

**DICTAMEN
DIAGNÓSTICO
SOCIOAMBIENTAL
DE LA ZONA DE
INFLUENCIA DEL
PROYECTO DE LA
*Minera La Esperanza
S. A. de C. V.***



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

**Dictamen Diagnóstico Socioambiental de la Zona de Influencia del Proyecto de la Minera La Esperanza,
S. A. de C.V.**

Primera edición, 2023

DR © 2023, SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Av. Ejército Nacional 223, piso 16 ala B,

Col. Anáhuac I Sección, C.P. 11320,

Miguel Hidalgo, CDMX, México.

<http://www.gob.mx/semarnat>



Índice

FUNDAMENTO LEGAL	11
1. INTRODUCCIÓN	14
2. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL	15
2.1 Descripción fisiográfica.	16
2.2 Flora y Fauna.	37
2.3 Agua.	48
2.4 Aire y suelo.	84
2.5 Clima y precipitación.	110
3. CARACTERIZACIÓN SOCIOAMBIENTAL	131
3.1 Problemáticas ambientales.	132
3.2 Antecedentes de alarma.	135
4. DEMANDA HÍDRICA	139
4.1 Superficie del proyecto.	139
4.2 Producción.	141
4.3 Huella Hídrica.	143
4.4 Legislación.	147
5. CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO	151
5.1 Cubierta de suelos.	151
5.2 Clima y cambio de uso de suelo al poniente del estado de Morelos.	153
5.3 Cambio de uso de suelo en el estado de Morelos.	155
6. CONCLUSIONES GENERALES	163
6.1 Flora y fauna.	163
6.2 Socioambiental.	163
6.3 Agua.	163
6.4 Aire y suelo.	164
6.5 Cambio de uso de suelo.	165
7. REFERENCIAS	167



Figuras

Figura 2.1. Ubicación de la concesión al proyecto minero.	15
Figura 2.2. Cuenca del río Amacuzac.	16
Figura 2.3. Unidades climáticas.	17
Figura 2.4. Modelo digital de elevaciones.	18
Figura 2.5. Provincias fisiográficas.	19
Figura 2.6. Uso de suelo y vegetación.	20
Figura 2.7. Edafología.	21
Figura 2.8. Evapotranspiración media anual.	22
Figura 2.9. Precipitación media anual al 2004.	23
Figura 2.10. Estaciones climatológicas en la zona del proyecto.	24
Figura 2.11. Precipitación media mensual (17058).	25
Figura 2.12. Precipitación media anual (17058).	25
Figura 2.13. Precipitación media mensual (17072).	26
Figura 2.14. Precipitación media anual (17072).	26
Figura 2.15. Distribución espacial de la precipitación media anual.	27
Figura 2.16. Precipitación media anual.	28
Figura 2.17. Precipitación media mensual.	28
Figura 2.18. Precipitación diaria (1981-2021).	28
Figura 2.19. Plano de ubicación de estaciones para morfología y macroinvertebrados.	30
Figura 2.20. Sección en la estación río Acatzingo.	31
Figura 2.21. Granulometría del Río Acatzingo.	32
Figura 2.22. Sección en la estación río Cuentepec parte alta.	32
Figura 2.23. Granulometría río Cuentepec parte alta.	33
Figura 2.24. Sección en la estación río Cuentepec después de confluencia.	33
Figura 2.25. Granulometría del río Cuentepec después de confluencia.	34
Figura 2.26. Sección en la estación río Cuentepec parte baja.	34





Figura 2.27. Diagrama para la clasificación de ríos. Tomado de Rosgen & Silvey 1998.	35
Figura 2.28. Subcuencas en la zona del proyecto.	48
Figura 2.29. Ríos sobre la superficie del proyecto.	49
Figura 2.30. Áreas de drenaje hacia las estaciones hidrométricas.	50
Figura 2.31. Caudal medio mensual de las estaciones en análisis.	50
Figura 2.32. Ríos, estaciones hidrométricas y proyecto minero.	51
Figura 2.33. Caudal medio mensual en el Río Tembembe.	52
Figura 2.34. Caudales medio mensuales en Tetlama y con traslado de Xicatlacotla.	52
Figura 2.35. Caudal medio mensual Río Tembembe dentro del polígono VI.	53
Figura 2.36. Salidas de los polígonos de los arroyos principales.	53
Figura 2.37. Caudal medio mensual del Arroyo la Lima.	54
Figura 2.38. Caudal medio mensual del Arroyo Agua Fría 1.	54
Figura 2.39. Caudales a la sal Caudal medio mensual del Arroyo Agua Fría 2.	54
Figura 2.40. Caudal medio mensual del Arroyo Tetlama.	55
Figura 2.41. Caudal máximo estimado.	56
Figura 2.42. Subcuencas que incluyen en su totalidad los polígonos del proyecto. Izquierda: subcuenca Arroyo Tembembe. Derecha: subcuenca Arroyo Tetlama	57
Figura 2.43. Escurrimiento medio mensual en arroyos Tembembe (rojo) y Tetlama (azul).	57
Figura 2.44. Ubicación de las fuentes de agua superficial.	58
Figura 2.45 Distribución de los usos consuntivos de agua superficial.	59
Figura 2.46 Variables del balance hídrico superficial	60
Figura 2.47 Acuíferos Cuernavaca y Zacatepec	61
Figura 2.48 . Sección geológica de la parte sur del acuífero Cuernavaca, límite entre los acuíferos: Cuernavaca y Zacatepec.	62
Figura 2.49 . Flujo subterráneo, red y celdas.	62
Figura 2.50 Ubicación de las fuentes de agua subterránea.	64
Figura 2.51. Distribución de los usos consuntivos de agua subterránea.	65
Figura 2.52. Esquema de variables de entrada y salida para el balance hídrico subterráneo.	66
Figura 2.53 Variación mensual del cambio en el almacenamiento de agua en la cuenca del río Amacuzac (incluye aguas superficiales y subterráneas).	68
Figura 2.54 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en Cuentepec bajo.	72
Figura 2.55 Proporción de familias sensibles a la contaminación en Cuentepec bajo.	73





Figura 2.56 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepec-Acatzingo.	74
Figura 2.57 Proporción de especies sensibles en la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepec-Unión Acatzingo.	74
Figura 2.58 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepec cuenca arriba (considerando solo aquellos de más de 1% de abundancia relativa).	76
Figura 2.59 Proporción de especies sensibles en la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepec aguas arriba.	76
Figura 2.60. Plano de ubicación de sitios de aforo.	77
Figura 2.61. Medidor de flujo Hatch FH950.	78
Figura 2.62. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).	79
Figura 2.63. Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO).	80
Figura 2.64. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST).	81
Figura 2.65. Resultados de Coliformes Fecales.	82
Figura 2.66 Localización geográfica del área de estudio en el Estado de Morelos.	84
Figura 2.67 Ubicación geográfica de los sitios donde se instalaron los equipos, durante la campaña de mediciones.	85
Figura 2.68 Equipos empleados durante la campaña de mediciones. De izq. a der.: muestreador portátil de aire, de bajo volumen, analizador automático de ozono con sensor meteorológico acoplado y monitor portátil de PM _{2.5} .	86
Figura 2.69 Ubicación geográfica del sitio donde se instaló el muestreador en la comunidad de Alpuyecá, Mor.	88
Figura 2.70 Ubicación geográfica del sitio donde se instaló el muestreador en la comunidad de Miacatlán, Mor.	91
Figura 2.71 Ubicación geográfica del sitio donde se instaló el muestreador, en la azotea de la cafetería del museo de sitio de la zona arqueológica de Xochicalco, Mor.	90
Figura 2.72. Localización geográfica de los sitios muestreados en la primera campaña.	91
Figura 2.73. Localización geográfica de los sitios muestreados en la segunda campaña.	92
Figura 2.74. Variación diurna de las concentraciones de ozono, determinadas durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.	94
Figura 2.75. Variación diurna de la temperatura y humedad relativa, determinadas durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.	95
Figura 2.76. Comportamiento de la presión atmosférica, medida durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.	96
Figura 2.77. Rosa de los vientos —velocidad y dirección del viento— elaborada a partir de las mediciones realizadas durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.	97





Figura 2.78. Concentraciones ambientales de PM2.5, determinadas a partir de las muestras colectadas con los muestreadores portátiles.	99
Figura 2.79. Concentraciones de carbono orgánico y elemental, determinadas de las muestras de PM2.5 colectadas durante la campaña de mediciones en las comunidades de Alpuyecá, Miacatlán y Xochicalco, Morelos.	100
Figura 2.80. Determinación cualitativa y cuantitativa de metales presentes en las muestras de PM2.5, colectadas en la comunidad de Alpuyecá, Morelos.	101
Figura 2.81. Determinación cualitativa y cuantitativa de metales presentes en las muestras de PM2.5, colectadas en la comunidad de Miacatlán, Morelos.	102
Figura 2.82. Determinación cualitativa y cuantitativa de metales presentes en las muestras de PM2.5, colectadas en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.	103
Figura 2.83. Perfil de concentraciones de PM2.5 e imagen de las fuentes de emisión de PM2.5 (quemadas de biomasa) que contribuyeron a la exposición personal.	104
Figura 2.84. Concentración de metales y metaloides en el sitio de “Rancho Tapia”.	105
Figura 2.85. Concentración de Metales y metaloides en el sitio de “La Mina”.	105
Figura 2.86. Concentración de Metales y metaloides en el sitio de “Río Tetlama”	106
Figura 2.87. Concentración de Metales y metaloides en el sitio de “Río Tetlama”.	106
Figura 2.88. Concentración de Metales y metaloides en el sitio de “Huertas de Alpuyecá”	107
Figura 2.89. Concentración de Metales y metaloides en el sitio de “Jardines de Xochitepec”.	107
Figura 2.90. Resultados globales de la concentración de metales y metaloides en suelo en los municipios de Temixco, Xochitepec y Miacatlán.	108
Figura 2.1. Vista del sitio desde la Zona Arqueológica de Xochicalco.	140
Figura 2.2. Polígono del proyecto.	141
Figura 2.3. Método de cianuración en la extracción del oro.	142
Figura 2.4. Producción de plata y oro y estimación de la baja Ley del oro.	143
Figura 2.5. Diagrama general del proceso minero.	145
Figura 2.6. Posibles consumos de agua para la minera.	146
Figura 4.7. Expansión del Lote Minero.	148





Tablas

Tabla 2.1. Estaciones climatológicas.	25
Tabla 2.2. Coordenadas geográficas de estaciones.	30
Tabla 2.3. Criterios de clasificación geomorfológica. AMR (ancho máximo de ribera); P (profundidad); AAI (Ancho de área de inundación); TC (tasa de confinamiento).	36
Tabla 2.4. Categorías de riesgo de especies de flora y fauna en la NOM-059 SEMARNAT 2010 y lineamientos internacionales.	37
Tabla 2.5. Géneros y especies por familia de las plantas vasculares presentes en los cerros La Cantera y Delgado, Jantetelco, Morelos, México (*) = familias con mayor riqueza. Cerros -Tlatilpa et al., (2017).	38
Tabla 2.6. Herpetofauna presente el Paredón, zona de Miacatlán, Morelos. “-“= Sin datos. PR= Especie sujeta a protección especial. A= especie amenazada. LC= Preocupación menor. NT= casi amenazado.	41
Tabla 2.7. Ictiofauna presente en la cuenca del río Amacuzac. *Especie nativa. “-“= Sin datos. A= especie amenazada. PR= Especie sujeta a protección especial. LC= Preocupación menor. DD= Datos insuficientes. EN= Especie en peligro.	43
Tabla 2.8. Mastofauna presente en la región de Miacatlán, Morelos. -= No dato; P= en peligro de extinción; A= amenazado y LC= en preocupación menor.	44
Tabla 2.9. Ornitofauna reportada presente en la zona de estudio.	45
Tabla 2.10. Características fisiográficas de los arroyos. Fuentes: SIATL, 2013 y SIASv2, 2009.	56
Tabla 2.11. Puntos de extracción de aguas superficiales por uso y tipo. Fuente: REPDA, 2017.	59
Tabla 2.12. Cuadro resumen de valores de los términos que intervienen en el cálculo de la disponibilidad superficial en la cuenca del río Amacuzac.	61
Tabla 2.13. Volumen subterráneo en celdas, acuífero Cuernavaca.	64
Tabla 2.14. Volumen del flujo subterráneo en el acuífero Zacatepec.	64
Tabla 2.15. Fuentes de aguas subterráneas por uso y tipo. Fuente: REPDA, 2017.	65
Tabla 2.16. Distribución de los usos consuntivos de las aguas subterráneas. Fuente: REPDA con corte al 30 de septiembre del 2022.	66
Tabla 2.17. Disponibilidad de agua subterránea para el acuífero de Cuernavaca al 17 de septiembre de 2020.	68
Tabla 2.18. Clasificación de la calidad del agua en base al índice biótico de Hilsenhoff, (IBH, 1988).	72
Tabla 2.19. Índices ecológicos descriptivos de la comunidad de macroinvertebrados. S (riqueza), N (abundancia).	72
Tabla 2.20. Resumen de campaña de aforo de enero y febrero de 2023.	78
Tabla 2.21. Parámetros de campo de los sitios de agua superficial.	79





Tabla 2.22. Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los sitios.	84
Tabla 2.23. Valores de metales obtenidos en los sitios.	84
Tabla 2.24. Calidad del agua subterránea.	85
Tabla 3.1. Primer eje de caracterización socioambiental.	134
Tabla 3.2. Segundo eje de caracterización socioambiental.	136
Tabla 3.3. Antecedentes de alarma.	137



FUNDAMENTO LEGAL

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos reconoce, en su artículo 4º, párrafo quinto, el derecho humano a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de todas las personas.

Ese derecho debe ser respetado, promovido, protegido y garantizado por las autoridades ambientales y por aquellas que ejerzan funciones relativas a los demás que le estén vinculados y por tanto sean interdependientes con él.

Vinculado al derecho humano a un medio ambiente sano, se encuentran los relativos a la salud, al acceso al agua para consumo, personal y doméstico, de forma suficiente, aceptable, salubre y asequible, así como a los que prevé el artículo 27 del propio ordenamiento, que establece que el Estado mexicano debe regular en beneficio social el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación para distribuir equitativamente la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

Para ello, el mismo precepto dispone, que deberán dictarse medidas que establezcan adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques para evitar la destrucción de los elementos naturales.

Su ordenamiento constitucional, en el artículo 25, confiere al Estado mexicano la rectoría del desarrollo nacional para que sea integral y sustentable, fortalezca la soberanía nacional, su régimen democrático y para que mediante, una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales cuya seguridad protege.

Los principios referentes a apoyar e impulsar a los sectores social y privado de la economía, a fin de que con responsabilidad social, bajo criterios de equidad, productividad, sustentabilidad y sujetándose a las modalidades que dicte el interés público

y el uso en beneficio general de los recursos productivos, cuidando en todo momento su conservación y el medio ambiente, son base fundamental del desarrollo nacional.

Es así que, en México las personas físicas y jurídicas pueden utilizar, aprovechar y explotar los recursos productivos para el desarrollo de sus actividades y ser impulsadas para lograr su crecimiento, esto, siempre bajo criterios de equidad social productividad, sustentabilidad y cuidando la conservación de los propios recursos y el medio ambiente.

Los principios anteriores, que rigen entre otras a la materia ambiental, se desarrollan fundamentalmente en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que en su artículo 1º establece que es reglamentaria de las disposiciones constitucionales señaladas en tanto que como su denominación lo señala regula la preservación y restauración del equilibrio ecológico, cuestiones que atañen indudablemente a la protección del ambiente tanto en el territorio nacional, como en el mar territorial y en la zona económica exclusiva; en los dos primeros, porque en ellos el Estado mexicano ejerce soberanía y en el tercero jurisdicción.

Por su parte, la citada Ley, en sus artículos 5, 11, 12 y 15, señala que corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ejercer las facultades de la Federación en lo concerniente a la formulación y conducción de la política ambiental nacional, la aplicación de instrumentos que respecto a ella establece la ley, regular acciones para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, atender asuntos que afecten el equilibrio ecológico en el territorio nacional o en las zonas señaladas, regular las actividades relacionadas con la explotación de minerales, sustancias y demás recursos del subsuelo en cuanto a los efectos que tales actividades puedan generar sobre el equilibrio ecológico y el ambiente.

La política ambiental mexicana establecida en el artículo 15 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que entre otros, se sujeta a los principios relativos a considerar que los ecosistemas son patrimonio común





de la sociedad y que de su equilibrio depende la vida en las posibilidades productivas del país, ecosistemas que conjuntamente con sus elementos deben aprovecharse de forma tal que se asegure una productividad óptima y sostenida, compatible con su equilibrio e integridad. Corresponde según las fracciones III y IV del referido artículo 15, tanto a las autoridades como a los particulares, asumir la responsabilidad de proteger el equilibrio ecológico, debiendo éstos, en aquellos casos en los que causen daños, repararlos y asumir sus costos, lo que debiera ser excepcional, pues por encima de esto se encuentra la obligación de prevenir o minimizar las afectaciones ambientales, por quienes realicen actividades que puedan causarlas. En el acatamiento de esas obligaciones debe considerarse que las afectaciones o daños ambientales no solo comprenden las condiciones presentes, sino también aquellas que determinarán la calidad de vida de las futuras generaciones de conformidad con la fracción V del mismo artículo.

Parte de la política ambiental es la referente a la utilización de los recursos no renovables como es el caso de los materiales del suelo y del subsuelo, de modo tal que se evite el peligro de su agotamiento y la generación de efectos ecológicos adversos.

Para lograr la eficacia de las acciones ecológicas, es indispensable la coordinación entre dependencias y entidades de la administración pública y entre los distintos órdenes de gobierno y una responsable y activa participación de la sociedad y de sus organizaciones.

Las autoridades ambientales deben garantizar en todo momento el derecho de las comunidades, incluidos los pueblos indígenas, a la protección, preservación, uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la salvaguarda y uso de la biodiversidad tal y como lo establece la fracción XIII, del artículo 15 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Garantizar un derecho humano a un medio ambiente sano, implica la obligación de la autoridad de controlar y prevenir la contaminación ambiental, orientar y lograr un adecuado aprovechamiento de los elementos naturales y el mejoramiento del entorno natural en los asentamientos humanos.

En ello, igual que otros países, México tiene responsabilidad, pues unos y otros están obligados y así se reconoce en el Derecho Internacional, a

no afectar el equilibrio ecológico de unos y otros Estados por lo que, en igualdad de circunstancias todas las autoridades de las distintas naciones deben promover, preservar y restaurar el equilibrio de los ecosistemas regionales y globales. Esto significa que los nacionales de todos los países están obligados a cuidar, preservar y proteger el medio ambiente y en su caso, a restaurar el equilibrio de los ecosistemas. Además de ser la competente para fijar la política ambiental, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, tiene el carácter de autoridad en la materia.

Es por ello, que paralelamente a la obligación de ser la autoridad garante de la preservación de la naturaleza, sus recursos y del goce del derecho a un ambiente sano, le corresponde ejercer ya sea de manera directa o a través de sus unidades administrativas y las Instituciones que le están sectorizadas, las funciones que le competen, para que a la par de cumplir con los principios de política ambiental, ejerza actos a través de los cuales pueda conocerse el estado de los ecosistemas, de la biodiversidad y de los diversos elementos que integran la naturaleza, como lo son el suelo, el agua, la atmósfera, entre otros. Para ello, dicha Secretaría debe observar y realizar actividades permanentes, que le permitan conocer y diagnosticar, con base en dictámenes de expertos, en el conocimiento del estado del arte, de los elementos mencionados, la situación de la biodiversidad en una o más zonas, regiones, estados o sitios del país, en el caso concreto en la región del estado de Morelos que abarca la concesión del proyecto Minero Esperanza Silver del México S.A. de C.V., en lugares diversos de los municipios de Temixco, Miacatlán, Xochitepec y Cuernavaca, dentro de la Región Hidrológica número 18 "Balsas"; dentro de la cuenca del Río Amacuzac.

Dado que estos municipios y localidades se encuentran alrededor de las concesiones mineras y del proyecto minero que se pretende establecer, existe la preocupación legítima de las comunidades sobre el estado que guarda el medio ambiente y el riesgo de deterioro de la calidad del agua, aire y suelo de la región, en caso de aprobarse la operación del proyecto. En virtud de que ya existe un alto estrés hídrico en la región, las personas indican también la posibilidad de un incremento en la escasez de agua por la operación de un proyecto de esta naturaleza, que tiene grandes necesidades de agua para la extracción de minerales y que puede significar una vulneración a su derecho humano al agua para consumo doméstico.





Dada esta problemática ambiental, resulta indispensable proveer de evidencia científica que permita determinar si las preocupaciones sociales tienen sustento real, de tal suerte que sea posible atenderlas y prevenir con ello un daño por contaminación del medio ambiente tanto a su economía local, como a la salud humana y ambiental de este territorio.

Por esta razón, el Gobierno de México a través de su Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, dispuso la generación de este Dictamen Diagnóstico Ambiental. Como se ha señalado, parte de la política ambiental mexicana es la actuación de las autoridades y el ejercicio de sus derechos por los particulares, con el compromiso de preservar y restaurar el equilibrio ecológico; además de proteger el ambiente, llevando a cabo actos como el presente diagnóstico que constituye un dictamen técnico elaborado por instituciones que forman parte del sector ambiental mexicano, que permite determinar el estado de la biodiversidad integral en lugares como los ya señalados.

En el dictamen participó el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), organismo público descentralizado parte del sector coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Artículo 1 del Decreto de su creación) y que tiene por objeto realizar investigaciones para el manejo, conservación y rehabilitación del agua, a fin de contribuir al desarrollo sustentable del país conforme a lo dispuesto por el artículo 2 del Decreto por el que se crea el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el diverso 14 Bis 3, fracción VII, de la Ley de Aguas Nacionales, por lo que llevó a cabo un análisis hídrico ambiental para conocer el estado que guarda la calidad del agua en ríos y acuíferos de la zona, así como el agua que se utiliza para consumo humano de las comunidades. Así mismo, se incorporó con base en la información del proyecto minero, un análisis de demanda hídrica del proyecto tal manera que se pudiera identificar su coexistencia con los demás usuarios de agua dentro del territorio.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), organismo público descentralizado sectorizado a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales objeto

(Artículo 1 de su Estatuto Orgánico), participó en la formulación de este dictamen, a través del análisis del impacto ambiental en el aire y suelo en todas las comunidades a lo largo de este territorio.

Ello, al ser parte de sus funciones la realización de estudios de investigación científica en materia de cambio climático, protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico, conforme al artículo 7, fracción I, de dicho Estatuto y 15, fracción I de la Ley General de Cambio Climático.

El Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (Cecadesu) de la SEMARNAT, colaboró en la formulación del presente dictamen con base en la atribución conferida en el artículo 38, párrafo II del Reglamento Interior de la Secretaría, que establece el diseño, desarrollo, coordinación, promoción y asesoraría a programas y proyectos en los temas estratégicos que defina la Semarnat, para la población y los sectores estratégicos del medio ambiente en materia de educación ambiental, con un enfoque intercultural y de derechos humanos reconocidos a cada sector social, incluidos los derechos de la mujer, la igualdad de género, la no discriminación, así como los derechos de pueblos y comunidades indígenas y afro-mexicanas, que contribuya a la protección del medio ambiente y la mitigación y adaptación del cambio climático.

El Dictamen tiene por objetivo evaluar los impactos potenciales socioambientales en el área de influencia del proyecto (696.2 ha) de la Minera Esperanza Silver S.A. de C.V., ante el posible desarrollo de actividades mineras en la región.





1. Introducción

El sector Ambiental encabezado por la SEMARNAT atendiendo la preocupación de la sociedad civil y el Movimiento Morelense en contra de la Minería, se realizó durante el periodo de enero y marzo de 2023, trabajo de campo y gabinete con el fin de caracterizar el estado actual socioambiental del área de influencia del proyecto de la Minera Esperanza Silver S.A. de C.V., que comprende áreas dentro de los municipios de Temixco, Miacatlán y Xochitepec, en el estado de Morelos. En el presente Dictamen participó, el Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (Cecadesu), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Así también, se consideró la información compartida y recopilada por el Movimiento Morelense en contra de la Minería y personas interesadas en el tema.

El Dictamen tiene por objetivo evaluar los impactos potenciales socioambientales en el área de influencia del proyecto (696.2 ha) de la Minera Esperanza Silver S.A. de C.V., ante el posible desarrollo de actividades mineras en la región. Para la evaluación se requirió el conocimiento del estado actual que guarda la biodiversidad, el suelo y el agua tanto en cantidad como en calidad, así como las relaciones que se generan entre las comunidades y el territorio.

El presente Dictamen cuenta con ocho apartados: fundamento legal, introducción, caracterización ambiental, caracterización socioambiental, demanda hídrica, evaluación de impactos potenciales,

conclusiones generales y referencias. En el primer apartado denominado “fundamento legal”, se hace una revisión del corpus jurídico en materia ambiental con el objeto de fundar y motivar la elaboración del presente Dictamen, mismo que fue concebido bajo una perspectiva de derechos humanos, al buscar garantizar el derecho de acceso a un medio ambiente sano de los habitantes de los municipios de Temixco, Miacatlán y Xochitepec del Estado de Morelos. En el apartado de caracterización ambiental se desarrolla una descripción del estado actual de la flora y fauna, así como de las condiciones de calidad y cantidad de agua superficial y subterránea, también se incluye un diagnóstico de los elementos abióticos como son el aire y suelo. En el capítulo cuatro correspondiente al tema socioambiental se describen los procesos para el diagnóstico de la problemática ambiental desde un enfoque comunitario. En el capítulo cinco se delimita la superficie de influencia del proyecto minero, también se aborda el método de lixiviación con cianuro en la extracción del oro y plata, el cual aporta los elementos para el cálculo de huella hídrica de acuerdo a la producción esperada del proyecto. La identificación de impactos potenciales socioambientales derivados de una actividad de explotación minera en la zona, son abordados en el capítulo seis y finalmente en el capítulo de “Conclusiones generales” se presenta a manera de resumen los impactos potenciales socioambientales por efecto de los procesos de la actividad minera.

2. Caracterización ambiental

La concesión del proyecto minero Esperanza Silver de México S.A. de C.V. se localiza en los municipios de Temixco, Miacatlán, Xochitepec y Cuernavaca en la porción centro norte de la

Región Hidrológica número 18 "Balsas"; en el estado de Morelos (Figura 2.1), dentro de la cuenca del Río Amacuzac (1802).

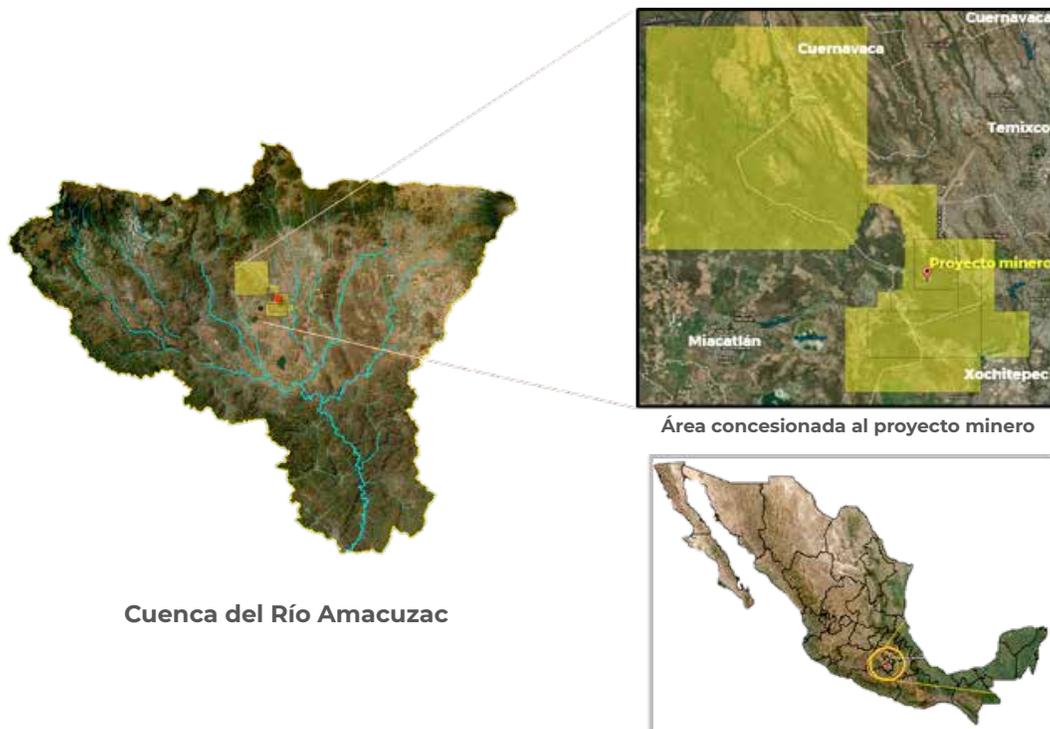


Figura 2.1. Ubicación de la concesión al proyecto minero.

La cuenca comprende desde el nacimiento del Río Amacuzac hasta la estación hidrométrica Atenango del Río, ubicada en las coordenadas geográficas 99° 06' 30" de longitud Oeste y 18° 06' 45" de latitud Norte. La cuenca, tiene una superficie de aportación de 8862.9 km², y se encuentra delimitada por las siguientes regiones y cuencas hidrológicas: al Norte por las Regiones Hidrológicas número 26 Pánuco y 12 Lerma Santiago, al Sur por la cuenca hidrológica Río Bajo Atoyac, al Oeste por las cuencas hidrológicas Río Cutzamala y Río Medio Balsas, y al Este por la cuenca hidrológica Río Nexapa (DOF, 2011).

2.1 Descripción fisiográfica

En el presente apartado se realiza una caracterización regional de la zona de estudio, que incluye la cuenca de aportación del polígono donde se ubica la concesión minera de la empresa Esperanza Silver

de México S.A. de C.V. Lo anterior, con el fin de presentar el análisis y actualización de las condiciones particulares de la zona de estudio partiendo de una perspectiva regional hacia lo local. Este apartado incluye el análisis de la climatología, relieve, fisiografía, uso de suelo, edafología, evapotranspiración, precipitación y la caracterización de la geomorfología en la zona de estudio.

La cuenca del río Amacuzac, donde se ubica inmerso el polígono de la concesión minera de la empresa Esperanza Silver de México S.A. de C.V., pertenece a la región hidrológica número 18 denominada "Balsas". La mayor parte de la superficie queda localizada dentro del estado de Morelos y pequeñas partes están en los estados de Puebla, Estado de México, Guerrero y Ciudad de México. La cuenca tiene un área de 8862.9 km² e hidrológicamente sus escurrimientos se originan en el Nevado de Toluca, hasta su desembocadura en el Río Balsas en el estado de Guerrero, considerando una longitud promedio del cauce principal de 240 km. Ver Figura 2.2.

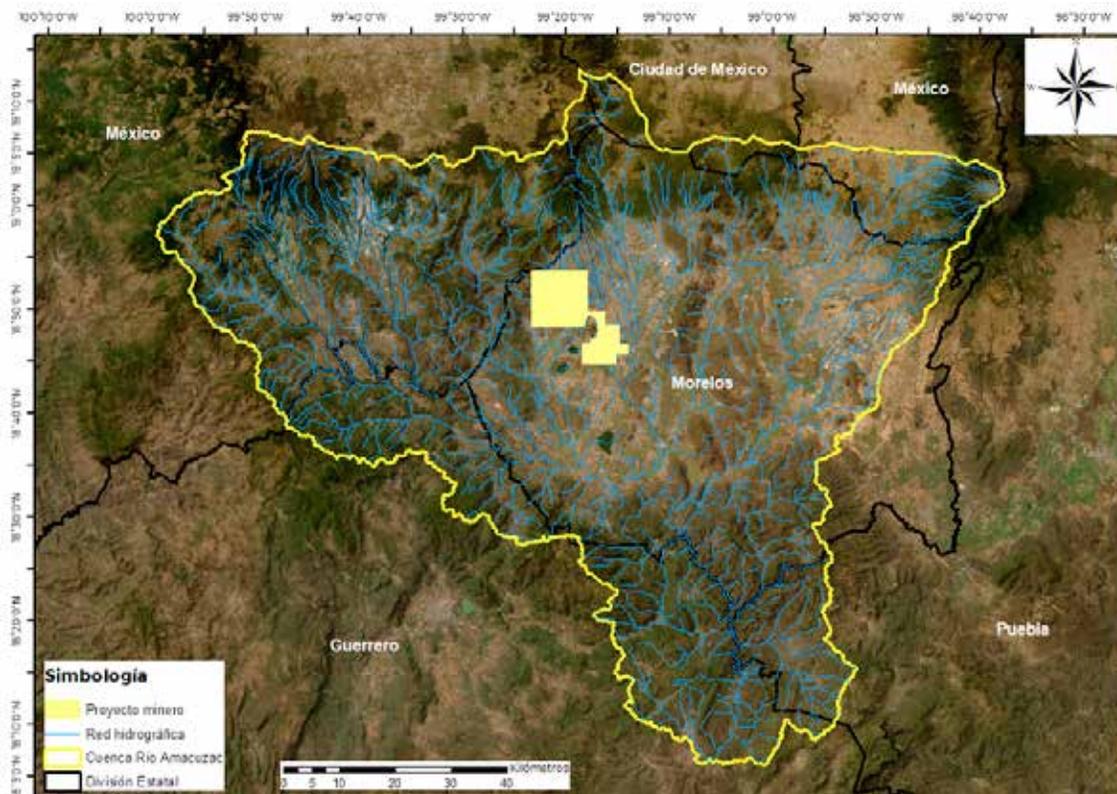


Figura 2.2. Cuenca del río Amacuzac. Fuente: Elaboración propia.

2.1.1. Climatología

Los tipos de climas predominantes en la cuenca del río Amacuzac van del tipo frío a cálido subhúmedo, teniendo el primero en la parte centro norte de la cuenca. También en toda la frontera norte de la cuenca se presenta el clima semifrío subhúmedo y conforme disminuye la elevación el clima cambia

a templado subhúmedo, semicálido subhúmedo y cálido subhúmedo. Este último es el clima que cubre una mayor extensión de la cuenca. El área concesionada para el proyecto abarca los climas semicálido subhúmedo y el cálido subhúmedo (Figura 2.3).

