan en estufa a 103-105 °C y se pesan.
<b>Sólidos sedimentables</b>	<b>Método Volumétrico.</b> Se llena un cono imhoff con 1 l de muestra y se observa el material sedimentado a las 2 horas.
<b>Sólidos totales</b>	<b>Método Gravimétrico.</b> se realiza tras evaporar en placa de porcelana la muestra y secarla a 103-105 °C.
<b>Coliformes totales y fecales</b>	<b>Método del número más probable en tubos múltiples</b> (organismos termo tolerantes).
<b>Plaguicidas</b>	<b>Método de cromatografía de gases con detector de spectrometría de masas de triple cuadrupolo.</b>

Las muestras de agua se analizaron conforme a los procedimientos establecidos para cada parámetro en la Normativa Oficial Mexicana, equivalentes a los descritos en los métodos establecidos por la APHA AWWA-WDCF (1992).

Para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA) se aplicó el método descrito por Martínez de Bascarán (1979), el cual es equivalente metodológicamente al descrito por el ICA de la Comisión Nacional del Agua, pero este permite incluir una constante de valoración visual para el caso de ríos y manantiales. Los parámetros por evaluar y la metodología a aplicar se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Proceso metodológico para la determinación de los parámetros de calidad.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible (LMP)</b>	<b>Método de análisis</b>
pH	pH	6.5 – 8.5	NMX-AA-071-1981
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/L CaCO <sub>3</sub>		NMX-AA-071-1981
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		NMX-AA-36-2001
Conductividad	µS/cm		NMX-AA-093-SCFI-2000
Turbiedad	UNT	4.0	NMX-AA-038-SCFI-2001
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	500	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de Calcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>		NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza de Magnesio	mg/L CaCO <sub>3</sub>		NMX-AA-072-SCFI-2001
Cloruros	mg/L		NMX-AA-073-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L	1000	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	400	NMX-AA-074-1981
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	1.0	NMX-AA-099-SCFI-2021
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	10	NOM-AA-079-SCFI-2001
Salinidad	%		NMX-AA-093-SCFI-2000
Fluoruro	mg/ L F	1.5	NMX-AA-077-SCFI-2001
Plaguicidas	µg/L		NOM-AA-71-1981
Coliformes totales y fecales	NMP/100 ml		NMX-AA-042-SCFI-2015

## 4 Resultados

### 4.1 Medio morfométrico e hídrico de las microcuenca

#### 4.1.1 Microcuenca Río Chiquito

La microcuenca del Río Chiquito (**MRCH**) abarca una superficie de 13.3 km<sup>2</sup> (1,332.2 ha) y un perímetro de 28.3 km; tiene una elevación media de 2,052.7 msnm, una pendiente relativa de 13.3% y un desnivel de 519 m entre el punto más elevado y el más bajo. Se calculó un coeficiente de masividad (Km) de 154.1 m/km<sup>2</sup>, lo que sugiere representar una microcuenca moderadamente montañosa. El cauce principal tiene una longitud de 9.23 kilómetros y una pendiente media de 16.5% (alta escorrentía) con un tiempo de concentración de 65 minutos, es decir, de clase moderada (Tabla 16).

La capacidad de captación natural de agua de lluvia depende directamente de la extensión de la microcuenca y la precipitación promedio anual, que en ésta se deposita (906 mm); el coeficiente de disponibilidad de agua para la microcuenca Río Chiquito, se calculó en 12.1 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>.

La morfometría de la microcuenca, según el coeficiente de compacidad (Kc), sugiere que es ovalo-oblonga a rectangular oblonga, de acuerdo con el valor (0.16) obtenido del factor de forma (Kf), la microcuenca es alargada, es decir, es menos tendiente a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa y formar fácilmente grandes crecidas. El valor de la densidad de drenaje (Dd) resultó de 2 km - km<sup>2</sup>, lo que sugiere una densidad moderada (media) y de flujo superficial medio; lo que representa un equilibrio entre la infiltración y el escurrimiento, por lo que también el riesgo de erosión hídrica es moderado. Por otra parte, la densidad de corrientes fue de dos arroyos km<sup>-2</sup>, por lo que se considera como una red de drenaje moderada o de cauces definidos, algunos intermitentes, así como también, la presencia de un relieve y pendientes moderadas en la microcuenca.

La jerarquización de la compleja red de drenaje de las microcuenca se determinó con el método de Strahler (1964); el grado de estructura de la red para la microcuenca Río Chiquito es de desarrollo medio (tercer orden); el 76% de los cauces pertenece al 1er orden, por lo que la microcuenca tiene una red muy ramificada en zonas altas y por ende favorece la captación de escurrimientos dispersos. Tiene una estructura dendrítica con un cauce dominante, donde se concentra la mayor parte del caudal; la ramificación de la red (relación 1<sup>er</sup>/2<sup>do</sup>) es de 3.7 por lo que se puede interpretar que la microcuenca muestra una red bien desarrollada aguas arriba, lo que puede acelerar la respuesta a eventos de lluvia si hay poca infiltración (Tabla 16).

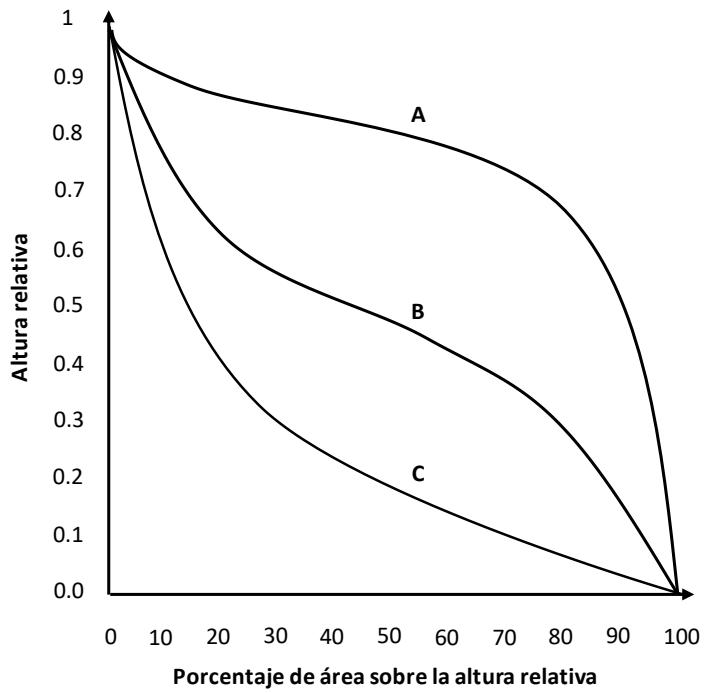
**Tabla 16.** Parámetros morfométricos e hidrológicos de la microcuenca Río Chiquito.

Parámetros	Valor
<b>Morfométricos</b>	
Compacidad de Gravelius (K <sub>c</sub> )	2.17
Factor de forma (K <sub>f</sub> )	0.16
Coeficiente de masividad (K <sub>m</sub> )	154.1
<b>Hidrológicos</b>	
Número de corrientes (1 <sup>er</sup> orden)	22
Número de corrientes (2 <sup>do</sup> orden)	6
Número de corrientes (3 <sup>er</sup> orden)	1
Número total de corrientes	29
Longitud de cauce principal (km)	9.2
Longitud total de cauces (km)	23.49
Pendiente media del cauce principal	16.5
Densidad de drenaje (D <sub>d</sub> ) (km km <sup>-2</sup> )	2
Densidad de corrientes (arroyos km <sup>-2</sup> )	2
Tiempo de concentración (min)	65

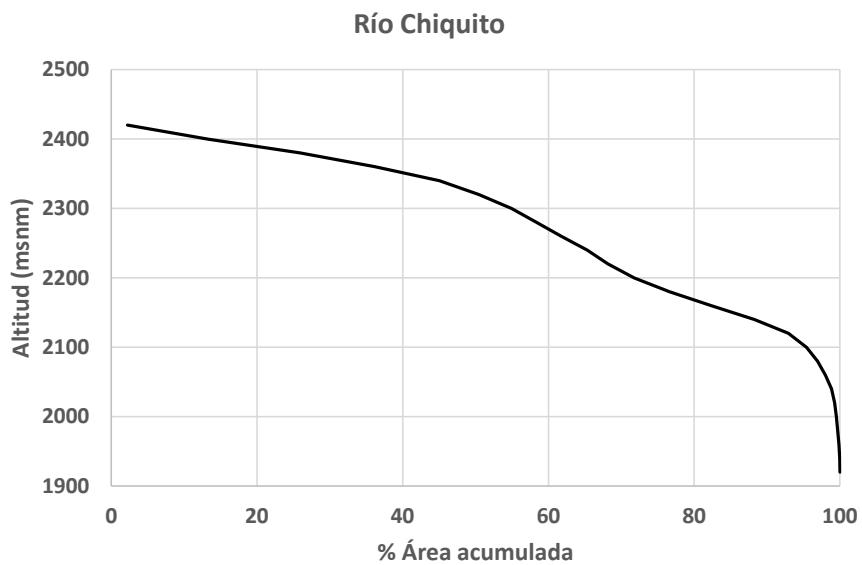
La curva hipsométrica permite conocer la distribución del área de la cuenca con respecto a la altitud (Figura 9); de acuerdo con López Cadenas y Mintegui (1986) la curva también permite calificar el relieve, así: una pendiente fuerte en el origen hacia cotas inferiores indica llanuras (C); si la pendiente es muy fuerte, hay peligro de inundación en zonas extensas. Una pendiente muy débil en esa parte revela por el contrario un valle encajonado (B). Una pendiente fuerte, hacia la parte media o las altitudes mayores, indica una gran meseta (A). Según menciona Racca (2007), la presencia de irregularidades marcadas en la curva indica la unión de sectores que son drenados por canales que no pertenecen a la cuenca natural mostrando un importante desequilibrio morfológico en la cuenca, producto de eventos neotectónicos muy recientes.

Las curvas hipsométricas para este estudio se determinaron de forma tabular mediante las herramientas de: análisis del terreno, morfometría e hipsometría del programa SAGA v.9.3.1.(System for Automated Geoscientific Analyses); posteriormente los gráficos se realizaron con el programa Microsoft Excel. Para este análisis, se utilizó el modelo continuo de elevaciones mexicano (CEM 3.0), al cual de manera previa le fueron llenadas las depresiones.

La curva hipsométrica es representada a través de una curva característica para cada microcuenca en estudio. La curva representa en el eje de las ordenadas, las elevaciones en metros sobre el nivel del mar y en el eje de las abscisas, el porcentaje del área de la cuenca que queda por encima de la elevación indicada. La curva hipsométrica indica el estadio de evolución y equilibrio de la microcuenca (Figura 10); la microcuenca presenta una curva convexa, lo que sugiere una microcuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud), no ha alcanzado una madurez compleja, es decir, con corrientes de 4<sup>to</sup> o 5<sup>to</sup> orden.



**Figura 9:** Gráfico de curvas hipsométricas. Curva A: refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud); Curva B: es una cuenca en equilibrio (fase de madurez); Curva C: es una cuenca sedimentaria (fase de vejez) (tomado de Strahler (1964)).



**Figura 10:** Curva hipsométrica de la microcuenca Río Chiquito.

#### **4.1.2 Microcuenca arroyos El Ahogado – El Capulín**

La microcuenca de los arroyos El Ahogado y El Capulín abarca una superficie de 20.1 km<sup>2</sup> (2,008.9 ha) y un perímetro de 31.3 km; tiene una elevación media de 2,004 msnm, una pendiente relativa de 9.5% y un desnivel de 306 m entre el punto más elevado y el más bajo.

Se calculó un coeficiente de masividad (Km) de 99.7 m/km<sup>2</sup>, lo que sugiere representar una microcuenca moderadamente montañosa. El cauce principal tiene una longitud de 6.5 kilómetros y una pendiente media de 16.1% (alta escorrentía) con un tiempo de concentración de 53 minutos, es decir, de clase moderada. La capacidad de captación natural de agua de lluvia para una precipitación promedio anual de 905 mm se estimó para la microcuenca de los arroyos El Ahogado – El Capulín, en 18.2 Mm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>.

La morfometría de la microcuenca, según el coeficiente de compacidad (Kc) de 1.95, sugiere que es ovalo-oblonga a rectangular oblonga, es decir, indica una microcuenca alargada y poco compacta. De acuerdo con el valor (0.48) obtenido del factor de forma (Kf), la microcuenca es ligeramente ensanchada, es decir, es menos tendiente a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa y formar fácilmente grandes crecidas; en otras palabras, reduce el riesgo de inundaciones súbitas.

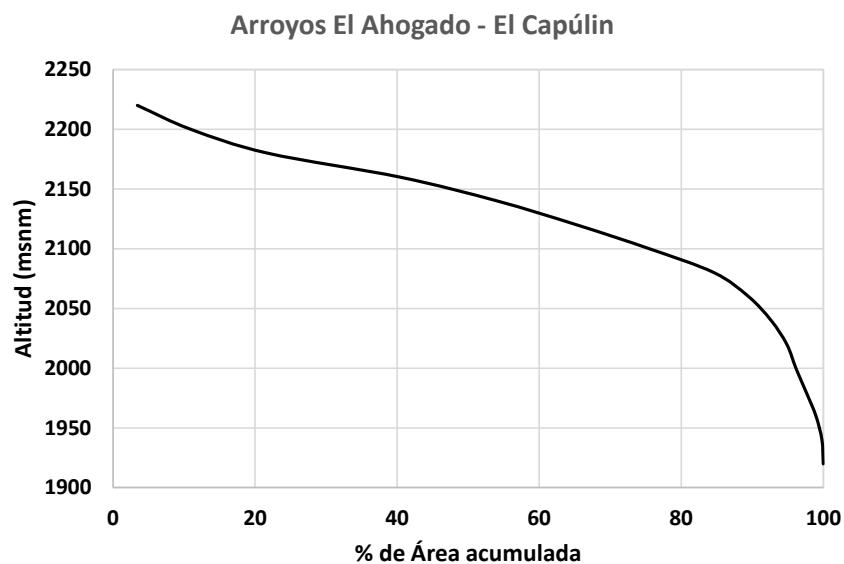
El valor de la densidad de drenaje (Dd) resultó de 2 km/km<sup>2</sup>, lo que sugiere que el terreno tiene una alta capacidad de escurrimiento superficial con un sistema de drenaje bien desarrollado; por otra parte, la densidad de corrientes fue de 2 arroyos/km<sup>2</sup>, por lo que se considera como un drenaje eficiente o fino, es decir, muchos causes por unidad de área, posiblemente a la combinación de la litología y topografía de la microcuenca.

La red de drenaje de las microcuencas presenta un grado de estructura media cuarto orden. Para su interpretación, 36 cauces menores de primer orden, es decir, nacimientos o tributarios sin afluentes, la disminución progresiva del número de causes conforme aumenta el orden significa una red de drenaje bien estructurada, típica de áreas naturales no perturbadas. El valor promedio de la relación de bifurcación es de 3.55, lo que sugiere una estructura dendrítica (Tabla 17).

**Tabla 17.** Parámetros morfométricos e hidrológicos de la microcuenca arroyos El Ahogado–El Capulín.

Parámetros	Valor
<b>Morfométricos</b>	
Compacidad de Gravelius ( $K_c$ )	1.95
Factor de forma ( $K_f$ )	0.48
Coeficiente de masividad ( $K_m$ )	99.8
<b>Hidrológicos</b>	
Número de corrientes (1 <sup>er</sup> orden)	36
Número de corrientes (2 <sup>do</sup> orden)	7
Número de corrientes (3 <sup>er</sup> orden)	2
Número de corrientes (4 <sup>to</sup> orden)	1
Número total de corrientes	46
Longitud de cauce principal (km) Arroyo El	6.5
Longitud total de cauces (km)	34.4
Pendiente media del cauce principal (%)	16.1
Densidad de drenaje ( $D_d$ ) (km km <sup>-2</sup> )	2
Densidad de corrientes (arroyos km <sup>-2</sup> )	2
Tiempo de concentración (min)	53

La curva hipsométrica indica el estadio de evolución y equilibrio de la microcuenca (Figura 11); la microcuenca presenta una curva convexa, lo que sugiere una microcuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud).



**Figura 11:** Curva hipsométrica de la microcuenca arroyos El Ahogado -El Capulín.

## **4.2 Monitoreo comunitario de la biodiversidad en los arroyos El Ahogado - El Capulín y la calidad de la ribera**

### **4.2.1 Monitoreo biodiversidad 2014-2015**

Los ecosistemas ribereños se caracterizan por ser de los ambientes más diversos, dinámicos y complejos. En el estudio realizado durante 2014-2015 en tres arroyos del Ejido de Quila El Grande, en el municipio de Tecolotlán, Jalisco. En ocasión de este primer inventario forestal se logró una recopilación sistemática de información sobre las especies presentes en el área de los arroyos en un tiempo determinado. Su objetivo principal fue documentar la presencia de las especies de árboles, con la finalidad de incluir información sobre la abundancia y distribución local de especies, así como caracterizar hábitats, ecosistemas y otros aspectos del entorno natural. Para esto último, se realizó un inventario donde se caracterizó la estructura (distribución horizontal y vertical de los árboles), la composición florística (variedad de especies), la diversidad arbórea (riqueza y abundancia) y el estado ecológico de los bosques de galería.

Al interior de las microcuencas del río Chiquito (MRCh) y los arroyos El Ahogado y el Capulín (MAAyC) se realizó un muestreo sistemático estableciendo diez sitios de muestreo por arroyo. Cada sitio estuvo separado entre sí por 1000 m de distancia y dentro de cada uno se establecieron dos cuadrantes de 250 m<sup>2</sup> c/u (5 m x 50 m), uno por cada lado del cauce del arroyo, en los que se identificaron todos los individuos de especies leñosas con diámetro normal (DN) mayor o igual a 7 cm, se midieron parámetros del arbolado (DN, altura, densidad), topográficas y de disturbio. En total en los 30 sitios se midieron 1,196 árboles pertenecientes a 37 especies arbóreas, agrupadas en 21 géneros y 17 familias. Las familias con más especies fueron: Fagaceae (encinos, con 10 especies), Pinaceae y Rosaceae (con 4 cada una), Ericaceae (madroños, con 3), Lauraceae y Theaceae (con 2 cada una). Las especies con mayor importancia ecológica (IVI) fueron en orden de mayor a menor *Alnus acuminata* ssp. *arguta*, *Salix bonplandiana*, *Prunus rhamnoides*, *Prunus serotina* spp. *capuli*, *Clethra hartwegii*, *Pinus oocarpa*, *Quercus resinosa*, *Quercus obtusata*, *Quercus rugosa*, *Pinus douglasiana* y *Quercus castanea*.

Los valores totales registrados para los 30 sitios en conjunto fueron 797.3 individuos/hectárea (N ind. ha<sup>-1</sup>), el área basal de 48.2 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, el diámetro promedio de los árboles de 22.8 cm y la altura de 13.2 m. Las diferencias entre valores de los arroyos se muestran en la Tabla 18. El arroyo El Chiquito tuvo el valor más alto de riqueza con 29 especies de árboles, y un índice de diversidad de H' = 2.59, donde la abundancia de los individuos de las diferentes especies se repartió de manera más equitativa (1-λ = 0.86); en segundo lugar, el arroyo El Capulín (H' = 2.29 y 1-λ = 0.85); y en tercer lugar arroyo El Ahogado (H' = 1.97 y 1-λ = 0.79).

**Tabla 18.** Valores de riqueza, abundancia, diversidad y equidad de especies arbóreas por arroyo.

Arroyos	Riqueza de especies	Núm. individuos	H'(loge) Diversidad	1-λ Equidad
Chiquito	29	319	2.59	0.86
El Ahogado	21	473	1.97	0.79
El Capulín	19	404	2.29	0.85

$H'$ : índice de Shannon-Wiener,  $1-\lambda$ : índice de Simpson.

Las variables estructurales de área basal, diámetro y altura promedio fueron similares en los tres arroyos (Tabla 19). El número de árboles entre arroyos fue diferente (ANOVA,  $F = 3.5$ ,  $P = 0.004$ ), siendo más abundante en el arroyo El Ahogado (473) con diferencia significativa ( $P < 0.035$ ) y una densidad promedio de 946 individuos/ha. El área basal entre sitios de muestreo fue diferente (ANOVA,  $F = 2.460$ ,  $P = 0.045$ ), los valores más altos correspondieron a sitios ubicados a menores elevaciones.

**Tabla 19.** Descriptores de la estructura arbórea por arroyo en el área de estudio.

Arroyo	Núm. total de árboles	Densidad promedio/ha	Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ )	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (m)
Chiquito	319	638	41.1	23.5	12.0
El Ahogado	473	946	54.6	22.9	15.4
El Capulín	404	808	49.0	21.9	12.2

En la Tabla 20 se muestra en detalle los atributos de los sitios evaluados y se indican para fines comparativos los valores de los últimos cuatro sitios de muestreo por cada arroyo. Siendo estos sitios aquellos ubicados fuera del área natural protegida y por ser los más cercanos a las actividades productivas y al poblado de Quila El Grande. Como puede apreciarse la mayor representación del arbolado la constituyen especies latifoliadas de hojas anchas. Cada arroyo se distinguió por contener el mayor número: (i) de pinos, en El Capulín; (ii) de encinos, en Chiquito y, (iii) de otras latifoliadas, en El Ahogado. La Figura 12 ilustra algunos de los rasgos ambientales observados en los sitios muestreados.

**Tabla 20.** Descripción de los atributos de los árboles en los sitios de muestreo.

Sitio	Riqueza especies	Núm. árboles por sitio	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Núm. Pinos	Núm. Encinos	Núm. Otras latifoliadas	Cobertura arbórea (%)	Cobertura arbustiva (%)
<b>Río Chiquito</b>									
CH7	13	32	23.2	15.9	0	1	29	1-20	1-20
CH8	8	31	20.4	8.9	0	10	21	1-20	1-20
CH9	4	17	20.8	11.3	0	0	17	21-40	61-80
CH10	4	43	32.3	14.0	0	0	43	41-60	61-80
Promedio	7.3	31	24.2	12.6			27.5		
<b>Arroyo El Ahogado</b>									
AH7	4	25	22.2	20.4	0	0	25	1-20	21-40
AH8	6	44	40.8	13.1	0	2	42	21-40	21-40
AH9	4	54	23.9	11.7	0	0	54	21-40	1-20
AH10	4	62	28.5	12.0	0	0	62	1-20	21-40
Promedio	4.5	46	28.9	14.3			45.8		
<b>Arroyo El Capulín</b>									
EC7	4	47	18.5	11.9	9	0	47	1-20	21-40
EC8	6	54	28.5	10.2	2	0	54	21-40	21-40
EC9	6	34	19.3	9.3	0	0	34	21-40	1-20
EC10	3	29	27.3	9.4	5	0	29	1-20	21-40
Promedio	4.8	41	23.4	10.2			41		



**Figura 12:** Inventario forestal realizado en 2014 con el apoyo de estudiantes de Agronomía con formación forestal y muestra de algunos registros de anfibios y de rasgos ambientales observados en los arroyos.

#### **4.2.2 Monitoreo biodiversidad 2024-2025**

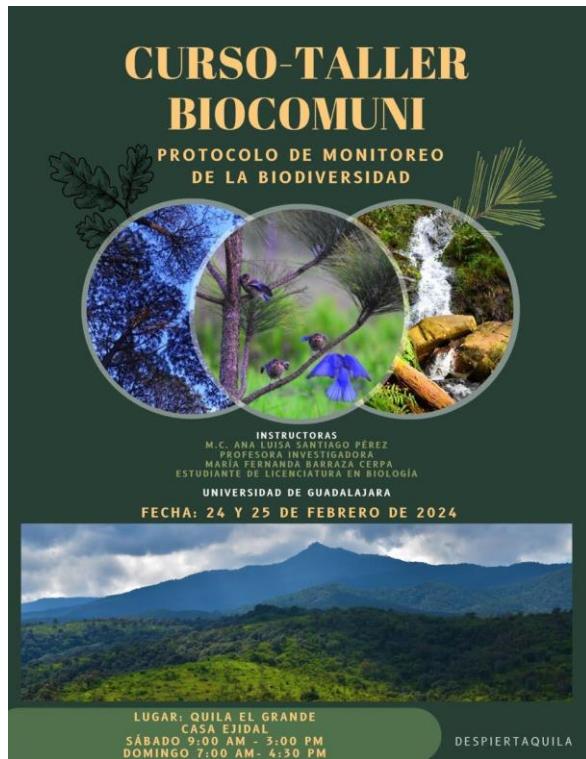
Los días 24 y 25 de febrero de 2024 se llevó a cabo la capacitación a 10 integrantes de la comunidad de Quila El Grande (Figura 13). Las actividades se desarrollaron en dos etapas: a) la primera, en aula con exposiciones dialogadas diseñadas para la comunicación ambiental acerca de la importancia de la biodiversidad y los atributos ambientales de la Sierra de Quila y las técnicas para el monitoreo de la biodiversidad; y b) la segunda etapa fue para llevar a cabo la implementación demostrativa de las diferentes técnicas de monitoreo en campo (Figura 14). Esta actividad de capacitación tuvo como propósito incentivar el interés y participación de los integrantes de la comunidad para que participen en el monitoreo y además fortalezcan sus capacidades que les permitan continuar evaluando la biodiversidad de su territorio.



**Figura 13:** Sesión de capacitación a integrantes de la comunidad de Quila El Grande, Jalisco.

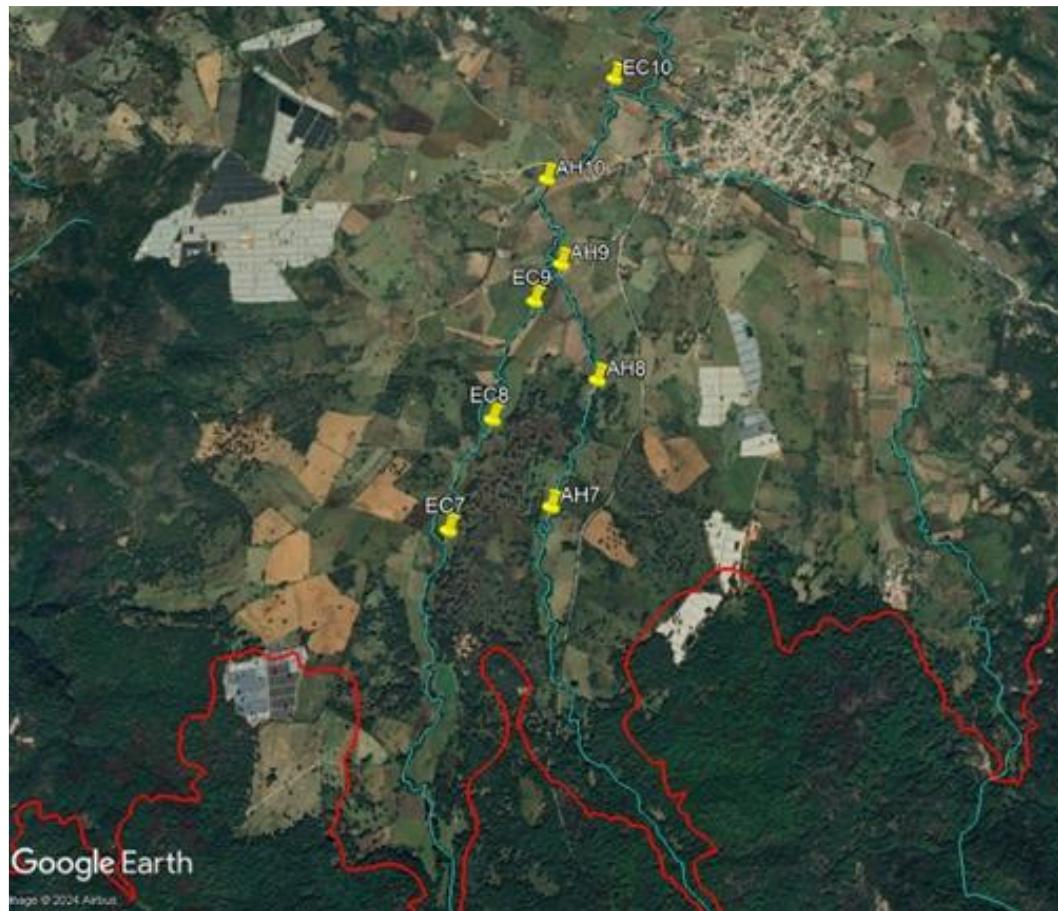
Las actividades demostrativas en campo incluyeron la observación de aves en zonas aledañas a los arroyos, utilizando binoculares y guías de identificación de especies tanto impresas como digitales (Figura 14). Posterior a esto, la demostración de la técnica para la evaluación de las condiciones de la vegetación y finalmente la instalación de cámara de fototrampeo para el registro de mamíferos.

Para la realización de los muestreos se contó con el acompañamiento de las personas capacitadas, aunque esto dependió de sus ocupaciones, quienes acudieron en diferentes sesiones en campo y bajo previa calendarización.



**Figura 14:** Convocatoria y actividades desarrolladas en campo para el registro de la vegetación y de observación de aves por parte del grupo capacitado.

Se evaluaron cuatro sitios en el arroyo El Ahogado y cuatro más para El Capulín durante los meses de febrero, abril, junio y agosto de 2024 (Figura 15). Todos los sitios abarcaron un área de 50 m de largo y un promedio de 16.4 m de ancho. Se realizaron cuatro salidas de campo en las cuales se tomó el registro de las especies de plantas, la fauna observada (principalmente aves) y las condiciones ambientales de los arroyos.



**Figura 15:** Localización de los sitios de muestreo en los arroyos El Ahogado - El Capulín. Línea roja indica el límite del ANPSQ (Imagen de Google Inc. (2024)).

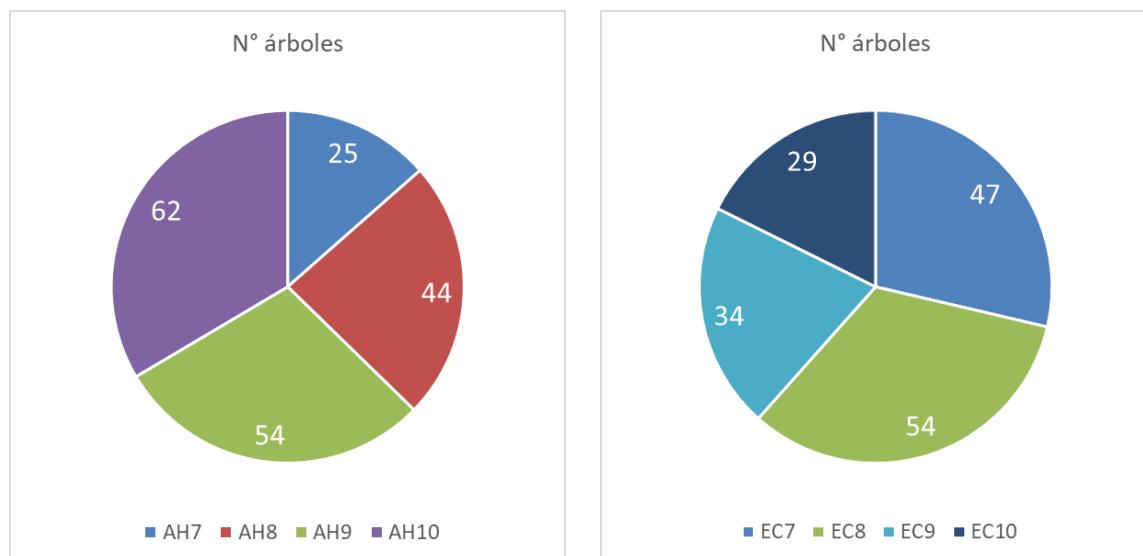
En total se contabilizaron 93 especies de plantas de las cuales 11 especies fueron árboles, 13 arbustos y 69 herbáceas y trepadoras. Las especies de árboles fueron de mayor a menor abundancia (Tabla 21): el aile (*Alnus acuminata*), capulincillo (*Prunus rhamnoides*), capulín (*Prunus serotina* var. *capuli*), sauz o sauce (*Salix bonplandiana*), tejocote (*Crataegus pubescens*), aceitunillo (*Cornus excelsa*), roble (*Quercus castanea*), roble (*Quercus resinosa*), jaboncillo (*Clethra hartwegii*), tepozán blanco (*Buddleja cordata*), abrojo (*Xylosma velutina*).

La riqueza de especies de árboles varió de 3 a 8 especies por sitio (Tabla 21), siendo AH8 el sitio con mayor riqueza, mientras que los sitios AH7 y EC10 tuvieron la menor variedad de especies. La abundancia de árboles también es un factor fundamental para mantener la capacidad de un hábitat ribereño.

