

2020

**Estudio técnico justificativo para la creación del  
Área Estatal de Protección Hidrológica,  
(AEPH) Presa Cajón de Peña**



## Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	2
2. Objetivos .....	3
2.1. Objetivo general .....	3
2.2. Objetivos particulares.....	3
3. Delimitación del polígono de estudio .....	4
3.1. Ubicación geográfica.....	4
3.2. Delimitación del polígono .....	5
4. Caracterización ambiental .....	10
4.1. Medio natural .....	10
4.1.1. Elementos abióticos .....	10
4.1.2. Elementos bióticos .....	49
4.1.3. Características paisajísticas .....	57
5. Medio construido.....	61
5.1. Factor social y económico.....	61
5.1.1. Distribución de la población.....	61
5.1.2. Tipo de uso del suelo y usos del agua .....	65
5.1.3. Impacto que tienen los cuerpos de agua a proteger, en el desarrollo de las actividades productivas primarias, secundarias y terciarias de la región .....	68
5.1.4. Utilidad pública del recurso agua .....	70
5.1.5. Factores de riesgo y tendencias en los usos del agua .....	70
5.1.6. Régimen de tenencia de la tierra.....	73
5.1.7. Identificación de la infraestructura básica y de servicios ubicados en el polígono propuesto, en específico la de carácter hidráulico .....	77
5.1.8. Infraestructura de captación y transporte de agua.....	78
6. Diagnóstico y prospección.....	82
6.1. Cambio de uso del suelo.....	82
6.2. Fragmentación del paisaje .....	85
6.3. Peligros naturales .....	88
6.4. Contaminación de agua .....	102
6.5. Acuíferos.....	103

6.6.	Calidad del agua .....	106
6.7.	Azolve .....	109
7.	Prospección .....	115
7.1.	Cambio de uso del suelo.....	115
7.2.	Fragmentación del paisaje .....	117
7.3.	Prospección riesgo.....	119
7.4.	Prospección del azolve .....	128
7.5.	Modelo de cambio climático .....	130
8.	Delimitación de las unidades de manejo .....	138
8.1.	Zonificación .....	138
9.	Propuesta de programa de aprovechamiento y propuesta de operación del área natural..	141
10.	Bibliografía.....	151
11.	Anexos .....	157

## Índice de Figuras

Figura 1. Localización del polígono propuesto para Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña .....	5
Figura 2. Proceso metodológico utilizado para la identificación y delimitación de las áreas prioritarias para la protección hidrológica en la Presa Cajón de Peña. Modelo adaptado para este trabajo a partir del presentado por Chávez González et al. (2018) .....	7
Figura 3. Edafología (suelos predominantes) .....	13
Figura 4. Unidades litológicas y estructuras geológicas.....	15
Figura 5. Condición de las concesiones mineras y principales operaciones mineras .....	18
Figura 6. Yacimientos minerales en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	19
Figura 7. Tipos de clima .....	21
Figura 8. Localización de las estaciones climatológicas analizadas .....	23
Figura 9. Modelos de precipitación media anual (a) y lluvia máxima en 24 horas (b) generados para el AEPH Presa Cajón de Peña a partir de los datos climáticos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional .....	24
Figura 10. Modelo de temperatura media anual generado para el AEPH Presa Cajón de Peña a partir de los datos climáticos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional .....	25
Figura 11. Modelos de temperatura mínima (a) y temperatura máxima (b) generados para el AEPH Presa Cajón de Peña a partir de los datos climáticos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional .....	26
Figura 12. Estructuras del relieve (geomorfología) .....	28
Figura 13. Zona de recarga de acuíferos en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	29
Figura 14. Hidrología superficial del AEPH Presa Cajón de Peña .....	32
Figura 15. Erosión hídrica presente en el AEPH Presa Cajón de Peña, de acuerdo con las clases propuestas por la FAO .....	36
Figura 16. Distribución de la serie de datos de precipitación registradas por las estaciones climáticas y las funciones de Weibull y Gumbel.....	39
Figura 17. Modelo e isoyetas de la precipitación pluvial máxima anual para un periodo de retorno 50 años .....	41
Figura 18. Modelo e isoyetas de la precipitación pluvial máxima anual para un periodo de retorno 100 años .....	42
Figura 19. Coeficiente de escorrentía en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	45
Figura 20. Cálculo del balance hídrico para el AEPH Presa Cajón de Peña.....	48
Figura 21. Comportamiento del balance hídrico mensual entre la evapotranspiración potencial, precipitación y evapotranspiración real para el AEPH Presa Cajón .....	48
Figura 22. Comportamiento del balance hídrico mensual, relacionándolo con los meses con déficit, los meses húmedos y los de pérdida de humedad en el AEPH Presa Cajón .....	49

Figura 23. Tipos de cobertura vegetal en el AEPH Cajón de Peña.....	52
Figura 24. Porcentaje de superficie ocupada por los diferentes tipos de coberturas del suelo en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	53
Figura 25. Paisajes físico-geográficos en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	60
Figura 26. Localidades con población > a 100 habitantes dentro del AEPH Presa Cajón de Peña .....	62
Figura 27. Estructura poblacional por grupos de edad .....	63
Figura 28. Densidad de la población representada por cuantiles.....	64
Figura 29. Localidades indígenas en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	65
Figura 30. Aprovechamiento de agua subterránea y superficial .....	67
Figura 31. Porcentaje Uso predominante de las Unidades de Gestión Ambiental en el AEPH Cajón de Peña.....	68
Figura 32. Sectores de usos predominantes del suelo en el AEPH Cajón de Peña.....	69
Figura 33. Registro de sequía severa (D2) en los años año 2007,2008,2009,2011 y 2019 AEPH Presa Cajón de Peña .....	73
Figura 34. Porcentaje de superficie ocupada por los diferentes tipos de tenencia de la tierra identificada en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	74
Figura 35. Tenencia de la tierra en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	76
Figura 36. Viviendas Particulares Habitadas (VPH) con y sin disponibilidad de agua entubada y drenaje .....	78
Figura 37. Principales presas de México .....	79
Figura 38. Capacidad al NAMO y volumen almacenado de la presa Cajón de Peña.....	80
Figura 39. Infraestructura de captación en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	81
Figura 40. Dinámicas de cambio en el periodo 1998-2018 identificadas en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	84
Figura 41. Esquema de transición de una clase de cobertura a otra en el AEPH Presa Cajón de Peña. Los valores sobre las flechas de colores corresponden al porcentaje de la superficie que cambió de una clase a otra. Las flechas de color negro indican el porcentaje de superficie que se mantuvo en cada clase (permanencia).....	85
Figura 42. Marco tectónico del Bloque de Jalisco. Se señalan con detalle las características tectónicas y volcánicas principales.....	89
Figura 43. Regionalización Sísmica de México. CFE, 1993. CENAPRED .....	90
Figura 44. Actividad sísmica en el estado de Jalisco 1900-08-01 al 2020-08-31 .....	91
Figura 45. Relación de intensidades (Mercalli) generadas por sismos históricos (1875) e instrumentales (1932 y 1995). CENAPRED.....	93
Figura 46. Mapa Nacional Susceptibilidad por Inestabilidad de laderas, Morales Domínguez et al., 2016.....	95

Figura 47. Peligro por su susceptibilidad por inestabilidad de laderas en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	96
Figura 48. Trayectorias de los principales ciclones tropicales que incidieron AEPH Presa Cajón de Peña en el periodo 2000-2015 .....	98
Figura 49. Zonas propensas a inundación en el AEPH Presa Cajón de Peña para un periodo de retorno de 100 años .....	100
Figura 50. Indicador del número de días con tormentas eléctricas a nivel municipal. CENAPRED .....	101
Figura 51. Índice de peligro por tormentas eléctricas en el AEPH Presa Cajón de Peña. CENAPRED .....	102
Figura 52. Yacimientos minerales y ubicación de la localidad del Cuale .....	103
Figura 53. Acuíferos en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	105
Figura 54. Ubicación de los sitios de monitoreo de la calidad del agua .....	108
Figura 55. Calidad del agua en los sitios de muestreo .....	109
Figura 56. Resultados de la degradación específica para las microcuencas que componen el AEPH Presa Cajón de Peña .....	111
Figura 57. Sedimentos y sólidos disueltos en la Presa Cajón de Peña. Fuente: ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2') .....	113
Figura 58. Coberturas vegetales en el AEPH Presa Cajón de Peña para los años conocidos (1998 y 2018) y los escenarios generados para los años 2038 y 2058.....	116
Figura 59. Porcentaje de la superficie total ocupada por los diferentes tipos de cubierta vegetal para los años analizados en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	117
Figura 60. Vulnerabilidad a sismo en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	121
Figura 61. Vulnerabilidad a la susceptibilidad de laderas inestable en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	123
Figura 62. Vulnerabilidad a ciclones tropicales en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	125
Figura 63. Vulnerabilidad a inundaciones en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	126
Figura 64. Vulnerabilidad a tormentas eléctricas en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	128
Figura 65. Arrastre hacia el cuerpo de agua de la Presa Cajón de Peña de sedimentos y sólidos disueltos por el río Tomatlán en mayo de 2020 .....	129
Figura 66. Cambios anuales medios globales de la temperatura de la superficie (en grados C) simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3 para condiciones históricas (1860-2005) y cuatro escenarios futuros proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP). Fuente: (Alvich, 2020). Modelo físico acoplado, CM3. <a href="https://www.gfdl.noaa.gov/coupled-physical-model-cm3/">https://www.gfdl.noaa.gov/coupled-physical-model-cm3/</a> . Accedido el 27 de abril de 2020.....	133
Figura 67. Cambios en la precipitación (mm) para el mes de junio en el polígono de AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones actuales (1960-1990) y dos escenarios futuros 2050 y 2070.	134

Figura 68. Cambios mensuales en la temperatura máxima (°C) para el mes de junio en el AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones “actuales” (1960-1990) y dos escenarios futuros 2050 y 2070.....	135
Figura 69. Cambios mensuales en la temperatura mínima (C) para el mes de junio en el polígono del AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones “actuales” (1960-1990) y dos escenarios futuros 2050 y 2070. ....	135
Figura 66. Proceso metodológico para la delimitación de las unidades de manejo.....	139
Figura 67. Unidades de manejo en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	140
Figura 71. Organigrama de la estructura administrativa encargada de vigilar la aplicación y cumplimiento del programa de aprovechamiento del Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña. ....	148

## Índice de Tablas

Tabla 1. Superficie del polígono propuesto para Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña diferenciada por el municipio donde se localizan .....	4
Tabla 2. Criterios utilizados para la identificación de áreas con aptitud para la conservación de recursos hídricos.....	8
Tabla 3. Criterios utilizados para la identificación de restricciones y/o amenazas a los objetivos de conservación .....	9
Tabla 4. Edafología en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	10
Tabla 5. Fases físicas del suelo .....	12
Tabla 6. Unidades litológicas.....	14
Tabla 7. Principales operaciones mineras dentro y fuera del AEPH Presa Cajón de Peña.....	16
Tabla 8. Concesiones vigentes en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	16
Tabla 9. Descripción del tipo de clima .....	19
Tabla 10. Normales climatológicas de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional ubicadas en el AEPH Presa Cajón de Peña y sus cercanías.....	22
Tabla 11. Estructuras del relieve .....	27
Tabla 12. Zona de aporte de recarga de agua.....	29
Tabla 13. Subcuencas en el AEPH Cajón de Peña y la superficie que ocupan .....	30
Tabla 14. Cuencas hidrológicas, microcuencas y principales afluentes de las microcuencas localizadas en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	31
Tabla 15. Resultados del cálculo de volumen medio escurrido y gasto máximo en el AEPH Cajón de Peña y las microcuencas generadas .....	34
Tabla 16. Clasificación de la erosión hídrica en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	35
Tabla 17. Estaciones climatológicas necesarias para el cubrimiento territorial del AEPH Presa Cajón de Peña .....	37

Tabla 18. Valor del cálculo de las precipitaciones máxima anual para las estaciones climáticas con periodo de retornos de 50 y 100 años con cubrimiento del AEPH Presa Cajón de Peña.....	40
Tabla 19. Valores del coeficiente de escorrentía C para calcular escurrimientos.....	43
Tabla 20. Determinación del coeficiente de escorrentía C en el AEPH Cajón de Peña .....	44
Tabla 21. Estimación de la evapotranspiración potencial mensual (mm) para la estación climatológica 14024 Cajón de Peña (1954-2011) con cubrimiento sobre del AEPH Presa Cajón, utilizando el método de Thornthwaite y Mather .....	47
Tabla 22. Especies de plantas incluidas en la en la NOM-059 dentro del AEPH Presa Cajón de Peña.....	50
Tabla 23. Superficie en el AEPH Presa Cajón de Peña por tipo de cobertura vegetal identificada por MAD-Mex y el tipo de vegetación correspondiente con base en la clasificación de Rzedowski (2006).....	53
Tabla 24. Estadísticas de fauna en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	56
Tabla 25. Especies de fauna incluidas en la NOM-059 dentro del AEPH Presa Cajón de Peña.	57
Tabla 26. Tipo de paisajes físico-geográficos en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	58
Tabla 27. Población en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	61
Tabla 28. Localidades con mayor número de habitantes en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	61
Tabla 29. Población por grupo de edad en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	62
Tabla 30. Localidades indígenas en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	65
Tabla 31. Tipo de uso del agua .....	66
Tabla 32. Uso Predominante del suelo en el AEPH Cajón de Peña .....	68
Tabla 33. Registro de eventos de sequía severa en AEPH Presa Cajón de Peña.....	71
Tabla 34. Tipo de tenencia de la tierra y superficie que ocupa por núcleo agrario o zona y municipio .....	74
Tabla 35. Descripción de los indicadores estudiados .....	77
Tabla 36. Monitoreo de la Presa Cajón de Peña .....	79
Tabla 37. Superficie con cobertura forestal en los años de 1998 y 2018 y tasa de deforestación para el AEPH Presa Cajón de Peña.....	82
Tabla 38. Dinámica de cambio en el AEPH Presa Cajón de Peña en el periodo de 1998-2018 .	83
Tabla 39. Índices de paisaje utilizados para el análisis de fragmentación en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	86
Tabla 40. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de clase para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas de los años 1998 y 2018.....	87
Tabla 41. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de paisaje para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas de los años 1998 y 2018.....	87



Tabla 42. Escala de Mercalli y su relación directa con la aceleración del terreno, la percepción del temblor y el posible daño.....	93
Tabla 43. Superficies en hectáreas del grado de peligro por su susceptibilidad por inestabilidad de laderas en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	96
Tabla 44. Procesos contaminantes .....	102
Tabla 45. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas .....	104
Tabla 46. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	106
Tabla 47. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en los Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	107
Tabla 48. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en los Coliformes Fecales (CF) .....	107
Tabla 49. Datos de los sitios de la calidad del agua .....	108
Tabla 50. Resultados del total de suelo erosionado, la producción de sedimentos y la degradación específica para el AEPH Presa Cajón de Peña y sus microcuencas .....	110
Tabla 51. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de clase para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas generadas en los escenarios de los años 2038 y 2058.....	118
Tabla 52. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de paisaje para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas generadas en los escenarios de los años 2038 y 2058.....	119
Tabla 53. Grado de vulnerabilidad por sismo en los sistemas expuestos en el AEPH Presa Cajón de Peña.....	120
Tabla 54. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a la susceptibilidad de laderas inestable en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	122
Tabla 55. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a ciclones tropicales en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	124
Tabla 56. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a inundaciones en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	127
Tabla 57. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a tormentas eléctricas en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	127
Tabla 58. Toneladas por año (t/año) de sedimentos producidas en las microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña .....	129
Tabla 59. Prospección de acumulación en la cuenca sedimentarias de la Presa Cajón de Peña. ....	130
Tabla 60. Cambios en la precipitación acumulada (mm) para el mes de junio en el polígono AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones "actuales" (1960-1990) y dos escenarios futuros proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP 8.5), simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3.....	134
Tabla 61. Cambios mensuales en la temperatura máxima (°C) para el mes de junio en el AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones "actuales" (1960-1990) y dos escenarios futuros	

proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP 8.5), simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3.....	134
Tabla 62. Cambios mensuales en la temperatura mínima (C) para el mes de junio en el polígono del AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones "actuales" (1960-1990) y dos escenarios futuros proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP 8.5), simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3.....	135
Tabla 62. Unidades de manejo en el AEPH Presa Cajón de Peña .....	140
Tabla 63. Criterios, obras y acciones del subprograma de aprovechamiento productivo .....	142
Tabla 64. Criterios, obras y acciones del subprograma de aprovechamiento hidrológico .....	144
Tabla 65. Criterios, obras y acciones del subprograma de recuperación .....	146

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La Presa Cajón de Peña está localizada en el municipio de Tomatlán, Jalisco, es considerada una de las más importantes y es la más grande del estado de Jalisco. Fue construida entre los años 1974-1976 y tiene una capacidad de 707 hm<sup>3</sup>; el objetivo de su construcción fue para el embalsamiento de las aguas del Río Tomatlán, para uso principalmente en la agricultura de riego y en menor proporción para uso potable.

Actualmente, por su ubicación y sus características naturales como los paisajes, cascadas, ríos, arroyos, diversidad florística y presencia de aves, la Presa Cajón de Peña se ha convertido en un atractivo turístico de gran importancia para el municipio y la región, contando con infraestructura de servicios como hospedaje e instalaciones para deportes acuáticos y pesca principalmente de tilapia, lobina, langostino, bagre y el molusco llamado “tegololo” considerado de difícil reproducción.

Como la mayoría de las presas de México, la Presa Cajón de Peña está sujeta a la disminución de su vida útil por el azolvamiento. La principal causa del azolve es la entrada de sedimentos al cuerpo de agua que son arrastrados por las corrientes desde aguas arriba. Actividades como la remoción de la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo favorecen la erosión de los suelos, generando así mayor cantidad material que es arrastrado y depositado en el fondo de la presa. Esta problemática de la presa compromete tanto la cantidad, como la calidad del agua que se almacena, los que genera afectaciones a la población que se beneficia de los servicios ecosistémicos que esta ofrece.

La conservación de la cobertura vegetal natural de las pendientes que drenan hacia el embalse y los cauces tributarios la Presa Cajón de Peña, así como la limitación y regulación de las actividades productivas que ocasionan erosión, como la agricultura, ganadería y algunos aprovechamientos forestales, disminuyen la cantidad de sedimentos que son arrastrados y depositados en el cuerpo de agua y comprometen su calidad.

Derivado de lo anterior, surge el presente Estudio Técnico Justificativo, en el que se ha denominado al área de estudio como “Área Estatal de Protección Hidrológica (AEPH) Presa Cajón de Peña”, cuyo objeto primordial es el desarrollar un estudio integral que forme las bases para la declaratoria de un Área de Protección.

De esta manera y de acuerdo con la definición que se encuentra en la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en su Título Segundo áreas Naturales Protegidas, Capítulo I de las categorías, declaratorias y ordenamiento de áreas naturales protegidas, sección primera de los tipos y caracteres de las áreas naturales protegidas, el AEPH Presa Cajón de Peña se establecerá como lo precisa el Artículo 49. Las áreas estatales de protección hidrológica son aquellas destinadas a la preservación de ríos, manantiales y aguas subterráneas, a través de la protección de cuencas, áreas boscosas, llanuras y todas aquellas áreas que tengan impacto en las fuentes de producción y/o abastecimiento de agua (Congreso del Estado de Jalisco, 1989).

Por lo que el presente documento se desarrolla en apego a los Criterios Ambientales Estatales para la Elaboración y Presentación de Propuestas de Declaración de Áreas Naturales Protegidas, numeral 3.4 Criterios ambientales aplicables en la elaboración del estudio técnico para el Área Estatal de Protección Hidrológica (SEMADES, 2006a).

## **1.2. Justificación**

Los humedales continentales están considerados como ambientes clave, ya que proveen agua dulce y en ellos se mantiene la biodiversidad. En los humedales artificiales, como es el caso de las presas, una de sus grandes ventajas es la retención de agua para la agricultura, asimismo, son importantes para la disminución del peligro de inundaciones y son fuente de actividades productivas como la pesca y el turismo.

Sin embargo, los humedales en México presentan un acelerado deterioro por las acciones, directas o indirectas, de las actividades humanas. Entre las principales problemáticas que se han identificado en la Presa Cajón de Peña, se encuentran la modificación del entorno en planicies aluviales y junto a los poblados, alta deforestación, construcción de carreteras, cambio de uso de suelo para agricultura y ganadería, contaminación en el río Tomatlán por agroquímicos y sedimentos en suspensión, eutroficación y aportes orgánicos, así como la introducción de peces, cacería ilegal y tráfico de aves.

La permanencia de los humedales sanos es fundamental en la subsistencia de los seres humanos, por lo que es indispensable conocerlos para generar estrategias de conservación y manejo y con esto asegurar su conservación y uso racional. En este documento se muestran las diversas características del AEPH Presa Cajón de Peña a fin de destacar su importancia no solo a nivel local, sino como parte fundamental del desarrollo sostenible a nivel global.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Desarrollar un estudio integral de la cuenca de captación de la Presa Cajón de Peña y los macizos forestales aledaños a esta, mismo que será la base para una declaratoria de Área Natural Protegida, asegurando la protección, uso y manejo sustentables de los recursos biológicos y abióticos, la continuidad de los procesos ecológicos y por lo tanto el bienestar de la sociedad que se beneficia de ellos.

### **2.2. Objetivos particulares**

- Definir el polígono de estudio para propuesta de Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña
- Caracterizar los recursos físicos, biológicos y sociales a proteger, con el fin de asegurar los servicios ecosistémicos que proporciona el polígono propuesto de Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña
- Conocer la problemática actual del polígono propuesto de Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña y así enfocar las acciones de protección en la disminución de los impactos negativos que prevalecen en la zona y en su área de influencia
- Realizar un análisis tendencial de las condiciones cualitativas y cuantitativas en que se encontrarán los recursos naturales del área propuesta, así como del recurso agua
- Detallar la importancia del recurso agua, para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que proporciona el Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña

### 3. DELIMITACIÓN DEL POLÍGONO DE ESTUDIO

#### 3.1. Ubicación geográfica

El polígono propuesto de Área Estatal de Protección Hidrológica (AEPH) Presa Cajón de Peña se localiza en el occidente del Estado de Jalisco. Comprende una superficie total de 159,382.224 ha de las cuales 89,254.88 ha se localizan en el municipio de Talpa de Allende, 68,042.62 ha en el municipio de Tomatlán y 2,084.72 ha en el municipio de Cabo Corrientes (Tabla 1). Es contiguo al área natural protegida Parque Estatal Bosque de Arce y a los polígonos de las propuestas de área estatal de protección hidrológica Sierra de Cacoma y Sierra El Cuale y del Paisaje Biocultural.

El polígono de AEPH Presa Cajón de Peña se localiza dentro de las coordenadas, expresadas en metros con proyección Universal Transversa de Mercator y datum WGS84 zona 13 norte, que se presentan a continuación:

- Esquina inferior izquierda  
X = 474178.0422  
Y = 2203889.2516
- Esquina superior derecha  
X = 532089.966  
Y = 2254403.2077

El AEPH Presa Cajón de Peña está compuesta por un polígono que comprende la microcuenca de los afluentes de la Presa Cajón de Peña, así como la cabecera de cuenca del Río San Nicolás (Figura 1).

**Tabla 1. Superficie del polígono propuesto para Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña diferenciada por el municipio donde se localizan**

Municipio	Superficie	
	Hectáreas	%
Cabo Corrientes	2,084.72	1.31
Talpa de Allende	89,254.88	56.00
Tomatlán	68,042.62	42.69
<b>Total AEPH Presa Cajón de Peña</b>	<b>159,382.22</b>	<b>100.00</b>



Figura 1. Localización del polígono propuesto para Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña

### 3.2. Delimitación del polígono

La delimitación del polígono AEPH Presa Cajón de Peña, se realizó bajo un enfoque de priorización de áreas para la conservación, el cual parte de un objetivo específico de donde se desprenden los criterios e indicadores, así como las restricciones o amenazas a dicho objetivo (Chávez González et al., 2018).

En la Figura 2 se presenta el modelo del proceso metodológico que se siguió para la delimitación del polígono. Primeramente, se encuentra el objetivo de priorización, el cual se definió con base en lo señalado en el artículo 49 de la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del estado de Jalisco. Posteriormente se identificaron y seleccionaron los criterios para

identificar las áreas con aptitud para la conservación de los recursos hídricos, los cuales con base en su naturaleza se dividieron en componentes físicos y componentes bióticos. En la

Tabla 2 se describen los criterios utilizados para cada componente, así como la fuente de la que se obtuvo la información.

Por otra parte, se identificaron las acciones y componentes que restringen y/o amenazan a los objetivos de conservación (recursos hídricos), los cuales son generados, principalmente, por las actividades antropogénicas. En la Tabla 3 se describen los criterios de restricción y/o amenaza a los objetivos de conservación y su fuente.

La identificación de sitios con aptitud para la conservación de los recursos hidrológicos, así como los sitios con mayor presencia de amenazas, se realizó mediante un análisis espacial multicriterio de tipo cuantitativo en el que se les asignó un peso o valor a los criterios de cada componente. La determinación del valor o peso de cada criterio del modelo de análisis se realizó a través de un taller interno de especialistas del equipo consultor, siguiendo el fundamento metodológico del proceso analítico jerárquico (Saaty, 1987; SEMARNAT, 2006).

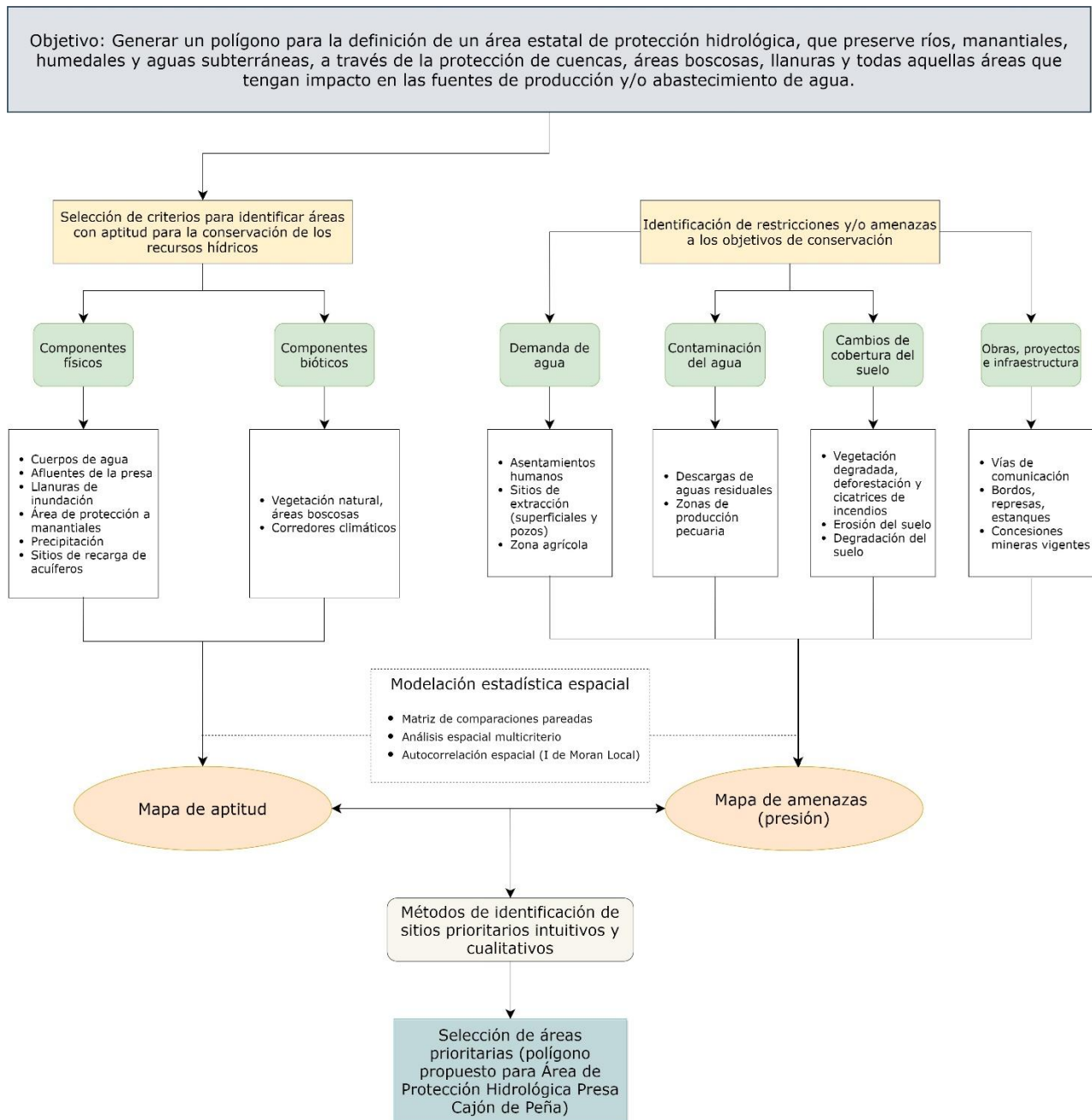
El análisis de identificación de sitios con aptitud y de amenazas se realizó mediante un Sistema de Información Geográfica. Para cada criterio se generó una capa en formato raster con una unidad de análisis (tamaño de la celda) de 100m x 100m y proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) datum WGS84. A cada criterio se le asignó el peso (

Tabla 2 y Tabla 3) resultado del proceso analítico jerárquico y se realizó la suma de capas mediante la función de álgebra de mapas.

A los resultados del análisis de aptitud para la conservación de los recursos hidrológicos, así como para la presencia de amenazas se les calculó el índice local de Moran. Con este índice se generaron conglomerados de los sitios donde, por una parte, se concentran los sitios con mayor aptitud para la conservación, identificándose sitios con aptitud alta, aptitud media y sin aptitud. Por otra parte, se generaron conglomerados de los sitios donde hay presencia de amenazas a la conservación de los recursos hidrológicos, identificándose sitios con nivel de amenaza alto, medio y sin amenaza.

Por último, se combinaron los resultados de los sitios con aptitud, los sitios con presencia de amenazas, así como los rasgos naturales y artificiales presentes en la zona de estudio y a través de métodos intuitivos y cualitativos con opiniones de especialistas, se generaron polígonos envolventes que incluyeran el área de los afluentes de la presa Cajón de Peña, así como su área de influencia.





**Figura 2. Proceso metodológico utilizado para la identificación y delimitación de las áreas prioritarias para la protección hidrológica en la Presa Cajón de Peña. Modelo adaptado para este trabajo a partir del presentado por Chávez González et al. (2018)**

**Tabla 2. Criterios utilizados para la identificación de áreas con aptitud para la conservación de recursos hídricos**

Componente	Subcomponente	Criterio	Capa de información	Fuente	Descripción	Peso asignado
Físico	Hidrológico	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	INEGI, 2010	Cuerpos de agua que están fuera de los polígonos declarados como sitios Ramsar	8.5
		Afluentes	Corrientes de agua	INEGI, 2010	Área de influencia de 50 m a cada lado de la línea de los escurrimientos que alimentan directamente a los cuerpos de agua de los sitios Ramsar	23.35
		Llanuras de inundación	Llanuras de inundación Periodo de retorno Tr= 100 años	Montes, 2011, consultado en CENAPRED, 2020	Área de inundación identificada del Atlas Nacional de Riesgos que tienen pendiente de entre 0° a 2°	11.83
		Área de protección a manantiales	Manantiales	INEGI, 2015	Área de influencia de 50 m de radio del punto de localización del manantial	16.15
		Precipitación	Isoyetas precipitación total anual	CONABIO, 1998	Clases de precipitación con los siguientes rangos: a) 2600 a 1500, b) 1500 a 1000 y c) 1000 a 500. El total del peso se divide de la siguiente forma: a = 50%; b = 30%; c = 20%	9.56
	Geomorfológico	Sitios de recarga de acuíferos	Geología ambiental	UNAM, 2001	Zonas con potencial para infiltración	7.33
Biótico	Vegetación	Vegetación natural, áreas boscosas	Coberturas del suelo 2018	MAD_Mex, 2018	Áreas con vegetación natural primaria y secundaria	17.33
	Ecosistemas	Corredores climáticos	Corredores climáticos para la conservación de la biodiversidad en México	CONABIO, CONANP, PNUD, 2019	Áreas con valores de costo de 0 a 100	5.95

**Tabla 3. Criterios utilizados para la identificación de restricciones y/o amenazas a los objetivos de conservación**

Componente	Criterio	Capa de información	Fuente	Descripción	Peso asignado
Demanda de agua	Asentamientos humanos	Polígonos de localidades urbanas y rurales y área urbana municipal	MGN INEGI, 2019	Polígonos de localidades urbanas y rurales y áreas urbanas municipales	8.46
	Sitios de extracción de agua	Pozos y aprovechamientos superficiales	CONAGUA, 2015; CONAGUA, 2017	Área de influencia de 500 m (cono de abatimiento) de los pozos de extracción y de 50 m de los aprovechamientos superficiales	4.44
	Zona agrícola	Frontera agrícola Serie II	SIAP-SAGARPA, 2014	Áreas agrícolas localizadas fuera de los polígonos del distrito y unidades de riego	6.76
Contaminación del agua	Descargas de aguas residuales	Sitios de descarga de aguas residuales	CONAGUA, 2017	Área de influencia de 500 m de los sitios de descargas de aguas residuales	17.54
	Zonas de producción pecuaria	Infraestructura del sector agroalimentario	SIAP-SNIDRUS, 2018	Área de influencia de los sitios donde se localizan unidades de producción pecuarias (50 m)	7.62
Cambios de cobertura del suelo	Vegetación degradada y deforestación	Análisis de degradación y cambio de uso del suelo, áreas quemadas	MODIS, 2019; Gea Sostenible S. C., 2020	Áreas que presentaron degradación de la vegetación, deforestación y cicatriz de incendio	21.9
	Erosión del suelo	Erosión	SEMARNAT, 2014	Suelos que presentan erosión de tipo hídrica y antrópica	10.37
	Degradación del suelo	Degradación del suelo	SEMARNAT, 2012	Suelos que presentan degradación de grado moderado	4.98
Obras, proyectos e infraestructura	Vías de comunicación	Carreteras y caminos de la Red Nacional de Caminos	IMT-SCT-INEGI, 2018	Área de influencia de 50 m a cada lado del eje vial de los tipos de vialidades carreteras y caminos. El total del peso se divide de la siguiente forma: Carretera = 70%; Camino = 30%	4.04
	Bordos, represas, estanques	Bordos, presas y estanques	INEGI, 2015	Sitios donde se localizan estas obras (área de influencia 50 m de bordos y presas)	1.35
	Concesiones mineras vigentes	Lotes con concesión o asignación minera vigente	Secretaría de Economía-Dirección General de Minas, 2019	Polígonos correspondientes a los lotes amparados por concesiones, asignaciones y reservas mineras vigentes	12.54

## 4. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

### 4.1. Medio natural

#### 4.1.1. Elementos abióticos

##### Edafología

La carta edafológica elaborada por la Dirección General de Geografía (DGG) escala 1:50,000 del INEGI (1971), presenta la distribución geográfica de los suelos en el país, ordenados de acuerdo con la clasificación de Suelos FAO/UNESCO 1968, modificado por DETENAL en 1970. Esas modificaciones adicionaron nuevas subunidades que la clave original de la FAO no contemplaba, considerando de igual manera el sistema climático modificado por Enriqueta García.

El suelo predominante en el AEPH Presa Cajón de Peña es el Regosol, el cual representa el 82.73% del total del área de estudio, en menor medida se presentan los Litosoles (7.68%) y Cambisoles (4.59%). En la Tabla 4 se pueden observar los 9 suelos presentes, el número de hectáreas correspondiente y su porcentaje.

Tabla 4. Edafología en el AEPH Presa Cajón de Peña

Suelo predominante	Superficie	
	Hectáreas	%
Acrisol	753	0.47
Andosol	10.79	0.01
Cambisol	7,317.29	4.59
Feozem	2,588.51	1.62
Fluvisol	2,199.31	1.38
Litosol	12,242.50	7.68
Luvisol	2,317.12	1.45
Regosol	131,851.48	82.73
Rendzina	102.24	0.06
<b>Total</b>	<b>159,382.22</b>	<b>100</b>

A continuación, se presenta la descripción de cada tipo de suelo con base en lo descrito en la guía de interpretación de cartografía de edafología de INEGI (2004).

##### Acrisol

Es un suelo no representativo, está presente solamente en el 0.47% del AEPH Presa Cajón de Peña. Estos suelos por ser ácidos se encuentran en zonas tropicales o templadas muy lluviosas. Se caracterizan por tener acumulación de arcilla en el subsuelo, por sus colores rojos, amarillos o amarillos claros con manchas rojas, muy ácidos y pobres en nutrientes. Son suelos que se usan en la agricultura con rendimientos muy bajos. Son moderadamente susceptibles a la erosión.

##### Andosol

Es un suelo no representativo que se distribuye en el 0.01% AEPH Presa Cajón de Peña, son suelos de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido

de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo; son generalmente de colores oscuros y tienen alta capacidad de retención de humedad, siendo muy susceptibles a la erosión eólica.

### **Cambisol**

Es un suelo que se localiza al noroeste del AEPH Presa Cajón de Peña, cubriendo el 4.59% del total área estudiada, este suelo se caracteriza por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, hierro o manganeso. Su uso y rendimiento depende del tipo de clima en donde se presenten; son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión.

### **Feozem**

Se distribuye en el 1.62 % del del AEPH Presa Cajón de Peña. Este tipo de suelo se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Son suelos de profundidad variable, cuando se encuentran en terrenos planos son profundos y se utilizan para la agricultura de riego y temporal con rendimientos altos; cuando se localizan sobre laderas o pendientes son menos profundos y presentan la limitante de rocas o cementaciones fuertes, bajo estas condiciones el rendimiento es menor y se erosionan con facilidad.

### **Fluvisol**

En menor medida están también los fluvisoles, localizados en el 1.38% del AEPH Presa Cajón de Peña. Los suelos de tipo fluvisol (suelos de río) se localizan siempre cercanos a los lechos de los ríos. Se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por agua, son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan generalmente estructura débil o suelta. Presentan capas alternadas de arena con piedras o gravas redondeadas, como efecto de la corriente y crecidas del agua en los ríos.

### **Litosol**

Este suelo se localiza al noroeste del AEPH Presa Cajón de Peña en un 7.68%, comúnmente éste se encuentra en barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos, se caracteriza por su poca profundidad (menor a 10 cm), la cual está limitada por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido. Su susceptibilidad a la erosión es variable y depende de otros factores ambientales.

### **Luvisol**

Los luvisoles se distribuyen en el 1.45% del AEPH Presa Cajón de Peña, estos son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas. Se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros. Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados.

### **Regosol**

Es el suelo con mayor presencia dentro del AEPH Presa Cajón de Peña, distribuido en el 82.73% del área, estos son suelos claros o pobres en materia orgánica, se asocian con litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. Este tipo de suelo se localiza en la parte sur del sitio del proyecto, con una presencia mucho menor.

## Rendzina

En un porcentaje bajo también se localizan este tipo de suelos (0.06%) dentro del AEPH Presa Cajón de Peña, estos son suelos someros que producen ruido con el arado por su pedregosidad. Se presentan en climas semiáridos, tropicales o templados. Se caracterizan por tener una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil que descansa sobre roca caliza o materiales ricos en cal. Generalmente las rendzinas son suelos arcillosos y poco profundos. Si se desmontan se pueden usar en la ganadería con rendimientos bajos a moderados pero con gran peligro de erosión en laderas y lomas.

Por otra parte, tenemos las fases físicas de los suelos, que señalan la presencia de fragmentos de roca y materiales cementados. Estas se dividen en superficiales y de profundidad (Tabla 5).

Cada una de las fases cuenta con características particulares de acuerdo con la presencia de fragmentos de roca. A continuación, se detallan las correspondientes al AEPH Presa Cajón de Peña.

### a) De Profundidad

- Fase lítica y lítica profunda. Capa de roca dura y continua o un conjunto de trozos de roca muy abundantes que impiden la penetración de las raíces.

### b) Superficiales

- Fase gravosa. Presencia de gravas menores a 7.5 cm de diámetro en la superficie del terreno o dentro de los 30 cm de profundidad.
- Fase pedregosa. Presencia de piedras con 7.5 cm o más de diámetro en la superficie del terreno o dentro de los 30 cm de profundidad.

**Tabla 5. Fases físicas del suelo**

Tipo	Fase Física	Superficie	%
		Hectáreas	
De profundidad	Lítica	34,997.24	21.96
	Lítica profunda	104,434.62	65.52
No aplica	Concrecionaría	29.07	0.02
	Ninguno	16,817.23	10.55
Superficiales	Gravosa	457.91	0.29
	Pedregosa	2,646.15	1.66
<b>Total</b>		<b>159,382.22</b>	<b>100</b>

La fase con mayor presencia es la lítica profunda, esta se localiza en un 65.52% del AEPH Presa Cajón de Peña, seguida de la lítica. En la Figura 3 se pueden observar las de mayor presencia, así como los suelos predominantes.

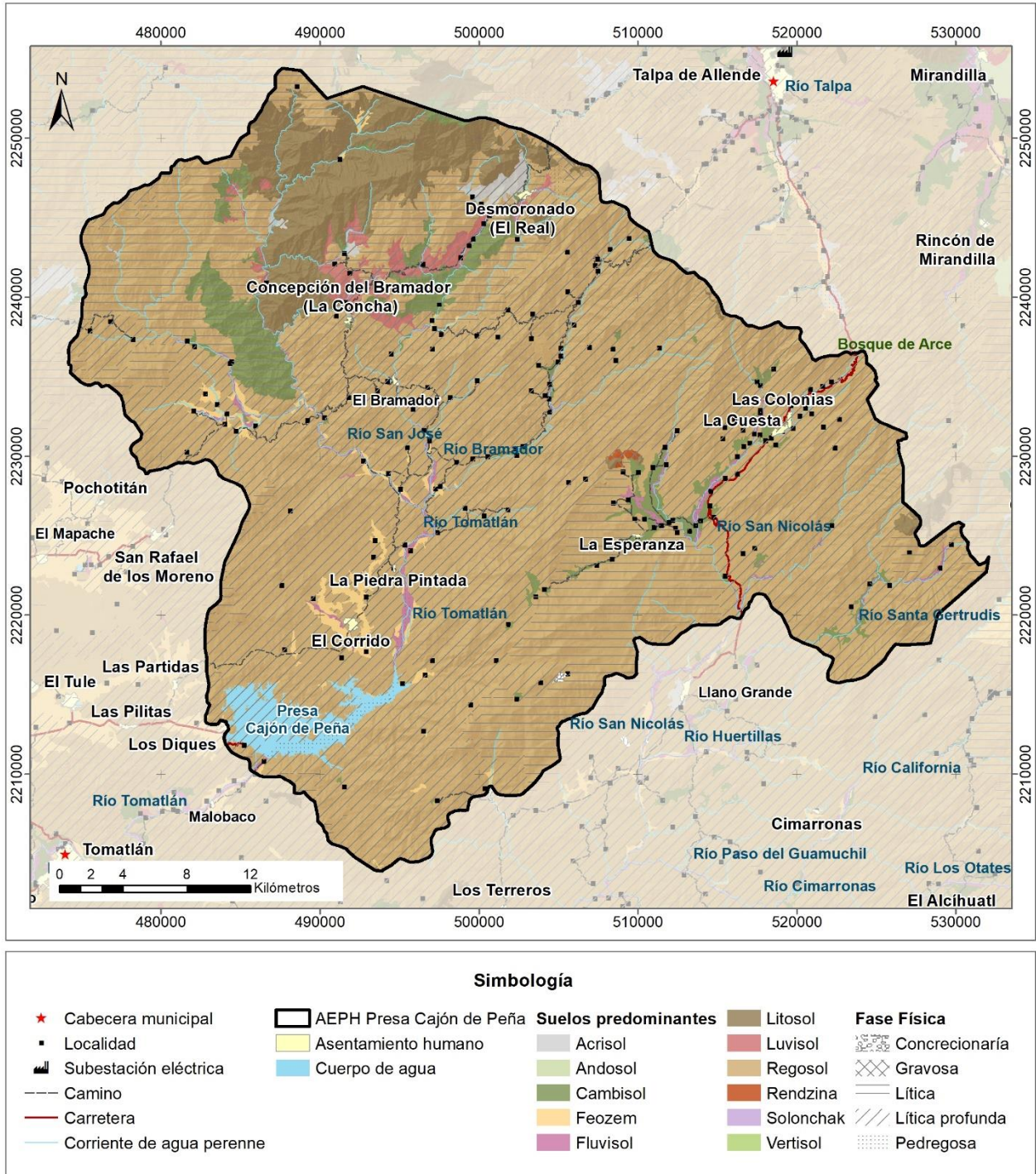


Figura 3. Edafología (suelos predominantes)

### Geología

En el AEPH Presa Cajón de Peña se identifican 3 tipos de unidades litológicas (Tabla 6): asociaciones de rocas, rocas predominantes y suelos (INEGI, 1971b). De acuerdo con la asociación de rocas, se identificó la roca Caliza-Lutita en menos del 1%. Respecto a las rocas predominantes se tienen 8 tipos, la de mayor presencia es el granito, perteneciente al grupo de

rocas ígneas-intrusivas-ácidas, que se originan a partir de material fundido en el interior de la corteza terrestre, el cual es sometido a temperatura y presión muy elevada y que contienen más del 65% de SiO<sub>2</sub> (sílice) (INEGI, 2005), ocupando un 57.39% de la superficie total del AEPH Presa Cajón de Peña, seguida de la roca Extrusiva Ácida con un 20.35%.

En cuanto a los suelos, debe destacarse que a diferencia de la carta edafológica que los trata considerando sus propiedades físicas, químicas y morfológicas, la geológica los trata atendiendo a los lugares en que se depositan (llanuras de inundación, pie de monte, zonas lacustres, zonas de pantanos y litorales, por citar algunos) y a los agentes de transporte que los depositan (INEGI, 2005).

La unidad de suelo presente en el AEPH Presa Cajón de Peña es el aluvial, localizado en tan sólo el 2.5%, el cual se forma a partir del material transportado por corrientes de agua. Los suelos aluviales por lo general suelen ser pobres y los recientes son ricos en nutrientes y minerales, por lo que el depósito de los sedimentos puede beneficiar el desarrollo agrícola.

**Tabla 6. Unidades litológicas**

Unidad litológica		Superficie	
		Hectáreas	%
Asociación de rocas	Caliza - Lutita	205.76	0.13
Roca predominante	Andesita	3,192.23	2.00
	Caliza	154.46	0.10
	Esquisto	12,330.93	7.74
	Extrusiva ácida	32,426.51	20.35
	Extrusiva intermedia	8,900.78	5.58
	Granito	91,463.45	57.39
	Intrusiva ácida	4,934.09	3.10
	Toba	549.59	0.34
Suelo	Aluvial	3,986.48	2.50
	Residual	1,237.95	0.78
<b>Total</b>		<b>159,382.22</b>	<b>100</b>

Referente a las estructuras geológicas, se identifican las siguientes de acuerdo con la cartografía de INEGI (1971b);

- Banco de material
- Mina
- Noria
- Pozo

Se identifican fallas de tipo normal, que corresponden a la ruptura de la corteza en donde sí ha habido desplazamiento de bloques (INEGI, 2005), así como fracturas, tal como se puede observar en la Figura 4.



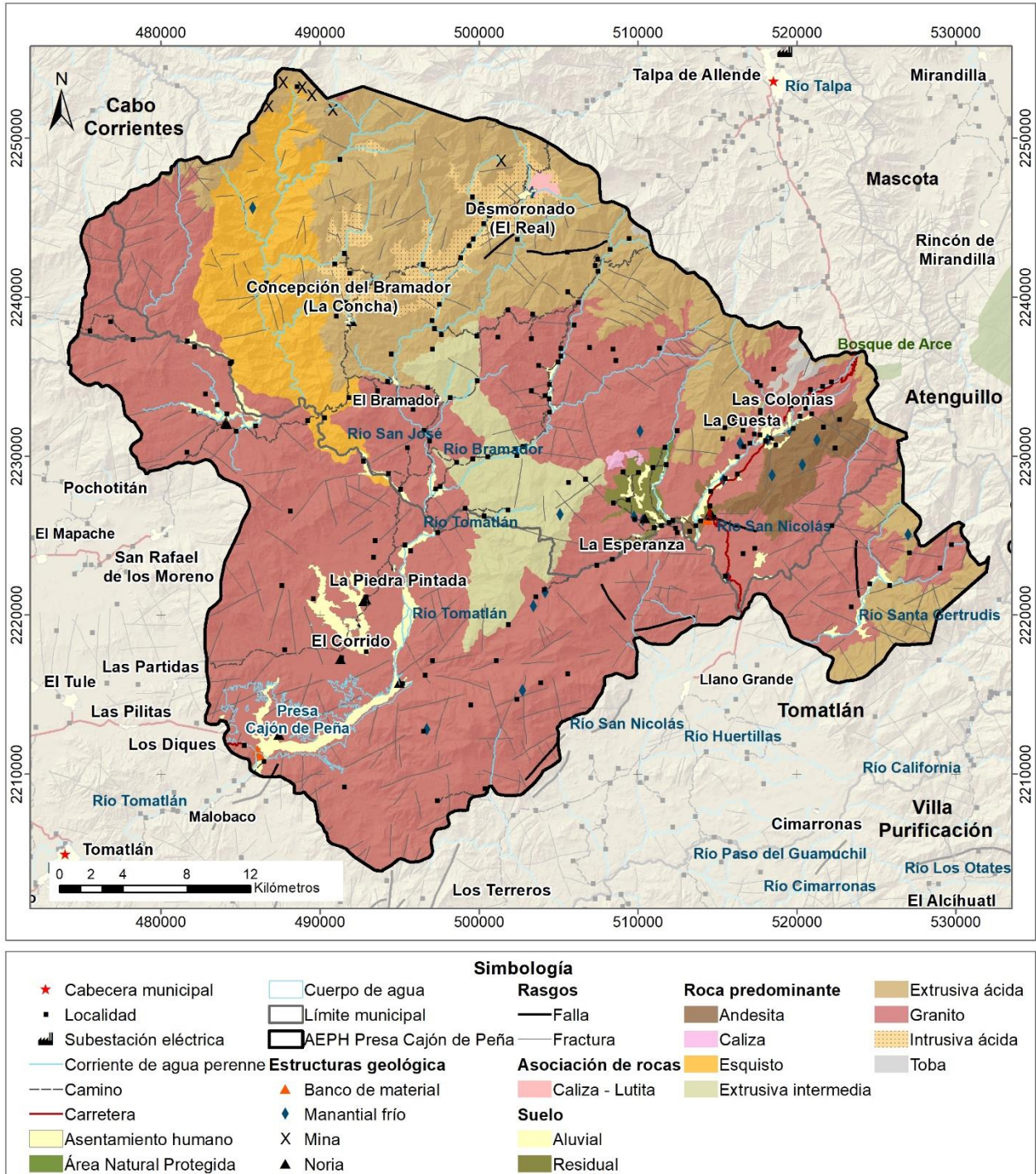


Figura 4. Unidades litológicas y estructuras geológicas

En cuanto a la minería, México ocupa el 1<sup>er</sup> lugar en la producción de plata a nivel mundial. Se ubica entre los 10 principales productores de 16 diferentes minerales: plata, bismuto, fluorita, celestita, wollastonita, cadmio, molibdeno, plomo, zinc, diatomita, sal, barita, grafito, yeso, oro y cobre. El sector minero-metalúrgico en el país, representó el 8.2% del Producto Interno Bruto (PIB) industrial

y el 2.4% del PIB de acuerdo con cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2018. Al mes de enero de 2020, se generaron 381 mil 456 empleos directos y más de un 2.3 millones de empleos indirectos, de acuerdo con el reporte del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) (Secretaría de Economía, 2020).

En el AEPH Presa Cajón de Peña se localizan dos proyectos mineros de mayor importancia en México, considerados dentro de las principales operaciones mineras en exploración, desarrollo y/o explotación. El Cuale y Jalical B. es el nombre de estos proyectos mineros, el primero tiene extracción de Oro, Plata y Zinc y el segundo tiene extracción de Cobre y Hierro. En la Tabla 7 se pueden observar las características de cada una de estas minas y en la Figura 5 la ubicación geográfica de estas y las más aledañas al AEPH Presa Cajón de Peña.

**Tabla 7. Principales operaciones mineras dentro y fuera del AEPH Presa Cajón de Peña**

ID	Compañía	Proyecto	Mineral	Etapas	Estado	Municipio	Ubicación
1	Zinco Mining Corporation	Cuale	Au, Ag, Zn	Exploración	Jalisco	Talpa de Allende	AEPH Presa Cajón de Peña
2	Zinco Mining Corporation	La Descubridora	Ag, Zn, Pb, Au, Cu	Exploración	Jalisco	Talpa de Allende	Próxima
3	Argentum Silver Corporation	Coyote	Ag, Au	Exploración	Jalisco	Cuautla	Próxima
4	Eurofro Mineral Group	Jalical	Au, Ag	Exploración	Jalisco	Tomatlán	Próxima
5	Eurofro Mineral Group	Jalical B	Cu, Fe	Exploración	Jalisco	Tomatlán	AEPH Presa Cajón de Peña

Fuente: Servicio Geológico Mexicano, 2019.

En la Figura 5 también se pueden observar las concesiones mineras vigentes y canceladas de acuerdo con la información presentada en el Sistema de Consulta CartoMinMex de la Secretaría de Economía (2019), elaborada por la Dirección General de Minas-Subdirección de Cartografía, con información relativa al catastro minero mexicano constituido en una primera etapa por la Cartografía Minera y su Registro Público.

En la Tabla 8 se presentan los títulos de las concesiones vigentes presentes en el AEPH Presa Cajón de Peña, así como los titulares, extracción, y fechas de expedición y vigencia. Como se puede observar, los años vigentes para estas concesiones se contemplan en algunos casos hasta por más de 40 años.

**Tabla 8. Concesiones vigentes en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Título	Nombre del lote	Municipio	Superficie (ha)	Titular	Extracción	Expedición	Vigencia
243838	Jalical- B	Tomatlán	8960.78	Jalical Mining México Corporation, S.A. De C.V.	Cu, Fe, TSP	12/12/2014	13/07/2059
219743	San Antonio Fracción Ii	Talpa De Allende	45.66	Antonio Briseño Guerra	Au, Ag, Cu	08/04/2003	07/04/2053
242499	Ying Chuang	Talpa De Allende	3850.72	Desarrollo Minero Unificado De México, S.A. De C.V.	Fe, Cu, TSP	31/10/2013	30/10/2063
224410	El Maple Fracc. I	Talpa De Allende	5.93	Minera Croesus, S.A De C.V.		04/05/2005	03/05/2055
218682	La Prieta	Talpa De Allende	308.04	Compañía Fresnillo, S.A. De C.V.	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	03/12/2002	02/12/2052

Título	Nombre del lote	Municipio	Superficie (ha)	Titular	Extracción	Expedición	Vigencia
227928	La Diana	Talpa De Allende	272.73	Minera Croesus, S.A. De C.V.	Au, Ag, Cu, Pb, Zn, TSP	15/09/2006	14/09/2056
225739	Cabrel	Tomatlán	4440.09	Minera Croesus, S.A. De C.V.	POT, TSP	21/10/2005	20/10/2011
193872	La Esperanza	Talpa De Allende	20.00	Jose Álvarez Sánchez	Au, Ag, Pb, Cu, Zn	19/12/1991	18/12/1994
219744	San Antonio 2 Fracc. I	Talpa De Allende	22.94	Antonio Briseño Guerra	Au, Ag, Cu	08/04/2003	07/04/2053
224199	El Maple	Talpa De Allende	2623.45	Minera Croesus, S.A. De C.V.		22/04/2005	21/04/2055
241888	Almatea 1	Talpa De Allende	2970.00	Minera Croesus, S.A. De C.V.	Au, Ag, TSP	27/03/2013	13/10/2055
241887	Almatea	Talpa De Allende	3439.08	Minera Croesus, S.A. De C.V.	Au, Ag, TSP	27/03/2013	13/10/2055
241309	Peregrina Fracc. 2	Talpa De Allende	38.24	Minera Croesus, S.A. De C.V.	Au, Ag, Cu, Pb, Zn, TSP	22/11/2012	21/11/2062
241308	Peregrina Fracc. 1	Talpa De Allende	193.37	Minera Croesus, S.A. De C.V.	Au, Ag, Cu, Pb, Zn, TSP	22/11/2012	21/11/2062

Por último, en la Figura 6 se identifican los yacimientos minerales presentes en AEPH Presa Cajón de Peña, esto de acuerdo con la información presentada en el Sistema de Información GeoInfoMex del Servicio Geológico Mexicano (2019). Ahí se pueden apreciar todos los yacimientos minerales en México (contempla yacimientos abandonados y vigentes), y sin duda nos da un referente para considerar esta zona como alta en exploración y desarrollo minero.

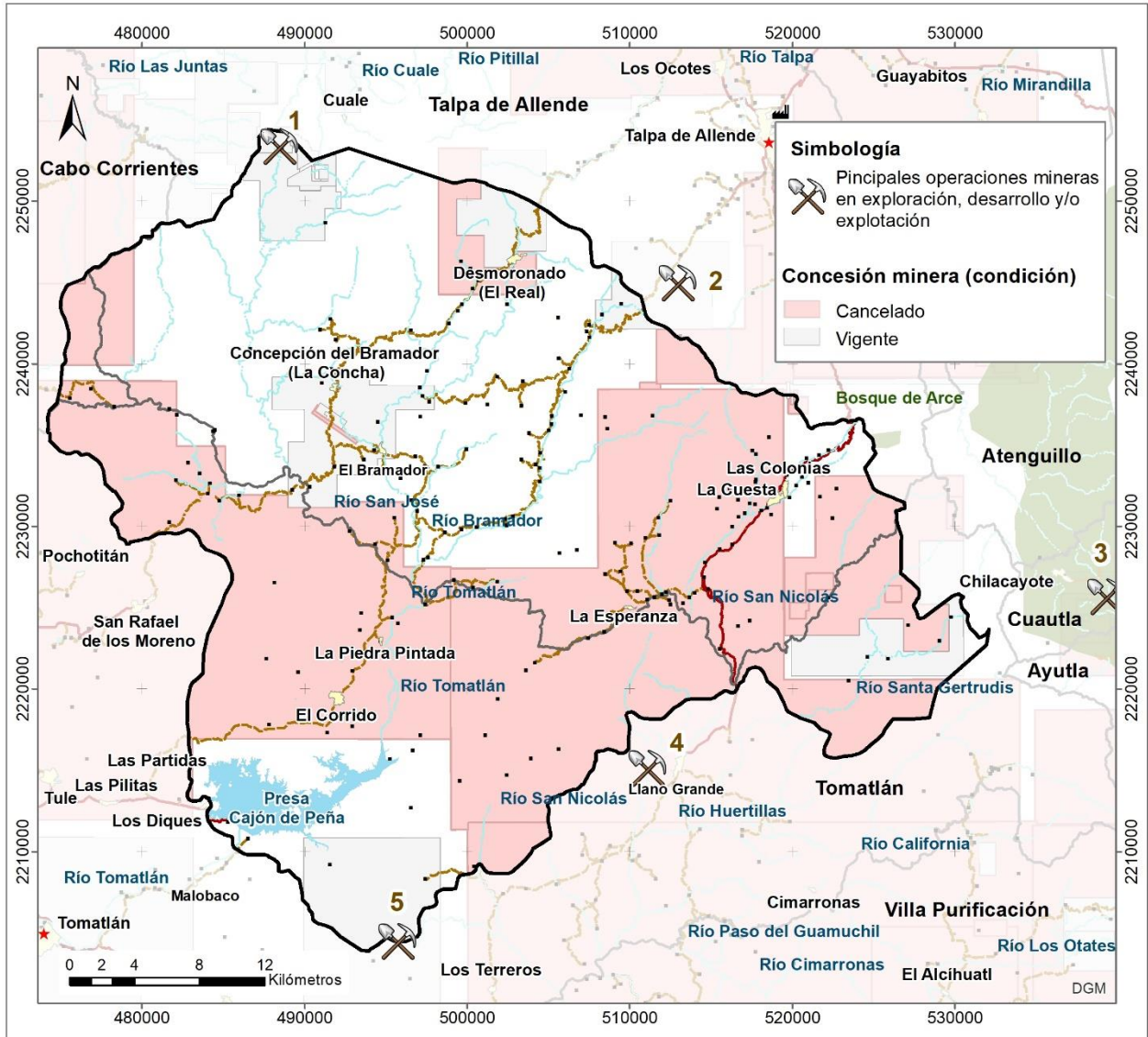
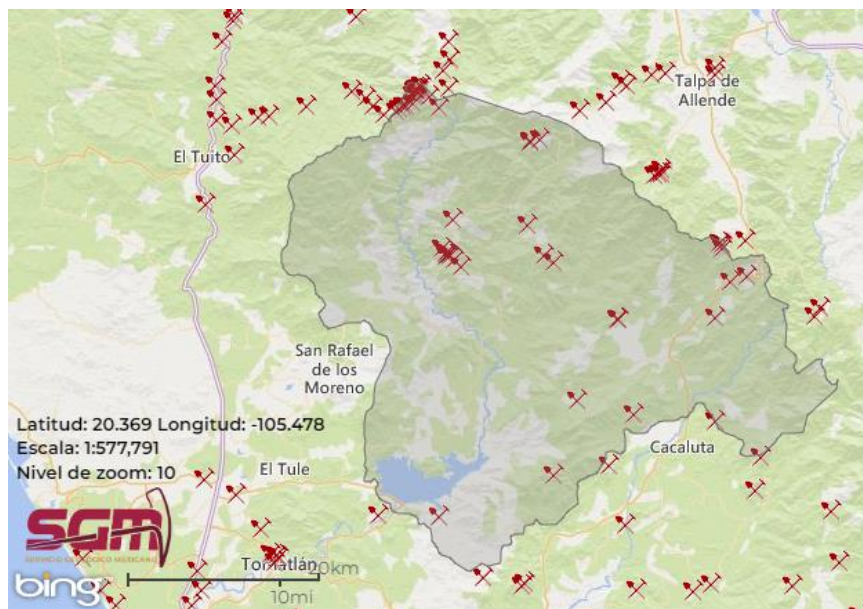


Figura 5. Condición de las concesiones mineras y principales operaciones mineras



Fuente: Servicio Geológico Mexicano, 2019.