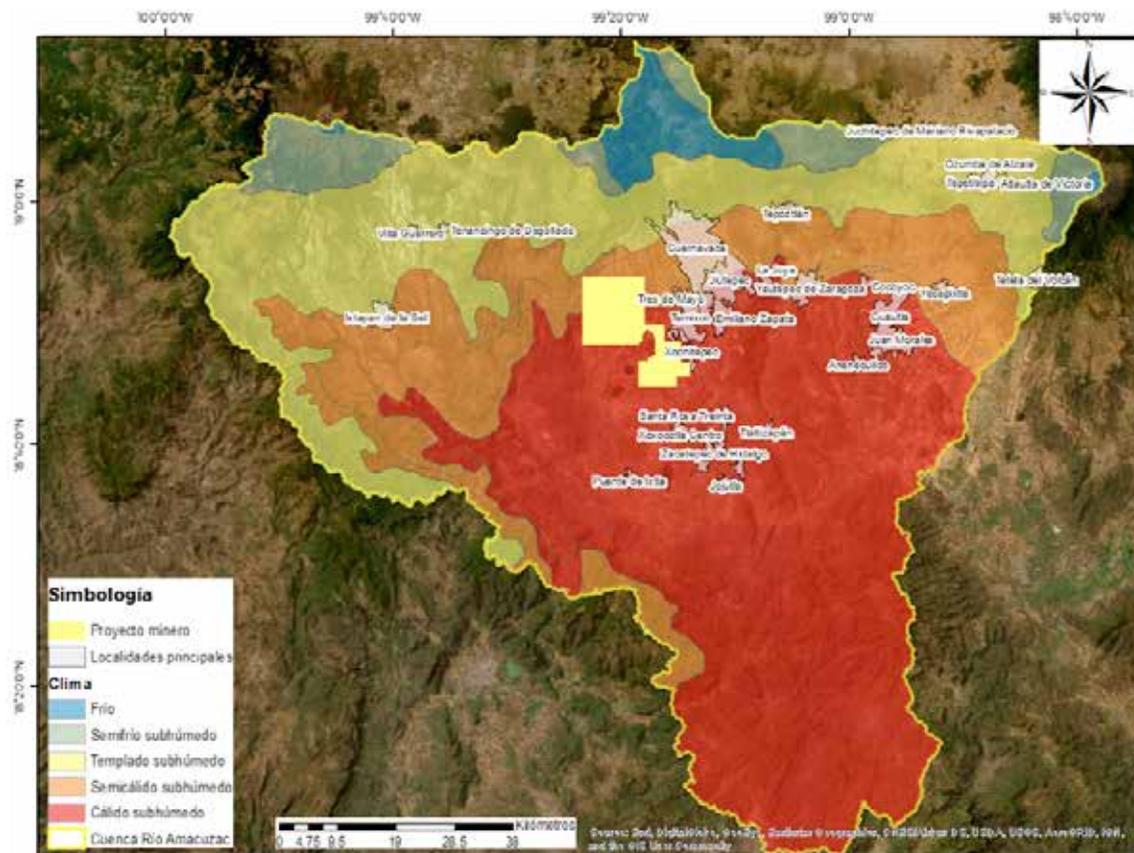


Figura 2.3. Unidades climáticas. Fuente: INEGI, 2008.

2.1.2. Relieve

La cuenca del río Amacuzac presenta grandes diferencias en cuanto a elevación sobre el nivel del mar. Al norte la elevación oscila en los 3000 msnm, teniendo su parte más alta en el volcán Popocatepetl con aproximadamente 5400 msnm (INEGI, 2013).

Al centro de la cuenca la elevación es de aproximadamente 1000 msnm y a su salida de un poco más de 500 msnm (Figura 2.4.). La elevación del terreno del proyecto minero va aproximadamente de los 1900 msnm hasta los 1000 msnm.

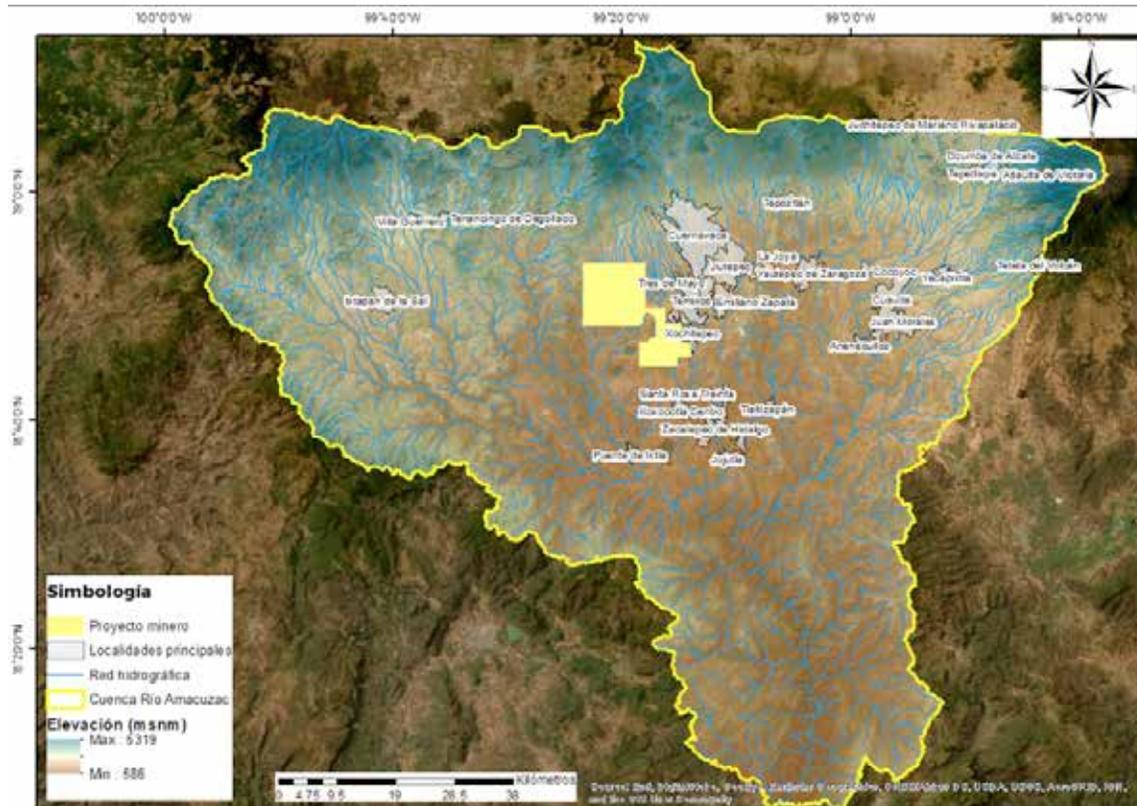


Figura 2.4. Modelo digital de elevaciones. Fuente: INEGI, 2013.

2.1.3. Fisiografía

La cuenca se encuentra en las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico Transversal y Sierra Madre del Sur (Figura 2.5). El proyecto minero se ubica en esta última provincia.

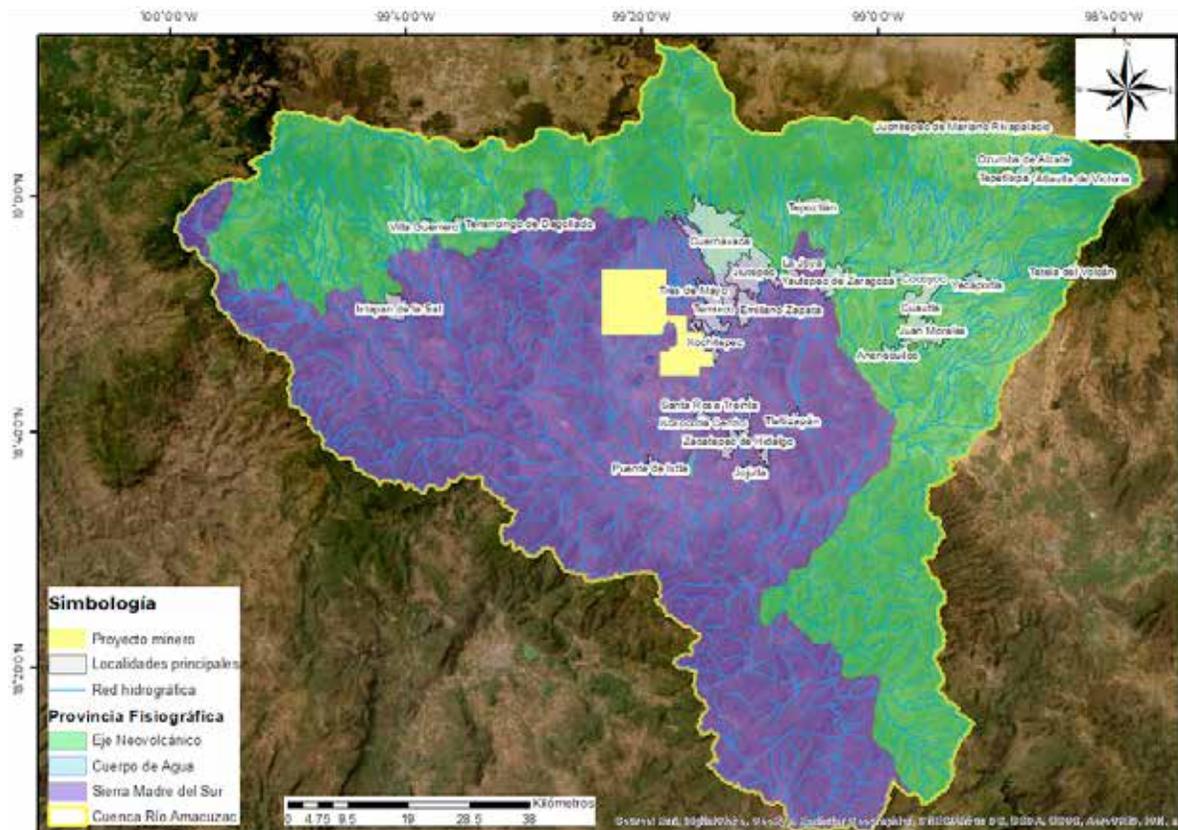


Figura 2.5. Provincias fisiográficas. Fuente: INEGI, 2001.

2.1.4. Uso de suelo

En cuanto a los usos de suelo, en la cuenca predominan la agricultura de temporal, agricultura de riego, diversos tipos de bosque, matorrales, pastizales, selva baja caducifolia y vegetación secundaria de bosque y selva (Figura 2.6). En la zona del proyecto

predomina la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, agricultura de temporal, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino y el pastizal inducido (INEGI, 2018).

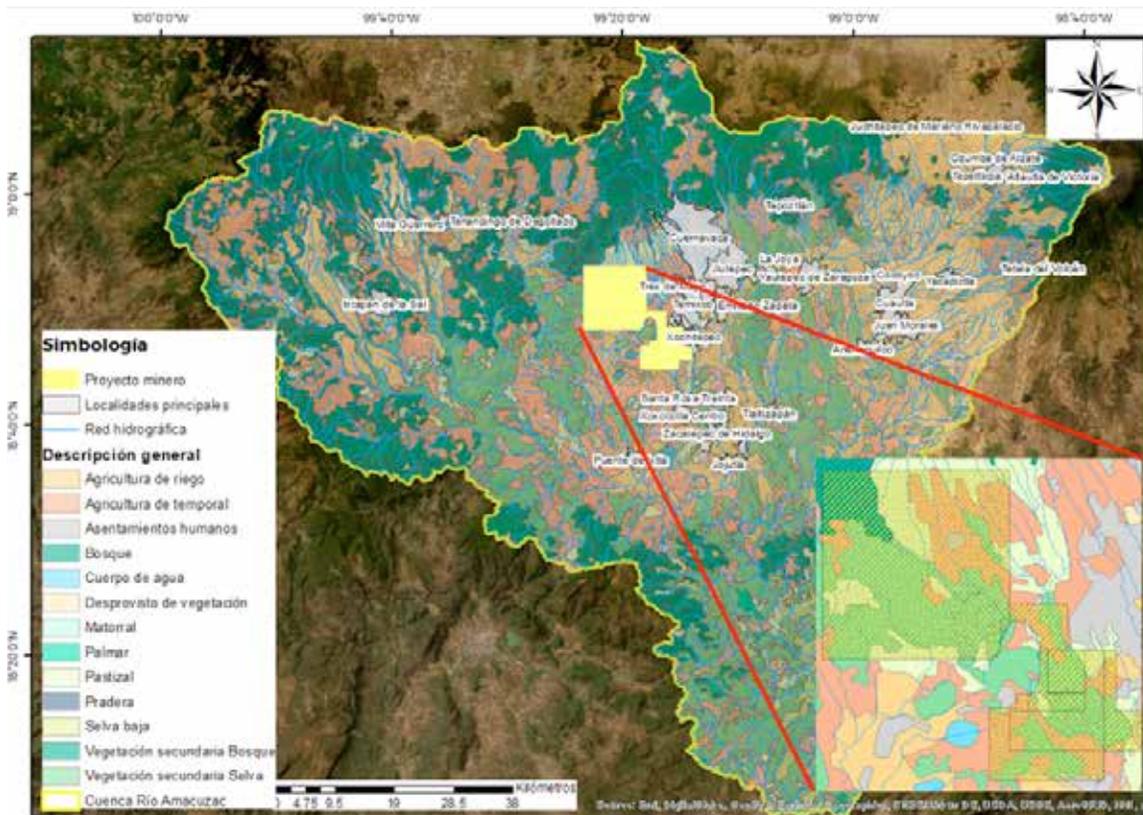


Figura 2.6. Uso de suelo y vegetación. Fuente: INEGI, 2018.

2.1.5. Edafología

Existe una gran variedad de suelos en toda la superficie de la cuenca del Río Amacuzac (Figura 2.7), pero en específico en la zona de proyecto predominan los suelos Phaeozem de textura media, Leptosol de textura media, Regosol de textura gruesa y Vertisol de textura fina, en este orden de ocupación de superficie.

A continuación, se describen los tipos de suelo (INEGI, 2011b):

Phaeozem: Suelos de clima semiseco y subhúmedo. El relieve donde se desarrollan estos suelos es generalmente plano o ligeramente ondulado. Importantes para la agricultura de temporal. Fértiles en magnesio y potasio, aunque con muy pocos o ningún carbonato.

Leptosol: Incluyen los antiguos Litosoles y otros suelos con menos de 25 cm de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. Susceptibles a la erosión. Generalmente se localizan en zonas montañosas con más de 40% de pendiente. Los tipos de vegetación más relacionados con los afloramientos rocosos son el matorral

desértico rosetófilo, la selva baja caducifolia y el bosque de encino. El uso principal de este suelo es para agostadero.

Regosol: Suelos con propiedades físicas o químicas insuficientes para colocarlos en otro grupo de suelos. Son pedregosos, de color claro en general y se parecen bastante a la roca que les ha dado origen cuando no son profundos. Son comunes en las regiones montañosas o áridas de México asociados frecuentemente con Leptosoles. Constituyen el grupo de suelo más extenso y variado del país.

Vertisol: Suelos pesados formados bajo condiciones alternadas de saturación-sequía, que presentan grietas anchas, abundantes y profundas cuando están secos y con más de 30% de arcillas expandibles. Mediante un buen programa de labranza y drenaje son bastante fértiles para la agricultura por su alta capacidad de retención de humedad y sus propiedades de intercambio mineral con las plantas. Las obras de construcción asentadas sobre estos suelos deben tener especificaciones especiales para evitar daños por movimiento o inundación. Son bastantes estables frente a la erosión.

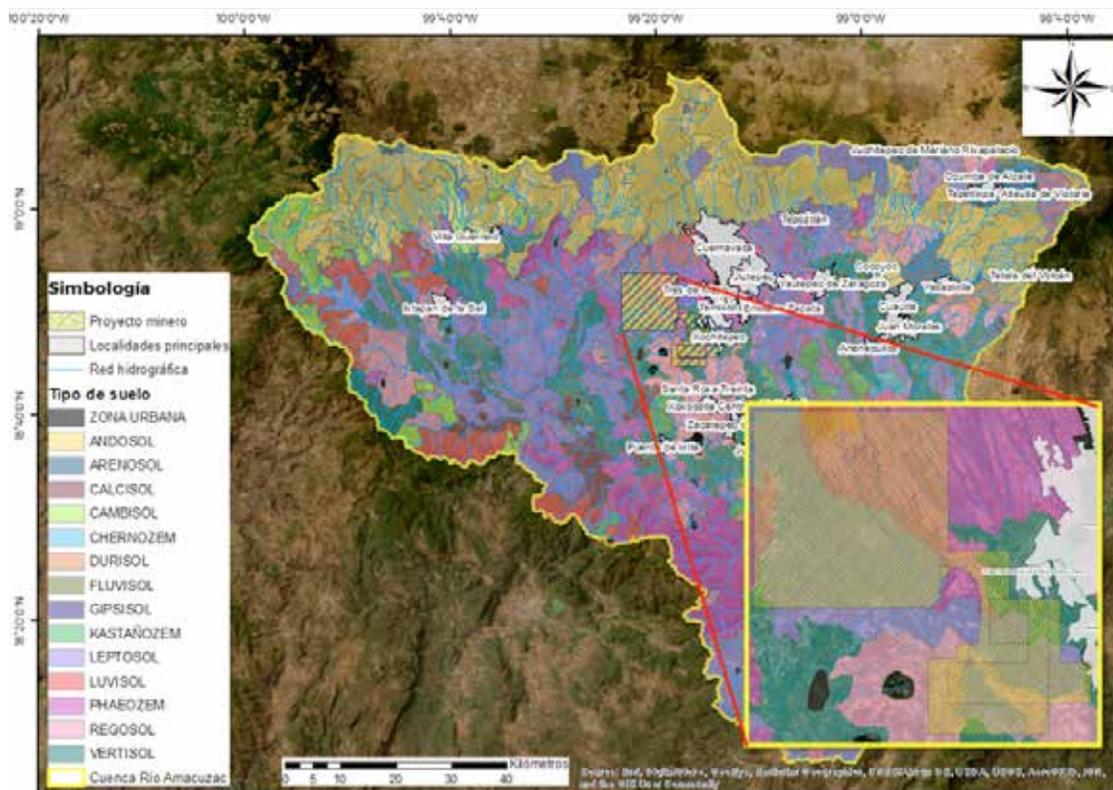


Figura 2.7. Edafología. Fuente: INEGI, 2011.

2.1.6. Evapotranspiración

En 2004 INEGI publicó un mapa de evapotranspiración a nivel nacional (INEGI, 2004). En la Figura 2.8 se tiene la información referente a la cuenca del Río Amacuzac, se observa que la evapotranspiración se incrementa conforme se desciende en altitud, o

visto de otra manera, de norte a sur. Este valor corresponde a la evapotranspiración media anual y va de los 600 mm hasta los 800 mm al año. En la zona del proyecto se tiene que la evapotranspiración ronda los 680 mm a los 750 mm al año.

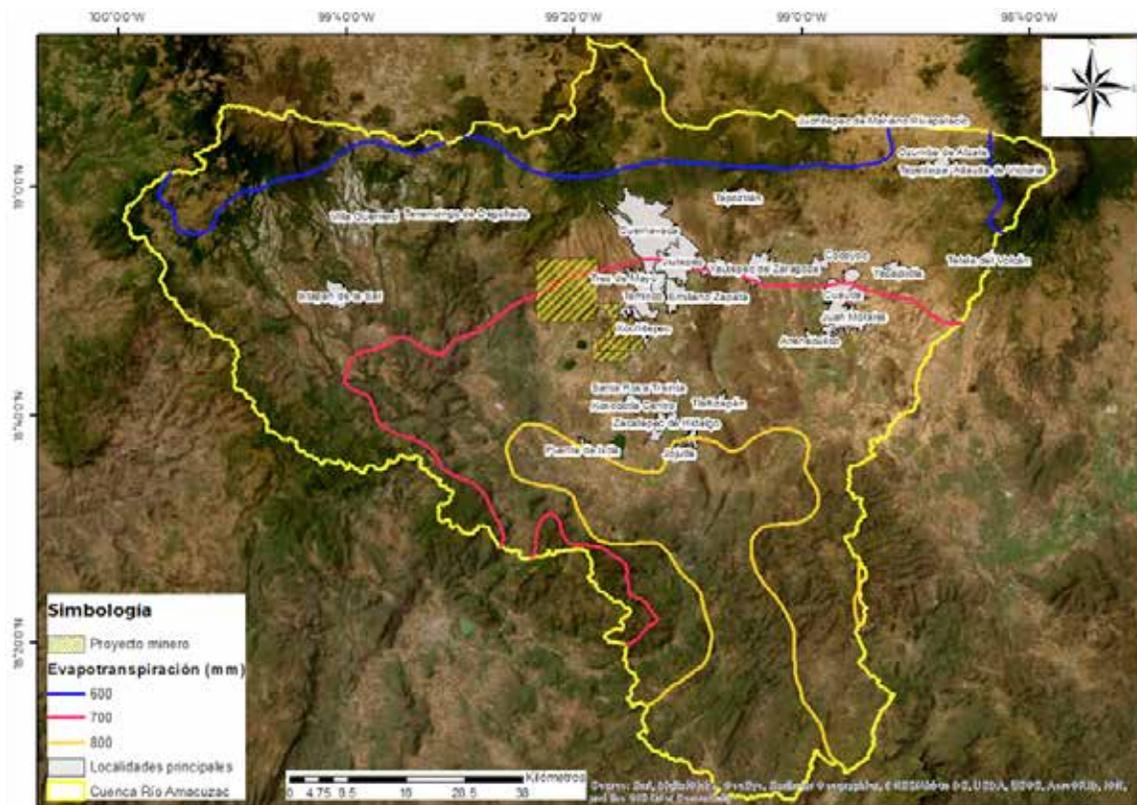


Figura 2.8. Evapotranspiración media anual. Fuente: INEGI, 2004.

2.1.7. Precipitación

INEGI en 2004 publicó un mapa de isoyetas de precipitación media para el territorio nacional, en lo que corresponde a la cuenca del Río Amacuzac se tiene una mayor concentración de lluvia anual al norte de la cuenca con aproximadamente 1500

mm, esta se reduce conforme disminuye la altitud en la cuenca, en dirección norte sur. En la porción noroeste entre los 1600 y 2600 msnm se tiene una precipitación de 1200 mm, y hacia el sur de la cuenca 1000 mm a 900 mm (Figura 2.9).

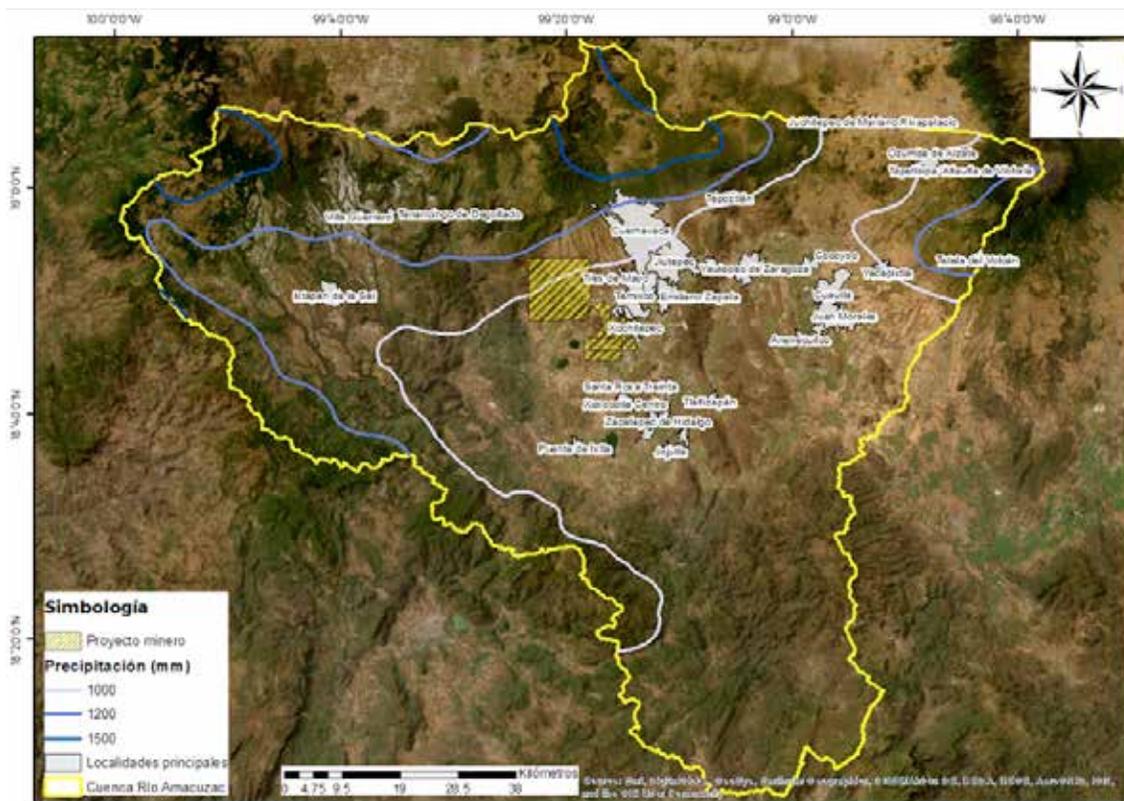


Figura 2.9. Precipitación media anual al 2004. Fuente: INEGI, 2004.

Además, en el CLICOM (2021) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) se tiene información de estaciones climatológicas que registran datos como la precipitación, temperaturas máximas,

mínimas, viento y evaporación. Alrededor y dentro de la zona de estudio (Figura 2.10) se ubican las estaciones que se enlistan en la siguiente Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Estaciones climatológicas

Clave	Nombre	Año Inicio	Año fin	Años con información	Estado
17006	El Rodeo	1955	2016	61	Operando
17014	Temixco	1957	2016	60	Operando
17058	Cuentepec	1978	2016	39	Operando
17067	Cuernavaca (obs)	1981	2017	36	Operando
17069	Ahuehuetzingo	1982	2017	19	Operando
17070	Alpuyeca	1982	1983	2	Suspendida
17072	Alpuyeca	1969	2017	38	Operando

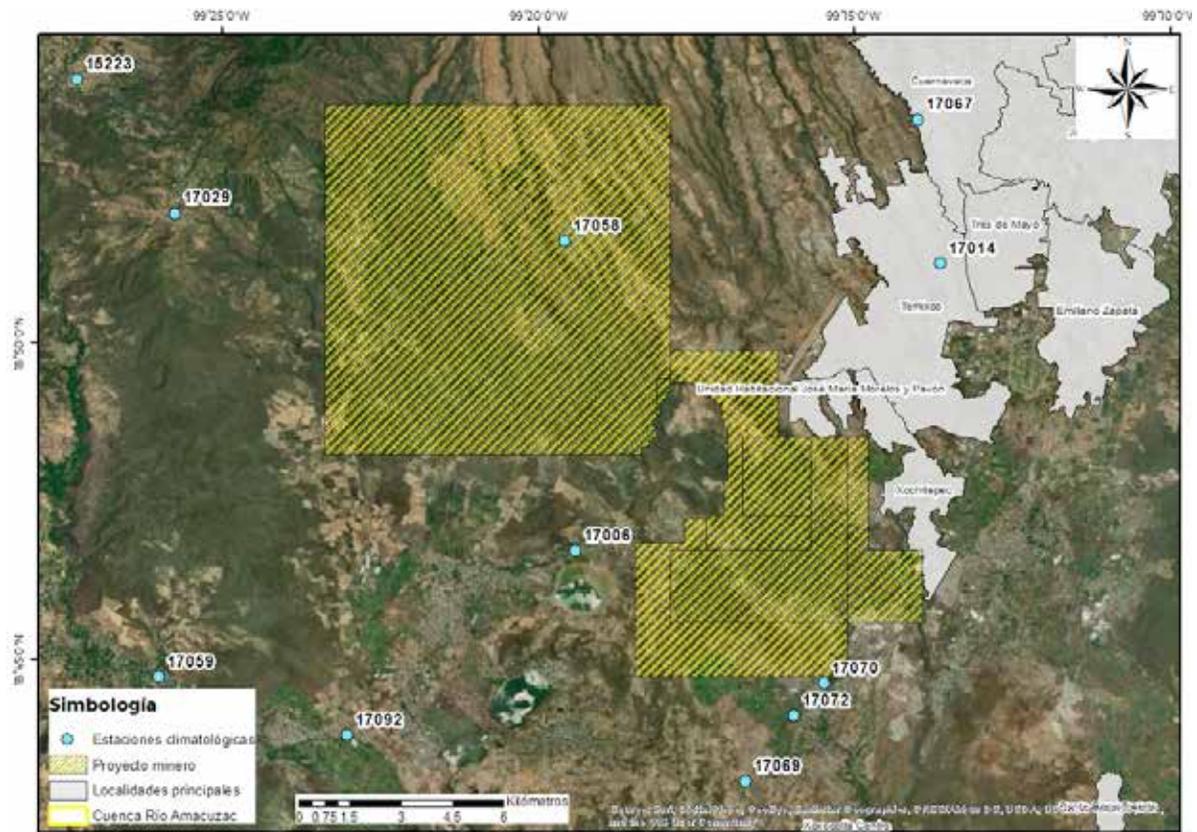


Figura 2.10. Estaciones climatológicas en la zona del proyecto. Fuente: CLICOM, 2021.



Se analizaron las estaciones 17058 Cuentepec y 17072 Alpuyecaca para conocer el comportamiento de la precipitación media anual. La estación 17058 se ubica dentro del polígono de mayor extensión del proyecto minero y la estación 17072 al sur del conjunto de polígonos. Estas dos estaciones cuentan con información suficiente para mostrar el comportamiento de la precipitación en la zona.

La estación 17058 no cuenta con información suficiente en los años de 1978, 2007 y 2014 (Figura 2.11 y Figura 2.12). Mientras que la 17072 tiene el mismo problema en los años 1970, 1972, 1973, 1976, 1988 a 1997 y 2014 (Figura 2.13 y Figura 2.14). La precipitación media en la estación 17058 es de 1059 mm y de la estación 17072 es de 832 mm. Los meses donde ocurren la mayor parte de la precipitación es de mayo a octubre, entre junio y septiembre la media mensual es mayor a los 200 mm en la estación 17058 y en la 17072 ligeramente superior a los 180 mm.

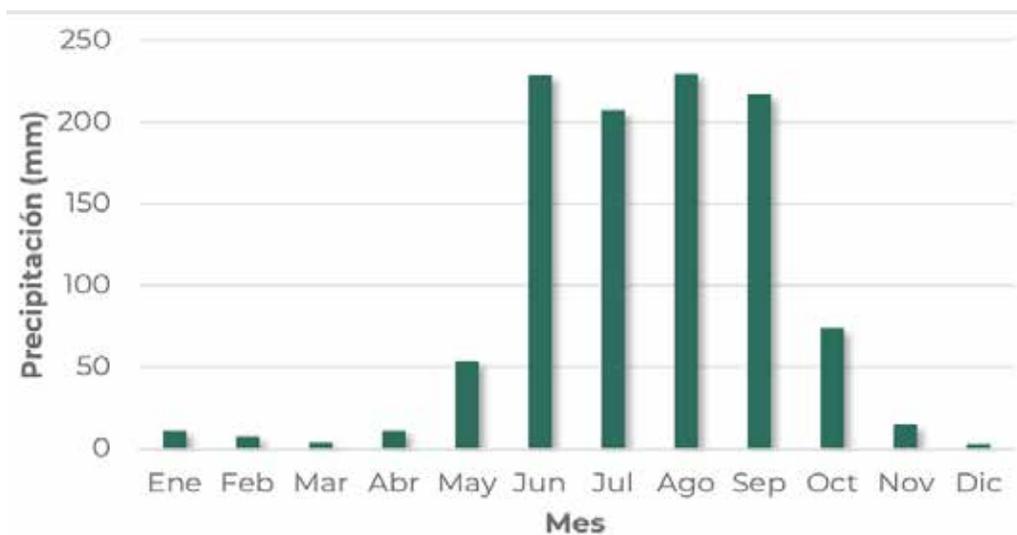


Figura 2.11. Precipitación media mensual (17058). Fuente: Elaboración propia.

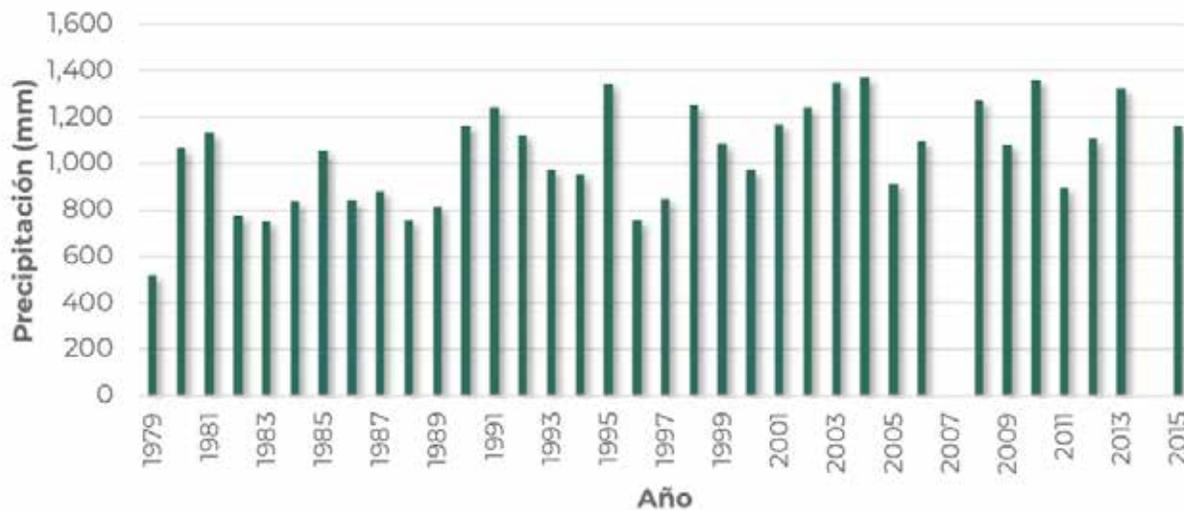


Figura 2.12. Precipitación media anual (17058). Fuente: Elaboración propia.



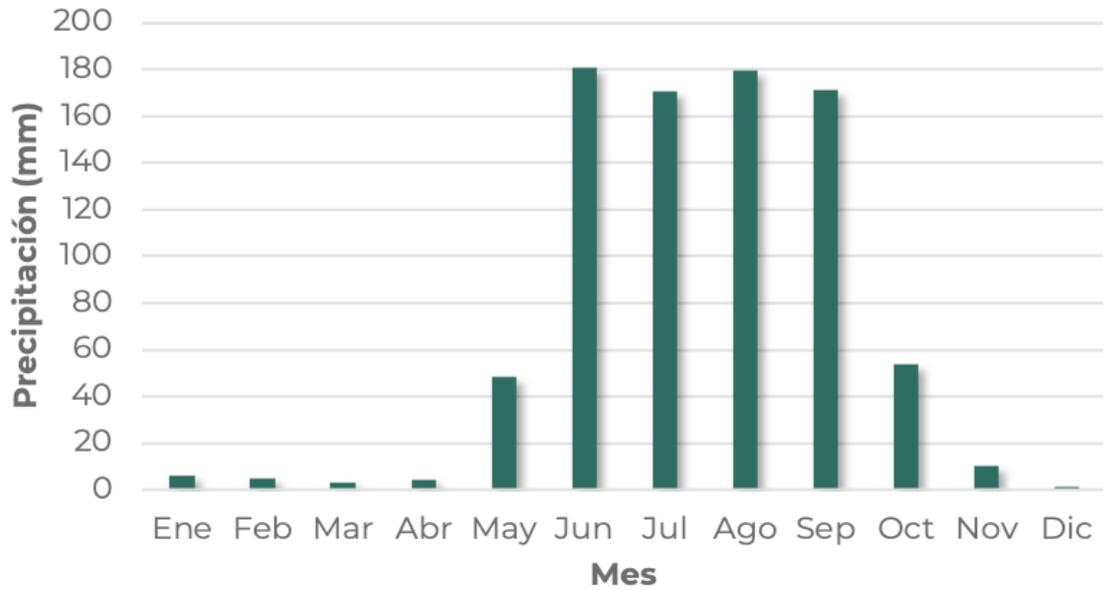


Figura 2.13. Precipitación media mensual (17072). Fuente: Elaboración propia.