**Tabla 21.** Riqueza y abundancia de especies de árboles en los sitios de estudio.

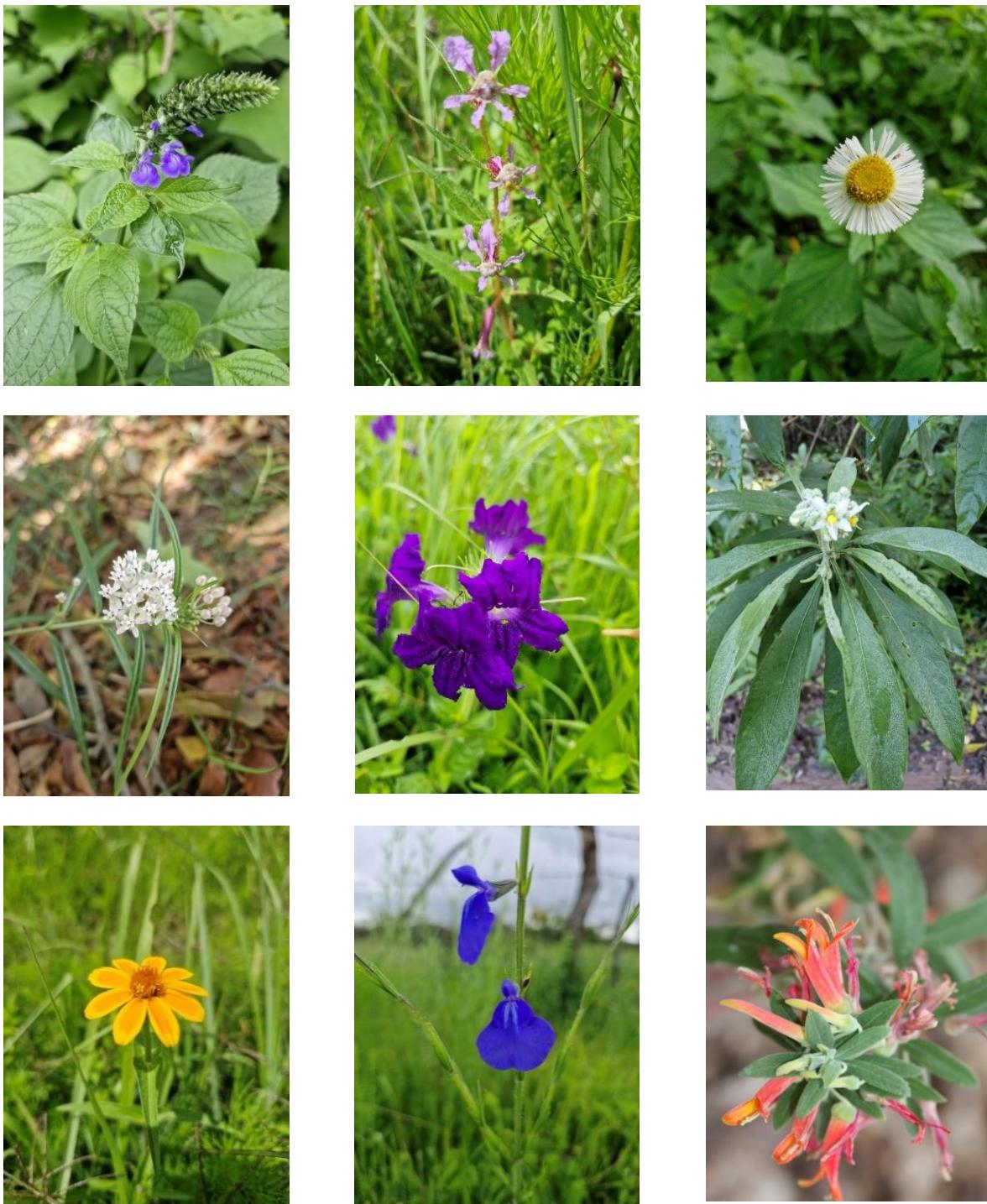
Nombre común	Nombre científico	AH7	AH8	AH9	AH10	EC7	EC8	EC9	EC10
Aile	<i>Alnus acuminata</i>	11	16	9	35	19	17	12	11
Capulincillo	<i>Prunus rhamnoides</i>	10	15	33	10	13	10	6	9
Capulín	<i>Prunus serotina</i>	1	10	11	3		3	2	
Sauz o sauce	<i>Salix bonplandiana</i>	3	1	1	5	4	8	2	9
Roble	<i>Quercus castanea</i>			1		1			
Roble	<i>Quercus laeta</i>			1					
Tejocote	<i>Crataegus pubescens</i>					1		15	
Jaboncillo	<i>Clethra hartwegii</i>			1					
Aceitunillo	<i>Cornus excelsa</i>						11	1	11
Abrojo	<i>Xylosma velutina</i>			1					
Tepozán blanco	<i>Buddleja cordata</i>							1	

El número de árboles por sitio en superficies de 500 m<sup>2</sup> varió de 25 a 62 individuos en el arroyo El Ahogado y de entre 29 a 54 individuos en El Capulín (Figura 16).



**Figura 16:** Número de árboles por sitio de muestreo. A la izquierda sitios del arroyo El Ahogado y a la derecha sitios del arroyo El Capulín.

Por su parte la flora como hierbas y arbustos es fundamental para la conservación de la biodiversidad. Por ejemplo, la polinización de la mayoría de las plantas con flores ocurre gracias a la intervención de animales, entre los que sobresalen insectos (abejas, abejorros, avispas, escarabajos, moscas, mosquitos, hormigas, polillas y mariposas), algunas aves y mamíferos como murciélagos, tlacuaches y ratones (Figura 17).



**Figura 17:** Galería de plantas con flores importantes para polinizadores.

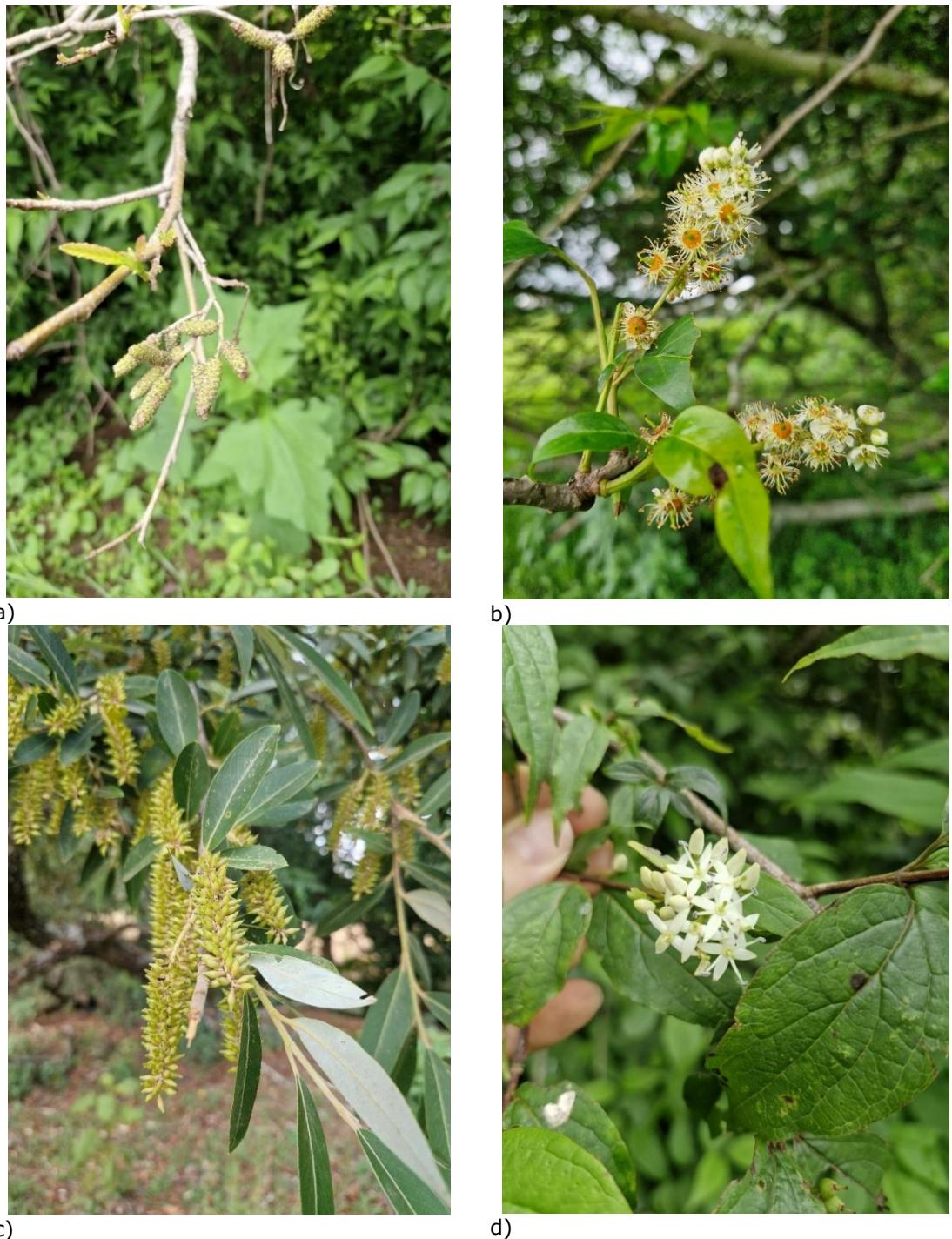
En lo referente a la fauna silvestre, en los dos arroyos se registraron 68 especies de aves (Anexo 1) durante el periodo de estudio, lo que representa el 46% de las especies presentes en el área protegida Sierra de Quila. Se tuvieron avistamientos directos, por huellas y excretas de cuatro especies de mamíferos:

tuza de Jalisco (*Pappogeomys bulleri*), zorra gris (*Urocyon argenteus*) (Figura 18), ardilla vientre rojo (*Sciurus aureogaster*) y cacomixtle (*Bassariscus astutus*). En el grupo de los reptiles se observaron cinco especies: abaniquillo (*Anolis nebulosus*), lagartija de cola azul (*Plestiodon dugesii*), lagartija escamosa (*Sceloporus bulleri*), lagartija roño (*Sceloporus asper*), culebra parda mexicana (*Storeria storerioides*); y tres de anfibios: ranita de las rocas (*Dryophytes arenicolor*), ranita de pastizal (*Dryophytes eximius*), rana ladradora (*Craugastor occidentalis*).



**Figura 18:** Fauna silvestre. a) Cría de tuza (*Pappogeomys bulleri*), b) Madriguera de mamífero, c) La función dispersora de semillas y su germinación. Las excretas son de zorra gris, d) Azulejo garganta canela (*Sialia sialis*) como consumidor de insectos.

En los arroyos de Quila El Grande predominan especies arbóreas representativas, tales como el Aile (*Alnus acuminata*), el Capulincillo (*Prunus rhamnoides*), el Sauz (*Salix bonplandiana*) y el Aceitunillo (*Cornus excelsa*) (Figura 19).

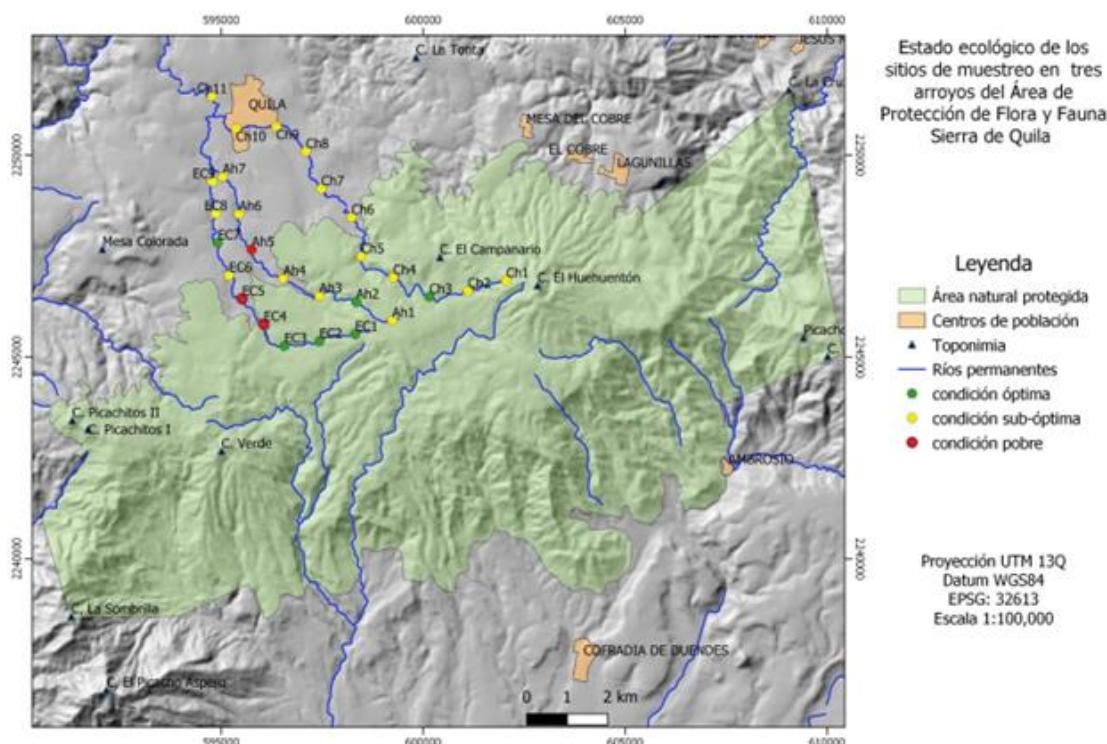


**Figura 19:** Árboles característicos de los arroyos. a) Aile (*Alnus acuminata*), b) Capulincillo (*Prunus rhamnoides*), c) Sauz (*Salix bonplandiana*), d) Aceitunillo (*Cornus excelsa*).

#### 4.2.3 Evaluación de la condición ecológica 2015-2025

La primera evaluación de los tres arroyos estudiados se realizó durante el periodo entre octubre y noviembre del año 2015. Del total de los sitios, 11 están ubicados dentro del área protegida y de éstos solo cinco mostraron la condición óptima o mejor estado ecológico; en contraste de los 16 sitios ubicados fuera del área protegida, tres obtuvieron las menores puntuaciones quedando como marginales, 12 en condición subóptima y uno en condición óptima. Ver detalle gráfico en el mapa de la Figura 20.

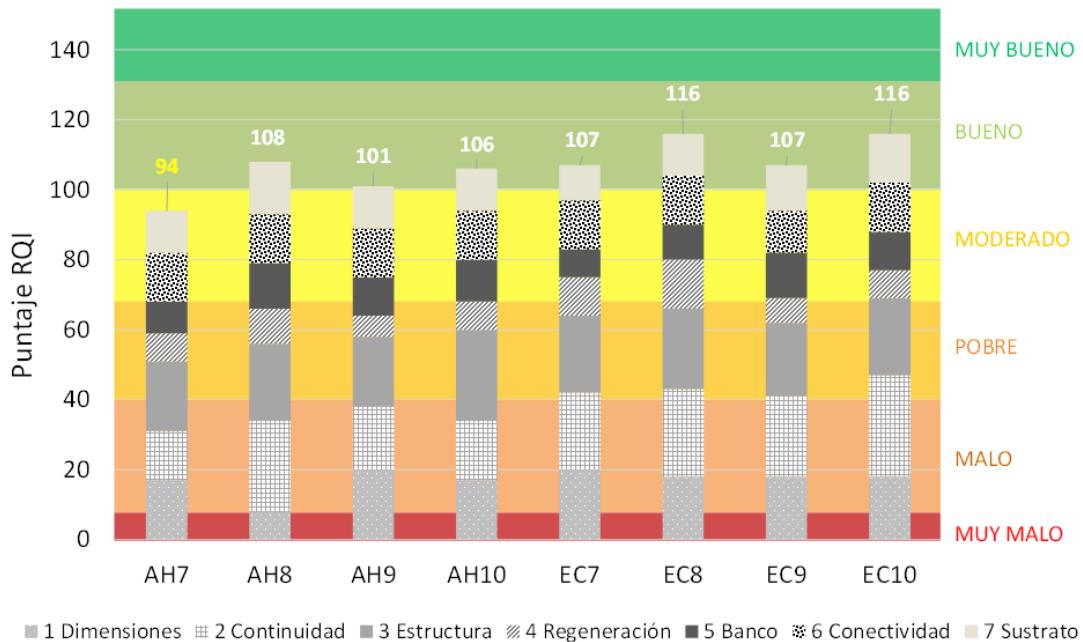
El río Chiquito obtuvo la mayor puntuación con el mejor estado ecológico, seguido del arroyo El Capulín, el arroyo El Ahogado obtuvo la menor puntuación. Los tres sitios con la menor calidad ecológica se localizan fuera del área natural protegida, uno en El Ahogado y dos sitios en El Capulín. Una excepción fueron dos sitios ubicados fuera del Área Natural Protegida y cercanos al núcleo de población de Quila El Grande que resultaron con buen estado ecológico.



**Figura 20:** Estado ecológico de los sitios de muestreo en los tres arroyos en el APFFSQ en el año 2015.

Las mediciones obtenidas en el año 2024 se muestran con las puntuaciones obtenidas mediante el índice de calidad de ribera (RQI) para los 8 sitios de muestreo, indican que ninguno de los tramos de los arroyos presenta un estado muy bueno (Figura 21). La mayoría de los sitios (6) se encuentran en un estado bueno (RQI: 100- 129), y solamente un sitio el AH7 tiene un estado moderado

(RQI: 70-99), aunque cabe destacar que el sitio AH9 (RQI:101) está en el límite de valoración entre el estado bueno y moderado. No hubo valoraciones de un estado pobre (RQI: 40-69), malo (RQI: 10-39) o muy malo (RQI: < 10). Un resumen del puntaje de los sitios de muestreo mediante el índice de calidad de ribera (RQI) se muestra en las Tablas 22 y 23.



**Figura 21:** Estado ecológico de los sitios de muestreo de acuerdo con el puntaje de valoración del índice de calidad de ribera (RQI).



**Figura 22:** Diecisiete ailes (*Alnus acuminata*) muertos en pie en el sitio AH10, posiblemente afectados por bajos niveles de agua derivados de sequía.



**Figura 23:** Daño al arbolado en arroyo El Ahogado (sitio AH9), en el 21 de abril de 2024 su condición era buena, con esta afectación posterior perjudicaron la calidad del sitio (fecha: 26 de marzo de 2025).

La primera evaluación de los tres arroyos estudiados se realizó durante el periodo entre octubre y noviembre del año 2015. Del total de los sitios, 11 están ubicados dentro del área protegida y de éstos solo cinco mostraron la condición óptima o mejor estado ecológico; en contraste de los 16 sitios ubicados fuera del área protegida, tres obtuvieron las menores puntuaciones quedando como marginales, 12 en condición subóptima y uno en condición óptima (ver Figura 20). Un caudal será sano cuando el bosque ribereño sea continuo a lo largo del arroyo, tenga una buena relación del ancho cauce-ribera, tenga árboles grandes y de distintas clases, tenga renuevos y árboles jóvenes, así como diversidad de especies; cuando mantengan las plantas propias del bosque ribereño y se eviten las plantas invasoras, no tenga alteraciones en el curso del río ni en sus laderas y, los impactos por las actividades humanas sean pocos.



**Figura 24:** Importancia de la cobertura de la vegetación para la protección del suelo y la calidad del agua.

**Tabla 22.** Resumen de aspectos evaluados y puntaje de los sitios del arroyo El Ahogado mediante el índice de calidad de ribera.

		Fecha	AH7	AH8	AH9	AH10
			15/06/2024	15/06/2024	21/04/2024	20/04/2024
		Puntaje total	92 - Moderado	108 - Bueno	101 - Bueno	106 - Bueno
I	Anchura del corredor ripario y restricciones	Ancho del corredor ripario (m)	6.41	18.6	7.68	8.43
		Uso de suelo	Potrero	Potrero	Agropecuario	Agrícola
		Puntaje	8.5	4	10	8.5
II	Continuidad, cobertura y distribución de la vegetación	Cobertura dosel (%)	45	81.2	100	76.6
		Cobertura suelo (%)	32.5	32.5	10	19.16
		Puntaje	6.5	13	9	8.5
III	Composición y estructura de la vegetación	Puntaje	10	11	10	13
		Presencia de regeneración de áboles	<i>Prunus</i>	<i>Fraxinus, Prunus</i>	<i>Alnus</i>	<i>Alnus, Prunus</i>
		Presencia de árboles muertos	<i>Salix</i>	<i>Salix</i>	<i>Alnus</i>	17 <i>Alnus</i>
IV	Diversidad de edades y regeneración natural de especies leñosas	Impedimento de regeneración	Ganado	Ganado	Pastoreo	Pastoreo
		Puntaje	8	10	6	8
		Restos de madera muerta y vegetación	Abundante	Ausente	Abundante	Abundante
V	Condiciones de las orillas	Estabilidad del banco	Inestable	Inestable localmente	Estable	Estable
		Porción afectada por acción hidráulica (%)	<10	10	<10	n/a
		Porción afectada por erosión (%)	<10	10 - 25%	0	n/a
VI	Conectividad transversal del cauce con sus riberas	Puntaje	9	13	11	12
		Flujo	Natural	Natural	Regulado ligeramente	Regulado ligeramente
		Propósito de regulación	No aparente	No aparente	Riego	Riego, suministro de agua
VII	Calidad del substrato y conectividad vertical	Madera muerta transportada por inundación	Ocasional, no por inundación	Ocasional	Abundante	Abundante
		Zona con madera muerta	Bancos	Zona proximal	Zona proximal	Zona proximal
		Puntaje	14	14	14	14
VII	Calidad del substrato y conectividad vertical	Cobertura del suelo predominante	Hojarasca	hojarasca	Hojarasca	Hojarasca
		Cobertura detritos de vegetación (%)	80	100	80	100
		Suelo desnudo (%)	0	0	0	20
		Intensidad de pastoreo	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
		Comunidad de herbáceas	Natural	Natural	0	Natural, ruderales
		Puntaje	12	15	12	12

**Tabla 23.** Resumen de aspectos evaluados y puntaje de los sitios del arroyo El Capulín mediante el índice de calidad de ribera.

		Fecha	EC7	EC8	EC9	EC10
			16/06/2024	16/06/2024	24/08/2024	24/08/2024
		Puntaje total	107 - Bueno	116- Bueno	107 - Bueno	116 - Bueno
I	Anchura del corredor ripario y restricciones	Ancho del corredor ripario (m)	6.69	7.42	11.17	9.17
		Uso de suelo	Pecuario	Pecuario	potrero - agrícola	agrícola - potrero
II	Continuidad, cobertura y distribución de la vegetación	Cobertura dosel (%)	72	90.83	65	53.33
		Cobertura suelo (%)	44.16	61.66	95	85.83
		Puntaje	11	12.5	11.5	14
III	Composición y estructura de la vegetación	Puntaje	11	11.5	10.5	12
IV	Diversidad de edades y regeneración natural de especies leñosas	Presencia de regeneración de árboles	<i>Prunus, Cornus</i>	<i>Salix, Prunus, Cornus, Xylosma</i>	<i>Alnus</i>	<i>Prunus</i>
		Presencia de árboles muertos	<i>Alnus, Cornus, Salix</i>	<i>Salix, Xylosma</i>	<i>Cornus</i>	<i>Alnus</i>
		Impedimento de regeneración	Pastoreo	Erosión, pastoreo		
V	Condiciones de las orillas	Puntaje	11	14	7	8
		Restos de madera muerta y vegetación	Abundante	Abundante	Presente	Abundante
		Estabilidad del banco	Inestabilidad local		Inestabilidad local	Erosión
		Porción afectada por hidráulica (%)	50	90		<10
VI	Conectividad transversal del cauce con sus riberas	Porción afectada por erosión (%)	50			
		Puntaje	8	10	13	11
		Flujo	Natural	Natural	Regulado	Natural
		Propósito de regulación	No aparente	No aparente	No aparente	No aparente
VII	Calidad del substrato y conectividad vertical	Madera muerta transp. por inundación	Abundantes (no por inundación)	Abundante (no por inundación)	Ocasional	Ocasional Banco
		Zona con madera muerta	Proximal			
		Puntaje	14	14	12	14
		Cobertura del suelo predominante	Hojarasca	Hojarasca		Hojarasca / hierba
		Cobertura detritos de vegetación (%)	0	57.5 31.66		48
		Suelo desnudo (%)			Ninguno Oportunistas dom/nat	
		Intensidad de pastoreo	Moderado	Moderado		NS
		Comunidad de herbáceas	natural 10	oportunistas 12	13	Natural/oportunistas 14

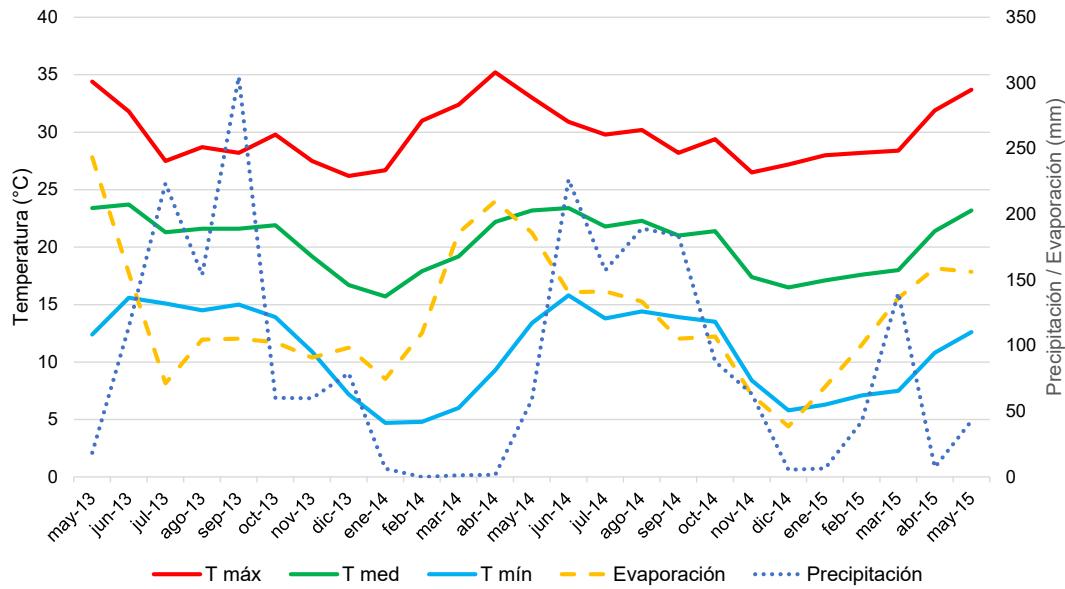


**Figura 25:** Actividades prácticas del Curso-Taller BIOCOMUNI (2024).

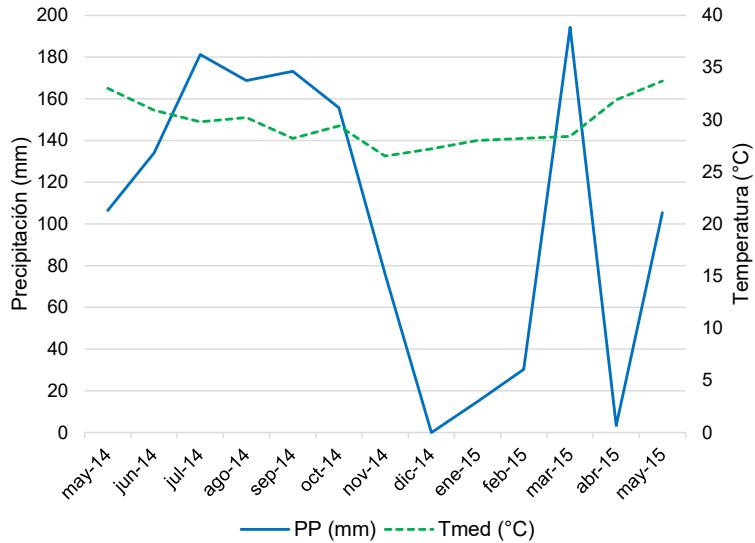
#### **4.3 Antecedente climático y medición de caudales naturales**

El régimen de lluvias determina en gran medida el volumen y estacionalidad de los ríos; la mayor parte de la precipitación en México se concentra entre junio y septiembre, en el contexto del clima monzónico y tropical. La Figura 26 muestra la precipitación, evaporación y las temperaturas máximas, promedio y mínimas anuales registradas durante el periodo de mayo 2013 a mayo de 2015 registradas en la estación meteorológica 14143 en Tecolotlán, Jalisco. En 2013 el panorama climático general en México se presenta con el fenómeno ENSO (no hubo ni el Niño ni la Niña), lo que provocó más variabilidad e inestabilidad climática dependiendo de la región; se presentaron lluvias por debajo del promedio; sin embargo, en septiembre dos ciclones impactan casi de manera simultánea (huracanes Ingrid y Manuel en el Golfo de México y Pacífico respectivamente) lo que generó lluvias excepcionalmente altas sobre todo en la región Sierra Occidental. De diciembre 2013 a febrero 2014 se presentó un invierno frío y seco con heladas frecuentes. De mayo de 2013 a abril de 2014 la precipitación pluvial acumuló 1,124.05 mm.

En 2014 de mayo a junio transcurre un periodo seco y caluroso; el periodo de lluvias (julio a septiembre) es irregular y por debajo del promedio histórico. En octubre y noviembre inicia El Niño débil y se presentan lluvias fuera de temporal. Cabe resaltar que el mes de marzo de 2015 precipitó de manera inusual, no solo para Tecolotlán, sino en toda la región occidental, por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) calificó al mes de marzo como un mes histórico; lo anterior se debió a la presencia de los frentes fríos 40 y 41, mismos que generaron las tormentas invernales 8 y 9, con fuerte influencia de humedad desde el océano pacífico. Por lo que durante los días 15 y 16 de marzo se levantó una declaratoria emergente en 15 municipios de Jalisco, incluyendo comunidades alrededor de Tecolotlán. El fenómeno fue tan severo que también se calificó como el mes más lluvioso en 74 años (Figura 27), lo que generó daños importantes en la región. De mayo de 2014 a abril de 2015 la precipitación pluvial acumuló 1,238.1 mm en la estación meteorológica de Tecolotlán.



**Figura 26:** Temperatura máxima, media, mínima; evaporación y precipitación promedio anual durante el periodo mayo de 2013 a mayo 2015 (CONAGUA, 2019 – Servicio Meteorológico Nacional – Estación Tecolotlán 14143).



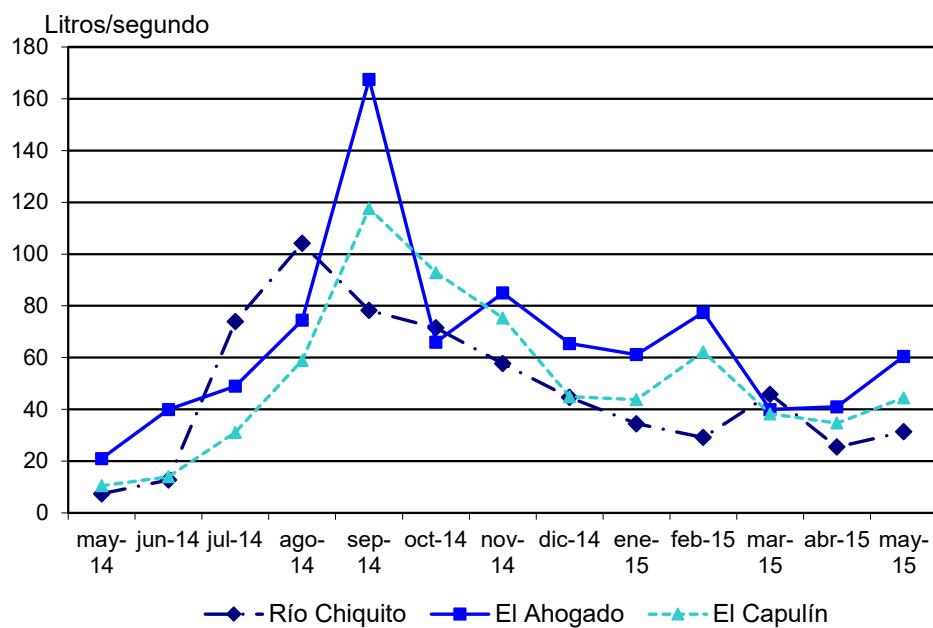
**Figura 27:** Registro de la temperatura y precipitación promedio anual durante el periodo de medición de caudales y depósitos 2014 – 2015; destaca el repunte del mes de marzo debido a frentes fríos y tormentas invernales (CONAGUA, 2019).

La suma del caudal de las dos microcuencas arrojó durante el período 2014-2015 un flujo total de 2,133 l/s; el flujo promedio mensual más alto se registró durante septiembre de 2014 con 167.5 l/s (Arroyo El Ahogado); por el contrario, el escurrimiento más bajo se presentó en febrero de 2015 con 20.9 l/s. Una vez iniciado el temporal de lluvia (junio de 2014), la microcuenca de los arroyos El Ahogado – El Capulín aportó hasta el mes de mayo de 2015 más del 70% del caudal. Las dos microcuencas que abastecen de agua al poblado

de Quila El Grande son: la MRCh que aportó, solo durante el período de lluvias (junio – septiembre), un promedio de 67.3 l/s; mientras que la MAAyC, el arroyo El Ahogado y El Capulín promediaron 82.7 y 55.4 l/s respectivamente.

La Figura 28 muestra la variación mensual del gasto de agua por el período de evaluación (mayo 2014 a mayo 2015); se observa cómo varían los caudales de las tres corrientes de agua —Río Chiquito, El Ahogado y El Capulín— a lo largo de un año hidrológico. En general, los tres sitios muestran caudales bajos durante la temporada seca, de mayo a junio, con un incremento gradual que alcanza su máximo en septiembre, coincidiendo con los meses de mayores lluvias. Por ejemplo, El Ahogado registra el caudal más alto de todos con aproximadamente 165 litros por segundo en septiembre de 2014, mientras que El Capulín llega a 120 litros por segundo y Río Chiquito alcanza cerca de 105 litros por segundo en ese mismo mes. Después de septiembre, los caudales disminuyen de forma paulatina y se mantienen relativamente estables entre 30 y 80 litros por segundo en la temporada seca. Este comportamiento evidencia la influencia de la precipitación en la recarga de estas corrientes.

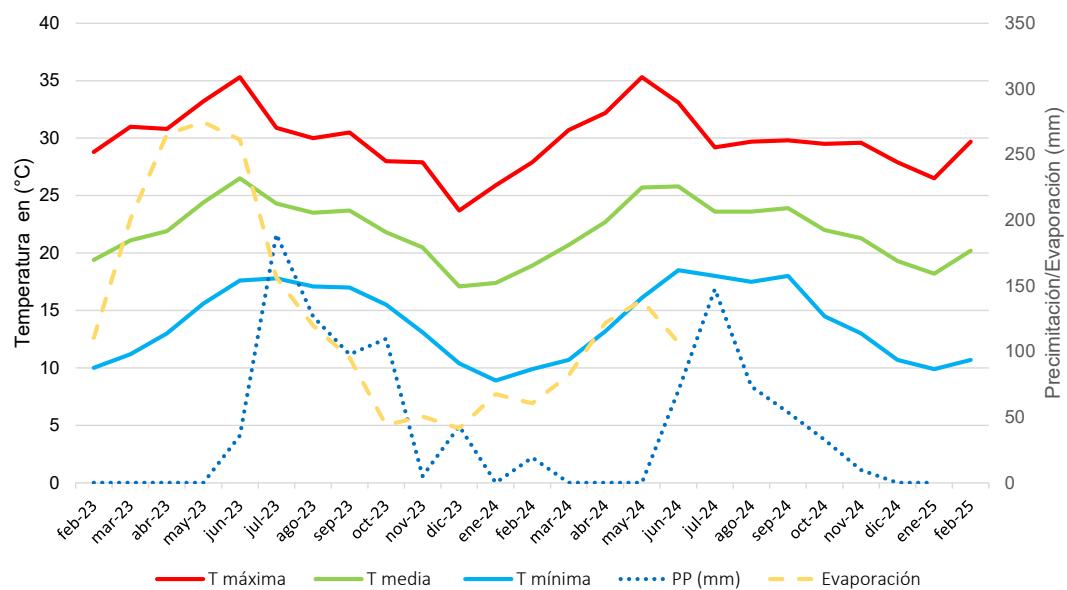
Por lo anterior, resalta la necesidad de proteger las zonas de captación y la vegetación ribereña, ya que ayudan a mantener un flujo constante de agua durante el año. Además, la comparación muestra que El Ahogado tiene un aporte base más alto, lo que podría indicar una mayor capacidad de retención o recarga subterránea.