**Figura 6. Yacimientos minerales en el AEPH Presa Cajón de Peña**

### Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por E. García, utilizada por CONABIO, (1998), se identifican cuatro tipos de clima; el (A)C(w2), Aw1, Aw2 y el C(w2) (Figura 7). El Aw2 es el tipo de clima que se distribuye en la mayor parte del AEPH Presa Cajón de Peña. En la Tabla 9 se describen las características de temperatura y precipitación que presenta cada tipo de clima, así como la superficie y la proporción que abarcan.

**Tabla 9. Descripción del tipo de clima**

Tipo de clima	Temperatura	Precipitación	Superficie	
			Hectáreas	%
<b>(A)C(w2)</b>	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P/T* mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	18,478.69	11.59
<b>Aw1</b>	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T* entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	11,007.42	6.91

Tipo de clima	Temperatura	Precipitación	Superficie	
			Hectáreas	%
<b>Aw2</b>	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C.	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T* mayor de 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	128,487.54	80.62
<b>C(w2)</b>	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T* mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.	1,408.47	0.88
<b>Total</b>			<b>159,382.12</b>	<b>100%</b>

\* P/T o índice de Lang: Estimador de eficiencia de la precipitación en relación con la temperatura

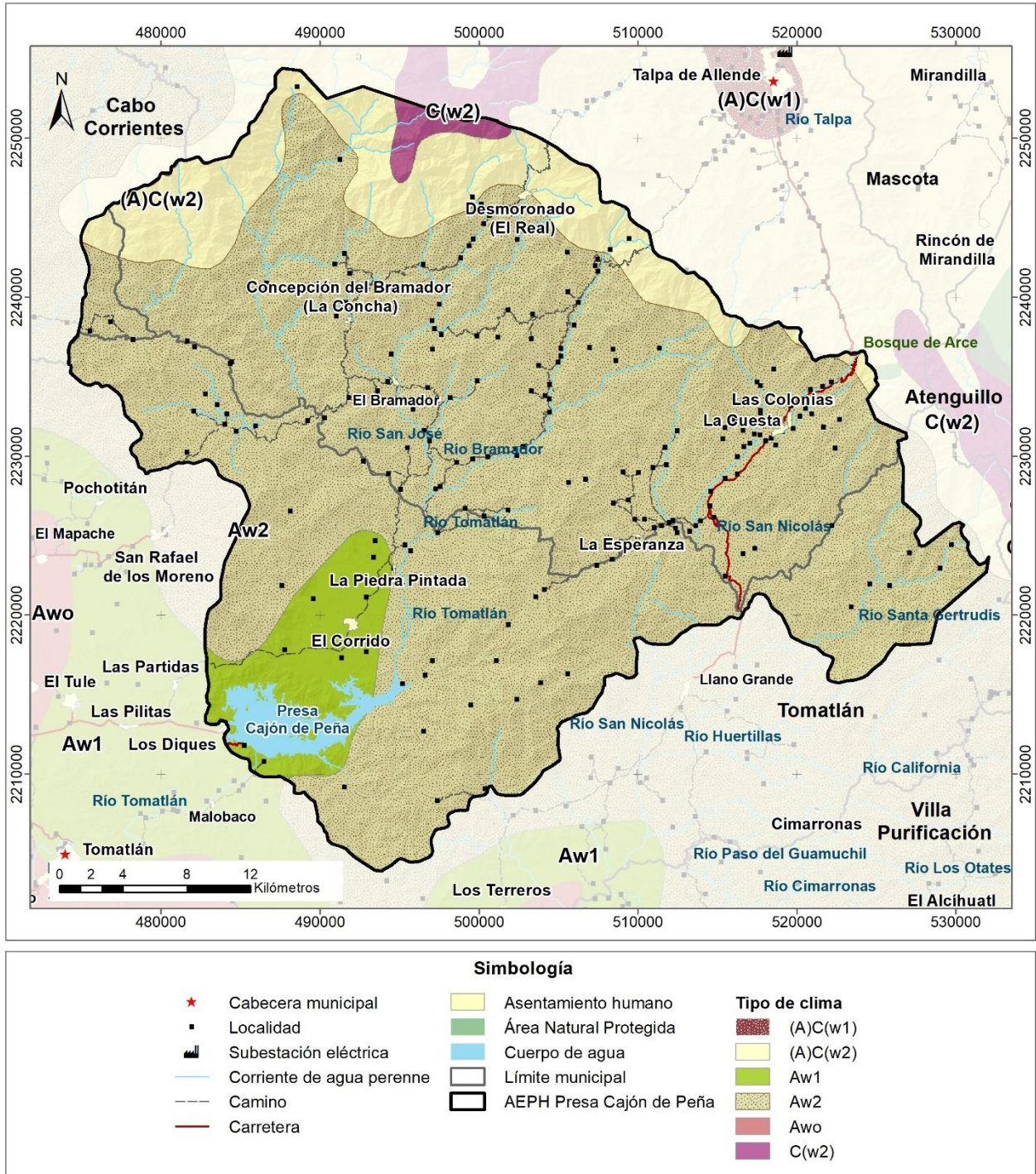


Figura 7. Tipos de clima

Para conocer la climatología local en el AEPH Presa Cajón de Peña, se analizaron los datos de las normales climatológicas de 7 estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, localizadas dentro y en los alrededores y área de influencia del AEPH Cajón de Peña (Figura 8). De cada estación se recuperaron los datos de precipitación (media y máxima en 24 horas),

temperatura (media, mínima y máxima), evaporación y presencia de niebla, granizo y tormentas eléctricas, las cuales se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10. Normales climatológicas de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional ubicadas en el AEPH Presa Cajón de Peña y sus cercanías**

Nombre de la estación climatológica		Cajón de Peña	El Bramador	El Rodeo	El Tuito	Higuera Blanca	Talpa de Allende	Tomatlán
Municipio		Tomatlán	Talpa de Allende	Atenguillo	Cabo Corrientes	Tomatlán	Talpa de Allende	Tomatlán
Coordenadas	Latitud N	19°59'36"	20°18'36"	20°15'07"	20°19'11"	19°59'39"	20°22'50"	19°56'27"
	Longitud W	105°07'48"	105°02'59"	104°35'29"	105°19'34"	105°09'45"	104°49'20"	105°14'55"
Altura (m s. n. m.)		132	1,704	1,520	600	140	1,155	50
Periodo de datos		1951-2010	1951-2010	1951-2010	1951-2010	1951-2010	1951-2010	1951-2010
Precipitación (mm)	Media anual	1,285.50	1,997.20	1,003.10	1,745.90	664.40	989.80	841.60
	Máxima en 24 horas	257.00	280.00	100.00	260.00	331.70	161.20	295.30
Temperatura anual (°C)	Mínima	18.40	17.50	7.50	13.70	18.80	12.40	19.30
	Media	25.70	25.30	18.10	22.40	25.30	20.70	26.50
	Máxima	33.10	33.20	28.70	31.00	31.70	29.00	33.80
Evaporación total (mm)		1,626.60	1,489.30	1,604.60	1,532.50	1,723.40	1,865.00	1,778.20
Número de días con lluvia		76.30	97.30	84.50	86.90	43.20	82.20	60.50
Número de días con niebla		37.30	3.40	25.10	30.60	47.40	26.10	70.00
Número de días con granizo		0.00	0.00	1.50	0.10	0.00	0.30	0.30
Número de días con tormenta eléctrica		25.20	0.20	5.70	23.50	39.20	5.50	23.30

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, 2020.



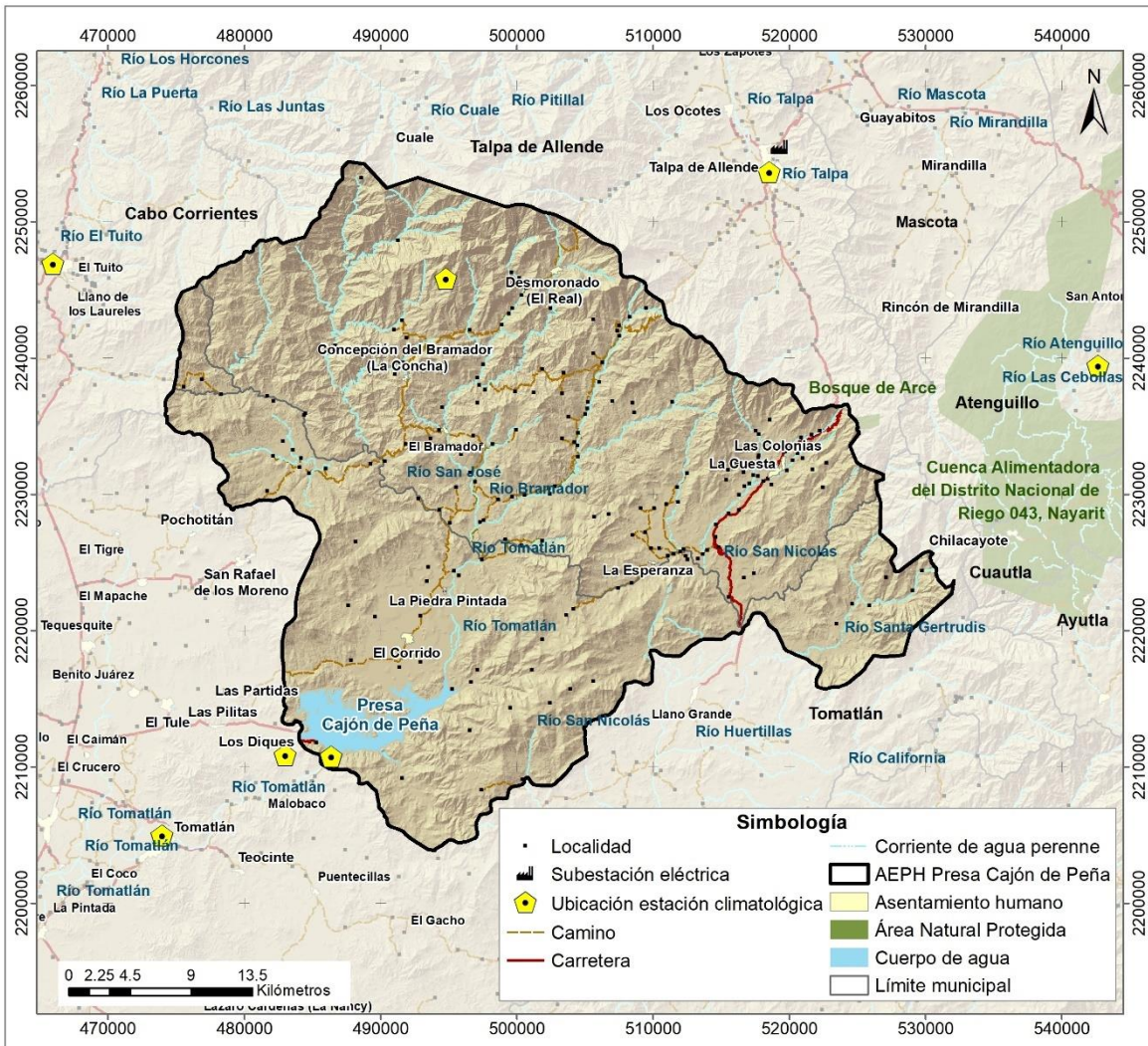


Figura 8. Localización de las estaciones climatológicas analizadas

Se generaron para el área de interés, a partir de un proceso de interpolación de los datos puntuales de las estaciones climatológicas, los modelos de precipitación media, precipitación máxima en 24 horas, temperatura media anual, temperatura mínima y temperatura máxima. En la Figura 9 se presentan los modelos de precipitación media anual y precipitación máxima en 24 horas, en donde se observa que la parte alta de la cuenca presenta los mayores valores de precipitación media anual, con hasta 2,000 mm. Por otra parte, valores de precipitación máxima en 24 horas más altos se presentan en la parte oeste del AEPH Presa Cajón de Peña con valores de hasta 340 mm.

En la Figura 10 y Figura 11 se presentan los modelos de temperatura media anual y temperaturas mínimas y máximas, en donde se observa que en el lado este se presentan las temperaturas menores, con rangos entre 10 y 22° C, mientras que en la parte oeste se registran los mayores valores de temperatura con rangos entre 19 y 34° C.

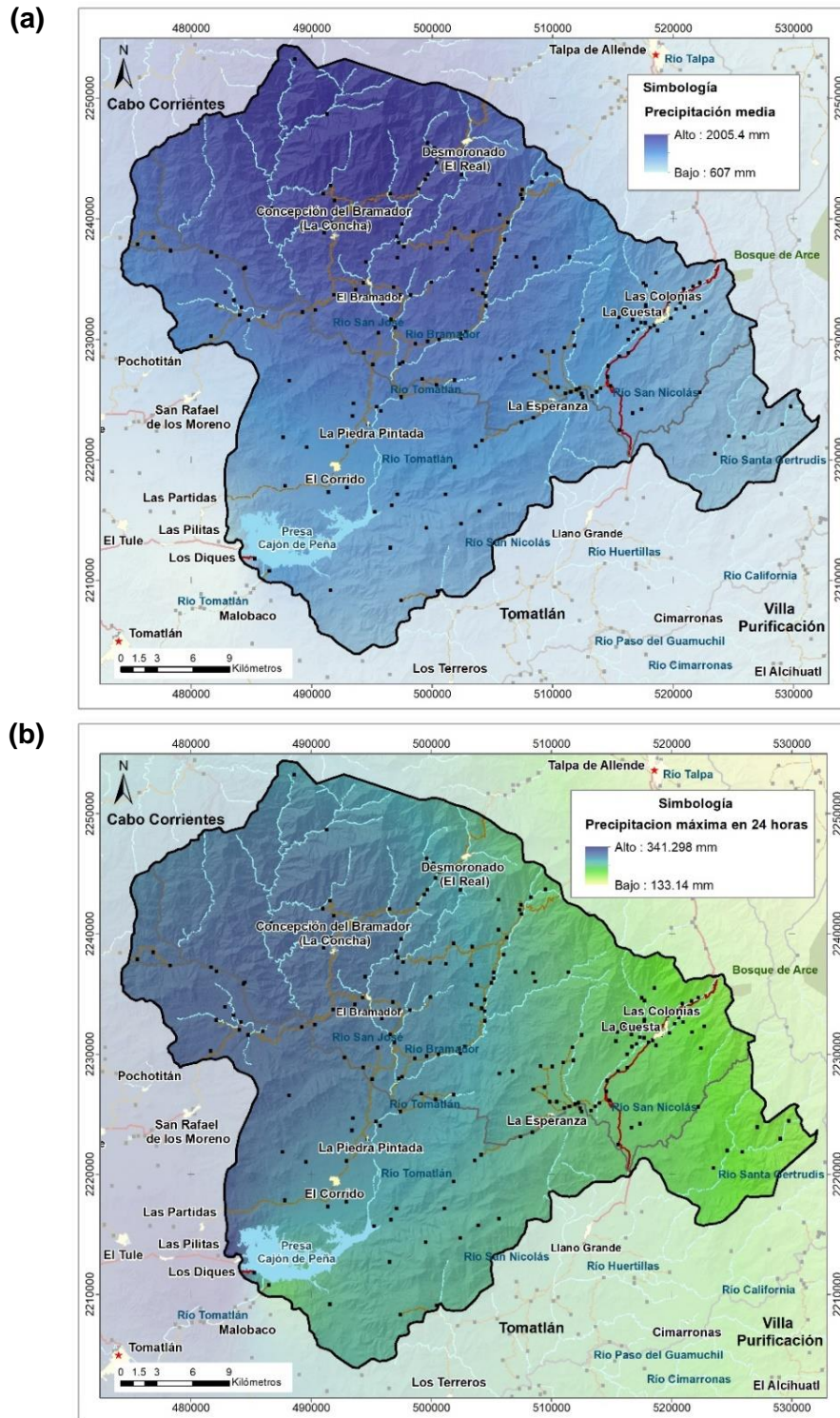


Figura 9. Modelos de precipitación media anual (a) y lluvia máxima en 24 horas (b) generados para el AEPH Presa Cajón de Peña a partir de los datos climáticos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

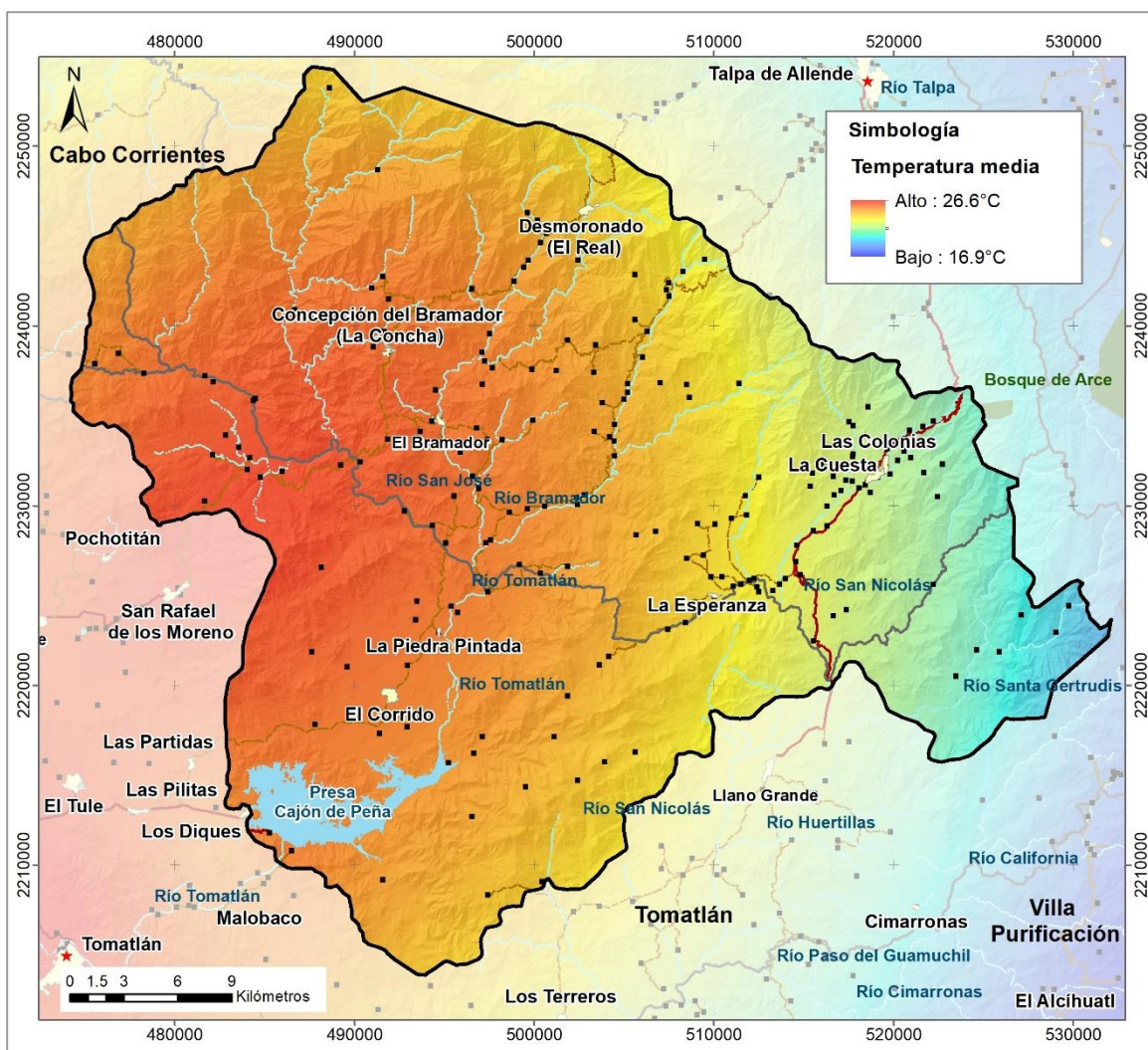


Figura 10. Modelo de temperatura media anual generado para el AEPH Presa Cajón de Peña a partir de los datos climáticos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

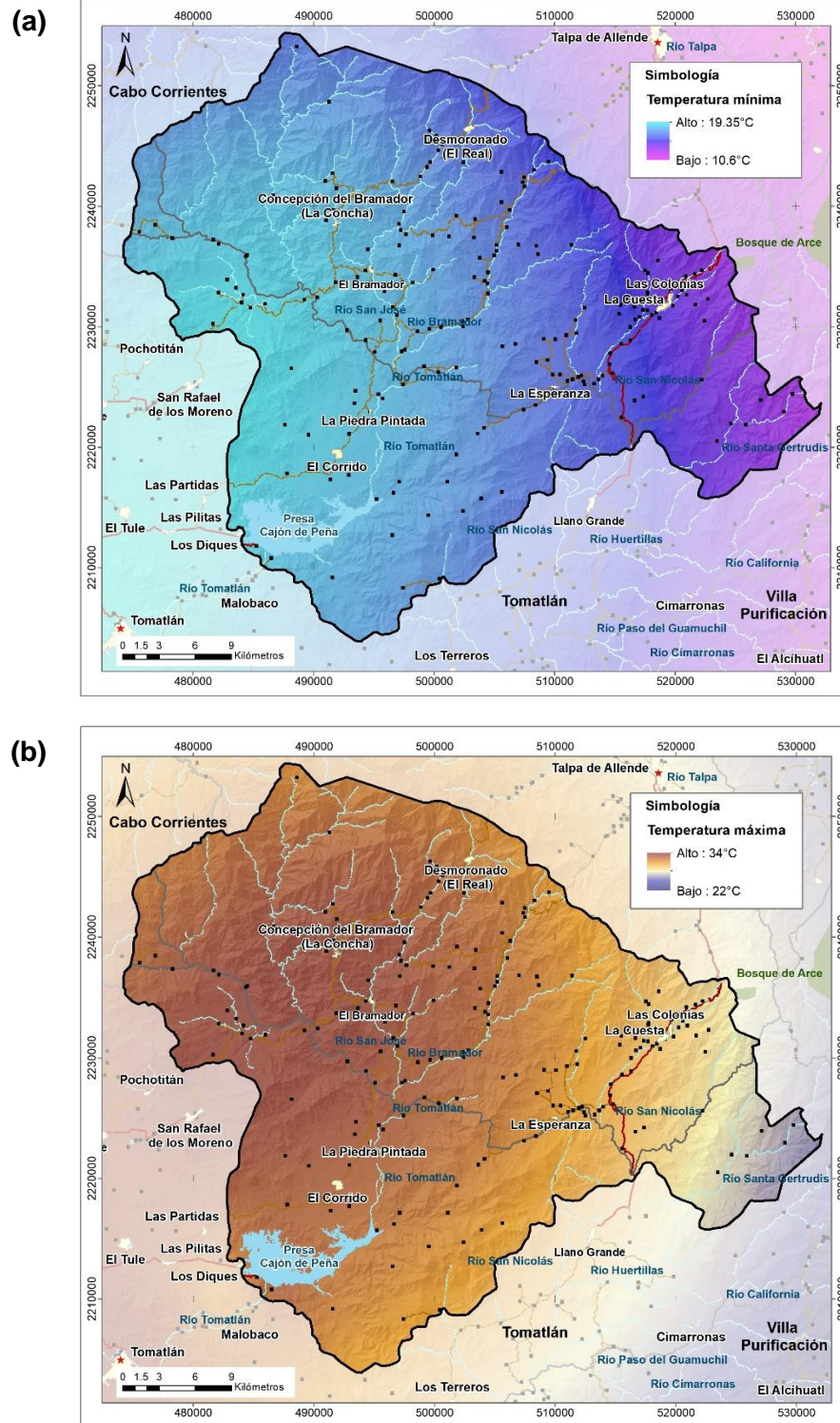


Figura 11. Modelos de temperatura mínima (a) y temperatura máxima (b) generados para el AEPH Presa Cajón de Peña a partir de los datos climáticos de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional

## Fisiografía

De acuerdo con la información fisiográfica de INEGI (2001), el AEPH Presa Cajón de Peña se localiza en su totalidad en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur. Esta provincia se extiende en parte de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Es una sierra muy compleja, que presenta montañas formadas por rocas de diversos tipos, con predominancia de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias. La Sierra Madre del Sur tiene como basamento rocas cristalinas y metamórficas, calizas plegadas y otros sedimentos, así como lavas e intrusiones. Al norte de esta sierra se localiza la gran depresión del Balsas y la región de los valles de Oaxaca. Constituye el parteaguas de la vertiente del Golfo y del Pacífico. Al norte queda limitada por el Eje Volcánico Transversal y al este con el Istmo de Tehuantepec (González M., 2004).

Las provincias fisiográficas se encuentran divididas en subregiones con características muy distintivas, identificadas como subprovincias o discontinuidades fisiográficas, el AEPH Presa Cajón de Peña se localiza en la subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima.

## Geomorfología

El sistema de toporformas y/o estructuras del relieve representan el conjunto de formas de terreno asociadas según algún patrón o patrones estructurales y/o degradativos, donde los insumos para la generación de esta información iniciaron con la interpretación y delimitación de las unidades, utilizando información cartográfica correspondiente a topografía, geología, climatológica e imágenes de satélite.

De acuerdo con el INEGI (2001), en el AEPH Presa Cajón de Peña se identifican 4 estructuras del relieve (Figura 12); La Sierra Alta Compleja, el Valle Intermontano, el Valle Intermontano con Lomerío y el Valle Ramificado con Lomerío, cabe mencionar que los cuerpos de agua no aplican en este concepto. La estructura de relieve con mayor porcentaje es la Sierra Alta Compleja, de ahí la importancia en cuanto a la conservación de este sitio. En la Tabla 11 se pueden observar el resto de las superficies y porcentajes.

**Tabla 11. Estructuras del relieve**

Estructura del relieve	Superficie	
	Hectáreas	%
Sierra Alta Compleja	132,374.72	83.05
Valle Intermontano	1,508.49	0.95
Valle Intermontano con Lomerío	22.09	0.01
Valle Ramificado con Lomerío	25,476.93	15.98
<b>Total</b>	<b>159,382.22</b>	<b>100</b>



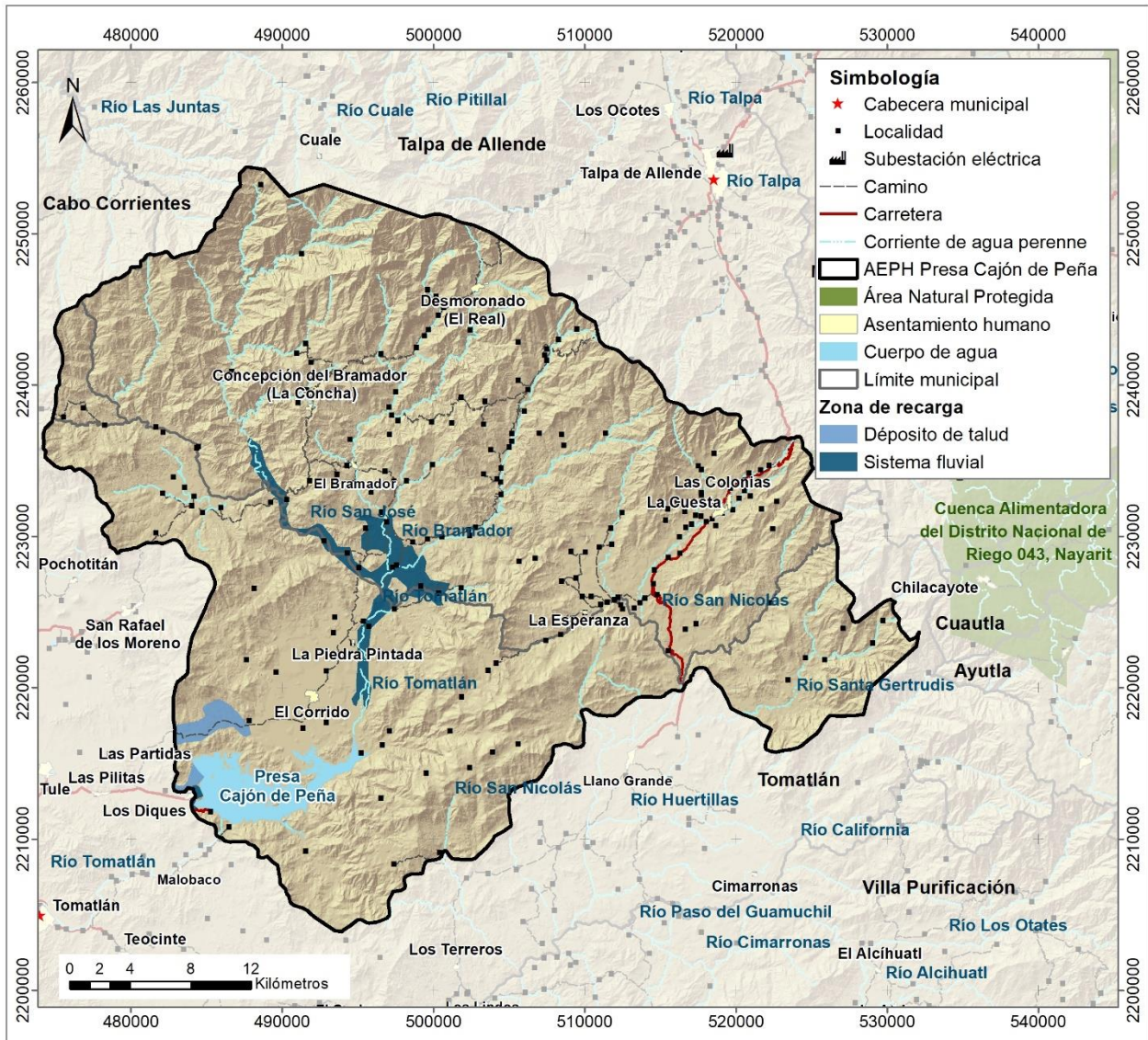
Figura 12. Estructuras del relieve (geomorfología)

### Zonas de recarga

De acuerdo con la geología ambiental (UNAM, 2001), el AEPH Presa Cajón de Peña tiene zona de aporte para recarga de agua que se presentan en forma de depósito de talud y sistema fluvial. Este último se presenta el 1.94% de la superficie (Tabla 12), y está presente en las zonas planas y de menor elevación, consideradas como parte de los valles intermontanos (Figura 13).

**Tabla 12. Zona de aporte de recarga de agua**

Clave	Zona de aporte (descripción)	Superficie	
		Hectáreas	%
SF	Sistema fluvial	3087.12	1.94
DT EL PV ZRA	Depósito de talud-Erosión laminar-Material plástico con posibilidad de adquirir propiedades de viscosidad-Zona de recarga de acuíferos	880.28	0.55
NA	No aplica	155,414.81	97.51
<b>Total</b>		<b>159,382.22</b>	<b>100</b>



**Figura 13. Zona de recarga de acuíferos en el AEPH Presa Cajón de Peña**

## Características hidrológicas

El AEPH Presa Cajón de Peña se encuentra en la región hidrológica 15 Costa de Jalisco, en las subcuencas Río San Nicolás y Río Tomatlán (INEGI, 2010d), siendo esta última la que ocupa mayor superficie del área de estudio, como se puede observar en la Tabla 13. Son cuencas con drenaje subparalelo y dendrítico, conformadas por corrientes intermitentes y perennes cuyo flujo drena hacia las lagunas costeras, esteros y finalmente al océano (INEGI, 2001b).

**Tabla 13. Subcuencas en el AEPH Cajón de Peña y la superficie que ocupan**

Cuenca	Subcuenca	Superficie	
		Ha	%
R. San Nicolás - Cuitzmala	R. San Nicolás	42,748.03	26.82
R. Tomatlán - Tecuán	R. Tomatlán	116,634.19	73.18
<b>Total</b>		<b>159,382.22</b>	<b>100.00</b>

La subcuenca Río Tomatlán tiene su origen en la Sierra de Talpa, presenta una dirección preferente hacia el sur-suroeste, es una subcuenca abierta cuya desembocadura es en el Océano Pacífico, en el humedal de importancia Ramsar Estero Majahuas. Destaca en esta subcuenca la presencia de la Presa Cajón de Peña, cuyo principal afluente es el río Tomatlán, esta presa la de mayor importancia en el estado de Jalisco, tiene una capacidad de almacenamiento de 707 hm<sup>3</sup> cuyos usos principales son agua potable y de riego; aproximadamente el 58% del agua que almacena es destinada para el Distrito de Riego 93 y las unidades de riego Tomatlán y San Rafael (Ayuntamiento de Tomatlán, 2019). Por otra parte, la subcuenca Río San Nicolás nace en la Sierra de Cacoma, presenta dirección preferente hacia el suroeste y desemboca en el Océano Pacífico en el humedal de importancia Ramsar Laguna Chalacatepec.

Como se puede observar en la Figura 14, los recursos hidrológicos que forman las subcuencas son una amplia red de ríos y arroyos que nacen de la parte alta de la subcuenca y que se van complementando hacia aguas abajo con la incorporación de la red de escorrentías.

Para conocer de manera particular los recursos hídricos del AEPH Presa Cajón de Peña, se identificaron y trazaron microcuencas para los principales afluentes de la Presa Cajón de Peña y del Río San Nicolás considerando los flujos de corrientes, para lo anterior se utilizó la información de curvas de nivel e hidrología de INEGI (2015), identificando un total de 15 microcuencas, a las cuales se les asignó un nombre con base en la corriente principal que contiene. En la Tabla 14 se enlistan los nombres de las microcuencas, la cuenca y subcuenca a la que pertenecen, así como las principales corrientes de agua. De las 15 microcuencas identificadas, 6 corresponden a los afluentes directos de la Presa Cajón de Peña, 3 corresponden a los afluentes del Río Tomatlán (y por consiguiente a la microcuenca Río Tomatlán I), 3 son parte del sistema hidrológico de la subcuenca Río San Nicolás, y las restantes corresponden al cuerpo de agua de la Presa Cajón de Peña, al Río Tomatlán aguas debajo de la presa y a la cabecera de la cuenca del Arroyo El Tule (Figura 14).

Las microcuencas de mayor superficie corresponden a las del sistema hidrológico de la subcuenca del Río San Nicolás (Los Horcones, Río San Nicolás-Alpishua y Río Santa Gertrudis) y a las 3 que componen el área de captación que da origen al Río Tomatlán (Río San José, Río Bramador y Río El Coyol) con una superficie de 79,628.48 ha que al unirse con la microcuenca Río Tomatlán I tienen un área de captación de más de 86 mil hectáreas, lo que corresponde al área de captación del principal afluente (Río Tomatlán) de la Presa Cajón de Peña. De las microcuencas de los otros



afluentes de la Presa Cajón de Peña, las de mayor superficie son Las Pintas y el Cuitzal con 6,712.69 ha y 6,299.69 ha respectivamente, mientras que las de menor superficie son Arroyo de León y Arroyo Sombrío con 2,613.58 ha y 2,074.80 ha respectivamente (Tabla 14).

**Tabla 14. Cuencas hidrológicas, microcuencas y principales afluentes de las microcuencas localizadas en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Región Hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca generada	Principales corrientes de agua	Superficie (ha)
Costa de Jalisco	Río San Nicolás – Cuitzmalá	Río San Nicolás	Los Horcones	Arroyo Los Horcones, Arroyo La Laja, Río San Nicolás	19,305.63
			Río San Nicolás - Alpisahua	Arroyo Los Otates-El Tambor, Arroyo La Quebrada, Arroyo Las Huertas, Arroyo Alpisahua y Río San Nicolás	37,506.02
			Río Santa Gertrudis	Arroyo Tescalama, Arroyo El Bule, Río Santa Gertrudis	11,339.73
	Río Tomatlán – Tecuán	Río Tomatlán	Arroyo de León <sup>1</sup>	Arroyo de León, Arroyo Flaco	2,613.58
			Arroyo Sombrío <sup>1</sup>	Arroyo Sombrío	2,074.80
			Cajón de Peña	Presa Cajón de Peña	6,935.50
			El Cuitzal <sup>1</sup>	Arroyo El Cuitzal, Arroyo del Cacao	6,299.69
			El Tule	Arroyo del Rincón, Arroyo Partidas, Arroyo El Campanillo, Arroyo El Tule	9,682.37
			La Quebradora <sup>1</sup>	Arroyo La Quebradora	3,631.92
			Las Pintas <sup>1</sup>	Arroyo Las Pintas, Arroyo Santa María	6,712.69
			Río Bramador <sup>2</sup>	Arroyo Desmoronado, Arroyo El Coyulito, Arroyo Camacho, Arroyo del Jocuixtle, Río Bramador	21,067.65
			Río El Coyol <sup>2</sup>	Arroyo Agua Fría, Arroyo del Muerto, Río El Coyol	17,930.94
			Río San José <sup>2</sup>	Arroyo del Encino, Arroyo de la Otra Banda, Arroyo Cabrel, Río San José	40,629.89
			Río Tomatlán I <sup>1</sup>	Arroyo El Acajilote, Río Tomatlán	6,944.90
			Río Tomatlán II	Arroyo La Puerta, Arroyo Malo Baco, Río Tomatlán	8,234.24

<sup>1</sup> Microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña

<sup>2</sup> Microcuencas de los afluentes del Río Tomatlán y de la microcuenca Río Tomatlán I

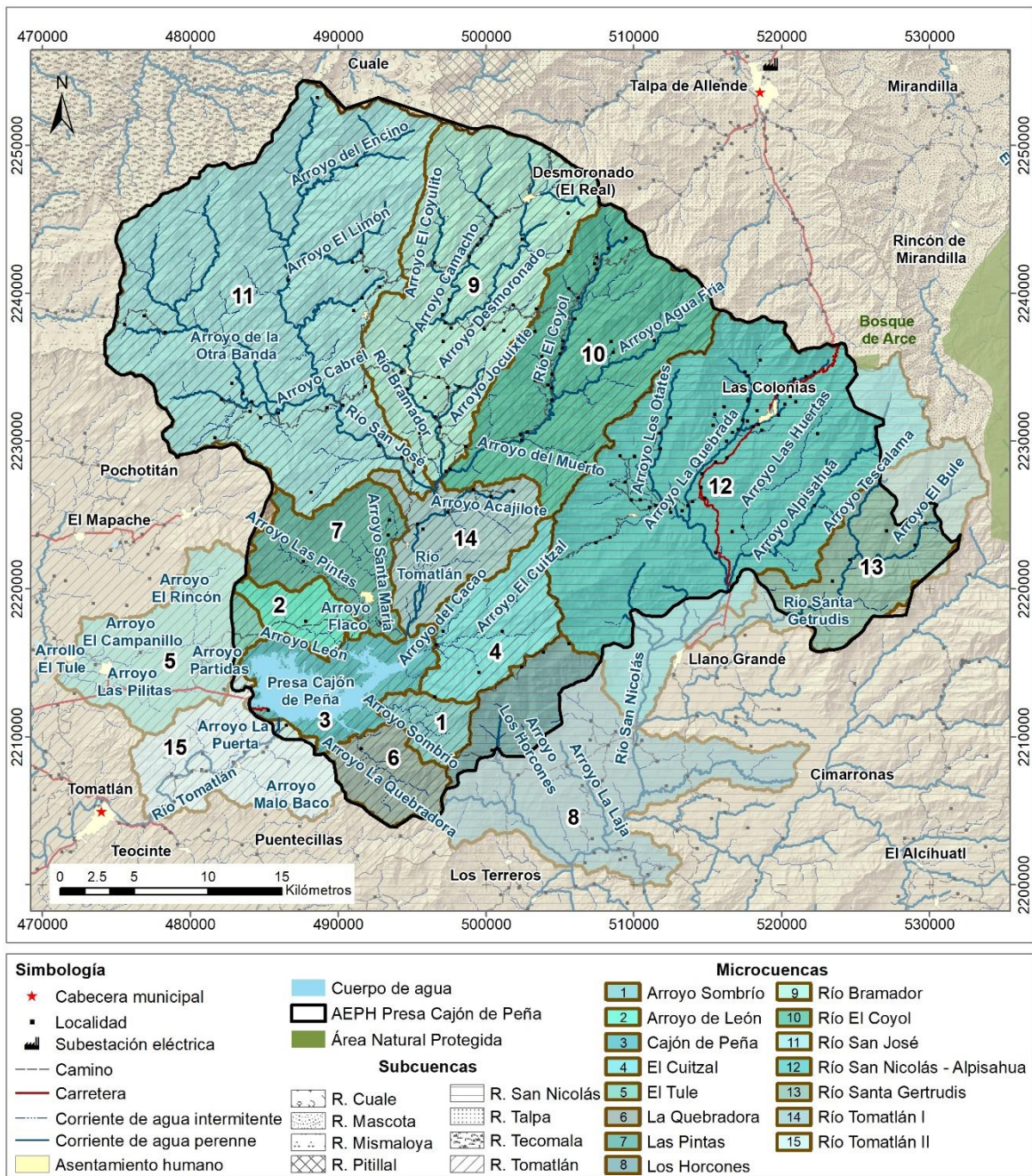


Figura 14. Hidrología superficial del AEPH Presa Cajón de Peña

### Escorrentía y gasto máximo

Como se señaló anteriormente, la red hidrográfica tiene su origen en la sierra donde predomina la presencia de vegetación natural, y de ahí se distribuye hacia las partes bajas y valles, en donde hay presencia de actividades agrícolas. Asimismo, los regímenes de lluvia y la topografía son diferentes en cada parte del AEPH Cajón de Peña, lo que le atribuye diferentes características y magnitud en los escurrimientos superficiales.

Para el cálculo de los volúmenes de escorrentía y gasto máximo en el AEPH Cajón de Peña se utilizaron los datos de precipitación media anual y lluvia máxima en 24 horas, los cuales se obtuvieron de los modelos generados (Figura 9) a partir de las 7 estaciones climatológicas revisadas (Tabla 10).

Para realizar los cálculos de escurrimiento medio, se utilizó el método descrito por Becerra M. (2005), en donde el volumen medio escurrido está en función de la siguiente ecuación:

$$V_m = CPA$$

Donde:

$V_m$  = Volumen medio escurrido ( $m^3$ )

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (valor de  $C$  ponderado con base en el resultado del apartado "Coeficiente de escorrentía" descrito más adelante en este documento)

$P$  = Precipitación media anual (mm)

$A$  = Área de captación (ha)

Para calcular el gasto máximo (escurrimiento máximo instantáneo) se utilizó la fórmula racional modificada, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = 0.028 CLA$$

Donde:

$Q$  = Escurrimiento máximo instantáneo ( $m^3/s$ )

0.028 = Constante numérica

$C$  = Coeficiente de escurrimiento (mismo que se utiliza para el escurrimiento medio)

$L$  = Lluvia máxima en 24 horas (mm/h)

$A$  = Área de captación (ha)

Considerando que las zonas estudiadas tienen variaciones en uno o más de los factores que definen a  $C$ , se calculó un  $C$  ponderado en función de la superficie correspondiente, utilizando la siguiente ecuación:

$$Cp_x = \frac{\sum(C_{xi-n})(A_{xi-n})}{A_x}$$

Donde:

$Cp_x$  = Coeficiente de escorrentía ponderado para una zona estudiada  $x$

$Cx_i$  = Coeficiente de escorrentía  $i$  en una superficie  $i$

$A_x$  = Área de la zona estudiada  $x$

En la Tabla 15 se presentan los resultados de los cálculos de volumen medio anual y gasto máximo para el AEPH Cajón de Peña y las microcuencas que lo componen. La microcuenca de mayor volumen de escurrimiento es Río San José con aproximadamente 23.7 millones de metros cúbicos anuales, seguida de Río Bramador con 14.9 millones de metros cúbicos y Río San Nicolás – Alpisahua con 13.5 millones de metros cúbicos. El volumen medio anual que escurre en el AEPH Cajón de Peña es de 76.9 millones de metros cúbicos. Por otra parte, las microcuencas que presentan el valor mayor de gasto máximo es Río San José con 10,885.76  $m^3/s$  seguida de Río San Nicolás - Alpisahua con 6,717.80  $m^3/s$ , en el AEPH Cajón de Peña el gasto máximo es de 36,977.33  $m^3/s$  (Tabla 15).

Por otra parte, las microcuencas que corresponden al afluente Río Tomatlán (Río Bramador, Río El Coyol, Río San José y Río Tomatlán I) en conjunto tienen un volumen de escurrimiento estimado de 52 millones de metros cúbicos anuales.

Cabe destacar que, debido a que tanto el volumen medio anual como el gasto máximo se calculan en función de la precipitación, pendiente del terreno, tipo de suelo y cobertura del suelo, no hay una relación directa entre el área de captación y el volumen de escurrimiento y gasto máximo.

**Tabla 15. Resultados del cálculo de volumen medio escurrido y gasto máximo en el AEPH Cajón de Peña y las microcuencas generadas**

Zonas analizadas		Precipitación media (mm)	Lluvia máxima en 24 h (mm/h)	Área de Captación (ha)	Coeficiente de escurrimiento	Volumen medio anual (m <sup>3</sup> )	Gasto máximo (m <sup>3</sup> /s)
		P	L	A	C	Vm	Q
Microcuencas	Arroyo de León <sup>1</sup>	1,247.15	275.30	2,613.58	0.22	703,211.68	434.64
	Arroyo Sombrío <sup>1</sup>	1,181.19	249.49	2,074.80	0.27	673,303.99	398.19
	Cajón de Peña	1,227.81	255.22	6,935.50	0.28	2,389,882.80	1,390.95
	El Cuitzal <sup>1</sup>	1,315.48	254.86	6,299.69	0.34	2,779,483.95	1,507.77
	El Tule	950.31	309.06	9,682.37	0.28	2,552,455.93	2,324.33
	La Quebradora <sup>1</sup>	1,116.31	247.21	3,631.92	0.27	1,096,467.36	679.89
	Las Pintas <sup>1</sup>	1,380.26	279.84	6,712.69	0.25	2,361,419.44	1,340.54
	Los Horcones	1,085.92	236.70	19,305.63	0.26	5,533,878.18	3,377.38
	Río Bramador <sup>2</sup>	1,821.36	270.37	21,067.65	0.39	14,982,569.54	6,227.31
	Río El Coyol <sup>2</sup>	1,573.92	247.96	17,930.94	0.36	10,146,445.86	4,475.82
	Río San José <sup>2</sup>	1,759.17	287.64	40,629.89	0.33	23,776,940.06	10,885.76
	Río San Nicolás - Alpisahua	1,252.04	221.29	37,506.02	0.29	13,574,675.32	6,717.80
	Río Santa Gertrudis	1,055.43	196.49	11,339.73	0.34	4,076,316.56	2,124.94
	Río Tomatlán I <sup>1</sup>	1,454.48	267.77	6,944.90	0.31	3,106,226.78	1,601.19
	Río Tomatlán II	876.40	291.83	8,234.24	0.25	1,832,125.51	1,708.21
AEPH Presa Cajón de Peña		1,498.86	257.40	159,382.23	0.32	76,901,221.53	36,977.33

<sup>1</sup> Microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña

<sup>2</sup> Microcuencas de los afluentes del Río Tomatlán y de la microcuenca Río Tomatlán I

### Erosión actual y potencial del suelo

La intensidad de erosión hídrica presente en el SAR y el sitio del proyecto se estimó mediante métodos indirectos, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE por sus siglas en inglés) desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978 (Röder et al., 2006). Esta es una ecuación de tipo paramétrica multiplicativa que estima la cantidad de suelo por unidad de superficie (hectárea) y tiempo (año) (Becerra M., 2005). Este modelo tiene la siguiente expresión:

$$A = R K L S C P$$

Donde:

A = pérdida de suelo (t/ha/año)

R = factor de erosividad de la lluvia (MJ.mm/ha. h)

K = factor de erosionabilidad del suelo (t. h/MJ mm)

LS = factor de longitud y grado de pendiente

C = factor de cultivo o cobertura vegetal

P = factor de prácticas mecánicas

Para el cálculo del factor R se utilizó la ecuación de erosividad determinadas por Cortés, 1991 (Becerra M., 2005) para la zona X de la República Mexicana, utilizando los datos de precipitación media anual calculada para el AEPH Presa Cajón de Peña (Figura 9-a).

El factor K se obtuvo a partir de las tablas elaboradas por la FAO en 1980 (Becerra M., 2005), las cuales estiman el valor de K en función de la unidad de suelo y la textura superficial. Los datos de unidades de suelo y textura para el SAR se obtuvieron de la carta edafológica de INEGI (1971).

El factor LS se calculó a partir del modelo digital de elevación obtenido de las curvas de nivel del conjunto de datos topográficos escala 1:50,000 de INEGI (2015a). Se utilizó la herramienta *LS-Factor, Field Based* de SAGA-GIS seleccionando el método de Desmet y Govers 1996.

El factor C se asignó con base en la información de cobertura del suelo del Mapa nacional de referencia de MAD-Mex (INEGI et al., 2018) y los valores de C utilizados por Montes-León et al. en 2011 en la elaboración del mapa nacional de erosión del suelo.

Por último, debido a que no se cuenta con la información sobre la presencia de prácticas de conservación ni métodos de control de erosión en el área de estudio, para el factor P se consideró el valor de la unidad.

Para obtener la estimación de pérdida del suelo en el AEPH Presa Cajón de Peña, se utilizaron las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en donde para cada factor que compone la USLE se generó un archivo ráster con un tamaño de celda de 10 metros para la extensión geográfica del área de estudio. El resultado de la estimación de pérdida de suelo se obtuvo en t/ha/año, los cuales se clasificaron en 5 categorías con base en los rangos propuestos por la FAO (1980). En la Tabla 16 se presentan los rangos y la clasificación de la erosión hídrica para el AEPH Presa Cajón de Peña.

Como se puede apreciar en la Tabla 16 y la Figura 15, el 34.45% de la superficie en el AEPH Presa Cajón de Peña presenta erosión muy alta, mientras que el 22.63% presenta erosión alta, el 22.29% erosión moderada, el 13.54% no presenta erosión y el 7.08% presenta erosión ligera.

**Tabla 16. Clasificación de la erosión hídrica en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Rango de pérdida de suelo (t/ha/año)	Superficie		Clase de erosión hídrica
	Hectáreas	%	
0-5	21,579.51	13.54	Nula
6-10	11,291.88	7.08	Ligera
11-50	35,526.56	22.29	Moderada
51- 200	36,073.66	22.63	Alta

Rango de pérdida de suelo (t/ha/año)	Superficie		Clase de erosión hídrica
	Hectáreas	%	
> 200	54,910.60	34.45	Muy alta
<b>Total</b>	<b>159,382.22</b>	<b>100.00</b>	

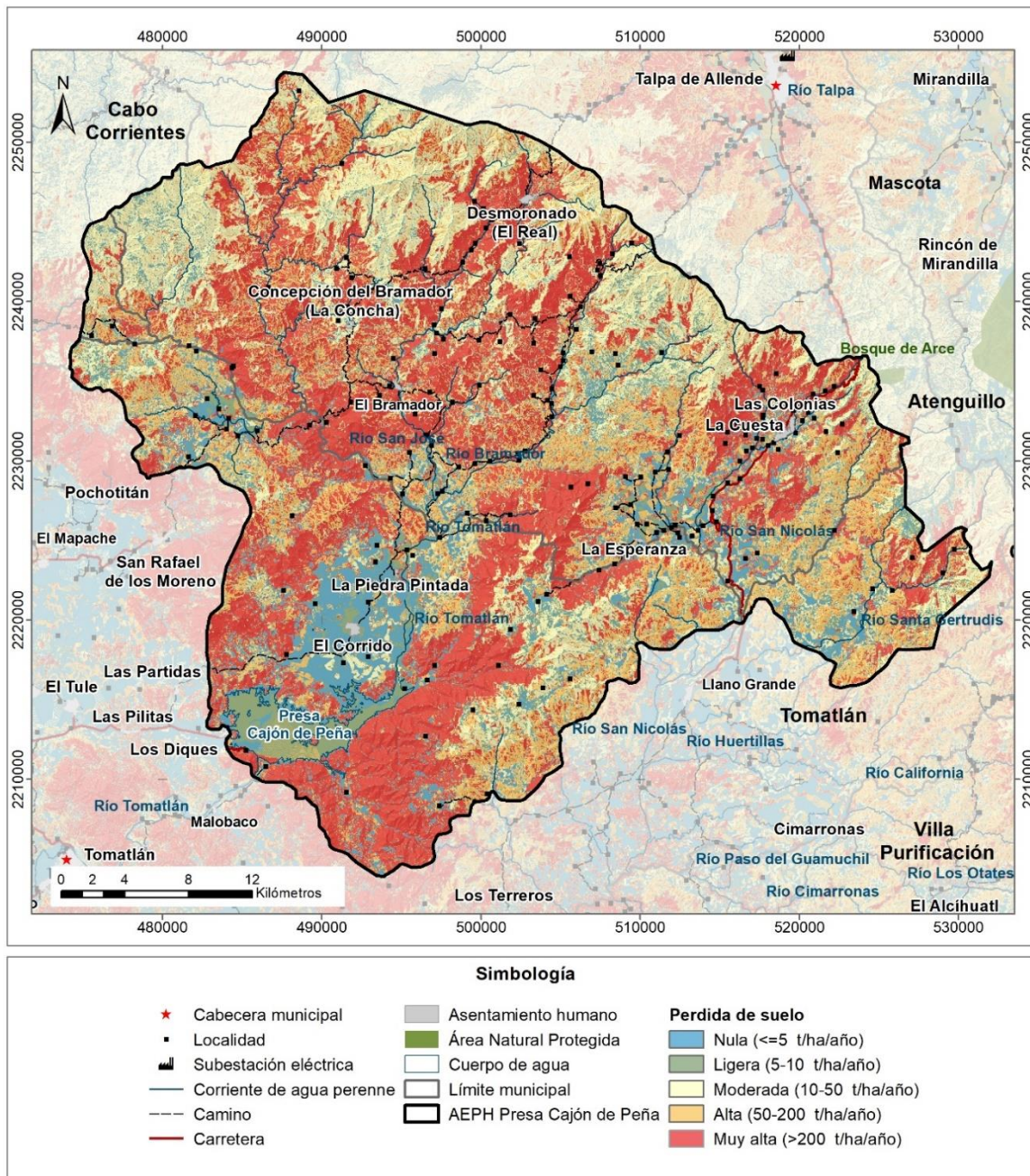


Figura 15. Erosión hídrica presente en el AEPH Presa Cajón de Peña, de acuerdo con las clases propuestas por la FAO

### Cálculo de precipitación pluvial para un período de retorno mínimo de 50 años

En el estudio hidrológico y su relación con la infraestructura hidráulica es fundamental la relación gasto máximo y periodo de retorno, la cual la calcularemos para AEPH Presa Cajón de Peña, con base en las estaciones climáticas relacionadas en la Tabla 17 que forman parte del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), contenida en las bases de datos CLICOM. Se analizaron en promedio 47 años de registros para determinar la precipitación acumulada anual con periodo de retorno de 50 y 100 años.

**Tabla 17. Estaciones climatológicas necesarias para el cubrimiento territorial del AEPH Presa Cajón de Peña**

Número	Estación	X	Y
14024	Cajón de Peña	486,401	2,210,749
14059	El Tuito	465,956	2,246,896
14140	Talpa de Allende	518,551	2,253,605
14117	Villa Purificación (DGE)	541,707	2,180,435

Para calcular la precipitación pluvial para un período de retorno mínimo de 50 años, se propuso realizar el análisis de frecuencia de precipitaciones extremas y la ejecución de inferencias, son realizadas mediante la aplicación de distribuciones estadísticas de valores máximos, donde la función Gumbel conocida como distribución doble exponencial se ajusta perfectamente para calcular la precipitación máxima de los registros de cada una de las estaciones climáticas antes mencionadas.

La distribución de Gumbel ha sido utilizada con buenos resultados para valores extremos independientes de variables meteorológicas y se ajusta bastante bien a los valores máximos de la precipitación en diferentes intervalos de tiempo y después de muchos años de uso parece también confirmarse su utilidad en los problemas prácticos de ingeniería de dimensionamiento de redes de drenaje y diversas obras hidráulicas.