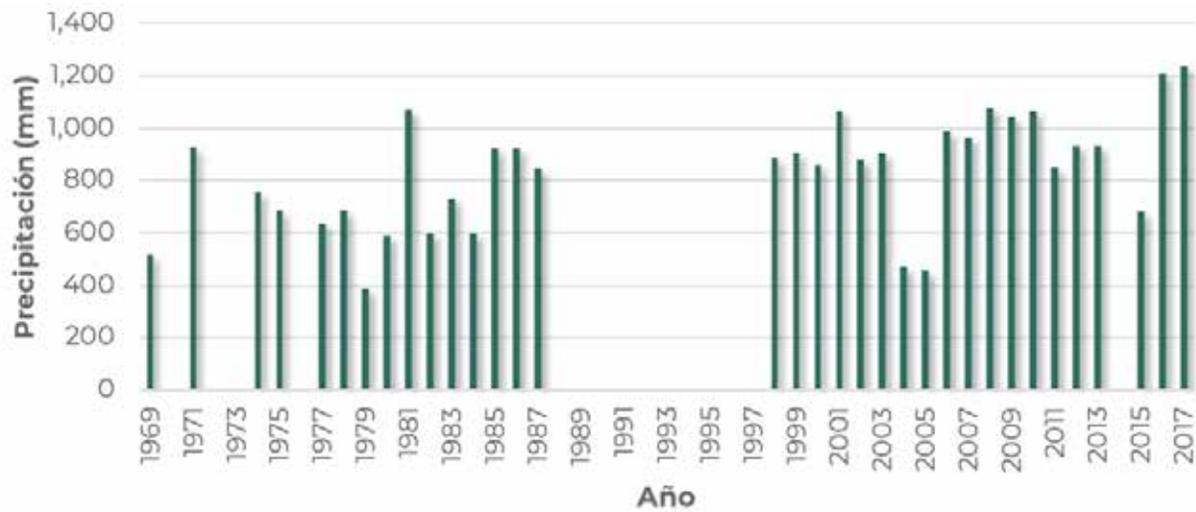


Figura 2.14. Precipitación media anual (17072). Fuente: Elaboración propia.

Precipitación obtenida a través de datos satelitales de la base de datos CHIRPS v2.0

En cuanto a la precipitación de la zona de estudio, se analizó espacial y temporalmente la cantidad de precipitación sobre toda la cuenca del río Amacuzac.

La fuente de información es la base de datos de las estimaciones de lluvia a partir de pluviómetros y observaciones satelitales (CHIRPS, por sus siglas en inglés), el cual contienen información de la ocurrencia de precipitaciones en un modelo raster con píxeles de alta resolución (0.05°), en cada pixel contiene información de lluvia diaria desde 1981

hasta la actualidad (<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>). Para generar la lluvia histórica diaria se utilizaron registros históricos provenientes de estaciones climatológicas ubicadas en tierra, combinados recientemente con observaciones de satélite estimados de la NASA y NOAA. Este modelo tiene como ventaja la continuidad en el tiempo y espacio de la información pluviométrica.

Como se aprecia en la Figura 2.15, la precipitación media anual se concentra hacia el norte, noroeste y oeste de la cuenca con hasta casi 1800 mm medios anuales de precipitación. En la porción sur, este y noreste la precipitación se reduce y oscila en los 900 mm en promedio.

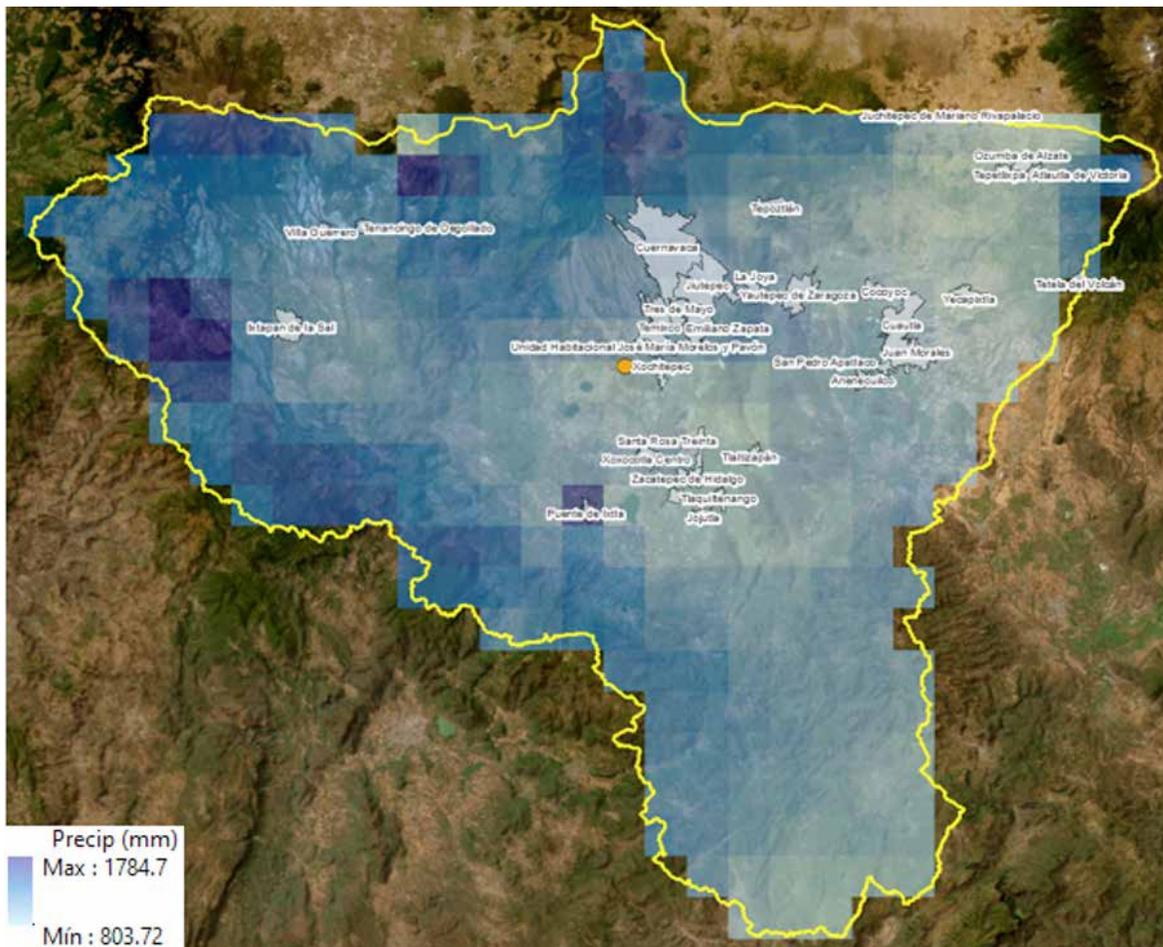


Figura 2.15. Distribución espacial de la precipitación media anual. Fuente: Elaboración propia.



La precipitación media anual en la cuenca es de 1077.21 mm en el periodo de 1981 al 2021. En este periodo los años más lluviosos han sido 1981, 2016, 2017 y 2018 por arriba de los 1200mm. Además, se observa que a partir de 1982 se ha incrementado la precipitación anual (Figura 2.16 y Figura 2.18).

Las lluvias se concentran en el verano, en los meses de mayo a octubre (Figura 2.17). Los meses de mayor acumulación de lluvia van de junio a septiembre en donde la lluvia media mensual oscila entre los 207 mm a los 219 mm.

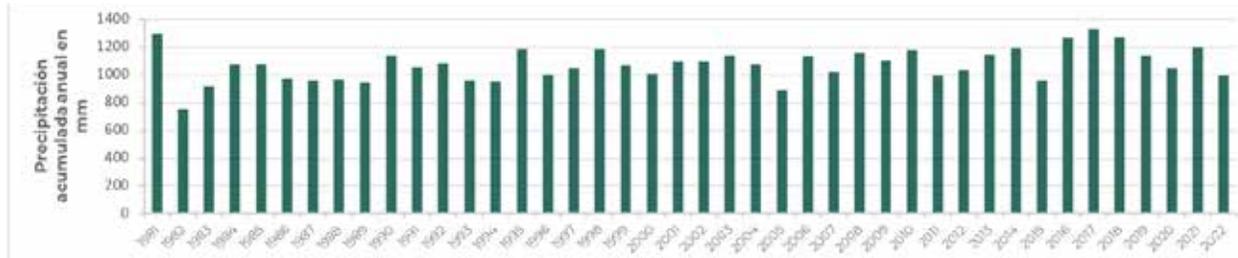


Figura 2.16. Precipitación media anual. Fuente: Elaboración propia.

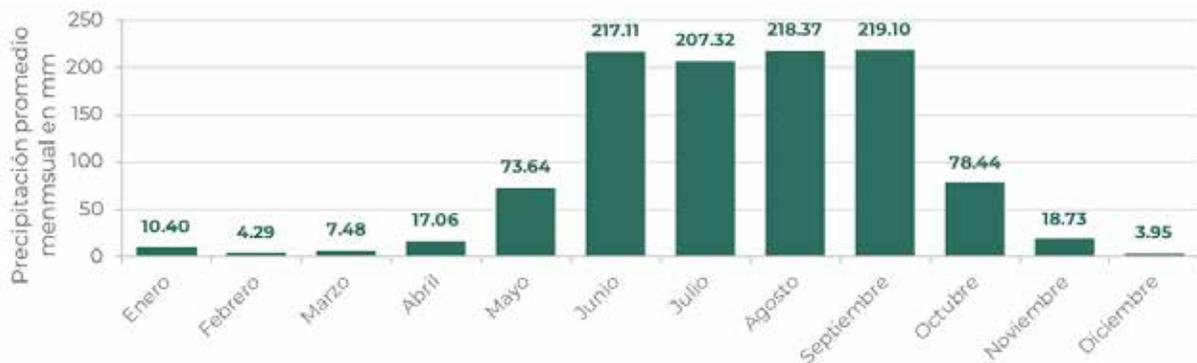


Figura 2.17. Precipitación media mensual. Fuente: Elaboración propia.

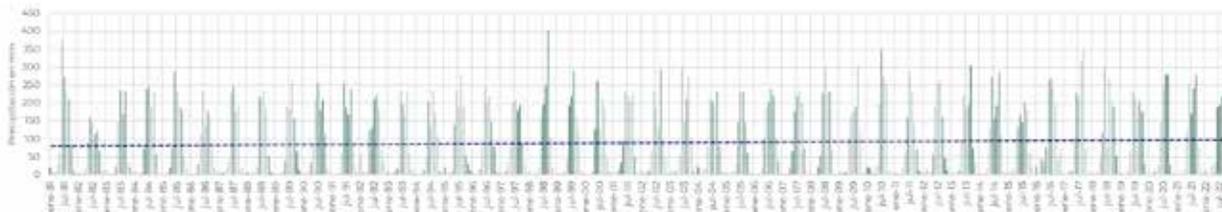


Figura 2.18. Precipitación diaria (1981-2021). Fuente: Elaboración propia.



2.1.8. Caracterización de la geomorfología de los cauces.

Con el fin de determinar el balance entre la erosión, el transporte y la deposición de sedimentos en los cauces de la zona de estudio se realizó una caracterización de la geomorfología de cauce. La morfología determina en gran medida los organismos que habitan en un determinado tramo, así como el funcionamiento del ecosistema.

Las características físicas de los ríos que conforman las cuencas, influyen en el comportamiento del flujo hídrico que tiene lugar en un contexto natural de espacio-tiempo, variando los procesos geológicos, como los factores antropogénicos que contribuyen a la calidad del agua, el flujo del sedimento y la morfología de los ríos (Newson et al, 2000)

Dentro de las interacciones que ocurren en la cuenca, es imprescindible mencionar la relación de la hidrología y el sedimento. El agua que pasa por los ríos y que dependiendo de la zona en la cuenca en donde se encuentre el tramo (alta, media o baja) tendrá una velocidad y energía correspondiente que dará lugar al transporte del sedimento como respuesta al proceso erosivo (Raven et al. 2010); es decir que si imagináramos una cuenca que se encuentra en un estado natural sin perturbación alguna, la parte de la cuenca alta tendería a una pendiente pronunciada, por tanto una energía superior a los tramos siguientes (media y baja) y el sedimento será por

consecuencia de tamaño superior (generalmente tramos de roca madre) a los que habrá en la parte media y la parte baja. Esto debido a que durante su recorrido a lo largo del canal el sedimento va perdiendo tamaño por el arrastre.

Dentro de los factores que influyen en la transferencia del sedimento además del flujo del agua se incluyen la pendiente, sinuosidad, el ancho y la profundidad del canal la cobertura vegetal, la composición del material presente, actividades humanas y de animales y el clima de la región que contribuye con los procesos hídricos. Las interacciones que ocurren entre los factores proporcionan equilibrio entre el sedimento y el agua que transporta el canal, y a que además proporciona hábitats dentro del río y las respuestas que tenga el río a estos factores se verán reflejadas en el caudal, el transporte de sedimento y en el aspecto físico del mismo río (cortes en la sinuosidad) (Raven et al. 2010).

Se seleccionaron cinco sitios para la caracterización de la geomorfología. En la Tabla 2.2, se muestran las coordenadas de las secciones en los ríos Cuentepec y Acatzingo, mismos que fueron seleccionadas para el muestreo de macroinvertebrados y para caracterizar los aspectos morfológicos e hidráulicos más relevantes y en la Figura 2.19, se muestra su ubicación.

Tabla 2.2. Coordenadas geográficas de estaciones.

Estación	Latitud	Longitud
Rio Acatzingo	18.83967°	-99.28252°
Rio Cuentepec parte alta (PA)	18.84126°	-99.27804°
Rio Cuentepec después de confluencia (DC)	18.83711°	-99.28002°
Rio Cuentepec parte media (PM) ⁽¹⁾	18.79213°	-99.25810°
Rio Cuentepec parte baja (PB)	18.76511°	-99.24534°

(1) En este sitio solo se efectuó aforo



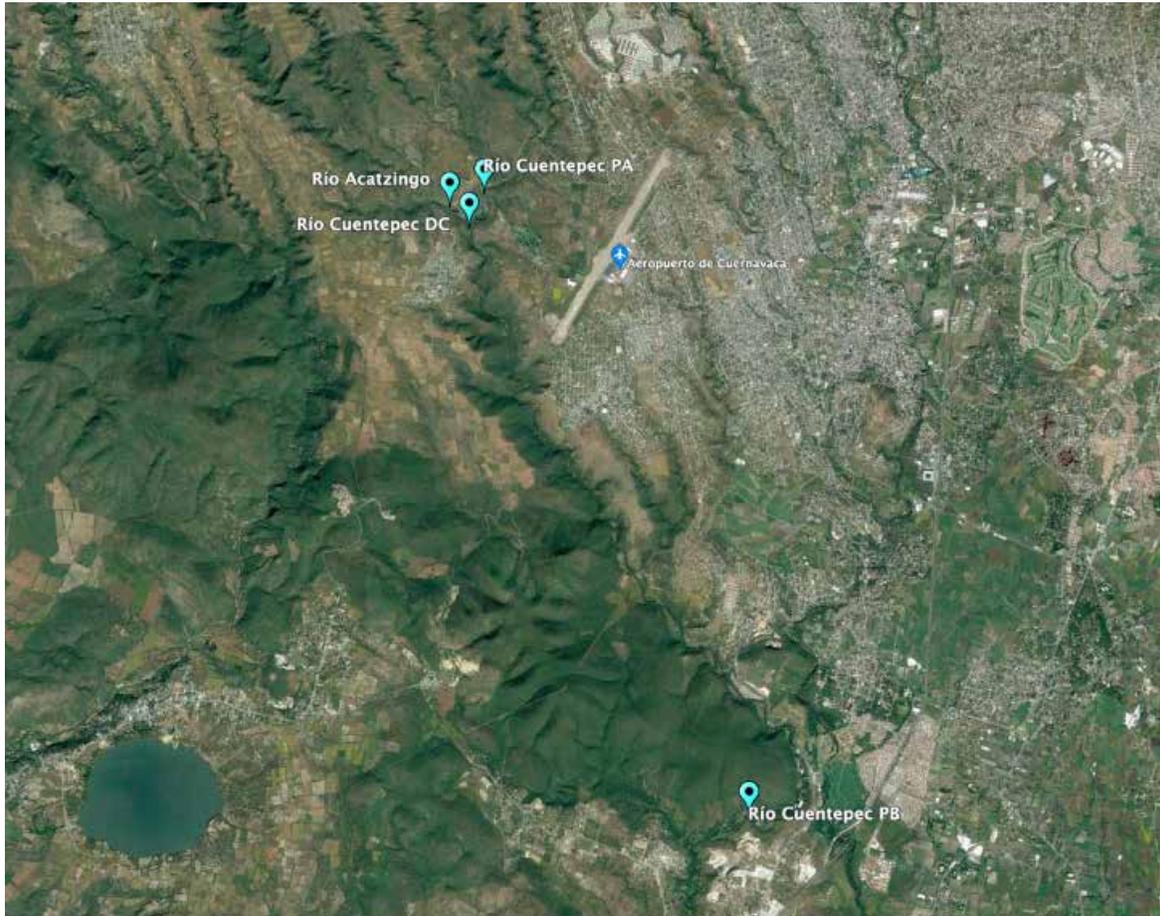


Figura 2.19. Plano de ubicación de estaciones para morfología y macroinvertebrados. Fuente: Elaboración propia.

Se efectuó la determinación de los principales rasgos morfológicos de las estaciones de muestreo, de acuerdo con el sistema de clasificación de corrientes de Rosgen (1994). Se trabajó en cada estación utilizando un estadal para topografía, una cinta de 100 metros y dos medidores de distancia laser para determinar los desniveles a lo largo de cada sección. A continuación, se definen los rasgos morfológicos de las cuatro estaciones en donde se realizaron las mediciones de campo.

Río Acatzingo: El sitio se ubicó a 390 metros aguas arriba de la confluencia con el río Cuentepec. Las aguas de este río provienen del sistema de barrancas que se ubican al poniente del estado cuya localidad en su origen es Buenavista del Monte. En la Figura 2.20, se muestra la sección del río Acatzingo levantada en campo.

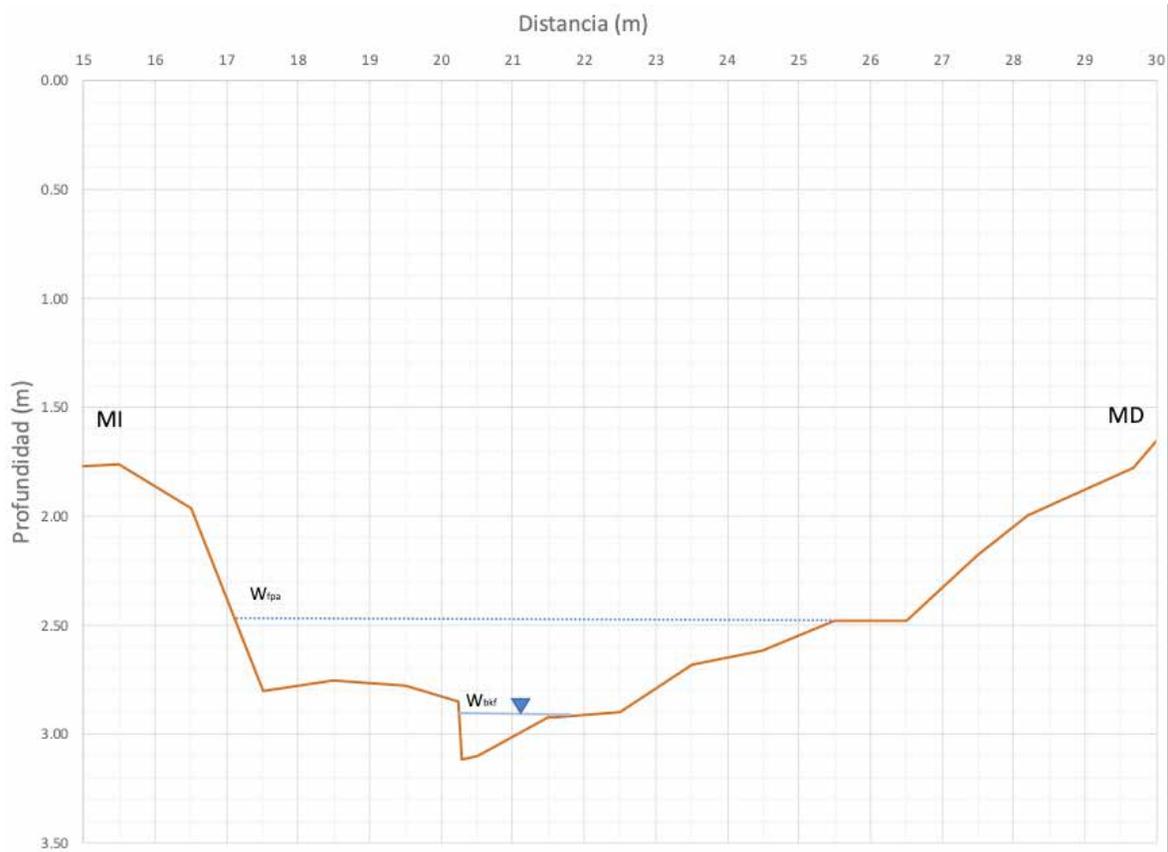


Figura 2.20. Sección en la estación río Acatzingo. Fuente: Elaboración propia.

La granulometría en esta sección del río muestra una dominancia de gujarros grandes (12.9-25.6 cm), rocas pequeñas (25.7 – 51.2 cm) y rocas medianas (51.3-102.4 cm) como se muestra en la Figura 2.21.

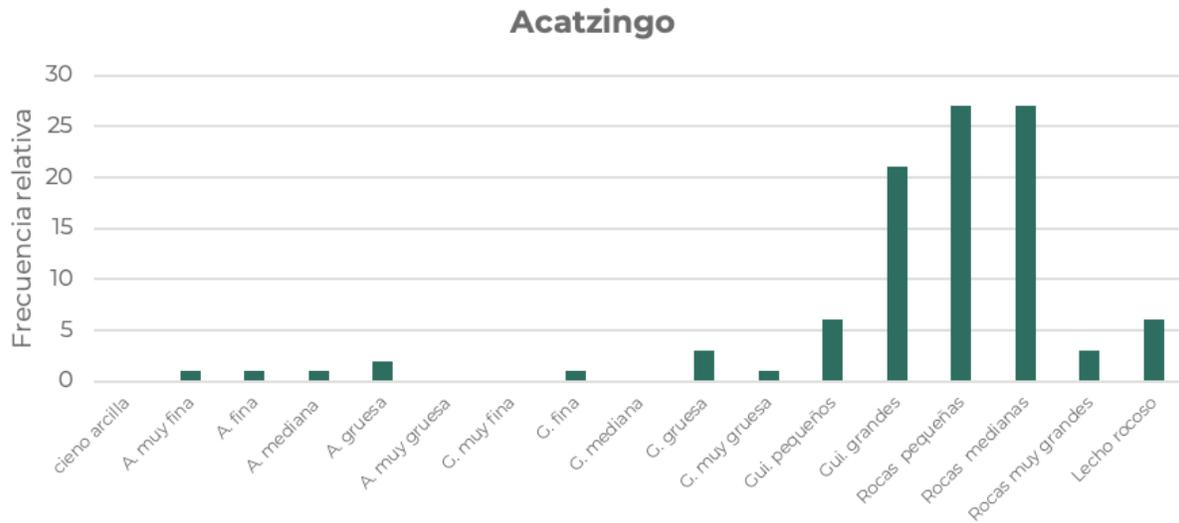


Figura 2.21. Granulometría del Río Acatzingo. Fuente: Elaboración propia.

Río Cuentepec parte alta: Este sitio en el río Cuentepec se ubicó a 580 metros aguas arriba de la confluencia con el río Acatzingo. De igual manera, los escurrimientos de este río provienen del sistema

de barrancas que se ubican al poniente del estado cuya localidad en su origen es Buenavista del Monte. En la Figura 2.22, se muestra la sección del río Cuentepec parte alta levantada en campo.

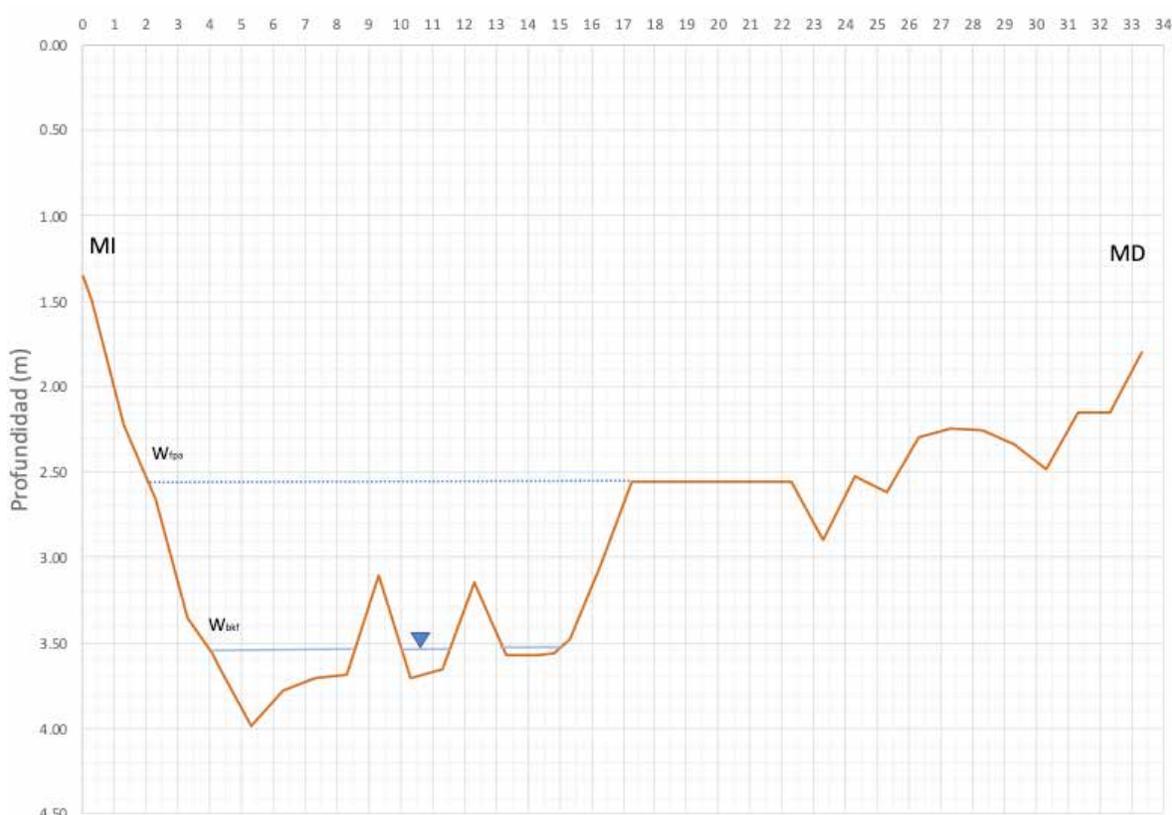


Figura 2.22. Sección en la estación río Cuentepec parte alta. Fuente: Elaboración propia.

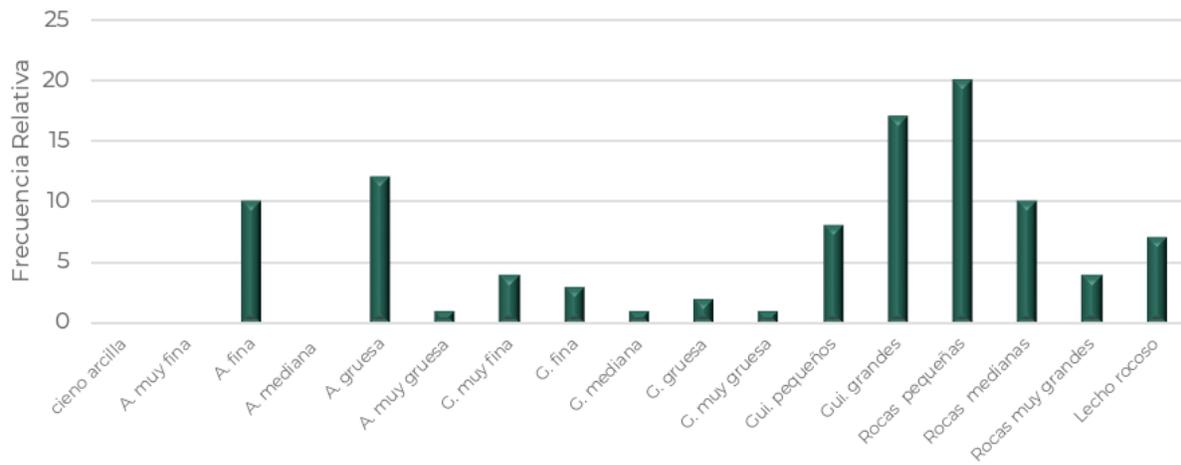


Figura 2.23. Granulometría río Cuentepec parte alta. Fuente: Elaboración propia.

Río Cuentepec después de confluencia: Este sitio en el río Cuentepec se ubicó a 110 metros aguas abajo de la confluencia con el río Acatzingo.

En la Figura 2.24, se muestra la sección del río Cuentepec parte media levantada en campo.



Figura 2.24. Sección en la estación río Cuentepec después de confluencia. Fuente: Elaboración propia.

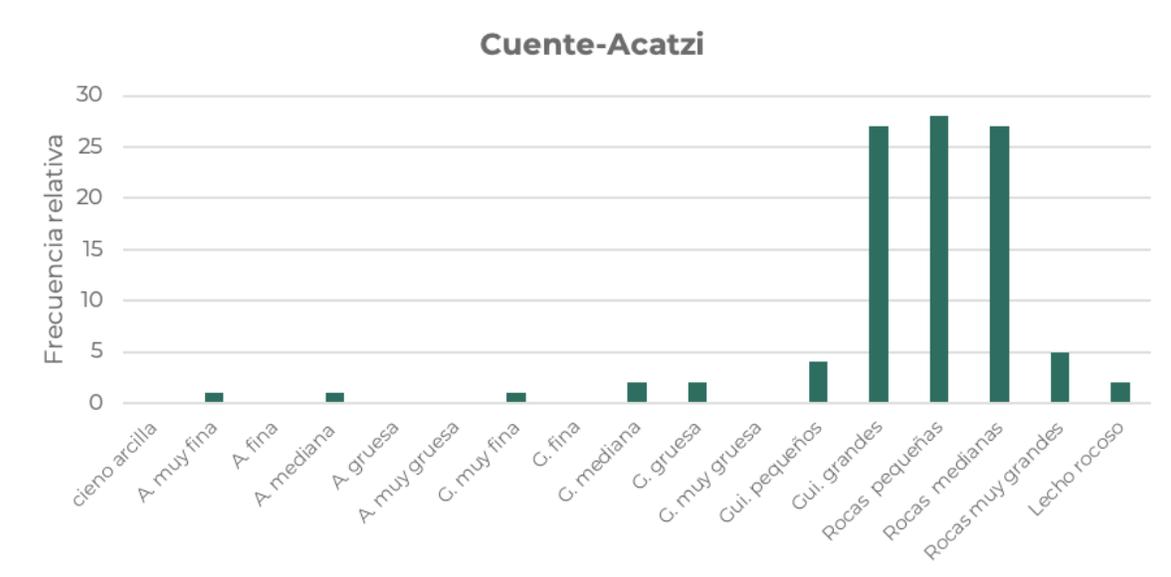


Figura 2.25. Granulometría del río Cuentepec después de confluencia. Fuente: Elaboración propia.

Río Cuentepec parte baja: Este sitio en el río Cuentepec se después de Palo Bolero a la altura de la localidad Huertos de Alpuyeca a una distancia

de 11.6 km aguas debajo de la confluencia con el río Acatzingo. En la Figura 2.26, se muestra la sección del río Cuentepec parte baja levantada en campo.

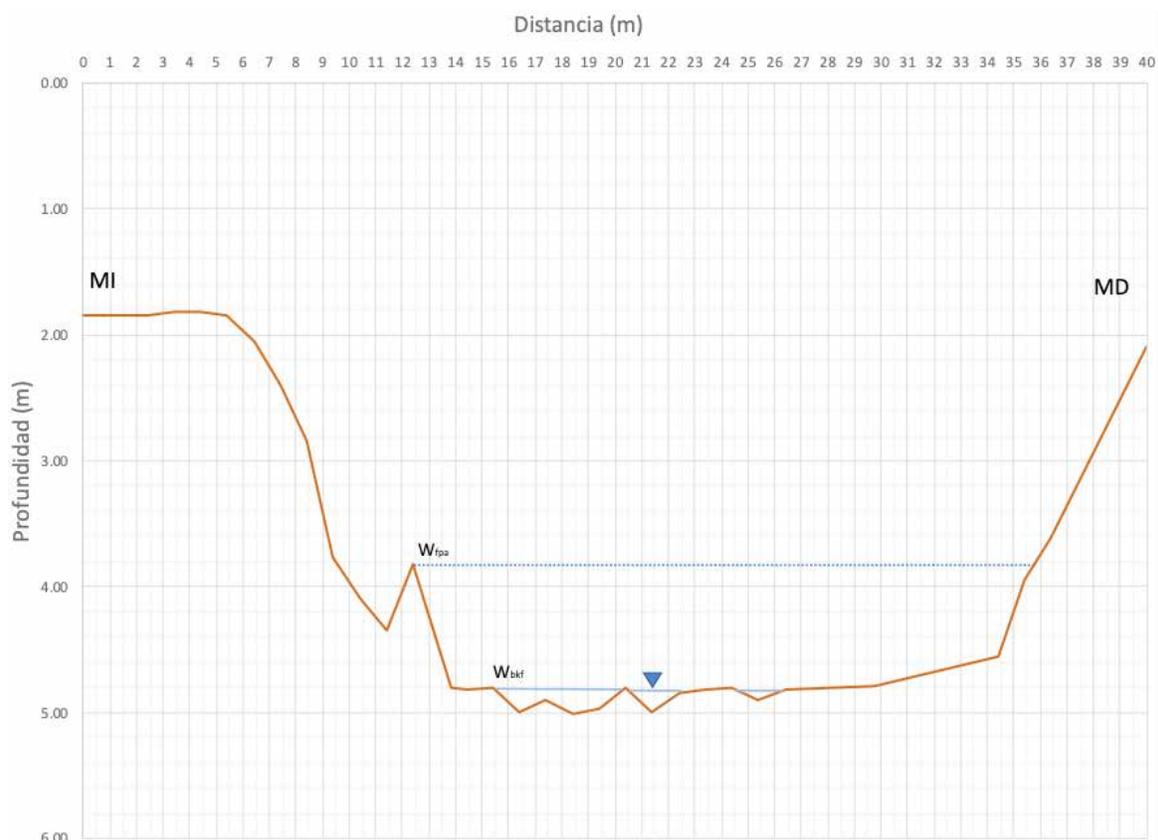


Figura 2.26. Sección en la estación río Cuentepec parte baja. Fuente: Elaboración propia.

Los ríos del área de estudio presentaron las características esperadas en su clasificación, lo que indica que hasta el momento las actividades humanas que en el área se desarrollan no han generado

alteraciones significativas en el cauce como en su geomorfología.

Los valores obtenidos se muestran en la Figura 2.27 y Tabla 2.3.