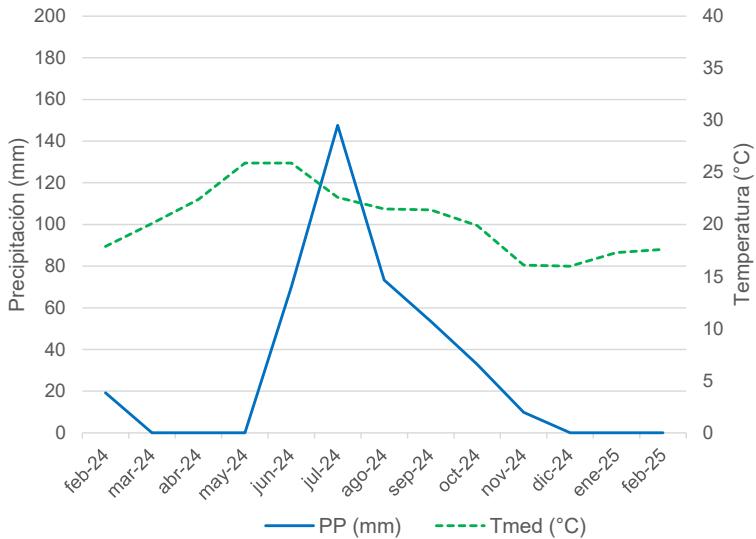
**Figura 28:** Variación mensual del volumen de agua del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín durante el período mayo 2014 a mayo 2015.

De manera general, entre febrero de 2023 y febrero de 2024, en México y en particular Jalisco experimentaron un período climático marcado por la transición de una prolongada sequía hacia un evento de El Niño fuerte (Figura 29), lo cual

impactó de manera significativa las lluvias, las temperaturas y la disponibilidad de agua en varias regiones del país. El clima en Jalisco durante febrero a mayo de 2023 presentó un clima seco y caluroso con condiciones de sequía moderada a severa, es decir, la temporada seca se prolongó. La temporada de lluvias fue irregular y más corta. Los meses de julio y agosto fueron particularmente secos (30-50% por debajo del promedio). Entre octubre y diciembre de 2023 se intensificó El Niño moderado a fuerte lo que ocasionó una menor frecuencia de huracanes, tener un otoño seco y cálido y agudizar la sequía en arroyos, embalses, pozos, manantiales, otros. El invierno 2023-2024 fue más cálido de lo habitual, hubo una menor cantidad de frentes fríos y persistió el estrés hídrico (Figura 30).



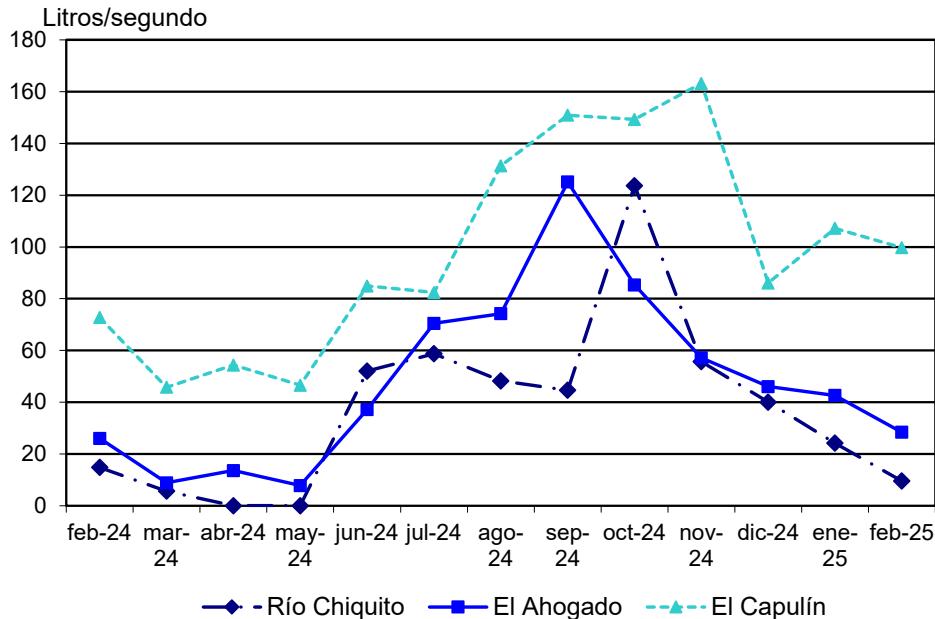
**Figura 29:** Temperatura máxima, media, mínima; evaporación y precipitación promedio anual durante el periodo febrero de 2023 a febrero de 2025 (CONAGUA, 2019 – Servicio Meteorológico Nacional – Estación Tecolotlán 14143).



**Figura 30:** Registro de la temperatura y precipitación promedio anual durante el periodo de medición de caudales y depósitos 2024 - 2025 (CONAGUA, 2019).

La suma del caudal de las dos microcuencas arrojó durante el período 2024-2025 un flujo total de 2,375 l/s; el flujo promedio mensual más alto se registró durante noviembre de 2024 con 149.7 l/s (Arroyo El Capulín); por el contrario, el escurrimiento más bajo se presentó en marzo de 2024 con 45.8 l/s. Una vez iniciado el temporal de lluvia (junio de 2024), la microcuenca de los arroyos El Ahogado – El Capulín aportó hasta el mes de febrero de 2025 el 78% del caudal. Las dos microcuencas que abastecen de agua al poblado de Quila El Grande son: la MRCh que aportó, solo durante el período de lluvias (junio – septiembre), un promedio de 50.9 l/s; mientras que la MAAyC, el arroyo El Ahogado y El Capulín promediaron 98.1 y 149.7 l/s respectivamente.

La Figura 31 muestra la variación mensual del gasto de agua (l/s) por el período de evaluación (febrero 2024 a febrero 2025). Se observa que los tres caudales tienen un comportamiento muy influenciado por la temporada de lluvias. Durante los meses secos, que van de febrero a mayo, los caudales son relativamente bajos, especialmente en Río Chiquito, que incluso llega a registrar valores de cero. A partir de junio, cuando inicia la temporada de lluvias, se nota un aumento considerable en los caudales, alcanzando su punto máximo entre septiembre y noviembre. Por ejemplo, El Capulín, que es la corriente con mayor caudal durante todo el año, pasa de 70 litros por segundo en febrero a más de 160 litros por segundo en noviembre. El Ahogado también presenta un incremento notable, llegando a un máximo de 125 litros por segundo en septiembre. Río Chiquito, aunque muestra caudales más bajos en comparación, experimenta un pico importante en octubre. Este comportamiento refleja la dependencia de estas corrientes del régimen de lluvias, lo que destaca la importancia de conservar las zonas de recarga y proteger la cobertura vegetal que permite mantener un flujo constante de agua durante todo el año.



**Figura 31:** Variación mensual del volumen de agua del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín durante el periodo febrero de 2024 a febrero de 2025.

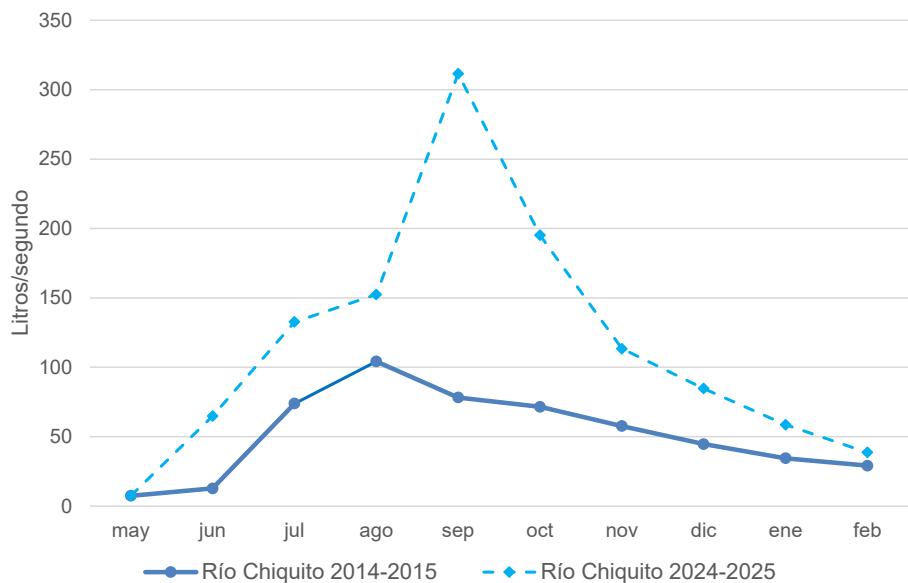
La Tabla 24 muestra por cada corriente los caudales máximos durante todo el periodo de medición 2014-2015 y 2024-2025. El río Chiquito presenta una mayor variabilidad intermensual y tiene una mayor dependencia de eventos de lluvia intensa aislados. El Ahogado presenta un cambio relevante, ya que ha reducido pese a mantenerse estable en forma. Lo anterior podría deberse a una reducción en infiltración, pérdida de vegetación o extracción excesiva aguas arriba. El Capulín presenta un aumento sostenido; podría deberse una mejor conservación de su cuenca, aumento de infiltración o cambio en uso de suelo favorable.

**Tabla 24.** Caudal máximo por tipo de corriente e interpretación.

Corriente	Caudal máximo 2014-15	Caudal máximo 2024-25	Tendencia general
Río Chiquito	~105 L/s (ago-14)	~125 L/s (oct-24)	Aumento en pico, pero más variabilidad
El Ahogado	~165 L/s (sep-14)	~125 L/s (sep-24)	Disminución notable del caudal máximo
El Capulín	~120 L/s (sep-14)	~165 L/s (nov-24)	Aumento sostenido, mayor estabilidad

Las Figuras 32, 34 y 36 muestran los caudales de las tres corrientes únicamente comparando los meses en que en ambos periodos de muestreo coincidieron; para el caso del Río Chiquito, el valor promedio del caudal durante 2014 fue de 51.4 l/s, en 2024 fue de 64.5 l/s. Utilizando una prueba estadística comparativa de valores promedio (prueba *t* de Student) y a pesar de observarse algunas

diferencias en el caudal entre los dos períodos (Figura 32), el análisis indicó que en promedio medio del caudal no es significante para un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0.05$ ). Esto es qué, desde el punto de vista estadístico, no se puede afirmar que los caudales hayan aumentado o disminuido significativamente en su promedio entre ambas fechas.



**Figura 32:** Comparación del volumen medio mensual en el río El Chiquito entre los períodos mayo 2014 -2015 y mayo 2024 -2025.

Cada gráfico incluye datos correspondientes a los dos períodos de medición, 2014–2015 y 2024–2025, lo que permite observar las variaciones y la tendencia general del caudal a lo largo de diez años. Estas imágenes complementan los análisis estadísticos realizados y sirven como evidencia gráfica para respaldar las conclusiones sobre la estabilidad, disminución o aumento de los promedios en cada caso. La Figura 33 muestran de forma comparativa el registro del caudal para el Río Chiquito.

El Anexo 2 contiene la memoria fotográfica de cada registro realizado en los arroyos El Chiquito, El Ahogado, El Capulín, La Junta (punto de unión de los arroyos El Ahogado-El Capulín) y el Río Grande, durante el periodo de febrero 2024 a marzo 2025.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



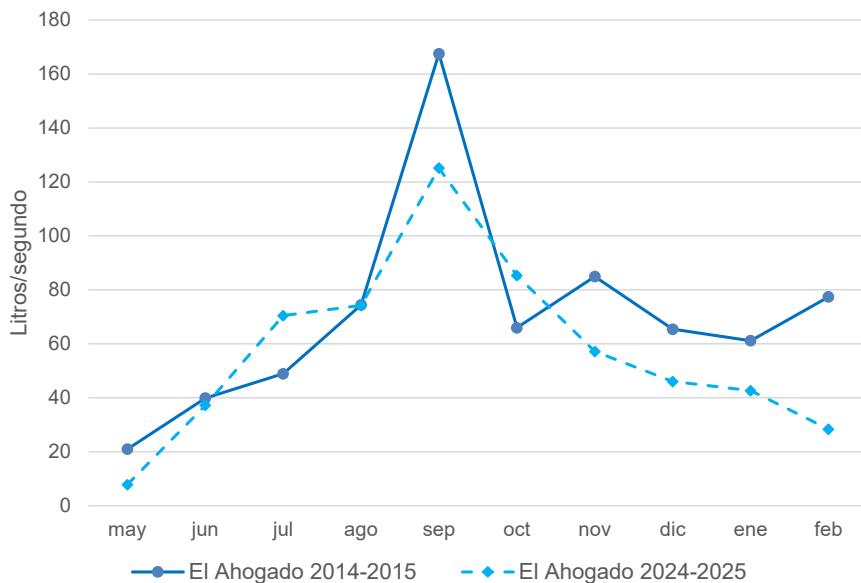
e) 2014



f) 2024

**Figura 33:** Medición de caudal 2014 -2015- y 2024 -2025 en el Río Chiquito.

Para el arroyo El Ahogado, los valores promedio del caudal fueron comparativamente durante los meses de coincidencia en el monitoreo, para el año 2014 de 70.7 l/s, en 2024 fue de 57.4 l/s. La comparación de los caudales promedio de El Ahogado entre 2014–2015 y 2024–2025 muestra que, aunque hay variaciones en algunos meses, en promedio no existe una diferencia estadísticamente significativa (Figura 34). Esto significa que el comportamiento general del río se ha mantenido relativamente estable durante estos diez años. El valor  $t$  calculado (0.82) está dentro del rango aceptable, por lo que no se rechaza la hipótesis de que los promedios sean iguales. Esto puede interpretarse como una señal de que, a pesar de posibles cambios en la zona, el caudal medio del río no presenta una tendencia clara de aumento ni de disminución.



**Figura 34:** Comparación del volumen medio mensual en el arroyo El Ahogado entre los períodos mayo 2014 -2015 y mayo 2024 -2025.

La Figura 35 muestra de forma comparativa la medición del caudal para el arroyo El Ahogado en los dos períodos de medición, 2014–2015 y 2024–2025, una evidencia que respalda las conclusiones sobre la estabilidad, disminución o aumento de los promedios.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



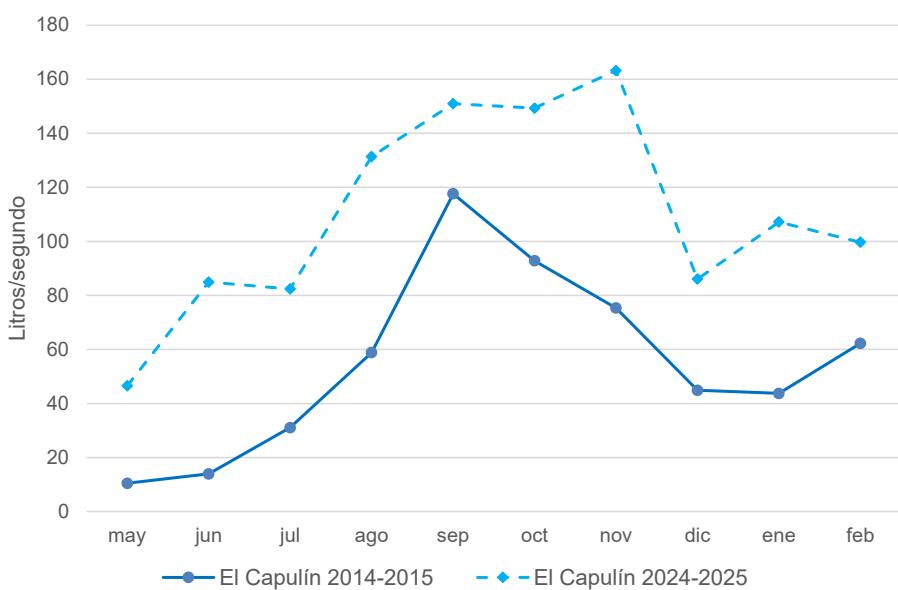
e) 2014



f) 2024

**Figura 35:** Medición de caudal 2014 -2015- y 2024 -2025 en el arroyo El Ahogado.

Para el arroyo El Capulín, los valores promedio del caudal, comparando solo los meses de coincidencia en ambos monitoreos, para el año 2014 de 55.1 l/s y en 2024 fue de 110.2 l/s (Figura 36). El análisis estadístico realizado para El Capulín muestra que, a diferencia de los otros arroyos, aquí sí existe una diferencia significativa entre los caudales promedio de 2014–2015 y 2024–2025. El promedio actual es considerablemente mayor, lo que se confirma con la prueba  $t$  de Student, donde el valor calculado supera el valor crítico establecido. Esto significa que, en estos diez años, el caudal promedio de El Capulín ha aumentado de forma clara y medible. Este incremento podría deberse a cambios en el uso de suelo, aumento de lluvias o alteraciones en la red de drenaje, lo que amerita un análisis más detallado.



**Figura 36:** Comparación del volumen medio mensual en el arroyo El Capulín entre los períodos mayo 2014 -2015 y mayo 2024 -2025.

La Figura 37 muestran de forma comparativa la medición del caudal para el arroyo El Capulín en los dos períodos del registro, 2014–2015 y 2024–2025, una evidencia que respalda las conclusiones sobre la estabilidad, disminución o aumento de los promedios.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



e) 2014



f) 2024

**Figura 37:** Medición de caudal 2014 -2015- y 2024 -2025 en el arroyo El Capulín.

#### **4.3.1 Posibles consecuencias de la disparidad entre caudales**

El caudal es el volumen de agua que fluye por una corriente en un tiempo determinado, generalmente expresado en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ). El caudal ecológico o ambiental se refiere al régimen de caudales necesario para mantener los procesos ecológicos esenciales de los ríos y sus ecosistemas asociados. Comparar ambos períodos indica que las cuencas han cambiado significativamente en su comportamiento hidrológico. El arroyo El Ahogado ha disminuido su caudal máximo (Figura 38), mientras que otros lo han incrementado (El Capulín), posiblemente por factores como cambio climático, alteraciones en la cobertura vegetal, o intervenciones humanas. A continuación, se enlistan posibles consecuencias de la disparidad entre caudales:

**Desequilibrio hidrológico regional:** El descenso en El Ahogado y el ascenso en El Capulín podrían reflejar una redistribución de escurrimientos por cambios en uso del suelo o infraestructura.

**Afectaciones ecológicas:** Los ecosistemas acuáticos adaptados a cierto régimen de caudales podrían verse afectados, especialmente en ríos que han perdido o disminuido su caudal base.

**Conflictos por uso de agua:** Comunidades, agricultura o industria que dependen de ríos como El Ahogado podrían enfrentar escasez o baja confiabilidad en el suministro.

**Mayor riesgo en eventos extremos:** El aumento repentino de caudales (como en Río Chiquito 2024) podría asociarse a lluvias más intensas y erosión, aumentando riesgo de inundaciones o pérdida de suelo.

**Problemas de gestión hídrica:** La disparidad obliga a revisar políticas de conservación, recarga hídrica y ordenamiento territorial en las microcuencas. Mayor presión sobre la corriente más estable (El Capulín) por usuarios que dependen de agua superficial.

**Impacto ecológico:** El río Chiquito podría perder continuidad de flujo, afectando hábitats acuáticos y ribereños.

**Disponibilidad desigual para comunidades:** La comunidad de Quila El Grande y zonas agrícolas que dependen de corrientes con caudales decrecientes enfrentarán escasez.

**Mayor riesgo de conflictos por agua:** Si se mantiene la desigualdad, habrá competencia entre usuarios aguas arriba y abajo.

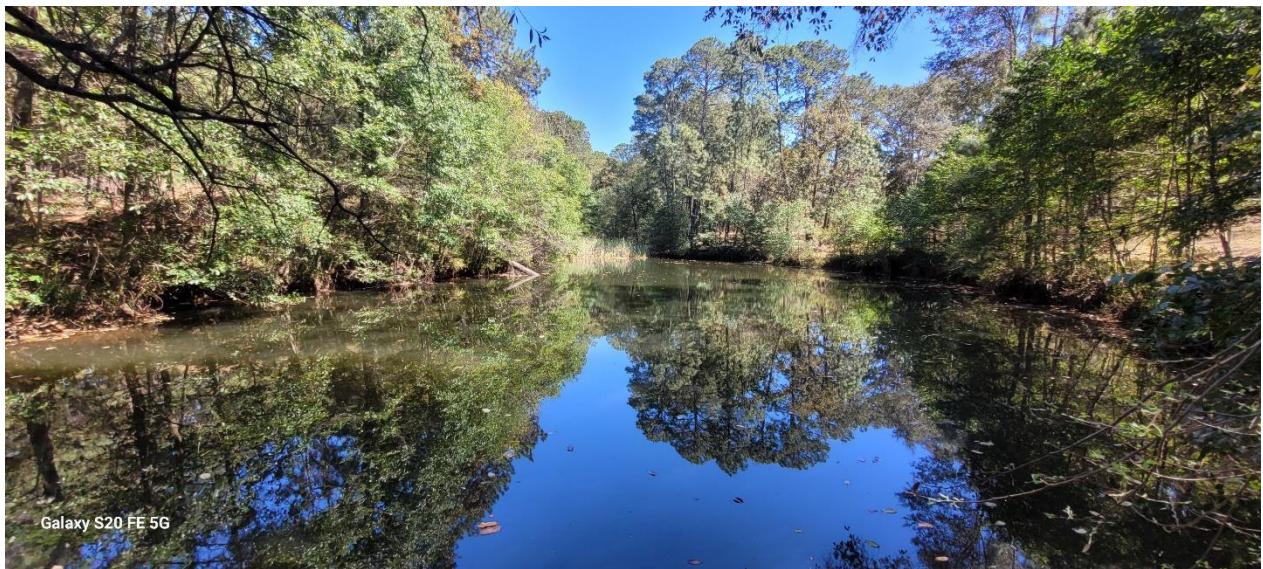
De manera general un **caudal sano** será un caudal ecológicamente funcional cuando reúna las siguientes características:

- Que mantenga un régimen hidrológico natural parcialmente conservado (variaciones estacionales, pulsos de crecida, y períodos de estiaje),
- Que su caudal base sea permanente, incluso en época seca, alimentado por manantiales o acuíferos,
- Que exista una buena calidad del agua (oxigenación, temperatura, nutrientes en equilibrio),

- Que exista una conectividad longitudinal y lateral: el río fluye sin grandes interrupciones (presas, cortes), permitiendo el transporte de sedimentos y migración de especies,
- Que su biodiversidad acuática y ribereña sea estable, con hábitats funcionales,
- Que tenga una capacidad de autodepuración natural (filtro ecológico de contaminantes),
- Que mantenga una sostenibilidad del recurso agua para usos humanos sin comprometer la integridad ecológica.

Mientras que las características de un **caudal insano** (desequilibrado o alterado) presentará:

- Alteraciones significativas del régimen natural: caudales artificialmente reducidos o excesivos, flujo intermitente por extracción o presas,
- Tendrá la ausencia de un caudal base durante estaciones secas; el cauce puede secarse por completo,
- Habría una contaminación hídrica (química, térmica o biológica), debido a descargas urbanas, industriales o agrícolas,
- Habría una fragmentación del sistema fluvial, impidiendo el flujo libre y la migración de especies,
- Habría una pérdida de hábitats y disminución drástica de la biodiversidad acuática,
- Habría una erosión del cauce y pérdida de capacidad de regulación natural del río,
- Sucederían conflictos sociales y escasez para consumo humano o producción.



Galaxy S20 FE 5G

24 de febrero de 2024



Galaxy S20 FE 5G

27 de abril de 2024

**Figura 38:** Represa El Ahogado, municipio de Tecolotlán.



**Figura 39:** Panorámica de la represa El Ahogado, municipio de Tecolotlán.



**Figura 40:** Panorámica de la represa El Plan, municipio de Tecolotlán.

## 4.4 Medición de agua en depósitos

Las represas El Ahogado y Sadoc ubicadas sobre el arroyo El Ahogado y, el Reservorio Olla y la Represa Caldero suministran agua al Deposito Principal La Capilla, la cual tiene una capacidad de almacenamiento de 67.9 m<sup>3</sup> (67,900 l); este depósito percibió un promedio anual durante 2014-2015 de 6.1 l/s y durante 2024-2025 de 3.5 l/s. El aforo disminuye significativamente en el último periodo con menor captación o mayor demanda (Tablas 25 y 26 y Figuras 41 y 42). El Depósito 2<sup>do</sup> La Capilla tiene una capacidad de almacenamiento de 20.7 m<sup>3</sup> (20,700 l) su suministro proviene únicamente del arroyo El Capulín a través del Reservorio Olla y la Represa Caldero. Durante el periodo 2014-2015 captó en promedio 0.8 l/s; tuvo una muy baja aportación (0.0 a 2.5 l/s) con crecimiento paulatino hacia el final del periodo, mientras que durante 2024-2025 la aportación fue de 0.2 l/s, teniendo una disminución drástica por varios meses con 0 l/s. Se puede considerar que este depósito se mantuvo inactivo la mayor parte del segundo periodo.

Durante el periodo 2014-2015, el Depósito 3<sup>ro</sup> El Veladero no se encontraba en función. Sin embargo, durante 2024-2025 el depósito con capacidad para 14.6 m<sup>3</sup> (14,600 l), capto un promedio anual de 0.6 l/s de agua de la Represa Plan del Río Chiquito; en general, mantiene una contribución constante en pequeña escala.

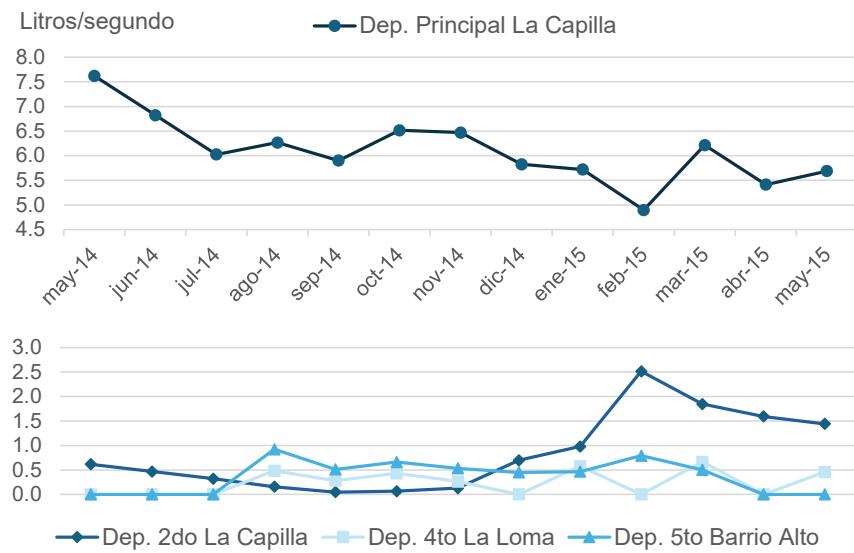
La represa El Capulín ubicada sobre el mismo arroyo suministra agua al Deposito 4<sup>to</sup> La Loma, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 22.4 m<sup>3</sup> (22,400 l); este depósito percibió un promedio anual durante 2014-2015 de 0.25 l/s y durante 2024-2025 de 0.53 l/s. mostrando más constancia que el periodo anterior. La misma represa El Capulín recarga al Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto (capacidad de almacenamiento de 26.9 m<sup>3</sup> o 26,900 l); durante 2014-2015 percibió 0.4 l/s promedio anual, mantuvo un flujo muy bajo pero constante (0.0 a 0.9 l/s); mientras que durante 2024-2025 fue de 0.5 l/s. El flujo fue similar con ligeros aumentos, en general, mantuvo estabilidad, sin variaciones notables entre los dos periodos.

**Tabla 25.** Aforo de agua (litros por segundo) en depósitos por el periodo 2014 - 2015.

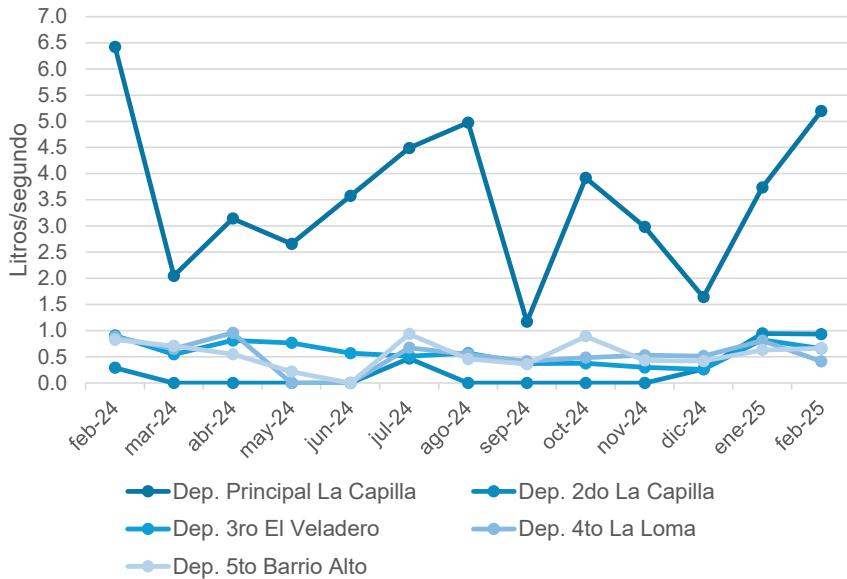
Mes/año	Dep. Principal La Capilla	Dep. 2 <sup>do</sup> La Capilla	Dep. 4 <sup>to</sup> La Loma	Dep. 5 <sup>to</sup> Barrio Alto
may-14	7.6	0.6	0.0	0.0
jun-14	6.8	0.5	0.0	0.0
jul-14	6.0	0.3	0.0	0.0
ago-14	6.3	0.2	0.5	0.9
sep-14	5.9	0.0	0.3	0.5
oct-14	6.5	0.1	0.4	0.7
nov-14	6.5	0.1	0.3	0.5
dic-14	5.8	0.7	0.0	0.5
ene-15	5.7	1.0	0.6	0.5
feb-15	4.9	2.5	0.0	0.8
mar-15	6.2	1.8	0.7	0.5
abr-15	5.4	1.6	0.0	0.0
may-15	5.7	1.4	0.5	0.0

**Tabla 26.** Aforo de agua (litros por segundo) en depósitos por el periodo 2024 - 2025.

Mes/año	Dep. Principal La Capilla	Dep. 2 <sup>do</sup> La Capilla	Dep. 3 <sup>ro</sup> El Veladero	Dep. 4 <sup>to</sup> La Loma	Dep. 5 <sup>to</sup> Barrio Alto
feb-24	6.4	0.3	0.9	0.9	0.8
mar-24	2.0	0.0	0.5	0.7	0.7
abr-24	3.1	0.0	0.8	1.0	0.6
may-24	2.7	0.0	0.8	0.0	0.2
iun-24	3.6	0.0	0.6	0.0	0.0
jul-24	4.5	0.5	0.5	0.7	0.9
ago-24	5.0	0.0	0.6	0.5	0.5
sep-24	1.2	0.0	0.4	0.4	0.4
oct-24	3.9	0.0	0.4	0.5	0.9
nov-24	3.0	0.0	0.3	0.5	0.4
dic-24	1.6	0.3	0.3	0.5	0.4
ene-25	3.7	0.9	0.8	0.8	0.6
feb-25	5.2	0.9	0.7	0.4	0.7



**Figura 41:** Registros obtenidos mediante aforos mensuales en depósitos durante el año 2014 - 2015.



**Figura 42:** Registros obtenidos mediante aforos mensuales en depósitos durante el año 2024 - 2025.

Las Figuras 43 a la 47 muestran imágenes de las actividades de medición o aforo de los depósitos durante ambos períodos (2014-2015 y 2024-2025). El Depósito Principal (La Capilla) tiene una estructura cercada con malla ciclónica y alambre de púas, lo cual proporciona una protección básica frente a accesos no autorizados. Sin embargo, tiene un notable crecimiento de vegetación alrededor del perímetro, lo que puede dificultar el acceso técnico, propiciar la proliferación de fauna nociva y favorecer el deterioro por humedad (Figura 43). Además, los elementos de operación como tapas, válvulas o señalética podrían limitar las labores de mantenimiento. Se recomienda realizar una limpieza periódica del entorno, reforzar el cercado en sus puntos débiles, incorporar señalización de seguridad y llevar a cabo una inspección técnica del depósito para evaluar su estado estructural y condición interna. Estas acciones permitirán preservar la funcionalidad del sistema, mejorar la seguridad y prolongar la vida útil del depósito. De manera general, al interior de los Depósitos Principal La Capilla, 3<sup>ro</sup> El Veladero, 4<sup>to</sup> La Loma y 5<sup>to</sup> Barrio Alto se muestra un sistema rústico vulnerable al deterioro por humedad, el estado de los componentes internos denota corrosión. La siempre presencia de agua turbia indica la necesidad de limpiezas regulares y un mejor control sanitario. Urgen realizar mantenimientos preventivos, impermeabilizar las superficies y renovar los elementos desgastados. El Depósito 2<sup>do</sup> La Capilla (Figura 44) y el Depósito 3<sup>ro</sup> El Veladero (Figura 45) presentan un estado de deterioro visible, con paredes desgastadas y sin protección sanitaria ni estructural; se expone al ambiente y carece de un techo, lo que representa un riesgo tanto para la calidad del agua como para la seguridad de las personas. Para mantener su funcionalidad y sanidad, se requiere de una intervención integral que incluya la instalación de una cubierta, limpieza profunda, impermeabilización, rehabilitación de bordes, instalación de un cerco protector y medidas de seguridad visibles. El Anexo 2 contiene la memoria fotográfica de cada registro.

realizado en los cinco depósitos, durante el periodo de febrero 2024 a marzo 2025.



**Figura 43:** Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito Principal La Capilla proveniente de los arroyos El Ahogado y El Capulín durante 2014 - 2015 y 2024 - 2025.



**Figura 44:** Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 2<sup>do</sup> La Capilla proveniente del arroyo El Capulín durante 2014 - 2015 y 2024 -2025.



**Figura 45:** Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 3<sup>ro</sup> El Veladero proveniente del río Chiquito y del Deposito principal La Capilla durante 2024 -2025.

El Depósito 4<sup>to</sup> La Loma (Figura 46), denota un depósito antiguo, construido en ladrillo sin recubrimiento; la estructura se encuentra deteriorada: presenta vegetación crecida en su parte superior, grietas en las paredes (perdida de agua por fuga), y está rodeada por un cerco rústico de postes de madera, lo que evidencia la ausencia de medidas de resguardo o seguridad. Se recomienda evaluar si este depósito conserva su funcionalidad hidráulica. Si aún se desea recuperar, se requiere una rehabilitación mayor que incluya reforzamiento estructural, limpieza total, impermeabilización, cercado adecuado y señalización. La intervención es esencial a fin garantizar la seguridad de los usuarios, tanto para el mismo sistema de captación como para la preservación de calidad del agua.