Para el cálculo del periodo de retorno en función de la distribución de Gumbel para una precipitación máxima acumulada anual, los periodos de retorno se calcularon para 50 años y 100 años considerando el cubrimiento territorial del AEPH Presa Cajón de Peña.

$$f(x) = e^{-e^{-b}}$$

Donde la f(x):

$$-\ln(-\ln(f(x))) * \alpha + \mu$$

$$\alpha = Sx / Sn$$

$$\mu = x(\text{media}) - (yn * \alpha)$$

Donde:

e= base de los logaritmos neperiano

x(media)= media aritmética

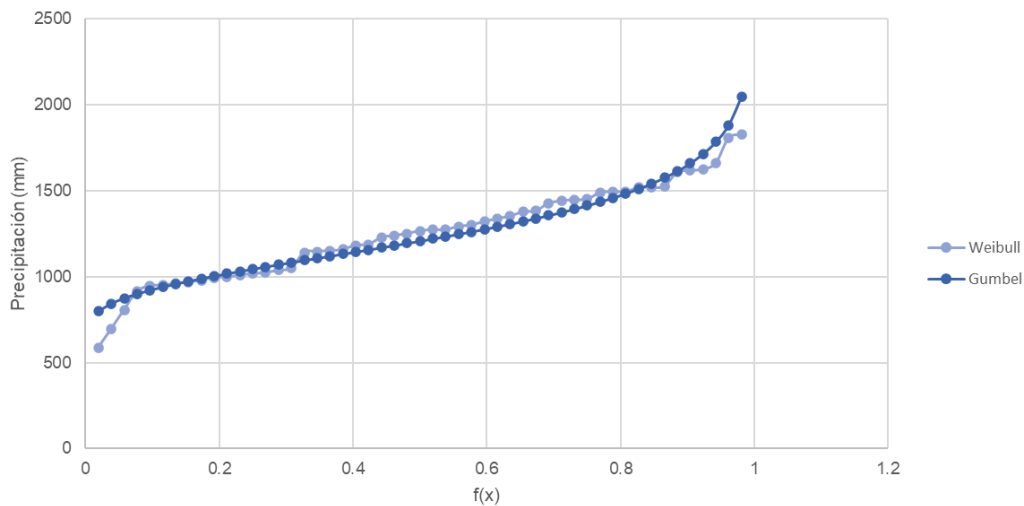
Sx= desviación típica de la muestra

$\alpha$  y  $\mu$ = valor del número de años de las series

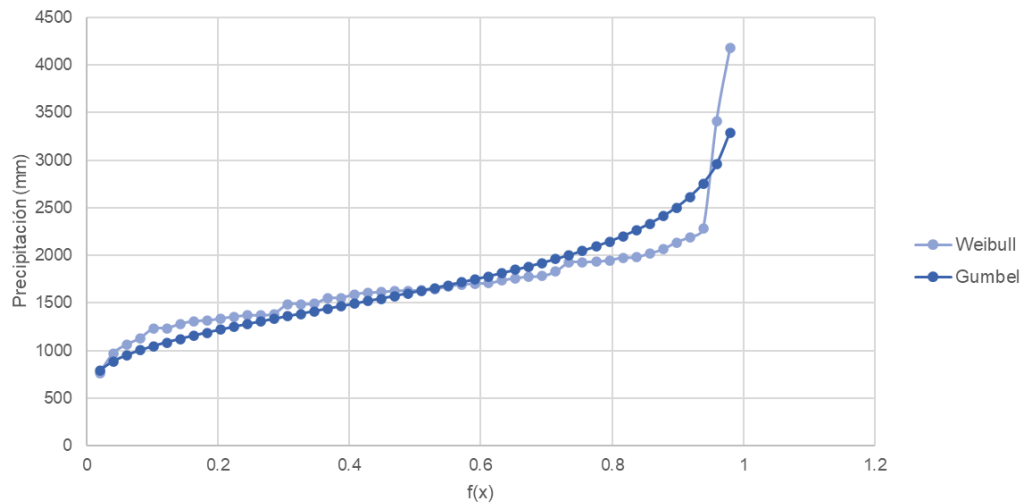
Aunado a lo anterior y dentro de la distribución de la serie de tiempo se calculó la distribución de Weibull con los mismos valores de precipitación anual, esto con la finalidad de comparar el resultado con lo obtenido por Gumbel. La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua, la distribución se utiliza frecuentemente con análisis de fiabilidad para modelar datos de tiempo antes de falla. La distribución de Weibull también se utiliza para modelar datos asimétricos del proceso en el análisis de capacidad.

Al graficar los resultados de la precipitación anual y la función de  $f(x)$  obtenidos de las funciones de Weibull y Gumbel, se obtuvo la Figura 16, la cual indica que el comportamiento de ambas distribuciones es muy parecido en los valores y dirección. La distribución Gumbel de valores extremos nos da resultados satisfactorios para series de duración parcial de precipitaciones pluviales. Las series de duración parcial de lluvias se ajustan, generalmente bien en escalas logarítmicas doble (lluvias vs tiempo de retorno) o logaritmo-normal.

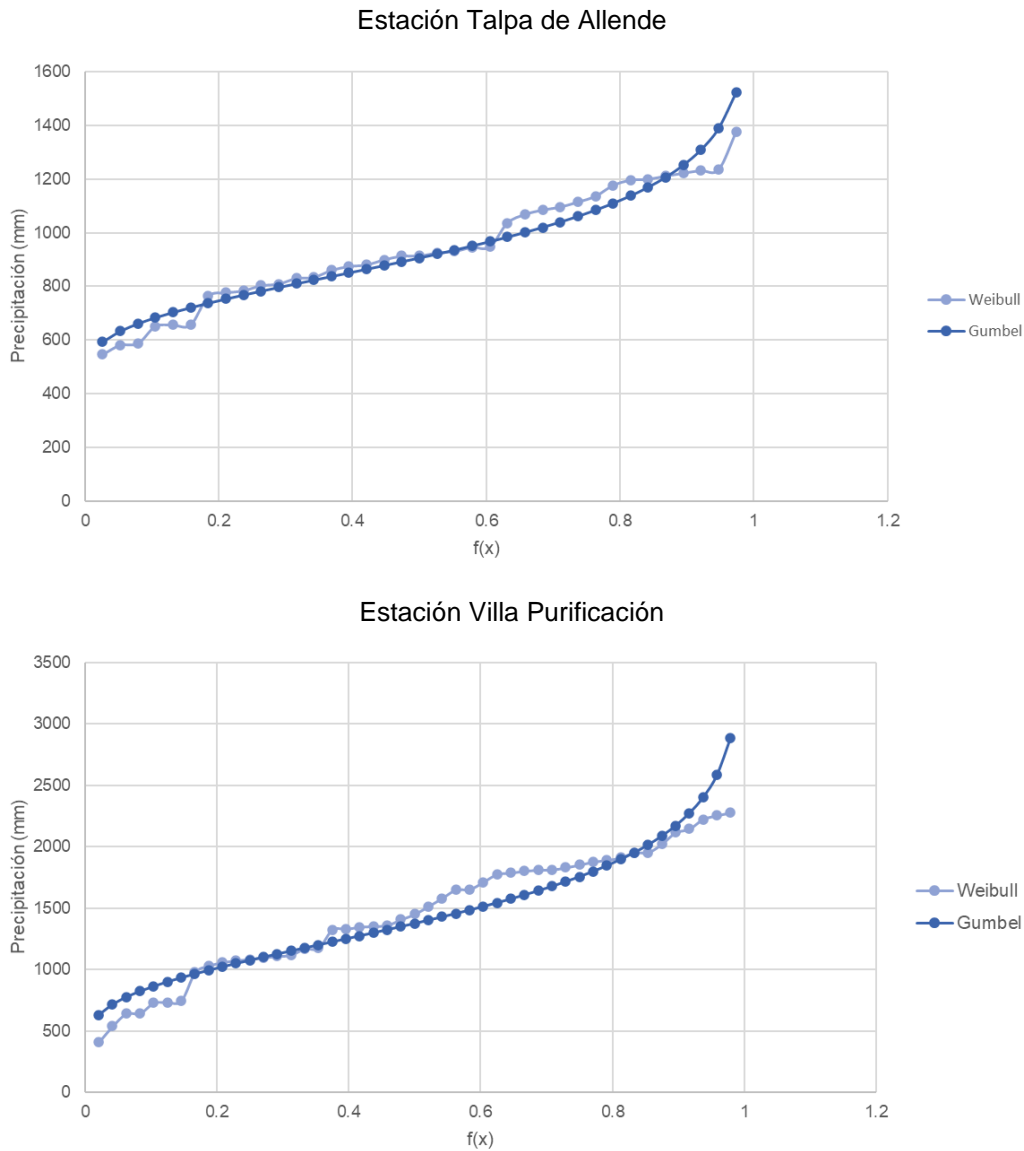
Estación Cajón de Peña



Estación El Tuito







**Figura 16. Distribución de la serie de datos de precipitación registradas por las estaciones climáticas y las funciones de Weibull y Gumbel**

Para determinar el periodo de retorno se utilizó intervalos de recurrencia de un determinado valor extremo o al intervalo medio ( $T$ ) entre dos sucesos que igualan o superan el valor extremo considerado y se expresa en años. Basados en la distribución de la precipitación anual acumulada, lo cual asegura la independencia de los sucesos, y la serie resultante se ajusta a una distribución de probabilidad de valores máximos (Beguiría & Lore, 2016).

Probabilidad de excedencia es la probabilidad de que un evento de una determinada magnitud sea igualado o excedido en cualquier año. La probabilidad de excedencia se define por la siguiente expresión (Beguiría et al., 2003).

$$P(x) = \frac{1}{T}$$

Por lo cual, el valor de precipitación máxima para un periodo de retorno de 50 y 100 años se determinó mediante la ecuación de Gumbel:

$$-\ln(-\ln(f(x))) * \alpha + \mu$$

$$f(x) = 1 - P > x$$

$$P > x = \frac{1}{T} = \frac{1}{50}$$

De la misma manera se calculó para un periodo de retorno de 100 años:

$$P > x = \frac{1}{T} = \frac{1}{100}$$

Con base en los datos de las cuatro estaciones climatológicas se calculó la precipitación pluvial máxima anual con cubrimiento del AEPH Presa Cajón de Peña con periodo de retorno de 50 y 100 años (Tabla 18).

**Tabla 18. Valor del cálculo de las precipitaciones máxima anual para las estaciones climáticas con periodo de retornos de 50 y 100 años con cubrimiento del AEPH Presa Cajón de Peña**

Número	Estación	Precipitación máxima acumulada anual (mm) TR 50 años	Precipitación máxima acumulada anual (mm) TR 100 años
14024	Cajón de Peña	2,038	2,201
14059	El Tuito	3,300	3,634
14140	Talpa de Allende	1,574	1,706
14117	Villa Purificación (DGE)	2,905	3,207

Para determinar el valor de lluvia dentro del AEPH Presa Cajón de Peña se determinó mediante el Método del Inverso de la Distancia (IDW), es un método reciente y fácil de aplicar con el uso de Sistemas de Información Geográficas (SIG). La información requerida para la aplicación de este método se reduce a la ubicación (geográfica) exacta de los puntos de medición y el valor de la precipitación registrada en la estación climática analizada, utilizando los valores de precipitación máxima acumulada anual con periodo de retorno de 50 (Figura 17) y 100 años (Figura 18) se elaboraron los modelos de precipitación e isoyetas.

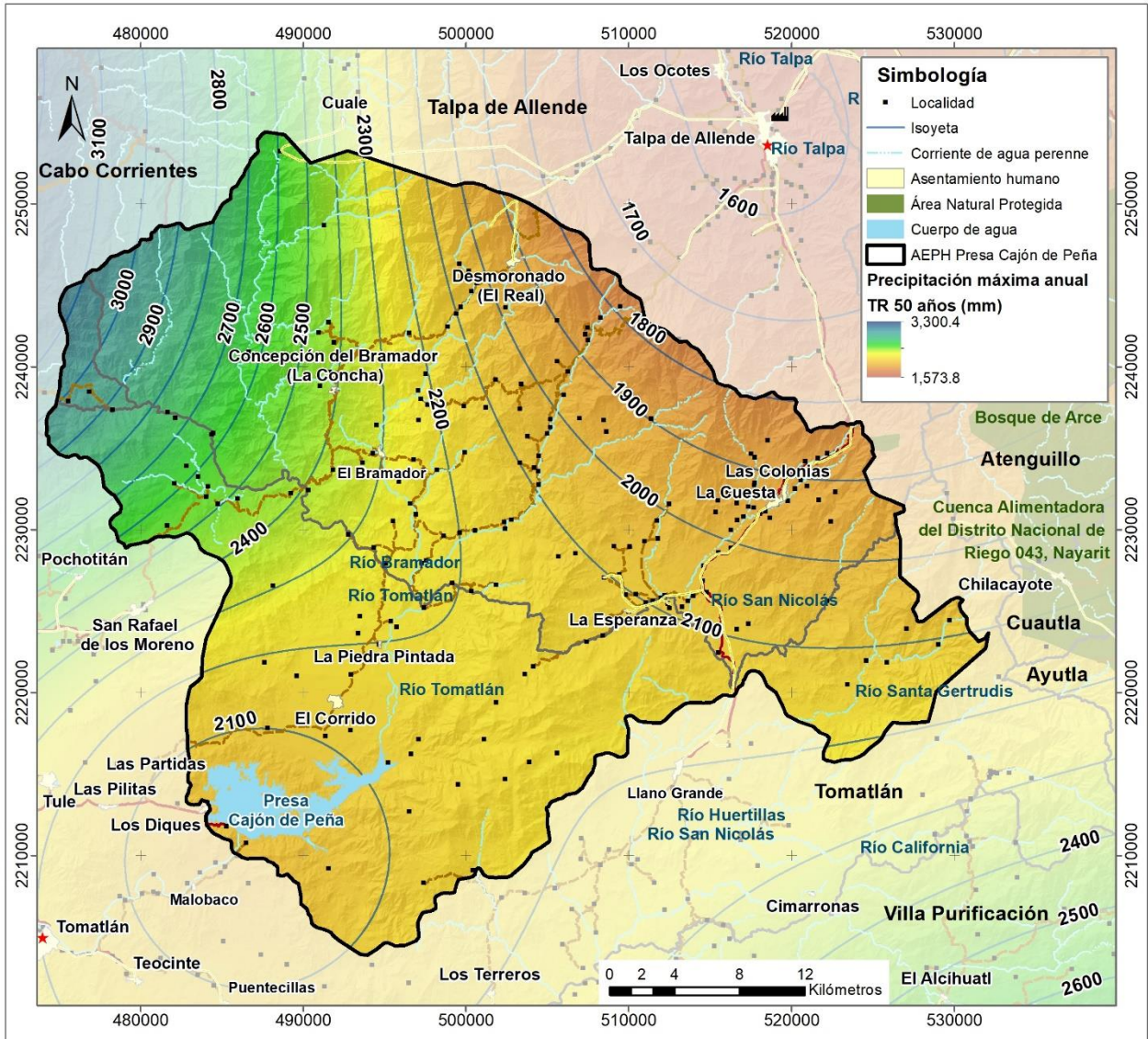


Figura 17. Modelo e isoyetas de la precipitación pluvial máxima anual para un periodo de retorno 50 años

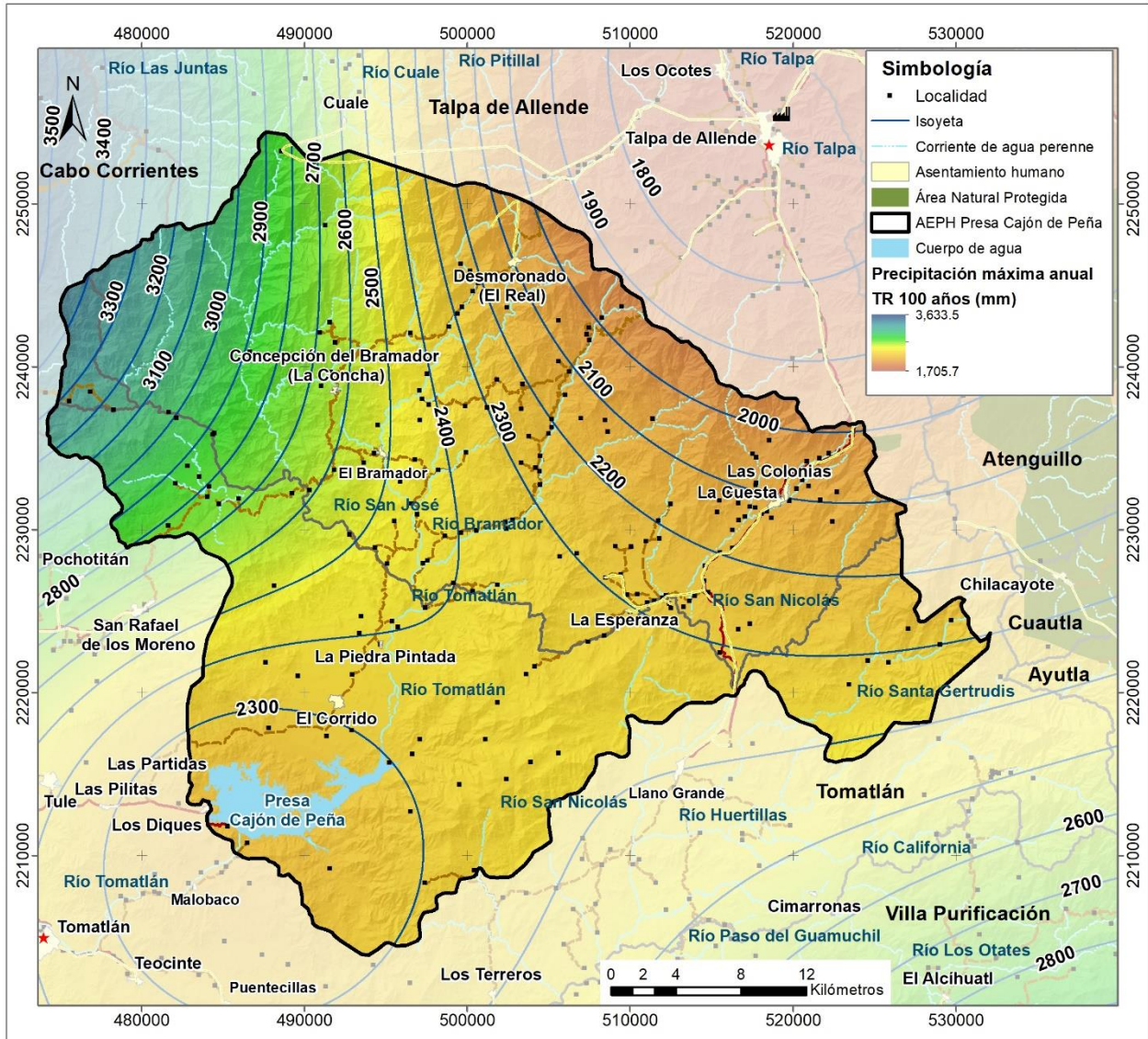


Figura 18. Modelo e isoyetas de la precipitación pluvial máxima anual para un periodo de retorno 100 años

### Coefficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía o escurrimiento (C) representa una relación entre el volumen escurrido superficial generado por una determinada cuenca y el volumen de la precipitación. El coeficiente de escorrentía varía con la pendiente, condiciones de la superficie, de la cubierta vegetal y el tipo de suelo hidrológico. Cabe señalar que el coeficiente de escurrimiento no es un factor constante, sino que varía mensualmente y anualmente en función principalmente de las variaciones en la intensidad de la lluvia y las condiciones de superficie de la cuenca; por lo que su determinación es aproximada (Becerra M., 2005).

El valor numérico del coeficiente de escorrentía fluctúa entre 0 y 1 y es adimensional, en donde las superficies que son relativamente impermeables como las calles y superficies con concreto

tienen coeficientes de escorrentía que se aproximan a uno, mientras que las superficies con vegetación para interceptar la escorrentía superficial y las que permiten la infiltración de las precipitaciones tienen coeficientes de escorrentía más cercanas a 0. Asimismo, si todos los demás factores son iguales, una zona con una mayor pendiente tendrá más escorrentía de aguas pluviales y por lo tanto un coeficiente de escorrentía más alto que una zona con una pendiente menor. De igual forma, los suelos que tienen un alto contenido de arcilla no permiten mucha infiltración y por lo tanto tienen coeficientes relativamente altos de escurrimiento, mientras que los suelos con alto contenido de arena tienen mayores tasas de infiltración y bajos coeficientes de escorrentía (Chiarito et al., 2019).

El coeficiente de escorrentía en el AEPH Presa Cajón de Peña se cuantificó de acuerdo con los valores de C (Tabla 19) propuestos por la SARH en 1977 (Becerra M., 2005) y las condiciones de cobertura vegetal, tipo de textura del suelo y pendiente topográfica corresponde. Para lo anterior se utilizaron los datos de edafología de INEGI (1971), porcentaje de pendientes, las cuales se calcularon a partir del modelo digital de elevación obtenido de las de las curvas de nivel del conjunto de datos topográficos escala 1:50,000 de INEGI (2015a) y la capa de coberturas vegetales del Mapa Nacional de Referencia MAD-Mex (INEGI et al., 2018).

Los datos se analizaron por medio de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, cada capa se transformó a formato ráster con un tamaño de celda de 10 metros. Posteriormente, con la ayuda de la calculadora de mapas se realizó la combinación de las 3 características analizadas (vegetación, textura del suelo y topografía) y se le asignó el valor correspondiente de acuerdo con la Tabla 19.

**Tabla 19. Valores del coeficiente de escorrentía C para calcular escurrimientos**

Vegetación	Textura del suelo		
	Topografía	Gruesa	Media
Bosque			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos cultivados			
Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.72	0.82

Fuente: SARH, 1977 citado por Becerra M. (2005).

El coeficiente de escorrentía determinado para el AEPH Presa Cajón de Peña se interpreta en términos de porcentaje de lluvia que escurre, por ejemplo, un coeficiente de 0.30 se entendería como la presencia de una escorrentía que representa el 30% de la lluvia total asociada. Otra forma de interpretar el coeficiente es por medio de equivalencia, es decir, por cada 100 litros por metro cuadrado precipitados en el AEPH Presa Cajón de Peña, 30 litros por metro cuadrado se convertirán en flujo superficial. En la medida que el valor del coeficiente de escorrentía tiende a 1 (su valor máximo), mayor será la cantidad de agua precipitada que se convertirá en caudal

superficial. Asimismo, este coeficiente indica la magnitud y el lugar donde se tendrá mayor o menor caudal superficial.

En el AEPH Presa Cajón de Peña el coeficiente que predomina con mayor superficie es el 0.30 que corresponde a áreas que, si bien pueden tener diferentes tipos de cobertura vegetal y tipo de textura del suelo, tienen coincidencia en presentar pendientes planas. En la Tabla 20 se presenta la superficie que ocupa cada valor de coeficiente de escurrimiento identificado, asimismo, en la Figura 19 se presentan los valores del coeficiente de escorrentía en el AEPH Cajón de Peña, donde se observa que en la parte media y alta de la cuenca principal se presentan valores medios de C de 0.50 asociados principalmente a pendientes onduladas-escarpadas.

**Tabla 20. Determinación del coeficiente de escorrentía C en el AEPH Cajón de Peña**

Coeficiente C	Superficie	
	Hectáreas	%
0.10	15,937.77	10.00
0.16	261.74	0.16
0.22	1,356.24	0.85
0.25	3,586.94	2.25
0.30	102,550.87	64.34
0.35	689.66	0.43
0.36	93.51	0.06
0.40	597.71	0.38
0.42	1,186.16	0.74
0.50	31,299.17	19.64
0.52	965.23	0.61
0.55	6.42	0.00
0.60	584.74	0.37
0.70	57.12	0.04
0.72	191.19	0.12
0.82	17.76	0.01

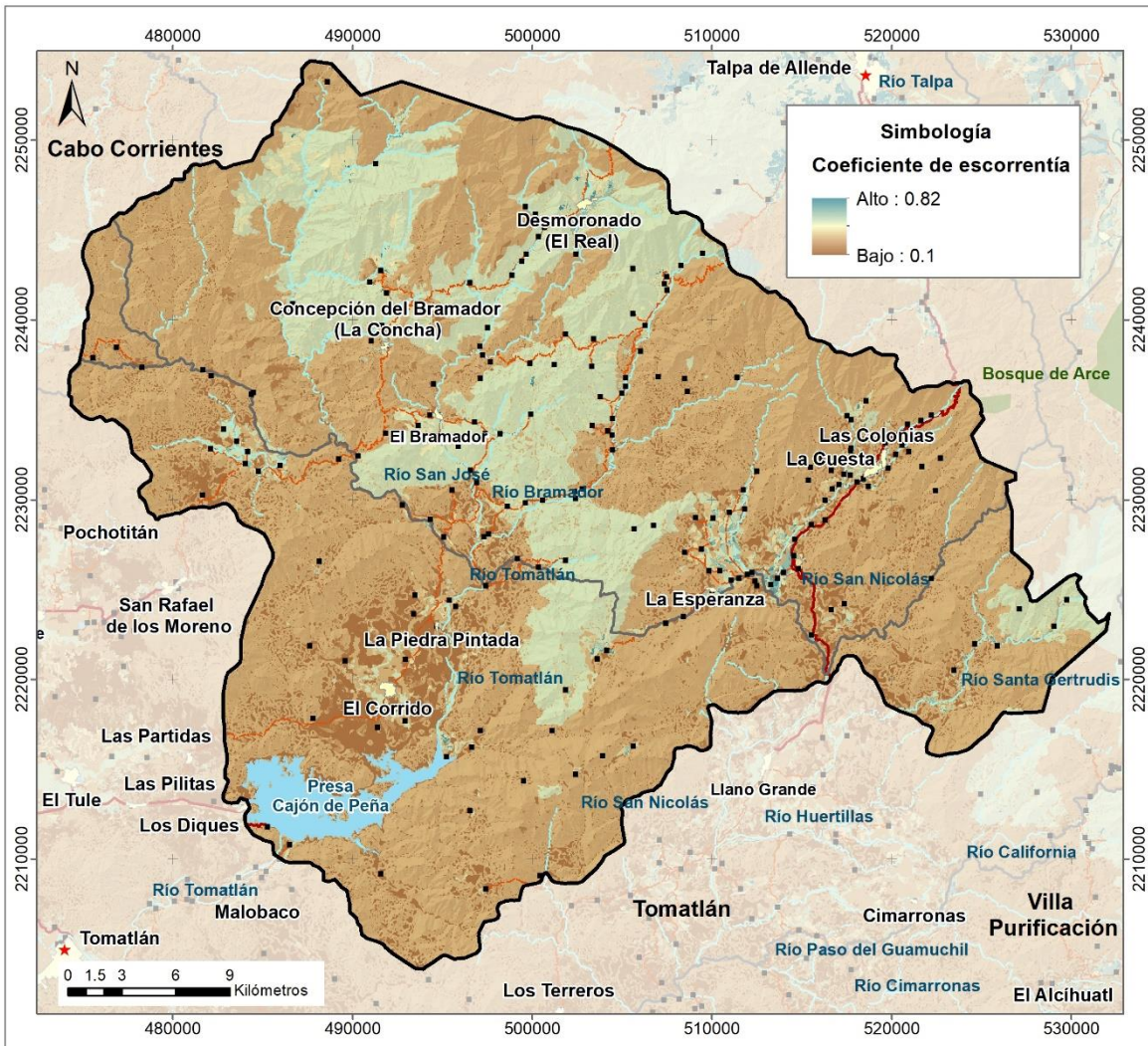


Figura 19. Coeficiente de escorrentía en el AEPH Presa Cajón de Peña

### Balance hídrico

En el ciclo hidrológico, una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por corrientes y cuerpos de agua siguiendo la conformación del terreno, constituyendo las aguas superficiales; o bien se infiltra al subsuelo como agua subterránea.

Anualmente México recibe aproximadamente 1,449,471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.4% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos<sup>3</sup>. Tomando en cuenta los flujos de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, el país anualmente cuenta con 451,585 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2018d).

La disponibilidad de recursos hídricos en el AEPH Presa Cajón de Peña está en función del volumen anual promedio del agua que recibe, de la que vuelve a la atmósfera por transpiración y

evaporación (en conjunto evapotranspiración) y también de la diferencia de disponibilidad hídrica en las épocas de lluvia y la seca o menos lluviosa. Cada una proporciona escenarios muy diferenciados que merecen análisis por separado en el balance hidrológico.

El Balance Hídrico consiste en la aplicación del principio de la conservación de masa al conjunto de una cuenca o a una cierta parte de ella definida por unas determinadas condiciones de contorno. Durante un determinado período de tiempo en el que se realiza el balance, la diferencia entre el total de entradas y el total de las salidas debe ser igual a la variación en el almacenamiento: Entradas – Salidas = Variación del almacenamiento.

La variable que se consideró como entrada del sistema del balance hídrico del AEPH Presa Cajón de Peña corresponde a los datos de precipitación acumulada mensual (1954-2011) de la estación climatológica 14024 Cajón de Peña con coordenadas X= 486401, Y= 2210749 con sistema de referencia Universal Transversal de Mercator (UTM) integrada en el banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Dentro de las variables de salida del sistema del balance hídrico para el AEPH Presa Cajón de Peña es la evapotranspiración potencial (ETP), se propuso el método de (Thornthwaite, Mather, 1957), el cual está basado en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura y de la latitud de la zona de estudio y del mes (obtención de número de horas-sol por día). El método supone una región húmeda con vegetación verde, donde nunca falta aporte de agua (Aparicio, 2008). Lo anterior aplica al AEPH Presa Cajón de Peña.

Para el cálculo ETP se consideraron las temperaturas mínimas y máximas mensuales de la estación climatológica 14024 Cajón de Peña, mediante las siguientes ecuaciones:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$
$$I = \sum i$$
$$ETP \text{ sin corrección} = 16 \left(10 * \frac{t}{I}\right)^a$$
$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.792 \times 10^{-2} \times I + 0.49239$$
$$ETP = ETP \text{ sin corrección} \left(\frac{N}{12} * \frac{d}{30}\right)$$

Donde:

i = índice de calor mensual

t = temperatura media mensual

I = índice de calor anual

a = factor en función del índice de calor anual

ETP = sin corrección es la evapotranspiración potencial sin ajuste

N = número máximo de horas de sol dependiendo de la latitud y del mes

d = número de días del mes, y por último

ETP = evapotranspiración potencial final

El balance hídrico no considera la variabilidad interanual del clima, específicamente de la precipitación, por lo que la ocurrencia de extremos (muy húmedos o muy secos), así como la variación la magnitud de los mismos no serían identificados por este tipo de balance ya que se calcula con datos normales climatológicos. Una vez realizadas las operaciones indicadas por el método de Thornthwaite y Mather obtenemos la ETP (Tabla 21).



**Tabla 21. Estimación de la evapotranspiración potencial mensual (mm) para la estación climatológica 14024 Cajón de Peña (1954-2011) con cubrimiento sobre del AEPH Presa Cajón, utilizando el método de Thornthwaite y Mather**

Mes	Temperatura media	(i) Índice Térmico Mensual	ETP Teórica	(N)	(N/12)	No. días por Mes	(d/30)	ETP (mm/mes)
Enero	22.4	9.68	61.44	11.1	0.93	31	1.03	<b>58.73</b>
Febrero	22.9	10.01	65.75	11.5	0.96	28	0.93	<b>58.81</b>
Marzo	24.2	10.89	77.90	12	1.00	31	1.03	<b>80.50</b>
Abril	26.05	12.17	97.68	12.6	1.05	30	1.00	<b>102.57</b>
Mayo	27.15	12.96	110.92	13	1.08	31	1.03	<b>124.16</b>
Junio	28.2	13.72	124.63	13.3	1.11	30	1.00	<b>138.13</b>
Julio	28.6	14.02	130.14	13.2	1.10	31	1.03	<b>147.92</b>
Agosto	27.95	13.54	121.27	12.8	1.07	31	1.03	<b>133.66</b>
Septiembre	27.55	13.25	116.01	12.3	1.03	30	1.00	<b>118.91</b>
Octubre	26.9	12.78	107.81	11.7	0.98	31	1.03	<b>108.62</b>
Noviembre	24.65	11.19	82.44	11.3	0.94	30	1.00	<b>77.63</b>
Diciembre	23.4	10.35	70.26	11	0.92	31	1.03	<b>66.55</b>
(I) Índice térmico anual	a					<b>ETP Anual</b>		<b>1,216.19</b>
144.55	3.071							

Para la estimación del balance hídrico mensual en el AEPH Presa Cajón, se consideró la precipitación como única entrada de agua y la evapotranspiración potencial como la salida de agua en el polígono de estudio, se definió la capacidad de campo en 300mm, esto debido a la homologación entre de los valores de la capacidad de retención del agua y los de profundidad radicular (según la textura del suelo y el tipo de vegetación) aportados por las tablas de balance de (Dunne, Leopold, 1978).

Otros parámetros que se consideraron en el cálculo es la identificación del mes de octubre como mes del inicio del año hidrológico. En el mes de octubre inicia el año hidrológico y se define como el período continuo de doce meses seleccionado de manera que la mayoría de la precipitación tienen su escorrentía dentro del mismo. El año hidrológico Incluye a la estación en la que la escorrentía es máxima de tal forma que se minimiza la cantidad de agua de un año que se incorpora al siguiente. También se consideró que la reserva del mes anterior al mes del inicio del año hidrológico sea considerada como reserva de inicio.

El balance hídrico para el AEPH Presa Cajón se determinó con el uso del software InnerSoft-Balance Hídrico v0.9 que tiene la capacidad de calcular el balance hídrico del suelo, considerando los datos previamente calculados de precipitación y ETP (Figura 20).



Figura 20. Cálculo del balance hídrico para el AEPH Presa Cajón de Peña

Donde:

- P = Precipitación
- ETP = Evapotranspiración potencial
- R = Reserva
- AR = Variación de la reserva
- ETR = Evapotranspiración real
- E = Excedente o escorrentía
- D = Déficit hídrico anual

En la Figura 21 observamos que el balance hídrico del AEPH Presa Cajón para los meses de diciembre a junio registra un déficit debido a que la línea de precipitación (P) prácticamente es la misma que la evapotranspiración real (ETR) correspondiendo al periodo seco. En la medida que la línea de la evapotranspiración potencial (ETP) sea igual a la ETR nos indicará un superávit de agua producto por la precipitación y se considera el periodo húmedo.

Con base en los datos del cálculo del balance hídrico, se puede deducir, que los meses donde no hay déficit la  $ETP = ETR$  y los meses donde si hay déficit la  $P + (\text{Reserva mes anterior} - \text{Reserva mes en cuestión}) < ETP$ .

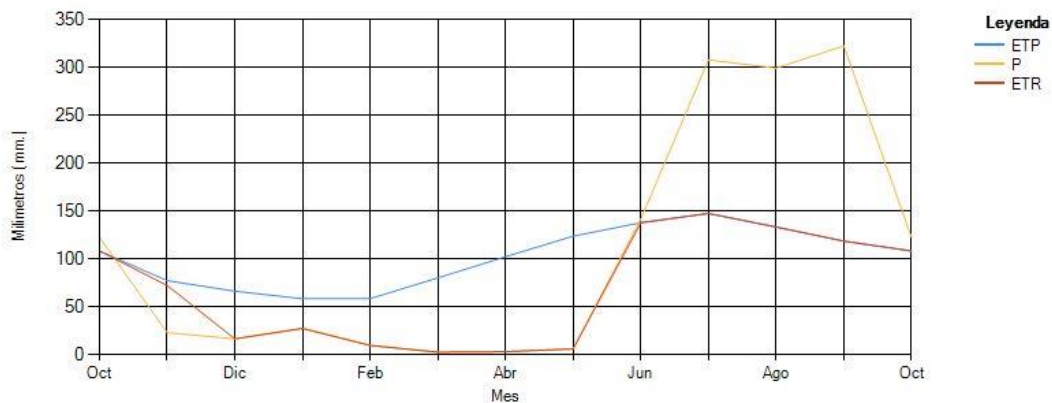
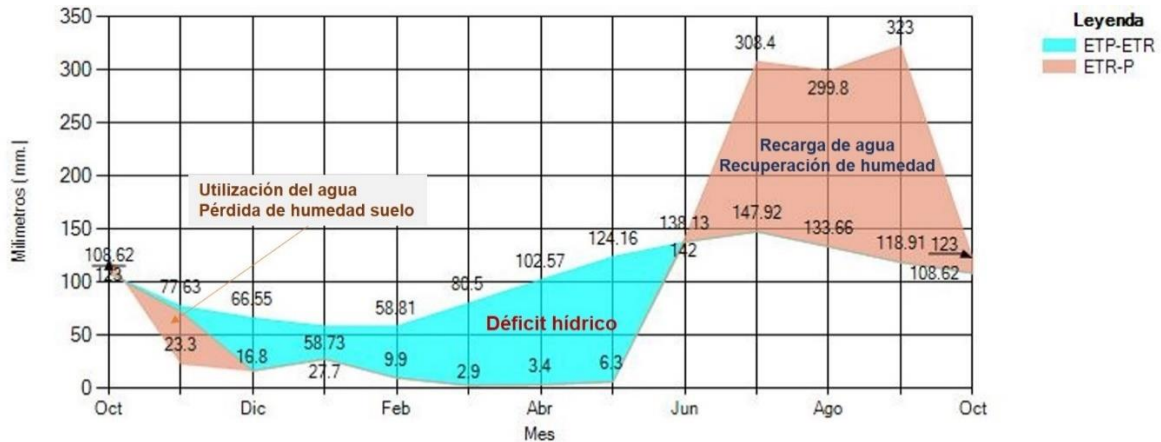


Figura 21. Comportamiento del balance hídrico mensual entre la evapotranspiración potencial, precipitación y evapotranspiración real para el AEPH Presa Cajón

Debido a la disponibilidad hídrica del AEPH Presa Cajón, la capacidad de campo de 300 mm y un periodo de precipitación normal muy superior a la evapotranspiración real, nos define los dos periodos (seco y húmedo) mediante el cual se cumple el principio de conservación que nos indica que la diferencia entre el total de entradas (P) y el total de las salidas (ETR) debe ser igual a la variación en el almacenamiento de agua (Figura 22).



**Figura 22. Comportamiento del balance hídrico mensual, relacionándolo con los meses con déficit, los meses húmedos y los de pérdida de humedad en el AEPH Presa Cajón**

La diferencia ETP – ETR se denomina déficit y se presenta en el AEPH Presa Cajón en los meses de diciembre a junio con un total de -429.37 mm, desde el punto de vista de la agricultura es deseable que la diferencia sea nula, esto con la finalidad de que las plantas siempre dispongan de agua en todo momento.

Del cálculo del balance hídrico se derivaron los siguientes índices:

1. Índice de Aridez (Ia)  
 $Ia = 100 \cdot D / ETP = 35.305$
2. Índice de Humedad o Exceso de Agua (Ih)  
 $Ih = 100 \cdot E / ETP = 19.288$
3. Índice de Humedad de Thornthwaite  
 $I_m = (100 \cdot E - 60 \cdot D) / ETP = -1.895$

#### 4.1.2. Elementos bióticos

##### Flora y vegetación

##### Flora

La identificación florística de la vegetación en el AEPH Presa Cajón de Peña fue obtenida del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la CONABIO (2020). Se identificaron un total de 593 especies distribuidas en 128 familias y 49 órdenes. De estas especies, 27 se encuentran en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010<sup>1</sup> (Tabla 22), 217 se

<sup>1</sup> NOM-059-SEMARNAT-2010 publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2010 y la Modificación del Anexo Normativo III Lista de Especies en Riesgo de esta Norma publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2019.

identifican como endémicas, 26 están protegidas contra el comercio ilegal (CITES) y 83 están en alguna categoría de la lista roja de la IUCN.

De las especies con alguna categoría de riesgo el 30% están sujetas a protección especial, el 48% están amenazadas y el 22% restantes están en peligro de extinción. En la Tabla 22 se presentan estas especies incluidas dentro de la NOM-059, su categoría y el nombre común con el cual es conocida esa especie.

**Tabla 22. Especies de plantas incluidas en la en la NOM-059 dentro del AEPH Presa Cajón de Peña**

Nombre científico	Nombre común	Categoría NOM-059
<i>Abies flinckii</i>	Abeto blanco, oyamel de jalisco, oyamel pinabete, pinabete	Pr
<i>Abies religiosa emarginata</i>	Abeto blanco, oyamel de jalisco, oyamel pinabete, pinabete	Pr
<i>Asclepias mcvaughii</i>		Pr
<i>Astronium graveolens</i>	Amargoso, ciruelo, escobillo, palo de cera, palo de culebra	A
<i>Bursera arborea</i>	Cuajilote, huahuica, palo jiote, papelillo, torote	A
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Árbol María, bari, brasil, cedro cimarrón, leche amarilla, leche María, limoncillo, María, mariquita, palo María, Santa María	A
<i>Carpinus caroliniana</i>	Mora, mora de la sierra, moralillo, palmilla, palo barranco, palo lechillo, palo liso	A
<i>Chamaedorea pochutlensis</i>	Palma, tepejilote canelillo	A
<i>Cryosophila nana</i>	Escoba, palma, palma abanico, palma de abanico, palma de escoba, palmilla, palmillo, palo de escoba, tepejilote	A
<i>Dalbergia granadillo</i>	Granadillo, palo de granadillo morado	P
<i>Encyclia adenocaula</i>	Angelitos, encyclia conejo, trompillo	A
<i>Furcraea bedinghausii</i>		A
<i>Guaiacum coulteri</i>	Árbol santo, guayacán, palo santo	A
<i>Juglans major</i>	Nogal, nogal cimarrón, nogal silvestre	A
<i>Laelia bancalarii</i>		P
<i>Licania arborea</i>	Cacahuananche, cacahuate, carnero, carnero blanco, encino borrego, frailecillo, palo de fraile	A
<i>Litsea glaucescens</i>	Arrayán, laurel, laurel de la sierra, laurelillo	P
<i>Marattia weinmanniifolia</i>	Maíz de monte	Pr
<i>Matudaea trinervia</i>	Guayabillo, quebracho, quiebra hacha	A
<i>Oncidium tigrinum</i>	Flor de muertos, oncidium atigrado	A
<i>Periptera macrostelis</i>		Pr
<i>Pinus jaliscana</i>	Pino de Jalisco	P
<i>Podocarpus reichei</i>	Olivo, palmilla, palmillo, palmito, sabino	Pr
<i>Prosthechea citrina</i>	Azucena amarilla	Pr
<i>Selaginella porphyrospora</i>	Selaginela	P
<i>Tilia mexicana</i>	Cirimo, jonote, tila, tilia, tirimo, tzirimo, yaca, yaco	P
<i>Zamia paucijuga</i>	Cícada	Pr

### **Cubierta vegetal**

La cubierta vegetal en el AEPH Presa Cajón de Peña se identificó a partir del conjunto de datos vectoriales de la cobertura del suelo para el año 2018 del Mapa Nacional de Referencia MAD-Mex obtenido a partir de imágenes de satélite Landsat (INEGI et al., 2018). En la Figura 23 se presenta el mapa de distribución de las coberturas del suelo.

Se identifica la presencia de 10 tipos de coberturas del suelo, de las cuales 5 corresponden a coberturas de bosque (bosque húmedo de montaña, bosques de aciculifolias y escuamifolias, bosques latifoliados, selvas húmedas y selvas secas) que ocupan el 91.6% de la superficie total y 5 coberturas de no bosque (agua, pastizales y otra vegetación herbácea, suelo desnudo, tierras agrícolas y urbano y construido) que ocupan el 8.4% de la superficie (Tabla 23). De las coberturas de bosque, la que ocupa mayor superficie es el bosque de latifoliadas con el 36.879%, seguido de las selvas secas con el 29.175% y el bosque de aciculifolias y escuamifolias con el 24.804% (Figura 24). Mientras que de las coberturas de no bosque predominan las tierras agrícolas con 3.270% y los pastizales con 3.186% (Figura 24).

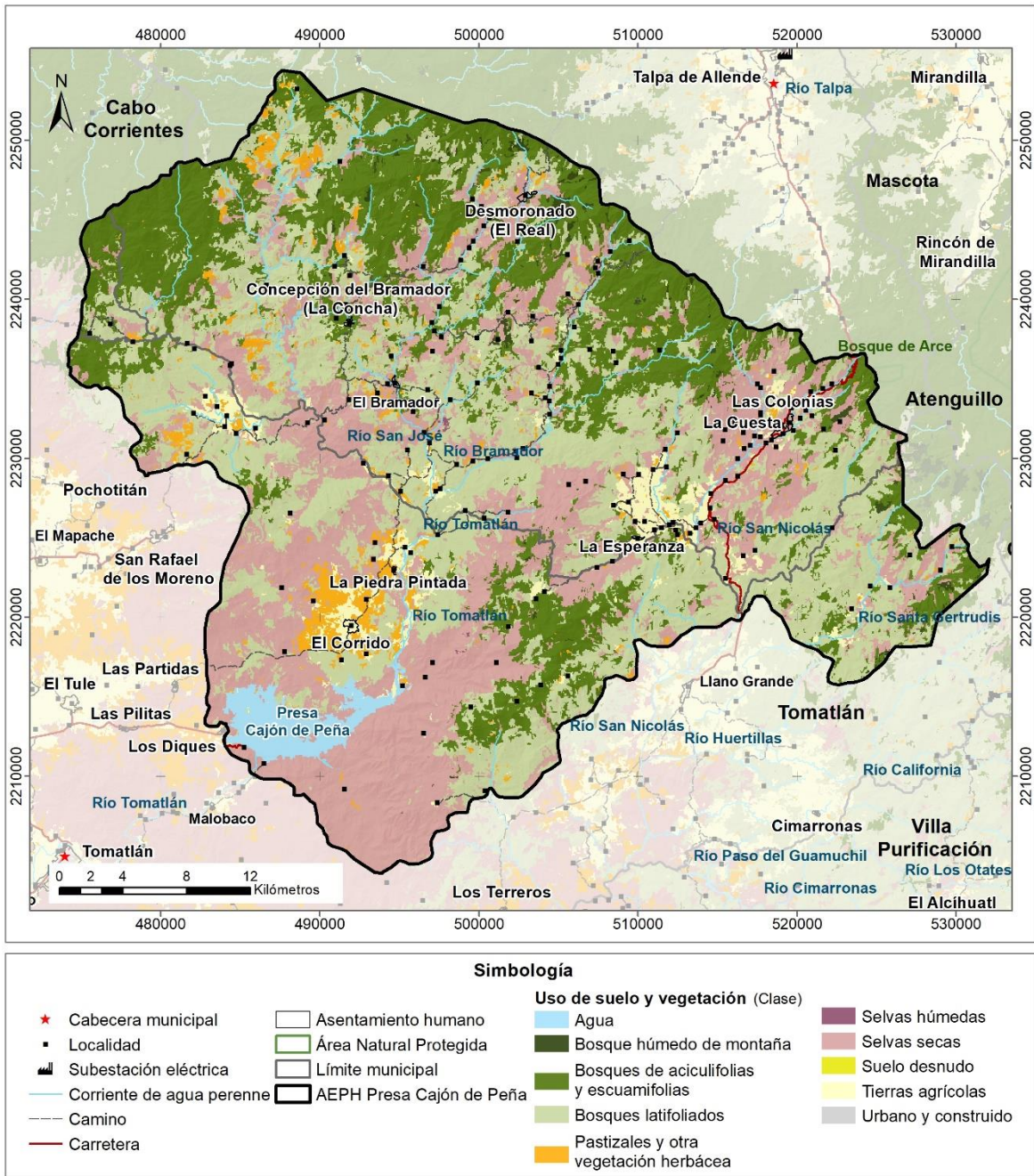
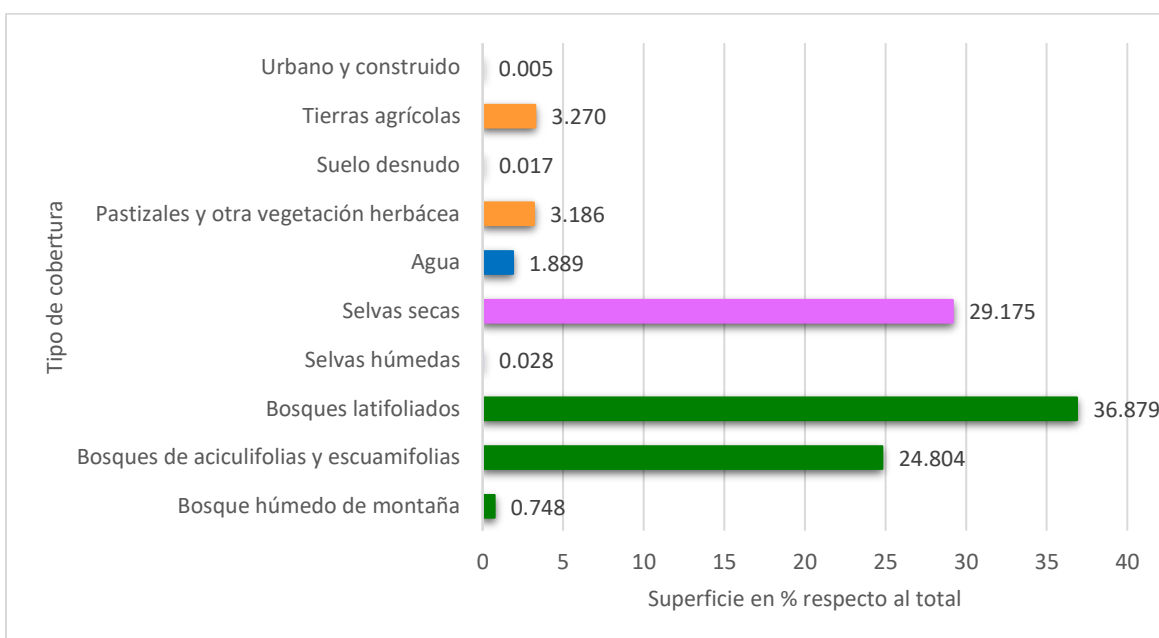


Figura 23. Tipos de cobertura vegetal en el AEPH Cajón de Peña



**Figura 24. Porcentaje de superficie ocupada por los diferentes tipos de coberturas del suelo en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Para conocer las características particulares de la vegetación en el AEPH Presa Cajón de Peña, se identificó la correspondencia de los tipos de coberturas utilizados por MAD-Mex, con las claves básicas de los tipos de vegetación de INEGI y su equivalencia en la clasificación de Rzedowski (2006). En la Tabla 23 se presentan los niveles generales de clasificación, la cobertura MAD-Mex y los tipos de vegetación que cada una de estas contiene, así como la superficie que ocupan en el AEPH Presa Cajón de Peña.

**Tabla 23. Superficie en el AEPH Presa Cajón de Peña por tipo de cobertura vegetal identificada por MAD-Mex y el tipo de vegetación correspondiente con base en la clasificación de Rzedowski (2006)**

Nivel 1	Nivel 2	Cobertura MAD-Mex	Tipo de vegetación clasificación de Rzedowski	Superficie	
				Hectáreas	%
Bosque	Bosques	Bosque húmedo de montaña	Bosque mesófilo de montaña	1,192.02	0.748
		Bosques de aciculifolias y escuamifolias	Bosque de pino y bosque de pino-encino	39,533.68	24.804
		Bosques latifoliados	Bosque de encino y bosque de encino-pino	58,778.13	36.879
	Selvas	Selvas húmedas	Bosque tropical subcaducifolio	44.29	0.028
		Selvas secas	Bosque tropical caducifolio	46,499.37	29.175
No bosque	Agua	Agua	Cuerpos de agua	3,010.64	1.889
	No bosque y otras tierras	Pastizales y otra vegetación herbácea	Pastizal inducido	5,077.44	3.186
		Suelo desnudo	Sin vegetación	26.95	0.017
		Tierras agrícolas	Agricultura de temporal y de riego	5,212.49	3.270
		Urbano y construido	Áreas urbanas	7.21	0.005
<b>Total</b>				<b>159,382.22</b>	<b>100.00</b>

A continuación, se presenta la descripción de los tipos de vegetación en el AEPH Cajón de Peña con base en Rzedowski (2006), la guía de interpretación de cartografía de uso del suelo y vegetación de INEGI (2017) y las observaciones en el sitio.

**Bosque mesófilo de montaña.** Es un bosque denso de entre 20 a 40 m de alto con algunos ejemplares de hasta 60 m de altura. Incluye tanto árboles perennifolios como de hoja decidua. Se restringen a ciertas condiciones climáticas de humedad (precipitaciones mínimas de 1,000 mm anuales) y temperatura (entre 12 a 23° C), principalmente se localiza en los fondos de las cañadas y laderas protegidas, en altitudes entre 800 y 2,400 m. Se presenta en forma de muy diversas asociaciones, constituyendo una unidad bastante heterogénea y de muy alta diversidad. Destaca la presencia de árboles de los géneros *Abies*, *Alchornea*, *Celtis*, *Clusia*, *Dendropanax*, *Dipholis*, *Gymnanthes*, *Juglans*, *Liquidambar*, *Magnolia*, *Matudaea*, *Osmanthus*, *Ostrya*, *Perrottetia*, *Persea*, *Pinus*, *Podocarpus*, *Quercus*, *Salix* y *Trophis*; y entre las herbáceas destacan las epífitas de las familias Orchidaceae, Bromeliaceae, Piperaceae y Araceae.

**Bosque de pino.** Es una comunidad vegetal que se localiza principalmente en las cadenas montañosas en climas templados y semicálido subhúmedo en elevaciones entre 1,500 y 3,000 m. toleran temperaturas de entre 6 y 28° C y precipitaciones entre 600 y 1,000 mm anuales concentrada en un periodo de 6 a 7 meses. Son comunidades resistentes a heladas, incendios, pastoreo y otras perturbaciones; son de gran importancia por el valor comercial de su madera y la facilidad de explotación. Su fisonomía es siempre verde, el sotobosque está formado por plantas herbáceas de temporal; la altura del bosque oscila entre los 8 y 25 m. Destaca la presencia de epífitas, musgos, líquenes y hongos. En cuanto a especies arbóreas, predomina *Pinus oocarpa*, y *P. michoacana*.

**Bosque de pino y encino.** Son comunidades que se localizan en climas con temperaturas entre los 10 y 28° C, con precipitaciones que van entre los 1,200 y los 3,200 mm anuales. Alcanzan alturas de 8 a 35 m y están conformados por diferentes especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*. Predominan especies como *Pinus jaliscana*, *P. oocarpa*, *P. maximinoi*, *Quercus magnoliifolia*, *Q. castanea*, *Q. aristata*, *Q. elliptica*, *Q. salicifolia*, *Clusia salvinii*, *Oreopanax sp.* y *Conostegia xalapensis*, hay presencia también de algunos árboles perennifolios y caducifolios, con floración variable en todo el año. Con base en la dominancia de uno u otro género, se puede distinguir en dos diferentes bosques: **Bosque de pino-encino** cuando predominan los individuos del género *Pinus*; y **Bosque de encino-pino** cuando predominan los individuos del género *Quercus*.

**Bosque de encino.** Son comunidades vegetales ampliamente distribuidas en todo el país, se desarrolla en muy diversas condiciones ecológicas y climáticas. Se localiza en diferentes clases de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas y en suelos profundos o someros. El tamaño de los árboles varía de los 4 hasta los 30 m de altura y pueden ser desde bosques abiertos a muy densos, formados por diferentes especies de encinos o robles del género *Quercus*, los cuales son perennifolios o caducifolios con un periodo de floración y fructificación variable, aunque generalmente la floración se da en la época seca del año de diciembre a marzo, y los frutos maduran entre junio y agosto. Este bosque se encuentra generalmente como una transición entre los bosques de coníferas y las selvas; principalmente forma relaciones con los bosques de pino formando mosaicos complejos. En cuanto a especies dominantes, destaca la presencia de *Quercus magnoliifolia* (roble), *Q. aristata* y *Q. resinosa*.

**Bosque tropical subcaducifolio.** Es una comunidad vegetal que se desarrolla en regiones calidas subhúmedas con lluvias en verano, la precipitación anual oscila entre 1,000 y 1,250 mm y una temperatura promedio de entre 25.9 a 26.6° C y una temporada seca bien definida. En estos bosques, cuando menos la mitad de los árboles deja caer sus hojas durante la temporada seca,



pero hay muchos componentes siempre verdes y otros que solo pierden sus hojas durante un periodo corto. En su límite altitudinal superior colinda con encinares, pinares y con el bosque mesófilo de montaña. Forma mosaicos con otros tipos de vegetación como el bosque tropical caducifolio, la sabana u otros, en donde las deferencias de exposición o localización topográfica determinan la presencia de uno u otro tipo de bosque. Es una comunidad densa y cerrada, su altura oscila entre los 15 y 40 m y por lo general el estrato superior forma un dosel uniforme, aunque puede haber algunas eminencias aisladas como *Enterolobium cyclocarpum* y algunas especies de *Ficus*. Las especies dominantes en este tipo de vegetación son *Brosimum alicastrum*, *Celtis monoica*, *Astronium graveolens*, *Bursera arborea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ficus sp.*, *Hura poliandra*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Swietenia humilis*.

**Bosque tropical caducifolio.** Es un bosque propio de regiones de clima cálido, dominado por especies arborescentes que pierden sus hojas en la época seca del año durante un periodo de 5 a 8 meses. A mediados o finales de la época de sequía muchas de las especies leñosas florecen. Se desarrolla preferentemente en suelos someros, pedregosos y a menudo en las laderas de los cerros. Su altura oscila entre 8 y 12 metros, los árboles forman comúnmente un techo de altura uniforme, ocasionalmente presentándose eminencias aisladas. En situaciones de poca perturbación el estrato herbáceo está poco desarrollado; las trepadoras y epífitas son en general escasas. El diámetro de los troncos generalmente no sobrepasa los 50 cm, son con frecuencia retorcidos y se ramifican a corta altura o casi desde la base. Predominan las hojas compuestas y los elementos espinosos no son frecuentes en las comunidades no perturbadas. Destaca la presencia de las cactáceas columnares. Este tipo de vegetación es de escasa importancia para la explotación forestal, sin embargo, localmente la madera es altamente utilizada para construcción, fabricación de muebles, artesanías, utensilios, postes y combustible entre otros. Otro uso de estas áreas es para la ganadería extensiva, principalmente ganado vacuno. Entre las especies más representativas de esta comunidad vegetal se encuentran: *Acacia farnesiana*, *A. hindsii*, *Bursera spp.* (papelillo o copal), *Caesalpinia eriostachys*, *Spondias purpurea*, *Cordia spp.*, *Guazuma ulmifolia*, *Heliocarpus spp.*, *Mimosa spp.*, *Opuntia spp.* (nopales), *Trichilia spp.*, *Pachycereus pecten-aboriginum*, y algunas eminencias como *Ficus spp.*

**Cuerpo de agua.** Extensión de agua limitada principalmente por tierra. Está representado por la extensión de la Presa Cajón de Peña y pequeños fragmentos del cauce del río Tomatlán.

**Pastizal inducido.** Es el que surge cuando se elimina la vegetación original de un área, ya sea por desmonte de cualquier tipo de vegetación, por abandono de tierras agrícolas o por presencia recurrente de incendios. En ocasiones los pastizales inducidos corresponden a una fase de sucesión normal de las comunidades vegetales de bosques o matorrales que por efecto del pastoreo intenso y/o incendios se detiene el proceso de sucesión. Otras veces el pastizal inducido no forma parte de la sucesión natural, pero se establece y perdura por efecto de un intenso y prolongado disturbio provocado principalmente por actividades antropogénicas. Se presentan en manchones o grandes extensiones en medio o al rededor del bosque tropical caducifolio, zonas agrícolas y en las cercanías de los poblados. Comúnmente se encuentran sometidos a pastoreo intensivo y la altura media de la cubierta vegetal herbácea no pasa de los 5 cm. Dominan especies herbáceas de las familias Poaceae y Fabaceae, en ocasiones pudiendo presentar arbustos o árboles de talla baja de forma aislada.

**Agricultura de temporal y de riego.** Son las áreas cultivadas, en la agricultura de riego se tiene algún sistema de riego que proporciona agua suplementaria a los cultivos durante el ciclo agrícola. En la agricultura de temporal, el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende exclusivamente del agua de la lluvia o la humedad residual del suelo.

**Urbano y construido.** Son las zonas ocupadas por algunas de las localidades de mayor tamaño.

## Fauna

Los distintos hábitats que conforman EL AEPH Presa Cajón de Peña proporcionan condiciones adecuadas para albergar una gran diversidad de especies. Para este apartado se conjunto la información de; anfibios, aves, mamíferos y reptiles disponible en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la CONABIO (2020).

En la Tabla 24 se pueden observar las estadísticas de los grandes grupos como; aves, anfibios, mamíferos, reptiles y peces. En esta se contabiliza el orden, la familia, la especie, la distribución, el régimen de protección, el grado de protección contra el comercio ilegal de acuerdo con lo establecido por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), el estado de conservación conforme a la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) y el estatus de acuerdo con su actividad.

**Tabla 24. Estadísticas de fauna en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Tipo de fauna		Anfibios	Aves	Mamíferos	Reptiles	Peces
Orden		2	22	2	1	7
Familia		5	51	9	6	8
Especie		5	233	36	9	14
Endemismo	Endémica	5	24	5	5	5
	Semiendémica		14			
	Cuasiendémica		10			
NOM-059		3	32	2	4	2
CITES			39	0	1	
IUCN		5	218	30	8	12
Estatus			229			

Uno de los grupos más estudiados es de las aves, se identifican 233 especies, que se distribuyen en 22 órdenes y 51 familias. De estas el 10% son endémicas, el 6% semiendémicas y el 4% cuasiendémicas. En cuanto a especies en riesgo de acuerdo con NOM-059-SEMARNAT-2010<sup>2</sup> se identifican 32 especies, lo que corresponde al 14% del total de las aves.