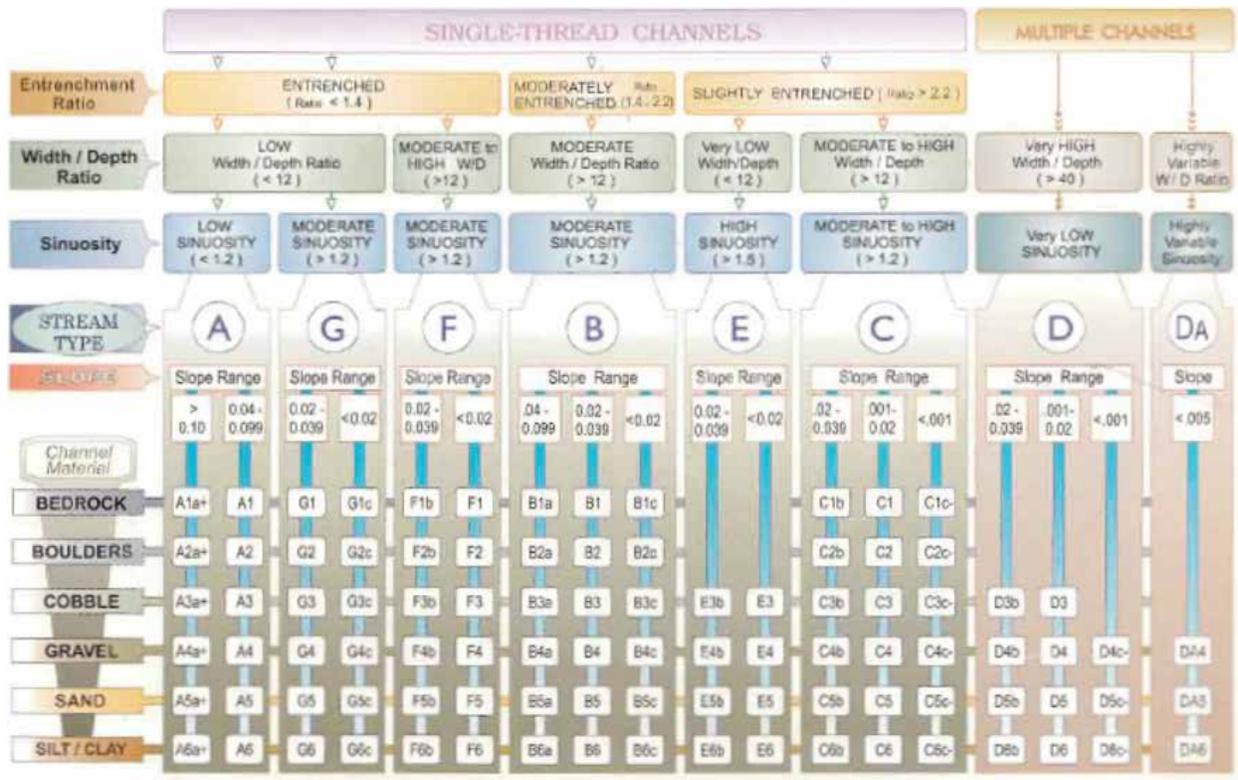


Figura 2.27. Diagrama para la clasificación de ríos. Tomado de Rosgen & Silvey 1998. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.3. Criterios de clasificación geomorfológica. AMR (ancho máximo de ribera); P (profundidad); AAI (Ancho de área de inundación); TC (tasa de confinamiento)

Microcuenca	Río	Orden Hidro	AMR	P media m	Ancho/Pmed	P max	AAI	TC	Pend	Clasificación Rosgen
Acatzingo	Acatzingo	3	8.30	0.16	8.437	0.65	12.5	1.5		C1-C2
Tetlama	Cuentepec Arriba	4	15.5	0.133	61.65	1.42	34	2.19	0.0041	C2-C3
Tetlama	Cuentepec-Acatzingo	5	23.20	0.107	78.504	1.18	30.3	1.306	0.0049	C2-C3
Tetlama	Cuentepec Abajo	5	24.7	0.194	45.36	2.39	28	1.33	0.0036	C2c-C3c



De acuerdo con Rosgen (1996) los ríos de clasificación C1 y 2 como los encontrados en el área de estudio son sistemas estables, se caracterizan por presentar una tasa de confinamiento moderada, con pendiente baja y presencia de placa de piedra con material rodado de tamaño mayor. Los ríos tipo C3 presentan igualmente tasa de confinamiento moderada, con cauce de rápidos /pozas continuos y planicies de inundación bien desarrollados.

2.2. Flora y fauna

Un ecosistema es la unidad funcional que incluye flora y fauna (factores bióticos) y el ambiente físico (factores abióticos) de un área determinada, y las relaciones que se establecen entre estos (Wehncke

et al., 2020), por lo que un correcto manejo de los ecosistemas depende, en gran medida, del nivel de conocimiento que se tenga sobre ellos y así permitir una correcta elaboración de diagnósticos e inventarios, así como la planeación del uso, manejo y conservación de los recursos Sorani et. al., 2020).

Para tener un mejor conocimiento sobre el estado de conservación de cualquier especie (flora o fauna) existen algunos criterios o lineamientos con información asociada, entre los que destacan la NOM-059-SEMARNAT-2010 para especies de flora y fauna y la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza “UICN” (UICN, 2022), en la que se encuentran las especies en peligro de extinción o bajo alguna categoría de riesgo (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Categorías de riesgo de especies de flora y fauna en la NOM-059 SEMARNAT 2010 y lineamientos internacionales

Norma o lineamiento	Categoría	Abreviatura
NOM 059	Probablemente extinta en medio silvestre	E
	En peligro de extinción	P
	Amenazada	A
	Sujeta a protección especial	Pr
UICN	Extinto	Ex
	En peligro crítico	CR
	Vulnerable	VU
	Preocupación menor	LC
	No Evaluado	NE
	Extinto en estado de vida silvestre	EW
	En Peligro	EN
	Casi amenazado	NT
	Datos insuficientes	DD

Con la finalidad de realizar un buen manejo y conservación de la gran riqueza biológica en el estado, resulta necesario contar con inventarios completos y actualizados de flora y fauna presente en la región (Bernal, et al., 2014; Valle-Marquina et al., 2022). A continuación, se presentan resultados de diversos trabajos de flora y fauna asociados a la zona de estudio, destacando especies que se encuentren bajo una categoría de riesgo.



2.2.1. Flora

Morelos cuenta con 4878.9 km², lo que representa sólo el 0.2 % de la superficie del territorio nacional (INEGI,2020), en la cual convergen dos provincias florísticas, la Cuenca del Balsas y la Faja Volcánica Transmexicana, que resaltan por su alto valor en diversidad y endemismo, es decir, que se cuenta con especies que sólo habitan en México (Estrada-Márquez et al., 2020). En todo el estado se tienen reportadas 3491 especies de plantas, cifra que corresponde al 14.47% de las especies de plantas estimadas para el territorio nacional, y de ese porcentaje, el 35.6% son endémicas de México (Villaseñor, 2016).

En la región predominan diversos tipos de bosque, matorrales, pastizales y selva baja caducifolia, entre la que se destaca esta última por ser un amplio reservorio de biodiversidad (Flores, et al., 2021), y la principal fuente de plantas medicinales en México (Gispert et. al., 2014; Colín-Bahena et al., 2016; Flores,

et al.,2021) y/o uso como alimento o planta ornamental (Monroy, 2017), sin embargo, estas zonas están siendo absorbidas por zonas agrícolas y perdiendo cobertura conforme crece la mancha urbana o instalación de megaproyectos (INEGI, 2018; García et al., 2021). Al igual que en el resto de Mesoamérica, el hombre ha dependido de las plantas para subsistir, al utilizarlas como fuente de alimento, vestido, materiales de construcción, medicinas, entre otros, así como para fines estéticos y recreativos (Rendón-Correa y Fernández-Nava, 2007).

Una descripción relativamente completa de la riqueza de especies existente en una parte de la selva baja caducifolia la realiza Cerros-Tlatilpa et al., (2017) para las comunidades de los cerros “La Cantera” y “Delgado”, en el que reportan un total de 85 familias, 285 géneros, 434 especies (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Géneros y especies por familia, de las plantas vasculares presentes en los cerros La Cantera y Delgado, Jantetelco, Morelos, México. (*) = familias con mayor riqueza. Tomado de Cerros-Tlatilpa et al., (2017).

Familias	Géneros	Especies
PTERIDOFITAS Y AFINES	15	25
Anemiáceas	1	2
Aspleniáceas	1	1
Dennstaedtiaceae	1	1
Dryopteridaceae	1	1
Ophioglossaceae	1	1
Pteridáceas *	8	14
Selaginellaceae	1	4
Thelypteridaceae	1	1
MAGNOLIIDAS	1	2
Annonaceae	1	1
Hernandiáceas	1	1
Piperáceas	1	2
MONOCOTILEDONES	57	100
Amarilidáceas	3	3
Aráceas	1	2
Asparagáceas	5	6
Bromeliáceas *	4	10
Comelináceas	5	9
Ciperáceas	4	8





Familias	Géneros	Especies
Iridáceas	1	2
Marantáceas	1	1
Orquídeas	6	6
Poáceas *	27	53
EUDICOTILEDÓNEAS	210	305
Acanthaceae *	9	13
Amaranthaceae	5	7
Anacardiaceae	2	2
Apiáceas	1	1
Apocynaceae *	11	14
Araliáceas	1	1
Asteráceas *	36	46
Begonias	1	1
Bignoniaceae	3	3
Brasicáceas	1	1
Burseraceae	1	4
Cactáceas *	7	11
Campanulales	2	2
Caryophyllaceae	1	2
Cleomáceas	1	1
Convolvuláceas	2	8
Cordiáceas	1	3
Crasuláceas	2	2
Cucurbitáceas	2	2
Ebenáceas	1	1
Euforbiáceas *	7	15
Fabáceas *	31	49
Gentianáceas	1	1
Heliotropiaceae	3	3
Lamiáceas	2	4
Lennoaceae	1	1
Linderniaceae	1	1
Ioasáceas	2	3
Loranthaceae	3	4
Lythraceae	2	3
Malpighiaceae	5	5



Familias	Géneros	Especies
Malváceas *	11	15
Meliáceas	1	2
Menispermáceas	1	1
Molluginaceae	1	1
Moráceas	1	3
Mirtáceas	1	1
Namáceas	1	2
Nyctaginaceae	3	4
Onagráceas	3	4
Opiliáceas	1	1
Oxalidáceas	1	1
Papaveráceas	1	1
Pasifloráceas	1	2
Petiveriaceae	1	1
Picramniaceae	1	1
plantagináceas	3	3
Plumbagináceas	1	2
polemoniáceas	1	2
Poligaláceas	2	3
Poligonáceas	2	2
Portulacaceae	1	3
Ranunculáceas	1	2
Rubiáceas	7	9
Rutáceas	1	1
Salicáceas	2	3
Santaláceas	1	2
Sapindáceas	2	3
Scrophulariaceae	1	1
Solanáceas	2	6
Talináceas	1	1
Urticáceas	1	1
Verbenáceas	3	5
Vitáceas	1	2
Total	285	434





Así mismo, para la zona de estudio, con influencia minera, se han realizado diversos estudios asociados a la etnobotánica que demuestran las relaciones existentes entre las plantas y los habitantes de la región, y cómo se relacionan en el desarrollo de la cultura local (Colín-Bahena, 2018; Juárez-Delgado et al., 2018; Ortega-Cala et al., 2019; Arjona-García et al., 2021; Villanueva-Figueroa et al., 2021). Se sabe que, tan solo en la región de Coatetelco, Morelos, los pobladores utilizan 59 especies de plantas dentro de sus saberes tradicionales (para conocer el listado de estas especies, ver Villanueva-Figueroa, et al., 2021), por lo que resulta importante su conservación.

2.2.2 Fauna

Herpetofauna (anfibios y reptiles)

Se tienen reportadas 37 especies de herpetofauna para la región (Bernal et al., 2014), de las cuales 16 son anfibios (sapos y ranas) y 21 reptiles (entre lagartijas, serpientes, culebras y tortugas) (Tabla 2.6). De manera general, y de acuerdo a la NOM 059 SEMARNAT-2010, en la zona se encuentran 12 especies sujetas a protección especial y tres especies amenazadas, mientras que, de acuerdo a los criterios de la UICN, hay una especie casi amenazada (*Spea hammondi*).

Tabla 2.6. Herpetofauna presente el Paredón, zona de Miacatlán, Morelos. “-“= Sin datos. PR= Especie sujeta a protección especial. A= especie amenazada. LC= Preocupación menor. NT= casi amenazado.

Grupo	#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo NOM-059 SEMARNAT	UICN
Anfibios	1	<i>Insilius coccifer</i>	Sapo	PR	-
	2	<i>Insilius marmoreus</i>	Sapo	-	-
	3	<i>Insilius mazatlanensis</i>	Sapo	-	-
	4	<i>Rhinella marina</i>	Sapo	-	-
	5	<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i>	Rana de cristal	-	LC
	6	<i>Exerodonta smaragdina</i>	Rana esmeralda	PR	LC
	7	<i>Agalychnis dacnicolor</i>	Rana arbórea	-	-
	8	<i>Smilisca baudinii</i>	Rana arbórea	-	LC
	9	<i>Tlalocohyla smithii</i>	Rana enana	-	LC
	10	<i>Eleutherodactylus nitidus</i>	Rana danzante	-	LC
	11	<i>Leptodactylus melanotus</i>	Rana de hojarasca	-	LC
	12	<i>Spea hammondi</i>	Sapo de monte	-	NT
	13	<i>Spea multiplicata</i>	Sapo de monte	-	LC
	14	<i>Lithobates forreri</i>	Rana de forrer	PR	LC
	15	<i>Lithobates pustulosus</i>	Rana pustulosa	PR	LC
	16	<i>Lithobates spectabilis</i>	Rana	-	LC



Grupo	#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo NOM-059 SEMARNAT	UICN
Reptiles	17	<i>Hemidactylus frenatus</i>	Gecko, besucon	-	LC
	18	<i>Ctenosaura pectinata</i>	Iguana negra	A	LC
	19	<i>Sceloporus gadoviae</i>	Chintete o lagartija espinosa	-	LC
	20	<i>Sceloporus horridus</i>	Chintete o lagartija espinosa	-	LC
	21	<i>Sceloporus melanorhinus</i>	Chintete o lagartija espinosa	-	LC
	22	<i>Sceloporus ochiterenae</i>	Chintete o lagartija espinosa	-	LC
	23	<i>Urosaurus bicarinatus</i>	Lagartija arborea	-	LC
	24	<i>Anolis nebulosus</i>	Lagartija falso pañuelo	PR	LC
	25	<i>Ameiva undulata</i>	Lagartija arcoiris	-	LC
	26	<i>Aspidoscelis communis</i>	Huico	PR	LC
	27	<i>Aspidoscelis lineattissimus</i>	Huico	PR	LC
	28	<i>Aspidoscelis sacki</i>	Huico	-	LC
	29	<i>Boa constrictor</i>	Mazacuata	A	LC
	30	<i>Coluber mentovarius</i>	Chirriadora	A	LC
	31	<i>Oxybelis aeneus</i>	Serpiente marrón	-	LC
	32	<i>Salvadora bairdi</i>	Ratonera	PR	LC
	33	<i>Salvadora mexicana</i>	Ratonera	PR	LC
	34	<i>Senticolis triaspis</i>	Ratonera	-	LC
	35	<i>Tantilla calamarina</i>	Culebra ciempiés o culebra parda	PR	LC
36	<i>Kinosternon hirtipes</i>	Tortuga casquito	PR	LC	
37	<i>Kinosternon integrum</i>	Tortuga casquito	PR	LC	

Ictiofauna (peces)

El listado taxonómico de peces más completo con el que se cuenta para el río Amacuzac es el que presenta Cordero-Martínez et al., (2022) quien refuerza sus registros en los trabajos de Trujillo-Jiménez et al., (2010) y Mejía-Mojica et al., (2015).

En la Tabla 2.7, se enlistan las 23 especies reportadas para la región, de las cuales 10 son consideradas especies nativas (Trujillo-Jiménez et al., 2010

y Mejía-Mojica et al., 2015), se reporta a *Notropis boucardi*, que, además de ser especie nativa, se encuentra bajo categoría de riesgo amenazada (NOM-059-SEMARNAT-2010) y en peligro (UICN, 2022), y a *Poecilia sphenops* categorizada como una especie sujeta a protección especial (NOM-059-SEMARNAT-2010).





Tabla 2.7. Ictiofauna presente en la cuenca del río Amacuzac. *Especie nativa. “-“= Sin datos. A= especie amenazada. PR= Especie sujeta a protección especial. LC= Preocupación menor. DD= Datos insuficientes. EN= Especie en peligro.

#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo	
			NOM-059 SEMARNAT	UICN
1	<i>Astyanax aeneus</i> *	Tetra de bandas	-	LC
2	<i>Atherinella balsana</i> *	Plateado del balsas	-	DD
3	<i>Awaous banana</i> *	Gobio de río	-	LC
4	<i>Amphilophus istlanus</i> *	Mojarra del balsas	-	LC
5	<i>Agonostomus monticola</i> *	Salmonete de montaña	-	LC
6	<i>Amatitlania nigrofasciata</i>	Convicto	-	DD
7	<i>Andinoacara rivulatus</i>	Terror verde	-	LC
8	<i>Copadichromis borleyi</i>	Azul eléctrico, ciclido	-	LC
9	<i>Ictalurus balsanus</i> *	Bagre del balsas	-	DD
10	<i>Ictalurus punctatus</i>	Bagre del balsas	-	LC
11	<i>Ilyodon whitei</i> *	Charal del balsas	-	LC
12	<i>Notropis boucardi</i> *	Carpita barranqueña	A	EN
13	<i>Oreochromis sp.</i>	Mojarra	-	DD
14	<i>Poecilia maylandi</i> *	Molly del balsas	-	DD
15	<i>Poeciliopsis balsas</i> *	Charal, guapote del balsas	-	DD
16	<i>Poeciliopsis gracilis</i>	Charal, guapote del balsas	-	LC
17	<i>Poecilia reticulata</i>	Charal, guapote del balsas	-	LC
18	<i>Poecilia sphenops</i> *	Molly, charal, guapote del balsas	Pr	LC
19	<i>Pterygoplichthys disjunctivus</i>	Plecoc, limpiapeceras	-	-
20	<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	Plecoc, limpiapeceras	-	-
21	<i>Pseudoxiphophorus bimaculata</i>	Charal, guapote manchado	-	-
22	<i>Thorichthys maculipinnis</i>	Ciclido manchado	-	LC
23	<i>Xiphophorus helleri</i>	Cola de espada	-	LC

Mastofauna (mamíferos)

En la región se reportan 38 especies de mamíferos (Álvarez-Castañeda y López-Forment, 1995; Álvarez et al., 2009), cifra que resulta importante, ya que solo en esta región se encuentra el 40% de mamíferos reportados en el estado de Morelos; del listado presente destacan cuatro felinos (Hespailurus yagouaroundi, Leopardus pardalis, Lynx rufus y Puma concolor) de los seis que hay en México, de los

cuales, los dos primeros se encuentran categorizados como especies en peligro de extinción y amenazados, respectivamente, así mismo, se reportan a las especies amenazadas *Bassariscus astutus* y *Nasua narica*, al murciélago *Musonycteris harrisoni*, en peligro de extinción y vulnerable y al zorrillo *Spilogale putorius* categorizado como amenazado y vulnerable (Tabla 2.8).



Tabla 2.8. Mastofauna presente en la región de Miacatlán, Morelos. -= No dato; P= en peligro de extinción; A= amenazado y LC= en preocupación menor.

#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo	
			NOM-059 SEMARNAT	UICN
1	<i>Tlacuatzin canascens</i>	Tlacuache ratón	-	LC
2	<i>Didelphis virginiana</i>	Tlacuache o zarigüeya	-	LC
3	<i>Dasyus novemcinctus</i>	Armadillo nueve bandas	-	LC
4	<i>Canis latrans</i>	Coyote	-	LC
5	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorro gris	-	LC
6	<i>Hespailurus yagouaroundi</i>	Yaguarundí	A	-
7	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	P	LC
8	<i>Lynx rufus</i>	Lince	-	-
9	<i>Puma concolor</i>	Puma	-	LC
10	<i>Mustela frenata</i>	comadreja	-	-
11	<i>Mephitis macroura</i>	Mofeta o zorrillo	-	LC
12	<i>Bassariscus astutus</i>	Cacomixtle	A	LC
13	<i>Nasua narica</i>	Tejón o coatí	A	LC
14	<i>Procyon lotor</i>	Mapache	-	LC
15	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	-	LC
16	<i>Sciurus aureogaster</i>	Ardilla de vientre rojo	-	LC
17	<i>Spermophilus variegatus</i>	Ardilla de las rocas	-	LC
18	<i>Sylvilagus cunicularius</i>	conejo de monte	-	LC
19	<i>Balantiopteryx plicata</i>	Murciélago de saco	-	LC
20	<i>Ptenotorus fulvus</i>	Murciélago de lomo pelón	-	-
21	<i>Mormoops megalophylla</i>	Murciélago fantasma	-	LC
22	<i>Glossophaga morenoi</i>	Murciélago Lengüetón	-	LC
23	<i>Glossophaga soricina</i>	Murciélago Lengüetón	-	LC
24	<i>Musonycteris harrisoni</i>	Murciélago platanero	P	VU
25	<i>Stutnia lilium</i>	Murciélago	-	LC
26	<i>Chiroderma salvini</i>	Murciélago ojón	-	LC
27	<i>Artibeus jamaicensis</i>	Murciélago de la fruta	-	LC
28	<i>Artibeus intermedius</i>	Murciélago de la fruta	-	LC
29	<i>Dermanura azteca</i>	Murciélago de la fruta	-	LC
30	<i>Dermanura tolteca</i>	Murciélago de la fruta	-	LC





#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo	
			NOM-059 SEMARNAT	UICN
31	<i>Desmodus rotundus</i>	Murciélago vampiro	-	LC
32	<i>Lasiurus blossevillii</i>	Murciélago rojo astral	-	LC
33	<i>Eptesicus fuscus</i>	Murciélago marrón	-	LC
34	<i>Tadarina brasiliensis mexicana</i>	Murciélago guanero	-	LC
35	<i>Liomys irroratus</i>	Ratón espinoso	-	LC
36	<i>Peromyscus melanophrys</i>	Ratón de meseta	-	LC
37	<i>Conepatus mesoleucus</i>	Zorrillo nariz de marrano	-	LC
38	<i>Spilogale putorius</i>	Zorrillo moteado	A	VU

Ornitofauna (aves)

Se reportan 108 especies de aves en la zona de estudio, cerca la comunidad de El paredón y Tlajotla-El rincón, en Miacatlán (Álvarez et al., 2011 y Miranda-González et al., 2011), de las cuales cuatro se encuentran amenazadas, dos en peligro de extinción (*Carpodacus mexicanus* y *Vireo bellii*) y ocho más se encuentran sujetas bajo protección especial; así mismo, se reporta a al pájaro garrapatero (*Crotophaga*

sulcirostris), especie endémica que está categorizada como una especie probablemente extinta en medio silvestre (NOM-059-SEMARNAT-2010), así mismo se reporta a la especie *Lanius ludovicianus*, que, de acuerdo con la UICN (2022), es una especie casi amenazada (Tabla 2.9).

Tabla 2.9. Ornitofauna reportada presente en la zona de estudio.

#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo	
			NOM-059 SEMARNAT	UICN
1	<i>Ortalis poliocephala</i>	Chachalaca	-	LC
2	<i>Philortyx fasciatus</i>	Codorniz rayada	-	LC
3	<i>Bubulcus ibis</i>	Garcilla o garza pequeña	-	LC
4	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Huaramillo o martinete común	-	LC
5	<i>Mycteria americana</i>	Cigüeña	-	LC
6	<i>Coragyps aratus</i>	Zopilote cabeza negra	-	LC
7	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote cabeza roja	-	LC
8	<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán	PR	LC
9	<i>Buteogallus anthracinus</i>	Aguililla negra	PR	LC
10	<i>Buteo albicaudatus</i>	Aguililla cola blanca	PR	LC
11	<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla cola roja	PR	LC
12	<i>Caracaca cheruway</i>	Quebrantahuesos	-	LC



#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo	
			NOM-059 SEMARNAT	UICN
13	<i>Falco sparverius</i>	Halcón	-	LC
14	<i>Falco columbarius</i>	Halcón	-	LC
15	<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma común	-	LC
16	<i>Zenaida macroura</i>	Paloma común	-	LC
17	<i>Columbia inca</i>	Tortolita o paloma	-	LC
18	<i>Columbia passerina</i>	Tortolita o paloma	-	LC
19	<i>Columbia talpacoti</i>	Paloma común	-	LC
20	<i>Piaya cayana</i>	Cucu ardilla	-	LC
21	<i>Dromococcyx phasianellus</i>	Faisan cucu	-	LC
22	<i>Geococcyx velox</i>	Correcaminos	-	LC
23	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero	E	LC
24	<i>Tyto alba</i>	Lechuza de campanario	-	LC
25	<i>Bubo virginianus</i>	Buho cornudo	A	LC
26	<i>Glaucidium brasilianum</i>	Tecolote	-	LC
27	<i>Nyctidromus albicollis</i>	Pauraque	-	LC
28	<i>Caprimulgus ridwayi</i>	Chotacabra	-	-
29	<i>Campyloterus hemileucurus</i>	Colibrí o chuparrosa	-	LC
30	<i>Cyranthus sordidus</i>	Colibrí prieto	-	LC
31	<i>Cyranthus latirostris</i>	Colibrí oscuro	-	LC
32	<i>Amazilia rutila</i>	Colibrí canela	PR	LC
33	<i>Lampornis clemenciae</i>	Colibrí garganta azul	-	LC
34	<i>Momotus mexicanus</i>	Relojero o pájaro reloj	-	LC
35	<i>Melanerpes chrysogenys</i>	Pajaro carpintero	-	LC
36	<i>Lepidocolaptes souleyetii</i>	Trepatroncos	-	LC
37	<i>Contopus sordidulus</i>	Pibi de laguna	PR	LC
38	<i>Empidonax hammondi</i>	Mosquero o papamosca	-	LC
39	<i>Empidonax wrightii</i>	Mosquero o papamosca	-	LC
40	<i>Empidonax oberholserii</i>	Mosquero o papamosca	-	LC
41	<i>Empidonax occidentalis</i>	Mosquero o papamosca	-	LC
42	<i>Empidonax fulvifrons</i>	Mosquero o papamosca	-	LC
43	<i>Sayornis phoebe</i>	Fibi oriental	-	LC
44	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Cardenal	-	LC
45	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Papamoscas	-	LC
46	<i>Myiarchus cinerescens</i>	Papamoscas	-	LC





#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo	
			NOM-059 SEMARNAT	UICN
47	<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Papamoscas	-	LC
48	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bichofeo, Luís bienteveo	-	LC
49	<i>Megarynchus pitangua</i>	Bichofeo, Luís bienteveo	-	LC
50	<i>Myiozetetes similis</i>	Bichofeo, Luís bienteveo	-	LC
51	<i>Myiodynastes luteiventris</i>	Bichofeo, Luís bienteveo	-	LC
52	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano	-	LC
53	<i>Tyrannus coviferans</i>	Tirano	-	LC
54	<i>Tyrannus crassirostris</i>	Tirano	-	LC
55	<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano	-	LC
56	<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo americano	-	NT
57	<i>Vireo bellii</i>	Viero aceitunado	P	LC
58	<i>Corvus corax</i>	cuervo	-	LC
59	<i>Progne subis</i>	Golondrina oscura	-	LC
60	<i>Tachycineta bicolor</i>	Golondrina bicolor	-	LC
61	<i>Tachycineta thalassina</i>	Golondrina verdemar	-	LC
62	<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Golondrina risquera	-	LC
63	<i>Petrochelidon fulva</i>	Golondrina pueblera	-	LC
64	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina común	-	LC
65	<i>Psaltriparus minimus</i>	Sastrecillo	PR	LC
66	<i>Campylorhynchus jocosus</i>	Colibrí o chuparroza	-	LC
67	<i>Thryothorus pleurostictus</i>	Cucarachero	-	LC
68	<i>Troglodytes aedon</i>	Ratona común	-	LC
69	<i>Polioptila caerulea</i>	Perlita gris	-	LC
70	<i>Turdus rufopalliatus</i>	Mirlo	PR	LC
71	<i>Mimus polyglottos</i>	cenzontle común	-	LC
72	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuicacoche	-	LC
73	<i>Ptilogonys cinereus</i>	Capulnero gris	-	LC
74	<i>Dendroica petechia</i>	Chipe	-	LC
75	<i>Dendroica coronata</i>	Chipe	A	LC
76	<i>Dendroica nigrescens</i>	Chipe	-	LC
77	<i>Mniotilta varia</i>	Chipe	-	LC
78	<i>Geothlypis poliocephala</i>	Chipe picogruoso	-	LC
79	<i>Wilsonia pusilla</i>	Reynita de Wilson	-	LC
80	<i>Myioborus miniatus</i>	Chepe de montaña	-	LC



#	Especie	Nombre común	Categoría de riesgo	
			NOM-059 SEMARNAT	UICN
81	<i>Piranga rubra</i>	Tangara	-	LC
82	<i>Piranga ludociviana</i>	Tangara	-	LC
83	<i>Piranga olivacea</i>	Tangara	-	LC
84	<i>Volatina jacarina</i>	Semillero volatinero	-	LC
85	<i>Sporophila torqueola</i>	Semillero canela	-	LC
86	<i>Aimophila ruficaudata</i>	Gorrion	-	LC
87	<i>Aimophila humeralis</i>	Gorrión pechinegro	-	LC
88	<i>Pooecetes gramineus</i>	Gorrión vespertino	-	LC
89	<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión alondra	-	LC
90	<i>Calamospiza melanocorys</i>	Gorrión ala blanca	-	LC
91	<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Picogordo cabecinegro	-	LC
92	<i>Passerina cartulea</i>	Picogordo azul	-	LC
93	<i>Passerina amoena</i>	Picogordo azul	-	LC
94	<i>Passerina cyanea</i>	Picogordo azul	-	LC
95	<i>Passerina versicolor</i>	Picogordo azul	-	LC
96	<i>Passerina ciris</i>	Picogordo azul	-	LC
97	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Mirlo de alas rojas	-	LC
98	<i>Quiscalus mexicanus</i>	zanate	-	LC
99	<i>Molothrus aeneus</i>	Tordo	-	LC
100	<i>Molothrus ates</i>	Tordo cabeza café	-	LC
101	<i>Icterus cucullatus</i>	Calandria	-	LC
102	<i>Icterus pustulatus</i>	Calandria	A	LC
103	<i>Icterus gularis</i>	Calandria	-	LC
104	<i>Icterus galbula</i>	Calandria	-	LC
105	<i>Carpodacus mexicanus</i>	Pinzón mexicano	P	LC
106	<i>Carduelis psaltria</i>	Jilguero menor	-	LC
107	<i>Passer domesticus</i>	Pichón	-	LC
108	<i>Melanotis caerulescens</i>	Mulato azul	A	LC



2.3. Agua

2.3.1. Agua superficial

Como se mencionó anteriormente, la zona de estudio de 143.30 km² constituida por el sitio donde se ubica la concesión minera de la empresa minera Esperanza Silver de México S.A. de C.V., corresponde hidrológicamente a la cuenca del río Amacuzac, la cual se encuentra dentro de la Región Hidrológica número 18 denominada "Balsas" en su totalidad, lo anterior, conforme a la delimitación de las 757 cuencas hidrológicas en que se encuentra dividido el territorio nacional. La cuenca tiene un área de 8862.9 km² y capta los escurrimientos que se originan en

el Nevado de Toluca, hasta su desembocadura en el río Balsas en el estado de Guerrero, considerando una longitud promedio del cauce de alrededor de 240 km.

Asimismo, la cuenca del Río Amacuzac se divide en subcuencas, la zona concesionada del proyecto Minero se encuentra específicamente en las subcuencas del río Apatlaco y río Coatlán, hacia el suroeste y oriente respectivamente. Ver Figura 2.28.

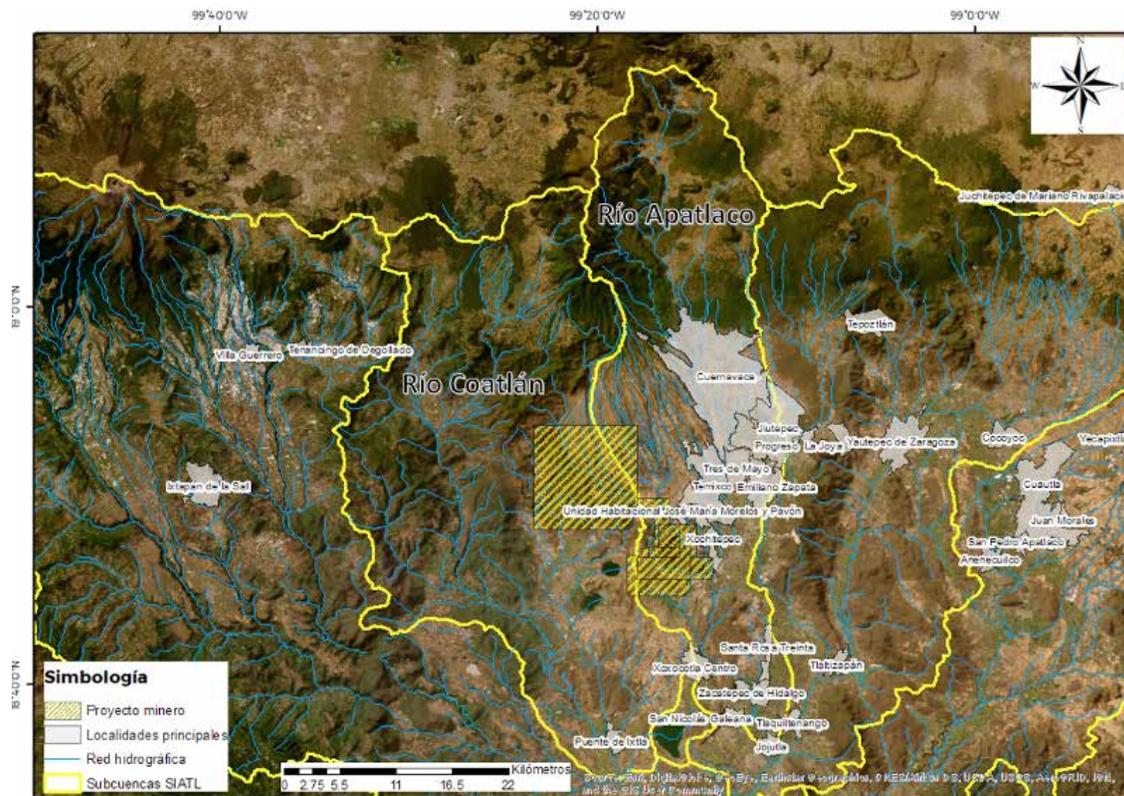


Figura 2.28. Subcuencas en la zona del proyecto. Fuente: SIATL, 2023

Sobre la superficie del proyecto minero cruzan diversos ríos (Ver Figura 2.29). Sobre el polígono de mayor superficie (VI) desciende el arroyo Xaltepec (o Tejaltepec) y el río Tembembe, en sentido noroeste a sureste, y que a la salida inferior derecha del polígono se unen para quedarse con el nombre de río Tembembe. En la parte inferior izquierda del polígono desciende de norte a sur el arroyo La Lima.