El Depósito 5<sup>to</sup> Barrio Alto (Figura 47) presenta una estructura básica de mampostería aún funcional, pero con signos de deterioro asociados a la humedad, filtraciones y falta de mantenimiento. La condición sanitaria del agua es preocupante por la presencia de turbidez y óxidos; el entorno está poco controlado, con una cerca deteriorada y vegetación sin manejo. Se recomienda implementar un plan integral de rehabilitación que incluya impermeabilización y mantenimiento del sistema hidráulico a fin de garantizar su funcionalidad, seguridad y sostenibilidad como infraestructura clave en el abastecimiento del agua. Asimismo, el sistema distribuidor de agua, aunque es funcional en su concepto, presenta ciertas deficiencias que pueden afectar su rendimiento y durabilidad. El tanque destaca por su practicidad y adaptabilidad a condiciones rústicas, sin embargo, para mejorar su eficiencia, se recomienda fortalecer las conexiones, proteger la instalación con una base y cubierta, y asegurar un adecuado suministro hacia las viviendas. Esto último, también sucede y se recomienda para el Depósito 3<sup>ro</sup> El Veladero.

Los beneficios que traen consigo en realizar estas acciones recomendadas para todos los depósitos son: contar con una mayor seguridad del sitio y del personal, reducir el riesgo de contaminación por acceso de animales, dar una mayor vida útil del depósito y su estructura asociada y mejora en la percepción social y cumplimiento normativo.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



e) 2024



f) 2024

**Figura 46:** Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 4<sup>to</sup> La Loma proveniente del arroyo El Capulín durante 2014 – 2015 y 2024 -2025.



**Figura 47:** Medición de la cantidad de agua que percibe el Depósito 5<sup>to</sup> Barrio Alto proveniente del arroyo El Capulín durante 2014 – 2015 y 2024 -2025.

## 4.5 Calidad de agua de corrientes naturales y depósitos

### 4.5.1 Caracterización de sitios de muestreo del agua 2024-2025

La ubicación de los sitios de campo para la toma de muestras de agua se enlista en la Tabla 27 y la visualización de los sitios de muestreo también se representan en la Figura 1. Se realizaron 3 muestreos: 1<sup>er</sup> Toma el 25 abril 2024 (previo al temporal de lluvias), 2<sup>da</sup> Toma el 24 de agosto de 2024 (durante el temporal de lluvias) y 3<sup>er</sup> Toma el 10 de febrero de 2025 (posterior al temporal de lluvias).

**Tabla 27.** Ubicación de sitios y fecha de toma de muestra de agua 2024-2025 (S/R: sin registro).

No .	Sitio	Lat. (X)	Long. (Y)	1 <sup>er</sup> Toma	2 <sup>da</sup> Toma	3 <sup>er</sup> Toma
M1	Río Chiquito	598500	2247670	S/R	24/08/24	10/02/25
M2	Arroyo El Ahogado	596460	2246958	25/04/24	24/08/24	10/02/25
M3	Arroyo El Capulín	596337	2245303	25/04/24	24/08/24	10/02/25
M4	La Junta	594795	2249681	S/R	24/08/24	10/02/25
M5	Deposito 1 <sup>ro</sup> La Capilla	595444	2249728	25/04/24	24/08/24	10/02/25
M6	Deposito 2 <sup>do</sup> La Capilla	595444	2249728	S/R	S/R	10/02/25
M7	Deposito 3 <sup>ro</sup> El Veladero	596199	2251258	25/04/24	24/08/24	10/02/25
M8	Deposito 4 <sup>to</sup> La Loma	595084	2250233	25/04/24	24/08/24	10/02/25
M9	Deposito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto	595453	2251791	25/04/24	24/08/24	10/02/25
M1	Río Grande	593533	2253078	25/04/24	9/9/2024	10/02/25

Los parámetros obtenidos en campo como: los datos meteorológicos de las condiciones ambientales, los registros de los datos de las mediciones y el tipo de muestras colectadas al momento de la toma de las muestras de agua se representan en las Tablas 28 a 30.

**Tabla 28.** Descripción de los parámetros de campo del muestreo del 25 de abril de 2024.

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M7	M8	M9
<b>Datos meteorológicos</b>									
Temperatura ambiente	°C	22.4	22.5	20.7	20.1	20.2	19	22.8	18.1
Viento	m/s	0	0	0	3.2	4.3	1.7	2.9	2.3
Nubosidad	%	100	97	100	100	100	100	100	100
Altitud	m	1889	1873	1889	1833	1849	1859	1850	1848
Presión atmosférica	Hpa	981.5	983.2	981.6	987.1	985.4	984.7	985.6	985.8
Punto de evaporación	%	21.5	21.7	18.8	19.8	19.4	19.6	22.7	18.1
Punto de rocío	°C	21.7	20.9	18.3	19.9	19.3	19.6	22.2	18.1
Humedad relativa	%	92.4	79.8	87.7	100	95.7	100	92.7	100
<b>Parámetros de campo</b>									
Temperatura	°C	20	17	19.7	18.4	18.8	17	20.3	17.1
Oxígeno disuelto	mg/L	0.10	0.07	0.06	0.12	0.09	-	-	-
pH	pH	5.5	6.5	7.5	6.5	7.5	6	5	5.5
Olor	-	-	M.O	-	-	-	-	-	-
Materia flotante	-	-	1	10	-	10	70	10	-

**M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto.

**Tabla 29.** Descripción de los parámetros de campo del muestreo 24 de agosto de 2024.

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M7	M8	M9	M10
<b>Datos meteorológicos</b>										
Temperatura ambiente	°C	22.4	22.5	20.7	20.1	20.2	19	22.8	18.1	24.5
Viento	m/s	0	0	0	3.2	4.3	1.7	2.9	2.3	0
Nubosidad	%	100	97	100	100	100	100	100	100	30
Altitud	m	1889	1873	1889	1833	1849	1859	1850	1848	1818
Presión atmosférica	Hpa	981.5	983.2	981.6	987.1	985.4	984.7	985.6	985.8	988.8
Punto de evaporación	%	21.5	21.7	18.8	19.8	19.4	19.6	22.7	18.1	20.1
Punto de rocío	°C	21.7	20.9	18.3	19.9	19.3	19.6	22.2	18.1	19.5
Humedad relativa	%	92.4	79.8	87.7	100	95.7	100	92.7	100	78.6
<b>Parámetros de campo</b>										
Temperatura	°C	20	17	19.7	18.4	18.8	-	-	-	22.3
Oxígeno disuelto	mg/L	0.10	0.07	0.06	0.12	0.09	-	-	-	0.19
pH	pH	5.5	6.5	7.5	6.5	7.5	6	5	5.5	8

Olor	-	-	M.O	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia flotante	-	-	1	10	-	10	70	10	-	-	-

**M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M10:** Río Grande.

**Tabla 30.** Descripción de los parámetros de campo del muestreo 10 de febrero de 2025.

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
<b>Datos meteorológicos</b>											
Temperatura ambiente	°C	24.6	20.6	14.8	23	24.5	24.5	31.3	28.4	27.9	27.7
Viento	m/s	1.3	0	0.8	2.8	2.7	0.6	0	2.6	8.5	2.21
Nubosidad	%	50	0	0	15	0	0	10	0	10	40
Altitud	m	1971	1883	1880	1844	1953	1953	1970	1931	1861	1809
Presión atmosférica	Hpa	980	982.2	63.8	986.2	79.2	79.2	-	-	984.3	989.7
Punto de evaporación	%	73.1	16.7	14.3	14.1	48.4	48.4	87.2	74	14.8	13.9
Punto de rocío	°C	27.5	14.1	75.7	8.2	75.2	75.2	46.5	43.9	6	6.6
Humedad relativa	%	30.2	57.9	65.8	36.2	39.8	39.8	27.5	26.2	25.3	26.5
<b>Parámetros de campo</b>											
Temperatura	°C	-	16.8	-	13.7	15.8	16.3	-	-	18.7	15.3
Conductividad	µs/cm	-	-	319	438	378	313	-	-	374	95.4
Salinidad	%	-	-	0.1	0.2	0.2	0.1	-	-	0.2	0.5
Oxígeno disuelto	mg/L	-	0.05	-	-	-	-	-	-	0	6
SDT	mg/L	-	-	164	234	201	168	-	-	200	500
pH	pH	6	7	5	5.5	5.5	6	6.5	7	5	-
Olor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia flotante	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M6:** Deposito 2<sup>do</sup> La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M10:** Río Grande.

#### 4.5.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológico 2024-2025

A continuación, se presentan los resultados de los análisis obtenidos en los laboratorios de Ciencias Ambientales y Microbiología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de los tres sitios de muestreo representados en las Tablas 31 a 33.

**Tabla 31.** Resultados fisicoquímicos del primer muestreo (25 de abril de 2024) comparado con el Límite Máximo Permisible (LMP) según la NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano.

Parámetro	Unidad	M2	M3	M5	M7	M8	M9	M10	LMP
pH	pH	6.24	5.8	5.52	6.3	5.5	6.32	7.24	6.5-8.5
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad total	mg/L	12	8	8	10	8	8	20	
Conductividad	µS/cm	424	402	412	497	717	732	1103	
Turbiedad	UNT	2.16	3.3	11.82	7.74	2.52	2.92	44.99	4.0
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	16	6	12	14	30	22	40	500
Dureza cárlica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	6	8	4	4	12	6	38	
Dureza de Mg	mg/L de Mg	10	8	8	10	18	16	2	
Cloruros	mg/L Cl	9.92	9.93	5.95	7.94	5.95	9.92	35.98	
SDT	mg/L	226	215	221	265	382	388	588	1000
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	<0.05	2	2	1	0	0	28	400
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	<0.05	0.004	<0.05	0.005	0.02	0.007	0.1	1.0
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	0.2	0.1	1	1.1	0.7	<0.05	10.4	10
Salinidad	%	0	0	0	0	0	0	0.5	
Fluoruros	mg/L F	0.34	0.32	0.32	0.43	0.36	0.3	0.12	1.5

**M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto.

**Tabla 32.** Resultados fisicoquímicos del primer muestreo (24 de agosto de 2024) comparado con el LMP.

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M7	M8	M9	M10	LMP
pH	pH	7.47	7.41	6.98	7.5	5.25	7.18	7.33	6.96	7.5	6.5-8.5
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	20	
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	28	12	12	16	184	32	20	28	44	
Conductividad	µS/cm	276	328	235	351	318	308	279	297	624	
Turbiedad	UTN	10.37	6.3	3.21	14.55	8.14	18.94	33.13	10.53	11.31	4.0
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	8	12	11	14	14	12	10	12	26	500
Dureza cárlica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	8	8	6	8	12	10	6	8	8	
Dureza de Mg	mg/L de Mg	0	4	5	6	2	2	4	4	18	
Cloruros	mg/L Cl	39.7	3.99	7.99	19.99	5.99	35.73	9.99	39.7	19.99	
SDT	mg/L	147	176	133	192	173	164	153	157	332	1000
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	4	2	1	3	2	5	12	3	3	400
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0.008	0.006	0.005	0.009	0.005	0.035	0.005	0.008	0.029	1.0
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	1.2	1.1	0.05	4.1	2.8	2.4	2	0.9	3.2	10

Salinidad	%	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	
Fluoruros	mg/L F	1.52	0.17	0.02	0.17	0.32	0.09	0.03	0.08	0.05	1.5	

**M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M10:** Río Grande.

**Tabla 33.** Resultados fisicoquímicos del primer muestreo (10 de febrero de 2025) comparado con el LMP.

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	LMP
pH	pH	7.25	7.29	6.42	7.05	6.86	7.07	7	7.2	7.1	7.55	6.5-8.5
Alcalinidad a la fenolftaleína	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	32	28	20	40	36	24	20	36	32	56	
Conductividad	µS/cm	330	364	296	455	382	330	378	434	395	981	
Turbiedad	UTN	7.13	1.59	34.01	5.8	3.59	4.21	2.85	4.08	4.87	2.37	4.0
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	14	14	20	20	22	22	14	16	16	44	500
Dureza cárlica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	10	10	8	14	10	16	8	12	14	20	
Dureza de Mg	mg/L de Mg	4	4	12	6	12	6	6	4	2	24	
Cloruros	mg/L Cl	9.93	7.94	11.91	5.95	7.94	17.87	9.93	9.93	9.93	15.88	
SDT	mg/L	175	194	158	243	204	176	201	231	211	523	1000
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	400
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0.039	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.006	0.001	1.0
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	0.1	0	0	0.2	0	0.5	0.1	0.3	0.3	2.2	10
Salinidad	%	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	
Fluoruros	mg/L F											1.5

**M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M6:** Deposito 2<sup>do</sup> La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M10:** Río Grande.

Con el objetivo de comparar los valores de los análisis fisicoquímicos de origen, considerándose está como la muestra proveniente del río o arroyo con respecto a su destino se describen las siguientes observaciones:

El sitio M1 (Río Chiquito) corresponde al punto de origen, cuyo caudal se deriva hacia la represa R1 (Represa El Plan), la cual abastece posteriormente al sitio M7 (Depósito El Veladero). Durante el primer muestreo (25 de abril de 2024), el sitio M1 no presentó volumen suficiente de agua para efectuar el análisis. De manera general se interpreta que, el sitio M1 (Río Chiquito) presentó agua de baja dureza y mineralización, con episodios de alta turbidez y un exceso puntual de fluoruros en época de lluvias (agosto); mientras que el sitio M7 (Depósito El Veladero) reflejó las condiciones de M1, pero con modificaciones atribuibles al almacenamiento, presentando mejoras en algunos parámetros (fluoruros más bajos, control de turbidez en febrero), aunque persisten vulnerabilidades (pH ácido en abril y turbidez elevada en temporada de lluvias) (Tabla 34). En conjunto, el sistema M1-M7 presenta agua generalmente aceptable conforme a la NOM-127-SSA1-2021, con incumplimientos específicos en pH, turbidez y fluoruros. La estacionalidad es un factor determinante, con mayores riesgos durante la época de lluvias. El almacenamiento en M7 atenúa ciertos parámetros (fluoruros).

**Tabla 34.** Resultados fisicoquímicos de los tres muestreos; comparación M1 (origen) con M7 (destino). Celdas marcadas sobreponen el valor límite máximo permisible (LMP) según la NOM-127-SSA1-2021.

Fecha	Parámetro	M1 (Río Chiquito)	M7 (Depósito 3º El Veladero)
25-abr-24	PH	S/R	6.3
24-agosto-24		7.47	7.18
10-febrero-25		7.25	7
25-abr-24	Turbiedad UNT	S/R	7.74
24-agosto-24		10.37	18.94
10-febrero-25		7.13	2.85
25-abr-24	Dureza total mg/L CaCO <sub>3</sub>	S/R	14
24-agosto-24		8	12
10-febrero-25		14	14
25-abr-24	SDT mg/L	S/R	265
24-agosto-24		147	164
10-febrero-25		175	201
25-abr-24	Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	S/R	1
24-agosto-24		4	5
10-febrero-25		2	1
25-abr-24	Nitritos mg/L N-NO <sub>2</sub>	S/R	0.005
24-agosto-24		0.008	0.035
10-febrero-25		0.039	0.003
25-abr-24	Nitratos mg/L N-NO <sub>3</sub>	S/R	1.1
24-agosto-24		1.2	2.4
10-febrero-25		0.1	0.1
25-abr-24	Fluoruros mg/L F	S/R	0.43
24-agosto-24		1.52	0.09
10-febrero-25		S/R	S/R

Comparativa entre M2-M5-M7. El punto de origen que corresponde al sitio M2 (Arroyo El Ahogado), cuyo cauce alimenta a la represa R2 (Represa El Ahogado); a partir de este almacenamiento, el flujo se dirige hacia la represa R5 (Represa Sadoc), que abastece al sitio M5 (Depósito Principal La Capilla). Finalmente, parte del volumen proveniente de M5 se destina al sitio M7 (Depósito El Veladero), concluyendo la ruta de distribución hídrica en esta sección del sistema. De manera general se puede interpretar qué: M2 (Arroyo El Ahogado) presentó agua de buena calidad inicial, con parámetros dentro de la norma y baja mineralización. M5 (Depósito Principal La Capilla) presentó acidificación recurrente y episodios de turbidez elevada, con mayor severidad en temporada de lluvias, lo que sugiere procesos de liberación de compuestos ácidos en interacción con materiales del depósito. Por otro lado, M7 (Depósito El Veladero), reflejó parcialmente las condiciones de M2 y M5, con evidencia de acumulación de turbidez y compuestos nitrogenados en época lluviosa (Tabla 35). En términos generales, el sistema M2-M5-M7 se clasifica como agua blanda, de baja mineralización y sin riesgos asociados a nitratos, nitritos, sulfatos o fluoruros. No obstante, la turbidez recurrente y la acidez persistente en M5 representan los principales factores críticos que deben ser atendidos para garantizar la potabilidad conforme a la NOM-127-SSA1-2021.

**Tabla 35.** Resultados fisicoquímicos de los tres muestreos; comparación M2 (origen) con M5 (destino) y M7 (destino). Celdas marcadas sobrepasan el valor LMP.

Fecha	Parámetro	M2 (Arroyo El Ahogado)	M5 (Depósito Principal La Capilla)	M7 (Depósito 3 <sup>ro</sup> El Veladero)
25-abr-24	PH	6.24	5.52	6.3
24-agosto-24		7.41	5.25	7.18
10-febrero-25		7.29	6.86	7.0
25-abr-24	Turbiedad UNT	2.16	11.82	7.74
24-agosto-24		6.3	8.14	18.94
10-febrero-25		1.59	3.59	2.85
25-abr-24	Dureza total mg/L CaCO <sub>3</sub>	16	12	14
24-agosto-24		12	14	12
10-febrero-25		14	22	14
25-abr-24	SDT mg/L	226	221	265
24-agosto-24		176	173	164
10-febrero-25		194	204	201
25-abr-24	Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	<0.05	2	1
24-agosto-24		2	2	5
10-febrero-25		2	2	1
25-abr-24	Nitritos mg/L N-NO <sub>2</sub>	<0.05	<0.05	0.005
24-agosto-24		0.006	0.005	0.035
10-febrero-25		0.001	0.002	0.003
25-abr-24	Nitratos mg/L N-NO <sub>3</sub>	0.2	1	1.1
24-agosto-24		1.1	2.8	2.4
10-febrero-25		0	0	0.1
25-abr-24	Fluoruros mg/L F	0.34	0.32	0.43
24-agosto-24		0.17	0.32	0.09
10-febrero-25		S/R	S/R	S/R

Comparativa entre M3-M6-M5-M7. El punto de origen corresponde al sitio M3 (Arroyo El Capulín), cuyo caudal alimenta de manera sucesiva a R6 (Reservorio Olla) y posteriormente a R3 (Represa Caldero). A partir de estos cuerpos de almacenamiento, se abastece al M6 (Depósito 2<sup>do</sup> La Capilla) y, al M5 (Depósito Principal La Capilla) y, en última instancia, este depósito provee a M7 (Depósito 3<sup>ro</sup> El Veladero) (Tabla 36).

De manera paralela, el flujo proveniente de M3 (arroyo El Capulín), R6 (reservorio Olla) y R3 (represa Caldero) continúa hacia R4 (Represa Capulín), desde donde se abastece el M8 (Depósito 4<sup>to</sup> La Loma) y también el M9 (Depósito 5<sup>to</sup> Barrio Alto), configurando así una red de distribución escalonada con múltiples puntos de derivación y almacenamiento.

Interpretación general del sistema M3-M6-M5-M7. M3 (Arroyo El Capulín): Agua de baja mineralización y buena calidad química inicial; no obstante, presenta episodios de turbidez elevados en temporada de lluvias y un valor persistentemente alto en febrero, lo que indica aportes puntuales de sedimentos. M6 (Depósito 2<sup>do</sup> La Capilla): En general dentro de norma, pero con incrementos marcados de turbidez en lluvias y ligeros aumentos de nitritos/nitratos; el carácter blando sugiere susceptibilidad a influencias estacionales y de almacenamiento. M5 (Depósito Principal La Capilla): Evidencia de acidificación recurrente (pH bajo en abril y agosto) y episodios de turbidez; la baja dureza/alcalinidad implica riesgo de corrosión en infraestructura y necesidad de medidas de neutralización. M7 (Depósito 3<sup>ro</sup> El Veladero): Comportamiento similar a M6, con picos de turbidez y nitritos en época lluviosa; en condiciones secas tiende a cumplir, aunque mantiene vulnerabilidad a aportes de sólidos.

En términos generales, el sistema M3-M6-M5-M7 se clasifica como agua blanda y de baja mineralización, sin riesgos por sulfatos, fluoruros o SDT. Los factores críticos son la turbidez recurrente en lluvias (M6 y M7, y aportes en M3) y la acidez persistente en M5, que deben atenderse para garantizar el cumplimiento de la NOM-127-SSA1-2021.

Comparativa entre M3-M8-M9. M3 (Arroyo El Capulín): Buena calidad química inicial y baja mineralización; sin embargo, registra picos de turbidez asociados a arrastre de sedimentos en temporada de lluvias. M8 (Depósito 4<sup>to</sup> La Loma): Episodios de pH ácido y turbidez elevada en época lluviosa, sugiriendo interacción con materiales del depósito y aportes de sólidos por escorrentía. M9 (Depósito 5<sup>to</sup> Barrio Alto): Comportamiento semejante a M8, con turbidez alta en lluvias y SDT relativamente mayores por menor renovación de agua, aunque dentro de norma sanitaria (Tabla 36).

En términos generales, el sistema M3-M8-M9 mantiene baja mineralización y valores seguros en nutrientes y fluoruros, pero presenta condiciones críticas en pH y turbidez durante lluvias, con implicaciones de corrosión y necesidad de tratamiento específico para asegurar la potabilidad conforme a la NOM-127-SSA1-2021.

**Tabla 36.** Resultados fisicoquímicos de los tres muestreos; comparación M2 (origen) con M5 (destino) y M7 (destino). Celdas marcadas sobrepasan el valor LMP.

Fecha	Parámetro	M3 (A. El Capulín)	M6 (Depósito 2 <sup>do</sup> La Capilla)	M5 (Depósito Principal La Capilla)	M7 (Depósito 3 <sup>ro</sup> El Veladero)	M8 (Depósito 4 <sup>to</sup> La Loma)	M9 (Depósito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto)
25-abr-24	PH	5.8	6.3	5.52	6.3	5.5	6.32
24-agosto-24		6.98	7.18	5.25	7.18	7.33	6.96
10-febrero-25		6.42	7.0	6.86	7.0	7.2	7.1
25-abr-24	Turbiedad UNT	3.3	7.74	11.82	7.74	2.92	2.92
24-agosto-24		3.21	18.94	8.14	18.94	33.13	10.53
10-febrero-25		34.01	2.85	3.59	2.85	4.08	4.87
25-abr-24	Dureza total mg/L CaCO <sub>3</sub>	6	14	12	14	30	22
24-agosto-24		11	12	14	12	10	12
10-febrero-25		20	14	22	14	16	16
25-abr-24	SDT mg/L	215	265	221	265	382	388
24-agosto-24		133	164	173	164	153	157
10-febrero-25		158	201	204	201	231	211
25-abr-24	Sulfatos mg/L SO <sub>4</sub>	2	1	2	1	0	0
24-agosto-24		1	5	2	5	12	3
10-febrero-25		1	1	2	1	1	2
25-abr-24	Nitritos mg/L N-NO <sub>2</sub>	0.004	0.005	<0.05	0.005	0.02	0.007
24-agosto-24		0.005	0.035	0.005	0.035	0.005	0.008
10-febrero-25		0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.006
25-abr-24	Nitratos mg/L N-NO <sub>3</sub>	0.1	1.1	1	1.1	0.7	<0.05
24-agosto-24		0.05	2.4	2.8	2.4	2	0.9
10-febrero-25		0	0.1	0	0.1	0.3	0.3
25-abr-24	Fluoruros mg/L F	0.32	0.43	0.32	0.43	0.36	0.3
24-agosto-24		0.02	0.09	0.32	0.09	0.03	0.08
10-febrero-25		S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R

Los **coliformes totales** indican la presencia de bacterias comunes en el ambiente (suelo, vegetación, agua). La elevada presencia puede señalar contaminación y condiciones favorables para el crecimiento de otros microorganismos. Por otro lado, los **coliformes fecales** indican contaminación reciente por materia fecal de humanos o animales, lo que implica un riesgo potencial de patógenos causantes de enfermedades gastrointestinales.

La Tabla 37 muestra los coliformes totales y coliformes fecales medidos en Número Más Probable (NMP) por 100 ml de muestra. En términos generales el patrón sugiere que la calidad microbiológica del agua es inestable y susceptible a cambios estacionales o a eventos de contaminación puntual. M2, M3, M6 y M10 muestran **aumentos muy fuertes** de coliformes totales y fecales en febrero de 2025, llegando en algunos casos a valores superiores a 1,000 NMP/100 ml, lo que refleja una contaminación importante y reciente. Los aumentos drásticos pueden deberse a vertidos directos de aguas residuales o a escurrimientos contaminados después de lluvias.

La presencia de coliformes fecales en la mayoría de los sitios y fechas implica que el agua no es apta para consumo humano sin un proceso de potabilización previo (desinfección y filtración); es decir, ningún sitio mantuvo valores aceptables durante las tres fechas, según la NOM-127-SSA1-2021, que exige ausencia de coliformes fecales en 100 ml de agua para consumo humano. En algunos sitios, como M8 y M9, los valores disminuyen con el tiempo, lo que podría relacionarse con cambios en la fuente de contaminación o con variaciones climáticas (lluvias que diluyen o arrastran contaminantes). En contraste, en M10 se observa valor drástico en agosto de 2024 (11,000 coliformes totales) para luego bajar a 1,100 en febrero de 2025, aunque sigue muy por encima del límite seguro.

**Tabla 37.** Resultados del análisis microbiológico de los tres muestreos 2024-2025 (S/R: sin registro).

Sitio	Parámetro /	25/abril/2024	24/agosto/2024	10/febrero/2025
<b>M1</b>	Coliformes	S/R	240	210
	Coliformes	S/R	4	100
<b>M2</b>	C. totales	230	92	1100
	C. fecales	230	42	240
<b>M3</b>	C. totales	93	39	4600
	C. fecales	93	39	1100
<b>M4</b>	C. totales	S/R	39	110
	C. fecales	S/R	9	75
<b>M5</b>	C. totales	43	23	230
	C. fecales	43	23	210
<b>M6</b>	C. totales	S/R	S/R	1100
	C. fecales	S/R	S/R	1100
<b>M7</b>	C. totales	40	240	120
	C. fecales	15	23	75
<b>M8</b>	C. totales	230	39	14
	C. fecales	230	39	9
<b>M9</b>	C. totales	230	28	460
	C. fecales	90	9	93
<b>M10</b>	C. totales	S/R	11000	1100
	C. fecales	S/R	<3	460

**M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M6:** Deposito 2<sup>do</sup> La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M10:** Río Grande.

#### 4.5.3 Análisis del índice de calidad del agua (ICA) 2024-2025

El análisis del ICA, tiene como base el propuesto por Martínez de Bascarán (1979), su objetivo es resumir en un solo valor la calidad general del agua, integrando múltiples parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; este análisis es útil para:

- a) Diagnóstico integral de la calidad del agua
- b) Permite conocer si el agua es adecuada para consumo humano, riego, ganadería, recreación o conservación de la biodiversidad.
- c) Ayuda a identificar riesgos potenciales de contaminación tanto química como biológica.

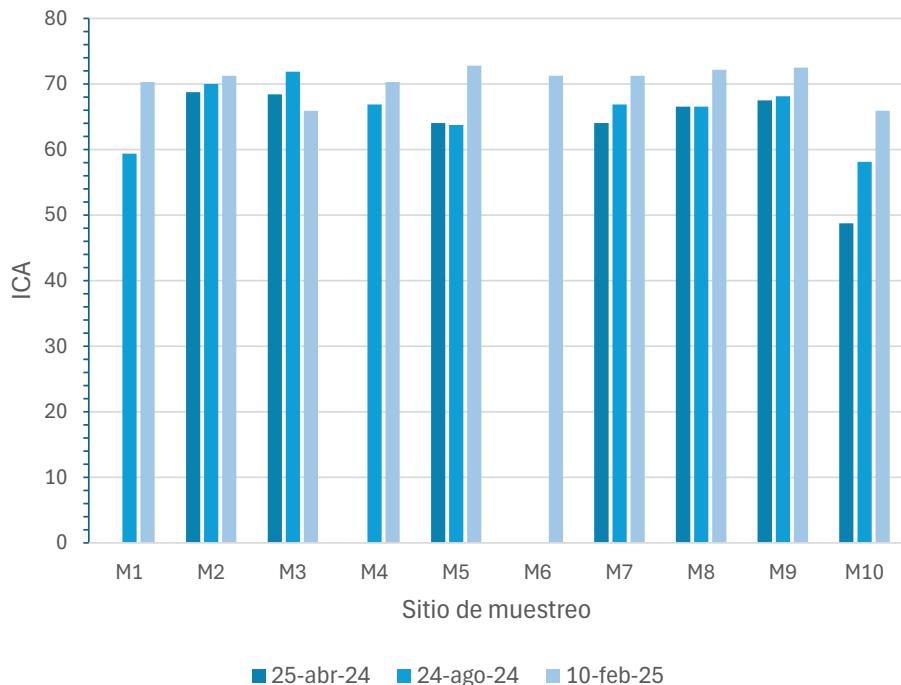
- d) Facilita comparar la calidad entre diferentes sitios (por ejemplo, aguas arriba vs aguas abajo) o en diferentes épocas del año (estiaje y lluvias).
- e) Detecta tendencias de deterioro o mejora, lo que orienta las acciones de manejo y conservación.
- f) Ayuda en la toma de decisiones en gestión ambiental
- g) Sirve como base técnica para implementar medidas de saneamiento, conservación de cuencas y control de descargas.

Los resultados integrales por muestra por periodo de toma y análisis del ICA se presentan en el Anexo 8.3.

La Figura 48 muestra los valores de ICA por sitio de muestreo durante las tomas de agua antes del período de lluvias (24 de abril 2024), durante el período de lluvias (25 de agosto 2024) y posterior al período de lluvias (10 de febrero de 2025); los valores fueron más bajos en la mayoría de los sitios, con varios casos en el rango de calidad media o aceptable (entre 55 y 68). En febrero 2025 en casi todos los sitios (M2, M4, M5, M6, M7, M8, M9) se observa una mejora significativa en el ICA, con valores entre 70 y 73, que corresponden a buena calidad del agua.

M5, M6, M7, M8 y M9 alcanzan los valores más altos (cercanos a 72-73) en febrero de 2025, mostrando una mejora clara en la calidad. Estos sitios reflejan condiciones de agua más estables y posiblemente menor influencia de fuentes de contaminación recientes. Por el contrario, M1 y M10 destacan como los sitios con menor ICA en los tres períodos. M1 oscila entre 59 y 70, lo que lo ubica en la categoría de calidad media. M10 (río Grande) presenta el valor más bajo (48) de todo el registro (24 en abril 2024), considerado deficiente, aunque mejora hasta 66 en febrero 2025. Esto sugiere que en este punto hay una mayor presión de contaminación, vinculada a la descarga de aguas grises, escorrentimientos o menor capacidad de autodepuración (Figura 48).

En síntesis, el histograma da lugar a que la calidad del agua en la mayoría de los sitios pasó de media a aceptable en abril y agosto de 2024 a buena en febrero de 2025. Algunos sitios críticos (M1 y M10) mantienen valores más bajos, lo que indica la necesidad de seguimiento y posibles acciones de control. Las variaciones estacionales sugieren que las condiciones climáticas (lluvias y escorrentimientos) influyen fuertemente en la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua. En términos sencillos: el agua mejoró con el tiempo, pero algunos sitios siguen siendo problemáticos y requieren atención especial.



**Figura 48:** Índice de calidad del agua (ICA) por sitio de muestreo por fecha de toma (2024-2025) **M1:** Río Chiquito; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Arroyo El Capulín; **M4:** La Junta; **M5:** Deposito principal La Capilla; **M6:** Deposito 2<sup>do</sup> La Capilla; **M7:** Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero; **M8:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M9:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M10:** Río Grande.

#### 4.5.4 Análisis de plaguicidas - monitoreo 2024-2025

A continuación, se describen de manera general los plaguicidas que fueron considerados en el análisis por cada uno de los sitios de muestreo y el uso cotidiano del mismo:

- **Aldrin (organo-clorado, insecticida):** usado históricamente contra termitas y plagas de suelo en maíz/algodón. Muy persistente; se transforma en dieldrin.
- **Dieldrin (organo-clorado, insecticida):** derivado/metabolito de aldrin; plagas de suelo y hojas, también en control de termitas. Alta persistencia y bioacumulación.
- **G-Clordano ( $\gamma$ -chlordane; organo-clorado, insecticida):** parte del “clordano técnico”; ampliamente usado en control de termitas y plagas de suelo. Persistente.
- **DDT (total de isómeros; organo-clorado, insecticida):** empleado en agricultura y control de vectores (mosquitos). Muy persistente y bioacumulable; hoy severamente restringido en la mayoría de los países.
- **Lindano ( $\gamma$ -BHC; organo-clorado, insecticida/ectoparasiticida):** usado en tratamiento de semillas y, en el pasado, en salud pública (piojos/sarna). Persistente; actualmente con fuertes restricciones.

- **Hexaclorobenceno (HCB; fungicida/impureza industrial)**: usado como fungicida de semillas (trigo) y también subproducto de procesos industriales; muy persistente y lipofílico.
- **Heptacloro y su epóxido (organo-clorado, insecticida)**: plagas de suelo y control de termitas; el epóxido es un metabolito muy estable.
- **Metoxicloro (organo-clorado, insecticida)**: sustituto “menos persistente” del DDT usado en frutales, forrajes y ganado; también restringido en varios países.
- **2,4-D (herbicida fenoxy)**: control de malezas de hoja ancha en cereales, pastizales, praderas y áreas urbanas; muy extendido en agricultura.

Las Tablas 38 y 39 muestran los resultados de agua con análisis de plaguicidas (antes y después del temporal de lluvias), en este sentido, Aldrin, Dieldrin, G-Clordano, DDT (total), Lindano ( $\gamma$ -BHC), Hexaclorobenceno, Heptacloro + epóxido y, 2,4-D, en todos los sitios aparecen como “< LOD” (no detectados por debajo del límite de detección del método) y con LOD  $\leq$  LMP (o igual al límite máximo permisible, por lo que se consideran en cumplimiento de la norma).

Entre los siete y diez sitios de muestreo respectivamente se presentó ausencia de plaguicidas, siendo esto congruente ya que los sitios de muestreo corresponden a zonas sin agricultura intensiva, y por ser parte de una cuenca sin impactos de este tipo; otras posibles explicaciones podrían deberse a la disolución natural de los arroyos y, a las características de las microcuenca como a la pendiente, tipo de suelo, vegetación, retención del suelo, adsorción de partículas de suelo y degradación natural (disminución de residuos).