Se identificaron un total de 43 especies en categoría de riesgo, de estas el 77% están sujetas a protección especial, 16% se encuentran amenazadas y 7% en peligro de extinción (ver listado Tabla 25).

De manera más específica, del total de especies de anfibios identificados en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de la CONABIO (2020), el 60% se encuentra en alguna categoría de riesgo, los mamíferos representan el 6% del total registrados y los reptiles representan el 44%.

<sup>2</sup> NOM-059-SEMARNAT-2010 publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2010 y la Modificación del Anexo Normativo III Lista de Especies en Riesgo de esta Norma publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de noviembre de 2019.

**Tabla 25. Especies de fauna incluidas en la NOM-059 dentro del AEPH Presa Cajón de Peña**

Nombre científico	NOM-059	Nombre científico	NOM-059
<b>Anfibios</b>			
<i>Exerodonta smaragdina</i>	Pr	<i>Ambystoma amblycephalum</i>	Pr
<i>Hyla smaragdina</i>	Pr		
<b>Aves</b>			
<i>Accipiter cooperii</i>	Pr	<i>Eupsittula canicularis</i>	Pr
<i>Accipiter striatus</i>	Pr	<i>Forpus cyanopygius</i>	Pr
<i>Amazona albifrons</i>	Pr	<i>Forpus cyanopygius cyanopygius</i>	Pr
<i>Amazona finschi</i>	P	<i>Geothlypis tolmiei</i>	A
<i>Amazona oratrix</i>	P	<i>Geranospiza caerulescens</i>	A
<i>Ara militaris</i>	P	<i>Glaucidium palmarum</i>	A
<i>Aramus guarauna</i>	A	<i>Micrastur semitorquatus</i>	Pr
<i>Aratinga canicularis</i>	Pr	<i>Myadestes occidentalis</i>	Pr
<i>Buteo albonotatus</i>	Pr	<i>Mycteria americana</i>	Pr
<i>Buteo platypterus</i>	Pr	<i>Oreothlypis crissalis</i>	Pr
<i>Buteogallus anthracinus</i>	Pr	<i>Passerina ciris</i>	Pr
<i>Campephilus guatemalensis</i>	Pr	<i>Progne sinaloae</i>	Pr
<i>Chondrohierax uncinatus</i>	Pr	<i>Sula nebouxii</i>	Pr
<i>Chondrohierax uncinatus uncinatus</i>	Pr	<i>Tachybaptus dominicus</i>	Pr
<i>Crypturellus cinnamomeus</i>	Pr	<i>Thalasseus elegans</i>	Pr
<i>Deltarhynchus flammulatus</i>	Pr	<i>Tigrisoma mexicanum</i>	Pr
<b>Reptiles</b>			
<i>Heloderma horridum horridum</i>	A	<i>Leptodeira maculata</i>	Pr
<i>Imantodes gemmistratus</i>	Pr	<i>Thamnophis scalaris</i>	A
<b>Mamíferos</b>			
<i>Myotis carteri</i>	Pr	<i>Oryzomys palustris mexicanus</i>	A
<b>Peces</b>			
<i>Poecilia butleri</i>	Pr	<i>Gobiesox mexicanus</i>	Pr

\*A = Amenazada P = En peligro de extinción Pr = Sujeta a protección especial

### 4.1.3. Características paisajísticas

El paisaje desempeña un papel importante de interés general en el campo; cultural, ecológico, medioambiental y social, ya que, constituye un recurso favorable para la actividad económica, su protección, gestión y ordenación, que puede contribuir a la creación del empleo. El paisaje contribuye a la formación de las culturas locales, siendo un componente fundamental del patrimonio natural y cultural, que favorece al bienestar de los seres humanos y a la consolidación de una identidad. Hay que reconocer que el paisaje es un elemento importante de la calidad de vida de las poblaciones en todas partes: en los medios urbanos y rurales, en las zonas degradadas y de gran calidad, en los espacios de reconocida belleza excepcional y en los más cotidianos.

Tomando nota de que la evolución de las técnicas de producción agrícola, forestal, industrial, minera, así como en materia de ordenación del territorio y urbanística, transporte, infraestructura, turismo y ocio y, a nivel más general, los cambios en la economía mundial están acelerando en muchos casos la transformación de los paisajes (Escuela de paisajismo La Granja, 2000).

Con la finalidad de analizar el paisaje en el AEPH Cajón de Peña, se utilizó el estudio elaborado por el Centro de Investigaciones de Geografía Ambiental, de la Universidad Nacional Autónoma de México (CIGA-UNAM, 2012), en el que se generó un mapa que ofrece la distribución espacial de los paisajes físico-geográficos de México a escala 1:500 000. La leyenda incluye la definición de los geocomplejos en cinco niveles taxonómicos tipológicos de nivel regional; clase, subclase, grupo, subgrupo y especies de paisajes. En las unidades inferiores, se identificaron 99 subgrupos y 819 especies de paisajes físico-geográficos, para todo el territorio nacional. De acuerdo con esta clasificación en el área de estudio se identifica una clase, una subclase, dos grupos y cinco subgrupos:

**Clase:**

- A. Montañas, lomeríos, piedemontes y planicies en climas húmedos.

**Subclase:**

- A.2.Montañas, lomeríos, piedemontes y planicies en climas templados húmedos.

**Grupo:**

- III. Montañas Volcánicas y Tectónico-Volcánicas en Climas Templados.
- IV- Lomeríos Volcánicos y Tectónico-Volcánicos en Climas Templados.

**Subgrupo:**

- III.1- Montañas volcánicas y tectónico-volcánicas en clima semifrío.
- III.2- Montañas volcánicas y tectónico-volcánicas en clima templado.
- IV.1- Lomeríos volcánicos y tectónico-volcánicos en clima semifrío.
- IV.2- Lomeríos volcánicos y tectónico-volcánicos en clima templado.
- IV.3- Lomeríos volcánicos y tectónico-volcánicos en clima semicálido.

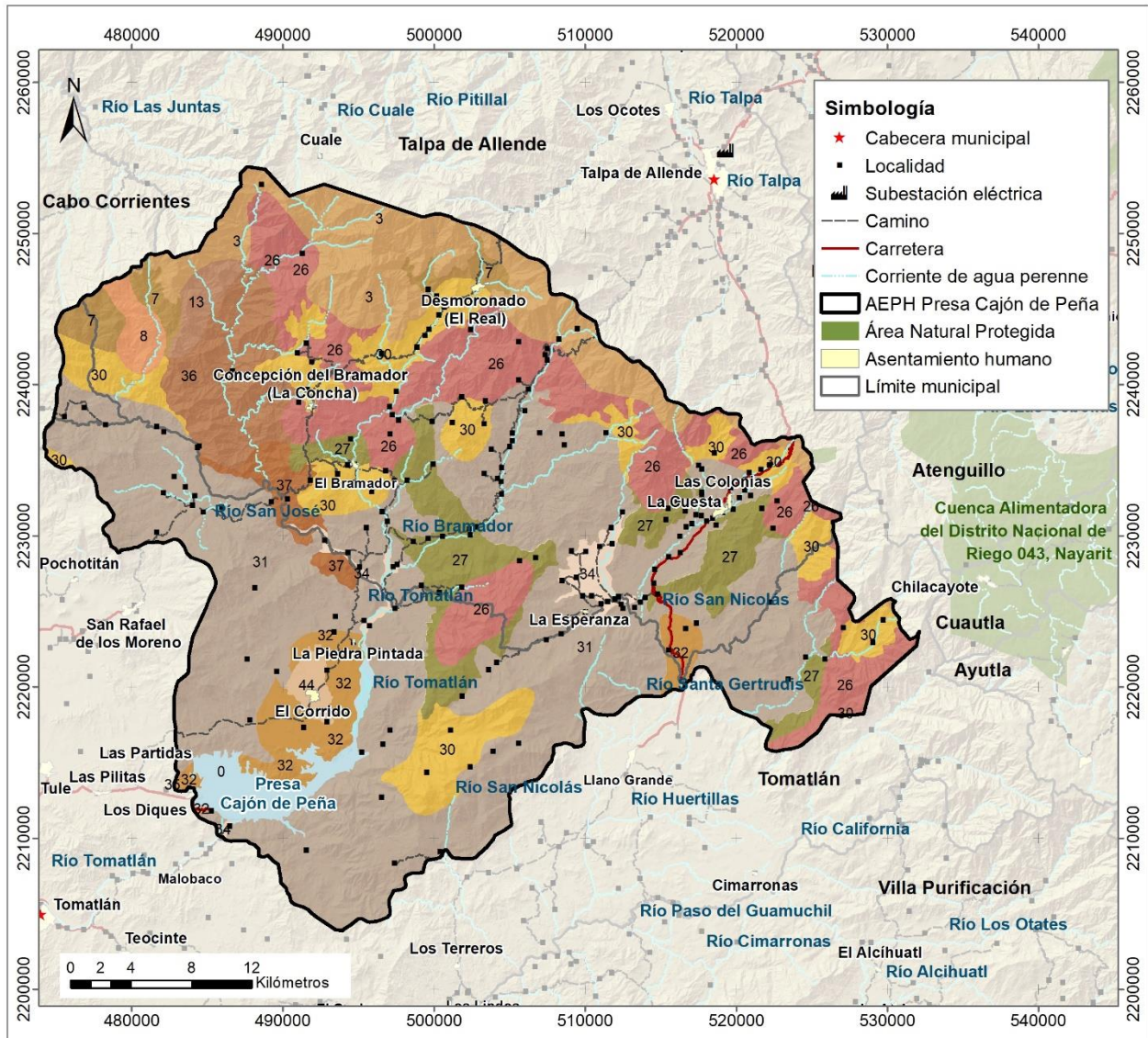
En la Figura 25 se puede observar la distribución de los tipos de paisajes físico-geográficos (con su identificador "ID" en número) localizadas en el AEPH Presa Cajón de Peña. Estos se encuentran representados por subgrupos, lo cuales fueron mencionados con anterioridad. En mayor porcentaje se pueden apreciar los lomeríos volcánicos constituidos por rocas extrusivas intermedias en clima templado húmedo a subhúmedo, con cultivos agrícolas, bosque mixto, pastos inducidos, bosque de encino y bosque de coníferas sobre Leptosol, Andosol, Cambisol y Regosol, ocupando casi la mitad de la superficie del área estudiada (43.03%), seguida del paisaje físico-geográfico con identificador (ID) 26 y 30 (Tabla 26).

**Tabla 26. Tipo de paisajes físico-geográficos en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Tipo de paisaje físico-geográficos (ID)	Superficie	
	Hectáreas	%
3	14,698.98	9.22
7	2,984.69	1.87
8	1,483.78	0.93
13	1,429.49	0.90
26	21,446.96	13.46
27	11,123.19	6.98
30	16,531.02	10.37

Tipo de paisaje físico-geográficos (ID)	Superficie	
	Hectáreas	%
31	68,583.62	43.03
32	5,394.57	3.38
34	2,053.21	1.29
35	17.46	0.01
36	6,893.36	4.33
37	2,369.34	1.49
44	1,000.02	0.63
No aplica (0)	3,372.53	2.12
<b>Total</b>	<b>159,382.22</b>	<b>100</b>

Nota: La descripción del identificador (ID) se muestra en la Figura 25 de este tema.



<b>III.1- Montañas volcánicas y tectónico-volcánicas en clima semifrío.</b>	
	3- Montañas volcánicas constituidas por rocas extrusivas ácidas en clima semifrío húmedo a subhúmedo, con bosque de coníferas, bosque mixto, bosque de encino, pastos inducidos y cultivos agrícolas sobre Regosol, Leptosol, Cambisol y Andosol.
	7- Montañas tectónico-volcánicas constituidas por rocas del complejo metamórfico indiferenciado y cubiertas por depósitos de caída en clima semifrío húmedo a subhúmedo, con bosque mixto sobre Andosol.
<b>III.2- Montañas volcánicas y tectónico-volcánicas en clima templado.</b>	
	8- Montañas volcánicas constituidas por rocas extrusivas ácidas en clima templado húmedo a subhúmedo, con bosque mixto, bosque de coníferas, bosque de encino, pastos inducidos, cultivos agrícolas, bosque mesófilo de montaña y pastos cultivados
	13- Montañas tectónico-volcánicas constituidas por rocas sedimentarias carbonatadas y cubiertas por depósitos de caída en clima templado húmedo a subhúmedo, con bosque de coníferas, cultivos agrícolas, bosque mixto, pastos inducidos, bosque de encino.
<b>IV.1- Lomeríos volcánicos y tectónico-volcánicos en clima semifrío.</b>	
	26- Lomeríos volcánicos constituidos por rocas extrusivas ácidas en clima semifrío húmedo a subhúmedo, con bosque de coníferas, bosque mixto, pastos inducidos, bosque de encinos y cultivos agrícolas sobre Regosol, Leptosol, Cambisol y Andosol.
	27- Lomeríos volcánicos constituidos por rocas extrusivas intermedias en clima semifrío húmedo a subhúmedo, con bosque de coníferas, cultivos agrícolas, bosque mixto y pastos inducidos sobre Andosol, Regosol, Leptosol y Cambisol.
<b>IV.2- Lomeríos volcánicos y tectónico-volcánicos en clima templado.</b>	
	30- Lomeríos volcánicos constituidos por rocas extrusivas ácidas en clima templado húmedo a subhúmedo, con bosque mixto, bosque de encino, bosque de conífera, pastos inducidos, cultivos agrícolas, plantación forestal y pastos cultivados.
	31- Lomeríos volcánicos constituidos por rocas extrusivas intermedias en clima templado húmedo a subhúmedo, con cultivos agrícolas, bosque mixto, pastos inducidos, bosque de encino y bosque de coníferas sobre Leptosol, Andosol, Cambisol, Regosol.
	32- Lomeríos volcánicos constituidos por rocas extrusivas básicas en clima templado húmedo a subhúmedo, con cultivos agrícolas, bosque mixto, bosque de encino, pastos inducidos, bosque de coníferas, pastos cultivados y bosque mesófilo de montaña.
	34- Lomeríos tectónico-volcánicos constituidos por rocas sedimentarias detríticas finas y cubiertos por depósitos de caída en clima templado húmedo a subhúmedo, con cultivos agrícolas, pastos inducidos, bosque mixto, bosque de coníferas y bosque.
	35- Lomeríos tectónico-volcánicos constituidos por rocas sedimentarias carbonatadas y cubiertos por depósitos de caída en clima templado húmedo a subhúmedo, con bosque de encino, bosque mixto, cultivos agrícolas y bosque mesófilo de montaña.
	36- Lomeríos tectónico-volcánicos constituidos por rocas del complejo metaterrígeno y cubiertos por depósitos de caída en clima templado húmedo a subhúmedo, con bosque de encino, cultivos agrícolas y pastos inducidos sobre Leptosol.
	37- Lomeríos tectónico-volcánicos constituidos por rocas del complejo metamórfico indiferenciado y cubiertos por depósitos de caída en clima templado húmedo a subhúmedo, con bosque mixto, cultivos agrícolas y pastos inducidos sobre Leptosol.
<b>IV.3- Lomeríos volcánicos y tectónico-volcánicos en clima semicálido.</b>	
	44- Lomeríos tectónico-volcánicos constituidos por rocas del complejo metaterrígeno y cubiertos por depósitos de caída en clima semicálido húmedo a subhúmedo, con cultivos agrícolas, pastos inducidos y selva subcaducifolia sobre Regosol y Leptosol.
	<b>No aplica (N/A)</b> Cuerpo de agua

**Figura 25. Paisajes físico-geográficos en el AEPH Presa Cajón de Peña**

## 5. MEDIO CONSTRUIDO

### 5.1. Factor social y económico

#### 5.1.1. Distribución de la población

En el AEPH Presa Cajón de Peña se localizan un total de 200 localidades, de acuerdo con el Marco Geoestadístico de INEGI (2019). Sin embargo, solamente 109 de ellas cuentan con información referente al Censo de Población y vivienda ((INEGI, 2010d). Se contabilizan un total de 3, 898 habitantes, donde el 53% son hombres y el 47% mujeres (Tabla 27).

**Tabla 27. Población en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Población		
Total	Masculina	Femenina
3,898	1,870	1,654

\*Nota: La población total podría no coincidir con la suma de la masculina y femenina, ya sea porque no se registró en el Censo de Población y Vivienda 2010, o por estar en los no especificados.

La localidad que cuenta con mayor número de habitantes es “El Corrido”, seguido de “La Cuesta” y “Concepción del Bramador”. En la Tabla 28 y Figura 26, se pueden identificar las 10 localidades con más de 100 habitantes, las cuales representan más del 50% de la población total del área.

**Tabla 28. Localidades con mayor número de habitantes en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Localidad	Población total
El Corrido	372
La Cuesta	320
Concepción del Bramador (La Concha)	298
Desmoronado (El Real)	277
Las Colonias	213
Santa Gertrudis	198
El Bramador	170
Cabrel	168
Presa Cajón de Peña (La Presa)	120
La Concepción (La Concha)	100

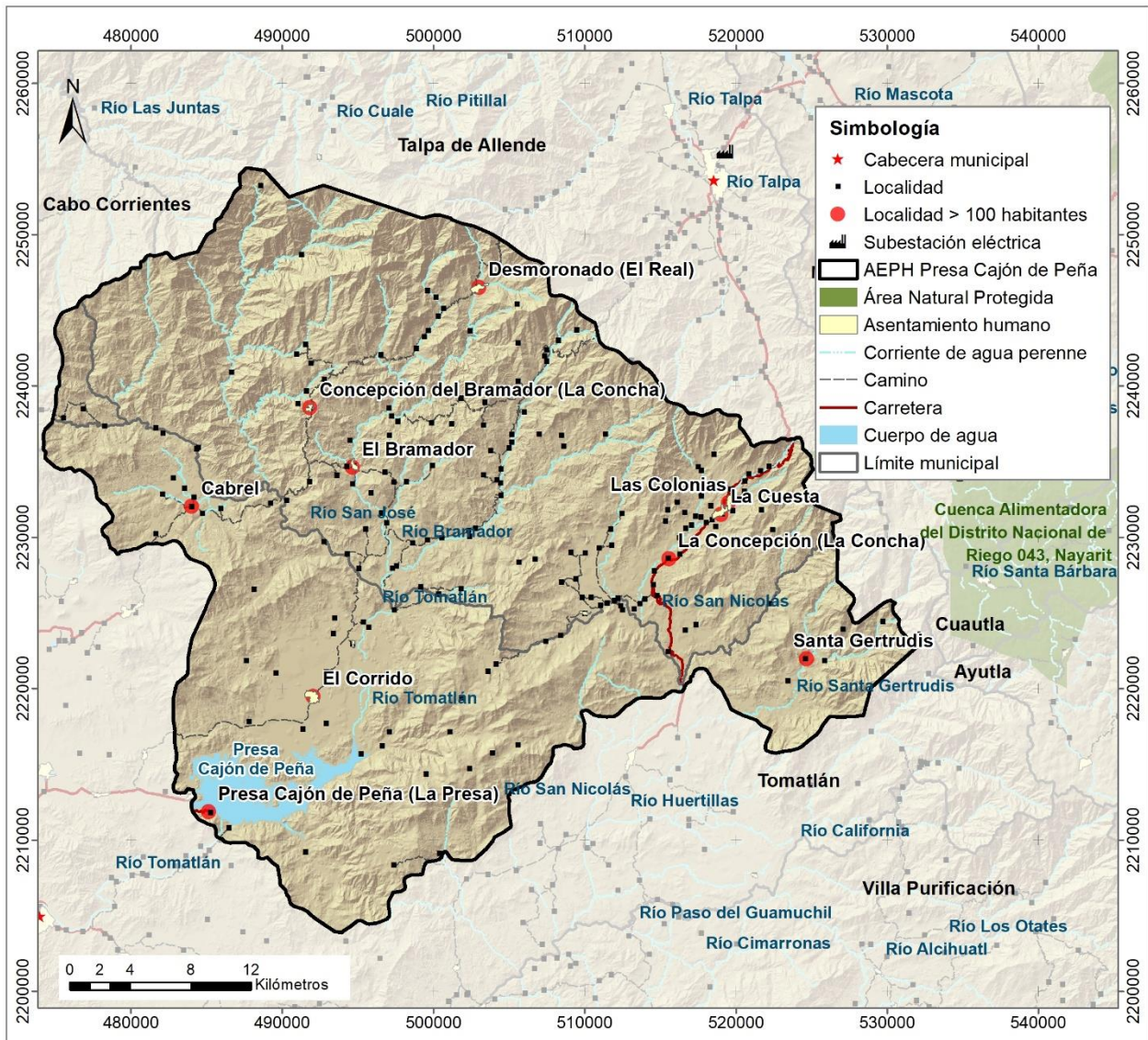


Figura 26. Localidades con población > a 100 habitantes dentro del AEPH Presa Cajón de Peña

### Estructura poblacional

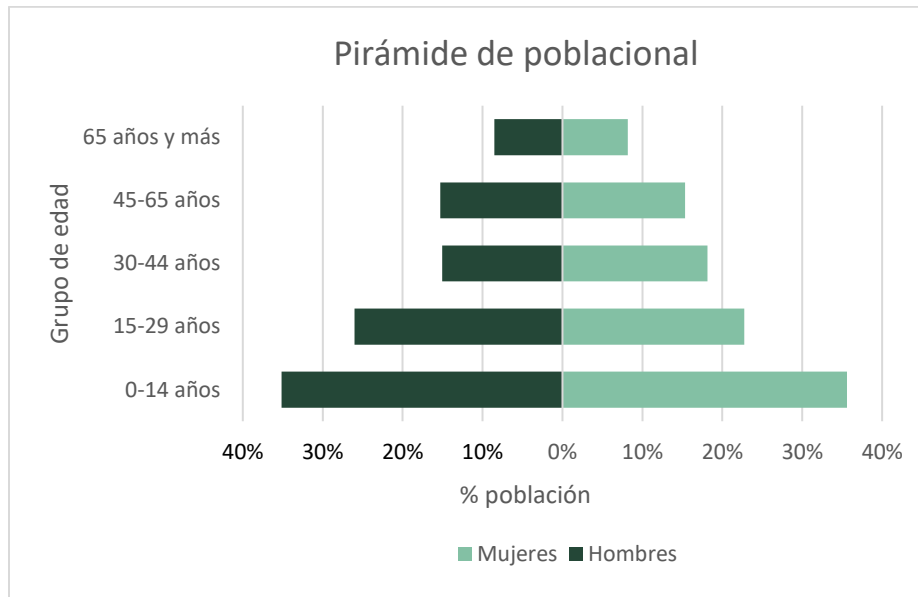
De acuerdo con la estructura poblacional, el grupo de 0 a 14 años es uno de los más representativos con una población de 1,256 personas, la cual representa el 35% del total. En la Tabla 29 se pueden observar los cinco grandes grupos de edad, tanto de población total como de hombres y mujeres. En la pirámide poblacional (Figura 27) también se pueden observar estos grandes grupos y sus porcentajes respectivos.

Tabla 29. Población por grupo de edad en el AEPH Presa Cajón de Peña

Grupo de edad	Total	Hombres	Mujeres
0-14 años	1246	657	589
15-29 años	862	486	376



Grupo de edad	Total	Hombres	Mujeres
30-44 años	581	281	300
45-65 años	540	286	254
65 años y más	295	160	135
Total	3524	1,870	1,654



**Figura 27. Estructura poblacional por grupos de edad**

### Densidad de la población

Se conoce como densidad de población a la relación que hay entre un espacio determinado y el número de personas que ahí habitan. Para que la información fuera más representativa, se realizó un mapa dasimétrico, donde se delimitaron áreas homogéneas (malla de 4 km<sup>2</sup>), contemplando el dato poblacional de cada localidad. En la Figura 28 se identifica que los colores más oscuros representan mayor número de habitantes en la zona y conforme disminuye la intensidad representa menor número de habitantes. La densidad de la población en el AEPH Presa Cajón de Peña es realmente baja, esto a diferencia de las localidades que se localizan después del límite propuesto, como lo son; Talpa de Allende y Tomatlán.

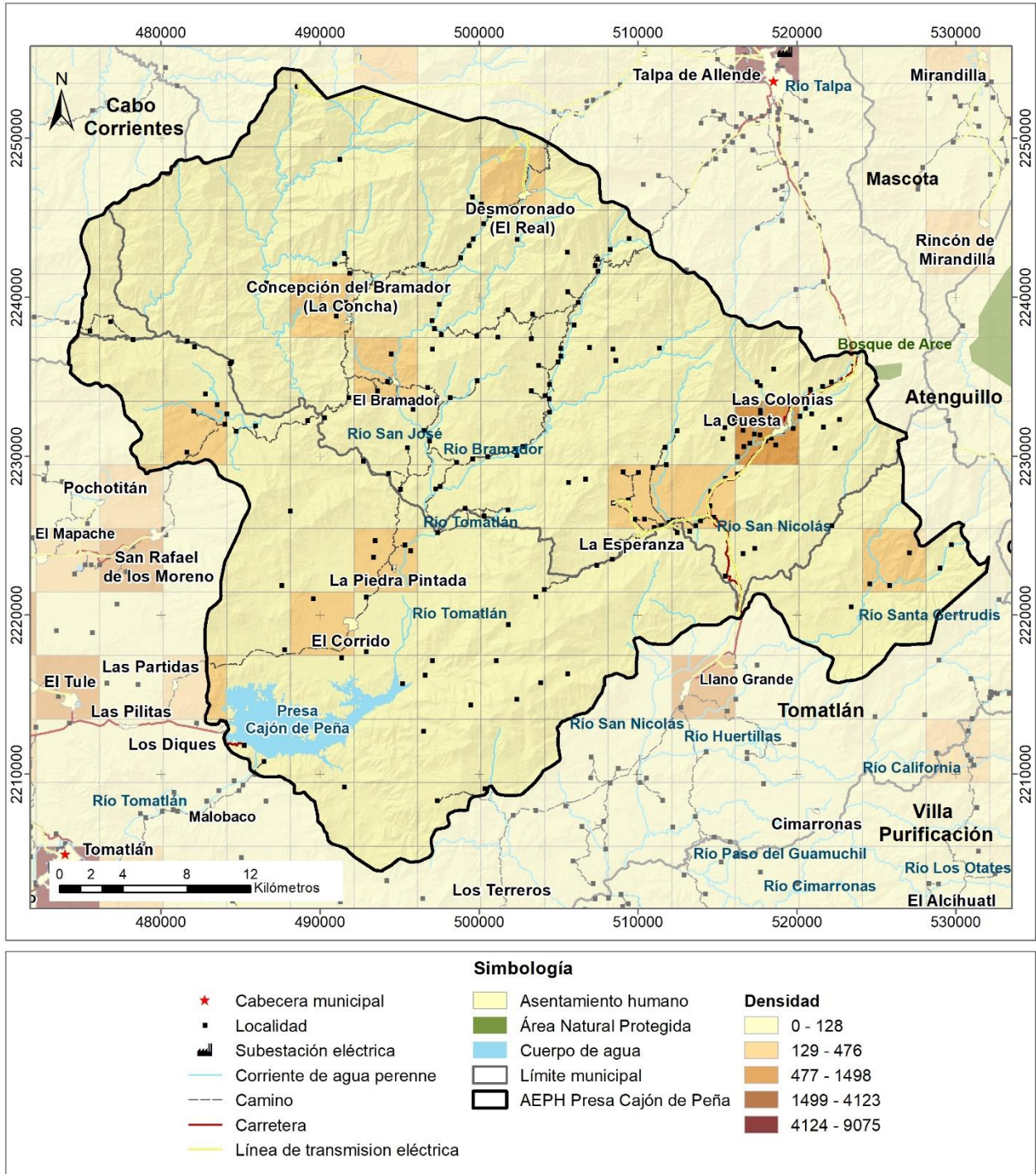


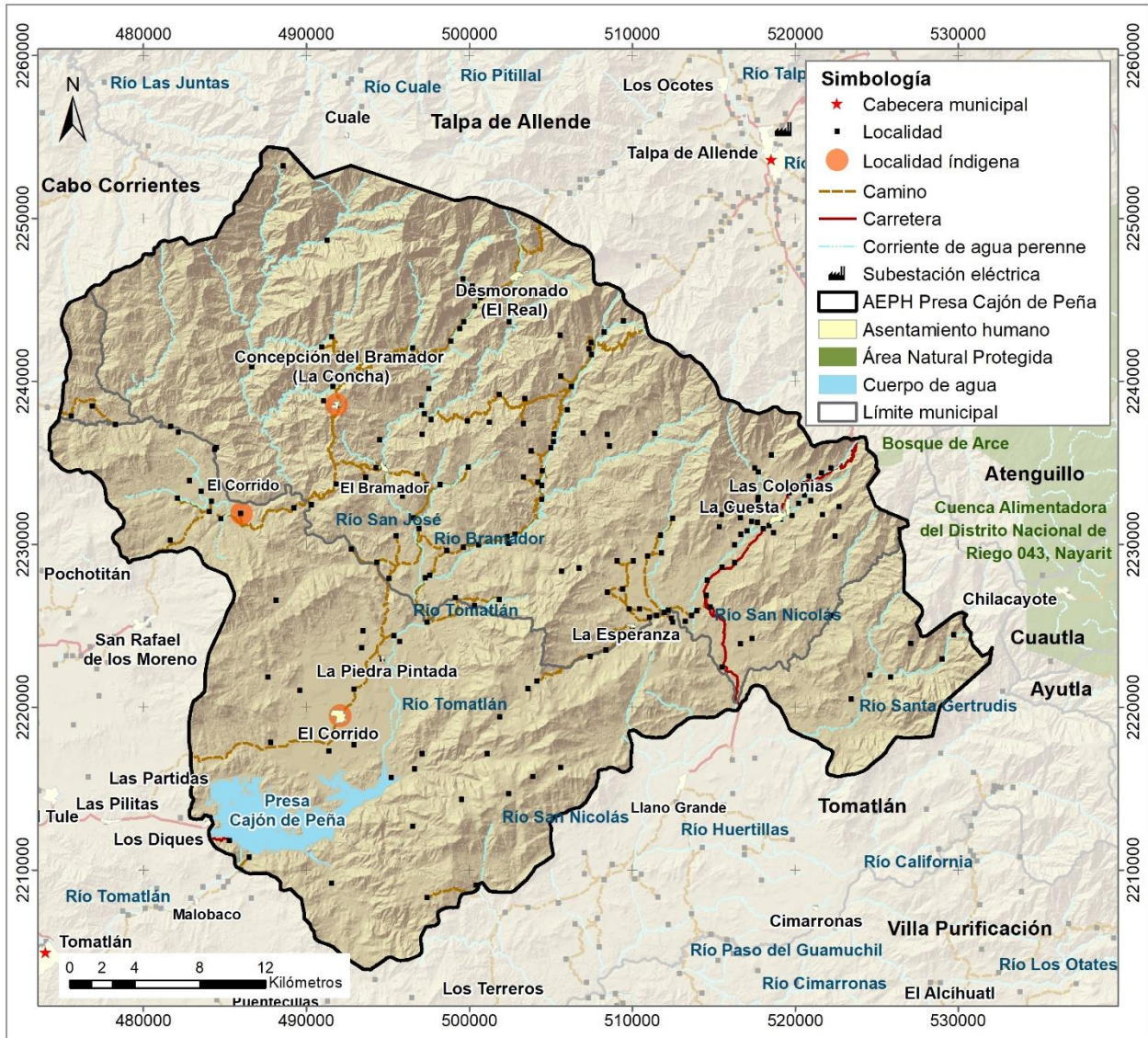
Figura 28. Densidad de la población representada por cuantiles

### Localidades indígenas

Al oeste del AEPH Presa Cajón de Peña se localizan tres localidades indígenas; El Corrido, El Nogal y Concepción del Bramador, todas con un grado de marginación alto, representando el 0.005% del total de la población en el área. En la Figura 29 se puede observar la distribución geográfica de estas localidades.

**Tabla 30. Localidades indígenas en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Nombre de la localidad	Grado de Marginación	Población Total	Población indígena
El Corrido	Alto	372	8
El Nogal	Alto	64	1
Concepción del Bramador (La Concha)	Alto	298	10
<b>Total</b>			<b>19</b>



**Figura 29. Localidades indígenas en el AEPH Presa Cajón de Peña**

### 5.1.2. Tipo de uso del suelo y usos del agua

El agua es empleada de diversas formas en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o producir e intercambiar bienes y servicios. El Registro Público de Derechos de Agua (REPGA),

tiene clasificados los usos del agua en diversos rubros, de acuerdo con su tipo de uso (CONAGUA, 2018d). Con base en la información presentada en localizador de aprovechamientos LOCREPDA de la CONAGUA (2017), se identificaron dentro del AEPH Presa Cajón de Peña 93 concesiones de aprovechamiento de aguas superficiales y 30 de aguas subterráneas.

El uso predominare tanto superficial como subterráneo es agrícola, seguida en ambos casos del uso público urbano, tal como se puede observar en la Tabla 31. El volumen concesionado subterráneo total es de 2,464,873 m<sup>3</sup>/año y el superficial es de 1,783,367 m<sup>3</sup>/año.

Se identifican 5 tipos de usos de agua de aprovechamiento superficial. Cabe destacar que, para el uso G. E. Hidroeléctrica no se tiene valor de volumen concesionado, sin embargo, está presente como un aprovechamiento subterráneo.

**Tabla 31. Tipo de uso del agua**

<b>Tipo de uso</b>	<b>Volumen concesionado (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>%</b>
<b>Superficial</b>		
Agrícola	1,774,514	99.50%
Público urbano	8,853	0.50%
<b>Total</b>	<b>1,783,367</b>	<b>100%</b>
<b>Subterráneos</b>		
Acuacultura	428,006	17.36%
Agrícola	1,930,713	78.33%
G. E. Hidroeléctrica	0	0.00%
Pecuario	5,655	0.23%
Público urbano	100,500	4.08%
<b>Total</b>	<b>2,464,873</b>	<b>100%</b>

Nota: para el aprovechamiento subterráneo en hidroeléctrica la CONAGUA no presenta el volumen. concesionado en m<sup>3</sup> por año, sin embargo está presente

En la Figura 30 se identifican estos aprovechamientos dentro del AEPH Presa Cajón de Peña. Uno de los aprovechamientos de aguas superficiales más importantes es la Presa Cajón de Peña, la cual tiene uso público urbano.

Lo anterior se encuentra directamente relacionado a la producción agrícola de los municipios que conforman el AEPH Presa Cajón de Peña (Tomatlán, Cabo Corrientes y Talpa de Allende).

De acuerdo con la información presentada en el Programa Municipal de Desarrollo Urbano, el municipio de Tomatlán, por ejemplo, se destaca por el cultivo de los siguientes productos; pasto, mango, maíz grano, ajonjolí, arroz palay, sorgo forraje, tamarindo, plátano, piña, chile verde, tomate verde, sandía, caña de azúcar (semilla), limón, papaya, jitomate y melón (Ayuntamiento de Tomatlán, 2019).

De manera general, en el Modelo de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco (SEMADES, 2006b), se identifican dos usos predominantes; área natural para la protección y flora y fauna de aprovechamiento, de ahí la importancia del cuidado y preservación de este sitio.



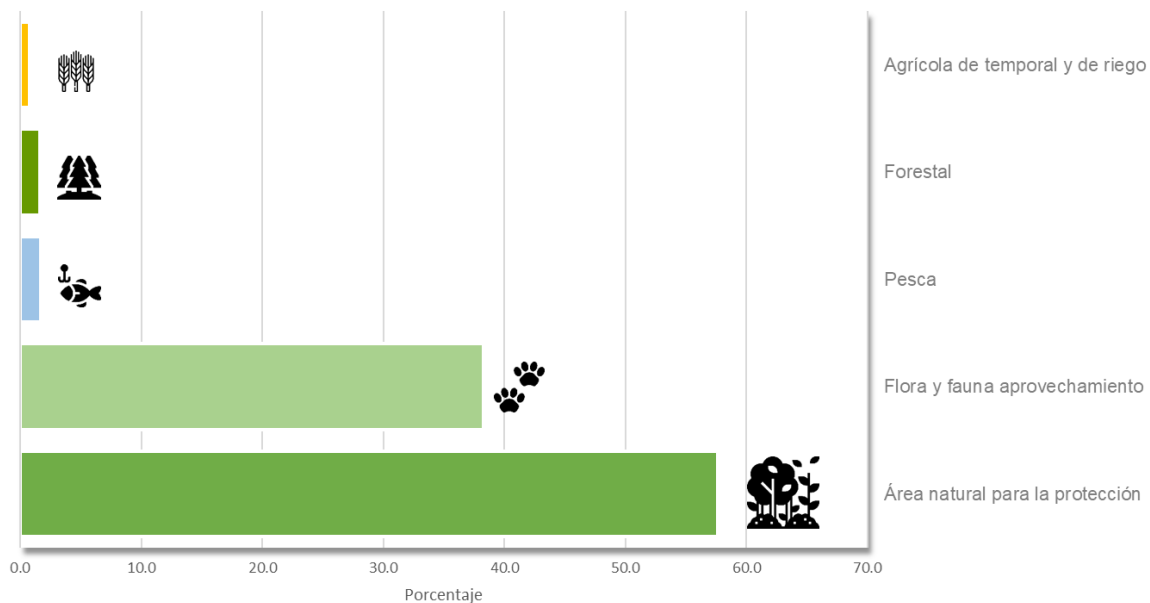
Figura 30. Aprovechamiento de agua subterránea y superficial

### 5.1.3. Impacto que tienen los cuerpos de agua a proteger, en el desarrollo de las actividades productivas primarias, secundarias y terciarias de la región

De acuerdo al Modelo de Ordenamiento Ecológico del Estado de Jalisco (SEMADES, 2006b), el AEPH Cajón de Peña, se agrupa en tres Políticas territoriales un 57.66% Protección, 42.26% de Conservación y 0.074 Restauración, cuyo Uso Predominante, es decir el uso del suelo o actividad actual establecida con un mayor grado de ocupación de la unidad territorial, se muestran en la Tabla 32 y Figura 31.

**Tabla 32. Uso Predominante del suelo en el AEPH Cajón de Peña**

Uso predominante	Superficie (hectáreas)	Porcentaje
Área natural para la protección	91,902.74	57.66
Flora y fauna aprovechamiento	61,047.93	38.3
Pesca	2,649.86	1.66
Forestal	2,526.83	1.59
Agrícola de temporal y de riego	1,254.85	0.86
<b>Total</b>	<b>15,9382.22</b>	<b>100</b>



**Figura 31. Porcentaje Uso predominante de las Unidades de Gestión Ambiental en el AEPH Cajón de Peña**

Estos usos se distribuyen en el territorio del AEPH Cajón de Peña como se muestra en la Figura 32, los usos predominantes con mayor superficie son los de Área natural para la protección y flora y fauna y aprovechamiento, las zonas contiguas al cuerpo de agua son las aprovechadas para agricultura de riego y temporal.

Cabe destacar que este mismo Modelo de Ordenamiento cataloga estas zonas con un, Uso Compatible, definido como el uso del suelo o actividad actual que puede desarrollarse simultáneamente espacial y temporalmente con el uso predominante que no requiere regulaciones estrictas especiales por las condiciones y diagnóstico ambiental, el aprovechamiento de flora y fauna, el turismo forestal, infraestructura, acuicultura y agroindustria y pecuario.

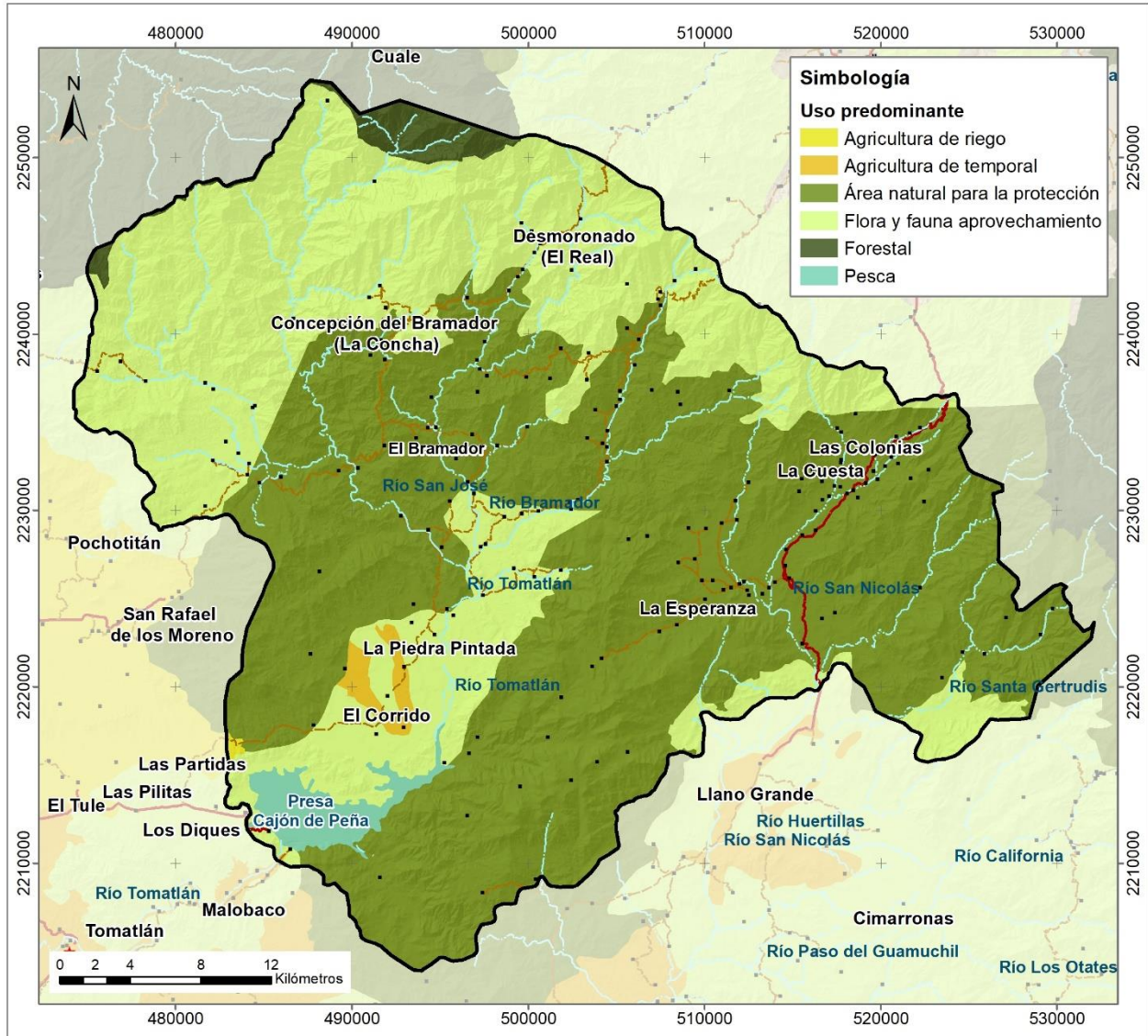


Figura 32. Sectores de usos predominantes del suelo en el AEPH Cajón de Peña

Una vez señaladas las principales actividades productivas de la zona puede hacerse un análisis a lo señalado por Rojas & Salazar, 2018, que relaciona que el reporte de la evaluación de los “Ecosistemas del milenio”, que puntualiza la degradación de múltiples ecosistemas en el mundo vinculada a la explotación de servicios ambientales como el suministro de agua, regulación de la calidad del aire, regulación del clima y purificación del agua. A nivel de cuencas hidrológicas las principales actividades económicas promotoras de degradación ambiental son la minería, la agricultura y la ganadería.

Dicha publicación señala además que, de acuerdo con la Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos, en la ponderación de las principales fuentes de afectación de la calidad del agua en cuerpos superficiales, se destacan en primer término las actividades económicas rurales, seguidas por fuentes puntuales municipales y por último la escorrentía urbana y que general, los ecosistemas cuentan con cierta capacidad para absorber desperdicios, pero al ser rebasada, habrán de generarse daños, que eventualmente impedirán el aprovechamiento de sus bienes y servicios por otros usuarios.

Para la Presa Cajón de Peña, la CONABIO (2012) ha enlistado entre su principal problemática la modificación del entorno: en planicies aluviales y junto a los poblados, alta deforestación, construcción de carreteras, cambio de uso de suelo para agricultura y ganadería y la contaminación: en el río Tomatlán contaminación por agroquímicos y sedimentos en suspensión.

De estas evidencias puede destacarse una estrecha relación entre las principales actividades productivas de la zona con el uso y conservación de los recursos hídricos, así como la necesidad desarrollar instrumentos para la disminución de impactos negativos de la zona y en su área de influencia, con miras a incrementar el desarrollo sustentable en la región.

#### **5.1.4. Utilidad pública del recurso agua**

En los apartados anteriores han sido señalados los usos del suelo, usos del agua y principales actividades productivas en el AEPH Cajón de Peña, por lo que resulta importante destacar algunas de estas de ellas que han tenido un impulso particular haciendo uso directo del recurso hídrico que proporciona la presa Cañón de Peña.

En el análisis de Turner y Palma Consultores S.A de C.V. (2009), se señala que en la **agricultura** de la región los cultivos se han diversificado y se ha incrementado el cultivo de hortalizas en las zonas de riego, por otro lado se señala que la **ganadería** se ha visto favorecida gracias a la disponibilidad de extensas zonas de superficie de agostadero donde son inducidas praderas para corte o para carga animal, así como praderas inducidas con riego. Se reconoce el potencial para el cultivo y producción de pescado de agua dulce siendo la **pesca** una alternativa de producción, además la Ficha para la Presa Cajón de Peña documenta la pesquería deportiva y comercial de cangrejos y langostinos *Macrobrachium acanthochirus*, *M. americanum* y *M. tenellum*, tilapia y carpa y el bajo **turismo** pero con potencial de desarrollo (CONABIO, 2012).

#### **5.1.5. Factores de riesgo y tendencias en los usos del agua**

A medida que pasa el tiempo y se incrementa la población y se ejercen mayores presiones sobre la base del recurso, el rango y la escala de los riesgos asociados al recurso hídrico ha cambiado inevitablemente. La manera en la cual los profesionales y la ciudadanía han percibido los riesgos asociados con estas amenazas, y la manera en que han respondido, ha tenido una influencia crucial en el desarrollo de los sistemas convencionales de gestión hídrica. Por ejemplo, la necesidad percibida de desarrollar suministros para satisfacer todos los “requerimientos” de los diferentes segmentos de usuarios, reduciendo así los riesgos asociados a la escasez, ha constituido un aspecto fundamental en la formación de prácticas de aprovisionamiento, patrones de inversión, esquemas administrativos e incluso en toda la estructura tecnológica de las agencias de gestión hídrica (Rees, 2002).

La FAO (2003) define el riesgo como el producto de la casualidad y la vulnerabilidad; en otras palabras, se relaciona con la probabilidad de un evento negativo tal como la sequía y las consecuencias previsibles de la ocurrencia de tal evento.



Con base a los conceptos anteriores, este estudio aborda el riesgo por sequía, que afecta directamente la disponibilidad del agua y por lo tanto las actividades económicas.

### Monitoreo de la sequía en el AEPH Presa Cajón de Peña

La sequía es uno de los fenómenos climáticos que más afecta a las actividades económicas de nuestro país, así lo considera el gobierno mexicano por lo que a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), puso en marcha desde 2002 el Monitor de Sequía en México (MSM) que a su vez forma parte del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM).

Se analizaron 13 años del monitor de sequía para el Área Estatal de Protección Hidrológica Cajón de Peña, documentando únicamente las categorías de sequía severa (D2), sequía extrema (D3) y sequía excepcional (D4) que son categorías relevantes de sequía. Con esta consideración se localizaron registros de sequía severa (D2) para cinco años (Tabla 33), no se encontraron registros para sequía categorías D3 y D4.

**Tabla 33. Registro de eventos de sequía severa en AEPH Presa Cajón de Peña**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
2007										
2008										
2009										
2011										
2019										

De acuerdo con el SMN (2020) la sequía severa (D2) puede provocar pérdidas en cultivos o pastos, alto riesgo de incendios es común la escasez de agua y cuando se presenta se deben imponer restricciones en el uso del agua (ver Figura 33).

#### Sequía 2007

El primer registro de sequía en el monitor es para el año 2007, ese año se registraron en el país cuatro grandes zonas con sequía severa (D2) una de ellas afectó varios estados de la República Mexicana desde Michoacán, pasando por Jalisco, Nayarit y hasta el norte en los estados de Baja California, Chihuahua y Sonora. Este fenómeno se registró para el mes de abril.

#### Sequía 2008

En el año 2008 se presentó sequía severa (D2). Amplias zonas del occidente y norte del país se vieron afectadas ese año por este fenómeno climático, fue un año particularmente seco con 439 incendios forestales para todo el estado de Jalisco.

#### Sequía 2009

En 2009 la sequía severa (D2) que se registró en los AEPH Presa Cajón de Peña fue en el mes de septiembre, la presencia del fenómeno se extendió por algunos estados del bajío y en porciones puntuales del norte y sureste de México, particularmente en la península de Yucatán, una sequía severa en el mes de septiembre podría afectar el peso en las cosechas de granos. Es particularmente irregular la sequía en septiembre pues concluye el temporal, pero es plena época de huracanes que suelen traer importantes precipitaciones, en los 13 años de análisis sólo una vez se presentó sequía severa en este mes del año.

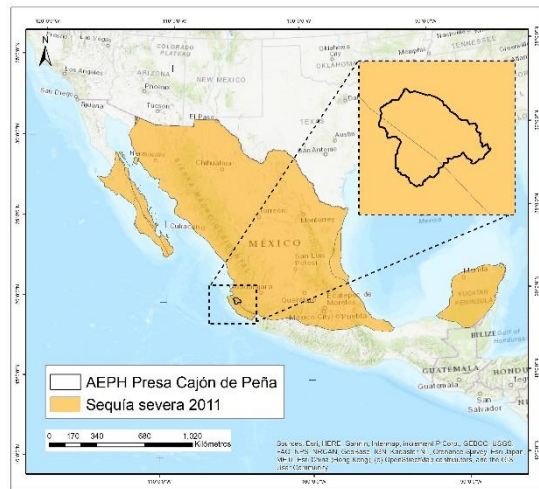
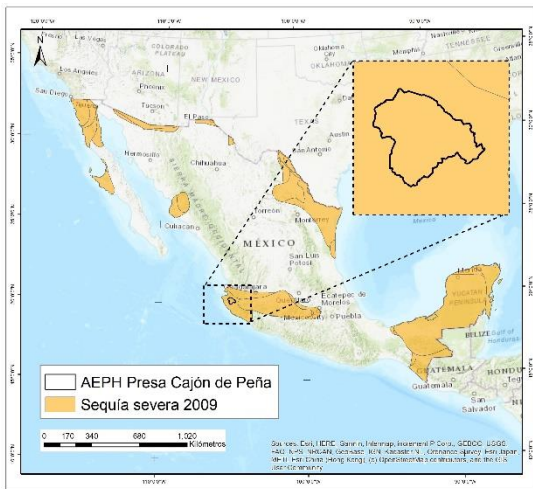
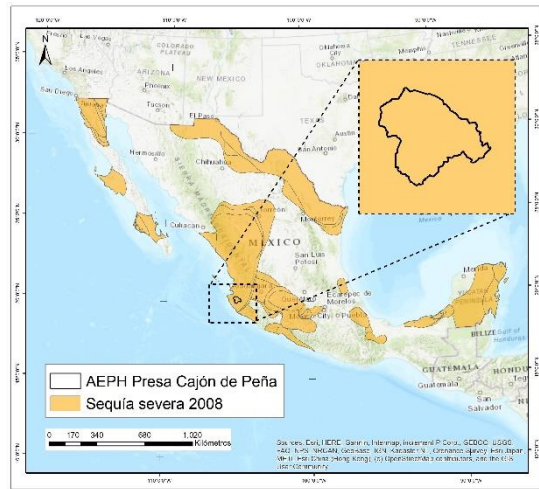
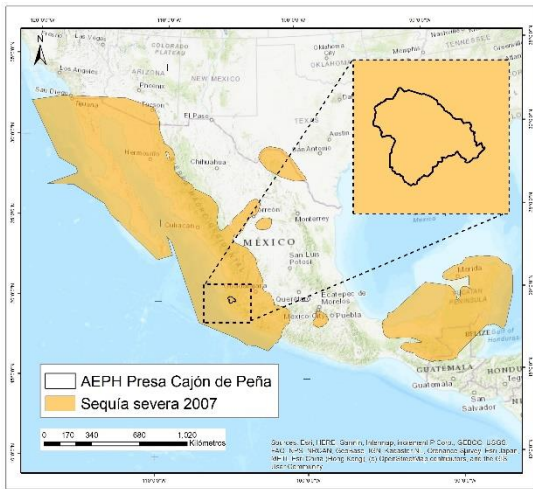
#### Sequía 2011

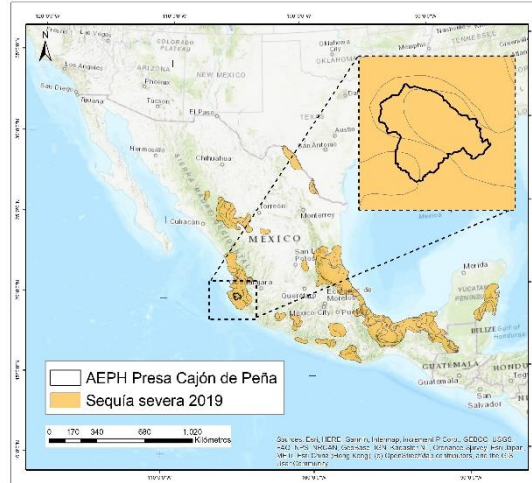
Para el año 2011 se registró sequía severa para los meses de abril y mayo, una amplia zona del país se vio afectada por este fenómeno climático, después de este registro en 2011 no se vuelve

a registrar sequía hasta el año 2019, tuvieron que pasar siete años para una nueva ocurrencia de sequía severa.

### Sequía 2019

En el año 2019 la sequía tuvo registro en junio y julio, la presencia del fenómeno en estos meses puede ocasionar el retraso de la siembra de los cultivos anuales, un limitado crecimiento de los cultivos o pastos y existe el riesgo de incendios forestales.





Fuente: Archivos vectoriales del Monitor de Sequía en México (MSM) generados en el Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN, 2020).

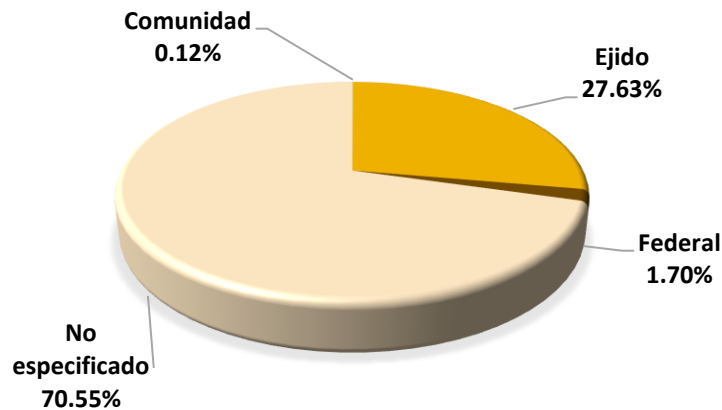
**Figura 33. Registro de sequía severa (D2) en los años año 2007,2008,2009,2011 y 2019 AEPH Presa Cajón de Peña**

Si puntualizamos este análisis directamente a las actividades productivas de la zona en específico la agricultura, los efectos de las sequías pueden ser controladas a nivel de las parcelas por medio de varias decisiones de manejo a nivel de cuenca y a nivel nacional. Las primeras decisiones corresponden a los agricultores o a las colectividades agrícolas mientras que las decisiones a nivel de cuenca y a nivel nacional deben ser tomadas por los gobiernos o agencias estatales, cabe destacar que los sistemas de alertas tempranas y los pronósticos estacionales del tiempo están cada vez más fácilmente disponibles para proporcionar información en el momento oportuno a los gobiernos y a las agencias internacionales de ayuda. Sin embargo, la capacidad para efectuar pronósticos estacionales es aún imperfecta y los pronósticos no están aún disponibles para los agricultores (FAO, 2003)

### 5.1.6. Régimen de tenencia de la tierra

Dentro del AEPH Presa Cajón de Peña se identificaron los siguientes tipos de dueños y poseedores de la tierra: ejidos, comunidades, propiedad federal y otros no especificados. El tipo de tenencia de la tierra se definió con base en los datos del Registro Agrario Nacional (2019), para la delimitación de los núcleos agrarios (ejidos y comunidades), y de los cuerpos de agua intermitentes y perennes identificados por el INEGI, para la delimitación de la propiedad federal. En el resto de la AEPH Presa Cajón de Peña en la que no se cuenta con información se definió como no especificado, en donde pueden estar presentes varios tipos de propiedad como; federal, estatal, municipal y privada.

El 27.75% de la superficie total del AEPH Presa Cajón de Peña corresponde a núcleos agrarios (ejidos o comunidades), de los cuales, el 27.63% es ejidal (compuesto por 19 ejidos) y el 0.12% es comunidad. El 1.7% de la superficie corresponde a propiedad federal conformada por la presa Cajón de Peña y algunos cuerpos de agua intermitentes. Del 70.55% restante de la superficie no se conoce el tipo propiedad (Figura 34).



**Figura 34. Porcentaje de superficie ocupada por los diferentes tipos de tenencia de la tierra identificada en el AEPH Presa Cajón de Peña**

En la Tabla 34 se presenta la superficie que ocupan los tipos de tenencia en el AEPH Cajón de Peña, en esta se especifica el porcentaje correspondiente para cada núcleo agrario o zona, así como el municipio al cual corresponde, de acuerdo con los Límites Municipales publicados en el Diario Oficial de la Federación (Gobierno del Estado de Jalisco, 2012) (Ver Figura 35).