Estos tres ríos pertenecientes a la subcuenca del Río Coatlán de acuerdo con SIATL, 2013.

Hacia el oriente dentro de la subcuenca del Río Apatlaco descienden los ríos arroyo Tetlama y arroyo Agua Fría, que cruzan los polígonos de menores dimensiones (I, II, III, IV, V y VII), de igual sentido, de noroeste a sureste.

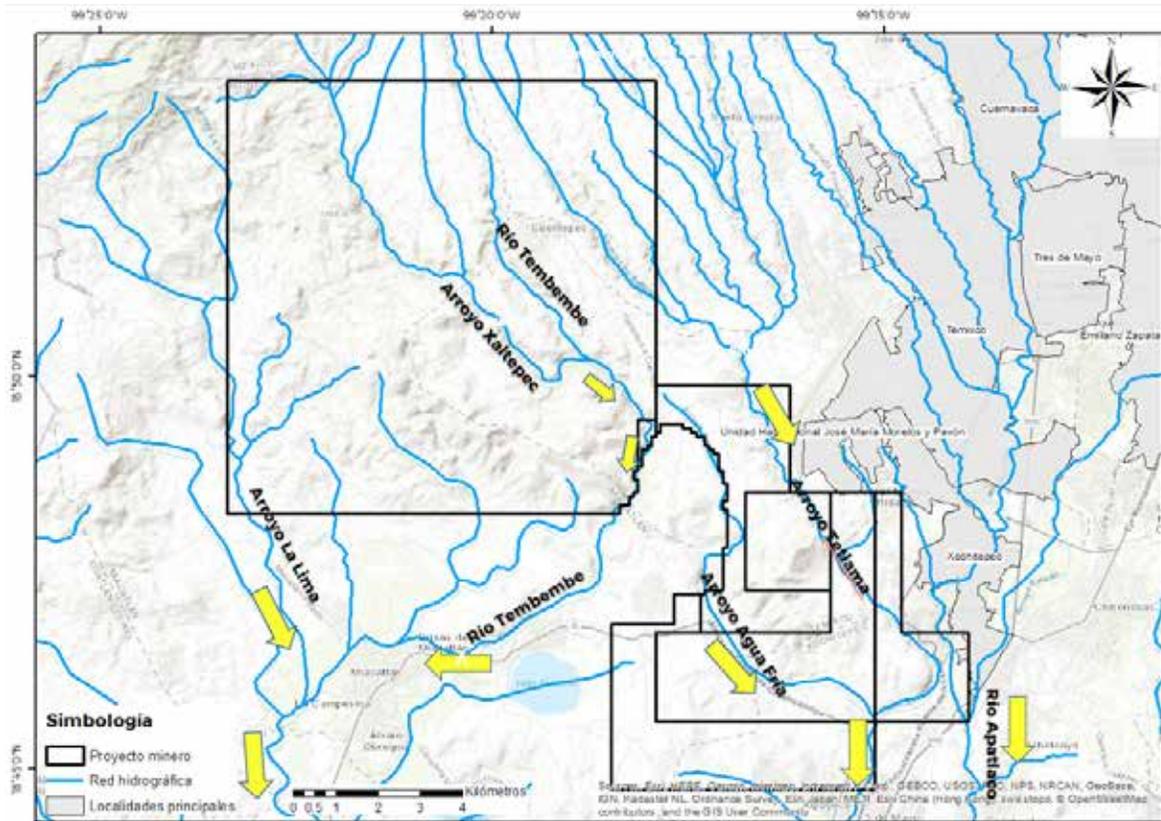


Figura 2.29. Ríos sobre la superficie del proyecto. Fuente: SIATL, 2023.

El régimen hidrológico de estos cauces principales se obtuvo del análisis de los escurrimientos registrados (SIASv2, 2009) en diversas estaciones ubicadas cerca de la zona y aguas debajo de los cauces (Figura 2.30). Estas estaciones fueron Xicatlacotla (18437), Amacuzac (18232), Yautepec (18223), Apatlaco (18264), Alpuyeca (18269) y Tetlama (18323).

En la Figura 2.31, se muestra el caudal medio mensual de las estaciones mencionadas, se observa que la estación Xicatlacotla (18437) presenta el mayor caudal medio mensual por ser la estación que registra todos los escurrimientos que pasaron por las otras estaciones.

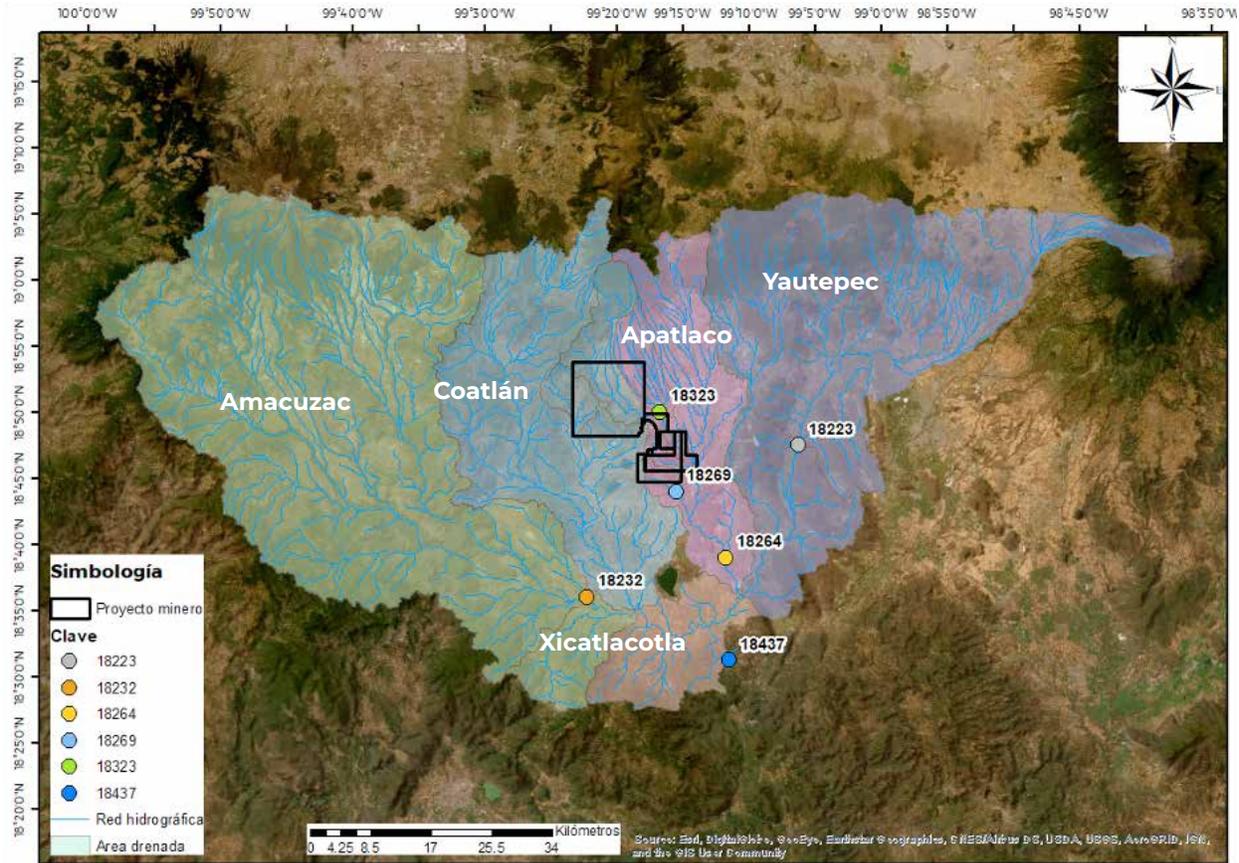


Figura 2.30. Áreas de drenaje hacia las estaciones hidrométricas. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI 2013.

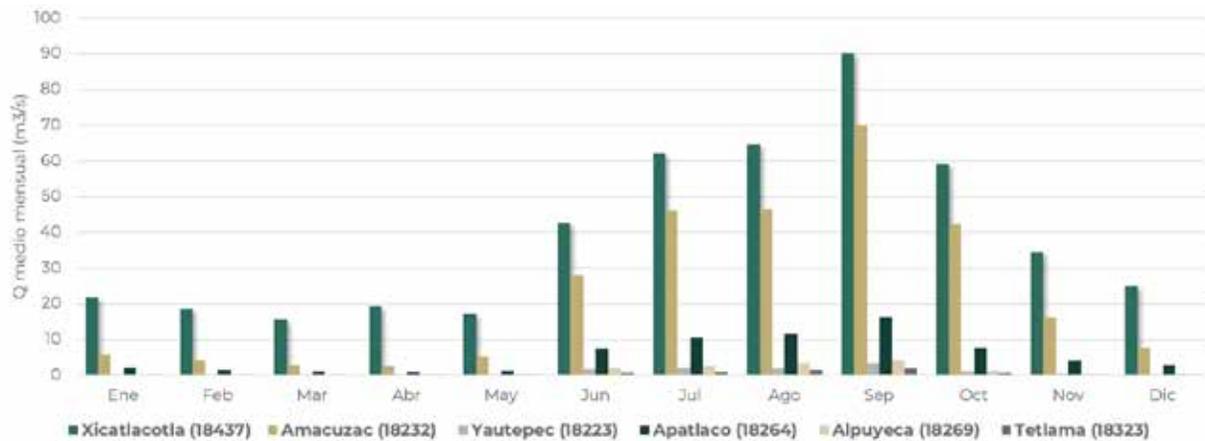


Figura 2.31. Caudal medio mensual de las estaciones en análisis. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 2.32, los ríos o arroyos que cruzan los polígonos del proyecto de menor dimensión (ubicados al sureste) cuentan con una estación hidrométrica (18269) con registros desde 1956. Sin embargo, los arroyos que cruzan el polígono de mayores dimensiones (VI) no tienen a su salida una estación similar. Por lo que, se procedió a estimar los escurrimientos para esa zona con base en la estación Xicatlacotla y restando los caudales medios diarios correspondientes a las subcuencas del Río Yautepec, Amacuzac y Apatlaco, es decir,

restando el caudal de las estaciones 18232, 18264 y 18223, asimismo trasladando el caudal por ponderación de áreas a la salida de sus respectivas cuencas, para así, obtener el caudal de la subcuenca Coatlán.

Posteriormente, del resultado de esta subcuenca, se obtuvo el caudal del río Tembembe (por ponderación de áreas), aproximadamente a la salida del área drenada, ubicada en el límite inferior derecho del polígono VI del proyecto.

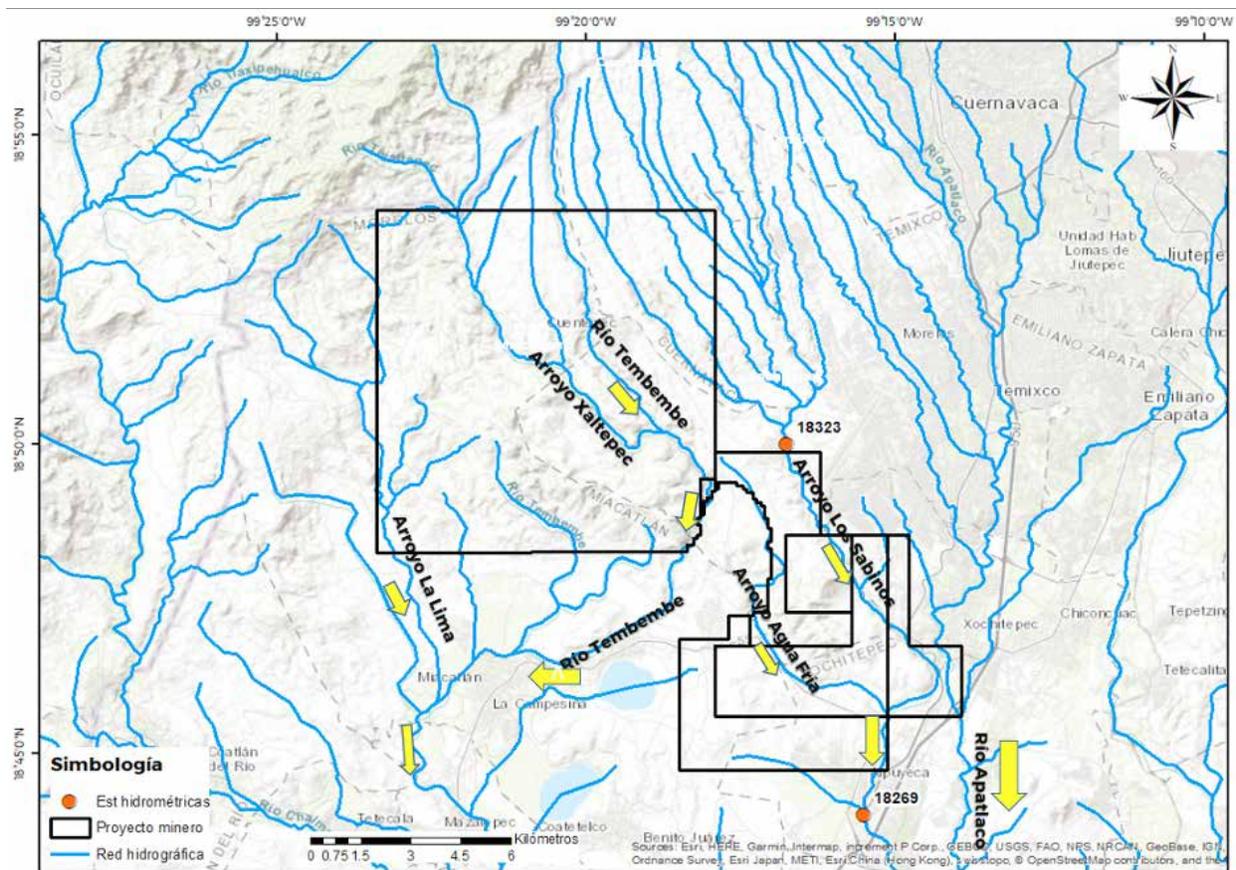


Figura 2.32. Ríos, estaciones hidrométricas y proyecto minero. Fuente: Elaboración propia.

Para verificar el resultado se trasladó el caudal de las estaciones Tetlama (18323) y Xicatlacotla (18437) a la subcuenca del área drenada del río Tembembe (Figura 2.33). Se aprecia que el resultado obtenido por el método de resta de caudales no arroja un resultado confiable, debido a que el caudal medio

mensual se mantiene prácticamente constante en el año. Mientras que con los métodos de ponderación de áreas sí, solo que el obtenido con base en la estación 18323 resultó mayor que el obtenido con la 18437.

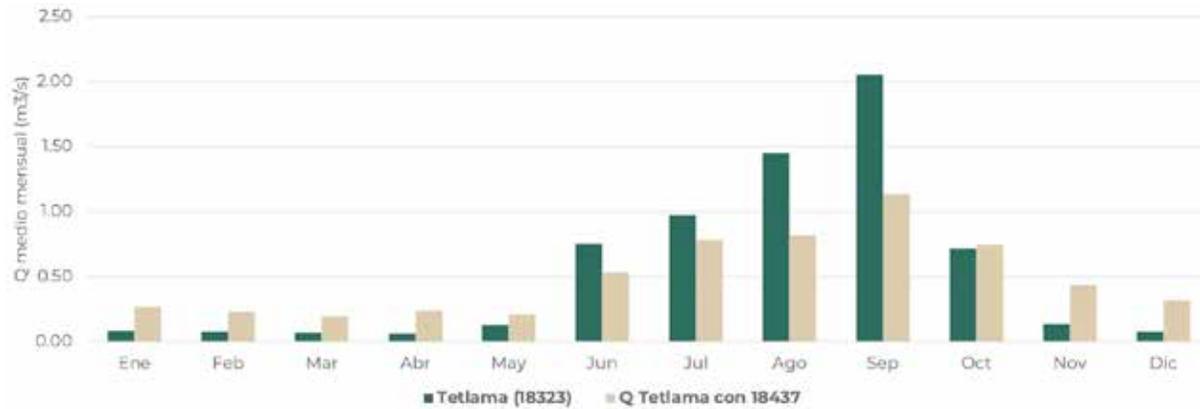


Figura 2.33. Caudal medio mensual en el Río Tembembe. Fuente: Elaboración propia.

Otro paso más para verificar el caudal medio mensual fue el comparar el caudal medio mensual de la estación Tetlama (18323) contra el obtenido por ponderación de áreas con la estación Xicatlacotla (18437) (Figura 2.34). Se observa que el caudal medio mensual obtenido con la estación 18437 queda

por abajo de lo registrado por la estación Tetlama. Por lo que se concluye, que el trasladar el caudal de la estación Tetlama (18323) al área drenada dentro del polígono VI, correspondiente al Río Tembembe, es más real por tener características fisiográficas y climatológicas similares.

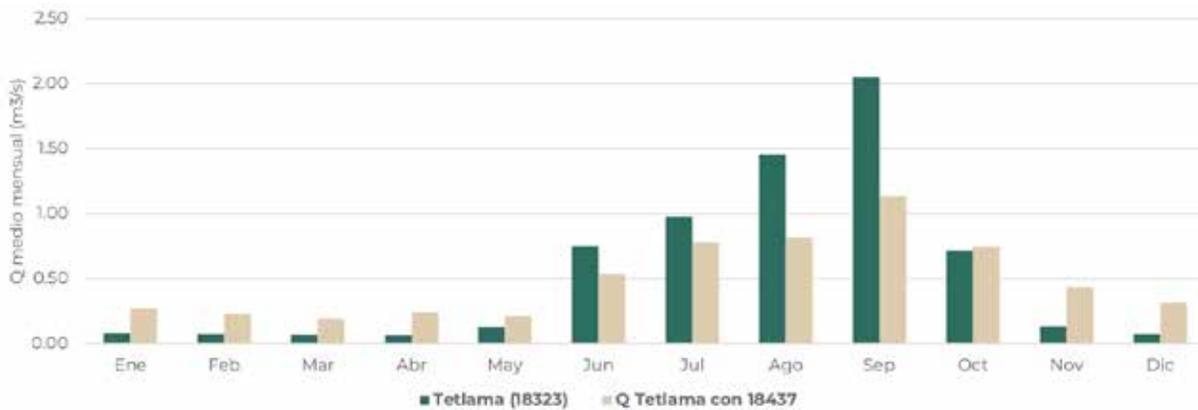


Figura 2.34. Caudales medio mensuales en Tetlama y con traslado de Xicatlacotla. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.35. Caudal medio mensual Río Tembembe dentro del polígono VI. Fuente: Elaboración propia.

Con el mismo procedimiento se estimó el caudal medio mensual para la salida del Arroyo La Lima (Figura 2.36 y Figura 2.37). Para los arroyos Agua Fría 1 (AF1), Agua Fría 2 (AF2) y Arroyo Tetlama (TET) se utilizó la estación Alpuyeca (18269) (Figura 2.38, Figura 2.39, Figura 2.40 y Figura 2.43).

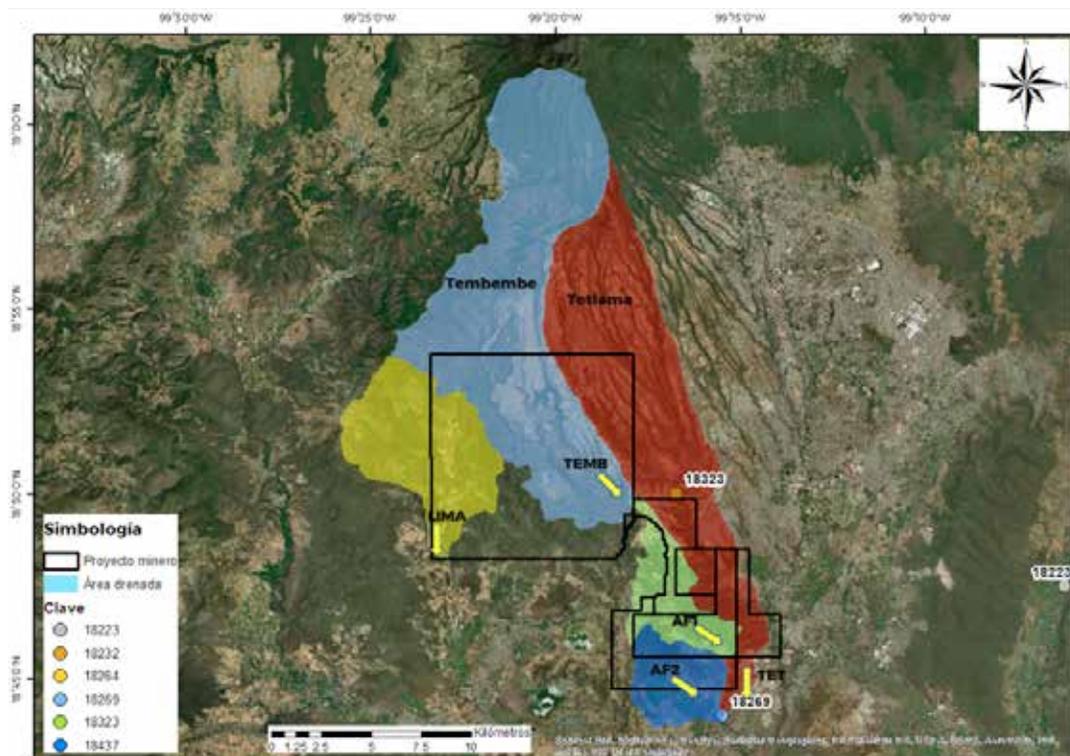


Figura 2.36. Salidas de los polígonos de los arroyos principales. Fuente: Elaboración propia.

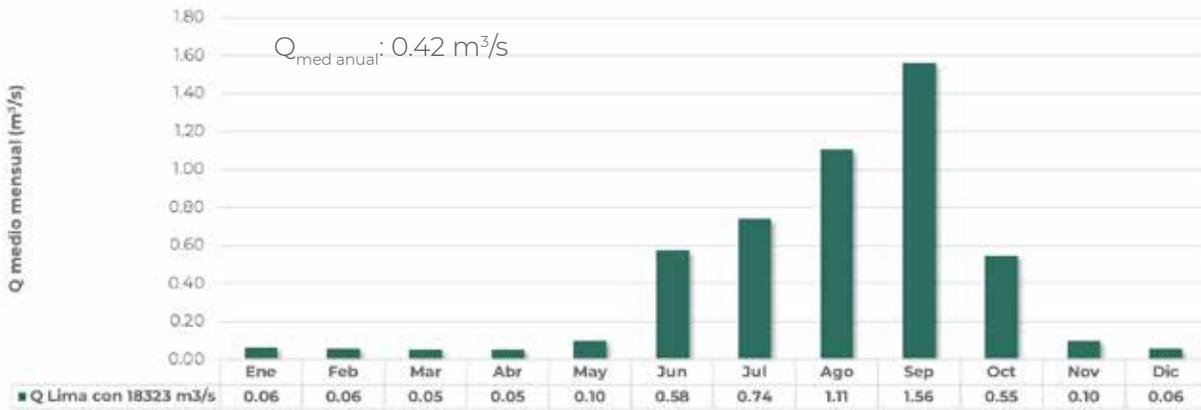


Figura 2.37. Caudal medio mensual del Arroyo La Lima. Fuente: Elaboración propia.

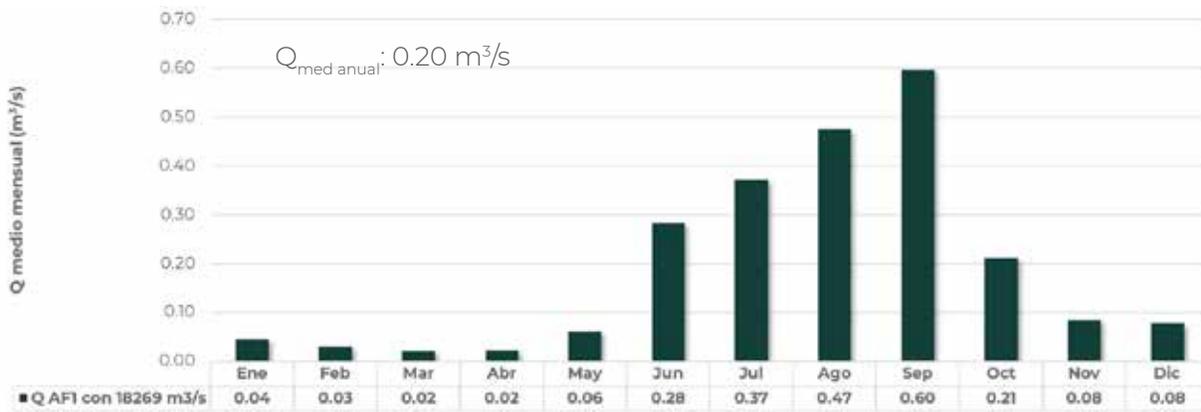


Figura 2.38. Caudal medio mensual del Arroyo Agua Fría 1. Fuente: Elaboración propia.

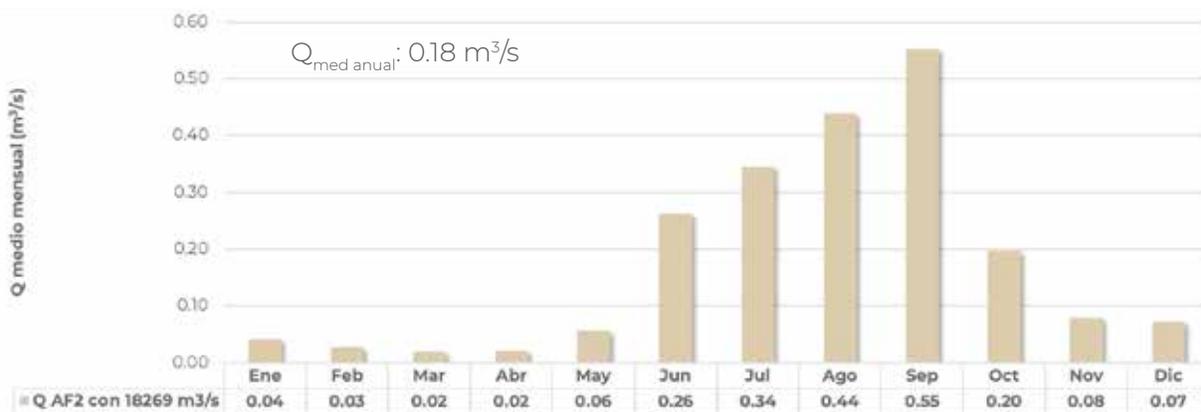


Figura 2.39. Caudales a la sal Caudal medio mensual del Arroyo Agua Fría 2. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.40. Caudal medio mensual del Arroyo Tetlama. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las características fisiográficas y de escurrimientos máximos de los arroyos, se tiene en la Tabla 2.10, la información obtenida del SIATL, 2013 y del SIASv2, 2009.

Del SIATL se obtuvo la elevación, longitud de los cauces, pendientes, tiempo de concentración y área drenada, mientras que del SIASv2 se obtuvo el caudal máximo instantáneo registrado en las estaciones Tetlama (17/08/1985) y Alpuyeca (19/06/1985). Un dato importante es que son subcuencas de

respuesta rápida, ya que los tiempos de concentración para las subcuencas de mayores dimensiones son de 3 a 4 horas.

Se estimaron los caudales máximos en las subcuencas de los arroyos Tembembe, La Lima, Agua Fría y Agua Fría 2 con el método de ponderación de áreas. El caudal máximo de las subcuencas de Tembembe y La Lima se obtuvieron del caudal máximo de Tetlama por ser similares sus pendientes medias (5.08%, 6.1% y 8.88%).

Tabla 2.10. Características fisiográficas de los arroyos. Fuentes: SIATL, 2013 y SIASv2, 2009.

Nombre	Elev max (msnm)	Elev min (msnm)	Longitud (m)	Pendiente media (%)	Tc (horas)	Área drenada (km²)	Q max (m³/s)
Estación Tetlama (18323)	2,131	1,180	18,738	5.08%	1.93	71.34	400.59
Estación Alpuyeca (18269)	2,131	1,003	35,573	3.17%	3.87	135.02	227.45
Arroyo Tembembe	3,244	1,137	34,548	6.10%	2.94	117.75	661.18
Arroyo La Lima	2,232	1,060	13,199	8.88%	1.21	43.48	244.15
Arroyo Agua Fría 1	1,320	1,029	13,022	2.23%	2.06	17.04	28.70
Arroyo Agua Fría 2	1,135	1,019	15,610	0.74%	3.52	20.42	34.40

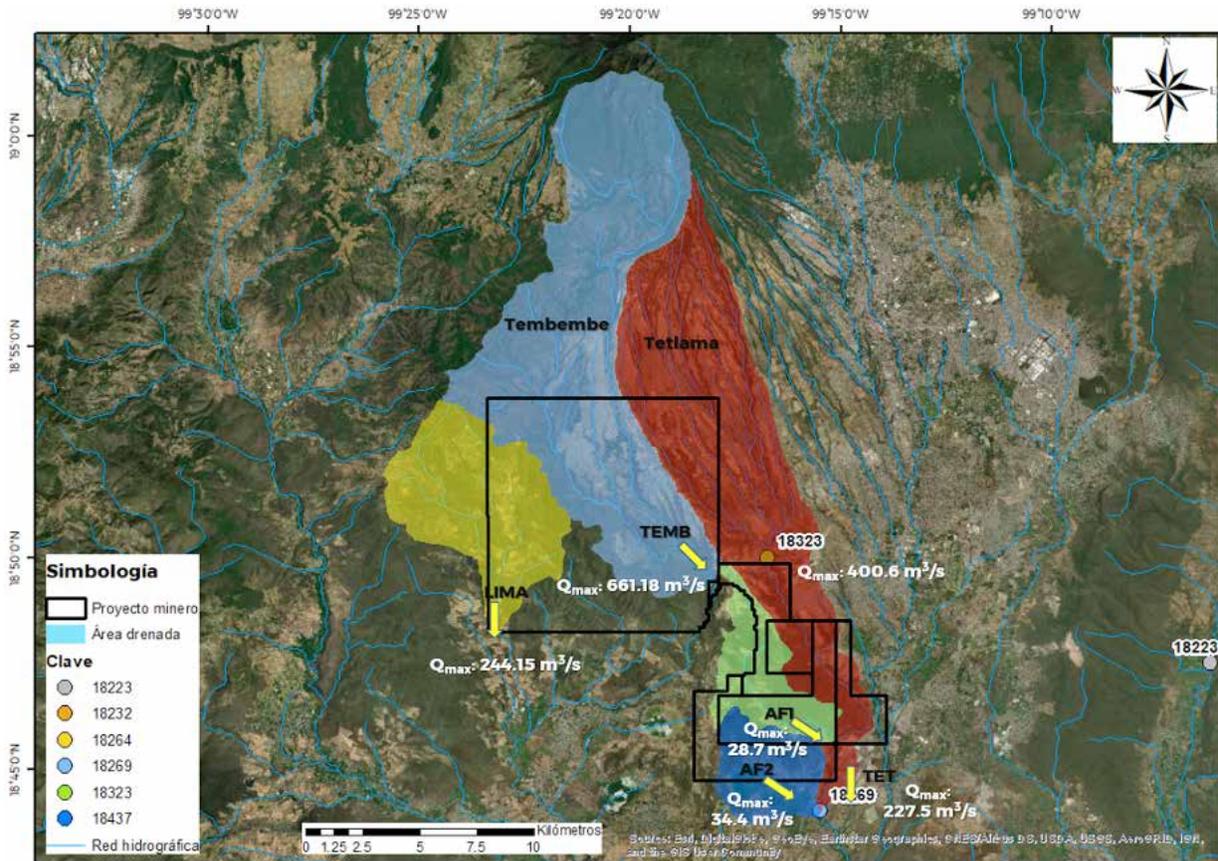


Figura 2.41. Caudal máximo estimado. Fuente: Elaboración propia.

Otra estimación, fue obtener el régimen mensual y promedio anual en un punto a la salida del área drenada que incluyera en su totalidad la superficie de los polígonos del proyecto (Figura 2.41). En estos puntos el régimen de escurrimiento se muestra en la Figura 2.43.

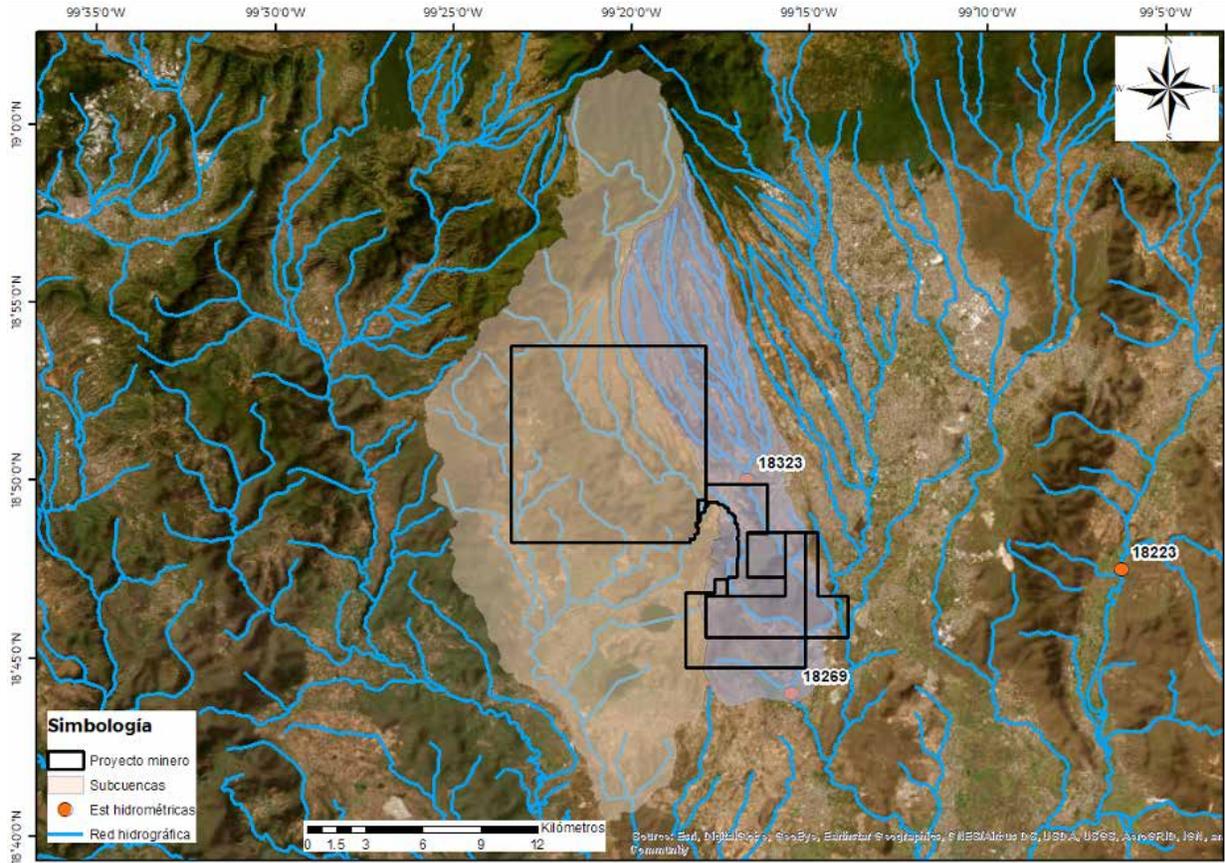


Figura 2.42. Subcuencas que incluyen en su totalidad los polígonos del proyecto. Izquierda: subcuenca Arroyo Tembembe. Derecha: subcuenca Arroyo Tetlama. Fuente: Elaboración propia.