No obstante, lo anterior, y a pesar de la situación favorable en cuanto a cumplimiento normativo, debe considerarse que muchos de estos plaguicidas son altamente persistentes en suelos y aguas, por lo que la ausencia en el muestreo no necesariamente garantiza ausencia ambiental total.

Como sugerencias de manejo se debe promover la gestión adecuada de los agroquímicos en la zona, priorizando la reducción de compuestos persistentes y la transición hacia prácticas de manejo integrado de plagas. Asimismo, se sugiere enfocar esfuerzos de concientización en la población en general y/o específicamente en agricultores y, productores sobre el peligro de uso de plaguicidas organoclorados prohibidos o restringidos.

**Tabla 38.** Valores de pesticidas por sitio de muestreo (25/abril/2024) y límites máximos permitidos (LMP) de la NOM-127-SSA1-2021.

Pesticida	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M10	LMP
Aldrin	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
Dieldrin	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
G-Clordano	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	0.20
DDT (total isomeros)	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0
Gamma-BHC (lindano)	µg/L	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2.0
Hexaclorobenceno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
Metoxicloro	µg/L	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	20.0
2,4 D (ácido -2-Diclorofenoxiacetico)	µg/L	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	30.0

**M1:** Arroyo El Capulín; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Deposito Principal La Capilla; **M4:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M5:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M6:** Deposito 3<sup>to</sup> El Veladero; **M10:** Río Grande

**Tabla 39.** Valores de pesticidas por sitio de muestreo (10/febrero/2025) y LMP.

Pesticida	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	LMP
Aldrin	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
Dieldrin	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
G-Clordano	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	0.03
DDT (total isomeros)	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0
Gamma-BHC (lindano)	µg/L	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	2.0
Hexaclorobenceno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.001
Heptacloro y epóxido de heptacloro	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03
Metoxicloro	µg/L	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	<20.0	20.00
2,4 D (ácido -2-Diclorofenoxiacetico)	µg/L	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	<30.0	30.0

**M1:** Arroyo El Capulín; **M2:** Arroyo El Ahogado; **M3:** Deposito Principal La Capilla; **M4:** Deposito 4<sup>to</sup> La Loma; **M5:** Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; **M6:** Deposito 3<sup>to</sup> El Veladero; **M7:** Deposito 2<sup>do</sup> La Capilla; **M8:** La Junta; **M9:** Río Chiquito; **M10:** Río Grande

#### 4.5.5 Análisis sobre metales pesados

Los metales pesados en los arroyos y depósitos de almacenamiento de agua son relevantes porque no se degradan fácilmente y tienden a bioacumularse en organismos y sedimentos, afectando tanto la calidad del agua como la salud humana y de los ecosistemas. La Tabla 40 muestra los principales metales pesados y su impacto al medio ambiente y la salud humana.

**Tabla 40.** Metales pesados y su impacto al medio ambiente y salud humana.

Metal	Fuente común	Efecto ambiental	Riesgo para la salud humana
<b>Aluminio (Al)</b>	Intemperización de rocas, procesos industriales	Puede aumentar la turbidez y afectar peces sensibles	Irritación gastrointestinal; neurotoxicidad en altas dosis
<b>Arsénico (As)</b>	Rocas volcánicas, minería, pesticidas antiguos	Contamina aguas subterráneas y superficiales; muy persistente	Carcinogénico; afecta piel, hígado, riñón y sistema nervioso
<b>Bario (Ba)</b>	Rocas sedimentarias, residuos industriales	Puede modificar la composición química del agua	Afecta presión arterial, corazón y sistema nervioso
<b>Cadmio (Cd)</b>	Fertilizantes fosfatados, minería, baterías	Muy móvil en agua; tóxico para peces y plantas acuáticas	Acumulación en riñones y huesos; carcinogénico
<b>Cobre (Cu)</b>	Tubos de agua, fungicidas, minería	Es esencial en bajas concentraciones, pero tóxico en exceso	Náuseas, daño hepático y renal
<b>Cromo (Cr)</b>	Curtidurías, galvanoplastia, pigmentos	Altamente soluble y tóxico; afecta organismos acuáticos	Cáncer, problemas respiratorios y dérmicos
<b>Hierro (Fe)</b>	Natural en suelos y rocas; corrosión de tuberías	Produce coloración rojiza y sabor metálico; afecta oxigenación acuática	No suele ser tóxico, pero en exceso daña hígado y páncreas
<b>Magnesio (Mg)</b>	Rocas y suelos (dolomita, calizas)	Componente natural; en exceso contribuye a dureza del agua.	En altas dosis causa diarrea y alteraciones cardiovasculares
<b>Mercurio (Hg)</b>	Minería, combustión de carbón, termómetros antiguos	Bioacumulación en peces como metilmercurio; muy persistente	Neurotóxico severo, afecta sistema nervioso central y desarrollo fetal
<b>Níquel (Ni)</b>	Acerías (fábricas de acero), baterías, combustibles fósiles	Contamina sedimentos; tóxico para organismos acuáticos	Dermatitis, daño pulmonar y posible carcinogénico
<b>Plomo (Pb)</b>	Pinturas, tuberías antiguas, minería	Se adhiere a sedimentos y contamina agua potable	Neurotoxicidad, afecta el desarrollo cognitivo en niños
<b>Selenio (Se)</b>	Rocas, fertilizantes, industria del vidrio	Esencial en trazas, pero tóxico en exceso	Daños neurológicos, alteraciones reproductivas
<b>Manganoso (Mn)</b>	Rocas y suelos; drenajes mineros	Contribuye a dureza y turbidez	Neurotoxicidad por exposición crónica

<b>Zinc (Zn)</b>	Galvanizado, fertilizantes, aguas residuales	Esencial en bajas dosis, tóxico en exceso para organismos acuáticos	Náuseas, vómitos, daño renal y pancreático
<b>Vanadio (V)</b>	Actividad volcánica, combustibles fósiles	Puede alterar procesos bioquímicos en el agua	Toxicidad renal y efectos respiratorios

La Tabla 41 muestra el resultado del análisis de metales pesados en distintos arroyos y depósitos de la Sierra de Quila (M1 a M5), comparado con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-2021; se observa que la mayoría se encuentran dentro de los valores aceptables para consumo humano.

Elementos como arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y selenio (Se) no superan los valores normativos, con concentraciones reportadas como no detectables o muy por debajo del límite (0.025 mg/L para As, 0.005 mg/L para Cd, 0.001 mg/L para Hg y 0.01 mg/L para Pb). Sin embargo, se identifican concentraciones elevadas de hierro (Fe), particularmente en el depósito principal La Capilla (7.883 mg/L en abril 2024 y 7.431 mg/L en agosto 2024), muy por encima del límite de 0.3 mg/L, lo que representa un riesgo de sabor metálico, manchas en utensilios y posibles efectos gastrointestinales.

Asimismo, en el depósito 4<sup>to</sup> La Loma y el 5<sup>to</sup> Barrio Alto se observaron picos de aluminio (Al) de hasta 6.951 mg/L y manganeso (Mn) de 0.68 mg/L, ambos superiores a los límites recomendados (0.2 mg/L para Al y 0.15 mg/L para Mn). Estos resultados sugieren que, aunque la mayoría de los metales pesados cumplen la norma, existen focos de contaminación localizada por hierro, aluminio y manganeso, que podrían estar asociados a procesos naturales de lixiviación de suelos y rocas volcánicas, o bien a aportes antrópicos. Se recomienda llevar a cabo un monitoreo constante y tratamientos de potabilización para garantizar la seguridad en la comunidad de Quila El Grande.

El análisis de los sitios M6 a M10 muestra un panorama similar al observado en los primeros cinco puntos, con la mayoría de los metales dentro de los LMP, pero con algunos parámetros que destacan por su exceso. Los metales tóxicos de mayor riesgo (As, Cd, Hg, Pb y Se) se mantienen en concentraciones no detectables o por debajo de los límites normativos, lo cual es un aspecto positivo para la seguridad de la localidad. Sin embargo, se observa en otro de los sitios un incremento considerable en hierro (Fe), con valores de hasta 2.064 mg/L en el Río Grande (M10), superando ampliamente el límite de 0.3 mg/L, lo que indica problemas de calidad y posibles efectos adversos en la salud a largo plazo. También se detectan concentraciones elevadas de aluminio (Al) en depósitos como El Veladero (M6, 1.79 mg/L) y en el Río Chiquito (M9, 1.51 mg/L), sobrepasando el valor de 0.2 mg/L (Tabla 42).

El caso más crítico corresponde al manganeso (Mn) en el Río Grande (M10), con un registro anómalo de 184 mg/L, muy superior al límite de 0.15 mg/L, lo que sugiere contaminación significativa, posiblemente asociada a procesos

geológicos locales o aportes externos. En síntesis, aunque la mayoría de los elementos regulados se encuentran en norma, la presencia de niveles elevados de Fe, Al y Mn representa un riesgo potencial, lo que hace indispensable implementar un monitoreo continuo y estrategias de tratamiento específicas para asegurar agua apta para el consumo humano (Tabla 42).

De manera general los metales pesados que están dentro del LMP son: As, Cd, Hg, Pb, Se, Zn, Cu, Ba y Na. Por otro lado, los que no cumplen con la norma son: Al, Fe y Mn en varios sitios (destacan M3, M4, M5, M6, M9 y sobre todo M10 con Mn=184 mg/L).

**Tabla 41.** Valores de metales pesados de los sitios de muestreo 1 a 5 por fecha de toma de muestra 2024-2025 (antes, durante y posterior al temporal de lluvias).

		M1 Arroyo El Capulín			M2 Arroyo El Ahogado			M3 Deposito Principal La Capilla			M4 Deposito 4 <sup>to</sup> La Loma			M5 Deposito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto		
	Unidad	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago	10/feb
Al	(mg/L)	0.041	0.058	-	0.061	0.442	-	0.105	0.559	-	0.052	6.951	-	0.024	0.587	-
As	(mg/L)	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	0.002	-	<0.001	<0.001	-
Ba	(mq/L)	0.029	0.019	0.017	0.03	0.033	0.03	0.076	0.034	0.031	0.087	0.09	0.031	0.081	0.038	0.045
Cd	(mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cu	(mg/L)	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.015	0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.002	0.002	<0.001	<0.001	0.005
Cr	(mq/L)	<0.001	<0.001	0.009	<.001	<0.001	0.013	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	0.012	<0.001	<0.001	0.031
Fe	(mg/L)	1.432	0.755	0.406	0.66	0.815	0.47	7.883	1.197	0.888	3.301	7.431	1.051	2.394	1.514	1.033
Mn	(mq/L)	0.043	0.011	0.005	0.009	0.007	0.006	0.136	0.033	0.003	0.68	0.332	0.028	0.682	0.128	0.01
Hg	(mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Na	(mq/L)	3.194	2.204	-	4.196	4.11	-	3.879	3.649	-	5.764	3.383	-	5.34	3.069	-
Ni	(mg/L)	-	-	0.004	-	-	0.008	-	-	0.001	-	-	0.003	-	-	0.013
Pb	(mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
Se	(mg/L)	-	-	0.001	-	-	<0.001	-	-	-	-	<0.001	-	-	<0.001	
Zn	(mg/L)	0.006	0.011	-	0.004	0.007	-	0.008	0.033	0.002	0.005	0.332	-	0.006	0.128	-

**Al:** Aluminio; **As:** Arsénico; **Ba:** Bario; **Cd:** Cadmio; **Cu:** Cobre; **Cr:** Cromo; **Fe:** Hierro; **Mn:** Manganeso; **Hg:** Mercurio; **Na:** Sodio (no es metal pesado tóxico, pero se analiza como parámetro de calidad); **Ni:** Níquel; **Pb:** Plomo; **Se:** Selenio (metaloide, no metal pesado en sentido estricto); **Zn:** Zinc.

**Tabla 42.** Valores de metales pesados de los sitios de muestreo 6 a 10 por fecha de toma de muestra 2024-2025 (antes, durante y posterior al temporal de lluvias).

		M6 Deposito 3 <sup>ro</sup> El Veladero			M7 Deposito 2 <sup>do</sup> La Capilla			M8 La Junta			M9 Río Chiquito			M10 Río Grande		
		Unidad	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago	10/feb	24/abr	25/ago
Al (mg/L)	0.288	1.79	-	-	-	-	-	0.783	-	-	1.51	-	1.202	0.744	-	-
As (mg/L)	<0.001	<0.001	-	-	-	-	-	<0.001	-	-	<0.001	-	<0.001	0.002	-	-
Ba (mq/L)	0.055	0.046	0.031	-	-	0.033	-	0.055	0.043	-	0.04	0.042	0.164	0.097	0.087	-
Cd (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	-	-	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cu (mg/L)	0.002	<0.001	0.001	-	-	0.001	-	<0.001	0.001	-	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	0.006	-
Cr (mq/L)	<0.001	<0.001	0.005	-	-	0.001	-	<0.001	0.003	-	<0.001	0.009	<0.001	<0.001	0.023	-
Fe (mg/L)	1.155	1.432	0.808	-	-	0.551	-	1.955	0.832	-	0.4	0.388	2.064	1.576	0.757	-
Mn (mq/L)	0.052	0.028	0.006	-	-	0.002	-	0.074	0.004	-	0.002	0.004	184	0.059	0.006	-
Hg (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	-	-	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Na (mq/L)	7.31	4.614	-	-	-	-	-	4.231	-	-	5.547	-	10.299	5.975	-	-
Ni (mg/L)	-	-	0.002	-	-	<0.001	-	-	0.001	-	-	0.002	-	-	0.012	-
Pb (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	-	-	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	-
Se (mg/L)	-	-	<0.001	-	-	<0.001	-	-	<0.001	-	-	0.002	-	-	<0.001	-
Zn (mg/L)	0.006	0.028	-	-	-	-	-	0.074	-	-	0.002	-	0.007	0.059	-	-

**Al:** Aluminio; **As:** Arsénico; **Ba:** Bario; **Cd:** Cadmio; **Cu:** Cobre; **Cr:** Cromo; **Fe:** Hierro; **Mn:** Manganeso; **Hg:** Mercurio; **Na:** Sodio (no es metal pesado tóxico, pero se analiza como parámetro de calidad); **Ni:** Níquel; **Pb:** Plomo; **Se:** Selenio (metaloide, no metal pesado en sentido estricto); **Zn:** Zinc.

Las Figuras 49 a la 56 ilustran el trabajo de campo comprendido para la toma de muestras de agua en arroyos y depósitos, así como su análisis fisicoquímico y microbiológico en laboratorio.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



e) 2014



f) 2024

**Figura 49:** Toma de muestras de agua e indicadores en el Río Chiquito durante 2014 -2015 y 2024 -2025.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



e) 2014



f) 2024

**Figura 50:** Toma de muestras de agua e indicadores en el arroyo El Ahogado durante 2014 - 2015 y 2024 -2025.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



e) 2014



f) 2024

**Figura 51:** Toma de muestras de agua e indicadores en el arroyo El Capulín durante 2014 -2015 y 2024 -2025.



a) 2014



b) 2024



c) 2014



d) 2024



e) 2014



f) 2024

**Figura 52:** Toma de muestras de agua e indicadores en el Depósito Principal La Capilla durante 2014 -2015 y 2024 -2025.



**Figura 53:** Toma de muestras de agua e indicadores en el Depósito 2º La Capilla durante 2014 -2015 y 2024 -2025.



a) 2014



b) 2024



c)



d) 2024

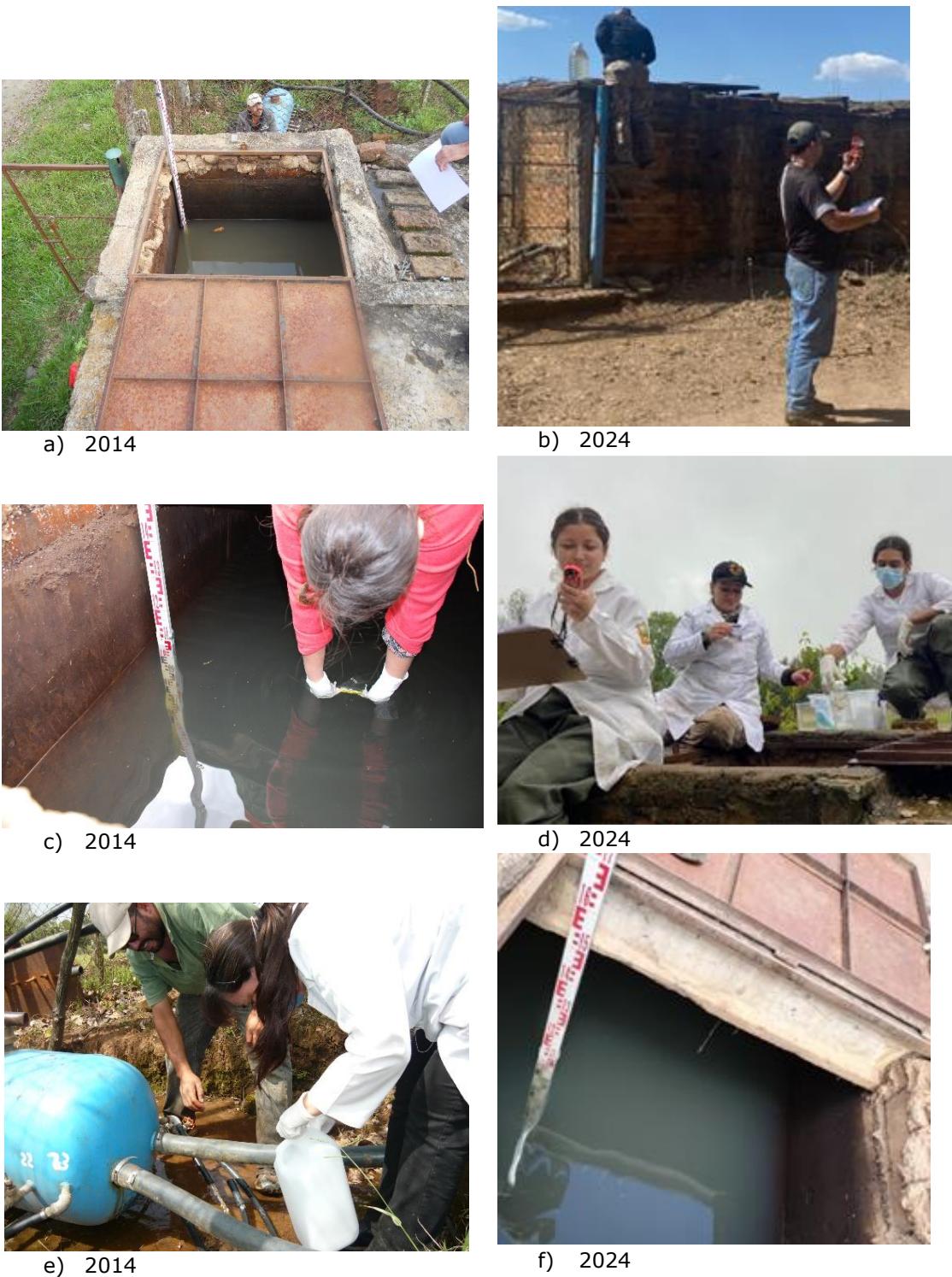


e) 2014



f) 2024

**Figura 54:** Toma de muestras de agua e indicadores en el Depósito 4<sup>to</sup> La Loma durante 2014 -2015 y 2024 -2025.



**Figura 55:** Toma de muestras de agua e indicadores en Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto durante 2014 -2015 y 2024 -2025.



a) 2024



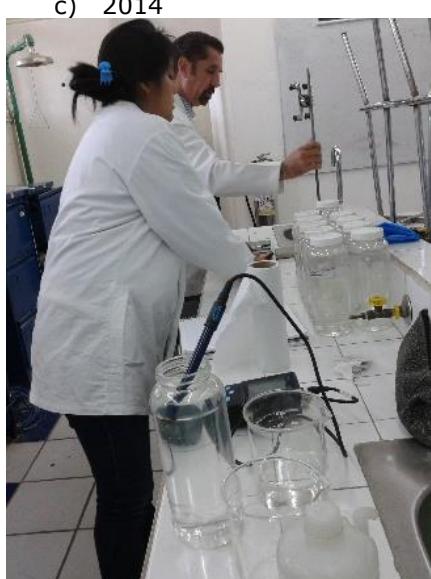
b) 2024



c) 2014



d) 2014



e) 2014



f) 2024

**Figura 56:** Análisis fisicoquímico y bacteriológico de muestras de agua en Laboratorio de Agua del CUCBA durante 2014 -2015 y 2024 -2025.

## 5 Conclusiones

En síntesis, a continuación, se describen algunos criterios de valoración ambiental que se identifican desde el APFFSQ y, que conforman de manera integral las microcuencas del Río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín que tienen origen en la parte alta del área protegida.

### 5.1 Morfometría de cuencas y red hidrológica

La **MRCh**, con una precipitación media anual de 906 mm y una disponibilidad de captación de agua de lluvia estimada en  $12.1 \text{ Mm}^3$  al año, aunque este volumen puede verse afectado por la cobertura vegetal, el uso del suelo y el manejo del escurrimiento. La microcuenca presenta una forma alargada y drenaje eficiente, lo cual reduce la probabilidad de crecidas rápidas, ya que dificulta la concentración simultánea de escurrimientos; sin embargo, esto también puede significar un mayor tiempo de respuesta ante lluvias intensas.

Por su pendiente y relieve se clasifica como una microcuenca moderadamente montañosa, lo cual favorece el escurrimiento superficial, pero también implica riesgos de erosión si no hay cobertura vegetal adecuada. El cauce principal tiene una longitud de 9.23 km con una pendiente media del 16.5%, lo cual genera una alta velocidad de escurrimiento, influenciando el transporte de sedimentos y el tiempo de concentración, calculado en 65 minutos.

La red de drenaje y densidad de corrientes de la **MRCh** sugieren un sistema moderadamente eficiente que favorece tanto la recarga hídrica como el drenaje superficial sin excesivo riesgo de erosión. Asimismo, la estructura del drenaje (76% primer orden) indica una red ramificada en las zonas altas que favorece la recolección de escurrimientos dispersos.

La combinación de una red dendrítica bien desarrollada aguas arriba y una forma alargada sugiere que la microcuenca puede responder con rapidez a eventos de lluvia si hay baja infiltración, el riesgo de inundaciones generalizadas es menor que en microcuencas más compactas.

La **MAAyC** refleja una buena capacidad de captación natural de agua, tiene una disponibilidad estimada de  $18.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$ , con una precipitación media anual de 905 mm. Presenta un relieve moderadamente montañoso, pero menos escarpado que otras cuencas de la región, lo que podría favorecer a procesos de infiltración y reducir la velocidad del escurrimiento superficial.

La **MAAyC** es alargada y ligeramente ensanchada, lo cual disminuye la tendencia a concentrar rápidamente grandes volúmenes de escurrimiento, reduciendo el riesgo de inundaciones súbitas. El cauce principal presenta una pendiente media de 16.1% y un tiempo de concentración corto (53 minutos), lo que implica que la microcuenca puede responder con rapidez a eventos de lluvia intensa, favoreciendo escurrimientos rápidos y de corta duración.

La densidad de drenaje de la microcuenca es eficiente, es dendrítica, es decir, ramificada y bien estructurada, propia de zonas con mínima perturbación antrópica y buena conservación de los procesos hidrológicos naturales.

## 5.2 Monitoreo de la biodiversidad

Existen tres sistemas riparios con arroyos permanentes, los bosques de galería (o riparios) conectados a la vegetación aledaña ofrecen una mayor diversidad de especies, alimento y refugio para la fauna en comparación con las franjas riparias angostas.

Los diferentes tipos de vegetación tienen una valoración por su representación, calidad, cantidad y distribución, además de la integridad funcional de los ecosistemas, incluyendo interconexión con corredores biológicos (arroyos).

La capacitación y el trabajo conjunto con los pobladores en el monitoreo comunitario de la biodiversidad, además de generar datos y herramientas de información apoyan a promover la participación comunitaria, esto como una forma de responder a las problemáticas particulares de la localidad de manera informada y autónoma.

Los bosques ribereños o riparios conectados a la vegetación aledaña ofrecen una mayor diversidad de especies, alimento y refugio para la fauna silvestre en comparación con las franjas riparias angostas.

La vegetación en los diferentes sitios de muestreo debe ser protegida y valorada, porque su presencia de especies nativas en calidad, cantidad y distribución, debido a que cumplen un importante papel para el adecuado funcionamiento de los ecosistemas, incluyendo la interconexión con corredores biológicos (arroyos) para la fauna silvestre.

La Sierra de Quila es un ecosistema representativo de las montañas de Jalisco destaca por su alta riqueza de anfibios y reptiles, la mayoría de las cuales (67%) son endémicas de México.

Las aves registradas durante el periodo de estudio en los tres arroyos representan el 46% de la riqueza de especies presentes en el área protegida Sierra de Quila.

## 5.3 Monitoreo hidrológico de caudales

La medición de caudales en microcuencas presenta ventajas y desventajas dependiendo del entorno donde se realice. Al interior del área natural protegida Sierra de Quila, los datos obtenidos reflejan condiciones más estables y menos alteradas. En contraste, en zonas agrícolas o pecuarias, los registros son más accesibles y socialmente relevantes, pero el flujo hídrico puede estar modificado por actividades humanas, lo que dificulta su interpretación natural. En este contexto territorial y el uso del suelo es importante considerar definir

estrategias de monitoreo y gestión del agua que beneficien tanto a los ecosistemas como a las comunidades.

Los caudales de los arroyos el Ahogado y El Capulín se consideran como caudales base, se encuentran presentes todo el año, su biodiversidad es estable y su función ecológica es conservada y en cuanto a la intervención humana puede considerarse como moderada; por otro lado, el Río Chiquito durante 2024, en el periodo de secas, este estuvo ausente, es decir el régimen hídrico fue irregular; la intervención humana en este caudal es alta, debido a las actividades primarias que se sitúan en el valle.

Durante el periodo 2014-2015, el comportamiento de los tres arroyos estuvo fuertemente asociado a la temporada de lluvias, presentó picos en los meses con mayores precipitaciones (agosto y septiembre) y caudales bajos y estables durante la época seca.

El Ahogado destacó como la fuente de mayor caudal (pico máximo 165 l/s en septiembre), pero todos muestran vulnerabilidad a la variabilidad estacional. Es decir, todos los caudales disminuyen notablemente en octubre y empiezan a estabilizarse en valores menores en los meses subsecuentes (entre 30 y 80 litros/segundo).

Para el buen manejo del sistema de distribución de agua, es fundamental prever reservas o alternativas durante la temporada seca y diseñar estrategias (represas o reservorios) para aprovechar eficientemente el exceso hídrico durante la temporada de lluvias, garantizando así un suministro continuo y estable a lo largo del año.

Durante el periodo 2024-2025, el sistema de abastecimiento de agua basado en estas tres fuentes continuó presentando una fuerte estacionalidad, con importantes variaciones en el caudal durante el año (picos y descensos notables).

El arroyo El Capulín fue el que más aporte hídrico y constante presentó durante la temporada de lluvias (pico máximo 160 l/s en septiembre), mientras que Río Chiquito y El Ahogado tienen picos más marcados y disminuciones rápidas. Desde diciembre 2024 hasta febrero 2025, todos los caudales muestran una disminución o estabilización en niveles bajos de agua, debido a la época seca.

Para la gestión eficiente del agua, es esencial prever almacenamiento durante los picos de caudal para enfrentar períodos con menor disponibilidad y evaluar la dependencia que cada fuente tiene de las condiciones climáticas para garantizar el suministro continuo y confiable durante todo el año.

## **5.4 Análisis integral del agua**

Para mantener la calidad del agua se requiere de un enfoque integral, como:

Proteger las fuentes de agua, usar el recurso con responsabilidad y tratar adecuadamente los residuos. La coordinación entre actores locales, instituciones y usuarios es clave para conservar el agua como bien común y recurso vital.

Aplicar las siguientes buenas prácticas para conservar la calidad del agua como son: la protección de la vegetación ribereña, reducir la erosión y escurrimientos, realizar regularmente monitoreos hidrológicos y ecológicos, manejar adecuadamente la ganadería, prevenir y controlar incendios forestales, manejar de manera comunitaria los residuos y fortalecer la participación comunitaria e institucional.

El análisis integral de las diez muestras de agua permitió identificar variaciones espaciales y temporales en la calidad del recurso, considerando los parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-2021. En general, la mayoría de los sitios presentaron condiciones aceptables para consumo humano, con valores que se mantienen dentro de los límites normativos en parámetros clave como sólidos disueltos totales, sulfatos, nitratos, nitritos y fluoruros. Sin embargo, se detectaron incumplimientos recurrentes en el pH y la turbiedad, principalmente en los muestreos de abril y agosto, lo cual refleja vulnerabilidad a fenómenos estacionales y posibles aportes externos, tanto naturales como antrópicos.

La dureza y la alcalinidad se mantuvieron bajas en la mayoría de los sitios, lo que, si bien no representa un riesgo directo para la salud, sí podría favorecer fenómenos de corrosión en la infraestructura hidráulica. Por otro lado, la presencia de cloruros y variaciones en la conductividad evidencian aportes diferenciales de sales y minerales, en algunos casos asociados a descargas locales o procesos de dilución estacional.

En conjunto, los resultados muestran que, aunque la calidad del agua cumple en su mayoría con los criterios normativos, existen parámetros críticos como pH y turbiedad que requieren atención particular para asegurar la estabilidad y confiabilidad del recurso a lo largo del tiempo.

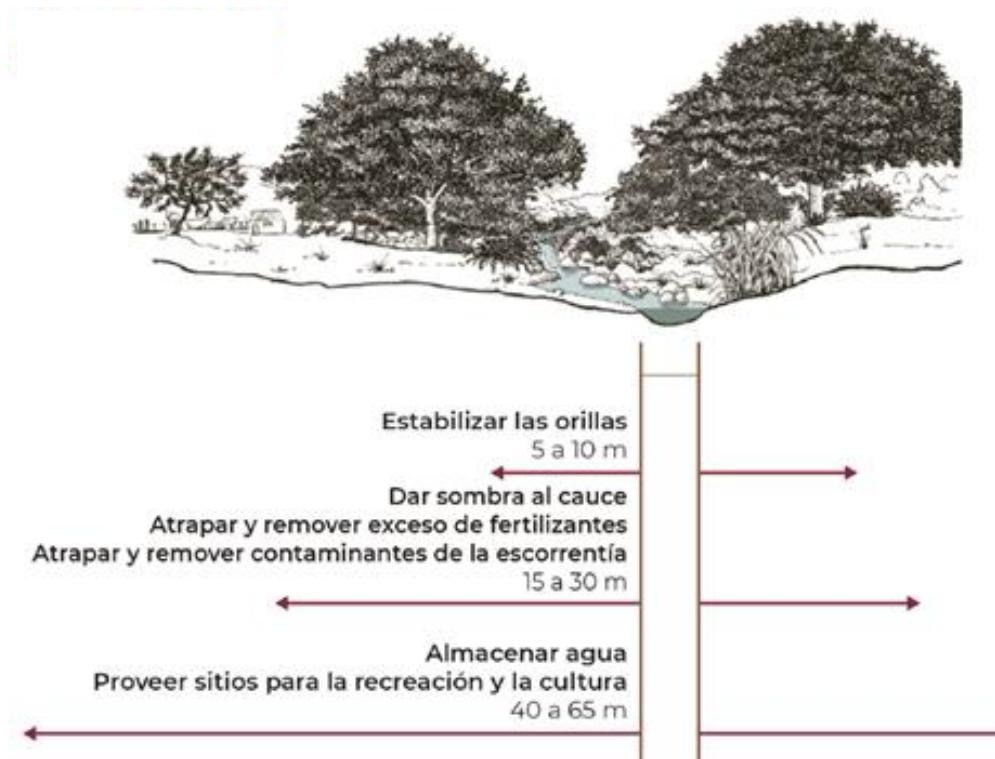
## 6 Recomendaciones

Las recomendaciones buscan mantener un equilibrio hidrológico, garantizar agua suficiente para comunidades y ecosistemas, y prevenir problemas por exceso o escasez de caudales. Cada microcuenca puede tener acciones específicas, pero todas requieren coordinación entre autoridades, usuarios y la sociedad.