**Tabla 34. Tipo de tenencia de la tierra y superficie que ocupa por núcleo agrario o zona y municipio**

Municipio	Tipo de tenencia	Nombre del núcleo agrario o zona	Superficie	
			Hectáreas	%
Cabo Corrientes	Comunidad	Santa Cruz El Tuito	57.80	0.04
	No especificado	No aplica	2,026.91	1.27
Talpa De Allende	Ejido	Concepción del Bramador	6,554.98	4.11
		El Cuale	980.15	0.61
		El Desmoronado	7,030.43	4.41
		El Parajito y anexos	135.86	0.09
		Gral. Marcelino García Barragán antes Emiliano Zapata	2,171.88	1.36
		La Cuesta	1,664.92	1.04
		Las Hormigas	4,609.02	2.89
		Los Encinos y anexos	2,567.71	1.61
		N.C.P. La Ladrillera	1,152.02	0.72
		N.C.P.A. Provincia	1.20	0.001
		N. C. P. E. La Piedad y sus anexos	2,721.05	1.71
		Nueva Alborada N.C.P.	1,114.84	0.70
		Tajahualpa	68.59	0.04
	Texcalama	56.69	0.04	
	No especificado	No aplica	58,425.54	36.66
Tomatlán	Comunidad	Santa Cruz El Tuito	130.84	0.08
	Ejido	Concepción Del Bramador	0.09	0.00
		El Corrido	1,310.94	0.82

Municipio	Tipo de tenencia	Nombre del núcleo agrario o zona	Superficie	
			Hectáreas	%
		El Parajito y anexos	3,820.36	2.40
		El Tule	167.96	0.11
		La Pintada y anexos	3,009.60	1.89
		Los Terreros	1,456.50	0.91
		N.C.P. La Ladrillera	26.94	0.02
		N. C. P. E. La Piedad y sus anexos	1,991.19	1.25
		San Rafael de Los Moreno	491.27	0.31
		Tajahualpa	939.82	0.59
	Federal	Cuerpos de agua propiedad de la nación	2,704.20	1.70
	No especificado	No aplica	51,992.93	32.62
<b>Total</b>			159382.22	100

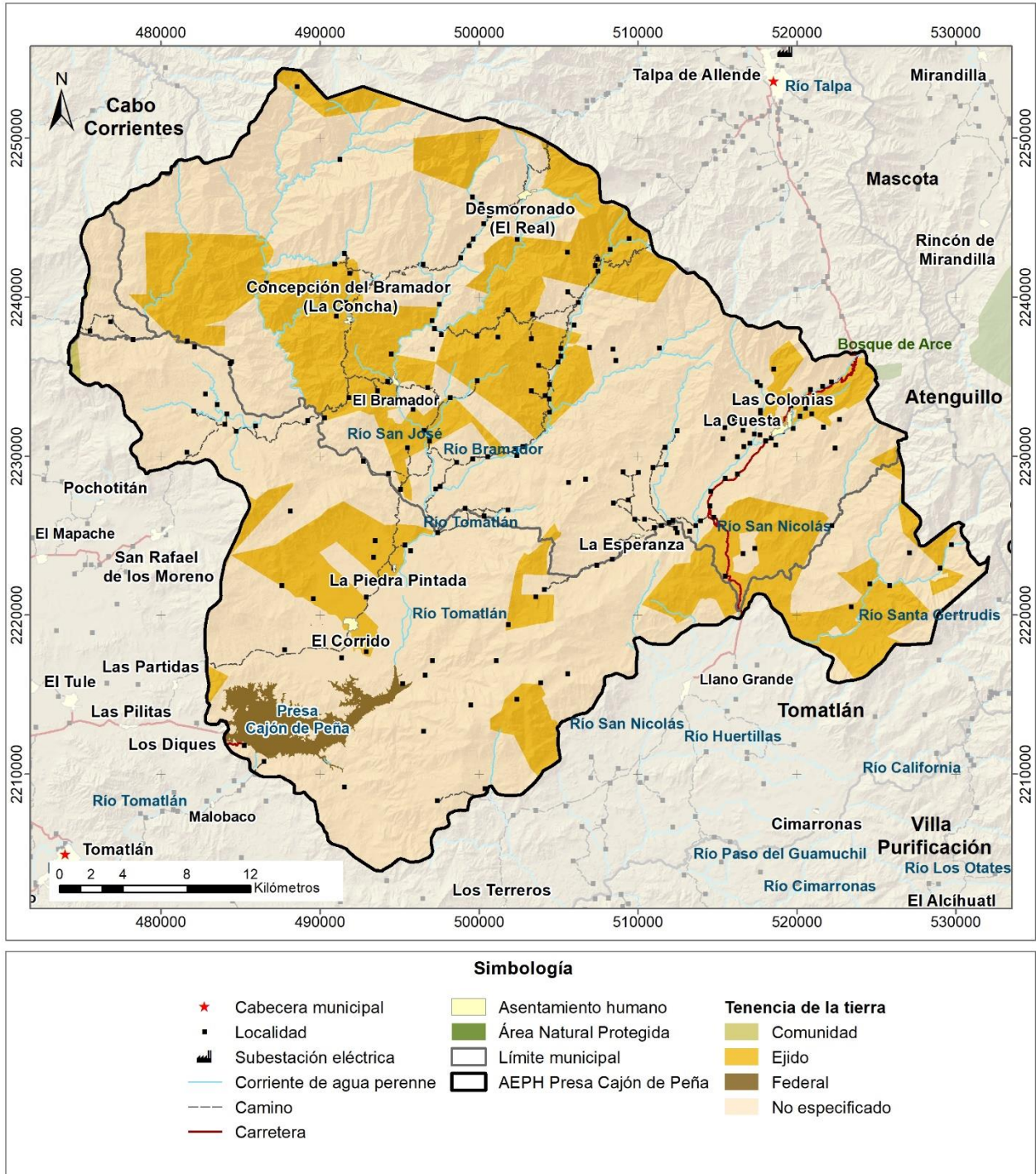


Figura 35. Tenencia de la tierra en el AEPH Presa Cajón de Peña

### 5.1.7. Identificación de la infraestructura básica y de servicios ubicados en el polígono propuesto, en específico la de carácter hidráulico

Desde tiempos remotos, el agua ha sido un factor determinante para el crecimiento de los asentamientos humanos, así como la realización de las actividades productivas. El futuro de la población dependerá radicalmente de la forma de aprovechar este recurso vital.

En México, al 2010, el porcentaje de viviendas con disponibilidad de agua fue de casi 89% esto significa más de 74 millones de personas, el resto se abastecían de agua entubada fuera de la vivienda pero dentro del terreno que habitan, de pozos, ríos o arroyos, de la llave pública, o de otra vivienda. Por entidad federativa, este indicador se ha modificado los últimos 20 años (INEGI, 2010a).

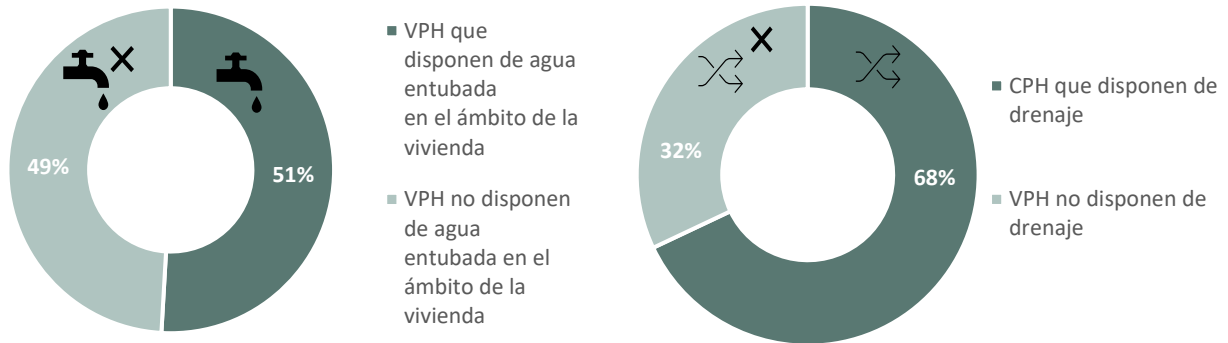
Para identificar la infraestructura básica y de servicios de carácter hidráulico, se analizaron las viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda, así como aquellas que disponen de drenaje, esto conforme a la información disponible en el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010c), propia de las localidades que conforman el AEPH Presa Cajón de Peña. En la Tabla 35 se describen los indicadores para la identificación de la infraestructura básica y de servicios de carácter hidráulico.

**Tabla 35. Descripción de los indicadores estudiados**

Categoría del indicador	Descripción
<b>Total de viviendas particulares habitadas (VPH)</b>	Viviendas particulares habitadas de cualquier clase: casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad, vivienda o cuarto de azotea, local no construido para habitación, vivienda móvil, refugios o clase no especificada. Incluye a las viviendas particulares sin información de ocupantes.
<b>Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda</b>	Viviendas particulares habitadas que tienen disponibilidad de agua entubada dentro de la vivienda, o fuera de la vivienda pero dentro del terreno. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.
<b>Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje</b>	Viviendas particulares habitadas que tienen drenaje conectado a la red pública, fosa séptica, barranca, grieta, río, lago o mar. Comprende las viviendas particulares para las que se captaron las características de la vivienda, clasificadas como casa independiente, departamento en edificio, vivienda o cuarto en vecindad y vivienda o cuarto en azotea y a las que no especificaron clase de vivienda.

Fuente: INEGI, 2010b.

Dentro del AEPH Presa Cajón de Peña se identificaron un total de 822 viviendas particulares habitadas, de estas el 49% dispone de agua entubada en el ámbito de la vivienda y el 51% carece de este, en cuanto a infraestructura de drenaje el 68% de las viviendas particulares habitadas disponen de este y el 32% restante carece de este (Figura 36).



**Figura 36. Viviendas Particulares Habitadas (VPH) con y sin disponibilidad de agua entubada y drenaje**

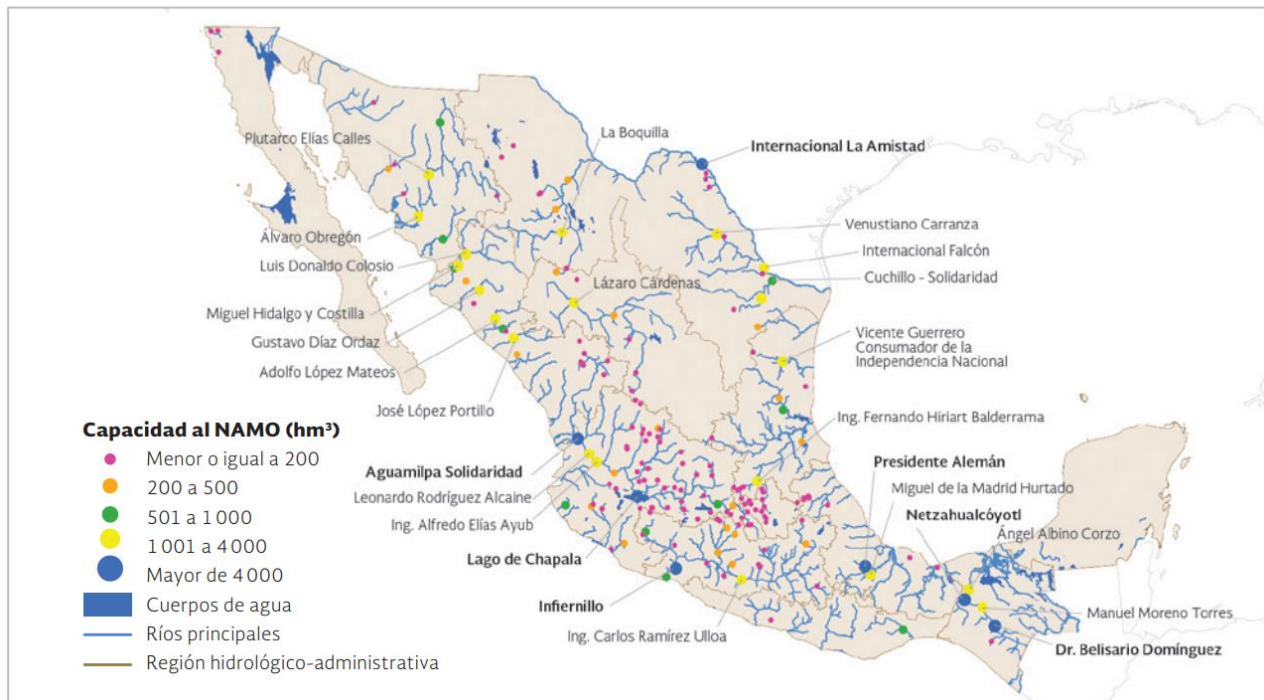
### 5.1.8. Infraestructura de captación y transporte de agua

En este apartado se analizó la infraestructura de captación y transporte de agua que tiene que ver con: presas, bordos, pozos de agua, manantiales, acueductos, canales y norias.

De acuerdo con el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), la presa Cajón de Peña es una de las principales presas de México, que cuenta con una capacidad de aguas máximas ordinarias (NAMO) de 511 hm<sup>3</sup> (CONAGUA, 2019). Lo anterior hace que represente la infraestructura de captación más importante del Área Estatal de Protección Hidrológica.

En la Figura 37 se pueden observar las principales presas de México, representadas por símbolos graduales que se ajustan al tamaño de cuerdo con su capacidad al NAMO, también se muestran los nombres de las presas con capacidad mayor a 1000 hm<sup>3</sup> y se destacan en negritas las de capacidad mayor a 4000 hm<sup>3</sup>.





Fuente: CONAGUA, 2018. Subdirección General Técnica.

**Figura 37. Principales presas de México**

La presa Cajón de Peña también es conocida como Tomatlán o El Tule, tiene un almacenamiento de 473.908 hm<sup>3</sup>. En la Tabla 36 se pueden identificar los datos generales de esta, así como su nivel de aguas máximas ordinarias y extraordinarias

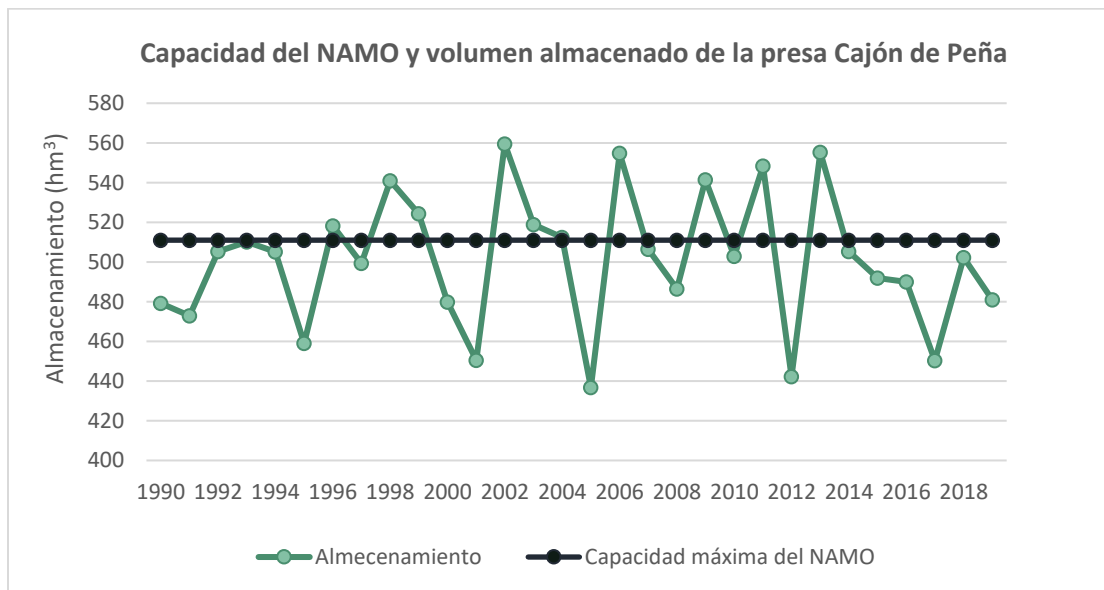
**Tabla 36. Monitoreo de la Presa Cajón de Peña**

Datos generales	
Nombre común:	Tomatlán o El Tule
Elevación:	130.650 m s. n. m.
Almacenamiento:	473.908 hm <sup>3</sup>
Porcentaje de llenado respecto al NAMO:	107%
Nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO)	
Elevación:	129.370 m s. n. m.
Almacenamiento:	442.758 hm <sup>3</sup>
Nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME)	
Elevación:	139.200 m. s. n. m.
Almacenamiento:	707.620 hm <sup>3</sup>
Uso de la presa:	Irrigación, riego abastecimiento público
Tipo de vertedor:	Control
Fecha de inicio de operación:	1976
Altura de cortina:	68 m.
Elevación de la corona:	142 m. s. n. m.
Bordo libre:	2.800 m.

Datos generales	
Ubicación	
Corriente donde se ubica:	R. Tomatlán
Municipio:	Tomatlán
Entidad federativa:	Jalisco
Región administrativa:	Lerma Santiago Pacífico

Fuente: CONAGUA, 2019.

Asimismo, en la Figura 38 se representa la capacidad del NAMO (511 hm<sup>3</sup>) y el volumen almacenado en un periodo de casi 30 años. El año 2003 fue uno de los años con mayor volumen almacenado y el 2005 fue el año con menor almacenamiento.



Fuente: CONAGUA, 2019.

**Figura 38. Capacidad al NAMO y volumen almacenado de la presa Cajón de Peña**

Por otra parte, en el AEPH Presa Cajón de Peña se localizan un total de 11 bordos, de acuerdo con el conjunto de datos vectoriales de las cartas topográficas 1:50,000 de INEGI (2015). Según datos de la CONAGUA (2018), se tiene un registro incompleto de los bordos en México, y a la fecha se realizan esfuerzos para registrar estas pequeñas obras de almacenamiento, en su mayoría de terracería.

Se identifican un total de 123 pozos de aprovechamiento de agua, de los cuales el 76% son superficiales y el 24% subterráneos, estos se distribuyen en prácticamente toda el AEPH Presa Cajón de Peña, a excepción de la parte noroeste. Se identifican un total de 5 acueductos, estos son subterráneos y se emplean como conductos artificiales para el transporte de agua potable, todo se encuentran en operación. Por último, se contabilizan un total de 4 tanques de agua, 13 norias y 34 manantiales, si bien estos últimos no son considerados como infraestructura si forman parte de la fuente natural de agua (Figura 39).

Cabe mencionar, que al este del AEPH Presa Cajón de Peña (fuera del polígono) se localiza el Distrito de Riego 093, que cuenta con infraestructura hidroagrícola, generalmente para irrigar los terrenos cultivados.

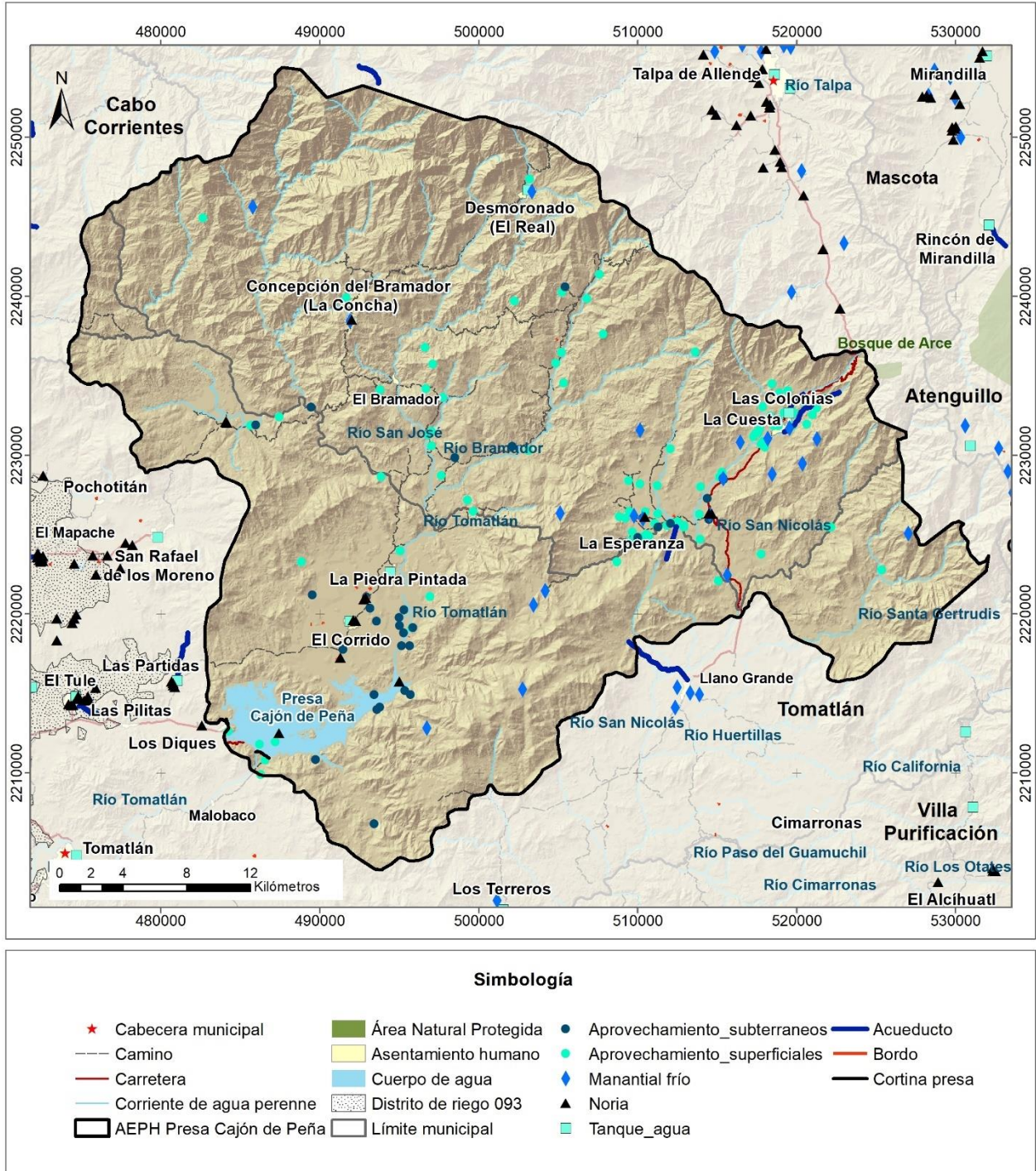


Figura 39. Infraestructura de captación en el AEPH Presa Cajón de Peña

## 6. DIAGNÓSTICO Y PROSPECCIÓN

De acuerdo con lo analizado en la caracterización del AEPH Presa Cajón de Peña, se identificó la siguiente problemática ambiental.

### 6.1. Cambio de uso del suelo

Los estudios de cambio de uso del suelo y vegetación permiten conocer los procesos y trayectorias de cambio en el territorio, ya sea la transformación de la cubierta vegetal a otros usos o la degradación de esta a través de la modificación de la densidad y composición de especies. Para conocer los procesos y trayectorias de cambio en el AEPH Presa Cajón de Peña, se utilizaron datos de cobertura del suelo de dos fechas, inicial (1998) y actual (2018).

Los datos de cobertura del suelo para la fecha inicial se generaron para este estudio a partir del procesamiento de una imagen Landsat 5 TM de fecha 21 de abril de 1998, a esta se le realizó un proceso de clasificación supervisada para obtener 5 macroclases de cobertura: 1) agrícola-pecuario, 2) asentamientos humanos, 3) bosques, 4) cuerpo de agua y 5) selvas.

Para la fecha actual, se utilizaron los datos de cobertura del suelo para el año 2018 del Mapa Nacional de Referencia MAD-Mex obtenido a partir de imágenes de satélite Landsat (INEGI et al., 2018), a los cuales se les realizó un proceso de reclasificación para agruparlos en 5 macroclases de cobertura equivalentes a las generadas para la fecha inicial.

Para cuantificar la deforestación en el AEPH Presa Cajón de Peña, se calculó la tasa de cambio utilizando la fórmula propuesta por FAO (1996) (Mas et al, 2017):

$$TC = \left[ \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{(1/n)} - 1 \right] \times 100$$

Dónde:

TC = Tasa de cambio (%)

S<sub>1</sub> = Superficie de bosque en el año inicial (ha)

S<sub>2</sub> = Superficie de bosque en el año final (ha)

n = Número de años en el periodo de análisis

En este análisis se consideró como cobertura de bosque a la suma de las áreas con cobertura de bosques y con cobertura de selvas. En la Tabla 37 se presenta la tasa de deforestación para el AEPH Presa Cajón de Peña, la tasa de deforestación se entiende como el porcentaje de superficie forestal remanente que es cortada o recuperada cada año y está expresada en porcentaje anual. Los valores positivos indican aumento de superficie, mientras que los valores negativos indican pérdida de superficie. Se observa que, de manera general, en el AEPH Presa Cajón de Peña se ha presentado pérdida de cobertura forestal con una tasa de 0.163% anual.

**Tabla 37. Superficie con cobertura forestal en los años de 1998 y 2018 y tasa de deforestación para el AEPH Presa Cajón de Peña**

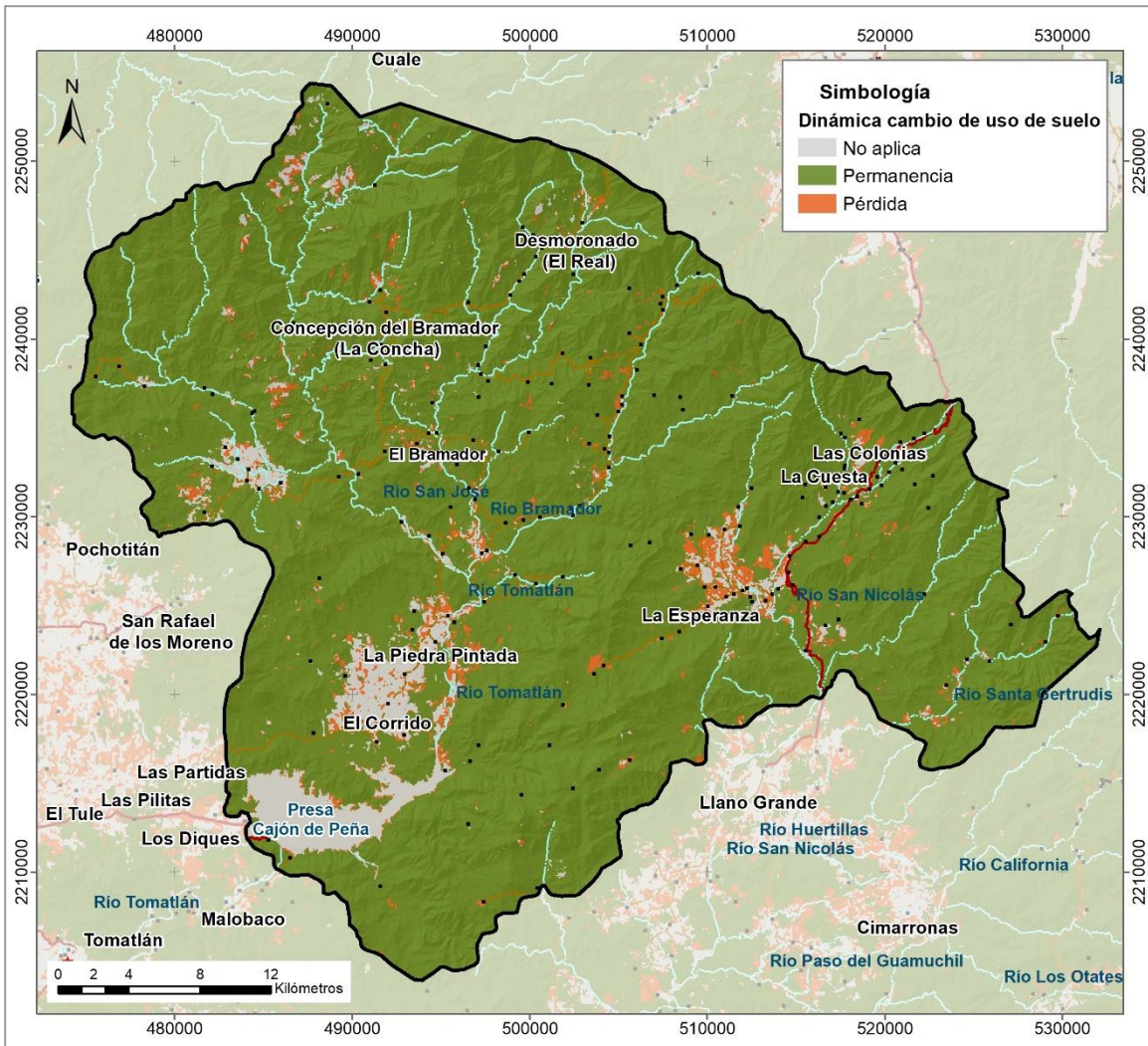
AEPH Presa Cajón de Peña		
Superficie de bosque en hectáreas en el año de análisis	1998	150,788.69
	2018	145,940.27
Tasa de deforestación (%/año)		-0.163

En este estudio se identificaron 4 dinámicas de cambio: **Pérdida** o deforestación (áreas con cobertura vegetal de bosque y selva cambian a agricultura, asentamientos humanos o cuerpo de agua), **Permanencia** (áreas que no presentan cambios), **Recuperación** (áreas con cobertura de agricultura o cuerpo de agua cambian a cobertura de bosque o selva) y **No aplica** (transiciones entre áreas con coberturas diferentes al bosque).

En el AEPH Presa Cajón de Peña el 3.04% de la superficie presentó pérdida de cobertura forestal (Tabla 38), esta se presenta en una gran cantidad de pequeños parches distribuidos en toda el área, principalmente en las zonas de frontera entre las áreas agrícolas y las áreas de vegetación natural (Figura 40). Por otra parte, el 91.57% de la superficie presentó permanencia de vegetación forestal, conservándose amplias áreas de macizos forestales (Tabla 38 y Figura 40). No se observó recuperación en el AEPH Presa Cajón de Peña.

**Tabla 38. Dinámica de cambio en el AEPH Presa Cajón de Peña en el periodo de 1998-2018**

Proceso	Superficie	
	Ha	%
No aplica	8,591.42	5.39
Pérdida	4,848.42	3.04
Permanencia	145,942.38	91.57
Recuperación	0.00	0.00
Total	159,382.22	100.00

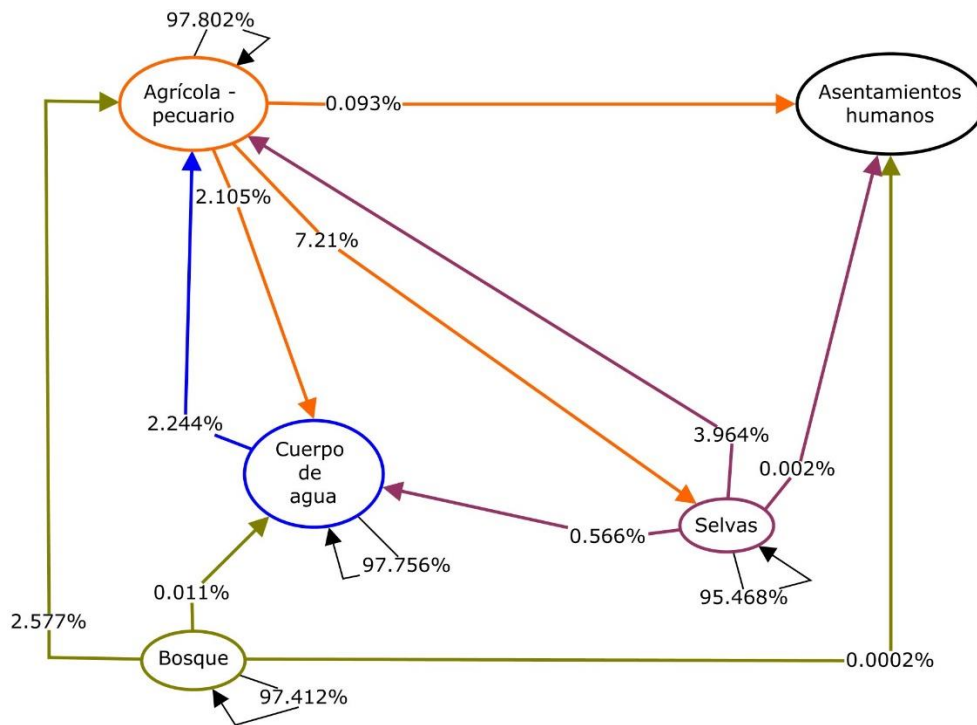


**Figura 40. Dinámicas de cambio en el periodo 1998-2018 identificadas en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Para identificar como se están llevando a cabo las dinámicas de cambio en la cobertura del suelo, se generó un cálculo de la probabilidad de transición de una clase de cobertura determinada en el año 1998 a otra clase determinada en el año 2018.

En la Figura 41 se presenta la probabilidad expresada en porcentaje de las transiciones en el área ocupada por el AEPH Presa Cajón de Peña. Se observa que los procesos de deforestación se dan principalmente por el cambio de bosques y selvas a agricultura y pastizales (agrícola-pecuario), ya que el 2.577% del bosque y el 3.964% de las selvas cambiaron a agrícola-pecuario, mientras que la transición a asentamientos humanos corresponde solo al 0.0022%. Asimismo, se puede identificar la permanencia del bosque (97.412%) y selva (95.468%).

Si bien los procesos de deforestación por cambio de uso a agrícola-pecuario y asentamientos humanos presentan porcentajes de transición bajos, estos producen una alta presión y amenaza sobre la biodiversidad, salud y servicios ecosistémicos en el AEPH Presa Cajón de Peña.



**Figura 41. Esquema de transición de una clase de cobertura a otra en el AEPH Presa Cajón de Peña. Los valores sobre las flechas de colores corresponden al porcentaje de la superficie que cambió de una clase a otra. Las flechas de color negro indican el porcentaje de superficie que se mantuvo en cada clase (permanencia)**

## 6.2. Fragmentación del paisaje

Uno de los principales efectos de la deforestación es la transformación del paisaje y la fragmentación de los bosques, lo que genera parches o islas de bosques separadas entre sí por áreas con usos antrópicos. Como consecuencia de la fragmentación se produce una reducción y pérdida del hábitat natural, disminuyendo de manera progresiva la diversidad biológica, asimismo, los fragmentos de bosque remanentes se ven amenazados por el efecto de borde. El efecto de borde produce la variación de propiedades y dinámicas en la composición, estructura y función de los ecosistemas, ya que el contacto de los fragmentos de bosque con la matriz externa promueve la mezcla de especies del interior y el exterior, convirtiendo a los bordes en hábitats diferentes a los existentes en el interior de los fragmentos con efectos generalmente negativos para los ecosistemas naturales.

Para conocer el estado de fragmentación del AEPH Cajón de Peña, se realizó el cálculo de varios índices de paisaje para las escalas de clase y paisaje. El análisis a escala de clase se realizó para las 5 clases de cobertura del suelo, mientras que para la escala de paisaje se analizó la cobertura de bosque (bosques y selvas) contra el resto de las coberturas.

Los cálculos se realizaron con el programa Fragstats versión 4.2.1 y se calcularon índices para determinar el área y el borde, la estructura, la agregación y la diversidad, utilizando una distancia de borde de 100 metros. En la Tabla 39 se presentan los diferentes índices del paisaje calculados para el AEPH Presa Cajón de Peña.

**Tabla 39. Índices de paisaje utilizados para el análisis de fragmentación en el AEPH Presa Cajón de Peña**

	Clase	Paisaje
Área-borde	Porcentaje en el paisaje (PLAND) Porcentaje del paisaje comprendido por el mismo tipo de parche (clase) (%).	
	Borde total (TE) Longitud total del borde de los parches que componen la clase determinada (m).	Índice del parche más grande (LPI) Porcentaje del paisaje ocupado por el parche más grande (%).
	Densidad de borde (ED) Longitud de los bordes de los parches de una misma clase por hectárea.	
	Media ponderada de la distribución de área del parche (AREA_AM) Tamaño medio de los parches que componen una clase, respecto al área total de la clase (ha).	Media ponderada de la distribución de área del parche (AREA_AM) Tamaño medio de los parches que componen una clase, respecto al área total de la clase (ha).
Estructura	Área núcleo total (TCA) Área de los parches que comprenden una clase y que se encuentran dentro de la distancia de profundidad de borde especificada (ha)	
	Índice de distribución de área núcleo ponderado (CAI_AM) Cuantifica el área núcleo como porcentaje del área de la clase (%).	
Agregación	Densidad de parches (PD) Número de parches de cada clase por cada 100 hectáreas.	Conexión (CONNECT) Porcentaje de la conectividad máxima posible dado el número de parches (%).
	Número de parches (NP) Número de parches que componen la clase.	
Diversidad		Índice de diversidad de Shannon's (SHDI) Medida de diversidad aplicada al paisaje, en donde 0 indica que contiene solo 1 parche de la clase correspondiente y aumenta según incrementa la riqueza de parches.

Los resultados de los índices de paisaje calculados a escala de clase (cinco clases de ambos años de cobertura), permitieron identificar la disminución en el porcentaje de paisaje (PLAND) ocupado por las clases bosques y selvas, así como el aumento de este para las clases agrícola-pecuario, asentamientos humanos y cuerpo de agua.

Asimismo, se identificó que de 1998 a 2018 se presentó una disminución en la longitud total (TE) y densidad de bordes (ED), así como en la densidad (PD) y número de parches (NP) y el tamaño medio de estos, para las clases bosques y selvas (Tabla 40). Se observó también el aumento de estos índices para las clases agrícola-pecuario y asentamientos humanos, lo que indica la presencia de fragmentación y parches de formas irregulares de estas clases.

Por otra parte, el resultado de los índices TCA y CAI\_AM indican que las clases que presentan mayor fragmentación son bosques y selvas, ya que presentaron para 2018 una disminución en los



valores de los índices, mientras que la clase agrícola-pecuario y asentamientos humanos presentaron un aumento en el valor del índice, lo que indica que estas se consolidaron (Tabla 40).

**Tabla 40. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de clase para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas de los años 1998 y 2018**

Índices de paisaje		Año	Clase				
			Agrícola-Pecuario	Asentamientos humanos	Bosques	Cuerpo de agua	Selvas
Área-Borde	PLAND	1998	3.64	0.0000	64.08	1.75	30.53
		2018	6.46	0.0043	62.42	1.97	29.15
	TE	1998	1,149,540.00	0.0000	4,378,860.00	113,460.00	4,391,340.00
		2018	1,517,490.00	4,320.0000	4,232,130.00	171,330.00	3,967,230.00
	ED	1998	7.21	0.0000	27.47	0.71	27.55
		2018	9.52	0.0271	26.55	1.08	24.89
	AREA_AM	1998	561.87	0.0000	88,848.54	2,791.44	16,506.72
		2018	837.01	0.7839	86,202.95	2,887.70	8,464.27
Estructura	TCA	1998	1,432.17	0.0000	73,679.85	2,180.97	25,283.70
		2018	4,018.14	0.0000	71,240.04	2,283.39	24,545.43
	CAI_AM	1998	24.70	0.0000	72.15	78.11	51.96
		2018	39.02	0.0000	71.61	72.71	52.84
Agregación	PD	1998	0.82	0.0000	0.82	0.00	1.20
		2018	0.85	0.0075	0.63	0.04	0.89
	NP	1998	1,309.00	0.0000	1,302.00	5.00	1,910.00
		2018	1,350.00	12.0000	1,006.00	66.00	1,422.00

Los resultados de los índices calculados a escala de paisaje (cobertura de bosque respecto a las otras clases) muestran que para el año 2018 hubo una disminución en el porcentaje de paisaje ocupado por el parche más grande de la cobertura de bosque (LPI), así como en el tamaño medio de los parches (AREA\_AM) y en la conexión entre estos (CONNECT). Por otra parte, se presentó un aumento en el índice de diversidad de Shannon's aplicado al paisaje, es decir, que de 1998 a 2018 aumentó la riqueza de parches de la cobertura de bosque, lo que indica que la fragmentación es mayor y los parches de cobertura de bosque están alejados, lo que aumenta la probabilidad de aislamiento.

**Tabla 41. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de paisaje para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas de los años 1998 y 2018**

Año	Índices del paisaje			
	LPI	AREA_AM	CONNECT	SHDI
1998	94.43	142,197.80	0.060	0.210
2018	91.39	133,243.14	0.058	0.289

A partir de los resultados anteriores, se concluye que en el AEPH Presa Cajón de Peña la cobertura de bosque presenta amenaza ante la introducción de actividades agrícolas y asentamientos humanos que genera fragmentación, lo que conlleva a la degradación y pérdida del hábitat y

conectividad por el aumento en el efecto de borde y el aumento en la distancia entre parches de la misma clase.

### **6.3. Peligros naturales**

Se tiene documentado un aumento de la frecuencia de desastres a partir de la década de los noventa. Los patrones de ocurrencia de desastres en México indican que el porcentaje más alto es de origen meteorológico e hidrológico (tormentas, temperaturas extremas, inundaciones, aludes y acción de los oleajes), que representan la mitad de los desastres registrados. El porcentaje de los desastres de origen meteorológico, hidrológico y climatológico oscila entre 50%-60% y son los que han provocado mayores daños a México en la serie analizada. Los que más defunciones han causado son los geofísicos, seguidos de los hidrológicos y los meteorológicos. El costo de los daños asciende con el paso de las décadas (Abeldaño & Gonzalez, 2018).

De acuerdo con la infografía de Desastres en México: impacto social y económico (CENAPRED, 2019) señala que el 86.8% de los daños y pérdidas de 2000 a 2018 son de origen hidrometeorológico, los cuales costaron 2,357 millones de dólares.

Con base en el sistema de Indicadores Municipales de Peligro, Exposición y Vulnerabilidad (CENAPRED, 2012) se identificaron los peligros geológicos e hidrometeorológico del AEPH Presa Cajón de Peña, los peligros que se analizaron son los que tiene un grado de peligrosidad "Alto" y "Muy alto", Los peligros más intensos que inciden son: sismos y susceptibilidad de laderas con peligro muy alto, ciclones, tormentas eléctrica e inundaciones con peligro alto.

#### **Peligros geológicos**

La identificación de los fenómenos geológicos que inciden sobre un territorio en particular, estarán relacionados a un proceso que podría ocasionar grandes daños a la población, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. Los fenómenos geológicos incluyen procesos internos y procesos rotacionales.

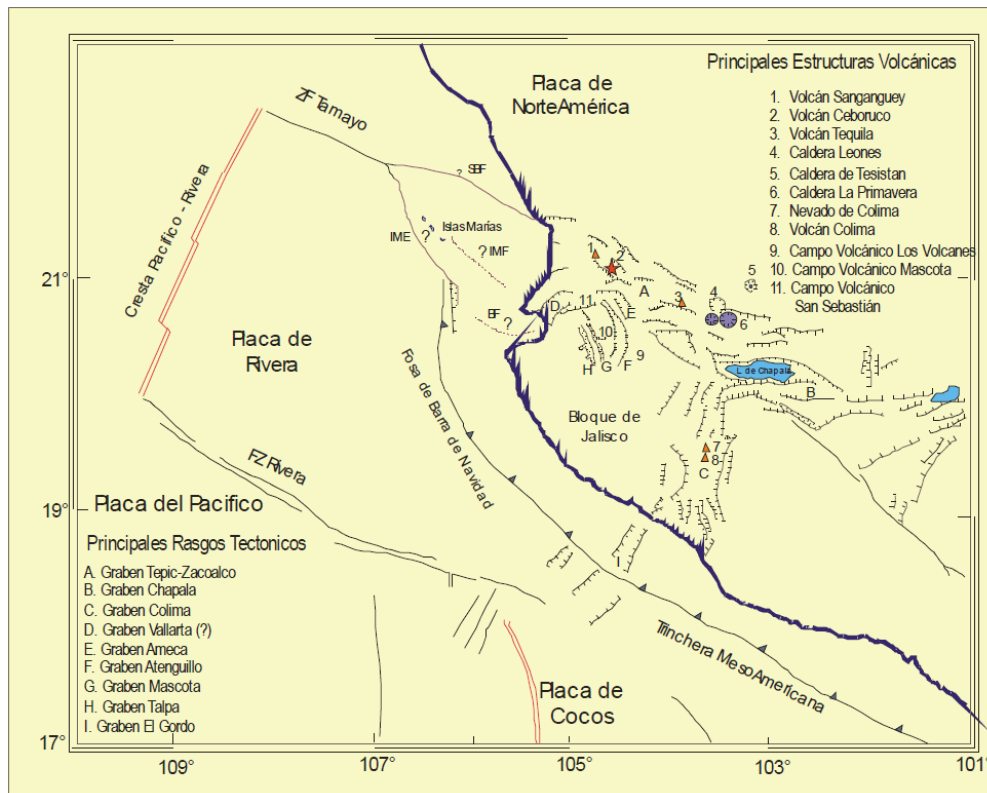
#### **Sismos**

La sismicidad en su conjunto es uno de los fenómenos derivados de la dinámica interna de la tierra que ha estado presente en la historia geológica de nuestro planeta, y que seguramente continuará manifestándose de manera similar a lo observado en el pasado. Los sismos no pueden predecirse, es decir, no existe un procedimiento confiable que establezca con claridad la fecha y el sitio de su ocurrencia, así como el tamaño del evento. Sin embargo, los sismos se presentan en regiones bastante bien definidas a nivel regional y se cuenta con una estimación de las magnitudes máximas, en función de los antecedentes históricos y monitoreos sísmicos para poder ubicarlos y estudiar su ocurrencia.

El análisis del peligro sísmico está basado en la frecuencia histórica de eventos y en la severidad de cada uno de ellos. La severidad se mide mediante parámetros de intensidad válidos para una ubicación geográfica específica. Una vez que se definen los parámetros de amenaza, es necesario generar un conjunto de eventos estocásticos que definen la frecuencia y severidad de miles de eventos, representando así la ocurrencia de la amenaza en la región.

La litosfera está dividida en varias placas cuya velocidad de desplazamiento es del orden de varios centímetros por año, consecuencia principal del origen de la sismicidad en la región de Jalisco, esta sismicidad se asocia a la compleja tectónica, resultado de la interacción de las placas (placa

del Pacífico, placa Norteamérica, placa de Rivera y placa de Cocos). El bloque de Jalisco (Figura 42) es la estructura bajo la que subduce la placa de Rivera está delimitado por la Trinchera Mesoamericana hacia occidente, la zona del graben de Colima en la parte meridional y la zona del graben de Tepic-Zacoalco en la parte oriental, mientras que el borde septentrional no ha sido delimitado con precisión (Núñez Cornú, 2011).



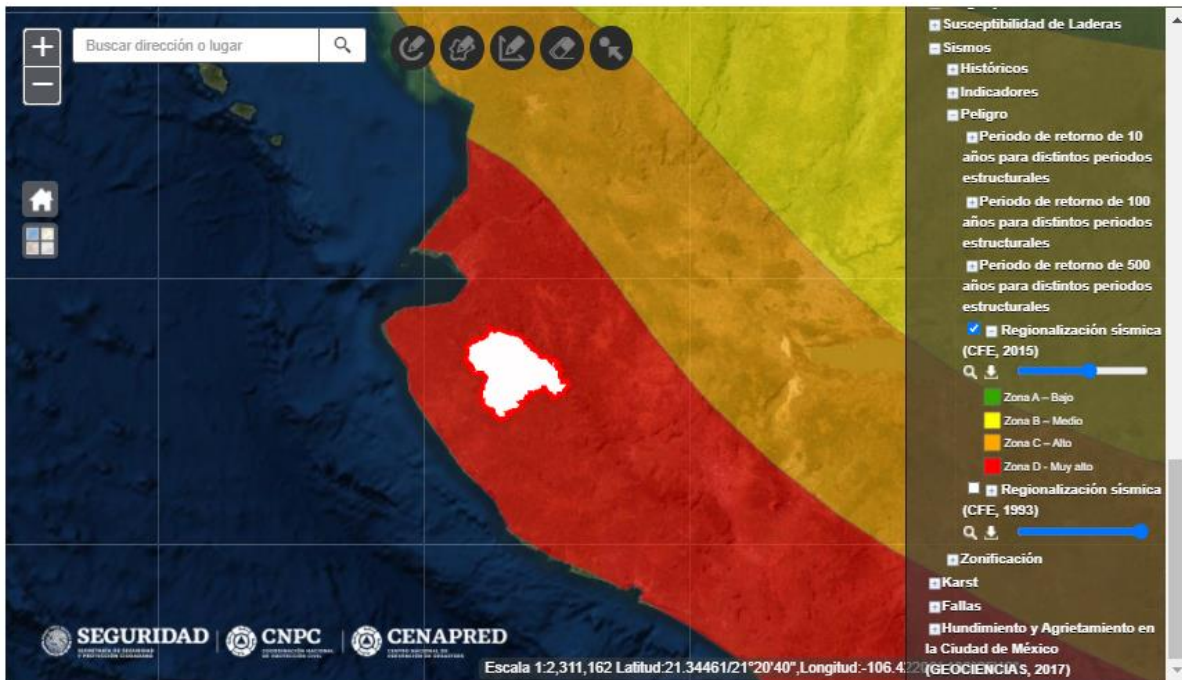
**Figura 42. Marco tectónico del Bloque de Jalisco. Se señalan con detalle las características tectónicas y volcánicas principales**

El mayor terremoto (Magnitud=8.2) ocurrido en México en el siglo XX (1932) tuvo lugar en la costa de Jalisco, este fue seguido por otro de magnitud 7.8 quince días después, el epicentro ha sido localizado y reubicado recientemente en las coordenadas (19,5 N, 104.25 W). Estos terremotos ocasionaron el rompimiento de toda la zona de contacto entre la Placa de Rivera y el Bloque de Jalisco, ambos generaron tsunamis importantes.

Cuando ocurre un sismo de magnitud considerable las rocas que se encuentran cerca de la zona de ruptura sufren un reacomodo, lo que genera una serie de temblores en la zona que reciben el nombre de réplicas. El número de las réplicas puede variar desde unos cuantos hasta cientos de eventos en los próximos días o semanas de ocurrido el temblor principal.

El análisis de sismicidad para el AEPH Presa Cajón de Peña se basa en la Regionalización Sísmica del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015). La regionalización sísmica permite conocer, en términos generales, el nivel de peligro sísmico que tiene un área determinada. Para ello, el territorio nacional se encuentra clasificado en cuatro regiones, de la A a la D, las cuales representan un nivel creciente de peligro.

El AEPH Presa Cajón de Peña se ubica en la zona sísmica D (Figura 43), en esta zona ocurren con frecuencia temblores de gran magnitud ( $M > 7$ ) y las aceleraciones del terreno pueden ser superiores al 70% de gravedad (g). Las zonas de mayor sismicidad se concentran en la costa occidental del país a lo largo de los bordes de varias placas cuyo contacto es conocido como Trinchera. Se ha utilizado la expresión de “brecha sísmica” a la zona geográfica donde no se han producido sismos de 7 o más grados en la escala de Richter por un largo periodo de tiempo (50 años o más) (CENAPRED, 2006).



**Figura 43. Regionalización Sísmica de México. CFE, 1993. CENAPRED**

Los sismos por movimiento de placas en el Pacífico son llamados sismos interplaca. Son ocasionados por una fricción en las zonas de contacto, en este caso entre las placas de cocos y la placa americana. Al interior del AEPH Presa Cajón de Peña se identificaron un total de 33 epicentros de sismos interplaca con magnitudes de coda que van de 3.1 a 4 Mc en un periodo que comprende del 24/11/1998 al 23/08/2020 (Figura 44).

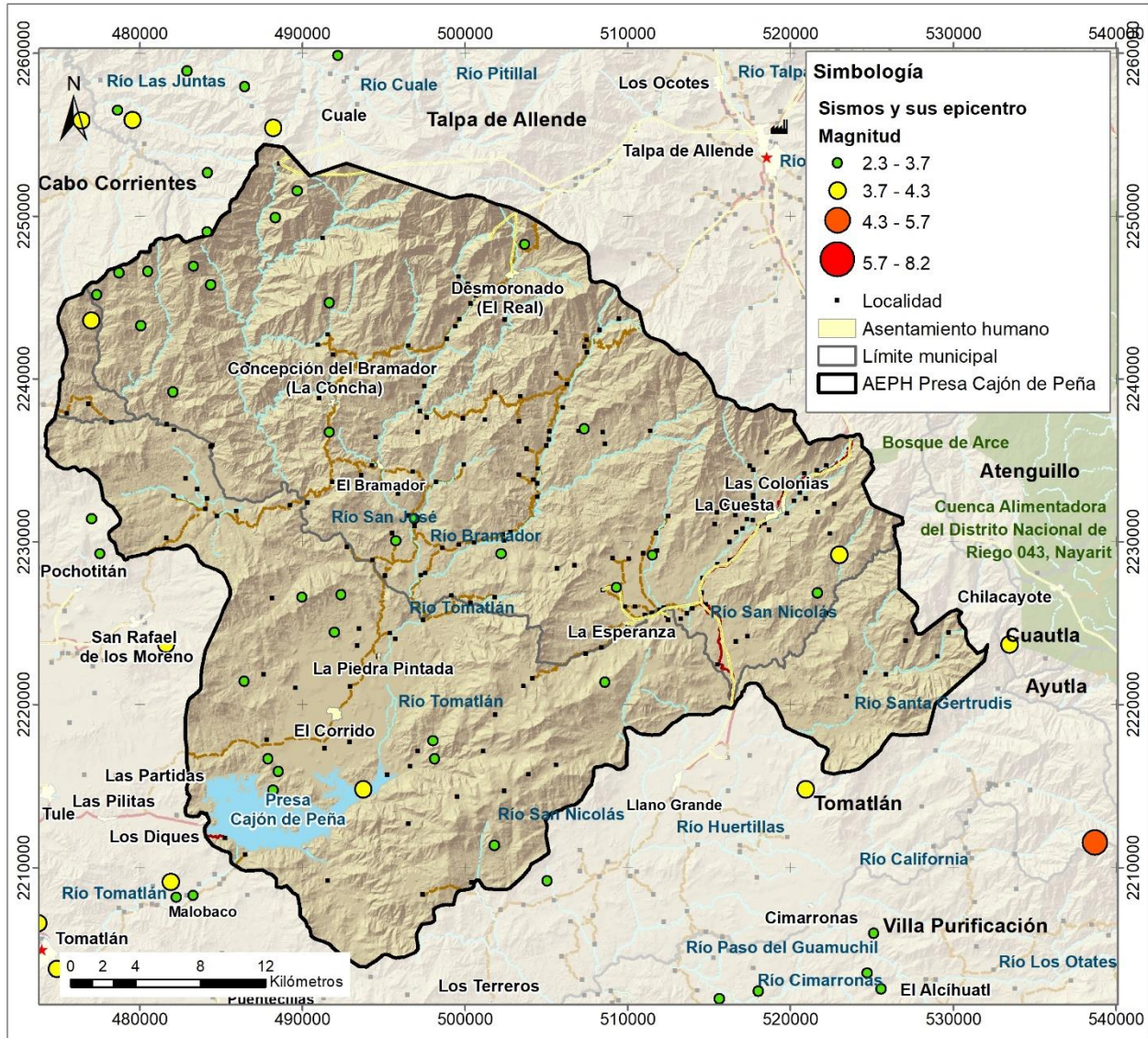


Figura 44. Actividad sísmica en el estado de Jalisco 1900-08-01 al 2020-08-31

A diferencia de otras medidas que cuantifican terremotos, como la escala Richter o la escala de magnitud de momento, no es una medida de la energía total liberada del terremoto, por lo que no es una medida de magnitud sino de intensidad. Se puede medir con simples acelerómetros y es sencillo correlacionar la aceleración sísmica con la escala de Mercalli.

La aceleración sísmica es la medida de un terremoto más utilizada en ingeniería, y es el valor utilizado para establecer normativas sísmicas y zonas de riesgo sísmico. Durante un terremoto, el daño en los edificios y las infraestructuras está íntimamente relacionado con la velocidad y la aceleración sísmica, y no con la magnitud del temblor. En terremotos moderados, la aceleración es un indicador preciso del daño, mientras que en terremotos muy severos la velocidad sísmica adquiere una mayor importancia.

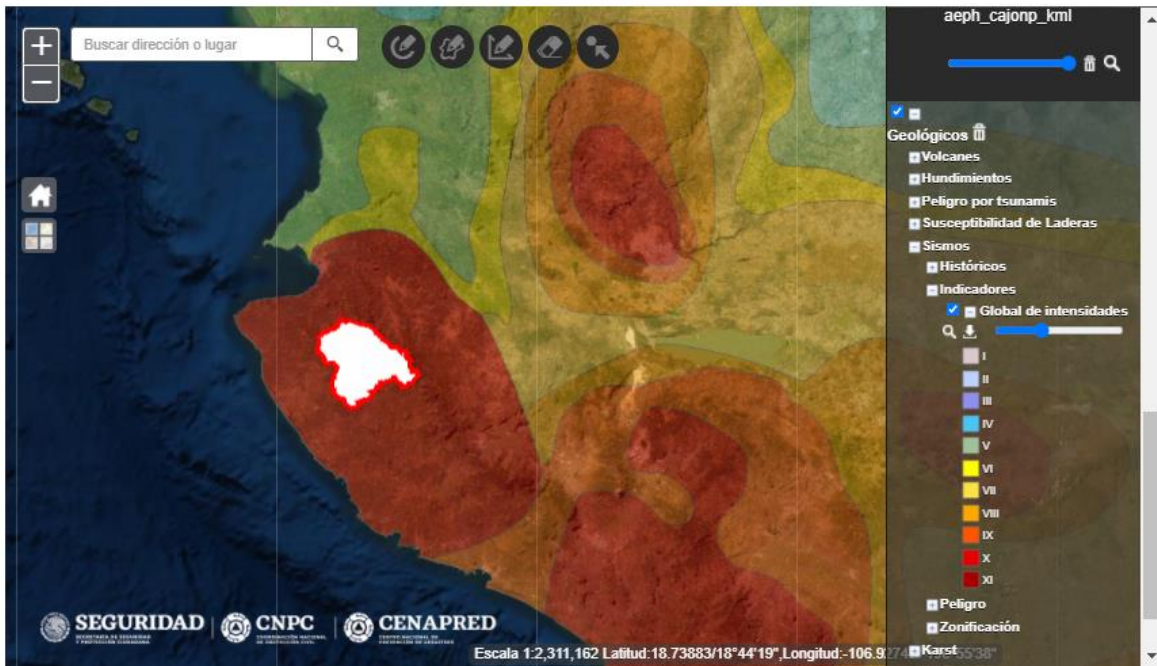
La intensidad de un sismo se refiere a un lugar determinado, se asigna en función de los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno natural. La asignación de un grado de intensidad determinado resulta un tanto subjetiva debido a que depende de la

sensibilidad de las personas y de la apreciación que se haga de los efectos. Sin embargo, la asignación cuidadosa de la intensidad sísmica resulta de gran utilidad para estudiar sismos históricos o aquellos que impactan zonas donde se carece de instrumentos de registro (CENAPRED, 2006).

Escala de Intensidad de Mercalli Modificada Abreviada

Escala	Descripción
VI	Sentido por todos, muchos se asustan y salen. Algún mueble pesado se mueve; algunos casos de caída de revestimientos y chimeneas dañadas. Daño leve.
VII	Todo el mundo corre al exterior. Daño insignificante en edificios de buen diseño y construcción; leve a moderado en estructuras corrientes bien construidas; considerable en estructuras pobremente construidas o mal diseñadas; se rompen algunas chimeneas. Notado por algunas personas que conducen automóviles
VIII	Daño leve en estructuras diseñadas especialmente; considerable en edificios corrientes sólidos con colapso parcial; grande en estructuras de construcción pobre. Paredes separadas de la estructura. Caída de chimeneas, rimeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes. Muebles pesados volcados. Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades. Cambios en pozos de agua. Conductores de automóviles entorpecidos.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño especial; estructuras con armaduras bien diseñadas pierden la vertical; grande en edificios sólidos con colapso parcial. Los edificios se desplazan de los cimientos. Grietas visibles en el suelo. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunos edificios bien construidos en madera, destruidos; la mayoría de las obras de estructura de ladrillo, destruidas junto con los cimientos; suelo muy agrietado. Rieles torcidos. Corrimientos de tierra considerables en las orillas de los ríos y en laderas escarpadas. Movimientos de arena y barro. Agua salpicada y derramada sobre las orillas.

La estimación del peligro sísmico con respecto AEPH Presa Cajón de Peña implica un análisis de la sismicidad local, lo que implica zonificar el territorio con base en las fuentes generadoras de sismicidad, para la cuales se supone una tasa constante de generación de temblores (Figura 45).



**Figura 45. Relación de intensidades (Mercalli) generadas por sismos históricos (1875) e instrumentales (1932 y 1995). CENAPRED**

El AEPH Presa Cajón de Peña se ubica en la zona de intensidad sísmica X en la escala de Mercalli, esta escala es una evaluación cualitativa de la clase de daños causados por el sismo. un gran terremoto producirá valores de mayor intensidad que uno pequeño, pero hay otros factores capaces de afectar como la cantidad de energía liberada, la distancia del epicentro, la profundidad focal del sismo, la densidad de la población, la geología local del área, el tipo de construcción de los edificios así como la duración del sacudimiento (SGM, 2017).

Los efectos que son producidos por los sismos en un sitio dado, en términos de intensidad sísmica instrumental. Para ello se desarrollan leyes de atenuación, las cuales relacionan la magnitud, la posición de la fuente con relación a la infraestructura y con base en las leyes asumen el principio de que, en la medida que aumenta la distancia a partir de la fuente, la intensidad disminuye. Con la escala de Mercalli, la relación con la aceleración máxima es más directa y viene dada por la Tabla 42.

**Tabla 42. Escala de Mercalli y su relación directa con la aceleración del terreno, la percepción del temblor y el posible daño**

Escala de Mercalli	Aceleración sísmica (g)	Percepción	Potencial de daño
VI	0.092 – 0.18	Fuerte	Leve
VII	0.18 – 0.34	Muy fuerte	Moderado
VIII	0.34 – 0.65	Severo	Moderado a fuerte
IX	0.65 – 1.24	Violento	Fuerte
X	> 1.24	Extremo	Muy Fuerte

Con base en la escala de Mercalli y la ubicación del AEPH Presa Cajón de Peña identificamos que le corresponde aceleraciones del terreno mayores a 1.24 g y se estima para sismos de magnitudes 7 o más en la escala de Richter.