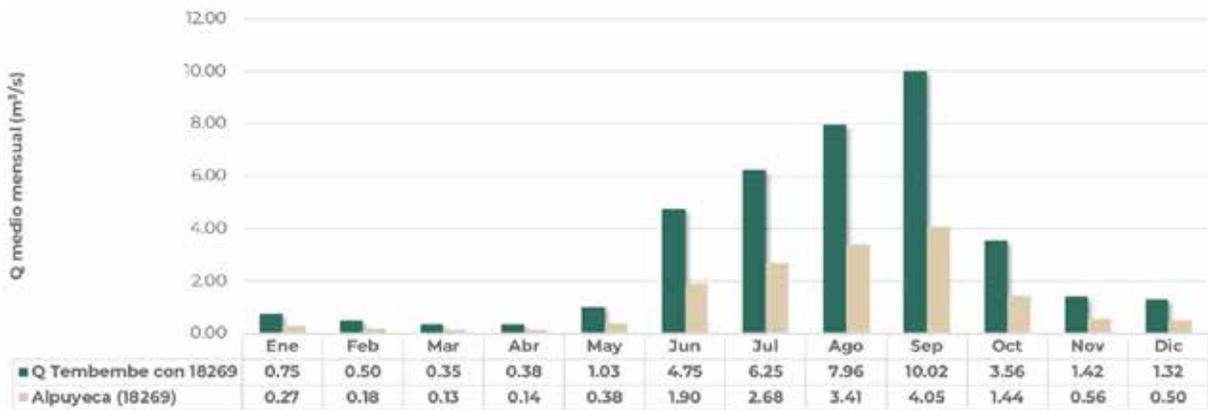


Figura 2.43. Esguerrimiento medio mensual en los arroyos Tembembe (verde) y estación Alpuyecá 18269 (dorado). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, es importante mencionar que el polígono VII, en su extremo derecho toca parte del cauce del Río Apatlaco, no fue parte de las estimaciones ya indicadas debido a que se encuentra en la frontera del polígono de estudio.

Distribución

En las subcuencas que drenan hacia la zona de proyecto se tienen un total 152 puntos de extracción de aguas superficiales (REPGA, 2017) (Ver Tabla 2.11). Asimismo, dentro de los polígonos del proyecto se identificaron un total de 125 puntos de extracción de aguas superficiales, de los cuales 14 son para acuicultura, 119 para uso agrícola y 19 para público urbano. Es importante hacer notar que 107 de los 125 se ubican sobre el arroyo Tembembe al extremo sur oriente del polígono VI (Figura 2.44).

Tabla 2.11. Puntos de extracción de aguas superficiales por uso y tipo. Fuente: REPGA, 2017.

Uso/tipo de fuente	Arroyo	Barranca	Manantial	Río	Total
ACUACULTURA	2		11	1	14
AGRICOLA	1	1	3	114	119
PUBLICO URBANO			19		19
Total	3	1	33	115	152

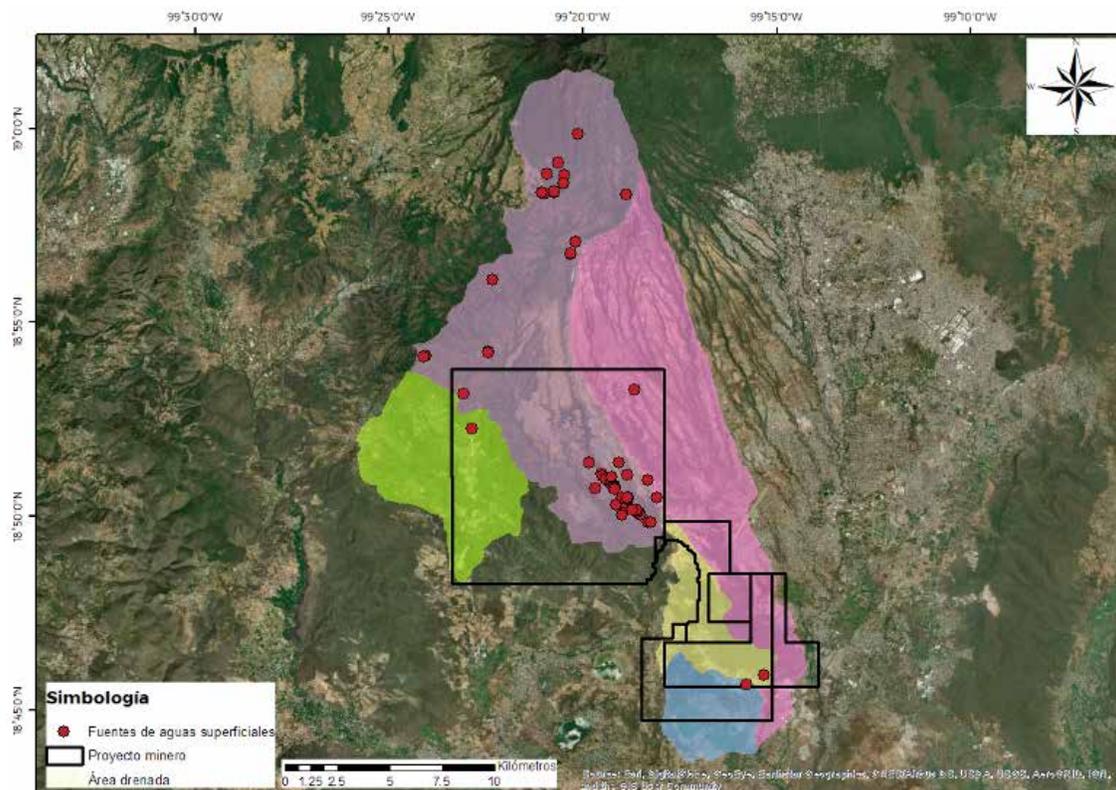


Figura 2.44. Ubicación de las fuentes de agua superficial. Fuente: REPGA, 2017.

En la estimación de los usos consuntivos (Uc) se obtuvo la información de la distribución por tipo y volumen de uso del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) de la Comisión Nacional del Agua.

Para la cuenca del Amacuzac en su totalidad, la distribución de los volúmenes de agua superficial por uso, se muestran en la Figura 2.45. El uso de mayor consumo en la cuenca es el agrícola con un 72%, seguido por el público urbano con 21%.

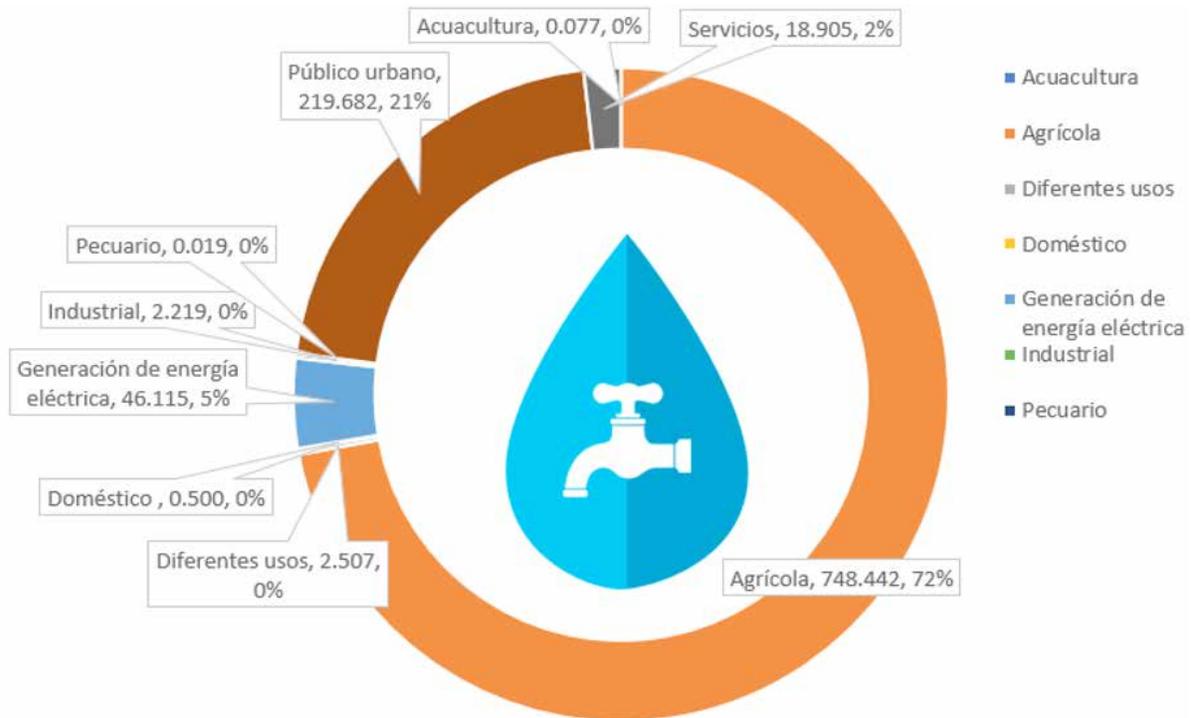


Figura 2.45 Distribución de los usos consuntivos de agua superficial.
Fuente: Elaboración propia con datos de REPDA con corte al 31 de diciembre de 2019.

Disponibilidad

El escurrimiento disponible en una cuenca hidrológica se calcula con base en el principio de continuidad. El escurrimiento natural por cuenca propia es el componente hidrológico más importante que determina el potencial del escurrimiento generado en una cuenca determinada. De acuerdo con la NOM-011-CONAGUA-2015 (DOF, 2015) la disponibilidad media anual de aguas superficiales es la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen medio anual actual comprometido aguas abajo.

$$D = A_b - R_{xy}$$

Donde:

- D** Disponibilidad media anual de aguas superficiales en Mm³
- A_b** Volumen medio anual de escurrimientos hacia aguas abajo en Mm³
- R_{xy}** Volumen medio anual comprometido hacia aguas abajo en Mm³

El escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo (A_b), se determina de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$A_b = A_r + C_p + R_e + I_m - E_x - U_c - E_v - A_v$$

Donde:

- A_r Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba
- C_p Volumen medio anual de escurrimiento natural
- R_e Volumen anual de retornos
- I_m Volumen anual de importaciones
- E_x Volumen anual de exportaciones
- U_c Volumen anual de extracción de agua superficial ($U_c(a)$, $U_c(b)$, $U_c(c)$)

$U_c(a)$ Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos/asignados actualmente en el REPDA

$U_c(b)$ Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA.

$U_c(c)$ Volumen anual correspondiente a las reservas y las zonas reglamentadas

E_v Volumen medio anual de evaporación en embalses y cuerpos de agua

A_v Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses

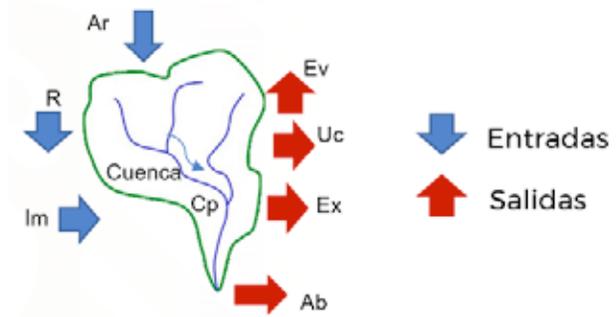


Figura 2.46 Variables del balance hídrico superficial. Fuente: Elaboración propia.

La ecuación que define A_b hace referencia al cálculo del balance aguas superficiales, las variables positivas indican el volumen de agua que entra a la cuenca y las de signo negativo representan el volumen de agua que sale de la misma.

Conforme a los resultados de la actualización de disponibilidad media anual de aguas superficiales, publicados en el "ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos", en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 2020, con información de aprovechamientos inscritos en el REPDA con fecha de corte al 04 de febrero de 2020, la cuenca del río Amacuzac presenta el siguiente estatus de disponibilidad (Ver tabla 2.12).

Tabla 2.12. Cuadro resumen de valores de los términos que intervienen en el cálculo de la disponibilidad superficial en la cuenca del río Amacuzac.

Nombre de la cuenca	Cp	Ar	Uc (a)	Uc (b)	Uc (c)	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	D
Río Amacuzac	2305.19	0	1112.89	66.5	45.98	341.09	0	6	13.7	-0.04	1401.27	1641.04	-239.771

Fuente: (DOF. 2020a), unidades en $hm^3/año$. Cp.- Volumen medio anual de escurrimiento natural; Ar.- Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba; Uc (a).- Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos actualmente en el REPDA; Uc (b).- Volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA Uc (c).- Volumen anual correspondiente a las reservas y las zonas reglamentadas; R.- Volumen anual de retornos; Im.- Volumen anual de importaciones; Ex.- Volumen anual de exportaciones; Ev.- Volumen medio anual de evaporación en embalses; Av.- Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses; Ab.- Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo; Rxy.- Volumen anual actual comprometido aguas abajo y volúmenes decretados para reservas medio ambiente D.- Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica. Volúmenes en millones de metros cúbicos. Las definiciones de estos términos son las contenidas en la fracción 4.2, de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

Se observa que actualmente la cuenca del río Amacuzac en su totalidad presenta un déficit de 239.771 hm³/año, es decir, no presenta disponibilidad para el uso de las aguas nacionales superficiales. Asimismo, de acuerdo con los “LINEAMIENTOS que establecen la forma y condiciones a que se sujetará el aprovechamiento de las aguas nacionales superficiales, así como el levantamiento y actualización de los padrones de usuarios, dentro de la zona de veda de la Región Hidrológica número 18 Balsas”, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 24 de junio de 2011, como instrumento normativo, se tiene el establecimiento de una veda de las aguas superficiales de las cuencas del Río Balsas y se reservan exclusivamente para uso doméstico y público urbano.

Bajo este instrumento normativo, es preciso el establecimiento de medidas de conservación de los recursos hídricos superficiales (ya en déficit) a efecto de recuperar el equilibrio del funcionamiento ecosistémico a niveles óptimos.

De lo anterior se deriva que, la incorporación en el territorio de una industria hidointensiva contraviene a la manutención del ciclo hidrológico del cual depende la provisión de agua de la población en la región.

2.3.2 Agua subterránea



Figura 2.47 Acuíferos Cuernavaca y Zacatepec
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la delimitación de los 653 acuíferos administrativos en los que se encuentra dividido el territorio nacional, el área de estudio se superpone con dos acuíferos, a saber: Cuernavaca (1701) y Zacatepec (1703) (Figura 2.47).

El acuífero Cuernavaca, definido con la clave 1701 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA, se localiza en la porción noroccidental del Estado de Morelos, entre los paralelos 18° 40' y 19° 0' de latitud norte y entre los meridianos 99° 20' y 99° 10' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 820 km². Limita al norte con el acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México, que pertenece a la Ciudad de México; al noroeste con el acuífero Valle de Toluca, al oeste con Tenancingo, ambos pertenecientes al Estado de México; al este con Cuautla-Yautepec y al sur con Zacatepec, que pertenecen al Estado de Morelos. Por su parte el acuífero de Zacatepec, definido con la clave 1703 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de las Aguas Subterráneas de la CONAGUA; se localiza en la parte central del país, en la porción suroeste del Estado de Morelos, entre los paralelos 18° 20' y 18° 45' de latitud Norte y los meridianos 99° 30' y 99° 9' de longitud Oeste, cubriendo una superficie aproximada de 1,279 km². Limita al norte con el acuífero de Cuernavaca, al este con el acuífero Cuautla-Yautepec, pertenecientes al Estado de Morelos; al sur limita con los acuíferos Huitzucó, Poloncingo y Buenavista de Cuellar, pertenecientes al Estado de Guerrero y al oeste limita con el acuífero de Tenancingo, perteneciente al Estado de México.

Las evidencias geológicas, geofísicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un acuífero de tipo libre, heterogéneo y anisótropo, constituido, en su porción superior, por los sedimentos aluviales y fluviales que constituyen el lecho y llanura de inundación de los ríos Apatlaco y Tembembe y otros arroyos tributarios, así como las areniscas, conglomerados, basaltos y andesitas, con intercalaciones de basaltos y andesitas débilmente empaquetados en arenas y arcillas, que rellenan los valles, con espesores de hasta 250 m. Esta es la unidad que actualmente se explota para satisfacer las necesidades de agua de la región.

La porción inferior se aloja en una secuencia de calizas marinas de las formaciones Morelos y Cuautla que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento y/o disolución. Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representadas por las mismas rocas calcáreas al desaparecer el fracturamiento a profundidad y por las rocas arcillosas de la Formación

Mexcala. Esta unidad puede presentar condiciones de semiconfinamiento debido a que se encuentra sobreyacida por las lutitas y limolitas de la Formación Mexcala.

La Sierra de Xochicalco forma la frontera entre el valle de Cuernavaca y el valle de Zacatepec, es un

plegamiento de rocas calizas que funciona como barrera al flujo subterráneo que fluye hacia el acuífero Zacatepec, con el cual se comunica a través de los subálveos de los ríos Tembembe, Apatlaco y Dulce (Ver Figura 2.48).

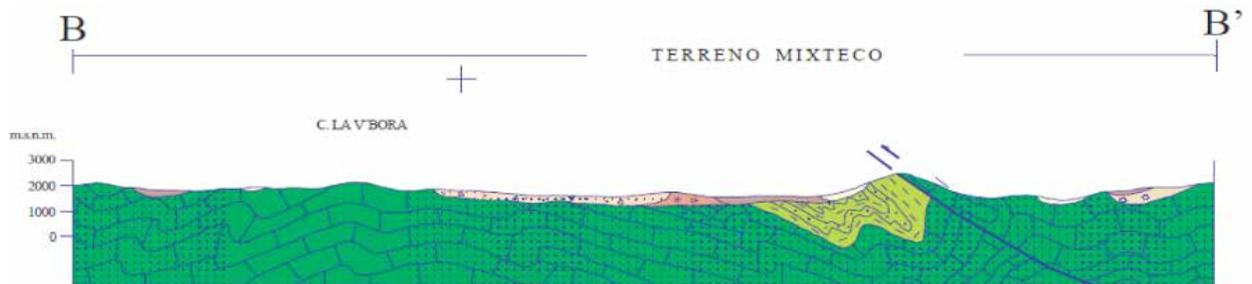


Figura 2.48 . Sección geológica de la parte sur del acuífero Cuernavaca, límite entre los acuíferos: Cuernavaca y Zacatepec.

Fuente: Conagua, 2020

La profundidad del nivel estático en el acuífero Cuernavaca, en la zona de las minas, oscila entre 60-20 m. En el acuífero Zacatepec, la profundidad del nivel estático oscila entre 50-20 m. y próximo se encuentran cuerpos de agua (el Rodeo y Mazatepec), posiblemente son zonas de descarga natural de flujo regional (desconociendo su componente, local, intermedia o regional). En ambos casos, es altamente probable de un desarrollo minero de cielo abierto o tiro de mina, intercepte el flujo subterráneo.

Con la finalidad de estimar el volumen de flujo subterráneo, en la zona, se usaron los planos de elevación de la carga hidráulica del año 2010. En color azul se marcan en las componentes del flujo subterráneo, próximas al área proyectada de la mina (Ver Figura 2.49).

El flujo subterráneo en el acuífero Cuernavaca, mantiene una componente Norte-Sur, y se interpreta existe una componente importante proveniente de la zona de barrancas (Poniente), que no es marcada en el plano por la falta de información, sin embargo, observando el patrón que mantiene el acuífero Zacatepec, en la zona de barrancas (Poniente), se evidencia la existencia del flujo subterráneo.

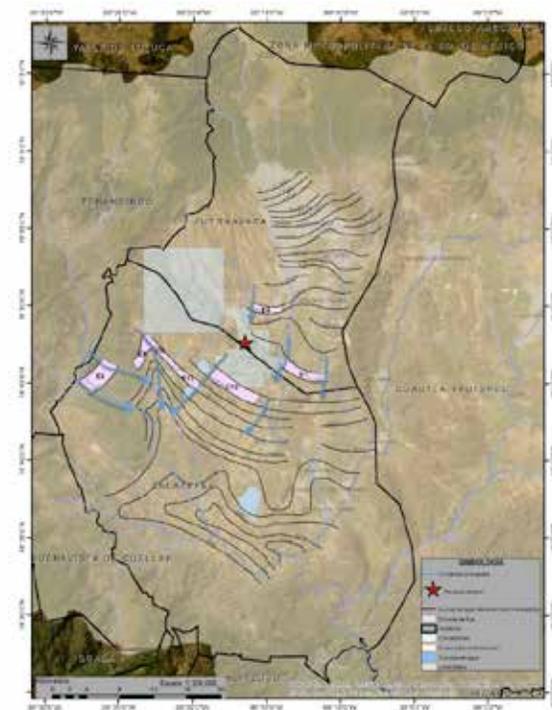


Figura 2.49 . Flujo subterráneo, red y celdas.

Fuente: Elaboración propia.



Manteniendo las líneas de flujo (flechas color azul) y formando la red, que limita las celdas de flujo subterráneo (celdas moradas), el volumen subterráneo, calculado es de 59.9 hm³/año (Ver Tabla 2.13).

Tabla 2.13. Volumen subterráneo en celdas, acuífero Cuernavaca.

CANAL	LONGITUD (m)	ANCHO B (m)	h2-h1 (m)	Gradiente (i)	T (m ² s-1)	Caudal (m ³ s-1)	Volumen (hm ³ año-1)
E4	3860	965	50	0.0518	0.006	1.2	37.8
E1	5790	1655	50	0.0302	0.004	0.6997	22.1

Donde se ha calculado en la celda E4, ubicadas aguas arriba de la poligonal donde se proyecta la mina, un volumen de agua subterránea de 37.8 hm³/año, volumen que forma parte de la componente de entrada de flujo subterráneo del acuífero Zacatepec.

En el caso de la salida subterránea, que se ubica en el acuífero Zacatepec, el volumen (Tabla 2.14), estimado es de 24.4 hm³/año.

Tabla 2.14. Volumen del flujo subterráneo en el acuífero Zacatepec.

CANAL	LONGITUD (m)	ANCHO B (m)	h2-h1 (m)	Gradiente (i)	T (m ² /s)	Caudal (m ³ /s)	Volumen (hm ³ /año)
E2	2740	3370	30	0.0089	0.004	0.0976	3.1
E8	3580	2735	30	0.011	0.004	0.1571	5.0
E9	2945	1450	20	0.0138	0.004	0.1625	5.1
E10	3580	840	20	0.00238	0.002	0.1705	5.4
E11	4840	1050	20	0.019	0.002	0.1844	5.8

La componente subterránea en el valle (acuífero Zacatepec) es del orden de 14.3 hm³/año y el flujo subterráneo de las barrancas es de 10.1 hm³/año, por lo que se confirma que la zona de barrancas aporta volúmenes subterráneos al sistema.

Debido a la falta de disponibilidad de agua superficial para el otorgamiento de nuevas concesiones en la región, el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de agua para los distintos usos consuntivos.

Distribución

En cuanto a las aguas subterráneas, se identificaron 1,242 puntos de extracción de aguas subterráneas ubicadas sobre los acuíferos de Cuernavaca y Zacatepec (Tabla 2.15 y Figura 2.50). Dentro de los polígonos del proyecto se tienen solo 14 puntos de extracción de aguas subterráneas: uno para uso de servicios, 11 para uso público urbano y dos para diferentes usos.



Tabla 2.15. Fuentes de aguas subterráneas por uso y tipo. Fuente: REPDA, 2017.

Uso/Acuífero	Cuernavaca	Zacatepec	Total
ACUACULTURA	1	6	7
AGRICOLA	35	112	147
DIFERENTES USOS	25	52	77
DOMÉSTICO	15	7	22
INDUSTRIAL	40	25	65
PECUARIO	2	14	16
PÚBLICO URBANO	691	128	819
SERVICIOS	44	45	89
Total	853	389	1242

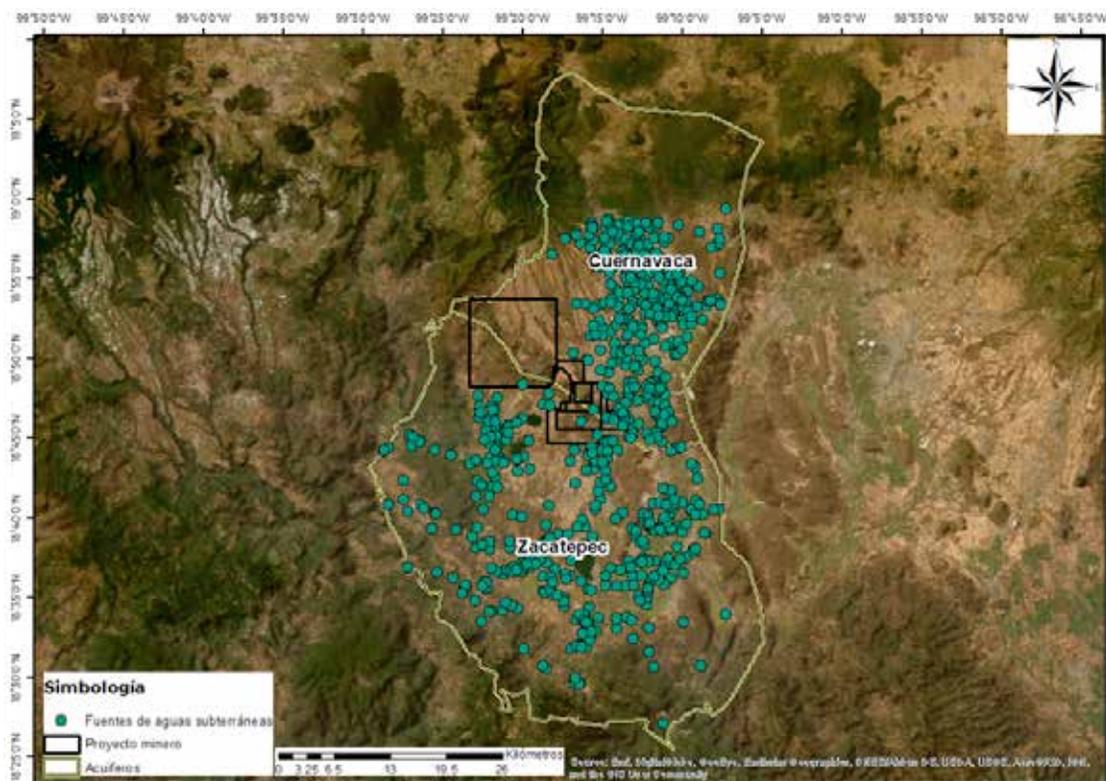


Figura 2.50 Ubicación de las fuentes de agua subterránea. Fuente: REPDA, 2017



La distribución de los usos consuntivos de aguas subterráneas se tiene en la Tabla 2.16 y Figura 2.51. En este caso, el uso de mayor consumo es para el público urbano con 80% y posteriormente para el agrícola con 10%.

Tabla 2.16. Distribución de los usos consuntivos de las aguas subterráneas. Fuente: REPDA con corte al 30 de septiembre del 2022.

Uso	Acuífero Cuernavaca REPDA 30/09/22	Acuífero Zacatepec REPDA 30/09/23	Total	Porcentaje
Acuicultura	0.046	0.330	0.376	0.15%
Agrícola	4.643	21.913	26.556	10.34%
Diferentes usos	1.941	2.809	4.750	1.85%
Doméstico	0.224	0.016	0.240	0.09%
Industrial	5.540	4.174	9.714	3.78%
Pecuario	0.003	0.438	0.441	0.17%
Público urbano	180.590	25.698	206.288	80.31%
Servicios	5.713	2.801	8.513	3.31%
Total	198.699	58.178	256.878	100.00%

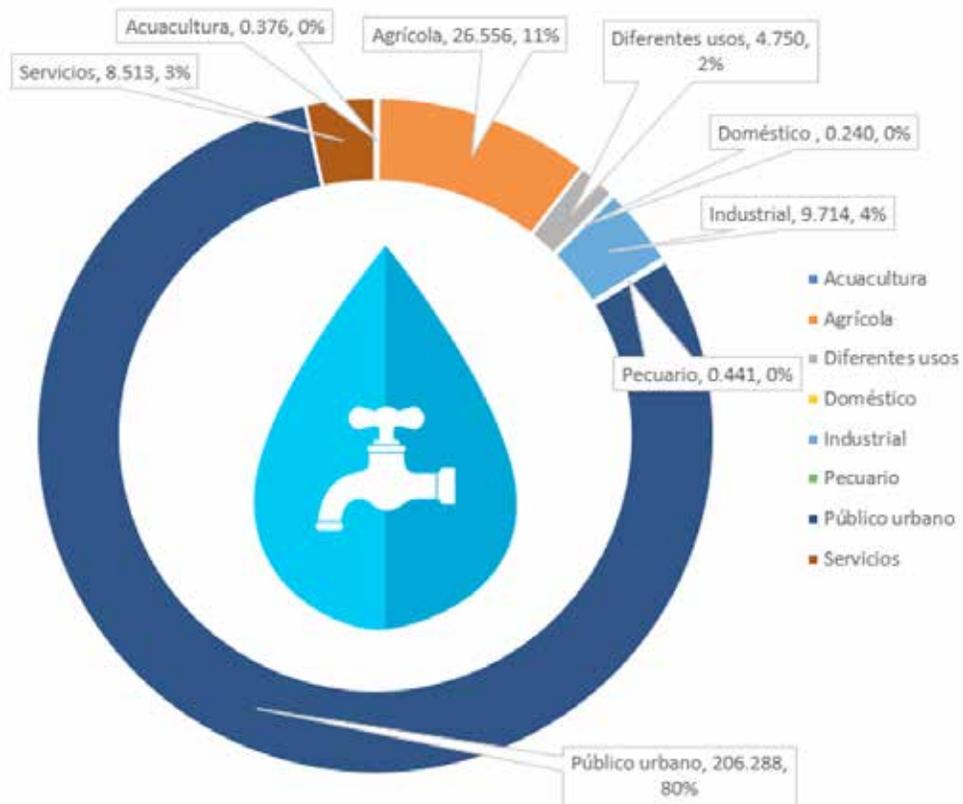


Figura 2.51. Distribución de los usos consuntivos de agua subterránea. Fuente: Elaboración propia.

Disponibilidad

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, la disponibilidad media anual de agua subterránea se determina por medio de la siguiente expresión:

$$D = R - DNC - VEAS$$

Donde:

D: disponibilidad media anual de agua del subsuelo.

R: recarga total media anual;

DNC: descarga natural comprometida;

VEAS: volumen de extracción de aguas subterráneas;

Asimismo:

$$VEAS = VCAS + VEALA + VAPTYR + VAPRH$$

Donde:

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;

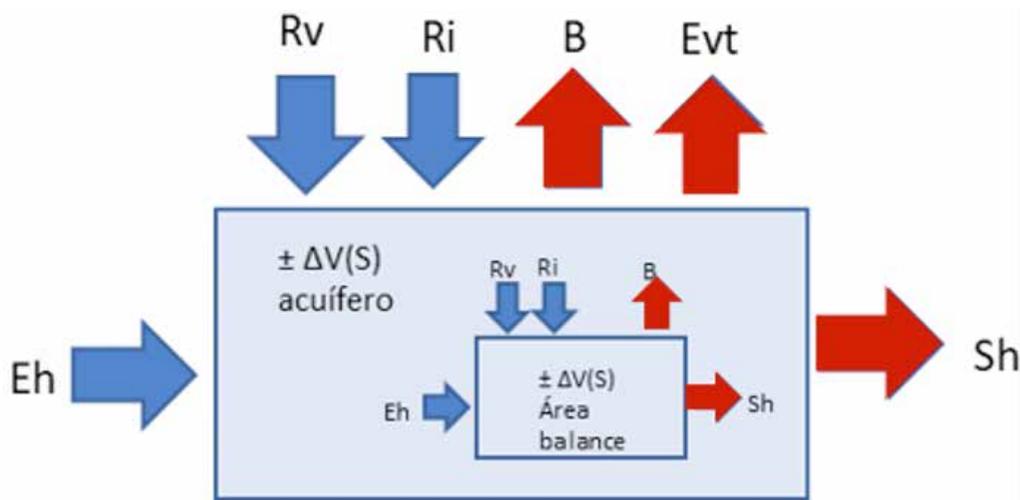


Figura 2.52. Esquema de variables de entrada y salida para el balance hídrico subterráneo. Fuente: Elaboración propia.

Se desconoce la cantidad del agua subterránea almacenada en los acuíferos que se encuentran en el polígono en estudio, sin embargo, se estima una recarga total en los acuíferos de la zona de estudio de $429.5 \text{ hm}^3/\text{año}$, con base en el "ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican" publicado en el Diario Oficial de la Federación

el 17 de septiembre de 2020 (DOF, 2020b). Para mantener en equilibrio los acuíferos en la región es necesario limitar las extracciones de agua subterránea por debajo del valor de la recarga media anual, las cuales están cuantificadas en $255.14 \text{ hm}^3/\text{año}$, asimismo se tienen salidas naturales de agua subterránea estimadas en $142.10 \text{ hm}^3/\text{año}$. La Tabla 2.17 muestra la condición de disponibilidad media anual para los dos acuíferos de la zona de estudio.



Tabla 2.17. Disponibilidad de agua subterránea para el acuífero de Cuernavaca al 17 de septiembre de 2020.

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNC	VEAS				DMA	Condición
				VCAS	VEALA	VAPTyr	VAPRH		
1701	Cuernavaca	344.20	125.10	198.31	0.00	0.45	0.00	20.35	Con disponibilidad - No Sobreexplotado
1703	Zacatepec	85.30	17.00	55.41	0.00	0.98	0.00	11.91	Con disponibilidad - No Sobreexplotado
		429.5	142.10			255.14		32.26	

Fuente: (DOF. 2020b), unidades en hm³/año. 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. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales “3” (fracciones 3.10, 3.12, 3.18 y 3.25), y “4” (fracción 4.3), de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

Se observa que los dos acuíferos se encuentran en una condición de disponibilidad, con un volumen de 32.26 hm³/año. Sin embargo, es importante mencionar que los dos acuíferos se encuentran vedados. Asimismo, de acuerdo con diversos instrumentos normativos, la porción y suroeste del acuífero de Cuernavaca, solo permite extracciones para uso doméstico; del mismo modo, la porción norte y sur-oeste del acuífero de Zacatepec sólo permite extracciones para usos domésticos y de abrevadero.

2.2.3 Variación del almacenamiento de agua

Actualmente la capacidad de observar cambios en los recursos hídricos a gran escala se ha visto facilitada por el despliegue de satélites de observación de la Tierra. Una de esas misiones satelitales es el NASA Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) que ha medido las variaciones temporales en el campo gravitatorio de la Tierra desde marzo de 2002 (Tapley et al., 2004). Estas observaciones ahora se aplican de forma rutinaria para estimar los cambios mensuales en almacenamiento de agua, por ejemplo: la nieve, el agua superficial, la humedad del suelo y el agua subterránea. Diversos estudios recientes han demostrado que las observaciones de GRACE, cuando son combinadas con conjuntos de datos de almacenamiento de agua superficial y de humedad del suelo en un balance de hídrico, pueden cuantificar los cambios en el almacenamiento de agua con suficiente precisión (Niu, G. Y., 2007; Wang, X., 2001; Castle et al., 2014; Katpatal, Y. B., 2018; Abou Zaki, N., 2019). En este sentido, se realizó un análisis de 20 años (2002-2022) de las observaciones de GRACE, con el fin de cuantificar los cambios en el almacenamiento de agua dulce a efecto de evaluar el uso conjunto del agua superficial y subterránea en la disponibilidad de agua en el polígono en estudio (Ver Figura 2.53).