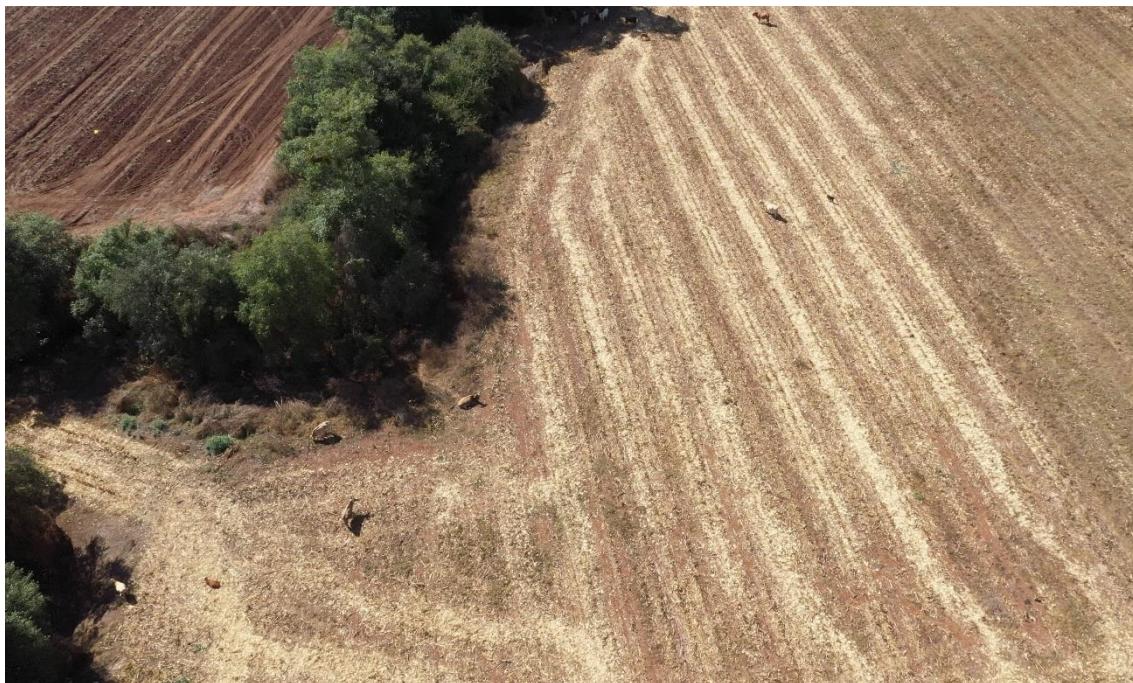
### 6.1 Mejora del estado de las microcuencas y los arroyos

Impacto negativo	Recomendación de mejores prácticas
Desmonte de terreno y tala de árboles; el uso desordenado de los recursos naturales afecta la cantidad y calidad de las cuencas	<p>Las buenas prácticas de manejo y el uso racional de los recursos son la base de los servicios hidrológicos, ecológicos, ambientales, sociales y económicos.</p> <p>Proteger la cobertura forestal y zonas de infiltración; implementar acciones de restauración en cuencas con caudales decrecientes, ejemplo río Chiquito, donde se detectó perdida de vegetación.</p> <p>Promover prácticas de uso responsable para evitar sobreexplotación.</p> <p>Promover la reforestación con especies nativas en áreas de recarga, laderas y zonas riparia (ribera de los ríos), para mejorar la infiltración y reducir la escorrentía superficial.</p> <p>Establecer franjas de amortiguamiento ribereñas de 10–30 metros.</p>
Ausencia de cercas; permiten el paso del ganado, generando contaminación del agua, pérdida de renuevos de plantas y compactación del suelo	<p>Establecer cercas alejadas de la vegetación riparia para permitir su regeneración.</p> <p>Utilizar bebederos para el ganado.</p>
Uso y tala de árboles nativos presentes en la ribera para cercar los costados del cauce	<p>Cercas ubicadas a una distancia mínima de 20 m del cauce, sin utilizar la vegetación nativa.</p> <p>Incentivar cercos vivos y franjas de amortiguamiento a lo largo de los cauces para estabilizar taludes y mitigar la erosión.</p>
Restos de agroquímicos y basura.	En las parcelas con cultivos es importante conservar la buena calidad y cantidad de vegetación ribereña para mantener la humedad del suelo y para permitir que el agua llegue limpia al arroyo, sin residuos de

	<p>fertilizante o químicos que se utilizan en la agricultura.</p> <p>El manejo cuidadoso de los residuos peligrosos: 1) aplicar triple lavado a los envases, 2) perforar envases y almacenar, 3) destinar una adecuada disposición en contenedores, 4) entregar a un centro de acopio.</p>
Desvío del arroyo mediante tubos y represas	<p>El desvío de arroyos mediante tubos y represas implica la alteración del curso natural del agua para propósitos específicos como riego, control de inundaciones u otros aprovechamientos. Este proceso debe ser cuidadosamente planificado para minimizar el impacto ambiental, considerando la flora, fauna y la calidad del agua. La planificación incluye estudios hidrológicos y la evaluación del impacto ambiental para evitar consecuencias negativas en el ecosistema.</p>
Excavación y modificación de la ribera	<p>Evitar la modificación de los cauces y mantener la vegetación de las orillas de los ríos previenen que el suelo se erosione con la lluvia o con las crecientes, reduciendo también la erosión de las parcelas. Esto ocasiona que el agua se mantenga limpia, libre de sedimento.</p>
Restos fecales cercanos al río	<p>Las letrinas ecológicas o baños secos se deben ubicar alejadas a más de 60 metros de distancia de los arroyos o cuerpos de agua. Si las letrinas no están disponibles buscar otro método de tratamiento de aguas residuales como lagunas de oxidación que utiliza procesos biológicos, físicos y químicos para estabilizar la materia orgánica y eliminar contaminantes.</p>
Desmonte y alteración de la vegetación riparia	<p>La vegetación riparia – todas las plantas que rodean a los arroyos – es frágil y delicada por lo que se debe evitar dañarla.</p>
Contaminación del suelo aledaño a arroyos	<p>Un suelo puede almacenar grandes cantidades de agua. También filtra el agua que bebemos y utilizamos para los cultivos.</p>



**Figura 57:** Recomendaciones para cuidar el ancho de las riberas de ríos y arroyos (tomado de Flores Díaz y Maass, 2021).



**Figura 58:** Ganadería y actividad agrícola intensiva cerca de los arroyos ponen en riesgo la calidad del agua.

## 6.2 Condición y mejoras del estado actual en los depósitos

<b>Depósito</b>	<b>Condición</b>	<b>Recomendaciones</b>
Principal La Capilla	<p>El depósito está protegido con una malla ciclónica alta y alambre de púas, lo cual es positivo para evitar el acceso no autorizado</p> <p>Crecimiento excesivo de vegetación (alta densidad de maleza), favorece la proliferación de fauna indeseada. Puede generar problemas de humedad o deterioro de la base</p> <p>Cubierta del depósito ondulado (en periodo de lluvias acumula agua)</p> <p>Al interior, presenta acumulación de tierra en su base (azolve)</p> <p>Al interior, en su techo o cubierta presenta algunas raíces</p>	<p>Dar mantenimiento al cerco de protección</p> <p>Realizar limpieza trimestral de la maleza para mantener libre la base del cerco y los alrededores del depósito</p> <p>Evaluar el estado estructural del depósito (grietas, filtraciones)</p> <p>Incorporar elementos visibles de operación y seguridad: tapas de acceso señalizadas, válvulas, medidores de nivel</p> <p>Colocar señales visibles indicando la función del sitio ("Depósito de agua"), contacto de emergencia, y advertencias de acceso restringido.</p>
2 <sup>do</sup> La Capilla	<p>Depósito de concreto expuesto, sin tapa ni cubierta de protección</p> <p>Las paredes presentan desgaste, manchas de humedad y presencia de algas, indicador de filtraciones y poca limpieza</p> <p>El borde muestra acumulación de musgo y vegetación, lo cual puede afectar la calidad del agua</p> <p>Exposición al medio ambiente, lo que facilita la entrada de polvo, hojas, animales y contaminantes</p> <p>El nivel de agua es bajo, lo que podría asociarse a captación insuficiente, filtraciones, obstrucciones en tubería o desuso parcial</p>	<p>Instalar una cubierta o techo protector</p> <p>Vaciar y limpiar el depósito de forma profunda, retirando sedimentos y algas</p> <p>Aplicar una impermeabilización interna para evitar filtraciones y alargar su vida útil</p> <p>Instalar un cercado de protección perimetral</p> <p>Colocar señalética visible de "Uso exclusivo de agua potable"</p> <p>Revisión general de tubería</p>

	No hay protecciones perimetrales ni señalización	
3 <sup>ro</sup> El Veladero	<p>Depósito de concreto expuesto, sin tapa ni cubierta de protección</p> <p>Las paredes presentan desgaste, manchas de humedad</p> <p>Exposición al medio ambiente, lo que facilita la entrada de polvo, hojas, animales y contaminantes</p>	<p>Instalar una cubierta o techo protector</p> <p>Vaciar y limpiar el depósito de forma profunda, retirando sedimentos y algas</p> <p>Aplicar una impermeabilización interna para evitar filtraciones y alargar su vida útil</p> <p>Colocar señales visibles indicando la función del sitio ("Depósito de agua"), contacto de emergencia, y advertencias de acceso restringido</p>
4 <sup>to</sup> La Loma	<p>Depósito de ladrillo deteriorado y sin recubrimiento</p> <p>La estructura deteriorada, presenta vegetación crecida en su parte superior, grietas en las paredes</p> <p>Está rodeada por un cerco rústico hecho con postes de madera irregulares</p>	<p>Se recomienda evaluar si este depósito conserva funcionalidad hidráulica</p> <p>Se requiere una rehabilitación mayor que incluya reforzamiento estructural, limpieza total, impermeabilización, cercado técnico, y señalización adecuada</p>
5 <sup>to</sup> Barrio Alto	<p>La infraestructura es de ladrillo aparentemente sólida, pero envejecida por exposición al ambiente</p> <p>Presenta musgo y humedad en los muros exteriores, así como posibles filtraciones en la bóveda</p> <p>El sistema de tuberías internas presenta corrosión y oxidación</p> <p>El estado sanitario del depósito es deficiente. El agua almacenada presenta una coloración turbia, lo que sugiere la presencia de materia orgánica, óxidos metálicos o falta de mantenimiento periódico</p> <p>La acumulación de sedimentos y el posible ingreso de</p>	<p>Impermeabilización interna del depósito para evitar filtraciones y mantener la integridad de las paredes</p> <p>Limpieza y desinfección periódica del interior del depósito, con purga de sedimentos</p> <p>Sustitución o mantenimiento de válvulas y tuberías corroídas para mejorar la funcionalidad y prevenir fugas o fallos</p> <p>Rehabilitación del cercado perimetral, incluyendo postes firmes, malla galvanizada y señalética preventiva</p> <p>Manejo de vegetación en el entorno inmediato para evitar erosión y mejorar la captación hídrica</p>

	<p>contaminantes externos representa un riesgo para su uso, sobre todo si se destina para consumo humano</p> <p>El entorno inmediato del depósito está cercado de manera rústica con postes y malla, aunque parcialmente deteriorado</p> <p>Se percibe una falta de control en el crecimiento de vegetación alrededor</p>	
--	---	--

## 6.3 Gestión del agua y monitoreo hidrológico

<b>Impacto negativo</b>	<b>Recomendación de mejores prácticas</b>
En caudales, entorno del ambiente alterado o modificado	Fortalecer la red de monitoreo de caudales con mediciones continuas y comparar series históricas para detectar tendencias y anomalías.
Secuencia de arroyos, represas y reservorios	Establecer planes de uso racional del agua en comunidades y usuarios, priorizando actividades esenciales y fomentando la captación de agua de lluvia.
Falta de supervisión continua en arroyos e instalaciones	Desarrollar indicadores de alerta temprana para detectar caudales críticos y tomar medidas preventivas.
Captación de agua irregular o intermitente	Monitoreo hidrológico y mantenimiento: continuo.
Alteración y contaminación de fuentes de agua	Identificar y cercar nacimientos y manantiales con el fin de que permanezcan libre de posibles contaminantes.
A lo largo de los caudales (cuenca alta y media) se carece de obras como presas de retención de caudal	Recuperar la capacidad de retención de suelo y agua, proteger manantiales y reducir la velocidad del caudal e incrementar la calidad del agua.
Basura a orillas y dentro de los cauces	Mantenimiento y limpieza de cauces: anual.
Las prácticas inadecuadas en las áreas aledañas a los arroyos, como la falta de franjas de vegetación en los cauces, la falta de vallado en las zonas de pastoreo de ganado, la compactación del suelo, la cercanía de los caminos, la contaminación de los cuerpos de agua (heces fecales de ganado, basura o	Son varias las medidas de protección para prevenir impactos nuevos:  Reforestar y mantener franjas amplias de vegetación nativa a lo largo de los cauces para estabilizar las orillas, reducir la erosión, filtrar contaminantes y mejorar la calidad del agua.  Delimitar y proteger zonas ribereñas para permitir la regeneración natural y evitar la expansión de actividades agrícolas, ganaderas

<p>desperdicios, escorrentías de agroquímicos) reducen la función protectora que la vegetación riparia cumple y conlleva la pérdida de la calidad del agua.</p>	<p>o de construcción cerca del cauce. Esto incluye evitar caminos e infraestructura aledaños que compacten el suelo o alteren el equilibrio hidrológico.</p> <p>Implementar cercas para controlar el acceso del ganado a los arroyos y sus márgenes, evitando la contaminación directa por excrementos y la compactación del suelo en las riberas.</p> <p>Aplicar prácticas agroecológicas que mejoren la infiltración, como el manejo adecuado del ganado (rotación de pasturas) y evitar maquinaria pesada cerca de los cauces que cause compactación.</p> <p>Implementar un sistema para la disposición adecuada de basura y residuos, así como un manejo responsable y controlado de agroquímicos, para evitar que escorrentías contaminen los cauces.</p> <p>Realizar inspecciones periódicas para detectar signos de degradación, erosión o contaminación y aplicar medidas correctivas oportunas.</p>
---	--

## 6.4 Ordenamiento territorial y control de actividades humanas

Impacto negativo	Recomendación de mejores prácticas
Cultivos protegidos cercanos a cauces o cuerpos de agua	Regular la urbanización en zonas de recarga y establecer zonas de restricción para construcciones o cultivos intensivos cerca de ríos, manantiales y nacimientos.
Sobreexplotación de acuíferos y caudales	Diseñar programas de inspección y vigilancia para reducir la extracción ilegal de agua o desviaciones que alteren el caudal natural.
Agricultura intensiva	Promover buenas prácticas agrícolas (agricultura de conservación, terrazas, barreras vivas) para evitar la compactación de suelos y pérdida de infiltración.
Se carece de un manejo integral de las microcuencas	Las microcuencas enfrentan presiones importantes por cambio climático, sobreexplotación de acuíferos, lo que impacta la recarga natural de ríos y arroyos.
Expansión agrícola	Controlar usos de suelo: evitar expansión urbana o agrícola en zonas clave (caso arroyo El Ahogado)

## 6.5 Educación ambiental y participación comunitaria

<b>Impacto negativo</b>	<b>Recomendación de mejores prácticas</b>
Reforzar la educación ambiental	Realizar talleres y campañas para sensibilizar a la población local sobre la relación entre cobertura vegetal, infiltración y disponibilidad de agua.
Falta de interés comunitaria para la atención de eventualidades medio ambientales de interés común	Promover la participación de ejidos, comunidades y autoridades municipales en la vigilancia y restauración de zonas clave.
Nulo interés en adoptar programas de apoyo gubernamental	Incentivar programas de pago por servicios ambientales para quienes protejan o restauren áreas de recarga.  Promover y estimular a miembros del ejido con la capacitación y formación como Promotores Comunitarios ante la CONAFOR y a participar en otros programas como el de Conservación para el Desarrollo Sustentable (PROCODES)
Desinformación y falta de participación	Implementar acuerdos comunitarios para uso racional del agua.
Problemas técnicos y falta de gestión	Realizar mantenimiento de caminos rurales.  Capacitar a la comunidad para detectar fugas, desviaciones o contaminación.
Falta de interés en acceder a programas gubernamentales	Promover y estimular a miembros del ejido con la capacitación y formación como Promotores Comunitarios ante la CONAFOR  Procurar la inserción en los sistemas de financiamiento que esté en funcionamiento para la región, como el pago por servicios ambientales y otros a través de los programas gubernamentales de la CONAFOR, CONANP, entre otras instancias de carácter oficial y no oficial; como Pago por Servicios Ambientales (PSA), Programa de Conservación para el Desarrollo Sustentable (PROCODES)
Perdida de agua por falta de mantenimiento y condiciones de infraestructura de ductos y depósitos	Gestión municipal a través del OPD Sierra de Quila y CONAGUA para el apoyo de una mejora de infraestructura en la canalización y almacenamiento del agua que abastece al poblado de Quila El Grande, así como negociar la reducción de manera porcentual del pago del servicio como un compensatorio ambiental
Falta de manejo de aguas residuales	Gestión municipal a través del OPD Sierra de Quila y CONAGUA para el apoyo de establecer

	un humedal para la captación y tratamiento de aguas residuales en el poblado de Quila El Grande
--	---

## 6.6 Investigación y adaptación al cambio climático

<b>Impacto negativo</b>	<b>Recomendación de mejores prácticas</b>
Se carece de estudios integrales y estudios de monitoreo de los recursos hidrológicos a corto, mediano y largo plazo	Impulsar estudios específicos sobre la recarga subterránea, cambios en la precipitación y su impacto en cada río.
Se carece de plan de monitoreo hidrológico permanente	Diseñar estrategias de adaptación al cambio climático y de vulnerabilidad para prevenir inundaciones o sequías extremas, especialmente en sitios con mayor variabilidad.
Falta de vinculación permanente con instituciones académicas o de investigación	Fomentar convenios entre instituciones académicas, municipios y usuarios para implementar soluciones basadas en la dinámica de la naturaleza.
Reducción de la función del suelo como reserva de carbono relacionado a cambio de uso del suelo y prácticas agrícolas intensivas, compactación del suelo y contaminación	El suelo constituye una gran reserva de carbono y con ello contribuye a la adaptación al cambio climático.



## 7 Bibliografía

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2003). *Resumen de salud pública - Fluoruros, fluoruro de hidrógeno y flúor*. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_ph11.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph11.html)
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3rd ed.). Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Azuz-Adeath, I., Arredondo-García, C., Espejel, I., Rivera-Arriaga, E., Seinger, G., & Fermán, J. L. (2010). Propuesta de indicadores de la red mexicana de manejo integrado costero-marino. *Cambio climático en México: un enfoque costero y marino*. UAC, CETYS-Universidad, Gobierno del Estado de Campeche, Campeche, 901-994.
- Becerra Moreno, M. A. (2005). *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Brizuela-Torres, D., Villavicencio-García, R., Ruiz-Corral, J. A., & Cuervo-Robayo, A. P. (2023). Effects of climate change on the potential distribution of a dominant, widely distributed oak species, *Quercus candicans*, in Mexico. *Atmósfera*, 37, 455-473. <https://doi.org/10.20937/ATM.53182>
- Cabrera, M. E., Hernández, G. D. L., Gómez, R. H., & Cañizares, M. M. D. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química Mexicana*, 47(1), 88-92. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932003000100014](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014)
- Carbotecnia. (2024, 20 de noviembre). *Dureza del agua o agua dura: ¿qué es y cómo se mide?* <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/significado-de-la-dureza-total-del-agua/>
- Chavarría Márquez, E. Y., Huamani Astocaza, L. L., Cusiche Huamaní, M. L., Sáez Huamán, W., Ángeles Suazo, J. M., & Basurto Contreras, C. M. (2024). Sólidos totales disueltos en agua superficial para consumo humano en San Juan de Pillo, Perú. *Revista Alfa*, 8(24), 870-881. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.310>
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology: A compendium of water-resources technology*. McGraw-Hill.

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019, 28 de abril). *Obras de captación superficiales*. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/sgapds-1-15-libro7.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019, 22 de agosto). *Sistema de Información Hidrológica (SIH)*. <https://sih.conagua.gob.mx/>
- Cornell Laboratorio de Ornitología. (2025, 8 de junio). *Merlin Bird ID*. <https://merlin.allaboutbirds.org/>
- Cristóbal, V. R., Santiago, P. A. L., Villavicencio, G. R., Castillo, J., & Morales, A. C. (2015, 23-27 de noviembre). *El bosque de galería en dos microcuencas al norte del Área Protegida Sierra de Quila, Jalisco* [Discurso]. XII Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Ixtapan de la Sal, Estado de México.
- Escobar Ibáñez, J. F. (2011). *Distribución altitudinal de la avifauna del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila, Jalisco, México* [Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara, CUCBA].
- Escobar Ibáñez, J. F., Rosas Espinoza, V. C., Santiago Pérez, A. L., Barragán Farías, K. A., Villarreal Méndez, J. & Domínguez Laso, M. (2016). Seis registros nuevos de aves endémicas en Sierra de Quila, Jalisco. *Huitzil*, 17(1), 8-17.
- Flores Díaz, A. & Maass, M. (2021). *¿En qué nos beneficia cuidar las riberas de ríos y arroyos?*
- FMCN, CONAFOR, USAID & USFS. (2018a). *Manual para muestrear la vegetación en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas*. BIOCOMUNI Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad. Comisión Nacional Forestal-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
- FMCN, CONAFOR, USAID & USFS. (2018b). *Manual para muestrear la fauna en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas*. BIOCOMUNI Monitoreo Comunitario de la Biodiversidad. Comisión Nacional Forestal-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
- Gay, C., Estrada Porrúa, F., Conde, A. C., & Eakin, H. (2004). Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (Méjico).
- Guerrero Nuño, J. J., & López Coronado, G. A. (1997). *La vegetación y la flora de la Sierra de Quila, Jalisco, México*. Universidad de Guadalajara.
- Google Inc. (2004). *Google Earth* [Software en línea]. Recuperado de <http://www.google.com/earth>
- González del Tánago, M. & García de Jalón, D. (2011). Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica*, 30(2), 235-254.
- IIEG. (2024). *Edafología. Conjunto de datos vectoriales, escala 1:50,000*. Recuperado de [https://iieg.gob.mx/ns/?page\\_id=1227](https://iieg.gob.mx/ns/?page_id=1227) (Consultado el 15 de octubre de 2024)
- iNaturalist México. (2025). *NaturalistMX*. Recuperado de <https://www.naturalist.mx> (Consultado el 11 de mayo de 2025)

- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- ISSSTE. (2018, 13 de julio). El equilibrio del pH en el organismo. *Gobierno de México*. Recuperado de <https://www.gob.mx/issste/articulos/el-equilibrio-del-ph-en-el-organismo> (Consultado el 15 de agosto de 2025)
- Leopold, S. A. (1950). Vegetation zones of Mexico. *Ecology*, 31(3), 507–518.
- López Cadenas de Llano, F., & Mintegui, J. A. (1986). Hidrología de superficie. vol. I. *Fundación Conde Valle de Salazar. ETSI de Montes. Madrid*.
- Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O., & Gay, C. (2000). Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. México.
- Martínez-Austria, P. F., & Patiño-Gómez, C. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(1), 5-20.
- Martínez de Bascárran, G. (1979). Establecimiento de una metodología para conocer la calidad del agua. *Boletín Informativo del Medio Ambiente*, 9, 30–51. CIMA, MOPU, Madrid.
- Martínez, M. F., & Osnaya, P. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Mendoza Cariño, M., Quevedo Nolasco, A., Bravo Vinaja, Á., Flores Magdaleno, H., De la Isla de Bauer, M. de L., Gavi Reyes, F. & Zamora Morales, B. P. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva Ley General de Aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(4), 429–436. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992014000400010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000400010)
- Miranda, F. G. & Hernández, X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 29, 29–179.
- Moreno Arzate, E., Iñiguez Dávalos, L. I., Servín, J., Ramírez Martínez, M. M., Ribeiro, M. C. & Sevilla, R. (2022). First record of jaguar (*Panthera onca*) and potential prey species in Sierra de Quila, Jalisco, Mexico. *Western North American Naturalist*, 82(1), 159–166.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747–756.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Directrices para la calidad del agua potable* (4<sup>a</sup> ed., con actualizaciones de 2017). OMS. Recuperado de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Guías para la calidad del agua potable: Cuarta edición que incorpora la primera adenda* [Guía]. OMS. Recuperado

de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf>  
(Consultado el 20 de marzo de 2025)

- Ortiz Arrona, C. I. (2019). *Los corredores ribereños en la cuenca del río Ayuquila Armería en México: Vegetación ribereña y calidad de las riberas* (171 p.). Universidad de Guadalajara, CUCSUR.
- Peñuelas, J., Sabaté, S., Filella, I., & Gracia, C. (2004). Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 425-460.
- Pérez Rodríguez, R. & Rodríguez Sánchez, C. (2006). Morfometría de cuencas hidrográficas: una herramienta útil en la caracterización de cuencas. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 24(2), 11-20.
- Racca, J. M. G. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 77(1-2): 31-38.
- Ramírez Martínez, M. M., Iñiguez Dávalos, L. I. & Ibarra, M. P. (2014). Carnívoros del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila, Jalisco. *Therya*, 5(2), 437-448.
- Ramírez Martínez, M. M. & Ruan, I. (2010). *Diversidad de mamíferos pequeños en diferentes tipos de vegetación de la Sierra de Quila* [Informe técnico]. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara.
- Razo León, E. Á. (2015). *Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) y sus interacciones con la flora en la Sierra de Quila, Tecolotlán, Jalisco* [Tesis de licenciatura].
- Rodríguez, M. & Rosales, J. (2004). Cobertura de la tierra, usos asociados y análisis de paisaje en el corredor ribereño bajo Orinoco. En *Memorias del Congreso de Geografía* (Vol. 9, Núm. 23, pp. 15-23). Universidad Nacional Experimental de Guayana.
- Rosas Espinoza, V. C., Escobar Ibáñez, J. F., Santiago Pérez, A. L. & Villavicencio García, R. (2011). Distribución altitudinal de las aves en el Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de Quila. En R. Villavicencio García, A. L. Santiago Pérez, V. C. Rosas Espinoza & L. Hernández López (Coords.), *Memorias I Foro de conocimiento, uso y gestión del Área Natural Protegida Sierra de Quila* (1<sup>a</sup> ed.). Orgánica Editores – Universidad de Guadalajara.
- Ruiz Corral, J. A., Medina García G., Rodríguez Moreno V. M., Sánchez González J. de J., Villavicencio García R., Durán Puga N., Grageda Grageda, J., & García Romero G. E. (2017). Regionalización del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (13), 2451-2464.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.460>
- Ruiz Corral, J. A., Contreras Rodríguez, S. H., García Romero, G. E. & Villavicencio García, R. (2021). Climas de Jalisco según el sistema Köppen-García con ajuste por vegetación potencial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 805-821.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2988>

Sánchez Colón, S., Martínez, A. F., Cruz-Leyva, I. A., & Velázquez, A. (2008). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. II Estudio de país. CONABIO, México.

Santiago Pérez, A. L., Domínguez Laso, M., Rosas Espinoza, V. C. & Rodríguez Canseco, J. M. (Coords.) (2012). *Anfibios y reptiles de las montañas de Jalisco: Sierra de Quila* (1<sup>a</sup> ed., 228 p.). Orgánica Editores – CONABIO.

Santiago Pérez, A. L., Rosas Espinoza, V. C., Ayón, A. E., Rodríguez C., J. M. & Domínguez Laso, M. (2024). *Ambystoma flavipiperatum. Ajolote de Chapala*. En G. Ceballos, G. Santos Barrera & L. Canseco Márquez (Eds.), *Anfibios y reptiles de México en peligro de extinción* (Vol. I: Anfibios). Editorial Porrúa.

Santiago Pérez, A. L., Villavicencio García, R., Ayón, A. E., Rosas Espinoza, V. C. & Toledo, S. L. (2011). El bosque de galería: protector de los arroyos de la Sierra de Quila. En R. Villavicencio García, A. L. Santiago Pérez, V. C. Rosas Espinoza & L. Hernández López (Coords.), *Memorias I Foro de conocimiento, uso y gestión del Área Natural Protegida Sierra de Quila*. Universidad de Guadalajara.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1981). NMX-AA-071-1981. *Análisis de agua – Determinación de cloruros – Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1981). NMX-AA-074-1981. *Análisis de agua – Determinación de sulfatos – Método gravimétrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2000). NMX-AA-093-SCFI-2000. *Análisis de agua – Determinación de nitritos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método espectrofotométrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). NMX-AA-034-SCFI-2001. *Análisis de agua – Determinación de dureza total en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método volumétrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). NMX-AA-038-SCFI-2001. *Análisis de agua – Determinación de sulfatos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método turbidimétrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). NMX-AA-072-SCFI-2001. *Análisis de agua – Determinación de fosfatos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método colorimétrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). NMX-AA-073-SCFI-2001. *Análisis de agua – Determinación de fluoruro en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método del electrodo ión selectivo*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). NMX-AA-077-SCFI-2001. *Análisis de agua – Determinación de pH – Método electrométrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). NOM-AA-079-SCFI-2001. *Análisis de agua – Determinación de color verdadero, color aparente y turbiedad – Métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015. *Análisis de agua – Determinación de alcalinidad total, fenolftaleína y bicarbonatos – Método volumétrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- Secretaría de Economía. (2021). NMEX-AA-099-SCFI-2021. *Análisis de agua – Determinación de sólidos suspendidos totales, fijos, volátiles, sedimentables y disueltos totales – Método de prueba*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2001). NMX-AA-036-2001. *Análisis de agua – Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método espectrofotométrico*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- Secretaría de Salud. (2021). NOM-127-SSA1-2021. *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/>
- SEMARNAT. (2019). *Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019)
- SGM. (2021). Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/#> (Consultado el 6 de mayo de 2025)
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A. & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35–46. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117–1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En V. T. Chow (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology* (pp. 439–476). McGraw-Hill.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *National Primary Drinking Water Regulations*. Washington, D.C.: EPA. Recuperado de <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>

Vargas, L. B. (2013). *Manual de mejores prácticas de manejo forestal para la conservación de la biodiversidad en ecosistemas templados de la región norte de México* (87 pp.). CONAFOR.

Vázquez-Bojórquez, C., López-Verdín, S., Villanueva-Arriaga, R., Castañeda-Castaneira, E., Juárez-López, M. L. A. & Molina-Frechero, N. (2022). Fluoruros en agua de consumo al norte y occidente de México [Fluorides in water for consumption in northern and western Mexico]. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 60(2), 179–187. Recuperado de <https://PMC10396015/>

Villavicencio, G. R., Ávila, C. R., Treviño, G. E. & Muñiz, C. M. A. (2016). Cartografía de la cobertura vegetal y uso actual del suelo de la Sierra de Quila, Jalisco, México. En C. Alatorre et al. (Eds.), *Estudios territoriales en México: Percepción remota y sistemas de información espacial*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Villavicencio, G. R., Saura, M. de T., S., Santiago, P. A. L. & Chávez, H. A. (2009). La conectividad forestal de las áreas protegidas del estado de Jalisco con otros ambientes naturales. *Scientia CUCBA*, 11(1), 43–50.



## 8 Anexos

### 8.1 Evaluación de la biodiversidad (2024)

**Tabla 43.** Registro de especies de aves en los arroyos El Ahogado y El Capulín durante febrero-agosto 2024.

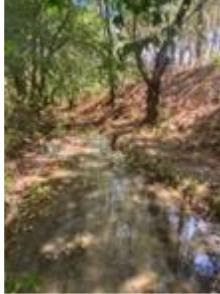
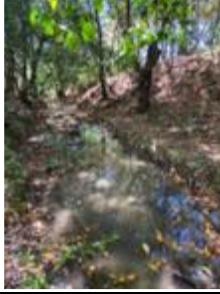
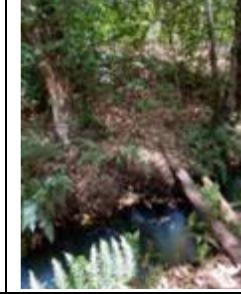
Nombre científico	Nombre común
<i>Anas diazi</i>	Pato mexicano
<i>Ardea alba</i>	Garza blanca
<i>Ardea ibis</i>	Garza ganadera occidental
<i>Arremonops rufivirgatus</i>	Rascador oliváceo
<i>Attila spadiceus</i>	Mosquero atila
<i>Buteo brachyurus</i>	Aguililla cola corta
<i>Buteogallus anthracinus</i>	Aguililla negra mayor
<i>Caracara plancus</i>	Caracara quebrantahuesos
<i>Cathartes aura</i>	Zopilote aura
<i>Catharus aurantiirostris</i>	Zorzal pico naranja
<i>Catharus guttatus</i>	Zorzal cola canela
<i>Certhia americana</i>	Trepadorcito americano
<i>Charadrius vociferus</i>	Chorlo tildío
<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión arlequín
<i>Circus hudsonius</i>	Gavilán rastreo
<i>Columbina inca</i>	Paloma de collar
<i>Contopus pertinax</i>	Papamosca José María
<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote común
<i>Corvus corax</i>	Cuervo común
<i>Dryobates arizonae</i>	Carpintero de Arizona
<i>Dryobates scalaris</i>	Carpintero mexicano
<i>Empidonax fulvifrons</i>	Papamoscas pecho canela
<i>Empidonax minimus</i>	Papamoscas chico
<i>Geococcyx californianus</i>	Correcaminos norteño
<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón mexicano
<i>Icterus pustulatus</i>	Calandria dorso rayado
<i>Leiothlypis celata</i>	Chipe oliváceo
<i>Lepidocolaptes leucogaster</i>	Trepatorcos mexicano
<i>Melanerpes formicivorus</i>	Carpintero bellotero
<i>Melanotis caerulescens</i>	Mulato
<i>Mitrephanes phaeocercus</i>	Papamoscas copetón
<i>Myadestes occidentalis</i>	Clarín jilguero
<i>Myiozetetes similis</i>	Luisito común
<i>Oreothlypis superciliosa</i>	Chipe cejas blancas
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión doméstico
<i>Passerina caerulea</i>	Picogordo azul
<i>Parkesia motacilla</i>	Chipe arroyero
<i>Patagioenas fasciata</i>	Paloma encinera
<i>Peucaea botterii</i>	Zacatonero de Botteri
<i>Piranga flava</i>	Piranga encinera
<i>Piranga ludoviciana</i>	Piranga capucha roja
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Luis bienteveo

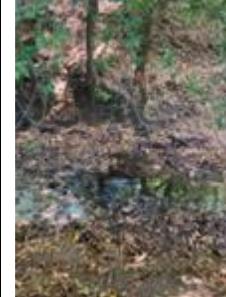
<i>Polioptila caerulea</i>	Perlita azulgris
<i>Ptiliogonyx cinereus</i>	Capulinero gris
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas cardenalito
<i>Sayornis nigricans</i>	Papamoscas negro
<i>Setophaga coronata</i>	Chipe rabadilla amarilla
<i>Setophaga graciae</i>	Chipe cejas amarillas
<i>Setophaga townsendi</i>	Chipe de Townsend
<i>Sialia sialis</i>	Azulejo garganta canela
<i>Spinus notatus</i>	Jilguerito encapuchado
<i>Spinus psaltria</i>	Jilguerito dominico
<i>Spizella passerina</i>	Gorrión cejas blancas
<i>Sporophila torqueola</i>	Semillero rabadilla canela
<i>Sturnella magna</i>	Pradero tortillaconchile
<i>Thryomanes bewickii</i>	Saltapared cola larga
<i>Thyophilus sinaloa</i>	Saltapared sinaloense
<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuitlacoche
<i>Troglodytes aedon</i>	Saltapared común norteño
<i>Trogon elegans</i>	Coa elegante
<i>Turdus assimilis</i>	Mirlo garganta blanca
<i>Turdus migratorius</i>	Mirlo primavera
<i>Turdus rufopalliatus</i>	Mirlo dorso canela
<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano chibíu
<i>Tyto furcata</i>	Lechuza americana
<i>Vireo huttoni</i>	Vireo reyezuelo
<i>Volatinia jacarina</i>	Semillero brincador
<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma alas blancas

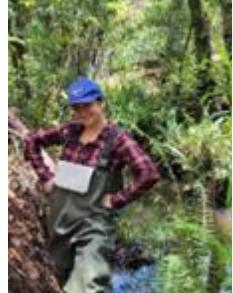
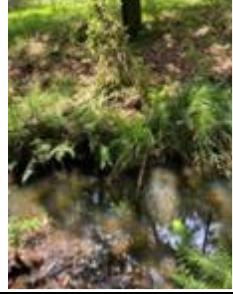
## **8.2 Memoria fotográfica de los registros de caudal y aforo de depósitos durante el período 2024 - 2025**

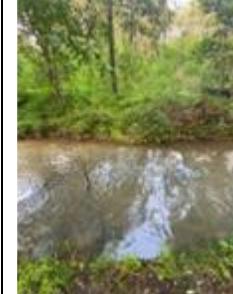
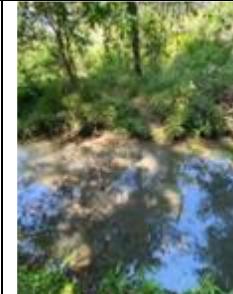
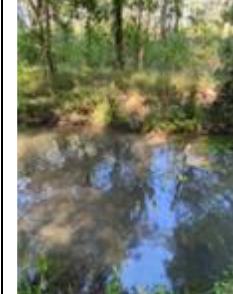
Con el objetivo de complementar la información recolectada durante el trabajo de campo en las dos microcuencas, a continuación, se presenta un registro fotográfico de los puntos de muestreo en caudales y depósitos (Tabla 44 y Tabla 45), el cual permite visualizar las características del área, como las condiciones ambientales, la cobertura vegetal y el estado hidrológico de cada sitio por fecha de medición. Las imágenes fueron capturadas en hojas de registros digitales a través de la aplicación Epicollect5 o bien, de manera foto-documentada por Ofelia Quintero Almodóvar, Alma Sugey Portillo Mejía y Raymundo Villavicencio García.