### **Susceptibilidad de laderas**

Cada año, en las zonas montañosas de México ocurren numerosos casos de inestabilidad de laderas, que en ocasiones llegan a afectar severamente comunidades y vías de comunicación, causando decesos y cuantiosos daños materiales. Su ocurrencia es el resultado de la combinación de factores climáticos, geológicos, hidrológicos, geomorfológicos y antropogénicos (CENAPRED, 2006).

Un deslizamiento ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, tampoco es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento, respecto a la masa estable; se alcanza un estado de falla cuando el esfuerzo cortante medio aplicado en la superficie potencial de deslizamiento, llega a ser igual a la resistencia al esfuerzo cortante del suelo o roca. Los deslizamientos pueden ser desencadenados tanto por cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas.

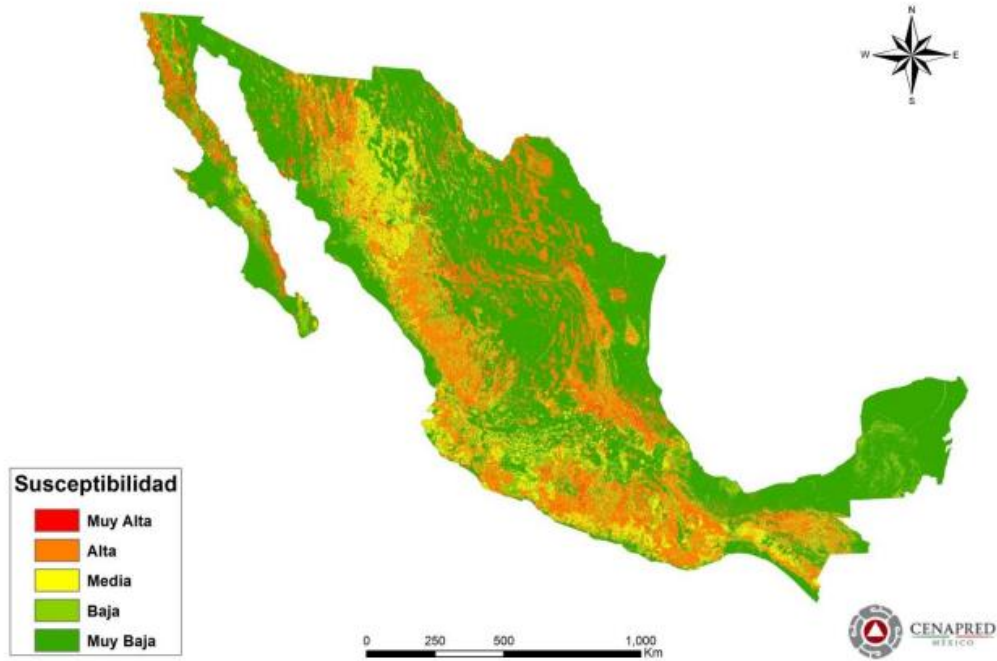
Para poder determinar la inestabilidad de ladera se propone utilizar el análisis de susceptibilidad a inestabilidad de laderas, es decir el análisis de la propensión de un terreno a ser inestable. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir inestabilidad, y se refiere solamente a factores intrínsecos a los materiales naturales de la ladera, sin considerar factores desencadenantes, como sería el caso de la precipitación o la sismicidad.

El análisis de susceptibilidad se refiere al proceso de cuantificación relativa de la importancia que puede tener cada uno de los factores intrínsecos o condicionantes en la posibilidad que se produzcan fenómenos de inestabilidad de laderas. Existen tres factores para la elaboración de un mapa de susceptibilidad:

- La pendiente de la ladera
- Las características geológicas
- La cobertura vegetal y el uso de suelo

Para el análisis del peligro por susceptibilidad a la Inestabilidad de laderas en el AEPH Presa Cajón de Peña estuvo en función del Mapa Nacional de Susceptibilidad a la Inestabilidad de Laderas (Figura 46) elaborado por la subdirección de Dinámica de Suelos fue integrado con base en el criterio de “multivariantes”, en el cual se consideraron como principales factores condicionantes a las capas de geología (litología), topografía (pendientes) y el uso de suelo y vegetación. A dichas capas se les asignaron pesos específicos con base en casos documentados de deslizamientos, principalmente aquellos ocurridos en el estado de Guerrero.





**Figura 46. Mapa Nacional Susceptibilidad por Inestabilidad de laderas, Morales Domínguez et al., 2016**

La inestabilidad de laderas, también conocida como proceso de remoción de masa, se define como la pérdida de la capacidad del terreno natural para auto sustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos. Se presenta en zonas montañosas donde la superficie del terreno adquiere diversos grados de inclinación (Figura 47). Los principales tipos de inestabilidad de laderas son: caídos, deslizamientos y flujos.



<b>Grado</b>	<b>Hectáreas</b>
Muy alto	223.1
<b>Total</b>	<b>159,382.2</b>

Las laderas con grado o susceptibilidad “Muy alto” se caracterizan por tener agrietamientos, escarpes o salientes. Suelos muy alterados, sueltos y/o saturados, presencia de discontinuidades desfavorables, antecedentes de deslizamientos en el área o sitio y laderas desforestadas. Alta laderas que exhiben zonas de falla, meteorización de moderada a alta, posee discontinuidades desfavorables, donde han ocurrido deslizamientos.

Las laderas con grado o susceptibilidad “Alto” se caracterizan por presentar agrietamiento y presencia de discontinuidades.

### **Peligros Hidrometeorológicos**

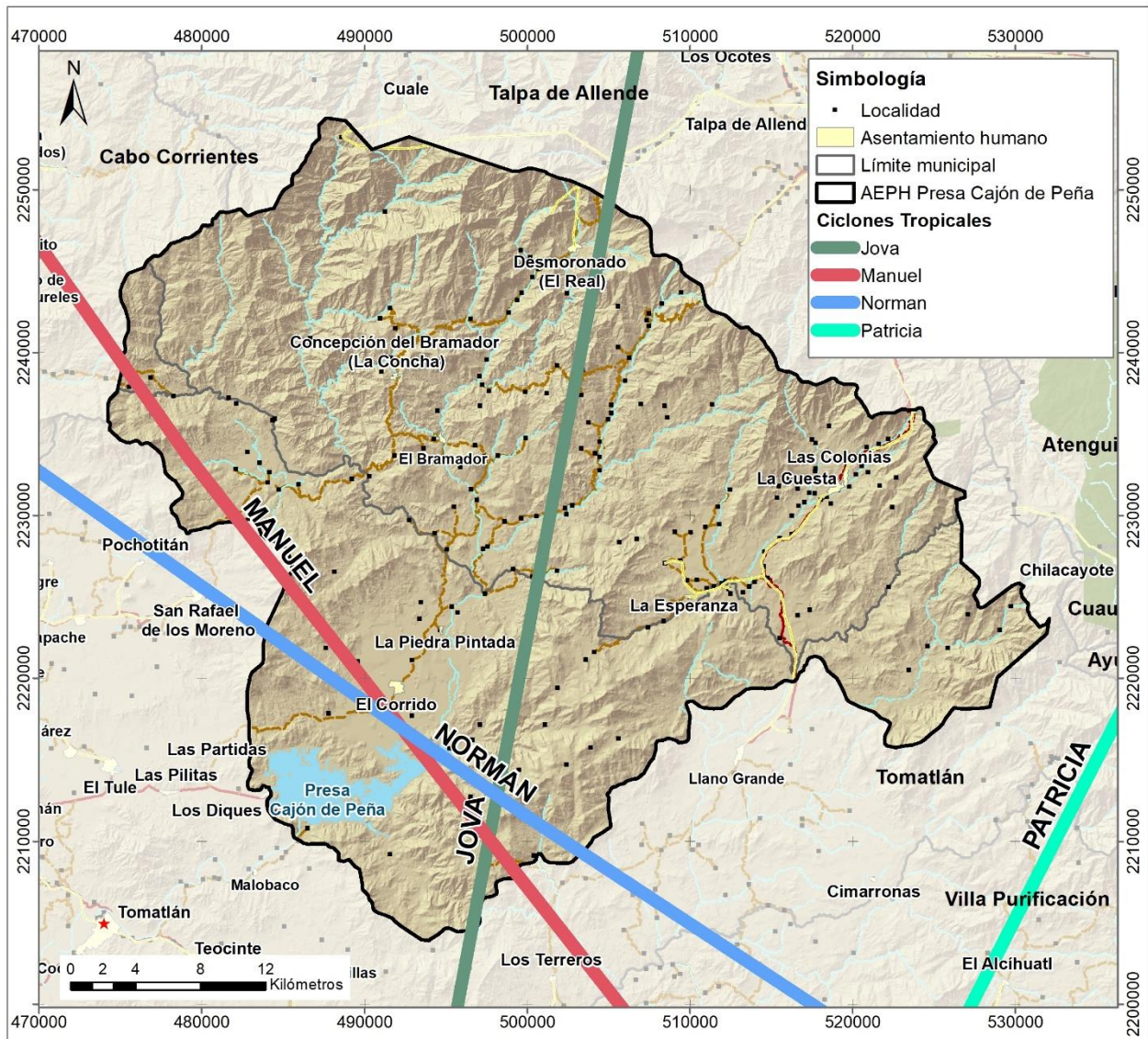
Los grandes desastres ocurridos durante los últimos 20 años han sido causados en el 90% de los casos por inundaciones, tormentas, olas de calor, sequías y otros fenómenos relacionados con el clima, Según un estudio de la Oficina de la ONU para la Reducción de Riesgos de Desastres (UNISDR, 2015).

Los fenómenos hidrometeorológicos, son aquellos que tienen por origen un elemento en común: el agua. Este tipo de fenómenos tienen la capacidad de ocasionar efectos negativos en las esferas ambiental, económica y social cuando se presentan de manera extraordinaria, sobre todo en sitios identificados de alto riesgo, cuyas poblaciones son especialmente vulnerables, sin embargo, cabe mencionar uno de los principales efectos positivos asociados a estos fenómenos, son las precipitaciones las cuales son la principal causa de las recargas de los acuíferos y un beneficio al sector agropecuario.

### **Ciclones tropicales**

El promedio de la temperatura global en el período 2001-2010 fue de 14.47 grados centígrados, según el informe tendencias climáticas para el comienzo del nuevo milenio (ONU-OMM, 2013), eso equivale a 0.21 grados más cálido que (1991 a 2000) y 0.79 grados más cálido que (1881 a 1890). Los niveles del mar aumentan hasta 3 milímetros por año, casi el doble de la tasa de 1,6 milímetros al año registrados durante el siglo XX.

Debido a lo anterior, se propuso analizar la temporada de ciclones tropicales (2000-2015) en el pacífico, registrando un total de 48 ciclones tropicales. Los ciclones tropicales que incidieron y tuvieron un impacto socioeconómico en la región del AEPH Presa Cajón de Peña son: huracán Jova (2011), tormenta tropical Norman (2012), huracán Manuel (2013) y huracán Patricia (2015) (Figura 48).



**Figura 48. Trayectorias de los principales ciclones tropicales que incidieron AEPH Presa Cajón de Peña en el periodo 2000-2015**

Las lluvias provocadas por los ciclones tropicales pueden provocar que el agua conducida por los cauces de los ríos alcance niveles con los que se lleguen a inundar poblaciones, campos de cultivos o lugares donde se realizan diversas actividades económicas.

#### Inundaciones

Las inundaciones son el flujo o invasión de agua por exceso de escurrimiento superficial o por acumulación de agua en terrenos bajos provocados por insuficiencia de drenaje natural o artificial.

La magnitud de una inundación provocada por fenómenos hidrometeorológicos depende de la intensidad de la lluvia, su distribución en el espacio y tiempo, tamaño y forma de las cuencas hidrológicas, así como de las características del suelo, vegetación, drenaje natural o artificial entre otros factores.

Las inundaciones presentes en el AEPH Presa Cajón de Peña están referidas al Índice de Inundación (CENAPRED, 2016) que calcula tomando en cuenta parámetros hidrológicos como la precipitación acumulada, pendiente del terreno, acumulación de escurrimiento y retención máxima de humedad del suelo. Su aplicación principal consiste en la identificación de humedales, definidos como zonas perenes o efímeramente saturadas o inundadas.

El índice de inundación considera el escurrimiento de la precipitación media acumulada para un periodo de retorno de 100 años. El resultado puede ser estimado como la base para realizar modelos de tipo hidráulico, siempre y cuando se tomen en cuenta variables hidráulicas como lo es el tirante, velocidad del fluido o tiempo de anegación

Se registro en el AEPH Presa Cajón de Peña una superficie total propensa a inundarse de 10,720.9 hectáreas con un periodo de retorno de 100 años, las áreas susceptibles de inundación se localizan principalmente en las planicies y siempre conectadas a un rasgo hidrológico (Figura 49).

En el temporal de lluvias existen registros en la estación climatológica 14024 Cajón Peña de la existencia de tormentas de elevada intensidad, las cuales se precipitan en un marco hidrográfico-hidrológico adecuado para la formación y propagación de las avenidas fluviales de carácter torrencial (repentinas) generando lo que se conoce como inundaciones súbitas. Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río, las zonas que periódicamente suelen quedar inundadas se denominan llanuras de inundación.

Las inundaciones afectan a la población en su salud y seguridad, en sus bienes muebles e inmuebles, en ocasiones alteran los cauces, dañan la infraestructura urbana, hidráulica, hidroagrícola, vías de comunicación, entre otros; ocasionando costos económicos, sociales y políticos.

Las inundaciones son consecuencia de la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

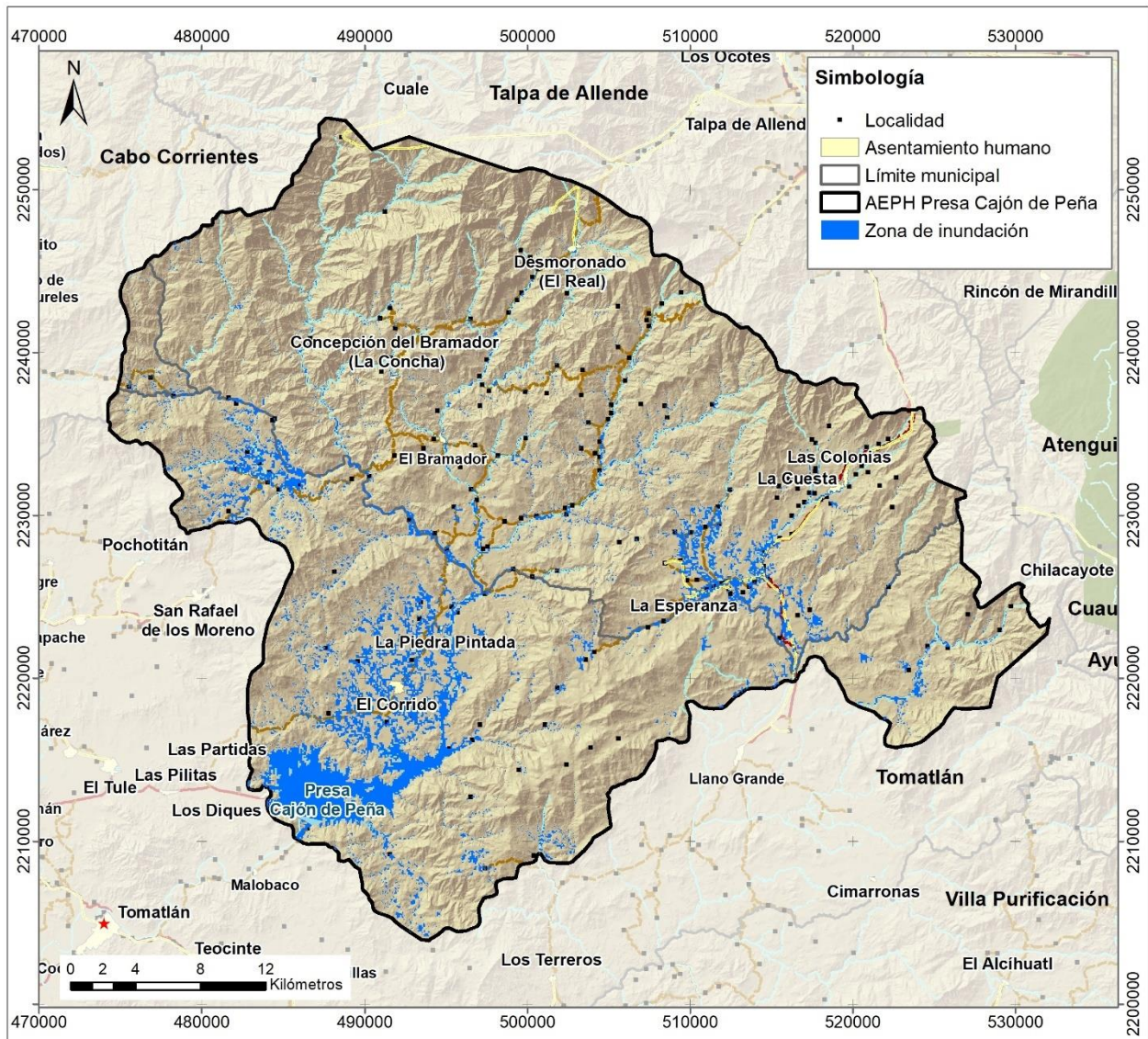


Figura 49. Zonas propensas a inundación en el AEPH Presa Cajón de Peña para un periodo de retorno de 100 años

### **Tormenta eléctrica**

Las tormentas eléctricas son descargas bruscas de electricidad atmosférica que se manifiestan por un resplandor breve (rayo) y por un ruido seco o estruendo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulonimbus) y pueden estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos; pero en ocasiones puede ser nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1993). Son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados.

El rayo es una poderosa descarga electrostática natural producida durante una tormenta eléctrica, la cual es causada por el paso de corriente eléctrica. En el mundo caen, cada segundo, 100 rayos y, en cualquier momento, el planeta tiene 2 mil tormentas eléctricas, simultáneamente. En México se registran, desde 1985 el número de decesos generados por el alcance de rayos (Salud, 2007).

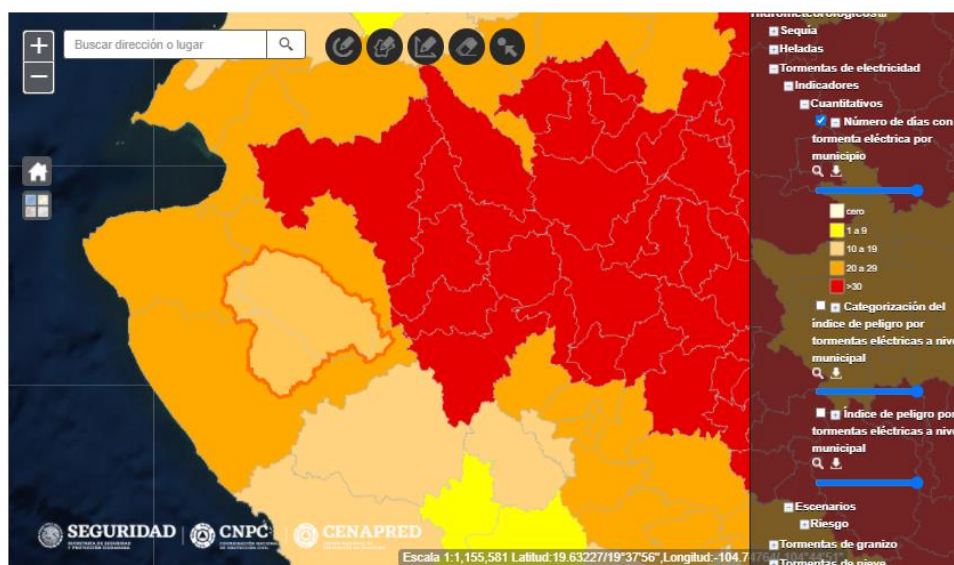
En los últimos 22 años se reportaron 4,848 defunciones en 31 estados del país; en promedio, al año se llegan a presentar 220 pérdidas humanas por tormentas eléctricas.

Para determinar el peligro a tormentas eléctricas que amenazan al AEPH Presa Cajón de Peña, se propuso utilizar el Índice de Peligro por Tormentas Eléctricas a escala municipal, basado en el mapa del Nuevo Atlas de México (Vidal, 2007), el cual contiene información de varias estaciones climatológicas del país y los registros cubren el periodo de 1970 al 2002.

La actividad eléctrica asociada a las tormentas es un fenómeno meteorológico de gran impacto que provoca numerosas pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños materiales. Por tanto, conocer la distribución espacial y temporal de las descargas eléctricas en tiempo real es fundamental para la adecuada vigilancia de este fenómeno meteorológico adverso, que afecta notablemente a las actividades humanas realizadas al aire libre, a la gestión del tráfico aéreo y provoca averías e interrupciones de suministro eléctrico y daños en aerogeneradores de parques eólicos y otras infraestructuras, genera incendios forestales, etc.

Los datos almacenados a lo largo de los años son fundamentales para una mejor comprensión de la actividad tormentosa, a través de las climatologías de descargas eléctricas y del número de días de tormenta, que también contribuyen a una mejor predicción de este fenómeno.

Utilizando el Sistema de Información Sobre Riesgo del CENAPRED, se agregó el AEPH Presa Cajón de Peña para identificar los intervalos del número de días con tormentas eléctricas registrando un intervalo de 20 a 29 días (Figura 50).



**Figura 50. Indicador del número de días con tormentas eléctricas a nivel municipal. CENAPRED**

De acuerdo con el Índice de Peligro por Tormentas Eléctricas se identifica que el AEPH Presa Cajón de Peña se ubica en un índice de peligro por tormenta eléctrica con grado “Alto” (Figura 51). El ciclo de duración de una tormenta es de sólo una a dos horas, son de carácter local y se reducen casi siempre a sólo unas decenas de kilómetros cuadrados







Figura 51. Índice de peligro por tormentas eléctricas en el AEPH Presa Cajón de Peña. CENAPRED

#### 6.4. Contaminación de agua

Las principales fuentes de contaminación del agua en México tienen su origen en la basura que se arroja a los sistemas de alcantarillado, ríos y lagos; a las descargas de los centros urbanos y las industrias, así como las áreas agrícolas, principales responsables de la contaminación difusa en el país (Arreguín Cortés et al., 2010).

Entre de las principales problemáticas de acuerdo a la ficha informativa Cajón de Peña - Chamela de la CONABIO (n.d.) una de las principales problemáticas en la zona es la contaminación por agroquímicos y sedimentos en el río Tomatlán, así como la Eutroficación y aportes orgánicos por *Typha domingensis* y *Cerithium sp.* (ver Tabla 44).

Tabla 44. Procesos contaminantes

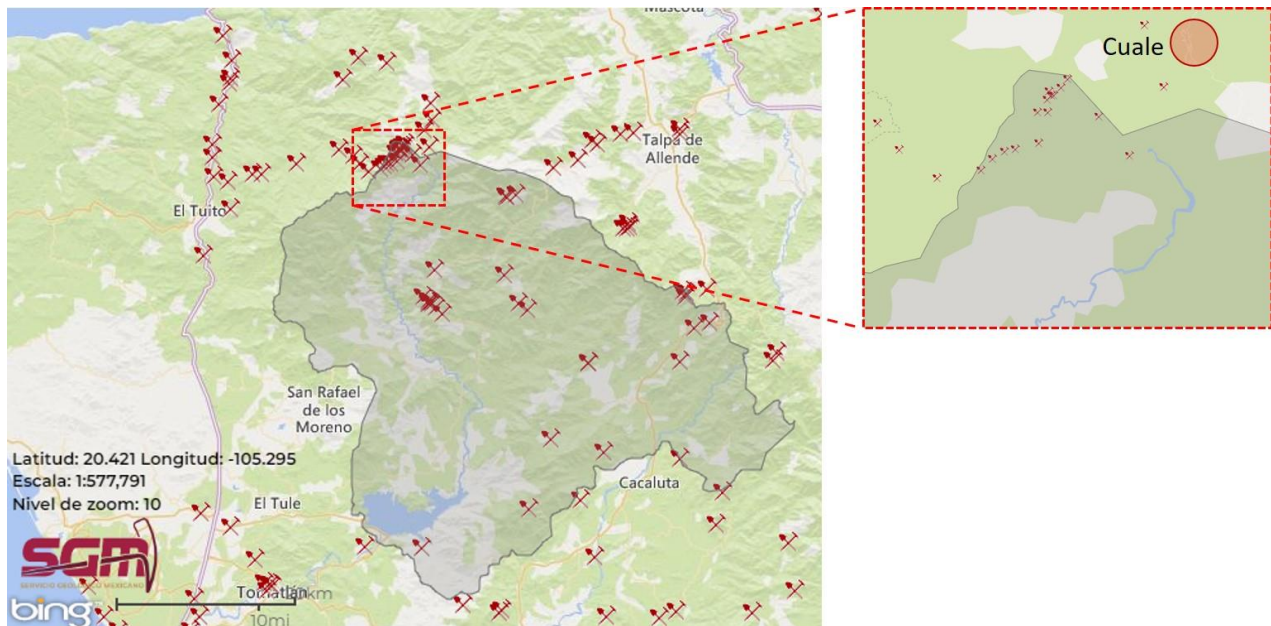
Tipo de proceso contaminante	
 <p><b>Contaminación por agroquímicos</b></p> <p>Hace referencia al uso de agroquímicos en zonas destinadas para la agricultura</p>	 <p><b>Eutroficación</b></p> <p>Proceso que consiste en el enriquecimiento de nutrientes, en particular el nitrógeno y fósforo, en un ecosistema acuático, provocando un rápido crecimiento de algas y otras plantas.</p>
 <p><b>Sedimentos</b></p> <p>Problema que suele estar especialmente asociado a la agricultura, causando aporte de sedimentos en ríos, lagos, estuarios, entre otros.</p>	 <p><b>Problemática por aportes orgánicos</b></p> <p>Aportes orgánicos principalmente por tule y pequeños moluscos.</p>



Hay que tomar en cuenta que la presencia de la Presa Cajón de Peña produce cambios en el régimen hidrológico del Río Tomatlán aguas debajo de la presa (procesos fuera del AEPH Presa Cajón de Peña). Entre los cambios que se presentan está la reducción del flujo y por lo tanto la reducción en la fuerza de la corriente y la capacidad de carga de los sedimentos, así como patrones de flujo diario y anual diferentes, fluctuaciones repentinas y descarga de sedimentos, modificando el ancho y el lecho del río, así como la calidad del agua y la biodiversidad (Brandt, 2000).

La contaminación difusa se localiza en la cercanía con las áreas de cultivos pertenecientes al distrito de riego y unidades de riego (fuera del AEPH Presa Cajón de Peña) produciendo alteraciones en el agua que llega a los sitios RAMSAR Estero El Chorro y Estero Majahuas.

Por otra parte, también existen riesgos como es el caso de la mina Cuale de yacimiento de sulfuros masivos volcanogénicos en el municipio de Talpa de Allende; En los años 90's por las fuertes lluvias y la falta de precaución de la mina se reventó un dique contenedor de desechos, derramando en un afluente del río Tomatlán y por consiguiente en la Presa Cajón de Peña. La contaminación anteriormente mencionada fue una de las mayores preocupaciones dado que la Presa Cajón de Peña es la más importante para el municipio, debido a que a inicios del 2010 aproximadamente concentro 470 mil metros cúbicos y es la mayor abastecedora para las actividades productivas (H. Ayuntamiento de Tomatlán, 2013). En la Figura 52 se puede observar la localización de localidad Cuale y al noreste de esta la ubicación de la mina antes mencionada, que actualmente se encuentra abandonada.



Fuente: Servicio Geológico Mexicano, 2019.

**Figura 52. Yacimientos minerales y ubicación de la localidad del Cuale**

## 6.5. Acuíferos

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos. La denominación de los acuíferos se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001. En el periodo 2003-2009 se publicaron sus delimitaciones geográficas, en tanto

que la publicación de las disponibilidades y sus actualizaciones se han llevado a cabo periódicamente desde el 2003 a la fecha (CONAGUA, 2018d).

Dentro del AEPH Presa Cajón de Peña se localizan dos acuíferos; Santa María en un 74% y Tomatlán en un 26%, esto de acuerdo con el conjunto de datos vectoriales de la disponibilidad de acuíferos de la CONAGUA (2018c).

En la Tabla 45 se presentan los datos correspondientes al acuífero Santa María y Tomatlán (ver Figura 53), los cuales se encuentra con disponibilidad de agua subterránea, es decir, se hace referencia al volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas, esto de acuerdo con las fichas de la “Actualización de la disponibilidad media anual de agua” de ambos acuíferos publicados en el Diario Oficial de la Federación el 4 de enero de 2018 (CONAGUA, 2018 a, b).

**Tabla 45. Disponibilidad media anual de aguas subterráneas**

Región hidrológico-administrativa	Acuífero	R	DNC	VEAS				DMA	
				VCAS	VEALA	VAPTYR	VAPRH	Positiva	Negativa
Cifras en millones de metros cúbicos anuales									
VIII Lerma Santiago Pacífico	Tomatlán	124	85.3	18.26	0	0.47	0	19.98	0
	Santa María	21.4	18.3	2.52	0	0.57	0	0.02	0

Fuente: CONAGUA, (2018 a, b)

**R:** recarga total media anual; **DNC:** descarga natural comprometida; **VEAS:** volumen de extracción de aguas subterráneas; **VCAS:** volumen concesionado/asignado de aguas subterráneas; **VEALA:** volumen de extracción de agua en las zonas de suspensión provisional de libre alumbramiento y los inscritos en el Registro Nacional Permanente; **VAPTYR:** volumen de extracción de agua pendiente de titulación y/o registro en el REPDA; **VAPRH:** volumen de agua correspondiente a reservas, reglamentos y programación hídrica; **DMA:** disponibilidad media anual de agua del subsuelo.

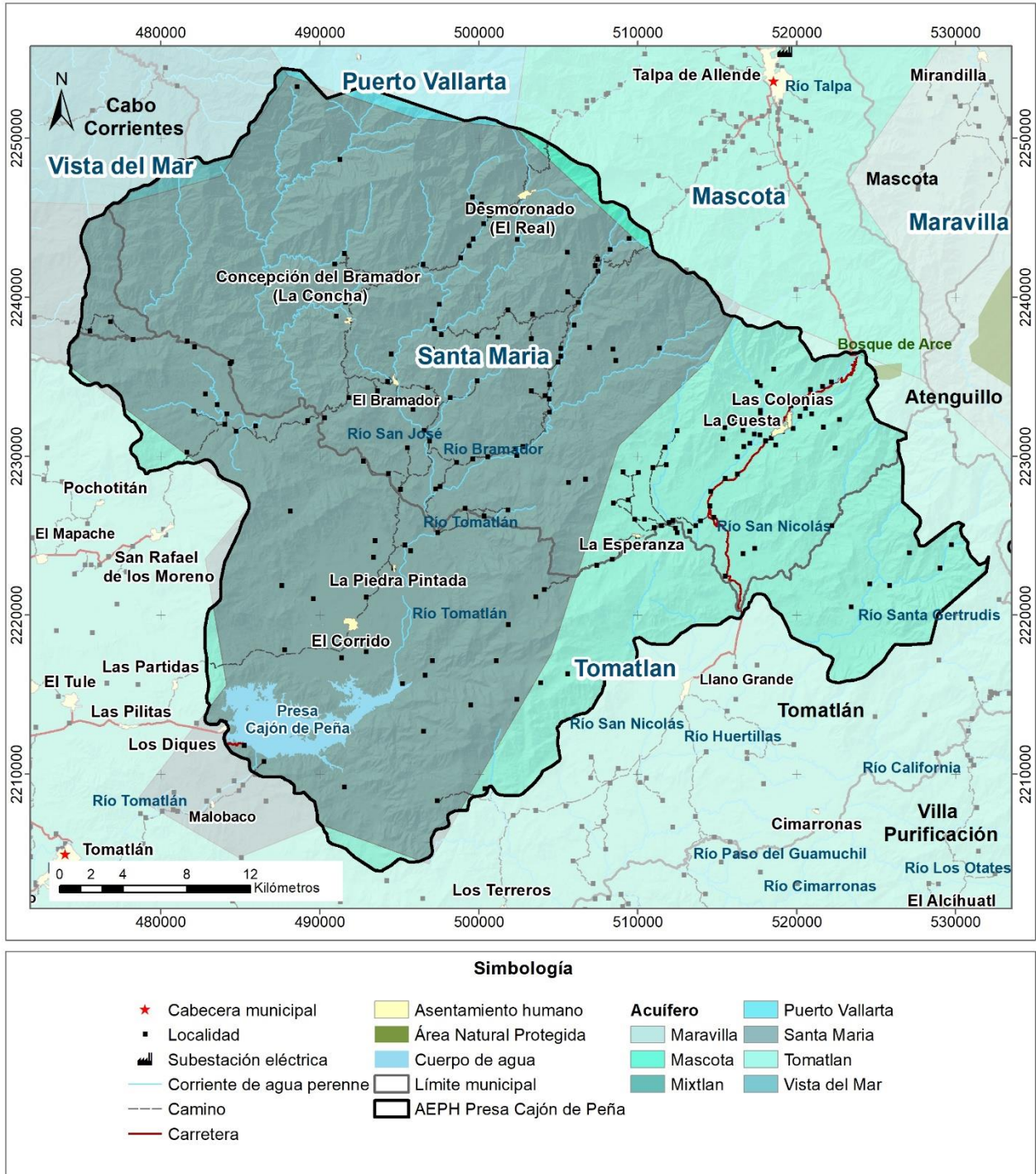


Figura 53. Acuíferos en el AEPH Presa Cajón de Peña

## 6.6. Calidad del agua

La calidad del agua se determina mediante la caracterización física y química de muestras de agua y su comparación con normas y estándares de calidad. De esta forma se puede identificar si el agua es idónea para los requerimientos de calidad asociados a un uso determinado; por ejemplo: el consumo humano o el ambiente, y en su caso, los eventuales procesos de depuración requeridos para la remoción de elementos indeseables o riesgosos (CONAGUA, 2018.- citado de la ONU, 2016). Cabe destacar, que el deterioro de la calidad del agua ocurre por procesos naturales o antropogénicos.

### Evaluación de la calidad del agua

Para realizar la evaluación de la calidad del agua se analizaron cuatro indicadores; Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF), de acuerdo con el conjunto de datos vectoriales de la calidad del agua que presenta el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la CONAGUA (2019, a,b,c,d).

La  $DBO_5$  y DQO son indicadores de la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua, proveniente principalmente de las descargas de aguas residuales tanto de origen municipal como no municipal. Los SST son aquellos que miden la cantidad de sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, teniendo su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo, que al incrementar hacen que un cuerpo de agua pierda su capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Los CF son indicadores de la presencia de aguas residuales, presentes en los intestinos de organismos de sangre caliente (incluido al ser humano) que son excretadas en sus heces fecales (CONAGUA, 2018d).

A continuación, se presenta la escala de clasificación de la calidad del agua superficial para cada uno de los indicadores, así como su descripción (Ver Tabla 46, Tabla 47 y Tabla 48)

**Tabla 46. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Criterio (miligramo/litro "mg/l")		Clasificación	Descripción
$DBO_5$	DQO		
$DBO_5 \leq 3$	$DQO \leq 10$	Excelente	No contaminada.
$3 < DBO_5 \leq 6$	$10 < DQO \leq 20$	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.
$6 < DBO_5 \leq 30$	$20 < DQO \leq 40$	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
$30 < DBO_5 \leq 120$	$40 < DQO \leq 200$	Contaminada	Aguas residuales superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
$DBO_5 > 120$	$DQO > 200$	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas residuales crudas municipales y no municipales.

Fuente: CONAGUA, 2015.

**Tabla 47. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en los Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

<b>Criterio (mg/l)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
SST $\leq$ 25	Excelente	Clase de excepción, muy buena calidad.
25 < SST $\leq$ 75	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.
75 < SST $\leq$ 150	Aceptable	Aguas superficiales con indicios de contaminación. Con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente, Condición regular para peces, riesgo agrícola restringido
150 < SST $\leq$ 400	Contaminada	Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Aguas con alto contenido de material suspendido.
SST > 400	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales de bajo impacto con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.

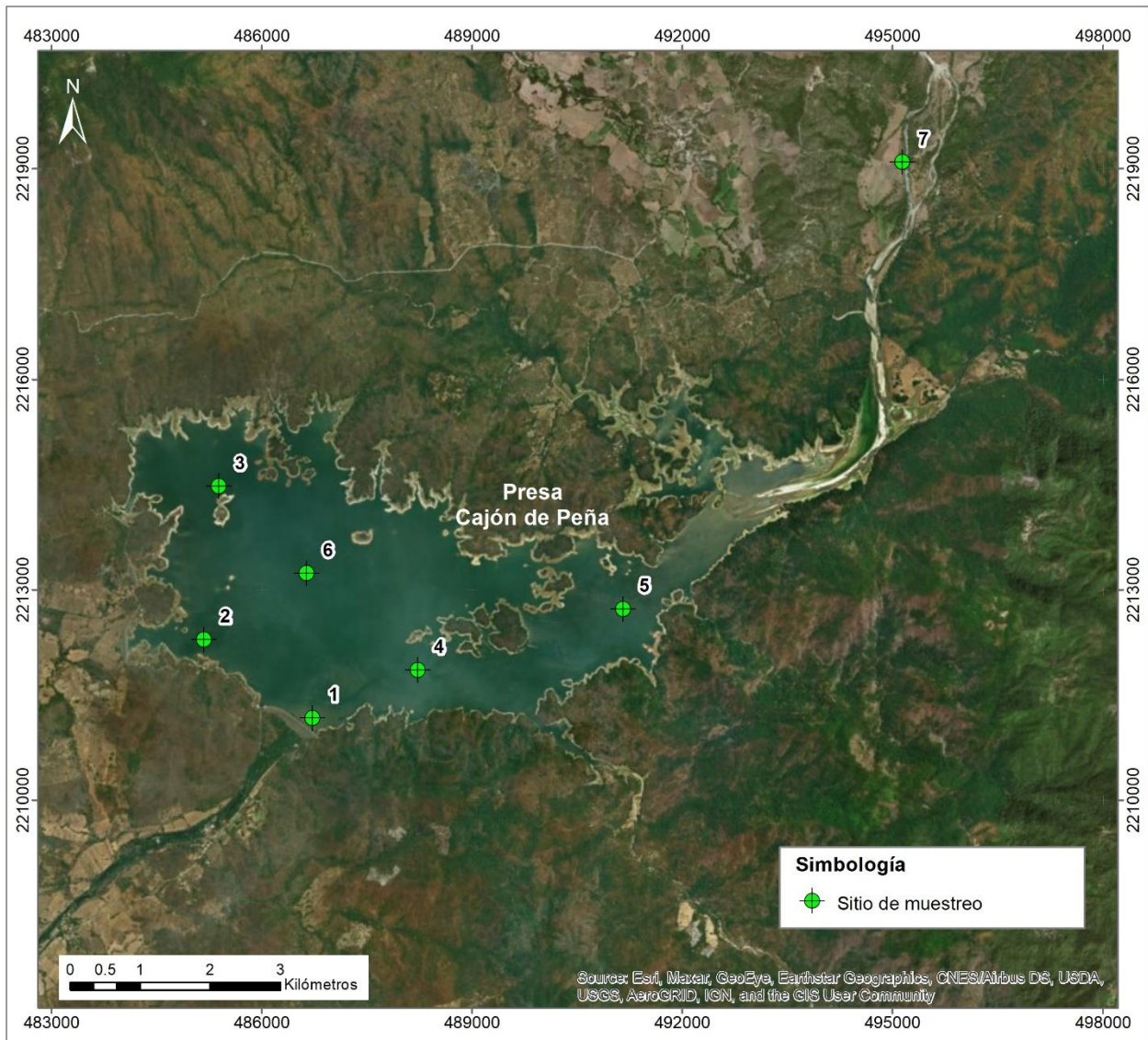
Fuente: CONAGUA, 2015.

**Tabla 48. Escala de clasificación de calidad del agua superficial con base en los Coliformes Fecales (CF)**

<b>Criterio (Número Más Probable/mililitros NMP/100ml)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
CF $\leq$ 100	Excelente	No contaminada.
100 < CF $\leq$ 200	Buena calidad	Aguas superficiales con calidad satisfactoria para la vida acuática y para uso recreativo primario.
200 < CF $\leq$ 1,000	Aceptable	Aguas superficiales con calidad satisfactoria como fuente de abastecimiento de agua potable y para riesgo agrícola.
1,000 < CF $\leq$ 10,000	Contaminada	Aguas superficiales con contaminación bacteriológica.
CF > 10,000	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte contaminación bacteriológica.

Fuente: CONAGUA, 2015.

Cada una de las escalas anteriormente presentadas, dan referencia de los criterios y clasificación en cualquier sitio que se esté estudiando. Para el caso específico del AEPH Presa Cajón de Peña se identifican 7 sitios de monitoreo, 6 de ellos localizados en la Presa Cajón de Peña y uno de ellos en el Río Tomatlán (Figura 54).



**Figura 54. Ubicación de los sitios de monitoreo de la calidad del agua**

En cuanto a la  $DBO_5$  se tienen buenos parámetros con excelente y buena calidad, para la DQO el sitio de muestreo 6 tiene una condición aceptable, lo que da muestra de indicio de contaminación, con valores de 21.84 mg/l. Referente a los sólidos suspendidos totales y coliformes fecales la calidad del agua es excelente a excepción de los coliformes fecales en el sitio de muestreo 7 del Río Tomatlán, el cual tiene una condición aceptable, lo que da referencia a aguas superficiales con calidad satisfactoria como fuente de abastecimiento de agua potable y para riesgo agrícola. Para mayor detalle se presenta los datos de los sitios de la calidad del agua en la Tabla 49 y Figura 55.

**Tabla 49. Datos de los sitios de la calidad del agua**

No.	Ubicación	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	CF	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	CF
		mg/l			NMP/100 ml	Calidad del agua			
1	PCP	5.24	18.48	5	1.5	Buena calidad	Buena calidad	Excelente	Excelente

No.	Ubicación	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	CF	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	CF
		mg/l			NMP/100 ml	Calidad del agua			
2	PCP	1	19.32	5	1.5	Excelente	Buena calidad	Excelente	Excelente
3	PCP	1	5	12	1.5	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
4	PCP	1	5	5	1.5	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
5	PCP	1	12.6	5	1.5	Excelente	Buena calidad	Excelente	Excelente
6	PCP	1	21.84	5	1.5	Excelente	Aceptable	Excelente	Excelente
7	Río Tomatlán	1	14.28	5	512	Excelente	Buena calidad	Excelente	Aceptable

PCP = Presa Cajón de Peña

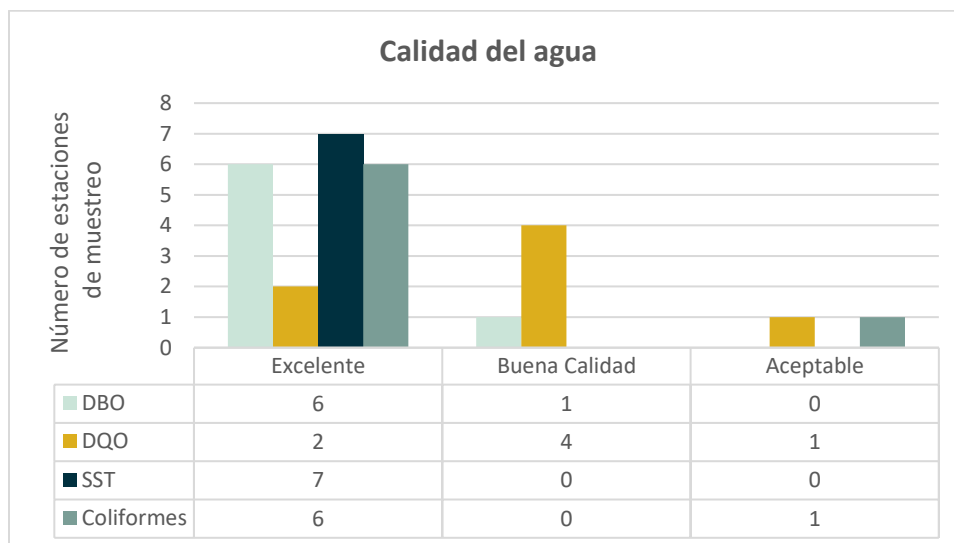


Figura 55. Calidad del agua en los sitios de muestreo

En términos generales las condiciones en cuanto la calidad del agua para cada uno de los indicadores en los sitios monitoreados son positivas, de ahí la importancia que cobra la conservación y preservación de del AEPH Presa Cajón de Peña.

## 6.7. Azolve

Para conocer la producción anual de sedimento de las microcuencas y su degradación específica, la cual se refiere al promedio del aporte de sedimento por unidad de superficie, se utilizó la proporción de desplazamiento del sedimento de Robinsosn, 1979, señalada por Becerra M. (2005), así como las ecuaciones para el cálculo del total de suelo erosionado, producción de sedimento y degradación específica; las cuales se señalan a continuación:

$$Eros = Pérdida de suelo * A$$

Donde:

Eros = total de suelo erosionado (t/año)

Pérdida de suelo = promedio de la pérdida de suelo en una cuenca (t/ha/año)

A = superficie de la cuenca (ha)

$$Ps = Td * Eros$$

Donde:

Ps = producción de sedimento (t/año)

Td = tasa de desplazamiento (Valores de tablas de Robinson, 1979 consultado en Becerra M. (2005))

Eros = total de suelo erosionado (t/año)

$$De = \frac{Ps}{A}$$

Donde:

De = degradación específica (t/ha/año)

Ps = producción de sedimento (t/año)

A = superficie de la cuenca (ha)

En la Tabla 50 se presentan los resultados del suelo erosionado, la producción de sedimento y la degradación específica para las microcuencas y el AEPH Presa Cajón de Peña. Se puede apreciar que en el AEPH Presa Cajón de Peña la producción de sedimento es de más de 4.6 millones de toneladas anuales y tiene una degradación específica de 29.14 t/ha/año.

De manera particular en las microcuencas del AEPH Presa Cajón de Peña, las de mayor producción de sedimentos son Río Bramador y Río San José con más de 1.2 millones de toneladas por año, seguidas de Río Coyol y Río San Nicolás – Alpisahua con más de 750,000 toneladas por año. De las microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña las de mayor producción de sedimentos son Río Bramador y Río San José, que son parte de los afluentes del Río Tomatlán; de manera conjunta, toda el área de captación del Río Tomatlán (microcuencas Río Bramador, Río El Coyol, Río San José y Río Tomatlán I) producen más de 3.7 millones de toneladas por año. Las 5 microcuencas restantes de los afluentes de la Presa Cajón de Peña producen más de 1.3 millones de toneladas de sedimentos por año; por lo que, se estima que la Presa Cajón de Peña recibe un total aproximado de 5.08 millones de toneladas de sedimentos por año.

**Tabla 50. Resultados del total de suelo erosionado, la producción de sedimentos y la degradación específica para el AEPH Presa Cajón de Peña y sus microcuencas**

Zonas analizadas	Área de Captación (ha)	Pérdida de suelo promedio (t/ha/año)	Total suelo erosionado (t/año)	Producción sedimento (t/año)	Degradación específica (t/ha/año)	
	A		Eros	Ps	De	
Microcuencas	Arroyo de León <sup>1</sup>	2,613.58	245.46	641,533.31	130,676.85	50.00
	Arroyo Sombrío <sup>1</sup>	2,074.80	498.50	1,034,284.22	223,216.12	107.58
	Cajón de Peña	6,935.50	238.31	1,652,792.18	235,122.90	33.90
	El Cuitzal <sup>1</sup>	6,299.69	517.23	3,258,396.39	471,819.86	74.90
	El Tule	9,682.37	174.79	1,692,408.02	222,163.27	22.95
	La Quebradora <sup>1</sup>	3,631.92	484.01	1,757,902.45	317,796.81	87.50
	Las Pintas <sup>1</sup>	6,712.69	237.16	1,591,964.74	227,888.52	33.95
	Los Horcones	19,305.63	138.95	2,682,464.76	298,796.36	15.48
	Río Bramador <sup>2</sup>	21,067.65	535.67	11,285,370.87	1,231,350.11	58.45
	Río El Coyol <sup>2</sup>	17,930.94	379.49	6,804,629.15	776,667.54	43.31
Río San José <sup>2</sup>	40,629.89	332.21	13,497,741.36	1,252,704.17	30.83	

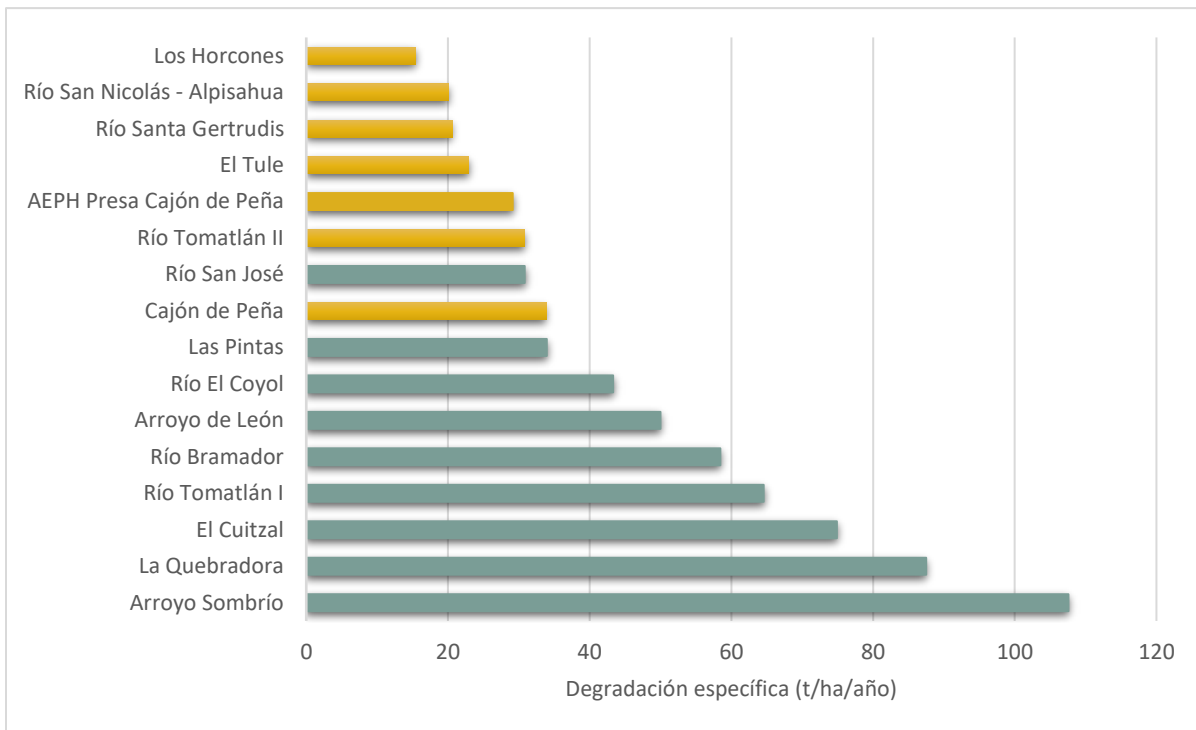


Zonas analizadas	Área de Captación (ha)	Pérdida de suelo promedio (t/ha/año)	Total suelo erosionado (t/año)	Producción sedimento (t/año)	Degradación específica (t/ha/año)
	A		Eros	Ps	De
Río San Nicolás - Alpisahua	37,506.02	210.39	7,891,065.51	752,899.57	20.07
Río Santa Gertrudis	11,339.73	161.59	1,832,336.73	233,294.10	20.57
Río Tomatlán I <sup>1</sup>	6,944.90	453.96	3,152,741.99	448,384.19	64.56
Río Tomatlán II	8,234.24	224.87	1,851,674.25	253,796.11	30.82
AEPH Presa Cajón de Peña	159,382.22	342.82	54,638,976.49	4,644,313.00	29.14

1 Microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña

2 Microcuencas de los afluentes del Río Tomatlán y de la microcuenca Río Tomatlán I

Por otra parte, las microcuencas con mayor degradación específica son Arroyo Sombrío y La Quebradora con 107.58 y 87.50 t/ha/año, respectivamente. En la Figura 56 se presentan de manera gráfica los valores de degradación específica de las microcuencas, categorizadas por ser afluentes de la Presa Cajón de Peña o no. Se puede apreciar que, de las microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña, las de mayor degradación específica son Arroyo Sombrío y La Quebradora, mientras que el AEPH Presa Cajón de Peña tiene una degradación específica de 29.14 t/ha/año.



■ Microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña  
 ■ Microcuencas de las escorrentías que drenan a otros afluentes

**Figura 56. Resultados de la degradación específica para las microcuencas que componen el AEPH Presa Cajón de Peña**

## Azolve en el embalse de la presa Cajón de Peña

En este apartado se analizó la existencia de azolve en el cuerpo de agua de la Presa Cajón de Peña, entendiendo por azolve al lodo o basura que obstruye un conducto de agua. El lodo es la mezcla de tierra y agua, especialmente la que resulta de las lluvias en el suelo (ASALE- RAE, 2019).

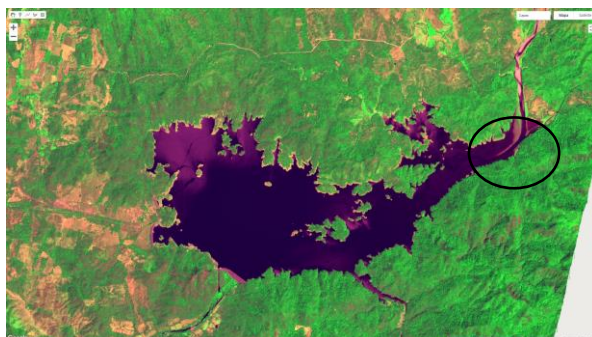
Ruiz-Luna y Berlanga-Robles (2006) en su estudio en el sistema lagunar Huizache-Caimanero en el estado de Sinaloa, México obtuvo resultados en los que se muestra de manera muy clara el potencial que tienen las actividades antropogénicas para modificar el paisaje, en especial la agricultura. Esta actividad, continua Berlanga, actúa de manera directa e inmediata sobre el manglar y la selva baja caducifolia, desplazándolas, pero también tiene un efecto posterior sobre las lagunas, ya que por tratarse de cultivos de temporal aceleran las tasas de erosión y azolve de las lagunas, esto sin considerar las alteraciones de los ciclos biogeoquímicos generados por la incorporación de nutrientes resultado de la fertilización.

En la caracterización realizada en este estudio técnico para el AEPH y en particular del cuerpo de agua de la Presa Cajón de Peña se muestran evidencias que indican que podría haber azolve. Hay datos relevantes que apuntan hacia esta situación de deterioro, por un lado, se documentó líneas arriba que en el AEPH Presa Cajón de Peña la producción de sedimento es de más de 4.6 millones de toneladas anuales y presenta una degradación específica de 29.14 t/ha/año.

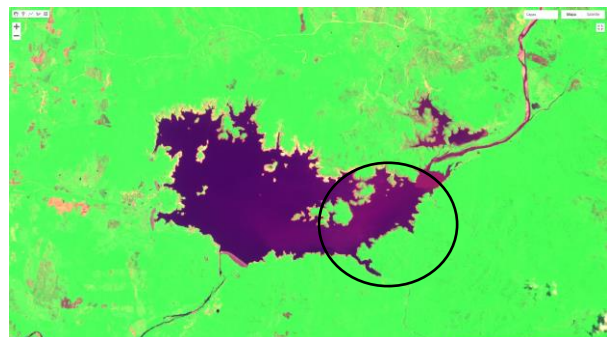
Para realizar el análisis de azolve (sedimentos y sólidos disueltos) se utilizó el editor de código de Google Earth Engine y la combinación de las bandas 4, 8 y 2 de imágenes Sentinel 2 para diferentes fechas. Se realizó la identificación de sólidos en suspensión siguiendo los juegos de bandas del NIR y el azul y rojo visible. De acuerdo con (Mantellanos, 2019), la banda NIR realza en color verde la vegetación y las masas de agua se muestran en tonalidades azul oscura. Los sólidos disueltos adoptan tonalidades marrones.

Se analizaron las imágenes para los meses de menor y mayor precipitación en el área de estudio (marzo en tiempos de secas y julio, agosto o septiembre para la época de lluvias) para los años de 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.

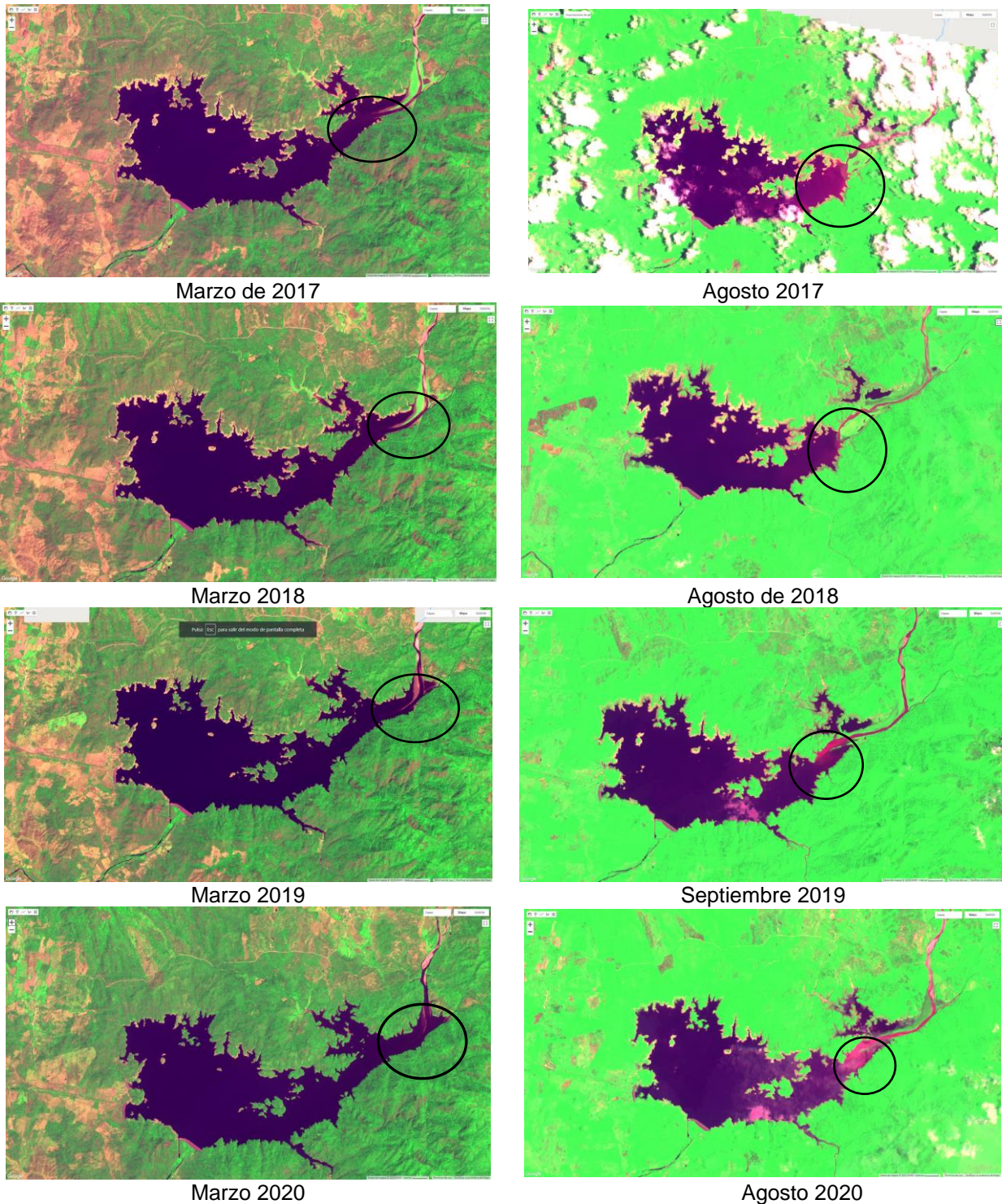
Al realizar este proceso de análisis se observó que la presencia de azolve en el cuerpo de agua es permanente, incluso se observa que también en tiempos de estiaje ingresa azolve por el río Tomatlán hacia la Presa Cajón de Peña, es probable que la condición de escurrimiento perenne de este río también contribuya a que durante gran parte del año se arrastren sedimentos al interior del embalse, como se observa en la Figura 57.