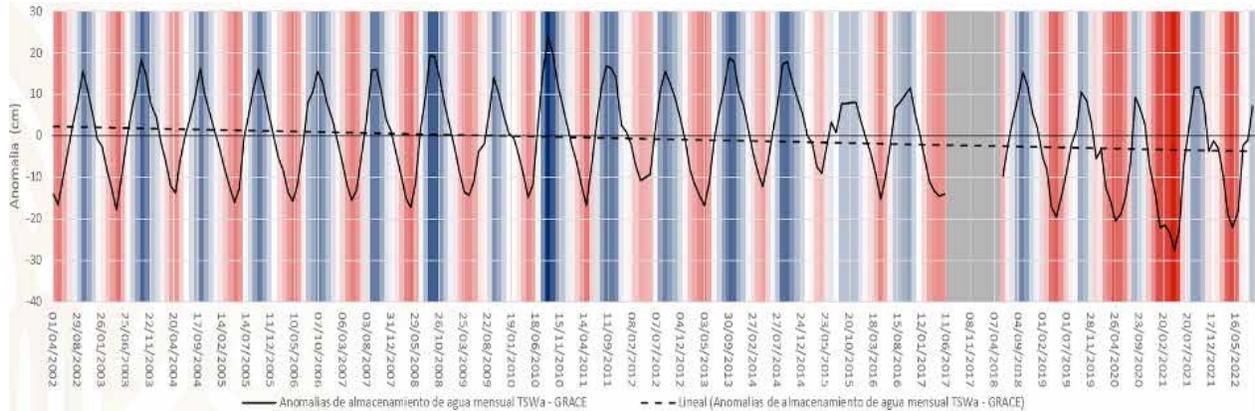


Figura 2.53 Variación mensual del cambio en el almacenamiento de agua en la cuenca del río Amacuzac (incluye aguas superficiales y subterráneas).

Fuente: Elaboración propia con datos de la misión GRACE.

Los resultados muestran que el incremento en el almacenamiento de agua en la región coincide con la época de lluvias de cada año demostrando el funcionamiento hidrológico de la región. Sin embargo, considerando la comparación del promedio del periodo de 2018 - 2022 respecto del periodo 2002 - 2006 se observa un decaimiento en el almacenamiento de alrededor de 6.3 cm, que multiplicados por el área de la cuenca nos dan un volumen promedio de pérdida de agua en la región de 271.09 hm³ en la región, es decir, actualmente se cuenta con un volumen de 271.09 hm³ de agua menos de los que se contaba en los años 2000's. Este decaimiento se observa intensificado desde el año 2019, donde se observa que existe una mayor explotación de los recursos hídricos en la región.

2.2.4. Calidad del sistema acuático

Los sistemas acuáticos son la principal fuente de vida para gran parte de la biodiversidad del planeta, incluido el ser humano. El 6% de la diversidad de especies biológicas hasta ahora conocida (alrededor de 100,000 especies) se encuentra en los ecosistemas de agua dulce (Dudgeon et al. 2006) y este número sigue en aumento ya que diariamente se descubren nuevas especies. Tan solo en Sudamérica, en menos de cinco años, se descubrieron 465 nuevas especies de peces de agua dulce (Eschmeyer, et. al. 2010). Por otra parte, los ecosistemas de agua dulce tienen condiciones de diversidad muy particulares, ya que la relación que guarda el área con respecto a la riqueza de especies, es mayor que en cualquier otro ecosistema, fenómeno denominado por Martens (2010) como "paradoja de la biodiversidad del agua dulce". Además, la tasa de endemismo en los sistemas dulceacuáticos es muy

alta, principalmente en los lagos (Groombridge y Jenkins 2002).

Estos ríos son de enorme importancia por dos razones:

- a) fuente de abastecimiento para una gran proporción de la población del estado de Morelos así como para producción agrícola y
- b) biológicamente son una de las zonas de importancia ecológica más representativas en el Estado por su biodiversidad.

La protección de los humedales fluviales requiere, entre otras cosas, del entendimiento de los procesos biofísicos de la cuenca hidrológica que le dan mantenimiento, así como de los impactos y alteraciones y sus consecuencias en el sistema. Partiendo de este análisis, es factible establecer planes de desarrollo sustentable.

El biomonitoreo acuático a través de macroinvertebrados bentónicos es una herramienta que ha sido ampliamente reconocido desde hace décadas (Cairns y Pratt 1993), y esto ha dado lugar a una variedad de herramientas de monitoreo que utilizan invertebrados acuáticos (Hellawell 1986, Rosenberg y Resh 1993, Usseglio-Polatera, et al., 2000, Resh 2008). El monitoreo biológico o biomonitoreo puede ser definido como el uso sistemático de las respuestas biológicas, que sirven para evaluar cambios en el ambiente con el fin último de utilizar esta información en un programa de control de calidad (Barbour et al. 1999). El biomonitoreo histórico o vigilancia a largo plazo puede brindar la evidencia necesaria para evaluar o prevenir un problema ambiental en desarrollo, pero también pueden emplearse para conocer el estado inmediato del ecosistema.



Los invertebrados bentónicos son organismos que carecen de esqueleto interno y en su lugar presentan una cubierta externa o exoesqueleto. En el sistema acuático habitan en el lecho fluvial (entre las piedras, plantas acuáticas sumergidas, semienterrados en la arena, entre otras) ya sea durante todo su ciclo de vida (como los moluscos) o parte de él (como muchos insectos, en los que la fase adulta es terrestre y la fase larvaria es acuática). Se denominan 'macroinvertebrados' a aquellos organismos que alcanzan a lo largo de su ciclo de vida un tamaño superior a 0,200 mm, lo que les puede hacer visibles a simple vista (Rosenberg y Resh, 1993). Esta comunidad se caracteriza por una elevada diversidad taxonómica. Estos organismos presentan también una alta especialización fisiológica y fisionómica a las diferentes condiciones de los ecosistemas acuáticos (velocidad de la corriente y tipo de sustrato) así como tipos de alimentación, como son aquellos especializados en triturar o desmenuzar hojas y/o materia orgánica de mayor tamaño, filtradores de materia orgánica en suspensión, raspadores del perifiton o película de algas y bacterias adheridas a las rocas.

De acuerdo con Richard et al. 1996, una especie (o ensamblaje de especies) indicadora es aquella que presenta un requerimiento particular en relación a un grupo conocido de variables físicas o químicas, de tal forma que los cambios en presencia/ausencia, número, morfología, fisiología o bien comportamiento en esta especie, indicará que estas variables han sufrido alteraciones, por lo que se encuentran fuera de los límites tolerados. El factor o factores que regulan la abundancia o presencia/ausencia de una población, pueden actuar en cualquier estado del ciclo de vida de los organismos, y puede ser de tipo abiótico (v.g variables químicas pH, presencia de metales, sustancias tóxicas etc.), físicas (alteración en el tipo de sustrato, cambio en la velocidad de la corriente) o bióticos (competencia, depredación, parasitismo).

Idealmente los organismos indicadores son aquellos que presentan tolerancia específica o rangos estrechos de tolerancia a alguna condición; el principal supuesto a considerar en el uso de organismos indicadores para la evaluación de la calidad del agua es que "un indicador es el reflejo de su ambiente" de tal manera que su presencia y abundancia indican que sus requerimientos físicos químicos y nutricionales están dados en el ambiente. Por el contrario, los organismos que presentan alta tolerancia a las diversas condiciones ambientales, y cuyos patrones de distribución o abundancia se ven ligeramente afectados aún y cuando se observan variaciones de importancia en la calidad del agua, serán considerados como malos indicadores.

Por otro lado, mientras que la presencia de una especie nos asegura que sus requerimientos mínimos están dados, la ausencia de una especie no siempre indica falta de condiciones óptimas, ya que hay que considerar que la ausencia de este taxón puede deberse a límites naturales de su distribución, o bien a sustitución de su nicho ocupacional (exclusión competitiva por análogos ecológicos, o bien por eventos de su ciclo de vida natural como periodos de emergencia). Estas evaluaciones se basan en diversas variables de respuestas de los macroinvertebrados como son, a nivel individuo, cambio en la composición genética, bioacumulación de tóxicos; pruebas toxicológicas en laboratorio y campo; cambio en el número poblacional; composición y estructura de la comunidad o bien cambios a nivel de funcionamiento del ecosistema. (McGeoch 1998)

Objetivo general

Determinar a través de la fauna de macroinvertebrados bentónicos el estado de salud e integridad ecológica de los ríos Colotepec y Acatzingo en el estado de Morelos.

Metodología

Se llevó a cabo el reconocimiento de la zona de estudio con el fin de determinar los mejores sitios de muestreo que cumplieran con los criterios de: a) máximo y mínimo impacto (derrame y/o carga orgánica), b) sección alta media y baja de cada cuenca, c) afluentes, d) presencia de mayor número de hidroambientes, e) accesibilidad, f) ambientes lenticos y lóticos, f) Coincidencia con sitios de muestreo con el resto del grupo de trabajo de evaluación de riesgo ecológico. Los sitios seleccionados corresponden a los mismos sitios seleccionados para la caracterización geomorfológica.

Para el muestreo, se siguió el criterio de clasificación de micro hábitats en ambientes lóticos de flujo continuo (Jenkins et al. 1984), que corresponde a: 1) márgenes del río, 2) zonas de corriente lenta y 3) zonas de corriente rápida hasta una profundidad máxima de 1.5 m, ya que se ha visto que la fauna macrobéntica difícilmente habita a profundidades mayores (Baker y Feltmate 1989), con excepción de algunos dípteros y moluscos. Para ambientes lenticos se consideró la zona litoral con y sin vegetación (enraizada emergente, enraizada sumergida, libre flotadora).

Estos criterios se apegan igualmente al muestreo multihábitat establecidos en el procedimiento acreditado IMTA CAHB6-32 "Evaluación de calidad del agua a través de macroinvertebrados mediante





aplicación de índices de diversidad Shannon-Wiener, Brillouin e Índice biótico de Hilsenhoff “

Debido a que un cuerpo de agua lótico mantiene una alta diversidad de micro-ambientes, como zonas rocosas, grava, arcilla, arena, limo y vegetación, y debido a que los organismos bentónicos muestran una clara relación con el tipo de sustrato, se consideró además para el muestreo de cada estación, la mayor diversidad de ambientes presentes (Alonso Eguía-Lis 2004, Barbour et al. 1999), de tal manera que se incluyan organismos con distintas preferencias asociadas a sustratos. El muestreo se realizó mediante redes tipo marco D, con malla menor de 0.5 mm cubriendo un área de 1m² por cada arrastre y se tomaron al menos tres muestras por cada sitio. Las muestras biológicas fueron preservadas en alcohol al 80% para su transportación al laboratorio.

El tipo de sustrato se clasificó con base en la escala Wentworth (Cummins 1996), y la presencia o ausencia de vegetación tanto sumergida como emergente o flotante. En cada sitio se midieron parámetros de campo (T°, oxígeno disuelto, pH, conductividad, SDT y salinidad), utilizando un multiparamétrico YSI Professional Plus, las condiciones físicas como velocidad de la corriente y profundidad se midieron con un equipo Flowmate 2000.

La identificación taxonómica se realizó a nivel de familia mediante las claves disponibles (Merritt et al. 2008, Bueno-Soria J. 2010, Springer et al. 2010, entre otras) para después ser contados y colocados en viales perfectamente etiquetados conforme a los lineamientos de la colección científica del laboratorio del IMTA.

Para el análisis de resultados, se calcularon las propiedades emergentes de la comunidad de cada sitio, basados en la cuantificación de las densidades parciales, totales y relativas de la comunidad, así como son el índice desarrollado por Shannon y Wiener (H'), así como el de Brillouin (HB') y su variante, el de equitatividad de Brillouin (EB'), para estimar la diversidad biológica por sitio o riqueza alfa en cada uno de los lugares de muestreo. Para ambos índices, los valores obtenidos cercanos a cero indicarán baja diversidad mientras que los más altos denotarán un incremento en la diversidad (Krebs. 1989).

De la misma manera se realizó un análisis ecológico basado en las siguientes métricas: porcentaje a los grupos Ephemeroptera + Plecoptera + Trichoptera, estos tres órdenes son muy sensibles a la contaminación, por lo que se considera que, entre mayor sea el porcentaje de EPT, mejor será la calidad del agua en los sitios de los que se obtenga la muestra (Barbour et al., 1999). Densidad relativa para grupos funcionales alimenticios (depredadores, desmenuzadores, filtradores, omnívoros, raspadores, colectores) que permitirá determinar las principales estrategias de flujo energético y con ello si las rutas de distribución se encuentran alteradas en el sistema. También se consideraron las métricas de porcentaje de los taxa Chironomidae, Hemiptera, Coleoptera por considerarse grupos de alta tolerancia a la contaminación.

Se calculó, el Índice Biótico de Hilsenhoff (IBH), el cual integra la información de estructura de la comunidad con los valores de sensibilidad de cada taxa a los factores de calidad de agua asociados.

$$IBH = \sum nj aj / N$$

Dónde:

IBH = Índice biótico de Hilsenhoff

nj = abundancia de cada taxón (familia).

aj = valor de tolerancia asignado a nj

N = total de individuos.

Aunque este índice fue diseñado para impacto de cargas orgánicas, también es una métrica que permite identificar problemas asociados a alteración del ecosistema, clasificándolos de acuerdo a la puntuación alcanzada, (Tabla 2.18). El nivel taxonómico valores de tolerancia para cada taxón han sido previamente establecidos y aceptados por la Agencia de Protección Ambiental con el cual se trabajará será el de familia por su relativa facilidad y rapidez, además de que brindan suficiente información ecológica (Hilsenhoff 1988, Lenat y Barbour 1994).

Tabla 2.18. Clasificación de la calidad del agua en base al índice biótico de Hilsenhoff, (IBH, 1988).

Valor IBH	Calidad del agua	Grado de contaminación orgánica
0.00 – 3.50	Excelente	Sin contaminación aparente
3.51 – 4.50	Muy buena	Contaminación ligera
4.51 – 5.50	Buena	Contaminación poco aparente
5.51 – 6.50	Regular	Contaminación poco significativa
6.51 – 7.50	Regular pobre	Contaminación significativa
7.51 – 8.50	Pobre	Contaminación muy significativa
8.51 – 10.00	Muy pobre	Contaminación severa

Resultados

Tabla 2.19 Índices ecológicos descriptivos de la comunidad de macroinvertebrados. S (riqueza), N (abundancia total) H' (Diversidad de Shannon-Wiener), E (Equitatividad), IBH (índice Biótico de Hillsenhof)

Localidad	S	N	H'	E Shannon	HB	E Brillouin	IBH=	Calidad
Cuentepec parte baja 006/2023-1	20	3597	1.5	0.25	1.489	0.25	5.24	Buena
Cuentepec – Acatzingo 006/2023-5	31	2353	1.83	0.20	1.81	0.202	4.54	Buena
Cuentepec parte alta 006/2023-8	33	3639	1.94	0.21	1.92	0.2178	4.86	Buena

Cuentepec Cuenca Baja





En esta localidad se identificaron 3597 individuos pertenecientes a 20 familias. La familia con mayor abundancia fue Simuliidae, la cual se caracteriza por tener una alta sensibilidad a la disminución del

oxígeno disuelto, así como a requerimientos de alta velocidad de corriente y de acuerdo al Índice Biótico de Hillsenhof representa calidad de agua buena.

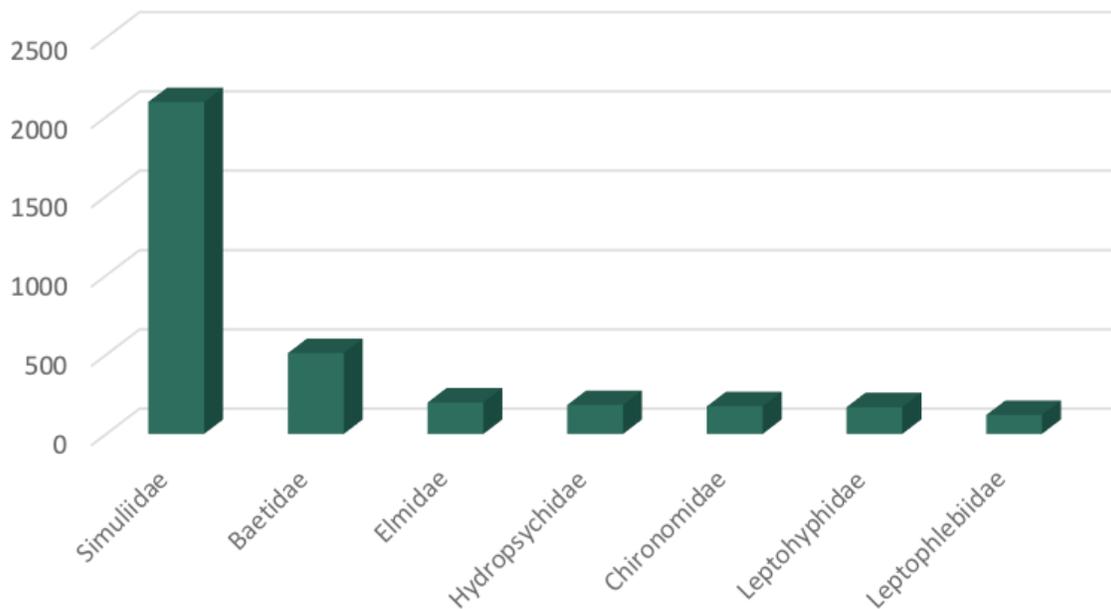


Figura 2.54 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en Cuentepec bajo.

La proporción de familias no muy sensibles a la contaminación en relación a su abundancia es de 28.6%, pero representan el 55% de la riqueza total como se muestra en la Figura 2.55.

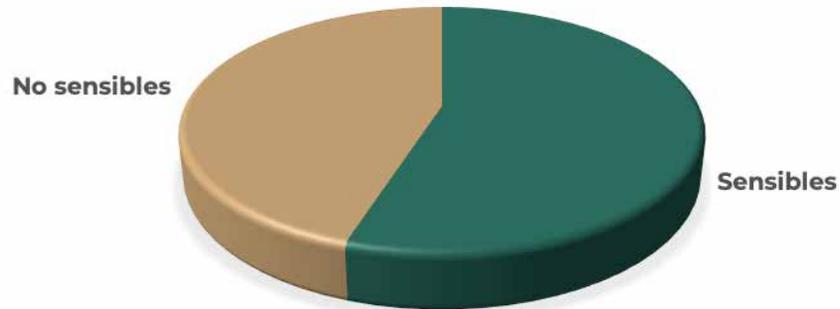


Figura 2.55 Proporción de familias sensibles a la contaminación en Cuentepec bajo

Cuentepec Unión Acatzingo

En esta localidad se identificaron un total de 2353 individuos pertenecientes a 31 familias. La estructura de la comunidad nos indica que la familia con mayor dominancia por su densidad

fueron Hydropsychidae (Trichoptera), Betidae (Ephemeroptera) y Chironomidae (Diptera). La calidad del agua se clasifica de acuerdo al IBH fue buena.



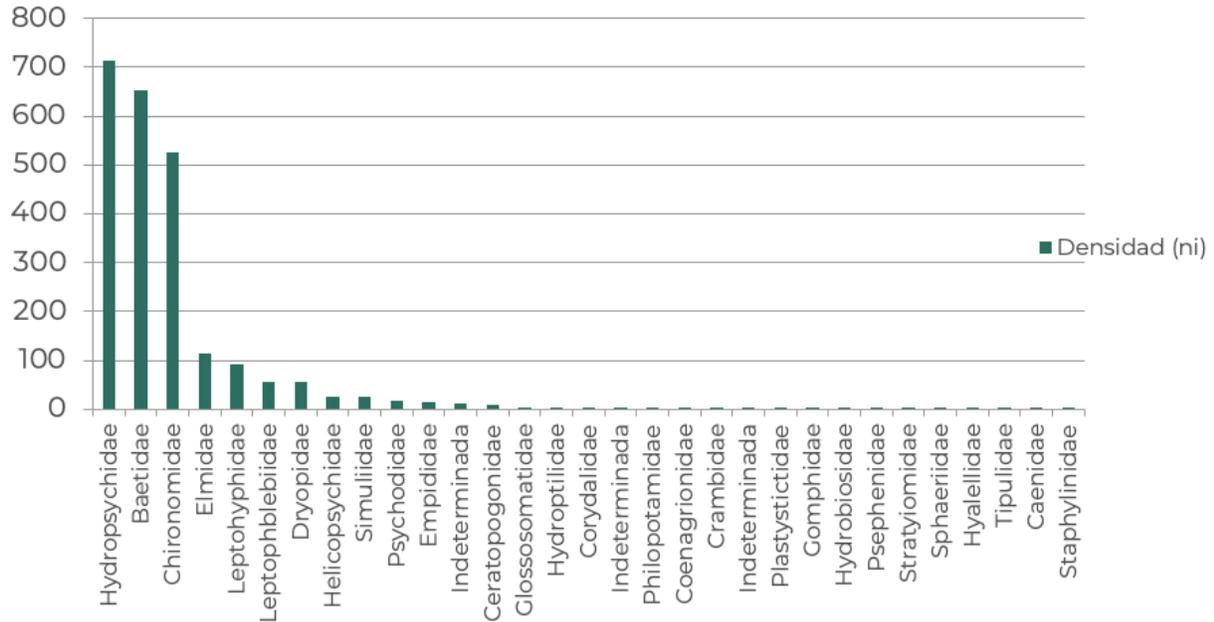


Figura 2.56. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepec-Acatzingo.

En relación a la densidad relativa de individuos de familias no sensibles fue del 52%. Mientras que la proporción de las familias sensibles fue del 48%.

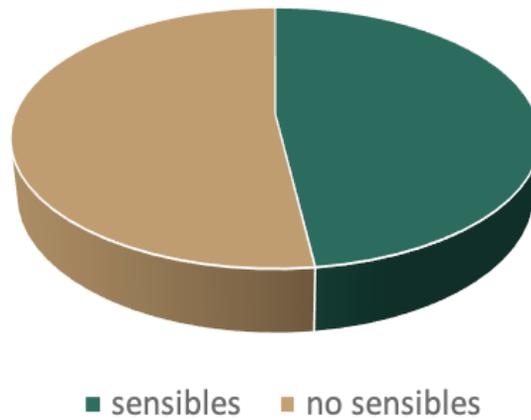


Figura 2.57. Proporción de especies sensibles en la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepec-Unión Acatzingo.



Cuentepec Alta

En esta localidad se identificaron 3639 individuos, pertenecientes a 33 familias Beatidae (Ephemeroptera). Las familias con mayor abundancia relativa fueron Chironomidae (Diptera),

Leptohyphidae (Ephemeroptera) e Hydropsychidae (Trichoptera). De acuerdo al IBH la calidad del agua es buena.



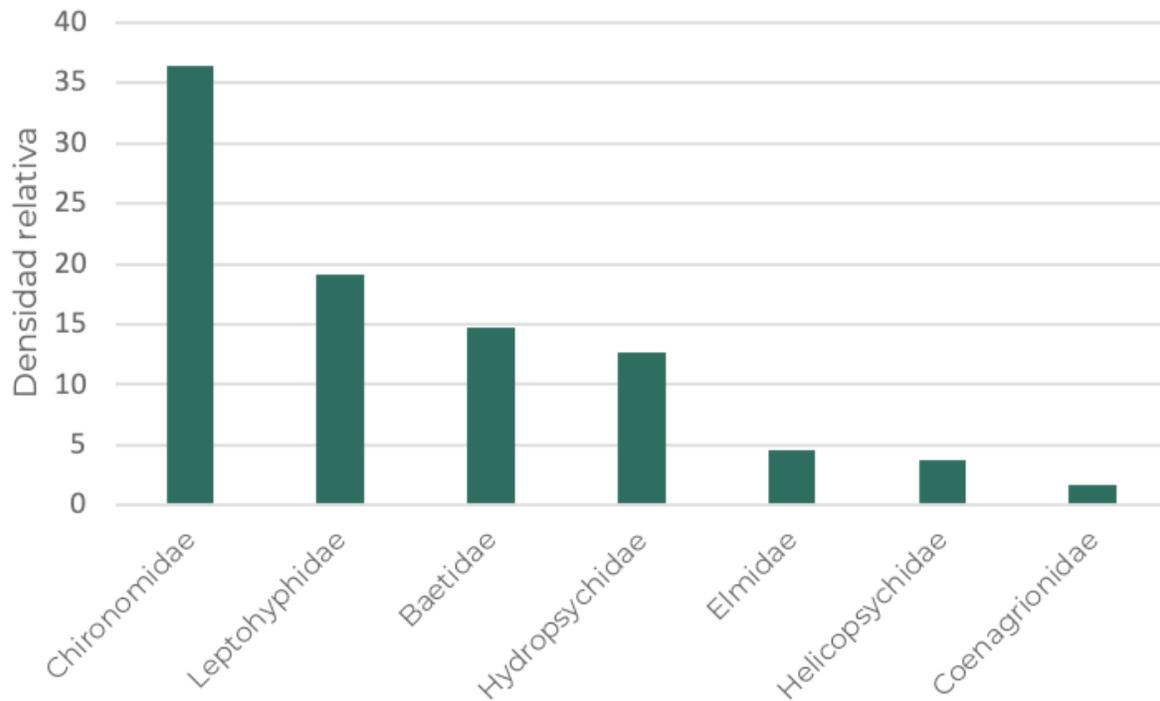


Figura 2.58. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepéc cuenca arriba (considerando solo aquellos de más de 1% de abundancia relativa).

En relación a la abundancia relativa el 61% son organismos no sensibles a la contaminación, en tanto que en relación al total de familias el 39% son familias sensibles.

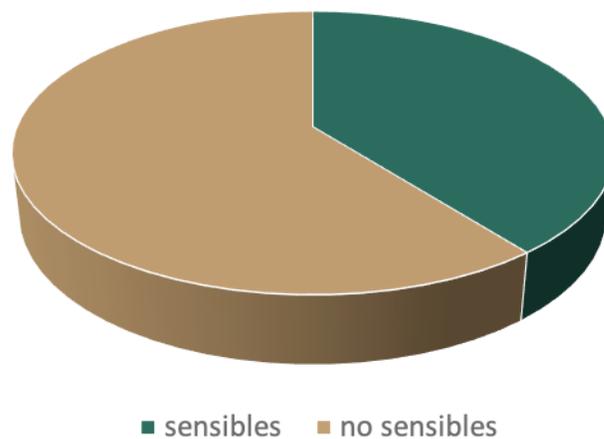


Figura 2.59. Proporción de especies sensibles en la comunidad de macroinvertebrados de Cuentepéc aguas arriba.

Calidad del agua superficial

Se efectuaron una serie de aforos en cinco sitios en la cuenca del río Cuentepec durante en enero y febrero de 2023.

El resumen de los caudales aforados en m³/s y L/s se presenta en la Tabla 2.20 y un plano de ubicación de los sitios de muestreo se presenta en la Figura 2.60.

Tabla 2.20. Resumen de campaña de aforo de enero y febrero de 2023.

Sitio	Caudal (m ³ /s)	Caudal (L/s)
Río Acatzingo	0.0203	20.3
Río Cuentepec parte alta (PA)	0.0941	94.1
Río Cuentepec después confluencia (DC)	0.0945	94.5
Río Cuentepec parte media (PM)	0.1284	128.4
Río Cuentepec parte baja (PB)	1.1311	1,131.1



Figura 2.60. Plano de ubicación de sitios de aforo.

Metodología

El equipo utilizado fue un medidor de flujo Hach modelo FH950 con sensor electromagnético. Presenta una exactitud de $\pm 2\%$ de la lectura ± 0.015 m/s (± 0.05 pies/s) a través del rango de 0 – 3.04 m/s (0 -10 pies/s); $\pm 4\%$ de la lectura de 3.04 – 4.87 m/s (10 -16 pies/s), ver Figura 2.61.

Resultados de calidad del agua

El estado de la calidad del agua de los ríos y arroyos muestreados fueron calificados como calidad excelente, buena, aceptable, contaminada o fuertemente contaminada, con base en cada uno de los Indicadores de la Calidad del agua superficial para cuerpos loticos y sus respectivas escalas; para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Coliformes fecales (CF) y Toxicidad aguda con *Vibrio fischeri*.



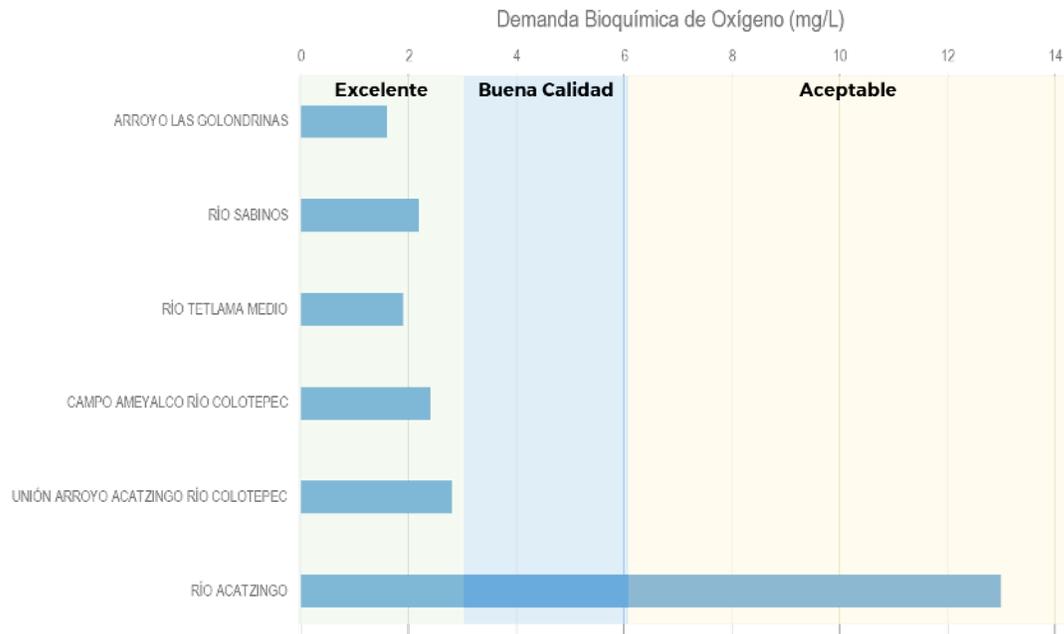
Figura 2.61. Medidor de flujo Hach FH950.

Tabla 2.21. Parámetros de campo de los sitios de agua superficial.

Nombre	pH	Temperatura	Conductividad
ARROYO LAS GOLONDRINAS	8.56	13.5	175
RÍO SABINOS	8.37	13.5	204
RÍO TETLAMA MEDIO	8.75	13.6	275
CAMPO AMEYALCO RÍO COLOTEPEC	7.4	21.9	1520
UNIÓN ARROYO ACATZINGO RÍO COLOTEPEC	8.51	22.7	215
RÍO ACATZINGO	8.1	23.4	313



Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)



Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua loticos (ríos, arroyos y corrientes) de la CONAGUA

Figura 2.62. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

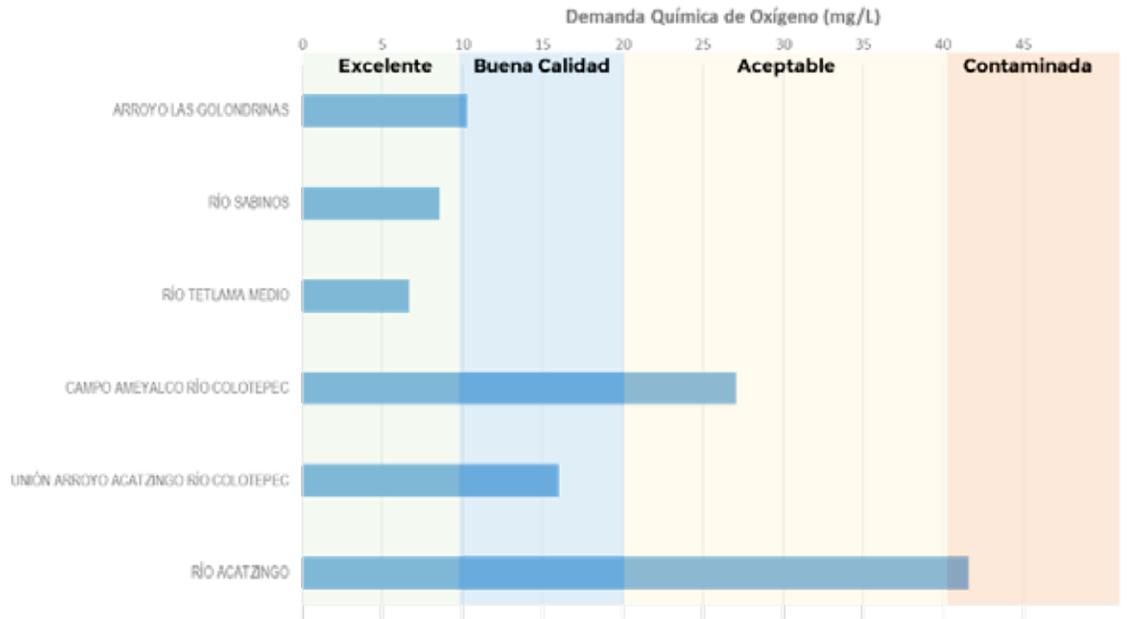
Los valores de la DBO indican que la cuenca alta y media de la zona del proyecto presentan una baja presencia de compuestos orgánicos de fácil biodegradabilidad que de acuerdo al ICA se califica como excelente. La parte baja de la cuenca (Río Acatzingo)

registra el valor más alto de DBO y su estado de calidad se encuentra aceptable, esta posible degradación de excelente a aceptable es derivada de las descargas difusas de aguas residuales de las zonas urbanas de la parte media y baja de las subcuencas.





Demanda Química de Oxígeno (DQO)



Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua loticos (ríos, arroyos y corrientes) de la CONAGUA

Figura 2.63. Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Con respecto a los valores registrados de DQO, indican una presencia de compuestos orgánicos de difícil biodegradación a partir de la parte media de la

subcuenca, afectando la parte baja de la subcuenca de pasar a su estado excelente en la parte alta a contaminada en la parte baja de la zona de estudio.



Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La baja presencia de SST en todos los sitios de la zona de estudio indican un estado excelente de calidad, que se debe a los servicios ecosistémicos

de regulación de sedimentos que habla del buen estado de la cobertura vegetal y un buen estado de conservación de la geomorfología de cauce.