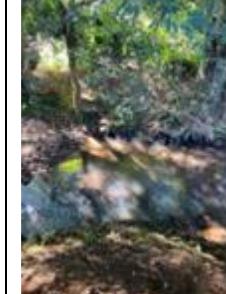
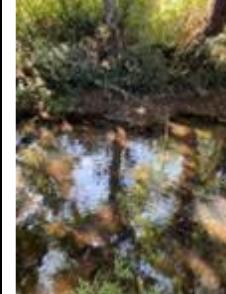
**Tabla 44.** Registro fotográfico del levantamiento de datos en el Río Chiquito, los arroyos El Ahogado–El Capulín, Paraje La Junta y el Río Grande durante el periodo febrero 2024-marzo 2025 (S/R:Sin registro).

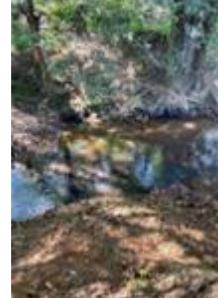
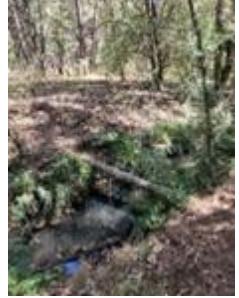
Fecha	Río Chiquito	Arroyo El Ahogado	Arroyo El Capulín	La Junta	Río Grande
24 feb 2024 25 feb 2024 (El Capulín, La Junta)					S/R
18 mar 2024 19 mar 2024 (El Ahogado, El Capulín, La Junta)					S/R
04 abr 2024					S/R

22 abr 2024					S/R
27 abr 2024	S/R				S/R
16 may 2024	S/R				S/R
12 jun 2024	S/R				S/R

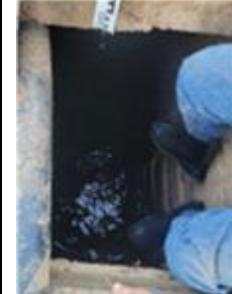
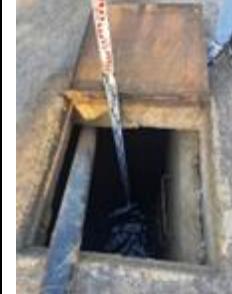
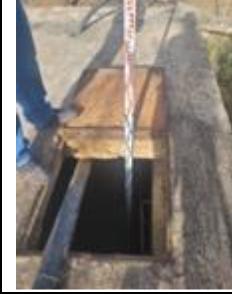
29 jun 2024					S/R
20 jul 2024 22 jul 2024 (Río Grande)					
05 ago 2024					
24 ago 2024 28 ago 2024 (Río Grande)					

18 sep 2024 19 sep 2024 (El Ahogado, La Junta, Río Grande)					
30 sep 2024					
19 oct 2024					
09 nov 2024					

01 dic 2024 02 dic 2024 (Río Grande)					
18 dic 2024					
06 ene 2025					
18 ene 2025					S/R

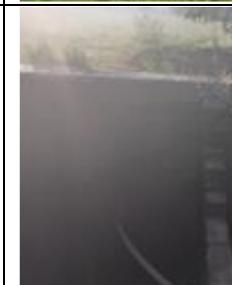
08 feb 2025	S/R	S/R			
22 feb 2025					
08 mar 2025	S/R				

**Tabla 45.** Registro fotográfico del levantamiento de datos en los depósitos durante el periodo febrero 2024-marzo 2025 (S/R: Sin registro).

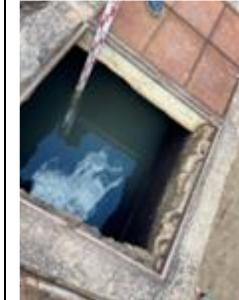
Fecha	Deposito Principal La Capilla	Deposito 2 <sup>do</sup> La Capilla	Deposito 3 <sup>ro</sup> El Veladero	Deposito 4 <sup>to</sup> La Loma	Deposito 5 <sup>to</sup> Barrio Alto
24 feb 2024 25 feb 2024 (La Loma) 02 mar 2024 (Barrio Alto)					
18 mar 2024				S/R	
05 abr 2024					

22 abr 2024 23 abr 2024 (El Veladero, La Loma)					
27 abr 2024					
16 may 2024					
13 jun 2024					

04 jul 2024					
22 jul 2024					
05 ago 2024 06 ago 2024 (El Veladero, La Loma, Barrio Alto)		S/R			
24 ago 2024					

18 sep 2024					
30 sep 2024					
19 oct 2024					
10 nov 2024					

03 dic 2024					
07 ene 2025					
18 ene 2025					
08 feb 2025 09 feb 2025 (El Veladero)				S/R	

22 feb 2025					
08 mar 2025					

## 8.3 Parámetros y cálculo del índice de calidad del agua (ICA) 2024-2025

**Tabla 46.** Parámetros e ICA para las muestras de agua previo al temporal de lluvias (24 abril 2024).

M2	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	6.24	50	1	50
Conductividad	424	100	4	400
Turbiedad	2.16	90	3	270
Dureza total	16	100	1	100
Cloruros	9.92	100	1	100
TDS	226	100	2	200
Sulfatos	0	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	<0.005	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	0.2	100	2	200
Fluoruros	0.34	60	3	180
Coliformes Totales	230	100	3	300
	TOTAL		24	2200
K=	0.75	ICA=	68.75	
M7	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	6.3	50	1	50
Conductividad	497	100	4	400
Turbiedad	7.74	70	3	210
Dureza total	14	100	1	100
Cloruros	7.94	100	1	100
TDS	265	90	2	180
Sulfatos	1	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.005	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	1.1	90	2	180
Fluoruros	0.43	50	3	150
Coliformes Totales	40	100	3	300
	TOTAL		24	2050
K=	0.75	ICA=	64.0625	
M8	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	5.5	40	1	40
Conductividad	717	100	4	400
Turbiedad	2.52	90	3	270
Dureza total	30	100	1	100
Cloruros	5.95	100	1	100
TDS	382	90	2	180
Sulfatos	0	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.02	80	2	160
Nitrógeno de Nitrato	0.7	100	2	200
Fluoruros	0.36	60	3	180
Coliformes Totales	230	100	3	300
	TOTAL		24	2130
K=	0.75	ICA=	66.5625	
M9	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	6.32	50	1	50

M5	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	5.52	40	1	40
Conductividad	412	100	4	400
Turbiedad	11.82	50	3	150
Dureza total	12	100	1	100
Cloruros	5.95	100	1	100
TDS	221	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	<0.005	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	1	90	2	180
Fluoruros	0.32	60	3	180
Coliformes Totales	43	100	3	300
		TOTAL	24	2050
K=	0.75	ICA=	64.0625	
Conductividad	732	100	4	400
Turbiedad	2.92	90	3	270
Dureza total	22	100	1	100
Cloruros	9.92	100	1	100
TDS	388	90	2	180
Sulfatos	0	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.007	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	-0.4	100	2	200
Fluoruros	0.3	60	3	180
Coliformes Totales	230	100	3	300
		TOTAL	24	2160
K=	0.75	ICA=	67.5	
M10	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.24	100	1	100
Conductividad	1103	90	4	360
Turbiedad	44.99	30	3	90
Dureza total	40	100	1	100
Cloruros	35.98	90	1	90
TDS	588	80	2	160
Sulfatos	28	90	2	180
Nitrógeno de Nitritos	0.1	50	2	100
Nitrógeno de Nitrato	10.4	40	2	80
Fluoruros	0.12	100	3	300
Coliformes Totales	0	0	3	0
		TOTAL	24	1560
K=	0.75	ICA=	48.75	

**Tabla 47.** Parámetros e ICA para las muestras de agua durante el temporal de lluvias (25 agosto 2024).

M1	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.47	100	1	100
Conductividad	276	100	4	400
Turbiedad	10.37	50	3	150
Dureza total	8	100	1	100
Cloruros	39.7	90	1	90
TDS	147	100	2	200
Sulfatos	4	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.008	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	1.2	90	2	180
Fluoruros	1.52	0	3	0
Coliformes Totales	240	100	3	300
	TOTAL		24	1900
K=	0.75	ICA=	59.375	
M2	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.41	100	1	100
Conductividad	328	100	4	400
Turbiedad	6.3	70	3	210
Dureza total	12	100	1	100
Cloruros	3.99	100	1	100
TDS	176	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.006	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	1.1	90	2	180
Fluoruros	0.17	90	3	270
Coliformes Totales	92	100	3	300
	TOTAL		24	2240
K=	K=0.75	ICA=	70	
M3	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	6.98	50	1	50
Conductividad	235	100	4	400
Turbiedad	3.21	90	3	270
Dureza total	11	100	1	100
Cloruros	7.99	100	1	100
TDS	133	100	2	200
Sulfatos	1	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.005	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	0.05	100	2	200
Fluoruros	0.02	100	3	300
Coliformes Totales	39	100	3	300
	TOTAL		24	2300
K=	K=0.75	ICA=	71.875	
M4	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.5	100	1	100
Conductividad	351	100	4	400
Turbiedad	14.55	50	3	150
Dureza total	14	100	1	100
Cloruros	19.99	100	1	100
TDS	192	100	2	200
Sulfatos	3	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.009	90	2	180

Nitrógeno de Nitrato	4.1	70	2	140
Fluoruros	0.17	90	3	270
Coliformes Totales	39	100	3	300
		TOTAL	24	2140
K=	0.75	ICA=	66.875	
M5	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	5.25	40	1	40
Conductividad	318	100	4	400
Turbiedad	8.14	60	3	180
Dureza total	14	100	1	100
Cloruros	5.99	100	1	100
TDS	173	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.005	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	2.8	80	2	160
Fluoruros	0.32	60	3	180
Coliformes Totales	23	100	3	300
		TOTAL	24	2040
K=	0.75	ICA=	63.75	
M7	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.18	100	1	100
Conductividad	308	100	4	400
Turbiedad	18.94	50	3	150
Dureza total	12	100	1	100
Cloruros	35.73	90	1	90
TDS	164	100	2	200
Sulfatos	5	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.035	70	2	140
Nitrógeno de Nitrato	2.4	80	2	160
Fluoruros	0.09	100	3	300
Coliformes Totales	240	100	3	300
		TOTAL	24	2140
K=	0.75	ICA=	66.875	
M8	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.33	100	1	100
Conductividad	279	100	4	400
Turbiedad	33.13	30	3	90
Dureza total	10	100	1	100
Cloruros	9.99	100	1	100
TDS	153	100	2	200
Sulfatos	12	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.005	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	2	80	2	160
Fluoruros	0.03	100	3	300
Coliformes Totales	39	100	3	300
		TOTAL	24	2130
K=	0.75	ICA=	66.5625	
M9	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	6.96	60	1	60
Conductividad	297	100	4	400
Turbiedad	10.53	50	3	150
Dureza total	12	100	1	100
Cloruros	39.7	90	1	90
TDS	157	100	2	200

Sulfatos	3	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.008	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	0.9	100	2	200
Fluoruros	0.08	100	3	300
Coliformes Totales	28	100	3	300
		TOTAL	24	2180
K=	0.75	ICA=	68.125	
M10	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.5	100	1	100
Conductividad	624	100	4	400
Turbiedad	11.31	50	3	150
Dureza total	26	100	1	100
Cloruros	19.99	100	1	100
TDS	332	90	2	180
Sulfatos	3	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.029	70	2	140
Nitrógeno de Nitrato	3.2	80	2	160
Fluoruros	0.05	100	3	300
Coliformes Totales	11000	10	3	30
		TOTAL	24	1860
K=	0.75	ICA=	58.125	

**Tabla 48.** Parámetros e ICA para las muestras de agua posterior al temporal de lluvias (10 febrero 2025).

M1	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.25	100	1	100
Conductividad	330	100	4	400
Turbiedad	7.13	70	3	210
Dureza total	14	100	1	100
Cloruros	9.926	100	1	100
TDS	175	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.039	70	2	140
Nitrógeno de Nitrato	0.1	100	2	200
Fluoruros	0.14	100	3	300
Coliformes Totales	210	100	3	300
	TOTAL		24	2250
K=	0.75	ICA=	70.3125	
M2	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.29	100	1	100
Conductividad	364	100	4	400
Turbiedad	1.59	100	3	300
Dureza total	14	100	1	100
Cloruros	7.9408	100	1	100
TDS	194	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.001	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	-0.3	100	2	200
Fluoruros	0.2	80	3	240
Coliformes Totales	1100	80	3	240
	TOTAL		24	2280
K=	0.75	ICA=	71.25	
M3	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	6.42	50	1	50
Conductividad	296	100	4	400
Turbiedad	4.01	80	3	240
Dureza total	20	100	1	100
Cloruros	11.9112	100	1	100
TDS	158	100	2	200
Sulfatos	1	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.002	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	-0.5	100	2	200
Fluoruros	-0.05	100	3	300
Coliformes Totales	4600	40	3	120
	TOTAL		24	2110
K=	0.75	ICA=	65.9375	
M4	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.05	100	1	100
Conductividad	455	100	4	400
Turbiedad	5.8	80	3	240
Dureza total	20	100	1	100
Cloruros	5.9556	100	1	100
TDS	243	100	2	200
Sulfatos	1	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.002	100	2	200

Nitrógeno de Nitrato	0.2	100	2	200
Fluoruros	0.29	70	3	210
Coliformes Totales	110	100	3	300
		TOTAL	24	2250
K=	0.75	ICA=	70.3125	
M5	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	6.86	60	1	60
Conductividad	382	100	4	400
Turbiedad	3.59	90	3	270
Dureza total	22	100	1	100
Cloruros	7.9408	100	1	100
TDS	204	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.002	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	0	100	2	200
Fluoruros	0.11	100	3	300
Coliformes Totales	230	100	3	300
		TOTAL	24	2330
K=	0.75	ICA=	72.8125	
M6	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.07	100	1	100
Conductividad	330	100	4	400
Turbiedad	4.21	80	3	240
Dureza total	22	100	1	100
Cloruros	17.8668	100	1	100
TDS	176	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.002	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	0.5	100	2	200
Fluoruros	0.12	100	3	300
Coliformes Totales	1100	80	3	240
		TOTAL	24	2280
K=	0.75	ICA=	71.25	
M7	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7	100	1	100
Conductividad	378	100	4	400
Turbiedad	2.85	90	3	270
Dureza total	14	100	1	100
Cloruros	9.926	100	1	100
TDS	201	100	2	200
Sulfatos	1	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.003	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	0.1	100	2	200
Fluoruros	0.27	70	3	210
Coliformes Totales	120	100	3	300
		TOTAL	24	2280
K=	0.75	ICA=	71.25	
M8	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.2	100	1	100
Conductividad	434	100	4	400
Turbiedad	4.08	80	3	240
Dureza total	16	100	1	100
Cloruros	9.926	100	1	100
TDS	231	100	2	200

Sulfatos	1	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.003	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	0.3	100	2	200
Fluoruros	0.17	90	3	270
Coliformes Totales	14	100	3	300
	TOTAL	24		2310
K=	0.75	ICA=	72.1875	
M9	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.1	100	1	100
Conductividad	395	100	4	400
Turbiedad	4.87	80	3	240
Dureza total	16	100	1	100
Cloruros	9.926	100	1	100
TDS	211	100	2	200
Sulfatos	2	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.006	90	2	180
Nitrógeno de Nitrato	0.3	100	2	200
Fluoruros	-0.07	100	3	300
Coliformes Totales	460	100	3	300
	TOTAL	24		2320
K=	0.75	ICA=	72.5	
M10	Valor	Ci	Pi	(Ci Pi)
pH	7.55	100	1	100
Conductividad	981	100	4	400
Turbiedad	2.37	90	3	270
Dureza total	44	100	1	100
Cloruros	15.8816	100	1	100
TDS	523	80	2	160
Sulfatos	1	100	2	200
Nitrógeno de Nitritos	0.001	100	2	200
Nitrógeno de Nitrato	2.2	80	2	160
Fluoruros	0.31	60	3	180
Coliformes Totales	1100	80	3	240
	TOTAL	24		2110
K=	0.75	ICA=	65.9375	

# Caracterización general de las microcuencas del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín

Cartel derivado del proyecto: "Evaluación hidrológica-forestal 2024 – 2025 de dos microcuencas en el Ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila""  
 Contacto: Dr. Raymundo Villavicencio García. raymundo.villavicencio@academicos.udg.mx Estudio completo en: <https://www.sierradequila.mx/investigaciones>

## ¿Qué es una cuenca hidrológica?



Fuente: (SEMARNAT, 2018).

- Es la unidad territorial donde el agua de lluvia se recibe, escurre y se concentra en arroyos, ríos, lago o cuerpos de agua.
- Proveen servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación climática, el control de erosión e inundaciones, la recarga de acuíferos, la conservación de la biodiversidad, entre otros.
- Constituye la base para la gestión y aprovechamiento del recurso hídrico.
- Su manejo se coordina a través del Consejo de Cuenca, órgano que integra a autoridades y usuarios para promover un uso responsable y sostenible del agua.

El Área Natural Protegida **Sierra de Quila** es fuente de agua para diversos poblados. En su interior se localizan ocho microcuencas con corrientes permanentes, entre las que destacan las del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín, que abastecen directamente a Quila El Grande.

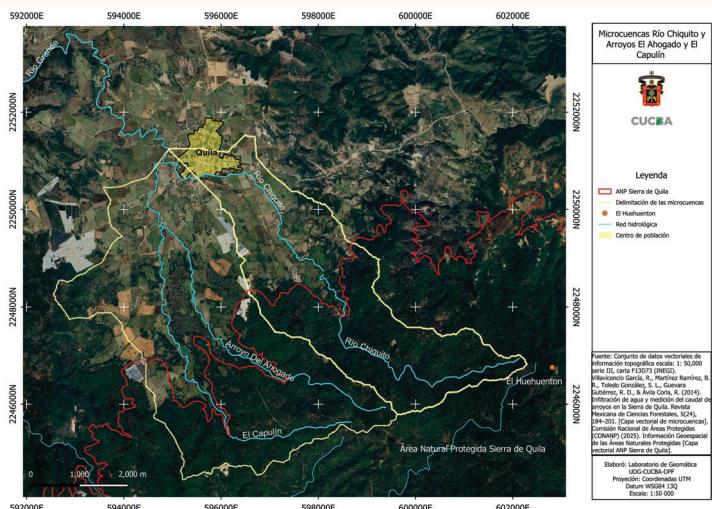


Figura 1. Cartografía que muestra la distribución de las microcuencas del río Chiquito y de los arroyos El Ahogado-El Capulín, así como la red hidrológica asociada.

## Extensión del territorio de las microcuencas

- Río Chiquito:** 1,332 hectáreas (ha)
- Arroyos El Ahogado-El Capulín:** 2,009 (ha)

## Red Hidrológica

- Río Chiquito:** 11 km
- Arroyos El Ahogado-El Capulín y Río Chiquito:** 19 km

## Clima

- Río Chiquito:** Clima templado con veranos frescos y lluviosos, temperaturas medias a 22 °C y una precipitación promedio anual de 882 mm para la Sierra de Quila.
- Arroyos El Ahogado-El Capulín-Río:** Clima templado con veranos frescos y lluviosos, temperaturas menores a 22 °C y precipitación igual al río Chiquito. En menor proporción se presenta un clima semicálido con condiciones muy similares.



Figura 2. Cuerpos de agua registrados en distintos meses, donde se observa el cambio estacional.



Sierra de Quila tiene una superficie de 15,192.5 hectáreas

En su interior se han identificado 24 microcuencas

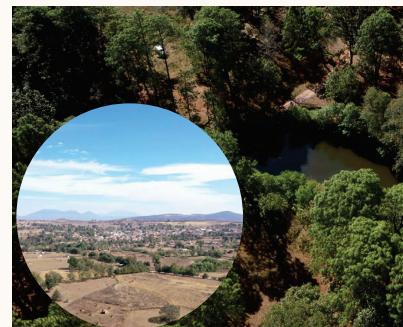
## Litología

### Río Chiquito

- Toba riolítica: 55%
- Basalto: 45%

### Arroyos El Ahogado-El Capulín

- Toba riolítica: 52%
- Basalto: 48%



## Edafología

### Río Chiquito

- Feozem: 39 %
- Cambisol: 36%
- Regosol: 24%
- Litosol: 1%



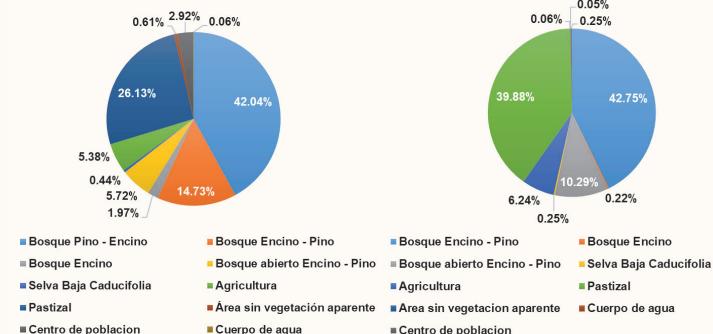
### Arroyos El Ahogado-El Capulín

- Feozem: 51%
- Cambisol: 43%
- Regosol: 3%
- Litosol: 2%
- Luvisol: 1%



## Uso de suelo y vegetación

### Río Chiquito



### Arroyos El Ahogado-El Capulín-Río



Figura 4. Vegetación representativa de la Sierra de Quila.

# Monitoreo comunitario de la biodiversidad y evaluación de la calidad de las riberas en los arroyos El Ahogado y El Capulín

Cartel derivado del proyecto: "Evaluación hidrológica-forestal 2024 – 2025 de dos microcuencas en el Ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila""  
 Contacto: M.C. Ana Luisa Santiago Pérez. ana.santiago@academicos.udg.mx Estudio completo en: <https://www.sierradequila.mx/investigaciones>

## Introducción

Los ecosistemas ribereños se caracterizan por ser ambientes diversos, dinámicos y complejos. Estos son primordiales para la conservación de la vida silvestre y tiene un enorme impacto en la calidad del agua y la regulación de los ríos.

## Material y Métodos

Se establecieron ocho sitios de muestreo en los arroyos El Ahogado y El Capulín, evaluados entre febrero y agosto de 2024. Como parte del proceso, se impartió un taller de capacitación a pobladores de Quila El Grande en la aplicación del protocolo de monitoreo comunitario de biodiversidad (BIOCOMUNI), abarcando técnicas de identificación de flora y fauna y el uso de herramientas digitales para el registro de datos.



Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en los arroyos El Ahogado y El Capulín. La línea roja delimita el Área Natural Protegida Sierra de Quila (Imagen de Google Earth, 2024).

## Monitoreo de vegetación

- Se cuantificó la presencia de árboles con diámetro mayor a 7 cm en cada sitio (cada uno con área de 500 m<sup>2</sup>), así como la composición y cobertura de la regeneración natural, de los estratos arbustivo y herbáceo. También se evaluó la superficie de suelo desnudo.



Figura 2. Proceso de identificación de aves durante las jornadas de monitoreo comunitario.

## Monitoreo de aves

- Se registró la riqueza de especies de aves mediante el método de observación directa en los sitios de muestreo establecidos. Durante cada recorrido se registraron todos los individuos detectados visual o auditivamente. La identificación taxonómica de las especies se verificó utilizando la aplicación Merlin como herramienta de apoyo.



Figura 3. a) Valoración visual de los parámetros utilizados para evaluar la calidad de las riberas, b) Ailes (*Alnus acuminata*) muertos en pie registrados en el sitio AH10.

## Evaluación de calidad de las riberas

- Se evaluó la estructura y estado ecológico de los sitios de muestreo mediante el Índice de Calidad de Riberas (RQI). Este índice se basa en la valoración visual de siete parámetros que describen condiciones desde óptimas hasta perturbadas. Cada parámetro se calificó en una escala de 1 a 15 puntos, y el estado ecológico final de cada sitio se determinó mediante la suma total de las puntuaciones, la cual permite clasificar la ribera en categorías que van de muy buena a mala.

## Resultados

Se registraron **93 especies de plantas** en los sitios evaluados, abarcando estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo. Entre las especies arbóreas con mayor representación se encuentran *Alnus acuminata*, *Prunus rhamnoidea*, *Salix bonplandiana* y *Cornus excelsa*. La **abundancia de arbolado** por sitio osciló entre **25 y 62 individuos**.

En la **fauna silvestre** se identificaron **68 especies de aves**, lo que representa casi la mitad de las especies registradas en toda la Sierra de Quila. Asimismo, se registraron **cuatro especies de mamíferos** (tuza de Jalisco, zorra gris, ardilla vientre rojo y cacomixtle), además de **cinco especies de reptiles** y **tres especies de anfibios**.

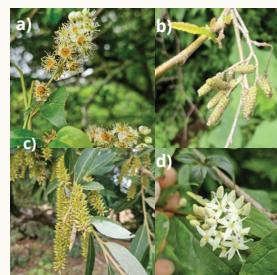


Figura 4. a) Aile (*Alnus acuminata*), b) Capulinillo (*Prunus rhamnoidea*), c) Sauz (*Salix bonplandiana*), d) Aceitunillo (*Cornus excelsa*).



Figura 5. a) Cría de tuza (*Pappogeomys bulleri*), b) madriguera de mamífero, c) las excretas son de zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), d) azulejo garganta canela (*Sialia sialis*).

Síntesis de los parámetros evaluados y de la puntuación obtenida para los sitios del Arroyo El Ahogado (a) y El Capulín (b) con base en el Índice de Calidad de Ribera (RQI).

a)	Sitio	Fecha	Puntaje	Categoría	Condición general
AH7	15/06/24	92	Moderado	Corredor estrecho, vegetación moderada, bancos inestables y poca madera muerta	
AH8	15/06/24	108	Bueno	Corredor amplio, buena cubierta de dosel y estable, con mínima erosión	
AH9	21/04/24	101	Bueno	Ribera con alta vegetación y estructura sólida, conectividad moderada	
AH10	20/04/24	106	Bueno	Ribera continua y estable, con mucha madera muerta y buena conectividad ecológica	

b)	Sitio	Fecha	Puntaje	Categoría	Condición general
EC7	16/06/24	107	Bueno	Corredor moderado, buena cobertura vegetal, orillas inestables y alta afectación por hidráulica y erosión	
EC8	16/06/24	116	Bueno	Ribera bien conservada, con alta cobertura y estabilidad	
EC9	24/08/24	107	Bueno	Corredor estable, vegetación continua, presencia moderada de madera muerta; erosión baja	
EC10	24/08/24	116	Bueno	Corredor ripario amplio, orillas estables, abundante madera muerta y buena conectividad	



## Conclusiones

Los bosques ribereños conectados con la vegetación circundante mantienen una mayor diversidad de especies, ya que proporcionan alimento, refugio y mejores condiciones para la fauna. La presencia de vegetación nativa en buena calidad y distribución es esencial para el funcionamiento ecológico de los arroyos, pues fortalece la continuidad de los corredores biológicos y el equilibrio del ecosistema.

# Cálculo del volumen de agua de las corrientes naturales del río Chiquito y de los arroyos El Ahogado y El Capulín

Cartel derivado del proyecto: "Evaluación hidrológica-forestal 2024 – 2025 de dos microcuencas en el Ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila"  
 Contacto: Dr. Raymundo Villavicencio García. raymundo.villavicencio@academicos.udg.mx Estudio completo en: <https://www.sierradequila.mx/investigaciones>

## Introducción

Los bosques ejercen un papel clave en la regulación hidrológica mediante la intercepción, retención e infiltración de la lluvia. La medición del caudal en los arroyos es fundamental para entender cómo se mueve el agua a lo largo del año. Esto permite saber cuánta agua circula, cómo cambian los flujos con las lluvias o la sequía, y cómo influyen la vegetación y las actividades humanas en la cantidad disponible. Contar con esta información ayuda a conocer mejor el estado del recurso y a tomar decisiones para cuidarlo y manejarlo adecuadamente.



figura 1. Paisajes de los bosques que rodean los arroyos El Ahogado (a) y El Capulín (b), los cuales forman parte del ambiente natural que mantiene el flujo de agua y la biodiversidad en la zona.

## Metodología

Para calcular el volumen del caudal natural en las microcuencas del río Chiquito y del arroyo el Ahogado y El Capulín se establecieron cinco sitios de medición coincidentes con los utilizados en el análisis de calidad del agua: río Chiquito (**S1**), arroyo El Ahogado (**S2**), arroyo El Capulín (**S3**), La Junta (**S4**) y río Grande (**S5**). El monitoreo se realizó de manera quincenal entre el **24 de febrero de 2024** y el **8 de marzo de 2025**.



figura 2. Secuencia de imágenes que muestran los sitios seleccionados para la realización de las mediciones.

- Los puntos de medición se ubicaron en tramos rectos de los cauces, con pendiente suave, ancho estable y sin influencia de remansos o caídas de agua. Además, se seleccionaron sitios con vegetación ribereña de características uniformes.
- El gasto de la corriente se determinó mediante el método de **Sección-Velocidad** (o Huella Máxima), que consiste en estimar el área hidráulica de la sección transversal y aplicar la ecuación de continuidad para calcular el caudal.



figura 3. Secuencia de imágenes que ilustra el procedimiento utilizado para medir el caudal en los sitios seleccionados.

## Resultados

- La microcuenca del río Chiquito presentó un coeficiente de disponibilidad de **12.1 Mm<sup>3</sup>/año**, mientras que la de los arroyos El Ahogado-El Capulín alcanzó **18.2 Mm<sup>3</sup>/año**, indicando una mayor capacidad de captación en esta última.
- Durante el periodo analizado el **flujo total conjunto** fue de **2,375 l/s**. El **máximo caudal mensual** ocurrió en noviembre de 2024 en el arroyo El Capulín (**149.7 l/s**), y el **mínimo** en marzo de 2024 en el río Chiquito (**45.8 l/s**), reflejando la marcada estacionalidad y la disminución del escurrimiento en época de estiaje
- En el **periodo lluvioso** (junio-septiembre), el río Chiquito aportó un caudal promedio de **50.9 l/s**, con afectaciones por sequía en abril y mayo. En contraste, la microcuenca El Ahogado-El Capulín mostró mayores aportaciones: **98 l/s**, en El Ahogado y **149.7 l/s** en El Capulín, consolidándose como la principal fuente hídrica del sistema.

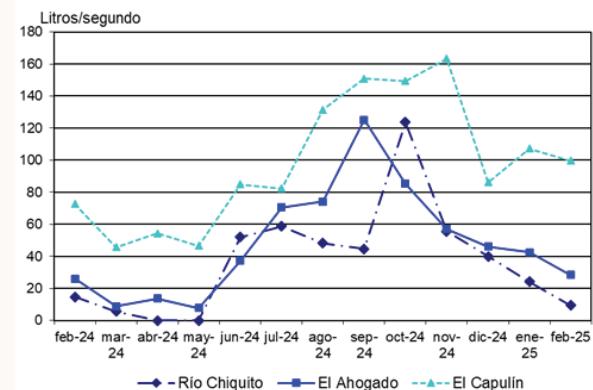


figura 4. Variación mensual del volumen de agua del río Chiquito y los arroyos El Ahogado y El Capulín durante el periodo analizado.



figura 5. Represa El Ahogado, alimentada por el arroyo del mismo nombre. Las imágenes muestran los cambios en el nivel y apariencia del agua antes, durante la temporada seca y a lo largo del temporal de lluvias.

## Conclusión

Los datos muestran que los arroyos El Ahogado y El Capulín mantienen un flujo constante durante todo el año, lo que favorece su biodiversidad y el buen funcionamiento de sus ecosistemas. En contraste, el río Chiquito presentó ausencia de caudal en la temporada seca de 2024, lo que indica mayor presión por actividades humanas en su valle.

En general, El Capulín fue el arroyo con mayor y estable aportación de agua, alcanzando su máximo en septiembre (alrededor de 160 l/s). En comparación, el río Chiquito y El Ahogado tuvieron aumentos y disminuciones más marcadas. Hacia finales de 2024 y principios de 2025, todos los caudales descendieron o se mantuvieron bajos debido a la temporada seca.

Estos patrones ponen en evidencia la importancia de fortalecer estrategias de monitoreo y manejo del agua que favorezcan tanto la salud de los ecosistemas como las necesidades de las comunidades.

# Análisis de la calidad del agua de arroyos y depósitos

Cartel derivado del proyecto: "Evaluación hidrológica-forestal 2024 – 2025 de dos microcuencas en el Ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila""  
 Contacto: Dr. Javier García Velasco. javier.gvelasco@academicos.udg.mx Estudio completo en: <https://www.sierradequila.mx/investigaciones>

## Introducción

El análisis de la calidad y disponibilidad del agua es fundamental para la gestión ambiental, especialmente en zonas donde los bosques sostienen los sistemas hidrológicos. La contaminación y la reducción del agua potable han impulsado el fortalecimiento de su monitoreo y protección, dada su importancia ecológica y social.

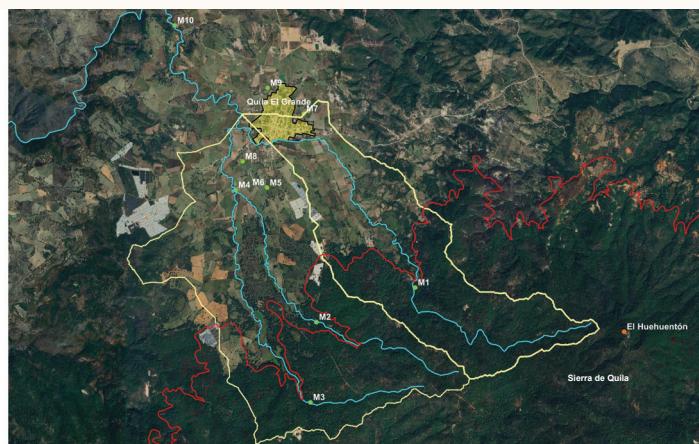


Figura 1. Puntos de colecta: (M1) Río Chiquito; (M2) Arroyo El Ahogado; (M3) Arroyo El Capulín; (M4) La Junta; (M5) Depósito principal La Capilla; (M6) Depósito 2º La Capilla; (M7) Depósito 3º El Vélezadero; (M8) Depósito 4º La Loma; (M9) Depósito 5º Barrio Alto y (M10) Río Grande.