Marzo 2016



Julio 2016



**Figura 57. Sedimentos y sólidos disueltos en la Presa Cajón de Peña. Fuente: ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')**

Al observar con detalle la afluencia del río Tomatlán (círculos color negro) se aprecia que los sedimentos y sólidos disueltos ingresan al embalse de la Presa Cajón de Peña durante los periodos de secas y de lluvias incrementándose de manera significativa durante el segundo de ellos, esto

representa evidencia clara de que se están llevando a cabo los procesos de erosión que generan el azolve y a partir de ello la producción de sedimentos y sólidos disueltos en las aguas de la presa en estudio y su área de protección hidrológica como ya se mencionó párrafos atrás, que de acuerdo a la Tabla 50, la generación de sedimentos en las microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña se estima en 1'819,782.35 t/año y se estima que tenga una tendencia a la alza.

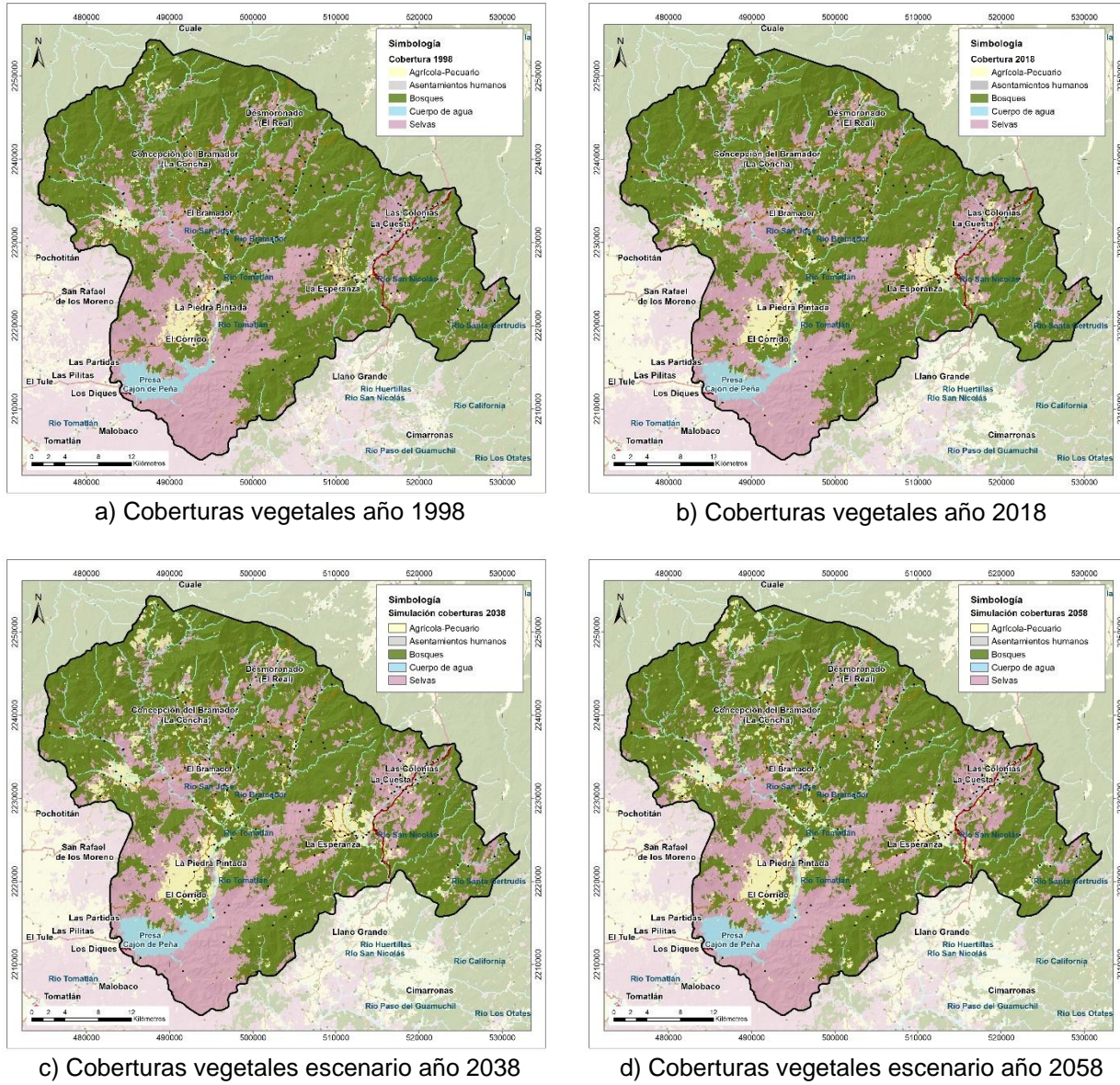
## **7. PROSPECCIÓN**

### **7.1. Cambio de uso del suelo**

A partir del conocimiento del estado actual de la vegetación, así como de los patrones de cambio de uso del suelo en el periodo de 1998-2018, se realizó la simulación del escenario futuro del estado de la vegetación y el uso del suelo en el AEPH Presa Cajón de Peña. La generación de escenarios futuros se realizó mediante la aplicación de un modelo de asignación de Autómatas Celulares (CA) múltiples con proyecciones generadas mediante el modelo de cadenas de Markov.

Debido a que los datos de cambio de uso del suelo para el AEPH presa Cajón de Peña se tienen para un periodo de 20 años (1998-2018), las proyecciones de demandas futuras de uso del suelo se estimaron para periodos del mismo número de años a partir del año base, por lo que se generaron dos escenarios, el primero para el año 2038 (año base 2018) y el segundo para el año 2058 (año base 2038).

En la Figura 58 se presentan las coberturas vegetales para el AEPH Presa Cajón de Peña, tanto la cobertura vegetal generada para el año 1998, la cobertura del suelo para el año 2018 (INEGI et al., 2018), así como los resultados de los escenarios generados para los años 2038 y 2058. Se observa que el principal cambio es el crecimiento de las áreas agrícola-pecuario hacia las áreas de bosques y selvas; destacan las zonas aledañas a las localidades de El Corrido, La Piedra Pintada, La Esperanza, y Las Colonias.



**Figura 58. Coberturas vegetales en el AEPH Presa Cajón de Peña para los años conocidos (1998 y 2018) y los escenarios generados para los años 2038 y 2058**

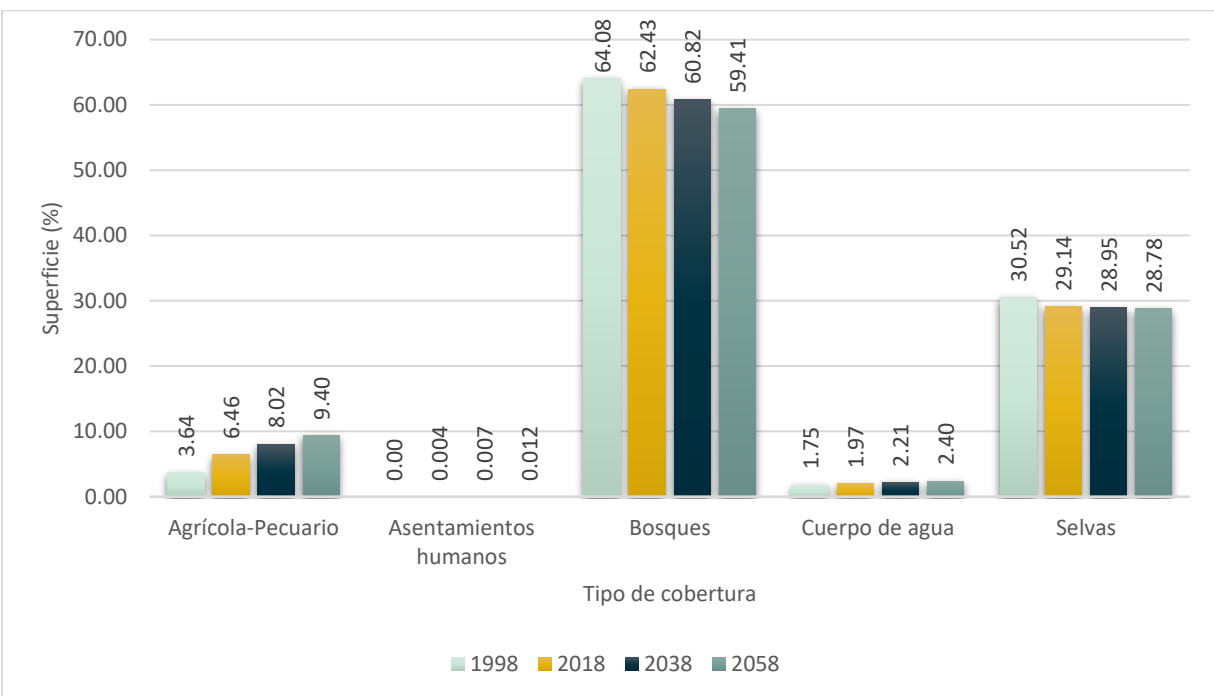
Con la información de coberturas vegetales de los años 1998, 2018, 2038 y 2058 se realizó el cálculo y la comparación de la superficie ocupada por cada tipo de cobertura vegetal para los dos años conocidos (1998 y 2018) y los escenarios generados (2038 y 2058). A partir de esta comparación se identificaron las dinámicas de cambio de uso del suelo y la tendencia de disminución de la cobertura forestal.

En el AEPH Presa Cajón de Peña se presenta una tendencia de disminución principalmente de la cobertura de bosques, ya que de ocupar el 64.08% de la superficie total en 1998, disminuyó al 62.43% en 2018, con base en los escenarios generados, se estima que para 2038 ocuparía el 60.82% y para 2058 el 59.41% de la superficie. La cobertura de selvas también presenta una disminución, pero en menor proporción, ya que en 1998 ocupaba el 30.52% de la superficie y para

2018 ocupaba el 29.14%, para los escenarios futuros se estima que la cobertura de selvas podría ser del 28.95% en 2038 y de 28.78% en 2058 (Figura 59).

Por otra parte, las coberturas de origen antrópico presentan una tendencia de aumento, principalmente la agrícola-pecuario, la cual ocupaba el 3.64% de la superficie en 1998 y casi duplicó su tamaño para el 2018 ocupando el 6.46%, siguiendo dicha tendencia, para 2038 se estima que podría ocupar el 8.02% de la superficie y para el 2058 el 9.40%. La cobertura de asentamientos humanos tiene poca presencia en el AEPH Presa Cajón de Peña, ya que los porcentajes que ocupa son por debajo del 1%, sin embargo, también presenta tendencia hacia el aumento (Figura 59).

En el caso de la cobertura de cuerpos de agua los cambios entre las fechas conocidas y los escenarios generados son menores al 1%. Cabe señalar que, aunque el cambio de uso del suelo no se identifica como una amenaza directa para los cuerpos de agua, están presentes otros factores de afectación como son el cambio climático, azolve y contaminación.



**Figura 59. Porcentaje de la superficie total ocupada por los diferentes tipos de cubierta vegetal para los años analizados en el AEPH Presa Cajón de Peña**

## 7.2. Fragmentación del paisaje

Para conocer el estado de fragmentación del AEPH Presa Cajón de Peña en los escenarios generados para los años 2038 y 2058 se realizó el cálculo de los índices de paisaje para las escalas de clase y paisaje que se aplicaron en la etapa de diagnóstico para las coberturas de los años 1998 y 2018 (Tabla 39). El análisis a escala de clase se realizó para las 5 clases de cobertura del suelo, mientras que para la escala de paisaje se analizó la cobertura de bosque (bosques y selvas) contra el resto de las coberturas.

En la Tabla 51 se presentan los resultados de los índices calculados a escala de clase para los escenarios de los años 2038 y 2058. Como se puede observar, hay una disminución en el porcentaje de paisaje (PLAND) ocupado por la clase de bosques y selvas y un aumento en las clases agrícola-pecuario y asentamientos humanos, lo que infiere la presencia de cambio de uso del suelo.

Por otra parte, para el año 2058 se estima habrá mayor fragmentación en las clases de bosques y selvas, ya que se observa un aumento en el número de parches (NP) y disminución en la densidad (PD) de estos. Asimismo, se presenta disminución en el tamaño medio de los parches (AREA\_AM), disminución en el borde total (TE) y estabilidad en la densidad de borde, lo que indica que los parches podrán tener formas más o menos regulares. Asimismo, en 2058 el área núcleo total de los parches (TCA) de las coberturas forestales será menor que en 2038, mientras que el porcentaje total del área de la clase (CAI\_AM) no presenta mayores cambios. Estos resultados suponen que en 2058 los parches serán de menor tamaño, sin embargo, las formas que pueda adoptar no generarán seran regulares por lo que no aumentará el efecto de borde.

Cabe destacar que las coberturas de origen antrópico presentarán aumento en el porcentaje de paisaje que ocupan, así como en el tamaño medio y en el total del área núcleo, mientras que tendrán disminución en el número y densidad de parches, lo que indica que estas clases irán formando parches consolidados con menor fragmentación.

**Tabla 51. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de clase para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas generadas en los escenarios de los años 2038 y 2058**

Índices de paisaje		Año	Clase				
			Agrícola-Pecuario	Asentamientos humanos	Bosques	Cuerpo de agua	Selvas
Área-Borde	PLAND	2038	8.02	0.0066	60.82	2.21	28.95
		2058	9.40	0.0124	59.41	2.40	28.78
	TE	2038	2,077,980.00	5,940.0000	4,696,890.00	210,000.00	3,989,250.00
		2058	2,164,380.00	7,680.0000	4,686,480.00	208,590.00	3,973,650.00
	ED	2038	13.04	0.0373	29.47	1.32	25.03
		2058	13.58	0.0482	29.40	1.31	24.93
AREA_AM	2038	800.89	1.2181	83,878.51	3,146.02	8,377.12	
	2058	828.62	4.7758	76,908.81	3,322.63	8,294.30	
Estructura	TCA	2038	4,684.23	0.0000	68,649.93	2,558.52	24,298.11
		2058	5,652.72	0.1800	66,869.55	2,787.84	24,113.88
	CAI_AM	2038	36.65	0.0000	70.83	72.70	52.66
		2058	37.75	0.9132	70.62	72.89	52.57
Agregación	PD	2038	0.66	0.0075	0.89	0.03	0.92
		2058	0.56	0.0069	0.97	0.02	0.91
	NP	2038	1,059.00	12.0000	1,413.00	50.00	1,471.00
		2058	886.00	11.0000	1,542.00	34.00	1,449.00

Los resultados de los índices calculados a escala de paisaje (cobertura de bosque respecto a las otras clases) muestran que para los escenarios de los años 2038 y 2058 disminuye el porcentaje



de paisaje ocupado por el parche más grande de la clase de cobertura de bosque (LPI), así como el tamaño medio de los parches (AREA\_AM), comparado con los índices de paisaje en 2018. Por otra parte, se presenta aumento en el índice de diversidad de Shannon's aplicado al paisaje, es decir, que será mayor la riqueza de parches de la cobertura de bosque y la conectividad (CONNECT) aumenta, lo que indica que habría mayor fragmentación y los parches estarían cercanos unos de otros, lo que puede ayudar a la conectividad y continuidad de los ecosistemas.

**Tabla 52. Resultado de los índices de paisaje calculados a escala de paisaje para el AEPH Presa Cajón de Peña para las coberturas generadas en los escenarios de los años 2038 y 2058**

Año	Índices del paisaje			
	LPI	AREA_AM	CONNECT	SHDI
2038	89.58	128,060.63	0.115	0.330
2058	87.97	123,555.74	0.130	0.363

### 7.3. Prospección riesgo

El daño es el grado de degradación o destrucción causado por un fenómeno peligroso sobre las personas, los bienes, los sistemas de prestación de servicios y los sistemas naturales o sociales. Desde el punto de vista estructural, generalmente se relaciona con deformaciones irreversibles (inelástica), por lo tanto, cualquier variable de daño debe de ser preferiblemente referida a una cierta cantidad de deformación.

El escenario de prospección planteado para el AEPH Presa Cajón de Peña estará en función de las condiciones de vulnerabilidad de los sistemas expuestos al aumento de las intensidades de los peligros analizados, se vuelve prioritario conocer, ubicar y visualizar de manera diferencial las condiciones de vulnerabilidad al impacto de los peligros y la amplitud que puede generar los efectos del cambio climático que inciden directamente en la población, el sistema natural, la infraestructura y las actividades económicas del área. Por consiguiente, la vulnerabilidad de un sistema se define por la siguiente ecuación:

$$V=E+S-CA$$

Donde:

V= vulnerabilidad;

E= exposición;

S= sensibilidad

CA= capacidad adaptativa

### **Vulnerabilidad a Sismos**

Las ondas generadas por los sismos que se propagan por la corteza terrestre y por debajo de ésta, provocando grietas en la superficie, sacudidas, vibraciones, licuefacción, corrimientos de tierras, réplicas o tsunamis.

Entre los factores agravante de un sismo son la hora a la que se produce el sismo y la intensidad de las réplicas, aunado a lo anterior se derivan incendios producto de la infraestructura dañada, los deslizamientos de tierras y los tsunamis.

Algunos factores que aumenta la vulnerabilidad de los sistemas expuestos a un sismo y estos factores se relacionan con las actividades humanas:

- Localización de asentamientos en zonas sísmicas

- Prácticas y normativas incorrectas en materia de construcción de edificios
- Gran densidad de edificaciones con altos índices de ocupación
- Falta de sistemas de alarma y de concienciación de la población acerca de los riesgos de sismos.

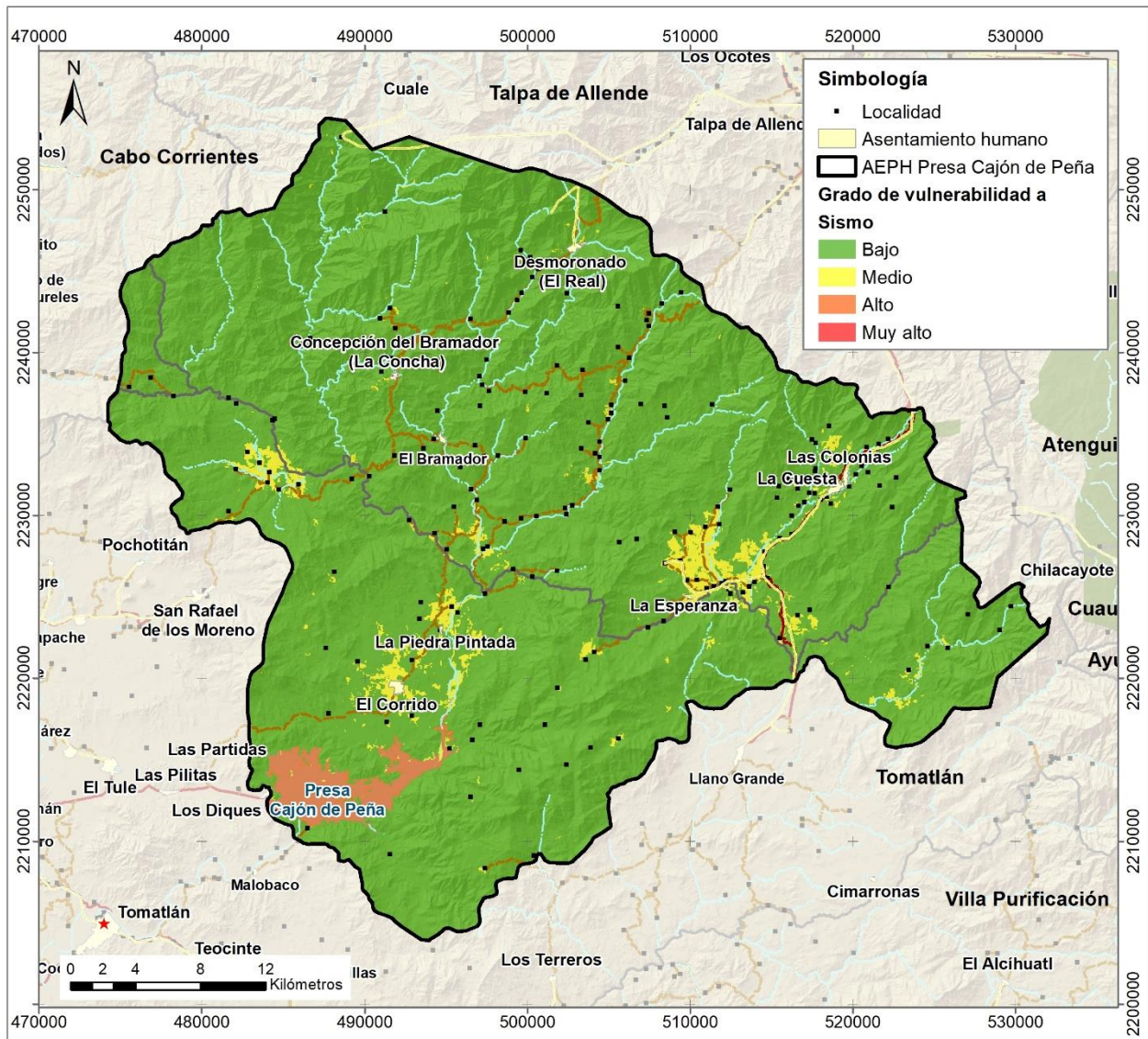
En promedio, en México, ocurren 5 sismos de magnitud mayor o igual a 6.5 cada 4 años, que está de acuerdo con los 160 sismos que se reportan en el catálogo para los 100 años de historia sísmica del país. Sismos de menor magnitud ocurren con mayor frecuencia, por ejemplo, cada año se registran más de 100 sismos con magnitudes mayores o iguales a 4.5, mientras que se espera un sismo con magnitud mayor o igual a 7.5 cada 10 años. Los sismos de subducción son los más frecuentes, en el catálogo se reportan 78 sismos del tipo de subducción, 45 sismos profundos, 3 sismos corticales dentro de la placa de Norteamérica y los 34 restantes ocurrieron a lo largo de las zonas de fractura oceánicas, las dorsales, las fallas en el norte de Baja California y dentro de la placa del Pacífico (Kostoglodov & Pacheco, 1999).

Debido a la ubicación AEPH Presa Cajón de Peña que se ubica en una zona sísmica “D” donde ocurren con frecuencia temblores de gran magnitud ( $M > 7$ ) y las aceleraciones del terreno pueden ser superiores al 70% de gravedad ( $g$ ), se determinará la vulnerabilidad de los sistemas expuestos al daño por sismos (Figura 60).

En la evaluación de los sistemas expuestos se trabajó con la cobertura del suelo obteniendo los siguientes valores de vulnerabilidad a sismo, el 94.8% tiene un riesgo bajo esto debido a que corresponde a la vegetación natural, el 3.3% corresponde a un riesgo medio afectando la agricultura y su infraestructura, 1.8% corresponde a la infraestructura propia de la presa Cajón de Peña y por último con grado de riesgo muy alto les corresponde a los centros de población (Tabla 53).

**Tabla 53. Grado de vulnerabilidad por sismo en los sistemas expuestos en el AEPH Presa Cajón de Peña**

<b>Grado</b>	<b>Hectáreas</b>
Bajo	151,151.88
Medio	5,336.06
Alto	2,887.08
Muy alto	7.21
<b>Total</b>	<b>159,382.22</b>



**Figura 60. Vulnerabilidad a sismo en el AEPH Presa Cajón de Peña**

El escenario de vulnerabilidad es la representación de los resultados de la interacción de los diferentes factores de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) en un territorio y en un momento dado. De ahí la importancia de proteger el AEPH Presa Cajón de Peña y su vegetación natural.

### **Vulnerabilidad a la Susceptibilidad de Laderas**

La velocidad con que se mueven las laderas varía mucho dependiendo del tipo de movimiento (caído, deslizamiento o flujo), de la inclinación del terreno y de la cantidad de agua. Los caídos y los flujos pueden alcanzar grandes velocidades.

Los movimientos de laderas se clasifican en dos tipos, el primero es el movimiento lento y está directamente relacionado con los siguientes aspectos:

- En antiguos movimientos con posibilidad de reactivación

- A lo largo o en la base de taludes
- A lo largo o en la base de cuencas de drenaje menores u otras depresiones
- En el tope o en la base de antiguos taludes de relleno
- En el tope o en la base de cortes en taludes empinados
- En laderas desarrolladas donde se usen pozos sépticos u otras estructuras de donde las aguas usadas se pueden filtrar

El segundo tipo tiene que ver con el movimiento de ladera rápidos y está directamente relacionado con los flujos que pueden alcanzar velocidades considerables, esto se origina en taludes con pendientes inclinadas. Una vez que el flujo inicia es capaz de moverse por áreas relativamente planas o de poca inclinación. Las áreas más peligrosas son aquellas localizadas en el fondo de un cañón y en taludes que han sido excavados para construir carreteras y edificaciones.

El escenario a futuro representado por la vulnerabilidad a la susceptibilidad de ladera en el AEPH Presa Cajón de Peña tiene que ver con las actividades humanas que pueden desencadenar problemas de inestabilidad de laderas y son:

- Actividades de construcción que involucran cambios en la pendiente natural del terreno y que alteran el régimen natural de escurrimiento del agua superficial y subterránea
- Cambios en la pendiente natural del terreno, resultantes de la construcción de terrazas para uso agrícola
- Deforestación
- Actividad minera

Si estas actividades e instalaciones no se diseñan y construyen apropiadamente, pueden incrementar el ángulo de inclinación original de las laderas, reducir el apoyo lateral o al pie de estas, o sobrecargar la parte alta de un talud potencialmente inestable.

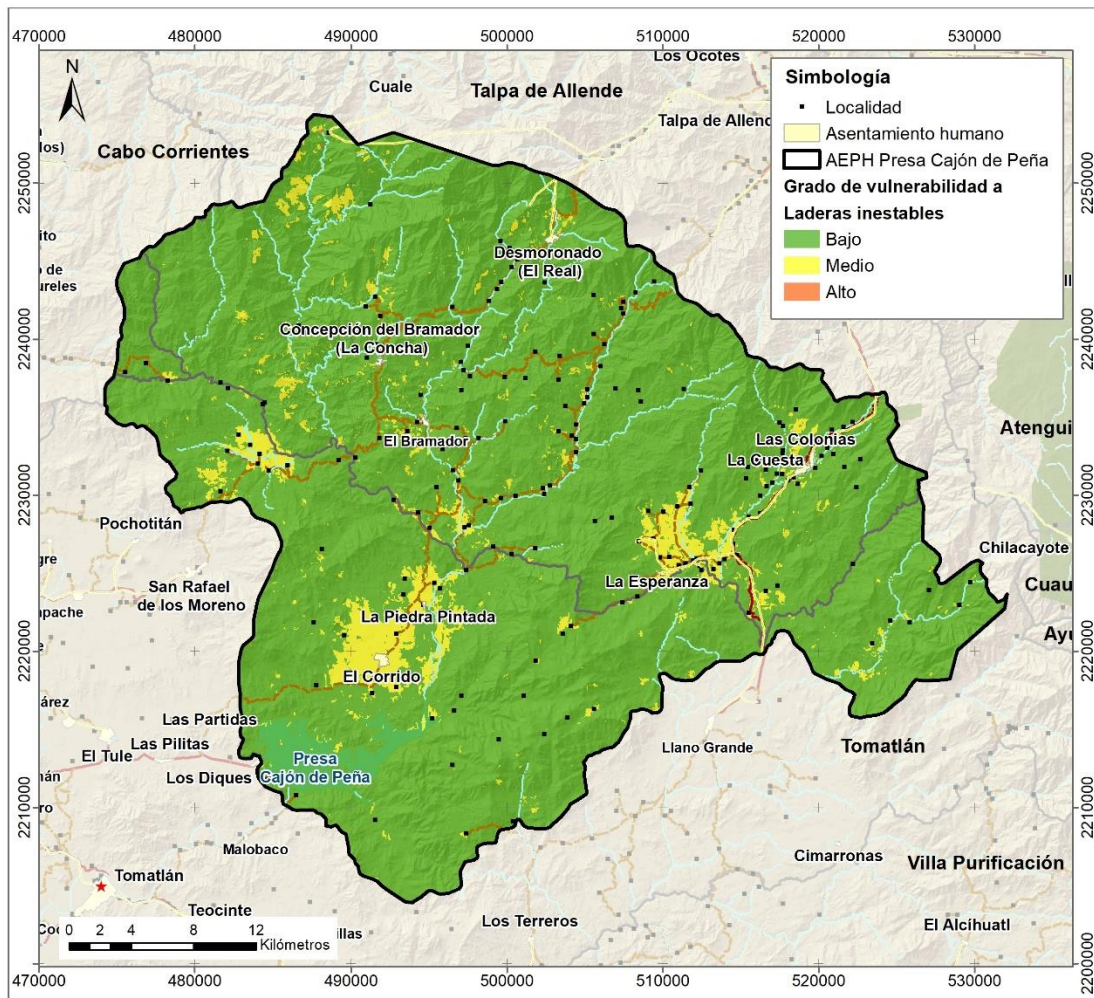
Otro aspecto importante son los cambios en las actividades de riego para agricultura, o variaciones en los volúmenes de escurrimientos, producto de lluvias extraordinarias pueden causar cambios en las condiciones naturales de drenaje del terreno, incrementando la erosión, elevando el nivel original del agua subterránea. También, la presencia de una población instalada en forma irregular sobre una ladera puede alterar las condiciones de escurrimiento e infiltración de agua, al no contar con obras de abastecimiento de agua potable y drenaje apropiadas (CENAPRED, 2001).

El resultado de la evaluación de los sistemas expuestos nos dio como resultado el grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a la inestabilidad de laderas susceptibles a deslizamiento en el AEPH Presa Cajón de Peña, se encontró que el 93.5% de la superficie tiene un grado bajo a la inestabilidad de ladera debido a la vegetación natural bien conservada, solo el 6.4% tiene un grado medio de vulnerabilidad debido a la intervención del humano y por ultimo lo correspondiente al 0.02% corresponde un grado de vulnerabilidad alto al sistema urbano y las zonas erosionadas (Tabla 54 y Figura 61).

**Tabla 54. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a la susceptibilidad de laderas inestable en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Grado	Cobertura	Hectáreas
Bajo	Bosque templado	99,503.8
	Cuerpo de agua	3,010.6
	Selvas	46,543.7
Medio	Agrícola	5,212.5

Grado	Cobertura	Hectáreas
	Pastos y herbáceas	5,077.4
Alto	Sin vegetación	27.0
	Urbano	7.2
<b>Total</b>		<b>159,382.2</b>



**Figura 61. Vulnerabilidad a la susceptibilidad de laderas inestable en el AEPH Presa Cajón de Peña**  
**Vulnerabilidad a Ciclones Tropicales**

México es altamente vulnerable a los huracanes por ubicarse entre los océanos Pacífico y Atlántico, factor al que se suma el calentamiento global que en más de cinco décadas se ha disparado a consecuencia de las actividades humanas impulsadas por combustibles fósiles que emiten gases de efecto invernadero (GEI).

El cambio climático ha ocasionado un desequilibrio en el planeta al incrementarse la temperatura de los océanos, entre .5 y un grado centígrado por arriba de su promedio histórico.

De acuerdo con el estudio ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo, la temperatura de la superficie del mar en el Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano aumentaría entre 1 y 2 °C hacia el año 2020, y surgirían huracanes con categorías superiores a las de la escala Saffir-Simpson, debido principalmente a que las aguas calientes de los mares aumentan la fuerza de los huracanes y en consecuencia la magnitud de sus daños.

De acuerdo con las investigaciones más recientes sobre el cambio climático, advierte que desde el 2015 hasta la fecha es 14 veces más probable que los huracanes de categoría 6 sean comunes, con vientos cercanos a los 375 km/h y oleaje de hasta 12 metros (SEMARNAT, 2018).

El análisis de vulnerabilidad de los sistemas expuestos del AEPH Presa Cajón de Peña para un ciclón modelo tipo Jova (2011), donde la exposición se definió como la magnitud del peligro, la sensibilidad como el grado en que un sistema es afectado por la variabilidad climática y la capacidad adaptativa la referimos a los recursos humanos e institucionales que permiten detonar procesos adaptivos a una problemática, para esta variable se consideró los ecosistemas y efectos climáticos en el territorio (Tabla 55).

**Tabla 55. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a ciclones tropicales en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Grado	Cobertura	Hectáreas
Bajo	Cuerpo de agua	3,010.6
	Pastos y herbáceas	5,077.4
Medio	Sin vegetación	27.0
	Bosque templado	99,503.8
Alto	Selvas	46,543.7
	Agrícola	5,212.5
Muy alto	Urbano	7.2
	<b>Total</b>	<b>159,382.2</b>

La evaluación de la vulnerabilidad del AEPH Presa Cajón de Peña de los sistemas expuestos a los efectos de los ciclones tropicales nos indica que la mayor superficie expuesta corresponde a grado alto con 91.6%, posteriormente se ubica con el 3.2% de la superficie con grado medio, 3.2% con grado alto y por último se ubica los sistemas con grado bajo a vulnerabilidad con el 1.8% (Figura 62).

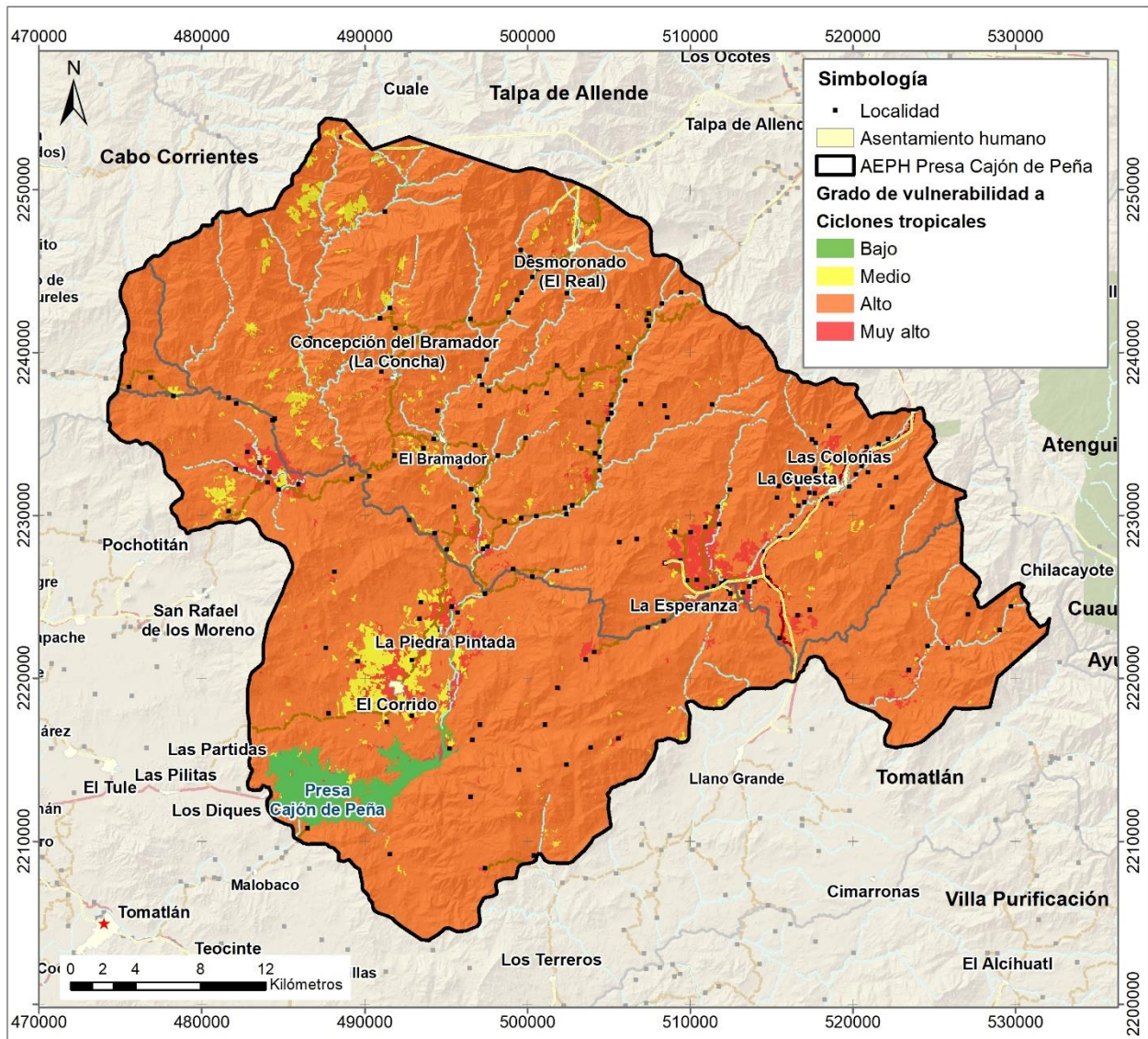


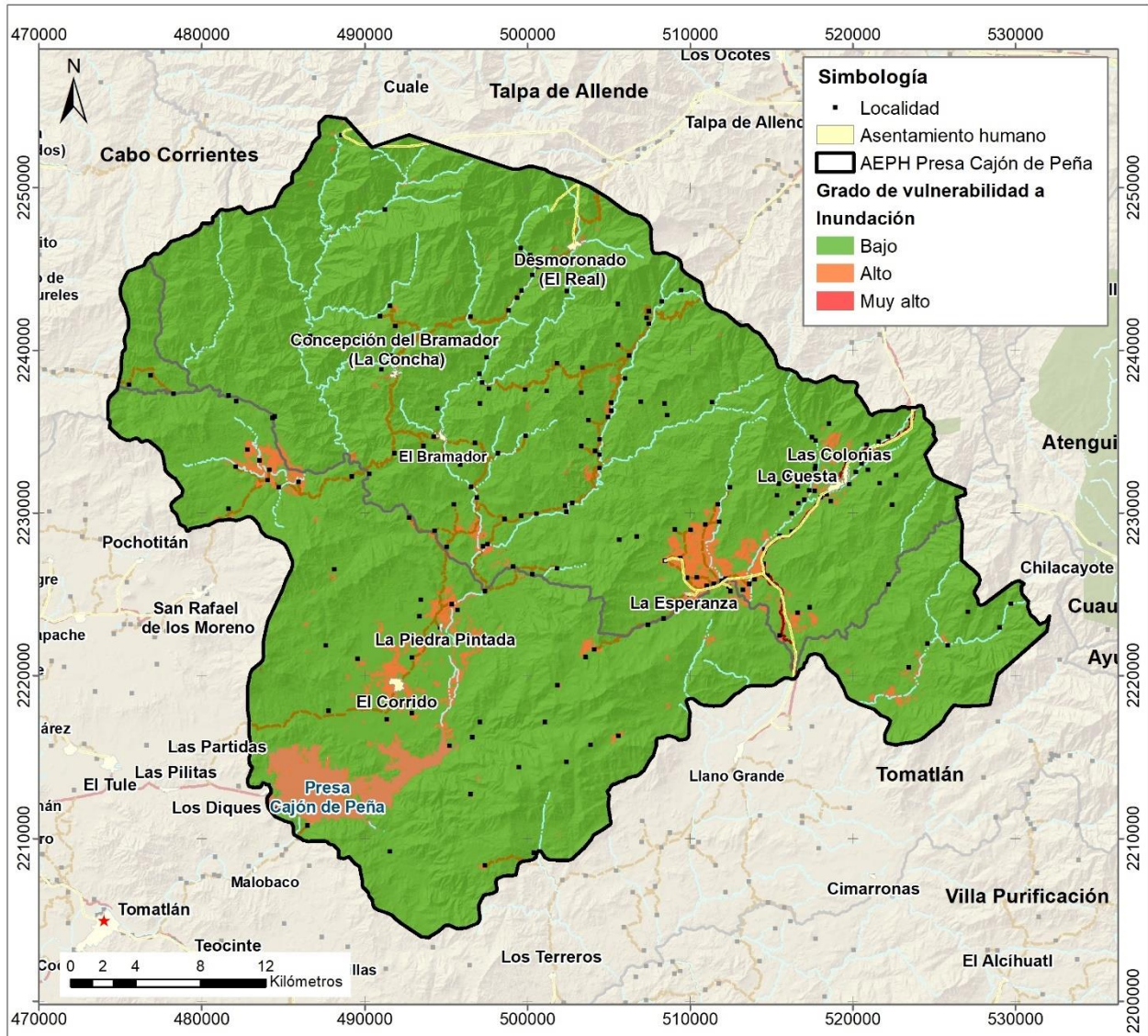
Figura 62. Vulnerabilidad a ciclones tropicales en el AEPH Presa Cajón de Peña

### **Vulnerabilidad a Inundaciones**

Un posible escenario en la degradación ambiental de los ecosistemas del AEPH Presa Cajón de Peña puede ser el resultado de eventos naturales como los incendios forestales, deslizamientos de tierra o fenómenos meteorológicos extremos como sequías, huracanes, tornados o inundaciones, entre otros; incluso la sinergia de estos eventos con las actividades humanas puede agravar la situación de los ecosistemas en el área.

Las inundaciones rápidas o dinámicas suelen producirse en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas vertientes presentan fuertes pendientes, por efecto de lluvias intensas. Las crecidas son repentinas y de corta duración. Son estas las que llegan a generar los mayores daños en la población, sobre todo porque el tiempo de reacción es prácticamente nulo.

La vulnerabilidad de los sistemas expuestos en el AEPH Presa Cajón de Peña se establece con la relación espacial de sobreposición entre los factores detonantes si existe coincidencia entre las zonas de inundación TR 100 años, rasgo hidrológico (perenne o intermitente) y precipitaciones extraordinarias con periodo de retorno de 50 y 100 años (Figura 63).



**Figura 63. Vulnerabilidad a inundaciones en el AEPH Presa Cajón de Peña**

La evaluación de la vulnerabilidad del AEPH Presa Cajón de Peña de los sistemas expuestos a los efectos de las inundaciones que en la mayoría de la superficie presenta un grado bajo debido en gran parte a la vegetación natural presente en el área con el 94.8%, posteriormente encontramos con el 5.1% una vulnerabilidad alta y resto con una vulnerabilidad muy alta (Tabla 56).



**Tabla 56. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a inundaciones en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Grado	Cobertura	Hectáreas
Bajo	Bosque templado	99,503.8
	Pastos y herbáceas	5,077.4
	Selvas	46,543.7
Alto	Agrícola	5,212.5
	Cuerpo de agua	3,010.6
	Sin vegetación	27.0
Muy alto	Urbano	7.2
<b>Total</b>		<b>159,382.2</b>

### **Vulnerabilidad a Tormenta Eléctrica**

Debido a que las tormentas eléctricas pueden ser de tipo severa y estar relacionada con otras condiciones climáticas como son, la producción de granizo con diámetro de tres cuartos de pulgada por lo menos, producen vientos aproximadamente a 93 km/hr o más y en algún caso puede ocasionar tornado.

Las tormentas eléctricas causan daños materiales y humanos, esto debido a la precipitación que las acompañan y producen inundaciones, al mismo tiempo se debe de considerar las afectaciones que puede producir los vientos intensos que pueden derribar árboles, postes y otros objetos capaces de herir a los transeúntes.

Si a lo anterior, añadimos la frecuencia de los relámpagos durante una tormenta eléctrica y también tomar en cuenta los posibles incendios causados por las descargas eléctricas.

La exposición de los sistemas afectables del AEPH Presa Cajón de Peña se concentra en la vulnerabilidad de la población que se ubica en el área y realiza sus labores a la intemperie, propiamente trabajadores del campo, obreros de la construcción, etc. (Tabla 57 y Figura 64).

**Tabla 57. Grado de vulnerabilidad de los sistemas expuestos a tormentas eléctricas en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Grado	Cobertura	Hectáreas
Bajo	Bosque templado	99,503.8
	Pastos y herbáceas	5,077.4
	Selvas	46,543.7
	Sin vegetación	27.0
Medio	Agrícola	5,212.5
Alto	Cuerpo de agua	3,010.6
Muy alto	Urbano	7.2
<b>Total</b>		<b>159,382.2</b>

La evaluación de la vulnerabilidad del AEPH Presa Cajón de Peña de los sistemas expuestos a los efectos de las tormentas eléctricas prácticamente es de grado bajo registrando el 94.8% de la superficie total del área, esto debido en su gran mayoría a la vegetación natural, con el 3.2% encontramos una vulnerabilidad media correspondiente a las zonas agrícolas, 1.8% corresponde

una vulnerabilidad alta correspondientes a los cuerpos de agua y el resto se registra una vulnerabilidad muy alta en los centros de población.

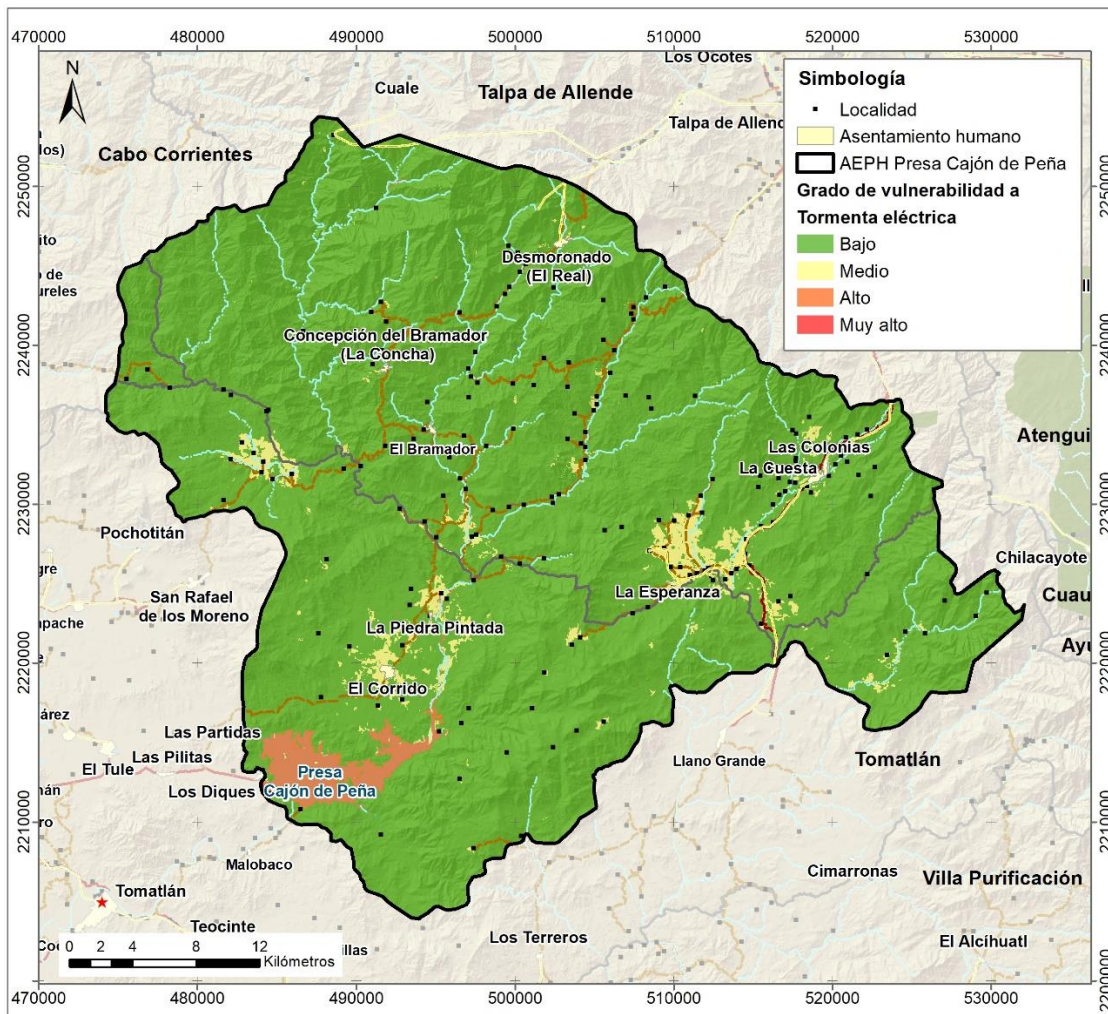


Figura 64. Vulnerabilidad a tormentas eléctricas en el AEPH Presa Cajón de Peña

#### 7.4. Prospección del azolve

El embalse de la Presa Cajón de Peña y las microcuencas tributarias presentan problemas de azolve, sedimentos y degradación tal como quedó documentado en el diagnóstico de este estudio justificativo. Las microcuencas Arroyo de León, Arroyo Sombrío, el Cuitzal, la Quebradora, las Pintas y el río Tomatlán I, arrastran y dispersan lodo y basura al cuerpo de agua, Figura 65.



**Figura 65. Arrastre hacia el cuerpo de agua de la Presa Cajón de Peña de sedimentos y sólidos disueltos por el río Tomatlán en mayo de 2020**

Este proceso de deterioro ambiental que padece el embalse tiene una tendencia a crecer en lo que resta del presente siglo XXI pues el cambio de uso del suelo (CUS), la principal variable que lo provoca tiene una tendencia incremental como ha quedado documentado en el apartado de prospección de cambios de uso del suelo.

No hay duda de la presencia de esta complicación y en estudios relacionados con el cambio climático, aparece el azolve como uno de los actores clave en el concierto de problemas que tendrán que enfrentar los humedales (Friedman, 2009), en su estudio sobre adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México destaca al azolve como uno de los impactos previsibles por el cambio climático.

En estudios recientes en los humedales costeros de Tomatlán, JICOSUR, 2020, se documenta que el estero el Chorro y las lagunas Xola-Paramán y Chalacatepec son los Humedales Costeros de Tomatlán que mayor avance en rellenar sus cuencas sedimentarias podrían presentar durante el siglo XXI, en algunos casos como el Chorro podría ser de 87 por ciento.

La pregunta para la Presa Cajón de Peña es; ¿Existe riesgo de que la cuenca sedimentaria de la Presa Cajón de Peña pueda ser rellenadas con lodos o basura? para llegar a ese dato, se utilizó un modelo digital del terreno y el conjunto de datos del cambio de uso de suelo del área de estudio en sus dos series (2015-2038) y (2036-2058) y el resultado de la sedimentación (t/año) considerando la generación de sedimentos de la Tabla 58.

**Tabla 58. Toneladas por año (t/año) de sedimentos producidas en las microcuencas de los afluentes de la Presa Cajón de Peña**

Año	t/año
2038	1,930,436.13
2058	1,944,578.41

La exploración se centró en ubicar las áreas de escurrimiento que comportarán para 2038 y 2058 cambios de uso de suelo, de vegetación natural a usos que incrementan la capacidad de escurrimiento, calcular el volumen de sedimentos en toneladas y proponer un “modelo” de sedimentación de la Presa Cajón de Peña, la conversión de toneladas de lodo por Ha se convirtió a m<sup>3</sup>, con base en (SEMARNAT, 2008) que considera que 1.5 toneladas de residuos sólidos como los lodos con diferentes concentraciones de agua podría ser convertido a un m<sup>3</sup>.

La capacidad de almacenamiento de la cuenca sedimentaria se puede ver reducida por la acumulación de sedimentos producido en las microcuencas alimentadoras de la Presa Cajón de Peña, el volumen producido se relaciona directamente con el tamaño del área de escurrimiento y con la prospección de erosión de acuerdo con los modelos de cambio de uso de suelo utilizados. Los resultados se muestran en la Tabla 59.

**Tabla 59. Prospección de acumulación en la cuenca sedimentarias de la Presa Cajón de Peña.**

t/año 2038	t/año 2058	m <sup>3</sup> de sedimentos acumulables de 2018-2038	m <sup>3</sup> de sedimentos lodo acumulables de 2038-2058	Avance en rellenar de 2018 a 2058 para el NAMO 442.758 hm <sup>3</sup>	Avance en rellenar de 2018 a 2058 para el NAME 707.620 hm <sup>3</sup>
1'286,957.42	1'296,385.61	25'739,148.4	25'927,712.2	11.6%	7.2%

Hay que tener en cuenta que el embalse de la Presa Cajón de Peña tiene una capacidad de almacenamiento de 276.6 hm<sup>3</sup> de los según se ve en los análisis previos 51.6 hm<sup>3</sup> se podrían constituir por sedimentos en los próximos 40 años, este significa el 11.6% de la capacidad para el Nivel de aguas máximo ordinario (NAMO) y de apenas el 7.2% de la capacidad total hasta el nivel de aguas máximo extraordinario (NAME).

## 7.5. Modelo de cambio climático

La síntesis del quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) confirma que la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes y océanos. Muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios.

El IPCC está hoy seguro con un 95% de certeza de que la actividad humana es actualmente la causa principal del calentamiento global. Además, el Informe de síntesis concluye que cuanto mayor sea la perturbación de la actividad humana sobre el clima, mayores serán los riesgos de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas, y más duraderos serán los cambios en todos los componentes del sistema climático.

El Informe destaca que disponemos de los medios para limitar el cambio climático y sus riesgos y de muchas soluciones que permiten el continuo desarrollo económico y humano. Sin embargo, para estabilizar el aumento de la temperatura por debajo de 2 °C respecto de los niveles preindustriales (año 1850) será necesario un cambio radical y urgente del statu quo. Además, cuanto más esperemos a actuar, mayores serán el costo y los desafíos tecnológicos, económicos, sociales e institucionales que enfrentaremos (IPCC, 2014).

Desde aproximadamente 1950 se han observado cambios en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Algunos de estos cambios han sido asociados con influencias humanas, como por ejemplo la disminución de las temperaturas frías extremas, el aumento de las

temperaturas cálidas extremas, la elevación de los niveles máximos del mar y el mayor número de precipitaciones intensas en diversas regiones (IPCC, 2014).

Los impactos de los recientes fenómenos extremos conexos al clima, como olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones e incendios forestales, ponen de relieve una importante vulnerabilidad y exposición de algunos ecosistemas y muchos sistemas humanos a la actual variabilidad climática (IPCC, 2014). Los ecosistemas costeros son referidos frecuentemente en el informe como de los más vulnerables a los cambios del clima, porque los cambios no sólo serán experimentados en los ecosistemas terrestres, si no los ecosistemas marinos ya presentan cambios, algunos como la acidez serán de larga duración.

En este apartado del estudio técnico justificativo se busca aportar datos y su análisis para comprender la magnitud del cambio en tres variables climáticas fundamentales, estas son temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación acumulada.

Para el análisis de los datos se utilizó un sistema de información geográfica (SIG) en el que se comparó con el uso de álgebra de mapas, los datos climáticos históricos con los datos climáticos futuros, utilizando el modelo climático de circulación general (GCM): GFDL-CM3 desarrollado por el Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos de NOAA y los datos históricos (1960-1990) de WorldClim (2020)<sup>3</sup>.

El método de análisis consiste en calcular la diferencia relativa (mes de junio) entre los años de referencia (1960-1990) respecto al año 2050, así como con respecto al año 2070, estos cambios se interpolan a una cuadrícula con una resolución alta (~ 1 km). Se supone que el cambio climático es relativamente estable en el espacio (alta autocorrelación espacial) (Hijmans, 2005).

Para el presente análisis se realizará un análisis relativo al mes de junio comparando el clima actual de referencia para las variables de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación acumulada, respecto al mismo mes de junio de dos años objetivo 2050 y 2070 para el polígono de AEPH Presa Cajón de Peña, este método de análisis relativo es uno de los que propone el sitio WorldClim (2020).

### **Datos climáticos históricos**

Para el presente análisis se utilizaron los datos históricos climáticos mensuales para una serie de tiempo de 1960-1990. Las capas de datos se obtuvieron de la plataforma WorldClim versión 1, mismas que se generaron mediante la interpolación de datos climáticos mensuales promedio de estaciones meteorológicas en una cuadrícula de resolución de 30 segundos de arco (Hijmans et al., 2005).

La razón de usar la serie de datos de 1960-1990 como clima "actual" de referencia es porque señalan los estudiosos del tema que es a partir de este periodo que se perciben los cambios climáticos. Las variables analizadas para los tres polígonos en estudio fueron temperatura mínima promedio (° C), temperatura máxima promedio (° C) y precipitación total (mm), con una resolución temporal para el mes de junio y la resolución espacial fue de 1.0 km<sup>2</sup>.

---

<sup>3</sup> WorldClim es una base de datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución espacial. Estos datos se pueden usar para mapeo y modelado espacial. WorldClim. <https://www.worldclim.org/>. Accedido el 27 de abril de 2020.

## Datos climáticos futuros

Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI) dependen principalmente del tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática.

De acuerdo con el informe de síntesis del IPCC (2014), las trayectorias de concentración representativas (RCP), utilizadas para hacer proyecciones basadas en esos factores, describen cuatro trayectorias distintas en el siglo XXI de las emisiones y las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso del suelo. Dichas trayectorias incluyen un escenario de mitigación estricto (RCP2,6), dos escenarios intermedios (RCP4,5 y RCP6,0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8,5).

Es probable que el aumento de la temperatura media global en superficie al final del siglo XXI (2081-2100) respecto de 1986-2005 sea de 0,3 °C a 1,7 °C bajo el escenario RCP2,6; de 1,1 °C a 2,6 °C bajo RCP4,5; de 1,4 °C a 3,1 °C bajo RCP6,0; y de 2,6 °C a 4,8 °C bajo RCP8,5. Es prácticamente seguro que se produzcan temperaturas extremas calientes más frecuentes y frías menos frecuentes en la mayoría de las zonas continentales, en escalas temporales diarias y estacionales, conforme vaya aumentando la temperatura media global en superficie. Es muy probable que haya olas de calor con mayor frecuencia y más duraderas. Continuarán produciéndose temperaturas frías extremas en invierno de forma ocasional (IPCC, 2014).

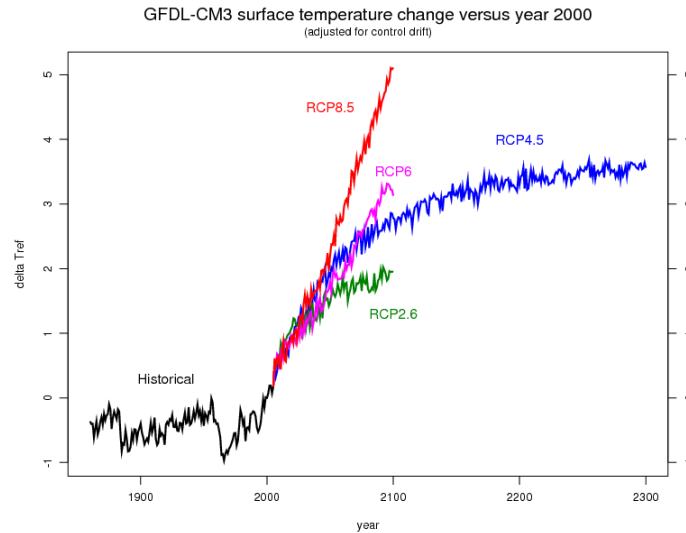
Los cambios en la precipitación no serán uniformes. Es probable que en las latitudes altas y en el océano Pacífico ecuatorial se experimente un aumento en la precipitación media anual en el marco del escenario RCP8,5. Es probable que, en el marco del escenario RCP8,5, la precipitación media disminuya en muchas regiones secas de latitud media y subtropicales, mientras que es probable que en muchas regiones húmedas de latitud media la precipitación media aumente. Es muy probable que sean más intensos y frecuentes los episodios de precipitación extrema en la mayoría de las masas terrestres de latitud media y en las regiones tropicales húmedas. El océano global seguirá calentándose durante el siglo XXI, con un calentamiento más acusado en la superficie en las regiones tropicales y en las regiones subtropicales del hemisferio norte.

Las proyecciones de los modelos del sistema Tierra apuntan a una mayor acidificación global de los océanos para todos los escenarios de RCP al final del siglo XXI, con una lenta recuperación después de mitad de siglo en el marco del escenario RCP2,6. La disminución del pH en el océano superficial se sitúa en el rango de 0,06 a 0,07 (aumento de la acidez del 15% al 17%) para RCP2,6; de 0,14 a 0,15 (del 38% al 41%) para RCP4,5; de 0,20 a 0,21 (del 58% al 62%) para RCP6,0; y de 0,30 a 0,32 (del 100% al 109%) para RCP8,5.