## Metodología

Para el análisis de la calidad del agua se seleccionaron 10 sitios de muestreo en las microcuencas de el Río Chiquito y de los arroyos El Ahogado - El Capulín. Se realizaron tres colectas de agua: la primera en **25 de abril de 2024**, la segunda en **24 de agosto de 2024** y la tercera el **10 de febrero de 2025**.



Figura 2. Secuencia fotográfica que muestra las variaciones en las condiciones de los sitios de muestreo antes, durante y después del temporal de lluvias. a) Arroyo El Capulin, b) Depósito principal La capilla y c) Arroyo El Ahogado.

## Lineamientos

- El muestreo de agua se llevó a cabo siguiendo los lineamientos técnicos establecidos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA, AWWA, WPCF, 1992). y normas oficiales mexicanas vigentes.

## Normatividad aplicable

- **NOM-AA-14-1980**, Cuerpos receptores.- muestreo.
- **NOM-230-SSA1-2002**, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados.
- **NOM-127-SSA1-2021**, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

## Índice de Calidad del Agua (ICA)

- Se evaluó utilizando la metodología propuesta por *Martínez de Bascarán (1993)*.

## Resultados

El ICA mostró una mejora general en la calidad del agua entre los períodos evaluados. En **abril** y **agosto** de **2024**, los sitios se clasificaron principalmente como de **calidad media**, mientras que en **febrero de 2025** la **mayoría** alcanzó una **condición buena**. Sin embargo, los sitios **M1 (Río Chiquito)** y **M10 (Río Grande)** **registraron los valores más bajos en todas las fechas**, identificándose como puntos críticos que requieren seguimiento y medidas de manejo.

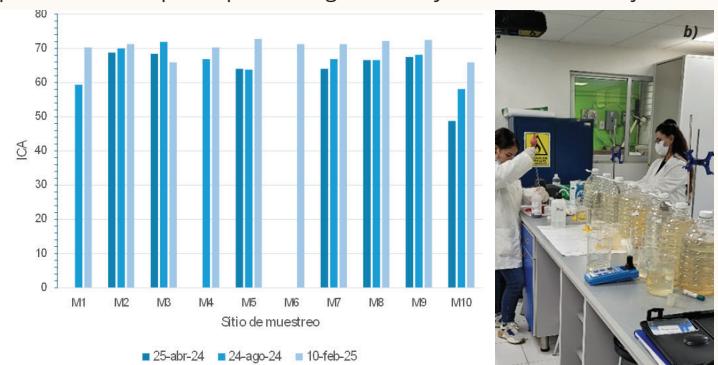


Figura 3. a) Índice de calidad del agua (ICA) por sitio de muestreo por fecha de toma (2024-2025). b) Análisis fisiocoquímico de muestras de agua en Laboratorio de Agua del CUCBA.

**a). Análisis bacteriológico.** La presencia de coliformes fecales en la mayoría de los muestreos indica que el agua no es apta para consumo humano sin potabilización. Ningún sitio cumplió con los criterios establecidos en los tres muestreos realizados.

**b). Plaguicidas.** El análisis mostró que los compuestos evaluados presentaron concentraciones por debajo del límite máximo permisible en todos los sitios de muestreo.

**c). Metales pesados.** La mayoría de los metales cumplieron con los valores permitidos; sin embargo, se detectaron incrementos de hierro en La Capilla (M5) y de aluminio y manganeso en La Loma (M8) y Barrio Alto (M9), posiblemente vinculados a procesos naturales del suelo o a fuentes locales de contaminación.



Figura 4 a). Proceso de toma de muestras de agua en los depósitos para el análisis de calidad.

## Conclusión

Los resultados indican que, aunque la calidad del agua cumple en términos generales con los criterios establecidos, algunos parámetros sensibles como el pH y la turbiedad requieren atención puntual. Su variabilidad puede comprometer la estabilidad del recurso a mediano plazo, por lo que es necesario fortalecer el monitoreo y las acciones de manejo para mantener condiciones seguras y consistentes en toda la zona de estudio.

# Evaluación del volumen de agua en depósitos

Cartel derivado del proyecto: "Evaluación hidrológica-forestal 2024 – 2025 de dos microcuencas en el Ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila""  
 Contacto: Dr. Raymundo Villavicencio García. raymundo.villavicencio@academicos.udg.mx Estudio completo en: <https://www.sierradequila.mx/investigaciones>

## Introducción

El agua es un recurso esencial para el funcionamiento ecológico y social de la región de Quila El Grande. Los caudales naturales de los ríos y arroyos, junto con los depósitos de almacenamiento, conforman el sistema hídrico que abastece a la comunidad. Comprender su comportamiento a lo largo del año permite evaluar la disponibilidad del recurso y fortalecer una gestión del agua más eficiente y sostenible.

## Metodología

Para estimar el volumen de agua almacenada, se seleccionaron cinco depósitos de captación: Depósito Principal La Capilla (**D1**), Deposito 2<sup>do</sup> La Capilla (**D2**), Deposito 3<sup>ro</sup> El Veladero (**D3**), Deposito 4<sup>to</sup> La Loma (**D4**) y Deposito 5<sup>to</sup> Barrio Alto (**D5**). Los depósitos **D1** y **D2** son administrados por el municipio de Tecolotlán a través de la delegación local, mientras que **D3**, **D4** y **D5** operan bajo gestión privada por parte de los propios usuarios. El programa de monitoreo se realizó en los mismos puntos utilizados para el análisis de calidad del agua y se llevó a cabo de manera quincenal del **24 de febrero de 2024 al 8 de marzo de 2025**.



figura 1. Secuencia de imágenes que muestran los sitios seleccionados para realizar el aforo de depósitos.

- Para cuantificar el agua que ingresa a los depósitos se empleó el método directo de **aforo simple**. Este procedimiento consiste en registrar el tiempo que tarda el agua en llenar una sección del depósito y, de manera complementaria, calcular la superficie del área de captación. Con ambos datos (tiempo de llenado y área) se estimó el volumen y la tasa de ingreso de agua por unidad de tiempo.



figura 2. Secuencia de imágenes que muestra los sitios seleccionados para realizar el aforo en los depósitos, indicando tanto el origen del suministro de cada uno como los depósitos a los que abastecen.

## Resultado

- El depósito **Principal La Capilla** tiene una capacidad de almacenamiento de **67.9 m<sup>3</sup> (67,900 litros)** y registró un aporte promedio anual de **3.5 l/s** durante el periodo de monitoreo.
- El depósito **Segundo La Capilla** tiene una capacidad de almacenamiento de **20.7 m<sup>3</sup> (20,700 l)**, registró un aporte promedio de **0.2 l/s**, llegando incluso a valores nulos, por lo que permaneció inactivo durante parte del monitoreo.
- El depósito tercero **El Veladero** tiene una capacidad de almacenamiento de **14.6 m<sup>3</sup> (14,600 l)**, registró un aporte promedio anual de **0.6 l/s**, lo que indica un flujo constante, aunque de baja magnitud.
- El depósito cuarto **La Loma** cuenta con una capacidad de almacenamiento de **22.4 m<sup>3</sup> (22,400 l)**, registro un aporte promedio anual de **0.53 l/s**, mostro un comportamiento más constante y menos afectado por las variaciones climáticas en comparación con otros depósitos.
- El depósito **Barrio Alto** tiene una capacidad de almacenamiento de **26.9 m<sup>3</sup> (26,900 l)**. Durante el periodo de monitoreo registró un aporte promedio anual de **0.5 l/s**, manteniendo un flujo continuo, aunque de baja magnitud.



figura 3. Registros obtenidos mediante aforos mensuales en depósitos durante el año hidrológico 2024-2025.



figura 4. Condicionadas observadas en los depósitos durante las mediciones, mostrando niveles de almacenamiento y estado general al momento del aforo.

## Conclusión

El análisis muestra que cada depósito presenta capacidades de almacenamiento y volúmenes de aporte distintos, lo que refleja un sistema hídrico que dependiente del caudal natural de los arroyos y ríos que los alimentan. En general, los depósitos mantienen aportes bajos pero constantes, salvo algunos casos donde el flujo disminuye o incluso se interrumpe durante la temporada seca, lo que evidencia la sensibilidad del sistema a las variaciones climáticas.



Como parte de la planificación hídrica en Quila El Grande, se realizó un estudio para evaluar el estado actual de las microcuencas locales que abastecen a la comunidad y definir estrategias que aseguren un manejo sostenible del recurso.

## OBJETIVOS

- 1** Evaluar y comparar el volumen de agua en las microcuencas de los arroyos Río Chiquito, y El Ahogado - El Capulín.
- 2** Realizar un monitoreo comunitario de biodiversidad y de la calidad de las riberas.
- 3** Determinar la calidad del agua para su uso en la comunidad.

En un trabajo colaborativo entre investigadores de la Universidad de Guadalajara, integrantes de la comunidad de Quila El Grande y miembros del OPD Sierra de Quila, se realizó:



Capacitación a los pobladores voluntarios del Ejido en el monitoreo de flora y fauna.



Muestreos de flora y fauna en las riberas de los arroyos.



Evaluación de la vegetación ribereña con el Índice de Calidad de Ribera (RQI).



Descripción de la morfometría e hidrología de las microcuencas.



Cuantificación del volumen de agua (caudal) de los arroyos y depósitos de captación.



Análisis de muestras de agua mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA), plaguicidas y metales pesados.

# EL CUIDADO DEL AGUA DEPENDE DE TODOS ¡ACTÚA!

Las recomendaciones y acciones específicas para el manejo y conservación de las microcuencas se desglosan en una serie de folletos:



El estudio completo puede ser consultado en  
[www.sierradequila.mx/investigaciones](http://www.sierradequila.mx/investigaciones)

Este folleto se deriva del proyecto  
*Evaluación hidrológica-forestal 2024 - 2025 de dos microcuencas en el ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila"*

## CONTACTO

M.C. Ana Luisa Santiago Pérez

[ana.santiago@academicos.udg.mx](mailto:ana.santiago@academicos.udg.mx)

Dr. Raymundo Villavicencio García

[raymundo.villavicencio@academicos.udg.mx](mailto:raymundo.villavicencio@academicos.udg.mx)

Dr. Javier García Velasco

[javier.gvelasco@academicos.udg.mx](mailto:javier.gvelasco@academicos.udg.mx)



EJIDO QUILA



Diseño: María Fernanda Barraza Cerpa



GRUPO DESPIERTA QUILA



# ¿QUÉ SUCEDE CON EL AGUA EN QUILA EL GRANDE?

## RESUMEN GENERAL

La solución inicia con la comprensión

FOLLETO  
1 / 5

# RESULTADOS

## DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y SALUD DE RIBERAS

La biodiversidad de flora y fauna es relativamente alta, aunque con especies invasoras. Las riberas se encuentran en condición bueno a regular, con notoria reducción de la vegetación debido a actividades agropecuarias y sequía.



## CAUDAL DE AGUA

Las microcuencas presentan un relieve montañoso que favorece los escurrimientos, con buena captación y drenaje al subsuelo que reduce el riesgo de inundaciones súbitas. Los ríos son dependientes de lluvias, en especial El Chiquito, cuyo flujo se interrumpe en temporada seca. Se observó una reducción del caudal, mientras que los arroyos El Ahogado y El Capulín se mantuvieron permanentes.



## CALIDAD DEL AGUA

El agua presentó una calidad general aceptable para consumo. Sin embargo, en abril y agosto se detectó que la turbidez y alcalinidad fueron mayores a lo permitido por la norma mexicana (NOM-127-SSA1-2021). Por ello, es necesario mantener un buen control de su calidad para evitar riesgos a la salud.



## ¿QUÉ PODEMOS HACER PARA DETENER LA ESCASEZ DE AGUA?

Se proponen seis recomendaciones principales como estrategia para garantizar agua suficiente para las comunidades y ecosistemas, las cuales, requieren de la participación de autoridades, usuarios y sociedad:



Mejora del estado de las microcuencas y los arroyos



Condición y mejoras del estado actual en los depósitos



Gestión del agua y monitoreo hidrológico



Ordenamiento territorial y control de actividades humanas



Educación ambiental y participación comunitaria



Investigación y adaptación al cambio climático

- Protección y restauración de la vegetación en las riberas.
- Manejo cuidadoso de los agroquímicos y sus residuos.
- Planificación cuidadosa de los desvíos de arroyos, evitando la modificación de los cauces y sus riberas.
- Adecuación, mantenimiento e incorporación de infraestructura en cada uno de los cinco depósitos evaluados (La Capilla principal y secundario, El Veladero, La Loma y Barrio Alto) para mejorar su funcionalidad.
- Monitoreo y supervisión continua de caudales.
- Planificación del uso y captación del agua.
- Protección de nacimientos, manantiales y riberas.
- Manejo cuidadoso de ganado, residuos y maquinaria agrícola.
- Regulación de la urbanización y el cultivo intensivo cerca de manantiales.
- Manejo integral de las microcuencas, considerando las necesidades de la comunidad, los ecosistemas y la actividad primaria.
- Impartición de talleres y campañas de sensibilización.
- Promoción de la participación de autoridades, ejidos y comunidades en acciones y acuerdos para el uso racional del agua.
- Fomento de pago por servicios ambientales.
- Mejora de infraestructura para canalización y abastecimiento de agua a la comunidad.
- Impulso de convenios y estudios sobre recarga y precipitación en las microcuencas.
- Diseño de estrategias de adaptación al cambio climático y eventos de sequía e inundación.

## LOS BOSQUES Y EL CUIDADO DEL AGUA

La funcionalidad de una microcuenca depende del clima, el relieve, el suelo y la vegetación. El clima determina cuánta agua ingresa, el relieve traza el camino por el que escurre el agua, el suelo controla la infiltración hacia los mantos freáticos y la vegetación regula todos los procesos anteriores. Sin una vegetación saludable, la funcionalidad de una microcuenca se verá afectada.



Los ecosistemas ribereños se caracterizan por ser ambientes diversos, dinámicos y complejos. Estos son primordiales para la conservación de la vida silvestre y tienen un enorme impacto en la calidad del agua y la regulación de los ríos.

La densidad de plantas, la diversidad de especies, así como los diferentes tamaños y hábitos presentes en una comunidad vegetal, tienen un impacto notable en la dinámica del agua en una zona.



## CADA ESPECIE IMPORTA, SIN DIVERSIDAD NO HAY FUTURO ¡CUÍDALA!

Las recomendaciones y acciones específicas para el manejo y conservación de las microcuenca se desglosan en una serie de folletos:



El estudio completo puede ser consultado en:  
[www.sierra dequeila.mx/investigaciones](http://www.sierra dequeila.mx/investigaciones)

Este folleto se deriva del proyecto  
*Evaluación hidrológica-forestal 2024 - 2025 de dos microcuenca en el ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila"*

### CONTACTO

M.C. Ana Luisa Santiago Pérez  
[ana.santiago@academicos.udg.mx](mailto:ana.santiago@academicos.udg.mx)



EJIDO QUILA



Diseño: María Fernanda Barraza Cerpa



GRUPO DESPIERTA QUILA



## ¿CÓMO SE ENCUENTRAN LOS BOSQUES Y RIBERAS EN LOS ARROYOS DE QUILA EL GRANDE?

## MONITOREO DE BIODIVERSIDAD

Más vida, más agua, más futuro

FOLLETO  
2 / 5

# BIODIVERSIDAD EN LAS RIBERAS

Para conocer el estado de la biodiversidad en las riberas y sus alrededores, se realizó un muestreo de diferentes grupos biológicos en los arroyos El Capulín y El Ahogado:



Plantas  
93 especies



Mamíferos  
4 especies



Aves  
68 especies



Anfibios  
3 especies



Reptiles  
5 especies

## FLORA

La presencia de **11 especies** de árboles exclusivas a los arroyos como el sauz, aile, fresno, capulín y el aceitunillo indica buen estado de conservación, además de otras **13 especies** de arbustos y **68 especies** de hierbas y trepadoras que con su floración promueven la presencia de animales polinizadores.



## PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

Durante febrero de 2024 se impartió un curso-taller sobre monitoreo comunitario de biodiversidad para pobladores de Quila El Grande utilizando manuales de BIOCOMUNI. La finalidad principal fue brindar herramientas a las personas que les permita observar, registrar y analizar el estado de sus recursos naturales para tomar decisiones informadas sobre su conservación y uso sustentable.

Los manuales BIOCOMUNI pueden encontrarse en:  
<https://sgj-biodiversidad.cnf.gob.mx/biocomuni>



Asclepias, flor de importancia para polinizadores



Capulincillo, árbol común en riberas



Madriguera de mamífero

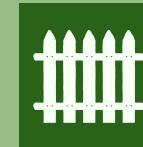


Lechuza de campanario

## FAUNA

Destaca el grupo de las aves con **68 especies** que representa un **46%** de las especies de aves enlistadas en el área protegida Sierra de Quila. Además, la presencia de **anfibios** nos indica una **buenas calidad de agua** debido a su sensibilidad a la contaminación.

## ¿QUÉ PODEMOS HACER PARA CONSERVAR LA BIODIVERSIDAD?



Proteger la vegetación de las riberas en franjas de al menos 40 m de ancho a cada lado de los arroyos para evitar el paso de ganado y promover la regeneración natural.



Hacer manejo consciente y cuidadoso de residuos peligrosos.



Planificación cuidadosa de los desvíos e intervenciones en el cauce para minimizar el impacto ambiental y asegurar el acceso al agua para todos.



Evitar excavación y modificaciones de las riberas para mantener la estabilidad del suelo y los taludes que bordean el cauce.



Realizar monitoreos para vigilar el estado de la vegetación en las riberas y detectar señales de perturbación.



Promover prácticas agroecológicas que eviten la compactación del suelo y contaminación del agua.



Adoptar programas gubernamentales como Pago por Servicios Ambientales (PSA) y Programa de Conservación para el Desarrollo Sustentable (PROCODES) como apoyo para quienes protegen y restauran las zonas de recarga.

# IMPORTANCIA DE LA VEGETACIÓN RIBEREÑA

La vegetación que crece junto al río conforma las **riberas**, las cuales, tienen un enorme impacto en la **calidad del agua** y la **regulación** de los ríos.

ALGUNAS DE SUS PRINCIPALES FUNCIONES SON:



La calidad de una ribera nos dice mucho sobre la salud de un ecosistema y los impactos negativos que recibe.

Si cuidamos las riberas,  
cuidamos sus funciones, la  
calidad del agua y la salud del  
ecosistema



# EL CAMBIO LO HACEMOS TODOS ¡SÚMATE!

Por un bosque sano  
Por una tierra viva  
Por más y mejor agua

Las recomendaciones y acciones específicas para el manejo y conservación de las microcuencas se desglosan en una serie de folletos:



El estudio completo puede ser consultado en:  
[www.sierradequila.mx/investigaciones](http://www.sierradequila.mx/investigaciones)

Este folleto se deriva del proyecto

*Evaluación hidrológica-forestal 2024 - 2025 de dos microcuencas en el ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila"*

## CONTACTO

M.C. Ana Luisa Santiago  
[ana.santiago@academicos.udg.mx](mailto:ana.santiago@academicos.udg.mx)



## EJIDO QUILA



## GRUPO DESPIERTA QUILA

Diseño: María Fernanda Barraza Cerpa

# ¿CÓMO SE ENCUENTRAN LOS BOSQUES Y RIBERAS EN LOS ARROYOS DE QUILA EL GRANDE?

## ÍNDICE DE CALIDAD RIPARIA (RQI)

Pequeñas acciones, grandes cambios

FOLLETO  
3 / 5



## ¿QUÉ HICIMOS?

Evaluamos la salud y el estado ecológico de ocho sitios en las riberas de los arroyos El Capulín (EC) y El Ahogado (AH), de acuerdo con los parámetros del RQI:

**DIMENSIONES** Ancho de la ribera y el cauce

**CONTINUIDAD** Plantas a lo largo del río

**ESTRUCTURA** Con árboles, arbustos y hierbas

**REGENERACIÓN** Nuevas plantas y semillas

**BANCO** Condición de las orillas y erosión

**CONECTIVIDAD** Conexión cauce-ribera

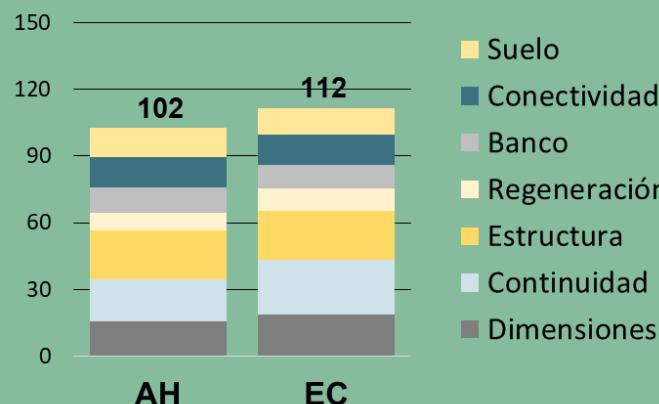
**SUSTRATO** Filtración de agua al subsuelo

# RESULTADOS

En general, las riberas de ambos arroyos tienen una calidad buena a moderada, debido principalmente al espacio limitado que se deja para la vegetación nativa, la falta de regeneración de plantas por el efecto del pastoreo y los desmontes por expansión de la actividad agropecuaria y muertes de árboles que interrumpen la continuidad de la ribera.

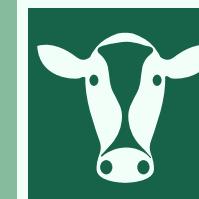
Esto es alarmante, considerando la cercanía que se tiene al nacimiento del río.

Comparado con un estudio similar realizado en 2015, el estado de salud de la ribera expresa una tendencia a disminuir y, si no se toman acciones, la diversidad que aún conserva podría perderse junto con las funciones que la ribera ofrece al ecosistema y a la calidad del agua que corre por el arroyo.



- El valor máximo obtenible en el RQI es 150.
- Los diferentes colores en las barras indican la porción del puntaje que le corresponde a cada parámetro

# RECOMENDACIONES



No permitas que el ganado ingrese al río, así proteges la vegetación y mantienes el agua limpia.



Respetá la vegetación de la ribera, ¡no la dañés!



Si el arroyo colinda con tus terrenos, coloca cercos a 20 m del cauce para darle espacio suficiente a la ribera.



Evita tirar basura o cualquier desecho en el río.



Almacena los envases de agroquímicos lavados y perforados hasta llevarse a un centro de acopio.

Y lo más importante, ¡sé constante! Algunos cambios no podremos lograrlos en un día, pero perseverar nos llevará al resultado que buscamos.

Como parte de la evaluación de las microcuenas del río Chiquito y los arroyos El Ahogado-El Capulín que abastecen de agua a Quila El Grande, se realizó un análisis morfométrico del relieve y medición del caudal en estas microcuenas, así como una cuantificación del volumen de agua que presentan a lo largo de un año. Este conocimiento es vital en la búsqueda y planeación de estrategias para su recuperación y manejo.

## ¿QUÉ SABEMOS DE LOS RÍOS?

### RÍO CHIQUITO

La microcuenca cubre 1332 hectáreas, mientras que el cauce principal mide 9.23 km de largo, con 28 corrientes intermitentes. **Capta 12.1 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) de agua al año**, donde cada gota tarda 65 minutos en recorrer el cauce completo; por lo tanto, es una microcuenca mediana de caudal rápido. Su densidad de corrientes es moderada y hay equilibrio entre escurreimiento e infiltración. Responde rápido a las lluvias, pero el cauce se ausenta en temporada seca debido a una reducción de la precipitación anual y/o una alta demanda para el uso básico y de la actividad primaria.

### RÍOS EL AHOGADO Y EL CAPULÍN

La microcuenca cubre 2009 hectáreas, se compone de 46 corrientes, siendo El Ahogado (6503 m) y El Capulín (6268 m) los principales arroyos. **Capta 18.2 Mm<sup>3</sup> de agua al año**, donde cada gota tarda 53 minutos en recorrer el cauce. Es una microcuenca alargada y muy ramificada que muestra cierto grado de conservación, con intervención humana moderada. El Ahogado es de mayor caudal, mientras que el Capulín es más estable. Ambos arroyos son influenciados por la lluvia pero permanecen incluso en temporada seca.

# TODOS PODEMOS AYUDAR A QUE EL AGUA NO FALTE LA SOLUCIÓN ESTÁ A NUESTRO ALCANCE ¡PARTICIPA!

Las recomendaciones y acciones específicas para el manejo y conservación de las microcuenas se desglosan en una serie de folletos:



El estudio completo puede ser consultado en  
[www.sierradequila.mx/investigaciones](http://www.sierradequila.mx/investigaciones)

Este folleto se deriva del proyecto  
*Evaluación hidrológica-forestal 2024 - 2025 de dos microcuenas en el ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila"*

### CONTACTO

Dr. Raymundo Villavicencio García  
raymundo.villavicencio@academicos.udg.mx



EJIDO QUILA



Diseño: María Fernanda Barraza Cerpa



GRUPO DESPIERTA QUILA



JALISCO  
GOBIERNO DEL ESTADO

# ¿CÓMO PODEMOS ASEGURAR EL ACCESO AL AGUA EN QUILA EL GRANDE?

## MEDICIÓN DE CAUDALES EN ARROYOS

Juntos devolvemos el agua a los ríos

FOLLETO  
4 / 5

UNIVERSIDAD DE  
GUADALAJARA  
Red Universitaria e Institución Benemerita de Jalisco

CUCBA



# ¿HAN CAMBIADO LOS RÍOS CON EL TIEMPO?

La comparación entre los estudios de 2014-2015 y 2024-2025 mostró que el caudal promedio no cambió de forma significativa. La suma del caudal en el primer estudio sumó 2133 litros por segundo (l/s) (177.7 l/s al mes) y en el segundo 2375 l/s (197.9 l/s al mes). Aunque los volúmenes presentan picos y disminuciones durante el año, no muestran tendencias claras de aumento o disminución. En contraste, sí incrementó el caudal de El Capulín. Esto podría deberse a mayores lluvias, a la estacionalidad o a malas prácticas humanas. Por ello, se propone establecer un plan de monitoreo permanente de los ríos y arroyos.

Variación estacional del cauce



## UN CAUDAL SANO TIENE...

- ✓ Régimen hidrológico natural (cantidad de agua) parcialmente conservado con sus variaciones estacionales.
- ✓ Caudal base permanente, incluso en época seca.
- ✓ Buena calidad del agua.
- ✓ Conectividad longitudinal y lateral: el río fluye sin grandes interrupciones (presas, cortes), y se conecta con la vegetación circundante.
- ✓ Biodiversidad acuática y ribereña estable, con hábitats funcionales.
- ✓ Capacidad de filtración natural de contaminantes.
- ✓ Sostenibilidad del recurso agua para usos humanos sin comprometer la integridad ecológica.



## SITUACIÓN

## ACCIÓN

## META

Caudales alterados y sin supervisión	Fortalecer red de monitoreo, comparar registros históricos.	Detectar tendencias y anomalías y desarrollar indicadores de alerta temprana para tomar medidas preventivas.
Sequía en arroyos y represas	Planes de uso responsable del agua y fomento de captación de agua de lluvia.	Asegurar el abasto de agua en temporada seca.
Captación irregular en depósitos	Monitoreo y mantenimiento de depósitos.	Eficientar el almacenamiento de agua; evitar el saqueo y sobreexplotación de depósitos.
Presas de retención	Colocar presas de retención y promover el desarrollo de vegetación ribereña.	Recuperar capacidad de retención de suelo y agua y reducir velocidad del cauce.
Desmonte de riberas	Uso responsable de recursos, proteger y monitorear la vegetación, franjas de amortiguamiento de 10-30 m.	Regenerar de las riberas y restauración de sus funciones hidrológicas.
Desvío por tubos y represas	Planificación cuidadosa para minimizar impacto ambiental.	Conservar funciones hidrológicas del bosque y permitir abasto de agua a poblaciones río abajo.
Expansión agrícola y urbana	Regular el cambio de uso de suelo, adoptar prácticas agroecológicas y restringir riberas y zonas de recarga.	Reducir el impacto humano en las riberas.
Desinterés y desinformación	Promover talleres y campañas de sensibilización, incentivar programas gubernamentales e implementar acuerdos comunitarios.	Formar una comunidad consciente y participativa; obtener apoyos para quienes conserven y restauren los arroyos y riberas.
Necesidad de estudios integrales	Impulsar estudios y monitoreos hidrológicos.	Conocimiento detallado sobre recarga, tendencias climáticas e impactos en los arroyos a corto, mediano y largo plazo.

## ELABORACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Agrupa múltiples parámetros químicos, físicos y microbiológicos para hacer un diagnóstico integral y determinar si el agua es apta para consumo. Además, permite identificar riesgos potenciales de contaminación y tendencias de deterioro o mejora para tomar decisiones de gestión ambiental.

Los valores aceptables de calidad de agua son definidos por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 Agua para uso y consumo humano.

## ¿QUÉ PARÁMETROS DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA?

PARÁMETRO	EFFECTO
pH	sabor, aspecto y corrosión de materiales
Turbiedad	manchas en materiales, potabilidad
Dureza	concentración de metales alcalinotérreos
Sólidos disueltos	composición química, sabor, conductividad, vida acuática
Oxígeno	vida acuática
Sulfatos	laxante, corrosión, sabor
Nitratos	agroquímicos, diurético
Nitritos	formación de nitrosaminas cancerígenas
Cloruros	sabor, corrosión, vida acuática
Fluoruros	fluorosis dental y esquelética
Coliformes	potabilidad, riesgo a la salud
Agroquímicos	daños a la salud y el ecosistema
Metales pesados	daños a la salud y el ecosistema

# LO QUE VERTEMOS AL RÍO, LO BEBEREMOS DESPUÉS ¡CUIDA LOS RÍOS!

Las recomendaciones y acciones específicas para el manejo y conservación de las microcuencas se desglosan en una serie de folletos:



El estudio completo puede ser consultado en  
[www.sierradequila.mx](http://www.sierradequila.mx)

Este folleto se deriva del proyecto  
*Evaluación hidrológica-forestal 2024 - 2025 de dos microcuencas en el ejido de Quila El Grande del Área Natural Protegida "Sierra de Quila"*

## CONTACTO

Dr. Javier García  
javier.gvelasco@academicos.udg.mx



EJIDO QUILA



Tecolotlán



GRUPO DESPIERTA QUILA



Medio Ambiente y Desarrollo Territorial



OPD SIERRA DE QUILA



JALISCO  
GOBIERNO DEL ESTADO

Diseño: María Fernanda Barraza Cerpa

# ¿CÓMO ES EL AGUA QUE BEBEMOS EN QUILA EL GRANDE?

## ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

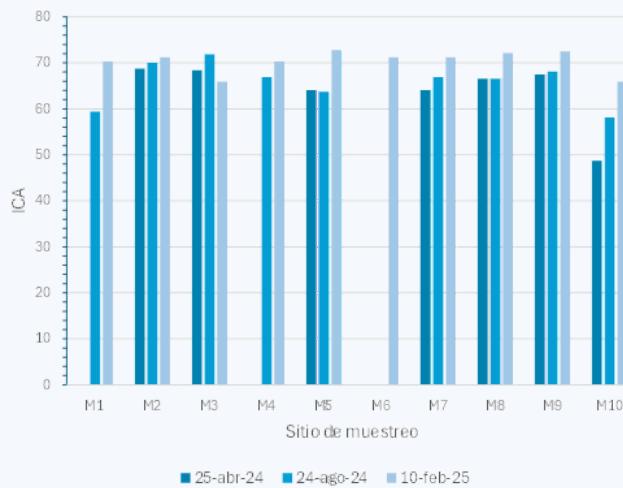




## LAS CONDICIONES DEL AGUA EN QUILA EL GRANDE

En general, el agua es apta para consumo humano con valores dentro de los límites normativos. Sin embargo, debe pasar por un proceso de desinfección y filtración previo debido a la presencia de coliformes y algunos metales pesados.

### ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) EN MÚLTIPLES PUNTOS DE MUESTREO Y EN TRES TEMPORADAS DISTINTAS



M1: Río Chiquito; M2: Arroyo El Ahogado; M3: Arroyo El Capulín; M4: La Junta; M5: Depósito principal La Capilla; M6: Depósito 2<sup>do</sup> La Capilla; M7: Depósito 3<sup>ro</sup> El Veladero; M8: Depósito 4<sup>to</sup> La Loma; M9: Depósito 5<sup>to</sup> Barrio Alto; M10: Río Grande.

## INCUMPLIMIENTOS A LOS VALORES PERMITIDOS

### pH y turbiedad (abril-agosto)

Indica posibles aportes externos tanto naturales como antrópicos en ambas microcuencas.

### Fluoruros (agosto, depósito Veladero)

Aumento súbito y puntual, posiblemente como producto de una descarga.

### Calidad microbiológica inestable

Muestra susceptibilidad a cambios estacionales y contaminación puntual. Hubo un fuerte aumento de microorganismos en el Río Grande, debido posiblemente a vertidos directos de aguas residuales o escurrimientos contaminados.

### Metales pesados

Exceso de aluminio, hierro y manganeso asociado a procesos geológicos locales y aportes externos. Producen efectos nocivos para la salud. Ocurre principalmente en el depósito Veladero, el Río Chiquito y el Río Grande.

### Plaguicidas

No se detectaron niveles fuera de lo normativo, sin embargo, su ausencia en el muestreo puntual no garantiza ausencia ambiental total debido a su larga permanencia en suelo y agua. Pueden causar afecciones importantes en la salud en el mediano y largo plazo.



## RECOMENDACIONES



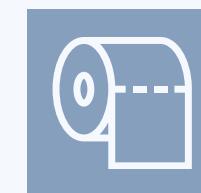
Restos de agroquímicos y basura. Manejo consciente y cuidadoso de residuos peligrosos; limpieza anual de cauces.



Alteración y contaminación de fuentes de agua. Identificar, proteger y vigilar nacimientos y manantiales; dar mantenimiento a la infraestructura de depósitos.



Excavación y modificación de las riberas. Detener dichas acciones para reducir sedimentos en agua y erosión del suelo con lluvias y crecidas.



Restos fecales. Letrinas a 60 m o más del cauce, o bien, depositar las heces y papel sanitario en hoyos de 20 cm de profundidad y cubrir con tierra.



Presencia de metales pesados. Monitoreo de los cauces y depósitos; potabilización previa al consumo de agua.



Desinterés y desinformación. Talleres y campañas de información y sensibilización, con la participación de ejidos, comunidades y autoridades.