Con estas consideraciones, se aclara que los datos utilizados para el estudio en el polígono del AEPH Presa Cajón de Peña son las proyecciones climáticas IPCC5 del modelo climático GFDL-CM3 para una vía de concentración representativas (RCP 8,5). Este modelo forma parte de las proyecciones climáticas de GCM que se utilizaron en el informe de la Quinta Evaluación del IPCC. La salida del GCM se redujo y se calibró (eliminando el sesgo) utilizando WorldClim 1.4 como clima "actual" de referencia (1960-1990).

Los datos utilizados tienen una resolución espacial de 30 segundos de un grado de longitud y latitud. Las variables incluidas son las temperaturas mínimas y máximas mensuales y la precipitación, se utilizó un modelo análisis relativo al mes de junio.

Para el presente análisis se utilizará un escenario de forzamiento alto (RCP8,5) en el que se esperan cambios altos en la temperatura según se muestra en la. Figura 66.



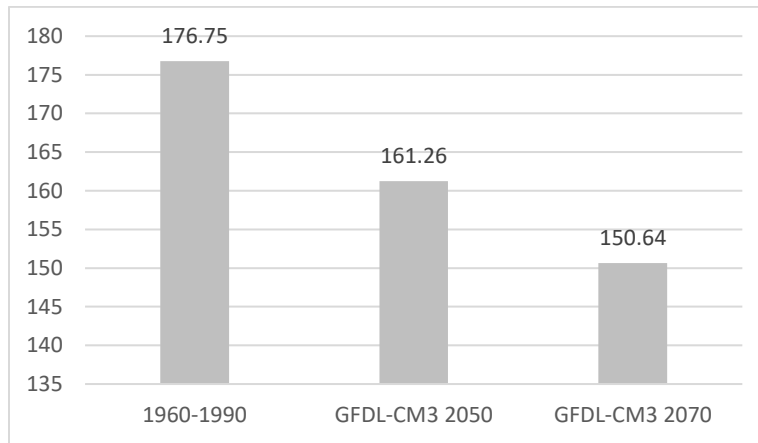
**Figura 66. Cambios anuales medios globales de la temperatura de la superficie (en grados C) simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3 para condiciones históricas (1860-2005) y cuatro escenarios futuros proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP). Fuente: (Alvich, 2020). Modelo físico acoplado, CM3. <https://www.gfdl.noaa.gov/coupled-physical-model-cm3/>. Accedido el 27 de abril de 2020.**

### Cambios en la precipitación para el polígono de AEPH Presa Cajón de Peña

De acuerdo con el análisis de los datos de clima "actual" de referencia respecto al modelos climáticos GFDL-CM3 utilizados, la precipitación en el polígono AEPH Presa Cajón de Peña podría ser en promedio para el año 2050 del 91.23 por ciento y para el año de 2070 podría reducirse aún más hasta quedar en el 85.22 por ciento de la referencia actual. Los cambios proyectados en esta sección corresponden a 2050 y 2070 respecto de 1960-1990, Tabla 60.

**Tabla 60. Cambios en la precipitación acumulada (mm) para el mes de junio en el polígono AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones "actuales" (1960-1990) y dos escenarios futuros proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP 8.5), simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3.**

Precipitación (mm)		
1960-1990	GFDL-CM3 2050	GFDL-CM3 2070
176.75	161.26	150.64



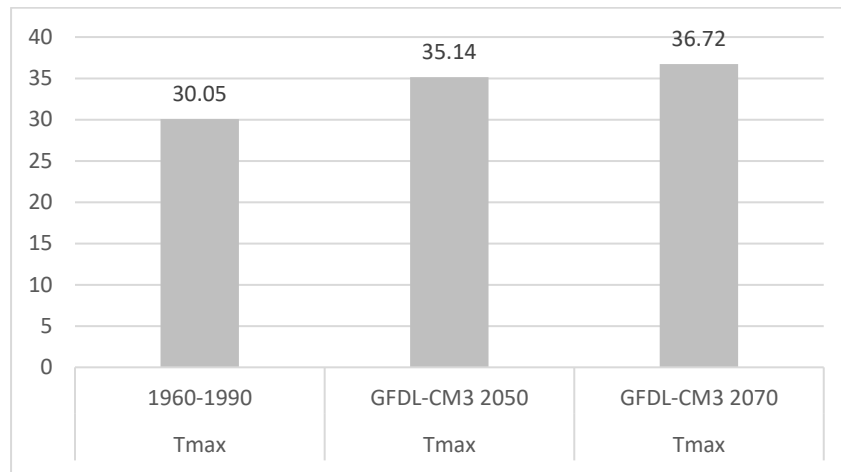
**Figura 67. Cambios en la precipitación (mm) para el mes de junio en el polígono de AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones actuales (1960-1990) y dos escenarios futuros 2050 y 2070.**

Por su parte los cambios en la temperatura para los años 2050 y 2070 son de 5.09 °C y 6.67 °C respectivamente, lo cual es consistente con el modelo GFDL-CM3 y un RCP8.5, que prevé aumentos de más de 3.9 °C para escenarios futuros con emisiones de CO2 muy altos, Tabla 61.

**Tabla 61. Cambios mensuales en la temperatura máxima (°C) para el mes de junio en el AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones "actuales" (1960-1990) y dos escenarios futuros proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP 8.5), simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3.**

Temperatura máxima 1960-1990	Temperatura máxima GFDL-CM3 2050	Temperatura máxima GFDL-CM3 2070
30.05	35.14	36.72



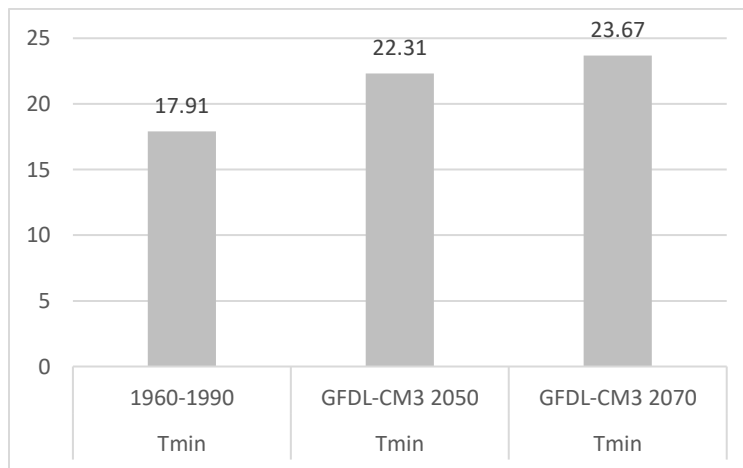


**Figura 68. Cambios mensuales en la temperatura máxima (°C) para el mes de junio en el AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones “actuales” (1960-1990) y dos escenarios futuros 2050 y 2070.**

Al analizar los cambios en la temperatura mínima los datos indican cambios en la 4.4 °C para el año 2050 y de 5.76 °C para el año de 2070,Tabla 62.

**Tabla 62. Cambios mensuales en la temperatura mínima (C) para el mes de junio en el polígono del AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones “actuales” (1960-1990) y dos escenarios futuros proyectados de "Vía de concentración representativa" (RCP 8.5), simulados por el modelo de clima acoplado GFDL CM3.**

Temperatura mínima 1960-1990	Temperatura mínima GFDL-CM3 2050	Temperatura mínima GFDL-CM3 2070
17.91	22.31	23.67



**Figura 69. Cambios mensuales en la temperatura mínima (C) para el mes de junio en el polígono del AEPH Presa Cajón de Peña para condiciones “actuales” (1960-1990) y dos escenarios futuros 2050 y 2070.**

En el escenario de emisiones evaluado para el polígono de AEPH Cajón de Peña se reduce la precipitación y se incrementa la temperatura, con estas proyecciones es muy probable que las olas

de calor ocurran con mayor frecuencia y duren más, y que los episodios de precipitación extrema sean más intensos y frecuentes.

### **Impactos del cambio climático**

La emisión continua de gases de efecto invernadero causará un mayor calentamiento y cambios duraderos en todos los componentes del sistema climático, lo que hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas. Para contener el cambio climático sería necesario reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual, junto con la adaptación, puede limitar los riesgos del cambio climático (IPCC, 2014).

Las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> determinarán en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y posteriormente. Las proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero presentan un amplio margen de variación, en función del desarrollo socioeconómico y la política climática.

En la mayoría de los escenarios sin esfuerzos de mitigación adicionales (en los que se llega a 2100 con concentraciones atmosféricas superiores a 1 000 ppm CO<sub>2</sub>-eq), es más probable que improbable que en 2100 el calentamiento supere en 4 °C los niveles preindustriales.

Los riesgos asociados a un ascenso de 4 °C o más de las temperaturas conllevan importantes extinciones de especies, inseguridad alimentaria mundial y regional, limitaciones para actividades humanas normales y capacidad potencial limitada para la adaptación en algunos casos (nivel de confianza alto).

Varios riesgos asociados al cambio climático, como los riesgos para sistemas únicos y amenazados y los riesgos asociados a los fenómenos meteorológicos extremos, presentan un carácter moderado a alto a temperaturas entre 1 °C y 2 °C por encima de los niveles preindustriales.

En los últimos decenios, los cambios del clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Los impactos se deben al cambio climático observado, independientemente de su causa, lo que indica la sensibilidad de los sistemas naturales y humanos al cambio del clima (IPCC,2014).

La evidencia más sólida y completa de los impactos observados del cambio climático corresponde a los sistemas naturales. En muchas regiones, las cambiantes precipitaciones o el derretimiento de nieve y hielo están alterando los sistemas hidrológicos, lo que afecta a los recursos hídricos en términos de cantidad y calidad (nivel de confianza medio).

Muchas especies terrestres, dulceacuícolas y marinas han modificado sus áreas de distribución geográfica, actividades estacionales, pautas migratorias, abundancias e interacciones con otras especies en respuesta al cambio climático en curso (nivel de confianza alto).

Hay impactos en los sistemas humanos que también se han atribuido al cambio climático, con una contribución grande o pequeña del cambio climático distinguible de otras influencias.

La evaluación de muchos estudios que abarcan un amplio espectro de regiones y cultivos muestra que los impactos negativos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos han sido más comunes que los impactos positivos (nivel de confianza alto, IPCC, 2014).

Los sistemas costeros y las zonas bajas están en situación de riesgo debido a la elevación del nivel del mar, la cual no cesará durante siglos incluso aunque se estabilizara la temperatura media global (nivel de confianza alto, IPCC, 2014).

Las magnitudes y tasas del cambio climático asociadas a escenarios de emisiones entre medias y altas suponen un alto riesgo de cambio abrupto e irreversible a escala regional en la composición, estructura y función de los ecosistemas marinos, terrestres y dulceacuícolas, incluidos los humedales (nivel de confianza medio, IPCC, 2014).

## 8. DELIMITACIÓN DE LAS UNIDADES DE MANEJO

### 8.1. Zonificación

De acuerdo a lo establecido en los Criterios Ambientales Estatales para la Elaboración y Presentación de Propuestas de Declaración de Áreas Naturales Protegidas en el Estado de Jalisco (SEMADES, 2006a), la zonificación en áreas estatales de protección funge como una herramienta que permite delimitar el área y establecer unidades de manejo, considerando las condiciones que afectan el recurso agua, el uso actual de territorio, el cumplimiento de la normatividad y las prácticas que influyen de manera positiva o negativa en el recurso agua. Los criterios establecidos para la delimitación de las unidades de manejo en las áreas estatales de protección hidrológica son los siguientes:

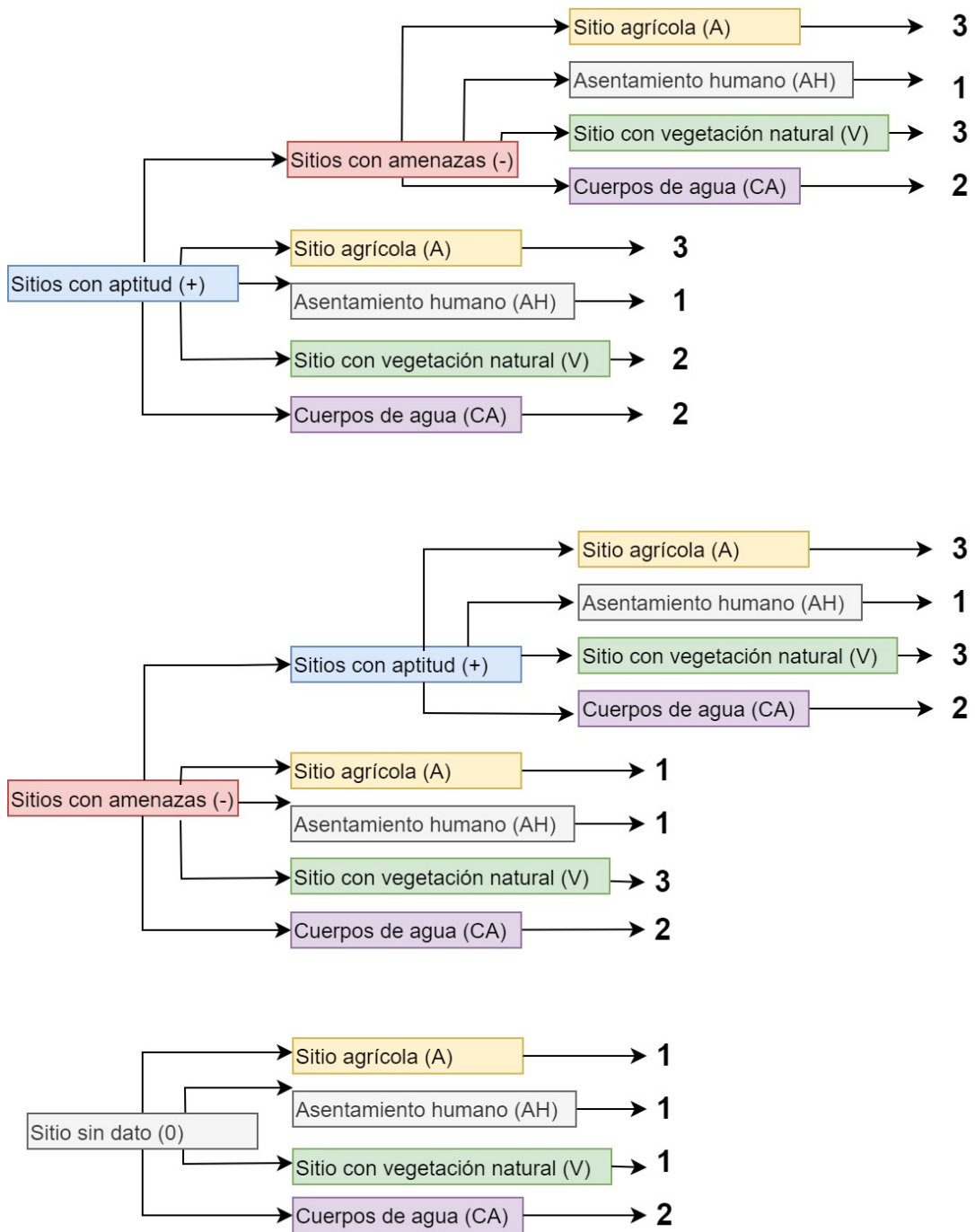
- **Unidades de manejo para el aprovechamiento productivo:** son aquellas áreas donde las actividades productivas no afectan de forma significativa el recurso agua y por tanto se conservan las funciones ambientales.
- **Unidades de manejo para el aprovechamiento hidrológico:** pueden ser las áreas donde se encuentran los ríos, las presas, los bordos, las norias y los manantiales donde se presentan un balance hidrológico positivo.
- **Unidades de manejo para la recuperación:** son aquellas áreas donde se pretende la restauración del medio hidrológico, mediante la aplicación de medidas correctivas o limitativas.

El proceso metodológico para llevar a cabo la zonificación de las unidades de manejo se basó en los resultados obtenidos del análisis de identificación de sitios de aptitud para la conservación de los recursos hidrológicos, así como la presencia de amenazas, descritas anteriormente en la delimitación y justificación del polígono del AEPH Presa Cajón de Peña (los cuales forman parte de la caracterización y diagnóstico). También se tomaron en cuenta aquellos sitios que no contaban con alguna aptitud o amenaza (sitios sin dato).

Se realizó una serie de posibles combinaciones basados en la aptitud, la amenaza y los sitios sin dato en el territorio, identificando y tomando como referencia las zonas agrícolas (A), asentamientos humanos (AH), sitios de vegetación natural (V) y cuerpos de agua (incluye polígonos de área de influencia de los cauces principales) (CA). Para un mejor entendimiento, a las unidades de manejo se les asignaron valores numéricos 1, 2 y 3 de la siguiente manera:

- Unidades de manejo para el aprovechamiento productivo (1)
- Unidades de manejo para el aprovechamiento hidrológico (2)
- Unidades de manejo para la recuperación (3)

Con base en las referencias anteriormente señaladas se realizaron las posibles combinaciones de criterios como se muestra en la Figura 70; en donde, por ejemplo, si un área presenta aptitud pero tiene presencia de un asentamiento humano, esta área se clasifica como de aprovechamiento productivo (1), mientras que si un área presenta amenaza pero tiene presencia de vegetación natural, entonces se clasifica como de recuperación (3), por otra parte, si el área no tiene presencia de aptitud o amenaza pero presenta un cuerpo de agua, esta área se clasifica como de aprovechamiento hidrológico (2).



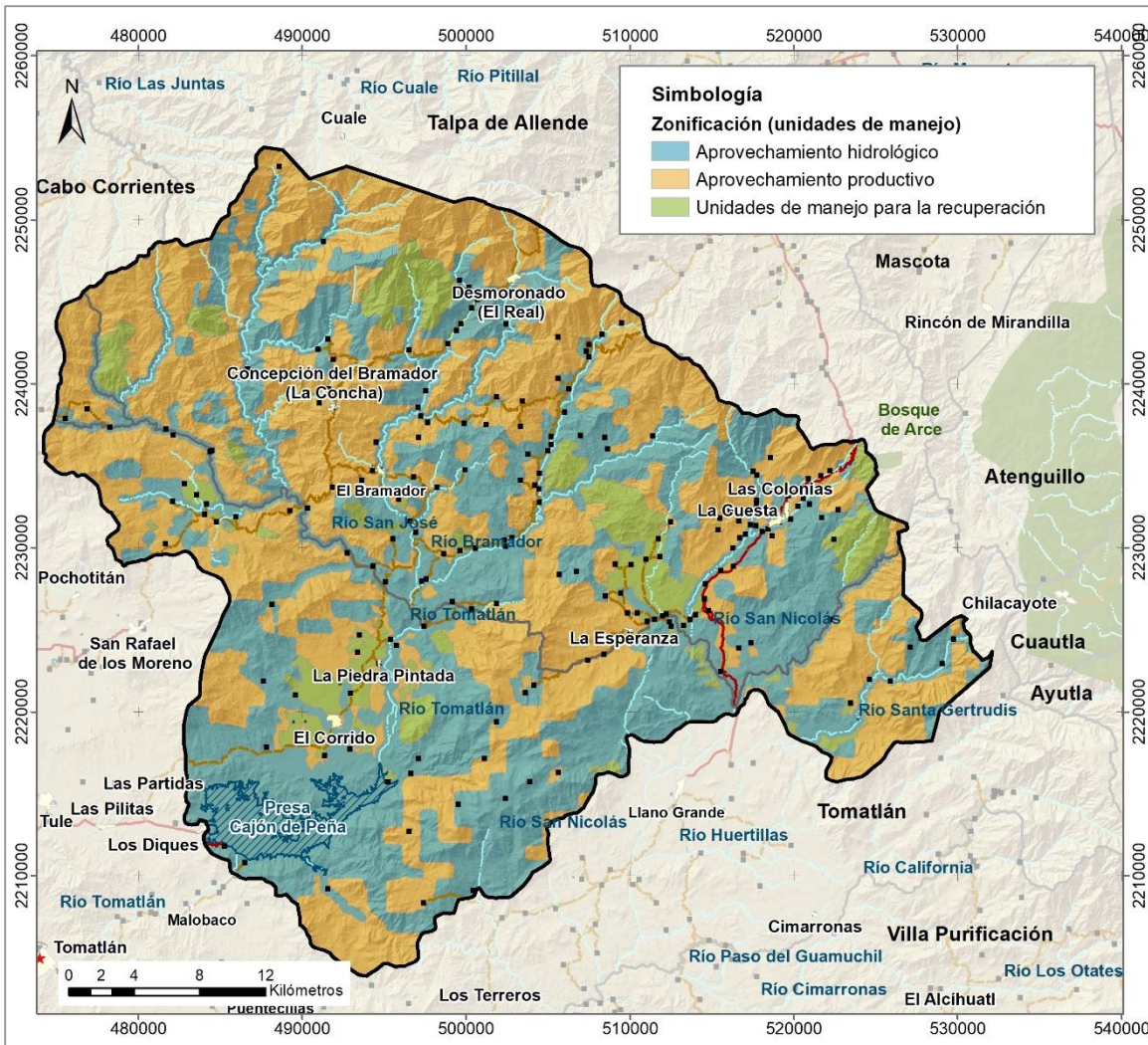
**Figura 70. Proceso metodológico para la delimitación de las unidades de manejo**

Una vez realizada la delimitación de las unidades de manejo (Figura 71), se calculó la superficie ocupada por cada tipo de unidad de manejo en el AEPH Presa Cajón de Peña (Tabla 63). De manera general, el 44.34% está categorizado como aprovechamiento hidrológico, mientras que el 47.83% corresponde a aprovechamiento productivo y el 7.83% restante es de recuperación. Se observa un equilibrio entre el área para aprovechamiento hidrológico y el área de aprovechamiento

productivo; en la parte alta de la cuenca predominan las áreas con cobertura de bosque las cuales son susceptibles de tener un aprovechamiento productivo, mientras que en la cuenca baja predomina el aprovechamiento hidrológico el cual está dado principalmente por la presencia de la Presa Cajón de Peña.

**Tabla 63. Unidades de manejo en el AEPH Presa Cajón de Peña**

Tipo de unidades de manejo	Superficie	
	Hectáreas	%
Unidades de manejo para el aprovechamiento hidrológico	70,674.49	44.34
Unidades de manejo para el aprovechamiento productivo	76,225.72	47.83
Unidades de manejo para la recuperación	12,482.01	7.83
<b>Total</b>	<b>159,382.22</b>	<b>100.00</b>



**Figura 71. Unidades de manejo en el AEPH Presa Cajón de Peña**

## **9. PROPUESTA DE PROGRAMA DE APROVECHAMIENTO Y PROPUESTA DE OPERACIÓN DEL ÁREA NATURAL**

El programa de aprovechamiento es -de acuerdo con el reglamento de la LEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas- el instrumento rector de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo del área natural protegida respectiva y el artículo 49 de la misma Ley señala enfocar el programa de aprovechamiento en la protección de cuencas, áreas boscosas, llanuras y todas aquellas áreas que tengan impacto en las fuentes de producción y/o abastecimiento de agua. Además el INECC (2007a) señala que los objetivos de conservación deben ser adecuados a la categoría de protección.

Por su parte, los Criterios Ambientales Estatales para la Elaboración y Presentación de Propuestas de Declaración de Áreas Naturales Protegidas en el estado de Jalisco (SEMADES, 2006a) indica elaborar la propuesta de programa de aprovechamiento, una vez delimitadas las unidades de manejo.

En este sentido, las unidades de manejo sobre las que se plantearán los objetivos, los criterios de regulación para las actividades productivas y las obras y acciones que tiendan a preservar el equilibrio del medio hidrológico y restaurar las funciones ambientales son las siguientes.

1. Unidades de manejo para el aprovechamiento productivo
2. Unidades de manejo para el aprovechamiento hidrológico
3. Unidades de manejo para la recuperación

De éstas tres Unidades se derivan los tres subprogramas que integran el programa de aprovechamiento, estos son:

1. Subprograma de aprovechamiento productivo
2. Subprograma de aprovechamiento hidrológico
3. Subprograma de manejo para la recuperación

### **Subprograma de aprovechamiento productivo**

#### **Objetivo**

Lograr que las actividades productivas (agricultura, ganadería, pesca y turismo), no afecten de forma significativa el recurso agua y se conserven las funciones ambientales.

Para que este objetivo general se cumpla, los criterios, obras y acciones que se propongan deben comprender la adopción de una gestión integrada de los recursos hídricos, el aumento del abastecimiento, la reducción del desajuste entre la oferta y la demanda de agua, la disminución de los factores de estrés, el refuerzo de las capacidades institucionales y la adopción de tecnologías eficientes para el agua y estrategias de ahorro de agua.

En cuanto a las actividades productivas es necesario que la actividad de la pesca adopte estrategias como la construcción de resiliencia social, medios de subsistencia alternativos y flexibilidad ocupacional y la agricultura y la ganadería se preparen para responder a la posible disminución de la producción y la calidad de los alimentos por cambios en el CO<sub>2</sub>, la temperatura y la sequía, así como a la mejora de la capacidad de gestión de los riesgos climáticos y la compensación de los impactos económicos del cambio de uso del suelo, por su parte la minería deberá realizar el máximo de los esfuerzos para mitigar los daños ambientales en el menor tiempo

posible, al tiempo que los aprovechamientos forestales deben alcanzar la sustentabilidad del recurso.

### Crterios, obras y acciones (Tabla 64)

**Tabla 64. Criterios, obras y acciones del subprograma de aprovechamiento productivo**

Criterio	Actividades
Prevenir los efectos de la actividad minera	Restaurar las áreas afectadas por proyectos mineros de prospección que no resulten viables, así como aquellas minas abandonadas.
	El aprovechamiento minero metálico, incorpora el manejo de residuos contaminantes y peligrosos.
	Las unidades de producción minera que utilicen presas de jales deberán observar la NOM-090-ECOL-1994.
	Fortalecer el sistema de seguridad laboral relativo a la seguridad e higiene para los trabajos que se realicen en las minas
Aprovechamiento forestal sustentable	Promover la cultura forestal, a través de programas educativos, de capacitación, desarrollo tecnológico e investigación en materia forestal.
	Favorecer un aprovechamiento de los recursos del bosque en donde la extracción de recursos no sea mayor que la capacidad de recuperación.
	En áreas deforestadas se permite la introducción de plantaciones comerciales, previa autorización de impacto ambiental y programa de manejo forestal
	Propiciar los medios para establecer una Unidad de Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable (UMAS) con viveros de especies nativas.
	Establecer programa de sanidad forestal.
	Prevención y manejo de incendios forestales.
Normar el desarrollo de la pesca comercial, considerando también la de autoconsumo.	Realizar foros de consulta con los pescadores concesionarios.
	Apoyar los proyectos de investigación pesquera que se realicen dentro de la Presa Cajón de Peña.
	Mantener en buenas condiciones los caminos y los accesos utilizados para la pesca y la acuacultura.
Atenuar la pesca furtiva y la violación de vedas.	Aplicar la normatividad vigente en materia de pesca.
	Establecer un señalamiento claro y conciso de las prohibiciones de pesca.
	Llevar a cabo operativos especiales de inspección y vigilancia pesquera, en coordinación con otras instituciones.
Prevenir los efectos del cambio climático en la agricultura y la ganadería.	Promover tecnologías de riego eficiente.
	Promover la agricultura de conservación.
Reducir la superficie de uso agropecuario en el interior de los polígonos mediante la	Conocer la situación de las actividades agropecuarias dentro de los polígonos de aprovechamiento productivo.



Criterio	Actividades
promoción e incorporación de tecnologías y procesos sostenibles	<p>Impulsar un taller con especialistas, autoridades de los tres niveles de gobierno y sector productivo para analizar y presentar propuestas alternativas de diversificación agrícola y de modelos sostenibles de ganadería que disminuyan el impacto de estas actividades en los ecosistemas del polígono del AEPH Presa Cajón de Peña.</p> <p>Realizar un diagnóstico del sector agrícola y ganadero, en particular hacer estudios de contaminación difusa por la agricultura.</p> <p>Establecer monitorio de temas como cambio de uso de suelo y vegetación, fragmentación de hábitat y uso del recurso agua en relación con las actividades agropecuarias.</p>
Incorporar nuevos métodos de producción agropecuaria a través de la promoción de la agricultura orgánica, manejo de suelos y la ganadería intensiva en las comunidades y pequeños propietarios.	<p>Impulsar y fomentar programas de agroforestería.</p> <p>Fomentar en las comunidades el manejo de especies frutales y de ornato en el traspatio.</p> <p>Reducción de la zona de pastoreo extensivo en los polígonos.</p> <p>Fomentar esquemas de desarrollo sostenible de la agricultura.</p> <p>Promover la diversificación agrícola con siembras de especies vegetales útiles para la apicultura.</p> <p>Realizar pláticas en las comunidades para informar los impactos negativos del uso de agroquímicos en la salud humana y en el medio ambiente.</p> <p>Concertar proyectos de control biológico (plagas) aplicados a las zonas agrícolas.</p> <p>Buscar permanentemente nuevos mercados y formas de financiamiento.</p>
Desarrollo de turismo centrado en la naturaleza.	Integrar al plan de manejo los estudios de capacidad de carga turística y/o recreativa.
Mecanismos de participación colectiva en el establecimiento de las reglas de operación.	<p>Crear una plataforma de intercambio de conocimientos y aprendizaje.</p> <p>Intercambio de conocimientos indígenas, tradicionales y locales.</p>
Mecanismos de bajo costo de resolución de conflictos y controversias.	Poner en marcha un sistema de vigilancia participativa y de cumplimiento de condicionantes en las autorizaciones para el uso de recursos en el área protegida.
Fortalecer los derechos de propiedad.	<p>Generar oportunidades de participación, reconocimiento público y financiamiento.</p> <p>Realizar acciones para legitimar y proteger rasgos de regímenes de propiedad tradicionales.</p>
No se establecerán nuevos centros de población. Mejorar la calidad de vida de los pueblos existentes antes del decreto.	<p>Asegurar servicios municipales con inclusión de agua y saneamiento en las localidades ya desarrolladas antes de la creación del área a proteger.</p> <p>Elaboración de esquemas de peligros y vulnerabilidades en las localidades dentro del área a proteger.</p>

Criterio	Actividades
	Elaborar el plan de manejo de desechos sólidos y líquidos, teniendo como estrategia central la reducción en la generación.
	Elaborar el atlas de riesgos de peligros naturales. Diseñar un programa específico para casos de huracán e inundaciones, estableciendo los pasos a seguir antes, durante y después del evento para toda la población.
	Poner en marcha un sistema de alerta temprana ante riesgos hidrometeorológicos.
	Elaborar la cartografía de peligros y vulnerabilidades
	Diseñar refugios contra inundaciones y ciclones
	Realizar ajustes en centrales y redes eléctricas

## Subprograma de aprovechamiento hidrológico

### Objetivo

Conservar el balance hidrológico positivo de las áreas donde se encuentran los ríos, las presas y los manantiales.

Para el logro de este objetivo, se deben contemplar opciones que se basan en la gestión integrada del recurso hidrológico, en la participación de las comunidades locales, en los enfoques ecosistémicos y en la reducción de riesgos de desastre.

### Criterios, obras y acciones (Tabla 65)

**Tabla 65. Criterios, obras y acciones del subprograma de aprovechamiento hidrológico**

Criterios	Obras y acciones
Conocer los sitios de contaminación de los cuerpos de agua presentes en los polígonos (manto freático, presas, ríos y arroyos).	Desarrollo del inventario y diagnóstico del recurso hídrico (superficial y subterráneo).
	Realizar acciones de saneamiento en cuerpos de agua o manantiales.
Realizar acciones de restauración a los daños ocasionados por actividades antropogénicas a través de medidas de saneamiento.	Generar acciones para la conservación del agua y los suelos.
	Promover el desarrollo de un programa integral de nanocuenas y cuencas sedimentarias con fines de restauración y conservación.
	Recuperación y conservación de suelos.
	Restaurar y dar mantenimiento a los manantiales y arroyos.
	Identificar los puntos de contaminación del agua dulce.
	Llevar a cabo un programa puntual de ordenamiento integral de los recursos hídricos.
Reducir la contaminación hidrológica	Implementar un programa integral de saneamiento de aguas residuales para frenar el proceso actual de contaminación de mantos acuíferos, ríos, arroyos y presas.
	Elaborar un plan de manejo de agroquímicos y los residuos que genera.

Criterios	Obras y acciones
	Elaborar un plan a detalle para el manejo de las sustancias desparasitantes del ganado.
Disminuir la pérdida de la vegetación natural y la tala, particularmente en los bosques tropicales y templados mediante la sensibilización a la población	<p>Planeación y aplicación de un programa de inspección, supervisión y vigilancia</p> <p>Establecer mecanismos de participación social para la conformación de comités locales de vigilancia participativa de los recursos naturales</p> <p>Gestionar con las diferentes instancias de los tres niveles de gobierno, el apoyo para la capacitación, equipamiento y operación de los comités locales de vigilancia participativa</p>
Disminuir la pérdida de la fauna silvestre, mediante una mayor coordinación del trabajo interinstitucional con los tres niveles de gobierno, estableciendo acciones de vigilancia y control sobre los grupos de cazadores y pescadores de forma constante pero particularmente durante los períodos de veda, ya sea de autoconsumo, de caza para venta doméstica o de caza deportiva.	<p>En coordinación con las autoridades involucradas diseñar e implementar un programa de inspección, supervisión y vigilancia</p> <p>En coordinación con PROFEPA y SAGARPA realizar operativos de inspección y vigilancia para verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente en materia de obras y/o actividades que se desarrollan colaboración para mejorar la cobertura de vigilancia del área marina</p> <p>Coordinar acciones con las diferentes instancias federales, estatales, municipales y grupos</p> <p>Definir rutas críticas para la vigilancia en la detección de ilícitos ambientales civiles para detectar oportunamente ilícitos (pesca, caza y extracción de flora y fauna)</p> <p>Gestionar un sistema de comunicación por radio de banda marina y banda civil, para reforzar las actividades de inspección y vigilancia con las autoridades competentes.</p>
Disminuir los incendios provocados por el hombre.	Prevenir y controlar incendios Difundir ampliamente el programa integral de prevención y control de incendios en las comunidades ubicadas en la zona de influencia.
Prevenir y controlar los incendios.	Promover la elaboración de un programa integral e interinstitucional de prevención y control de incendios.
Incrementar la capacidad de respuesta de la sociedad y los tres niveles de gobierno.	<p>Construir dos torres de observación para la detección de incendios.</p> <p>Fomentar en los diferentes sectores productivos y comunidades aledañas a los polígonos, la cultura de manejo de fuego y prevención de incendios.</p>

## Subprograma de recuperación

### Objetivo

Restaurar el medio hidrológico mediante la aplicación de medidas correctivas o limitativas.

Para alcanzar este objetivo se deben contemplar las estrategias que reducen los factores de estrés no climáticos, como la modificación de los hábitats, la sobreexplotación, la contaminación y las especies invasoras.

**Criterios, obras y acciones (Tabla 66)**

**Tabla 66. Criterios, obras y acciones del subprograma de recuperación**

Criterios	Obras y acciones
Recuperar y restablecer las condiciones naturales de los recursos que por alguna causa directa o indirecta se encuentren dañados o deteriorados.	Promover mecanismos administrativos tales como vedas, cierres temporales o indefinidos de áreas.
	Aplicar medidas de mitigación de impactos negativos en áreas críticas
Restaurar áreas perturbadas por las actividades humanas, así como las que requieran protección especial por instrumentación de vedas o cierres temporales.	Generar programas de recuperación de poblaciones animales y áreas consideradas como críticas, favoreciendo sitios de anidación, reproducción y alimentación.
	Ejecutar programas y proyectos para la protección y conservación de aquellas poblaciones de vida silvestre que se encuentren en riesgo o que sean potencialmente susceptibles.
	Instrumentar programas de restauración en caso de contingencia ambiental, tanto natural como antropogénica.
	Apoyar la reforestación de áreas perturbadas con especies silvestres nativas.
	Impulsar un proyecto de recuperación y restablecimiento del mangle.
Prevenir posibles acciones o actividades que representen riesgos potenciales para el equilibrio ecológico.	Establecer programas de restauración en caso de contingencia ambiental. Fomentar la participación de permisionarios y grupos ecologistas a fin de efectuar acciones atenuantes de contaminación y deterioro dentro de los polígonos
Establecer programas de limpieza de los cuerpos de agua, en particular en la Presa Cajón de Peña.	Establecer programa de educación ambiental en el que participe y se involucre a la población local e integrar a las empresas, grupos ecologistas, escuelas, boy scouts, en las actividades de saneamiento ambiental.
	Elaborar una topografía y batimetría de la Presa Cajón de Peña para monitorear los procesos de azolve y sedimentación.
Asegurar la permanencia de los recursos naturales del área, con el fin de garantizar la continuidad de los servicios ambientales e hidrológicos que brindan su ecosistema.	Restaurar las zonas cuya ocupación del suelo haya cambiado notoriamente, para reintegrarlas como áreas forestales.
	Proteger y restaurar el hábitat natural de las especies de flora y fauna silvestres en las áreas afectadas por fenómenos naturales o por la actividad humana.
	Detener los procesos de degradación de los ecosistemas de los polígonos.

## **Propuesta de estructura organizativa para el AEPH Presa Cajón de Peña**

La estructura organizativa propuesta para el AEPH Presa Cajón de Peña debe ser de orden institucional, de tipo local y debe garantizar la conjunción de elementos coordinados de naturaleza gubernamental, privada y comunitaria, a través de un comité técnico que pueda constituirse en un promotor de reglas, de derechos y de obligaciones en el acceso a los recursos naturales.

El comité técnico representa un sistema de autoridad que le da significado real a las nuevas reglas, llenando un vacío institucional o ayudando a reconstruir sistemas previos de regulación cuya rehabilitación resulte conveniente. Igualmente, permite el surgimiento de un régimen de manejo estructurado a partir de derechos, obligaciones, información, conocimiento recíproco, financiamiento y contratos con los usuarios de los recursos, y de oportunidad de interactuar a un número accesible de actores en condiciones de cercanía, confianza, información suficiente y clara, abriendo la posibilidad de un desarrollo institucional concertado y adecuado a las condiciones sociales y biofísicas del AEPH Presa Cajón de Peña.

El comité técnico debe integrarse por representantes de todos los actores con intereses relevantes al manejo del Área Estatal de Protección Hidrológica (gobierno federal, estatal y municipal, inversionistas y donantes, universidades y centros académicos, ejidos, propietarios y comunidades, fundaciones internacionales, etc.), y a través de un fideicomiso, recibir y administrar fondos procedentes de las más diversas fuentes (privadas, locales, públicas, internacionales, etc.) con un grado importante de autonomía y flexibilidad en la administración de los recursos.

Debe hacerse hincapié que los habitantes, propietarios locales y sus organizaciones que se ubican dentro de los polígonos del AEPH deben ser el cimiento de un desarrollo institucional viable y eficiente. Los habitantes locales son los protagonistas en el arranque y en el éxito de este proceso, ellos han de asumir los compromisos de protección y de manejo sustentable, y al mismo tiempo ser beneficiarios directos, potenciales y reales, de una considerable gama de bienes y servicios ambientales que ofrece el área a proteger.

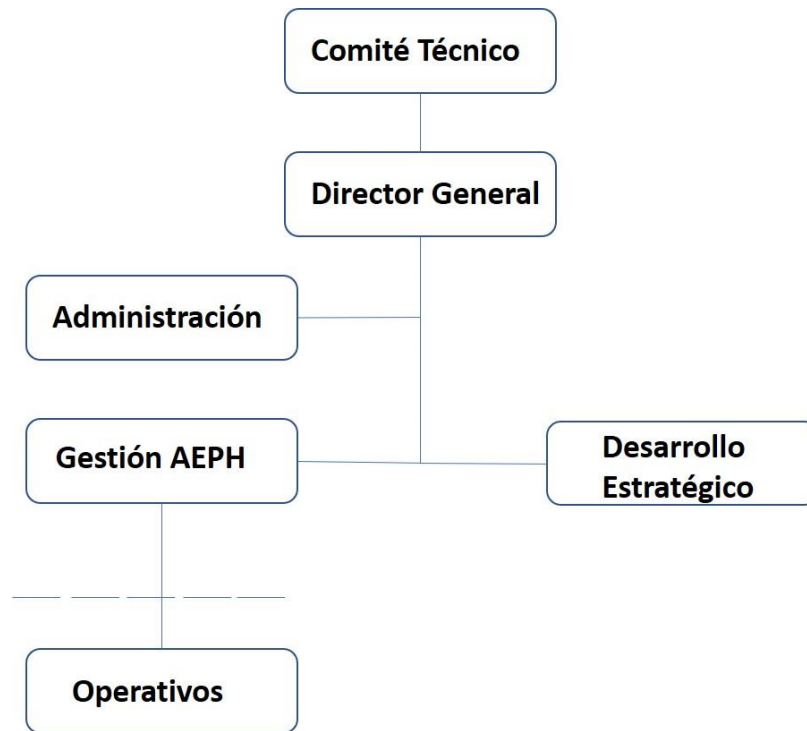
Para poder ser actores y receptores de estos beneficios, los habitantes locales requieren de una definición clara de derechos, así como sistemas de ordenamiento y de regulación equitativos y eficientes, requieren certidumbre a largo plazo y apoyo financiero y tecnológico, a partir de nuevos esquemas de interacción y de intercambio con otras entidades públicas y privadas interesadas en la conservación y en el desarrollo sustentable.

Además del comité técnico, la estructura institucional debe tener el área ejecutiva que la dirige el director del Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña, coordinadores, administrativo y personal de campo.

El director del Área Estatal de Protección Hidrológica, junto con la coordinación de Gestión y Desarrollo Estratégico deben de ser capaces de aglutinar las iniciativas locales, recabar fondos, tomar decisiones en coyunturas especiales y participar en foros políticos y académicos nacionales e internacionales. Cada director podría contar con personal de campo encargado de supervisar y coordinar las acciones contempladas en el programa de manejo. Las funciones administrativas juegan un papel de suma importancia ya que de él depende la disponibilidad oportuna y suficiente del presupuesto

La presupuestación se organizará eficazmente considerando los flujos de efectivo a partir de sistemas administrativos y contables modernos que permitan definir prioridades, necesidades, mecanismos de asignación, y proyecciones a mediano y largo plazo, así como mecanismos eficientes de comprobación ante diferentes niveles de autoridad.

El Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña se basará en programas operativos anuales (POA): Su diseño y ejecución se desprenden del programa de manejo. El POA organiza las actividades del año para dar cumplimiento de manera sistemática a los objetivos definidos en el programa y POA engloba las responsabilidades del personal de las ANP, permitiendo evaluar el desempeño de los directores e identificar problemas en el manejo del ANP. Por eso forma parte de los elementos básicos de la administración de las áreas. Figura 72.



**Figura 72. Organigrama de la estructura administrativa encargada de vigilar la aplicación y cumplimiento del programa de aprovechamiento del Área Estatal de Protección Hidrológica Presa Cajón de Peña.**

Otras estrategias necesarias para la consolidación del sistema de manejo son las siguientes que propone el INECC (2007b).

**Sistema de administración:** Tenderá a buscar la toma de decisiones más eficientes para el funcionamiento del área a proteger, por medio del control y el ejercicio de los recursos financieros.

**Desarrollo de infraestructura:** Buscará utilizar los recursos económicos en la forma más eficiente posible para identificar, planificar, construir, equipar y mantener la infraestructura necesaria para el funcionamiento del área a proteger.

**Organización de servicios:** Para permitir el buen funcionamiento de las actividades de investigación, recreación, turismo y educación, entre otras.

**Equipamiento:** Para obtener, operar y mantener el equipo mínimo para el funcionamiento de los proyectos y actividades del área (vehículos, comunicación, computadoras, sistemas de información, uniformes, equipo de oficina, equipo de campo, etc.).

**Interacción con las comunidades:** Provocará el intercambio de información entre la administración y los habitantes del área protegida, permitiendo identificar, establecer y tomar las vías conjuntas para la resolución de las necesidades y problemas mutuos, establecer las acciones necesarias para la capacitación local, el desarrollo comunitario y el establecimiento de los proyectos de uso sustentable.

**Capacitación local:** Provocará la formación de cuadros locales que en el futuro serán capaces de enfrentar los retos de administración, logística, manejo, investigación, desarrollo de proyectos de conservación y uso sustentable que redundarán en el mejoramiento del nivel de vida de la población local y en el desarrollo de la comunidad.

**Desarrollo comunitario:** Buscará, a través de elevar la calidad de vida, la comprensión de la dependencia que existe entre conservación-recursos-bienestar lo que permitirá la revalorización de los ecosistemas naturales como fuentes de satisfactores e incidirá en el cambio de actitudes despectivas o destructivas.

**Investigación:** Permitirá el conocimiento de los recursos presentes en el AEPH Presa Cajón de Peña, de los fenómenos que los envuelven y de la forma de conservarlos. Además, debe trascender al terreno de la incorporación de recursos a nuevas estrategias de producción sustentable y aprovechamiento multidireccional de los ecosistemas para beneficio de los habitantes locales.

**Supervisión y monitoreo:** Se encargará de determinar la dinámica de los recursos y el estado de los ecosistemas del área protegida a través del tiempo, encargándose de planificar e instrumentar acciones preventivas o correctivas en caso de actividades ilícitas. Este mecanismo se instrumenta juntamente con los cuerpos federales y estatales de procuración de justicia, fuerza pública y seguridad.

**Procesos de regularización agraria:** Deberán resolver los problemas existentes en cuanto a conflictos, irregularidades y conductas ilícitas relativas a la propiedad y tenencia de la tierra. Su función es mantener la integridad del AEPH Presa Cajón de Peña y buscar la regulación de la propiedad de la tierra como mecanismo de defensa de los ecosistemas y estabilidad y armonía entre los habitantes locales.

**Señalización:** Es el mecanismo que permite la comunicación pasiva de ideas a los habitantes locales y otros usuarios del AEPH. Entre sus funciones se encuentra la de advertir a los visitantes de la existencia del área protegida, indicar las áreas permitidas o restringidas y las acciones posibles o prohibidas.

**Concesiones y permisos:** Que permite la obtención de medios económicos que complementan a las otras fuentes de financiamiento con el fin de mantener y aumentar la capacidad de funcionamiento del AEPH Presa Cajón de Peña.

**Formulación de programas operativos anuales:** Es el mecanismo de planificación y toma de decisiones a corto plazo que permite: modificar aspectos no contemplados en el Plan de Manejo, responder ante circunstancias no predecibles o inesperadas, o incorporar experiencias recientes de operación a las políticas y actividades de manejo del AEPH Presa Cajón de Peña. Los POA instrumentan las necesidades de financiamiento anual para la operación y administración del área y su formulación es un ejercicio periódico indispensable para el buen manejo.

Dentro del manejo de las áreas naturales protegidas, deberán instrumentarse programas de vigilancia que involucren mediante convenios, a las comunidades que las habitan, estableciéndose mecanismos de articulación con las actividades coercitivas de la autoridad en lo que respecta al cumplimiento del marco normativo. Todo esto debe cristalizar y plasmarse en un reglamento de manejo de las ANP.

**Áreas naturales protegidas hermanas para manejo conjunto.** Llevar un manejo vinculado y conjunto con el área natural protegida Parque Estatal Bosque de Arce y a los polígonos de las propuestas de área estatal de protección hidrológica Sierra de Cacoma y Sierra El Cuale y del Paisaje Biocultural.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Abeldaño, R., & Gonzalez, A. (2018). *Desastres en México de 1900 a 2016: patrones de ocurrencia, población afectada y daños económicos*. Revista Panamericana de Salud Pública. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6386000/>
- Alvich, J. (2020). *Modelo físico acoplado, CM3*.
- Aparicio, M. (2008). *Fundamentos De Hidrología De Superficie*. México. Editorial Limusa.
- Arreguín Cortés, F., Alcocer Yamanaka, V., Marengo Mogollón, H., Cervantes Jaimes, C., Albornoz Góngora, P., & Salinas Juárez, M. G. (2010). Los retos del agua. En B. Jiménez Cisneros, M. L. Torregrosa Armentia, & L. Aboites Aguilar (Eds.), *El agua en México: Cauces y encauces* (Primera Ed, p. 702).
- ASALE- RAE. (2019). *Diccionario de la lengua española*. Tricentenario.
- Ayuntamiento de Tomatlán. (2019). *Programa Municipal de Desarrollo Urbano y Planes de Desarrollo Urbano de Centros de Población del Municipio de Tomatlán, Jalisco*.
- Becerra M., A. (2005). *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Beguiría, S., López, J., Lorente, A., & García, S. (2003). Assessing the effect of climate oscillation and land use changes on stream flow in the Central Spanish Pyrenes. *Ambio*, 32(4), 283–286.
- Beguiría, S., & Lore, B. (2016). Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo Aragonés Occidental. *Geographicalia*, 37(17), 1–15.
- Brandt, S. A. (2000). *Classification of geomorphological effects downstream of dams*. Catena.
- CENAPRED. (2001). *Inestabilidad de Laderas, Serie Fascículos* (CENAPRED (Ed.); 2a. edición). SEGOB.
- CENAPRED. (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos (Fenómenos Geológicos)* (S. de Gobernación (Ed.); 1 edición,). 1 edición.
- CENAPRED. (2012). *Atlas Nacional de Riesgos, Indicadores Municipales de Peligro, Exposición y Vulnerabilidad*. Gobierno de México. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- CENAPRED. (2016). *Sistema de Información sobre Riesgos*. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>
- CENAPRED. (2019). *Desastres en México: impacto social y económico*. Gobierno de México. <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/318-INFOGRAFADDESASTRESENMXICO-IMPACTOSOCIALYECONMICO.PDF>
- CFE. (2015). *Regionalización Sísmica de México*. CENAPRED. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/portal/fenomenos/>
- Chávez González, H., González Guillén, M. D. J., & Hernández de la Rosa, P. (2018).

- Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 8–23. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.277>
- Chiarito, E., Zimmermann, E., & Méndez Zacarías, S. (2019). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección. *Cuadernos del CURIHAM*, 24(1), 25–36. <https://doi.org/10.35305/curiham.v24i0.126>
- CIGA-UNAM. (2012). *Conjunto de datos vectoriales de la distribución espacial de los paisajes físico-geográficos de México, escala 1:500,000*. UNAM.
- CONABIO. (1998). *Conjunto de datos vectoriales de Climas (clasificación Köppen, modificado por E. García). Escala 1:1 000 000*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. (2012). *Ficha Técnica de la Región Hidrológica Prioritaria No. 24 Cajón de Peña - Chamela. Regiones Hidrológicas Prioritarias*. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_024.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_024.html)
- CONABIO. (2020). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONAGUA. (2015). *Monitoreo de la calidad del agua*.
- CONAGUA. (2017). *Localizador REPDA de aguas nacionales, zonas federales y descargas de aguas residuales. LocREPDA, v2017*. <https://sigagis.conagua.gob.mx/locrepda3/>
- CONAGUA. (2018a). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Santa María (1426), Estado de Jalisco (p. 9)*.
- CONAGUA. (2018b). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tomatlán (1424), Estado de Jalisco (p. 29)*.
- CONAGUA. (2018c). *Conjunto de datos vectoriales de la disponibilidad de los acuíferos*. Comisión Nacional del Agua - CONAGUA.
- CONAGUA. (2018d). *Estadísticas del Agua en México (Comisión Nacional del Agua - CONAGUA (Ed.))*.
- CONAGUA. (2019a). *Conjunto de datos vectoriales de los sitios de monitoreo con el indicador Coliformes Fecales (CF) en escala 1:250 000*. SINA-CONAGUA.
- CONAGUA. (2019b). *Conjunto de datos vectoriales de los sitios de monitoreo con el indicador Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5) en escala 1:250 000*. SINA-CONAGUA.
- CONAGUA. (2019c). *Conjunto de datos vectoriales de los sitios de monitoreo con el indicador Demanda Química de Oxígeno (DQO) en escala 1:250 000*. SINA-CONAGUA.
- CONAGUA. (2019d). *Conjunto de datos vectoriales de los sitios de monitoreo con el indicador Sólidos Suspendidos Totales (SST) en escala 1:250 000*. SINA-CONAGUA.

- CONAGUA. (2019e). *Sistema Nacional de Información del Agua (Monitoreo de las principales presas de México)*.  
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/almacenamientoPresas.php>
- Congreso del Estado de Jalisco. (1989). *Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente* (p. 53).
- Dunne, T., & Leopold, L. (1978). *Water In Environmental Planning*.
- Escuela de paisajismo La Granja. (2000). *Convenio Europeo Del Paisaje Florencia. 20.X.2000*.
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos* (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, & la C. y la C. Organización de las Naciones Unidas para la Educación (Eds.)). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (1996). *Forest resources assesment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. FAO.
- FAO. (2003). *Capítulo 4. Manejo del riesgo en el uso del agua en la agricultura*. Descubrir el Potencial del Agua para la Agricultura. <http://www.fao.org/3/y4525s/y4525s07.htm>
- Friedman, J. B. (2009). *Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México* (INE (Ed.)).
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2012). *Límites estatales y municipales del “Mapa General del Estado de Jalisco 2012”*. Publicado en el Periódico Oficial El Estado de Jalisco, el 27 de marzo de 2012.
- H. Ayuntamiento de Tomatlán. (2013). *Plan Municipal de Desarrollo. Tomatlán 2012-2015*.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- INECC. (2007a). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. VI. Estrategias, proyectos y acciones prioritarias.  
[http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/100/cap6\\_1.html](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/100/cap6_1.html)
- INECC. (2007b). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. VII. Estrategias. Consolidación de sistemas de manejo.  
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/43/siete.html#top>
- INEGI. (1971a). *Conjunto de datos vectoriales edafológicos, escala 1: 50,000*. Digitalizado por: Instituto de Información Estadística y Geográfica IIEG en 2016.
- INEGI. (1971b). *Conjunto de datos vectoriales geológicos, escala 1: 50,000*. Digitalizado por: Instituto de Información Estadística y Geográfica IIEG en 2016.
- INEGI. (2001a). *Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1 000 000. Serie I. Provincias fisiográficas*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática - INEGI.

- INEGI. (2001b). *Estudio Hidrológico del Estado de Jalisco (Segunda)*. INEGI.
- INEGI. (2004). *Guías para la Interpretación de Cartografía. Edafología*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI.
- INEGI. (2005). *Guía para la Interpretación de Cartografía. Geología*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI.
- INEGI. (2010a). *Agua potable y drenaje*.  
<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T>
- INEGI. (2010b). *Censo de Población y Vivienda 2010. Principales Resultados por Localidad*. INEGI.
- INEGI. (2010c). *Conjunto de datos con los principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda, 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía – INEGI.
- INEGI. (2010d). *Conjunto de datos vectoriales del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas escala 1:50,000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2015). *Conjunto de datos vectoriales de las cartas topográficas 1:50,000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI.
- INEGI. (2017). *Guía para la interpretación de cartografía: Uso del suelo y vegetación: Escala 1:250,000 Serie VI*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2019). *Conjunto de datos vectoriales de los puntos de localidades urbanas y rurales del Marco Geoestadístico de septiembre de 2019*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía – INEGI.
- INEGI, CONAFOR, CONABIO, & SEMARNAT. (2018). *Mapa nacional de referencia, cobertura de suelo. Escala 1:20,000. MAD-Mex (Monitoring Activity Data for the Mexican REDD+ program)*. CONABIO.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. En *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
- Kostoglodov, V., & Pacheco, J. (1999). *CIEN AÑOS DE SISMICIDAD EN MEXICO*. Instituto de Geofísica, UNAM.  
<http://usuarios.geofisica.unam.mx/vladimir/sismos/100a%F1os.html>
- Mantellanos, R. (2019). *Búsqueda de sedimentos y sólidos disueltos en GEE*.
- Montes-León, M. A. L., Uribe-Alcántara, E. M., & García-Celis, E. (2011). Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(1), 5–17.
- Núñez Cornú, F. J. (2011). Peligro Sísmico en el Bloque de Jalisco, México. *Física de la Tierra*, 23(0), 199–229. [https://doi.org/10.5209/rev\\_fite.2011.v23.36919](https://doi.org/10.5209/rev_fite.2011.v23.36919)
- ONU-OMM. (2013). *El gráfico de la ONU desde el 2000 sobre el calentamiento global no tiene precedentes*. DENIOS. <https://productosquimicosymedioambiente.com/el-grafico-de-la-onu-desde-el-2000-sobre-el-calentamiento-global-no-tiene-precedentes/>

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1993). *Vocabulario Meteorológico*.
- Rees, J. A. (2002). *Riesgos y Gestión Integrada de Recursos Hídricos*. Global Water Partnership.
- Registro Agrario Nacional. (2019). *Conjunto de datos vectoriales de las perimetrales de los núcleos agrarios certificados*. Registro Agrario Nacional. Datos Abiertos.
- Röder, J., Villavicencio García, R., & Zarazúa Villaseñor, P. (2006). Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo “USLE” en SIG para estimar riesgo potencial de erosión en el Área Protegida “Sierra de Quila”. *XVII Semana de la Investigación Científica. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*, 156–162.
- Rojas, R. I. S., & Salazar, S. V. (2018). La acuicultura frente a los impactos de la actividad agrícola en la calidad de los servicios ambientales de la cuenca del río mayo. Una propuesta para su abordaje desde la economía ecológica. | Rojas-Rodríguez | Estudios Sociales. *Revista de Alimentación. Estudios Sociales*, 28(51).
- Ruiz-Luna, A., & Berlanga-Robles, C. (2006). cambios en el paisaje y sus efectos sobre los humedales costeros del sistema estuarino de San Blas, Nayarit (México) por medio de análisis de imágenes. *Ciencias Marinas*, 32, 523–538.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ra. Ed. D). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Salud, S. de. (2007). *Número de decesos por alcance de rayos en México durante 1985 al 2006*. Sistema Nacional de Información de la Salud.
- Secretaría de Economía. (2019). *Sistema de Consulta CARTOMINMEX*. Dirección General de Minas.
- Secretaría de Economía. (2020). *Minería. Acciones y programas*. <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>
- SEMADES. (2006a). *Criterios Ambientales Estatales, para la Elaboración y Presentación de Propuestas de Declaración de Áreas Naturales Prottegidas en el Estado de Jalisco*.
- SEMADES. (2006b). *Modelo de ordenamiento ecológico territorial del estado de Jalisco*.
- SEMARNAT. (2006). Técnicas para la identificación y ponderación de atributos. En *Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico* (pp. 125–167).
- SEMARNAT. (2008). *Compendio de estadísticas ambientales*. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes.
- SEMARNAT. (2018). *México, territorio vulnerable ante huracanes*. SEGOB. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-territorio-vulnerable-ante-huracanes>
- Servicio Meteorológico Nacional. (2020). *Monitor de Sequía en México*.
- Servicio Meteorológico Nacional. (2020). *Información climatológica por estado*. Normales

- Climatológicas por Estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=jal>
- SGM. (2017). *Escalas de los sismos*. Servicio Geológico Mexicano. [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion\\_complementaria/Escalas-sismos.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/Escalas-sismos.html)
- SGM. (2019). *Sistema de Información GeoInfoMex - SGM*. Servicio Geológico Mexicano.
- Thornthwaite, C., & Mather, J. (1957). *Instructions And Tables For Computing Potential Evapotranspiration And The Water Balance* (p. 311).
- Turner y Palma Consultores S.A de C.V. (2009). *Manifestación de impacto ambiental. Modalidad Particular. Central Micro Hidroeléctrica "Cajón de Peña", Tomatlán, Jalisco*.
- UNAM. (2001). *Conjunto de datos vectoriales geología ambiental*. Universidad Nacional Autónoma de México - UNAM.
- UNISDR. (2015). *El 90% de los desastres tiene relación con el clima*. ONU.
- Vidal. (2007). *Número de días con tormenta eléctrica, Nuevo Atlas Nacional de México*. Instituto de Geografía de la UNAM.
- WorldClim. (2020). *WorldClim database: Historical and future climate data*. Global climate and weather data. <https://www.worldclim.org/data/index.html>

## **11. ANEXOS**

- Anexo 1. Cuadro de construcción
- Anexo 2. Listado de flora y fauna
- Anexo 3. Aprovechamiento de agua