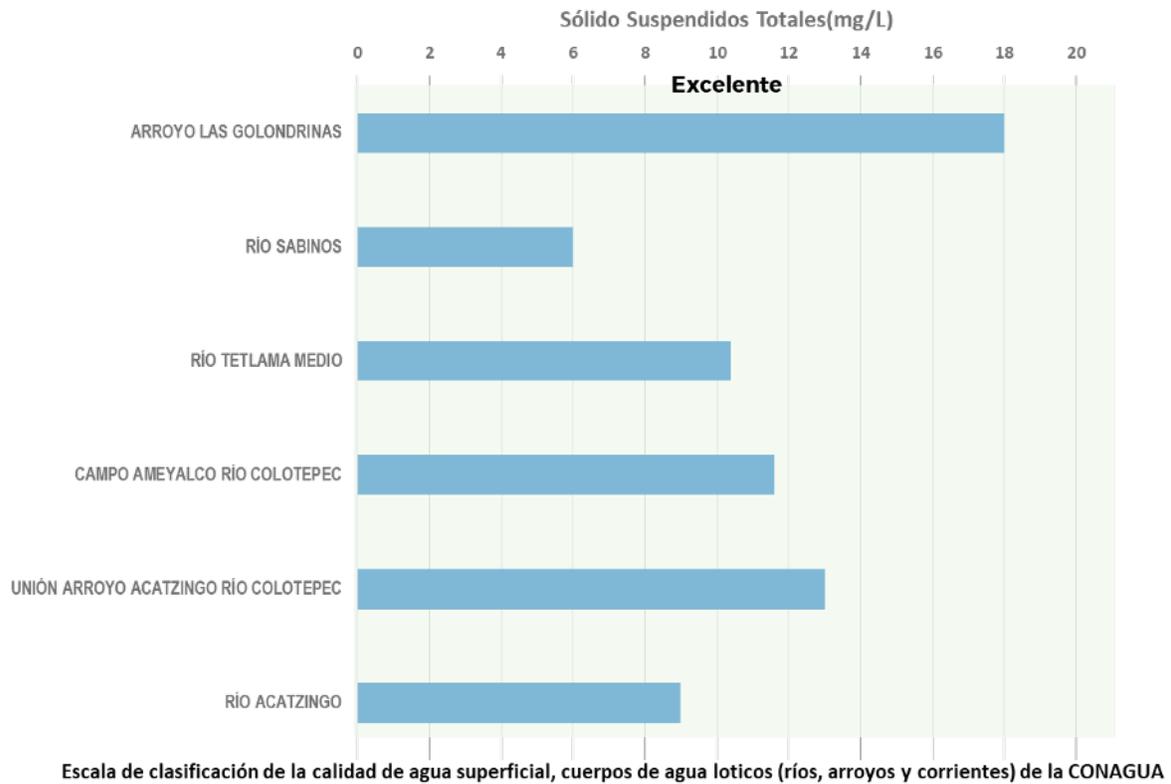
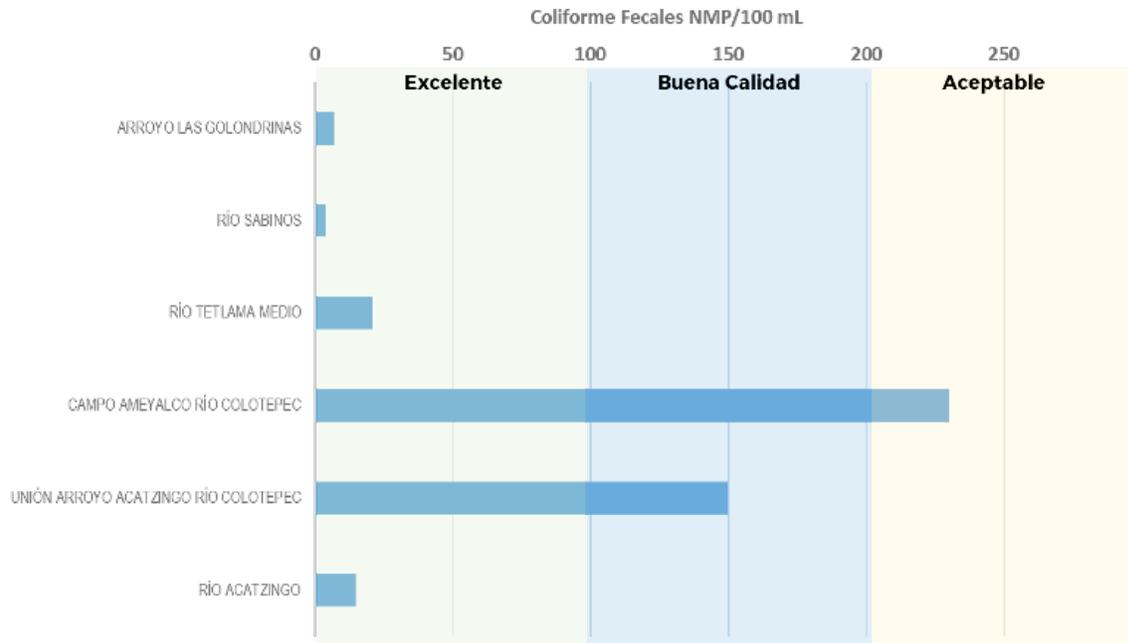


Figura 2.64. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST).



Coliformes fecales (CF)



Escala de clasificación de la calidad de agua superficial, cuerpos de agua loticos (ríos, arroyos y corrientes) de la CONAGUA

Figura 2.65. Resultados de Coliformes Fecales.

La parte alta de las subcuencas se encuentran en un estado excelente con respecto a la presencia de microorgánicos patógenos (E.Coli) la parte media se observa una degradación por la presencia de

actividad pecuaria y descargas difusas de aguas residuales domesticas sin previo tratamiento, sin embargo su estado, aún se encuentra como aceptable de acuerdo al ICA.



Fisicoquímicos

Tabla 2.22. Valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los sitios.

NOMBRE	COT	FÓSFORO TOTAL	GRASAS Y ACEITES	NITRÓGENO TOTAL	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES
ARROYO LAS GOLONDRINAS	1.76	0.0783	< 8,56	< 1,11	176
RÍO SABINOS	1.85	0.1528	< 8,56	< 1,11	145
RÍO TETLAMA MEDIO	2.6	0.0485	< 8,56	< 1,11	137
CAMPO AMEYALCO RÍO COLOTEPEC	3.5	1.04	< 8,56	4.3	1290
UNIÓN ARROYO ACATZINGO RÍO COLOTEPEC	3.46	0.2084	< 8,56	1.81	134
RÍO ACATZINGO	4.75	0.7	< 8,56	5.73	213
*LCA. Protección a la vida acuática	N.E.	0.05	10.0	N.E.	N.E.

Se obtuvieron valores arriba del límite permisible de los LCA para la protección a la vida acuática de 0.005 mg/L de fósforo total. Ese valor puede ser causa por la actividad agrícola de la parte alta de la zona de estudio. No hay indicadores de contaminación por grasas y aceites y materia orgánica de tipo industrial o de servicios.

Metales

En todos los sitios se obtuvieron valores por debajo de los límites de cuantificación y los límites permisibles de los lineamientos de calidad del agua (LCA) para protección a la vida acuática (Ver Tabla 2.23).

Tabla 2.23. Valores de metales obtenidos en los sitios.

Nombre	ARSÉNICO	CADMIO	COBRE	CROMO	MERCURIO	NÍQUEL	PLOMO	ZINC
ARROYO LAS GOLONDRINAS	<0,0010	<0,0010	<0,050	<0,0050	<0,0005	<0,10	<0,0050	<0,10
RÍO SABINOS	<0,0010	<0,0010	<0,050	<0,0050	<0,0005	<0,10	<0,0050	<0,10
RÍO TETLAMA MEDIO	<0,0010	<0,0010	<0,050	<0,0050	<0,0005	<0,10	<0,0050	<0,10
CAMPO AMEYALCO RÍO COLOTEPEC	0,0037	<0,0010	<0,050	<0,0050	<0,0005	<0,10	<0,0050	<0,10
UNIÓN ARROYO ACATZINGO RÍO COLOTEPEC	<0,0010	<0,0010	<0,050	<0,0050	<0,0005	<0,10	<0,0050	<0,10
RÍO ACATZINGO	0.0010	<0,0010	<0,050	<0,0050	<0,0005	<0,10	<0,0050	<0,10
*LCA. Protección a la vida acuática	0.2	0.004	0.05	0.05	0.0005	0.6	0.03	0.02

La calidad del agua subterránea, cumple de manera general con los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-2021, agua para uso y consumo humano, con excepción solo de los Sólidos Disueltos

Totales (SDT), que es una condición natural por el tipo de suelo, donde se ubica el pozo "Palo Bolero" (Ver Tabla 2.24).



Tabla 2.24. Calidad del agua subterránea.

PARÁMETRO	VALOR OBTENIDO		*LÍMITE PERMISIBLE
	POZO RODEO	PALO BOLERO	
E. Coli (UFC)	Cero	<3	<1
Color Verdadero (U Pt-Co)	< 2.5	N.D.	15
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	<0.200	<0.200	0.50
Nitratos (mg/L)	3.4	<0,100	11.0
Nitritos (mg/L)	< 0.0100	<0,0200	0.90
Solidos Disueltos Totales (mg/L)	226	1290	1000
SAAM (mg/L)	< 0.100	N.E.	0.50
Turbiedad (UC)	0.020	0,30	3.0

*Límite permisible NOM-127-SSA1-2021, agua para uso y consumo humano.

2.4. Aire y suelo

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), con el objetivo de contribuir en la elaboración de un diagnóstico ambiental en la región donde colindan los municipios de Miacatlán, Xochitepec y Temixco, todos ubicados en el Estado de Morelos y donde existe un proyecto de explotación minera

a cielo abierto (18°47'39.77"N, 99°16'27.32"O), en una extensión de cerca de 7,000 hectáreas —en el municipio de Temixco— ubicadas a una distancia de 15 kilómetros al sureste de la ciudad de Cuernavaca, Mor., y 1,900 metros de la zona arqueológica de Xochicalco.



Figura 2.66. Localización geográfica del área de estudio en el estado de Morelos.

El proyecto de mina considera la extracción de oro y plata, a partir de realizar dos tajos a cielo abierto —de casi un kilómetro de ancho por 70 metros de profundidad— que estima extraer 51 toneladas de oro y 585 de plata, en un lapso de poco más de 12 años. Sería una mina a cielo abierto debido a que, al disminuir la concentración del mineral contenido en las rocas, la explotación mediante galerías deja de ser rentable, por lo tanto, para que sea conveniente realizar la extracción es necesario hacerlo masivamente, destruyendo con explosivos montañas o superficies completas en poco tiempo y usando métodos físicos y químicos eficientes para recuperar el mayor porcentaje del metal.

La minería a cielo abierto es una industria que origina inmensos impactos ambientales, visuales, humanos y culturales, ya que daña la superficie de la tierra, contamina el aire, los suelos, el agua

superficial y los acuíferos subterráneos, produce alteraciones en el microclima, afecta la flora y la fauna local y regional, genera impacto escénico durante y post explotación y afecta gravemente la salud de las personas a corto, mediano y a largo plazo.

2.4.1. Metodología

Durante los días del 12 al 18 de febrero de 2023, se realizó una campaña de mediciones durante la cual se colectaron muestras de material particulado ($PM_{2.5}$) —que posterior a su análisis, permitieron determinar las concentraciones ambientales, su composición básica y las fracciones de carbón orgánico y elemental—. Además, se realizó la medición continua de las concentraciones ambientales de ozono (O_3) y parámetros meteorológicos.



Figura 2.67. Ubicación geográfica de los sitios donde se instalaron los equipos, durante la campaña de mediciones.

Aunado a lo anterior y con el objeto de realizar la determinación de la exposición personal a $PM_{2.5}$, se realizaron recorridos por las principales avenidas y/o calles de la región de estudio, mientras se portaba un monitor portátil de $PM_{2.5}$ —DustTrack, modelo 8534, de la marca TSI®— y un GPS, para su georreferenciación. Los equipos empleados durante la campaña se instalaron de acuerdo con lo reportado en la Tabla 2.21.

Para el análisis de metales y metaloides en suelos se realizaron 2 campañas de muestreo. La primera campaña se llevó a cabo el 18 de Enero del presente año la cual consistió en la recolección de 11 muestras en diferentes sitios en la comunidad de San Agustín Tetlama, Morelos. La segunda campaña se llevó a cabo el 13 de febrero del año en curso y consistió en la recolección de 9 muestras de diferentes sitios en los Municipios de Xochitepec y Miacatlán, Morelos.

A continuación, se presenta una breve descripción de los equipos empleados.

Para la colección de muestras ambientales de material particulado ($PM_{2.5}$) se emplearon muestreadores portátiles de aire de bajo volumen, Minivol™ TAS, de Airmetrics (Figura 2.68) los cuales básicamente son bombas de vacío —que operan con un flujo de 5 L/min— controladas por un temporizador programable que además contiene un rotámetro como sistema controlador de flujo. Las partículas son direccionadas por un sistema de impactadores en donde se da la separación del material particulado. Dichas partículas son recolectadas sobre un filtro de teflón de 47 mm de diámetro, que se coloca sobre un casete de soporte.



Figura 2.68. Equipos empleados durante la campaña de mediciones. De izq. a der.: muestreador portátil de aire, de bajo volumen, analizador automático de ozono con sensor meteorológico acoplado y monitor portátil de $PM_{2.5}$.

Para la determinación de las concentraciones ambientales de ozono se empleó un analizador automático de ozono Kimoto, modelo AO-781) —al cual se le acopla un sensor meteorológico, Vaisala WXT520—, cuyo principio de operación es el método de absorción de rayos UV, opera en un rango de 0 a 1 ppm y tienen un límite de detección de 1 ppb. Es analizador es controlado por microprocesador y posee capacidad de registro de datos, gracias a su memoria interna.

Respecto al sensor meteorológico WXT520 mide velocidad y dirección de viento, precipitación, presión barométrica, temperatura y humedad relativa del aire.

En el caso de medición de las concentraciones de material particulado ($PM_{2.5}$), se empleó un monitor portátil de aerosoles —DustTrack, modelo 8534, de la marca TSI®— el cual es un fotómetro láser de dispersión de luz, determina la masa de aerosoles y la registra en tiempo real. El DustTrack opera en el rango de concentraciones de 0.001 a 150 mg/m^3 , a un flujo de flujo de 3 L/min.



2.4.2. Resultados de mediciones ambientales

Para la colección de muestras de $PM_{2.5}$ se instalaron en tres azoteas equipos muestreadores de aire, en la Tabla 2.25, se presentan las coordenadas e identificación de los sitios considerados.

Tabla 2.25. Identificación y ubicación de sitios, así como equipos instalados durante la realización de la campaña de mediciones.

Sitio	Ubicación	Equipos instalados
Alpuyeca	18°44'32.1"N 99°15'53.3"W	MinivolTM TAS
Miacatlán	18°46'27.4"N 99°19'52.9"W	MinivolTM TAS
Xochicalco	18°48'07.2"N 99°17'27.6"W	MinivolTM TAS Analizador Automático de O3 Sensor meteorológico

A continuación, se presenta una breve descripción de los sitios en los cuales se instalaron los muestreadores:

2.4.3 Localidad de Alpuyeca

La localidad de Alpuyeca se encuentra a 7 kilómetros (en dirección Noroeste) de la cabecera municipal de Xochitepec en las coordenadas geográficas:

18°44'31.98"N, 99°15'53.24"O, a una altura media de 1,050 metros sobre el nivel del mar.

El entorno físico del municipio es de transición de agrícola a urbano con un total de 1,501 viviendas.

El muestreador portátil de aire, Minivol™ TAS, se instaló en la azotea de un domicilio particular a una altura aproximada de 2 metros, en un entorno libre de barreras.





Figura 2.69. Ubicación geográfica del sitio donde se instaló el muestreador en la comunidad de Alpuyecá, Morelos.

Municipio de Miacatlán

El municipio de Miacatlán es uno de los 36 municipios del estado de Morelos. Se encuentra en la parte poniente del estado aproximadamente 40 km de distancia de la capital Cuernavaca. El muestreador

portátil de aire, Minivol™ TAS, se instaló en la azotea de la iglesia de la comunidad, cuyas coordenadas son: 18°46'27.44"N, 99°19'53.01"O.



Figura 2.70. Ubicación geográfica del sitio donde se instaló el muestreador en la comunidad de Miacatlán, Morelos.

El entorno físico de este sitio, principalmente, está inmerso en la zona urbana frente a la laguna el Rodeo y zonas de cultivo. Los cultivos agrícolas constituyen también un tipo de vegetación no

natural, reduciéndose cada vez más en su superficie conforme avanza la mancha urbana misma que ha abrazado la poca superficie que aún subsiste en la zona de estudio.

Zona Arqueológica de Xochicalco

La zona arqueológica (18°48'16.53"N, 99°17'48.47"O), se ubica a 15 kilómetros de la ciudad de Cuernavaca, entre los municipios de Temixco y Miaatlán y a 2 kilómetros del poblado de Xochicalco, a una altura de 130 metros sobre la planicie circundante. Se encuentra en un entorno rodeado de vegetación selva baja de montaña.

El valle intermontano del centro y sur de la zona de estudio se caracteriza por presentar clima cálido, con temperatura media anual entre 22 y 26°C, temperatura media del mes más caliente mayor de 18°C. Las lluvias son en verano (de mayo a octubre), con invierno seco (menos del 5% de la precipitación total anual).



Figura 2.71. Ubicación geográfica del sitio donde se instaló el muestreador, en la azotea de la cafetería del museo de sitio de la zona arqueológica de Xochicalco, Morelos.

Determinación de la exposición personal

Para la determinación de la exposición personal se realizaron recorridos por las principales calles y/o avenidas de la región de estudio mientras se portaba un monitor portátil de aerosoles —DustTrack, modelo 8534, de la marca TSI®— y un GPS.

Lo anterior con el objeto de determinar y georreferenciar las concentraciones de $PM_{2.5}$ —a nivel de banqueta a las que se expone la población que habita, transita o realiza sus actividades en la zona.



Ejemplo de los recorridos realizados, portando monitor portátil de PM2.5 y GPS, para determinar la exposición personal a nivel de banqueta.

Muestreo de suelo

En cada campaña de muestreo se integró 1 brigada, la cual se conformó de 2 muestreadores y 1 supervisor. Los muestreadores fueron personal del INECC, al igual que el supervisor.

Las actividades realizadas por la brigada en los diferentes sitios se describen a continuación:

- Limpieza de maleza y residuos de los puntos de muestreo de suelo superficial.
- Mediante el uso de una zapa se lleva a cabo la obtención del suelo superficial.
- Etiquetado y sellado de las muestras de suelo superficial.

Posteriormente se llevó a cabo el traslado de las muestras en hieleras con geles a una temperatura de 4°C. Dentro de la hielera se colocaron bolsas tipo “Ziploc” con las muestras de suelo con sus respectivas etiquetas, sellos e identificaciones y así finalmente trasladarlas las instalaciones de los laboratorios del INECC para su análisis.

A continuación, se presenta la Tabla 2.26, con la descripción de los sitios de muestro en las 2 compañías de muestro, así como su ubicación geográfica:

Tabla 2.26. Identificación y ubicación de sitios para el muestro de suelos.

Sitio	Tipo de muestra	Descripción	Georreferencia
La mina (Cerro del Jumil)	Muestras de suelo superficial (3), muestras de Perfil 30 cm (1)	Suelos	Latitud: 18.801 N Longitud: 99.270 O
Río Tetlama	Muestras de suelo (3), muestra de perfil 30 cm (2) Muestra	Suelos	Latitud: 18.839 N Longitud: 99.281 O
Rancho Tapia	Muestras de suelo (1), muestra de perfil 30 cm (1)	Suelos	Latitud: 18.845 N Longitud: 99.290 O
El rodeo, Miacatlán, Morelos	Muestras de suelo superficial (3)	Suelos	Latitud: 18.779 N Longitud: 99.328 O
Huertos de Alpuyecá, Xochitepec, Morelos	Muestras de suelo (3)	Suelos	Latitud: 18.766 N Longitud: 99.257 O
Jardines de Xochitepec, Xochitepec, Morelos	Muestras de suelo (1)	Suelos	Latitud: 18.782 N Longitud: 99.248 O



Figura 2.72. Localización geográfica de los sitios muestreados en la primera campaña.

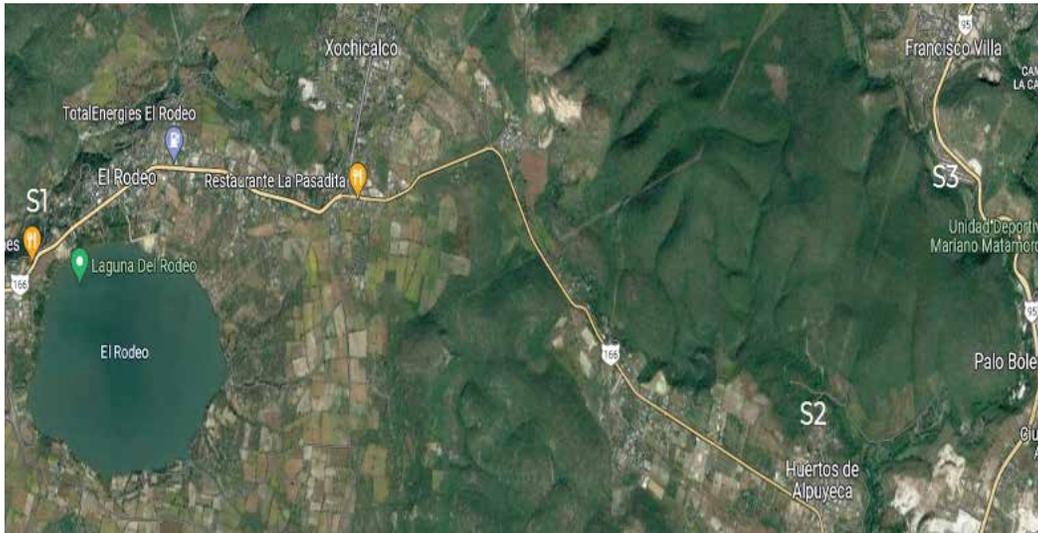


Figura 2.73. Localización geográfica de los sitios muestreados en la segunda campaña.

A continuación, se presenta una breve descripción de las características de las áreas de estudio:

2.4.4. Comunidad de San Agustín Tetlama, Temixco, Morelos

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en la comunidad de San Agustín Tetlama al noroeste del estado de Morelos. El tipo de relieve es montañoso con diferentes cañadas, barrancas, ríos, arroyos y riachuelos. El clima es semicálido con lluvias en verano con una temperatura promedio de 21°C.

San Agustín Tetlama es una pequeña comunidad del municipio de Temixco, en el estado de Morelos. La actividad principal es la agricultura y en menor medida la ganadería (ganado vacuno).

2.4.5. Municipios de Miacatlán y Xochitepec, Morelos

Las áreas de estudio se encuentran ubicadas en los municipios de Miacatlán y Xochitepec. El tipo de relieve es montañoso con diferentes cañadas, barrancas, ríos, arroyos y riachuelos. El clima es semicálido con lluvias en verano con una temperatura promedio de 21°C. La actividad principal es la agricultura y en menor medida la ganadería (ganado vacuno) aunque entre los sitios S2 y S3 sobre la carretera 166 y 95 se observan algunas caleras y pequeñas cementeras.



Resultados

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas, así como, los resultados de los análisis instrumentales realizados a las muestras

colectadas. En la siguiente Tabla 2.27, se presenta un resumen de las muestras recuperadas, así como, registros de mediciones continuas.

Tabla 2.27. Resumen de resultados obtenidos durante la campaña de mediciones.

Sitio	Ubicación
Alpuyeca	5 Muestras de PM _{2.5} (24 horas)
Miacatlán	5 Muestras de PM _{2.5} (24 horas)
Xochicalco	5 Muestras de PM _{2.5} (24 horas) Concentraciones minútales de O ₃ Registros minútales de parámetros meteorológicos (T, %HR, P, velocidad y dirección del viento)

Mediciones ambientales

Ozono

En la Figura 2.74, se presenta la variación diurna de las concentraciones de ozono, determinadas con el analizador automático instalado en la azotea de la cafetería adjunta al museo de sitio arqueológico de Xochicalco.

La concentración media, durante la campaña de mediciones fue de 0.04 ppm, con un rango de valores entre 0.01 y 0.07 ppm, que resultan menores a los valores máximos permisibles establecidos en la NOM-020-SSAI-2021.



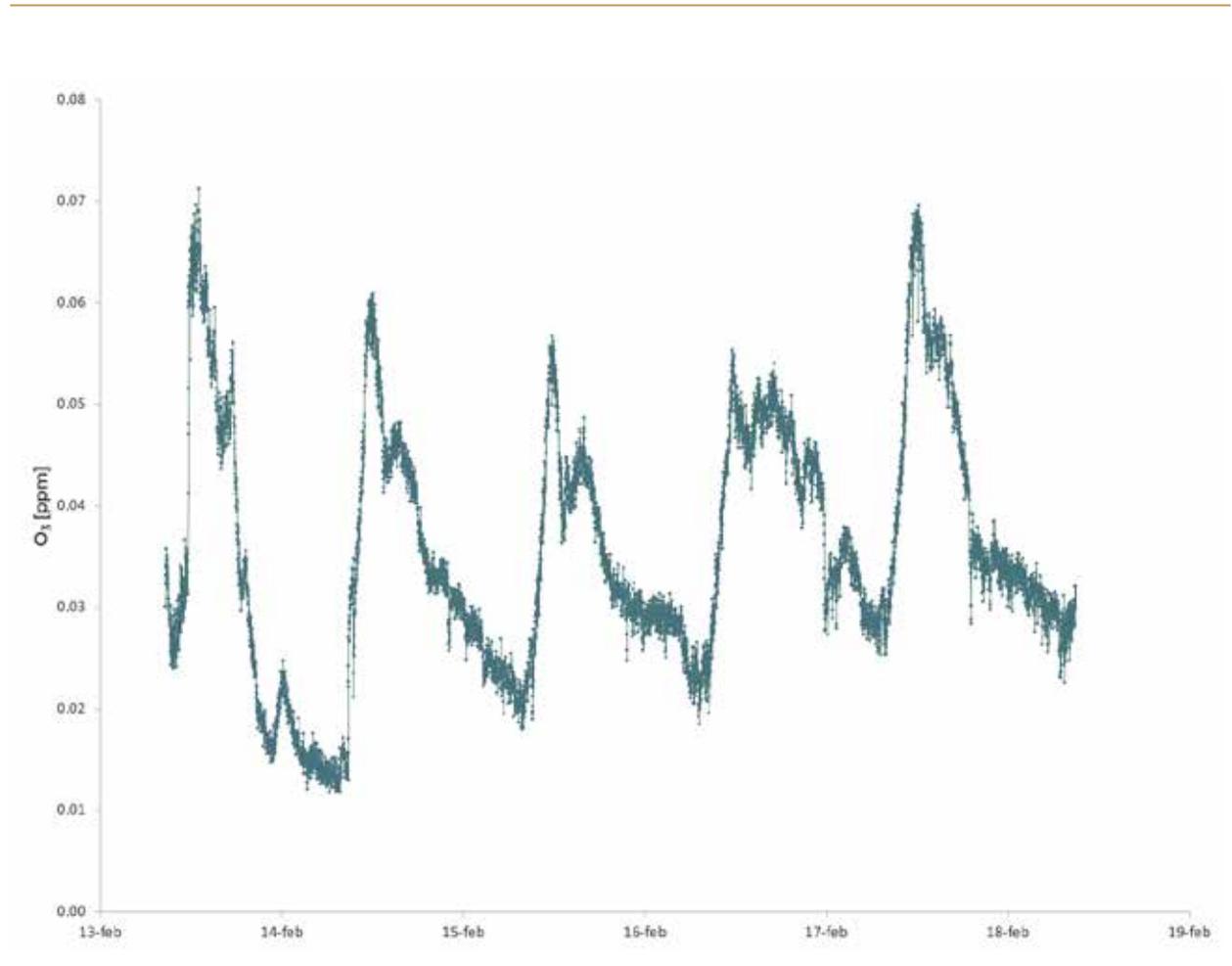


Figura 2.74. Variación diaria de las concentraciones de ozono, determinadas durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.

Variables meteorológicas

En el caso de las variables meteorológicas, en la parte inferior de la Figura 2.75, se presentan los valores determinados. En el caso de la temperatura se

presentaron variaciones dentro del rango de 18.6°C a 32°C con una temperatura media de 24.3°C y respecto al porcentaje de humedad relativa, se observan variaciones en el rango de 12.6% a 48.8% con porcentaje promedio de 28.5.

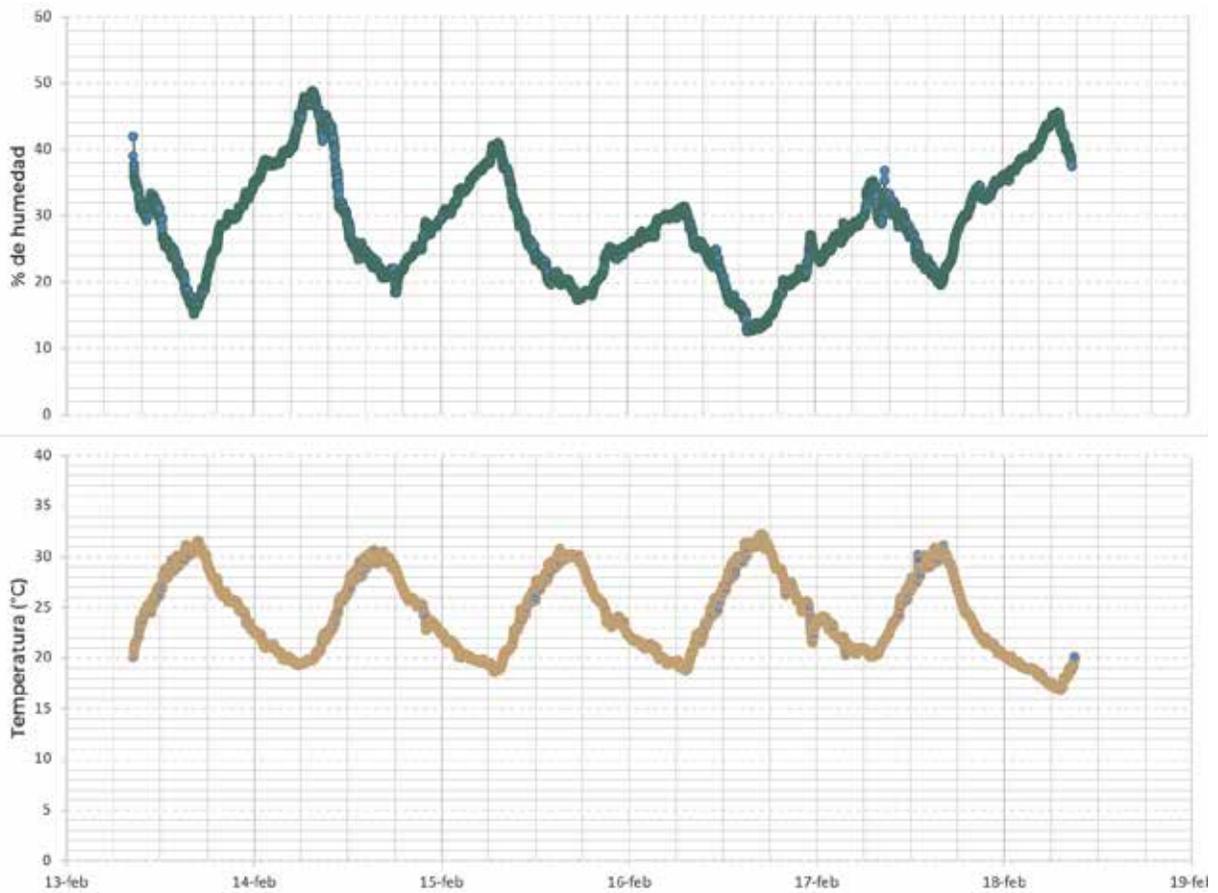


Figura 2.75. Variación diurna de la temperatura y humedad relativa, determinadas durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.

Los registros de la variación diurna de la presión atmosférica se encuentran dentro del rango de 865.4 a 875.1 hPa, resultando un promedio de 869 hPa.

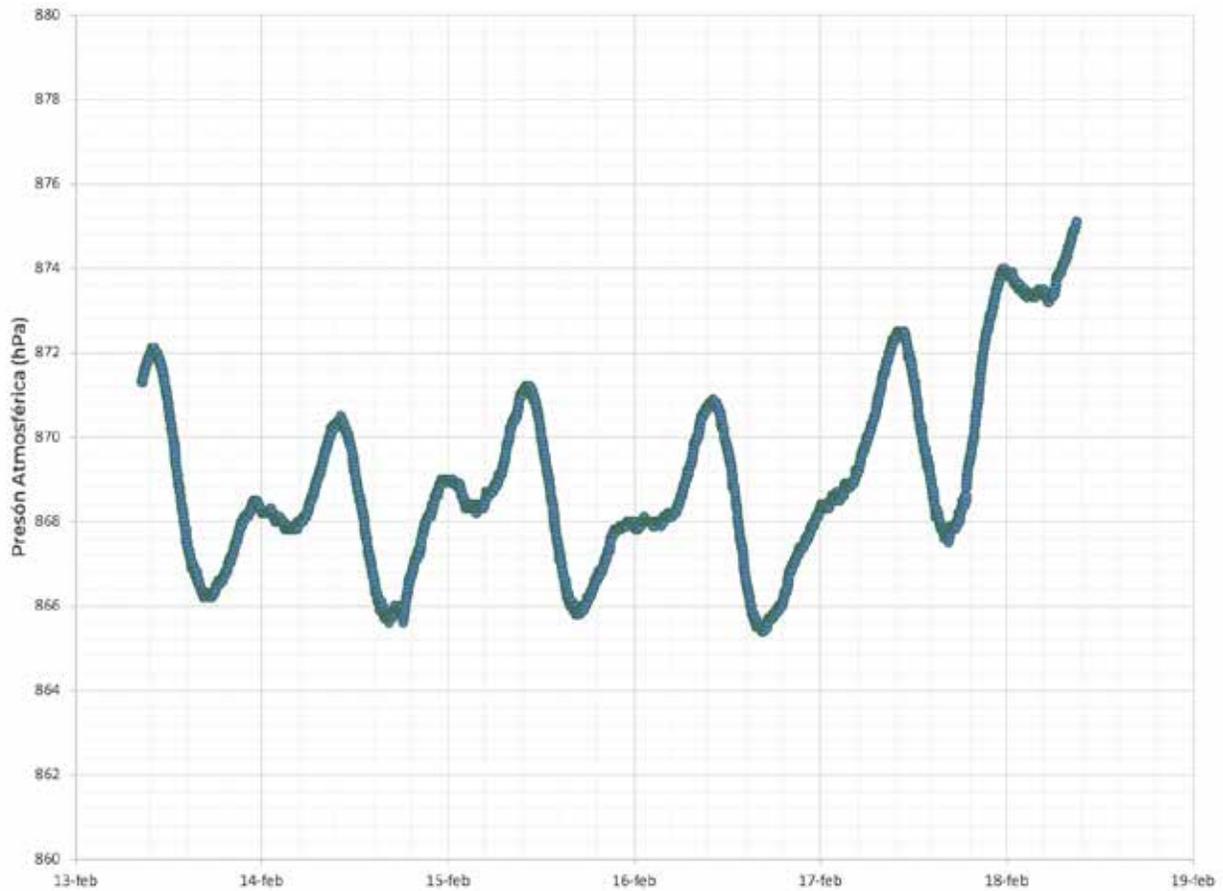


Figura 2.76. Comportamiento de la presión atmosférica, medida durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.

En el caso de la dirección y velocidad del viento (Figura 2.77), durante la campaña de mediciones, predominaron los vientos de baja intensidad, con una velocidad media de 2 m/s y una dirección predominante del sureste.

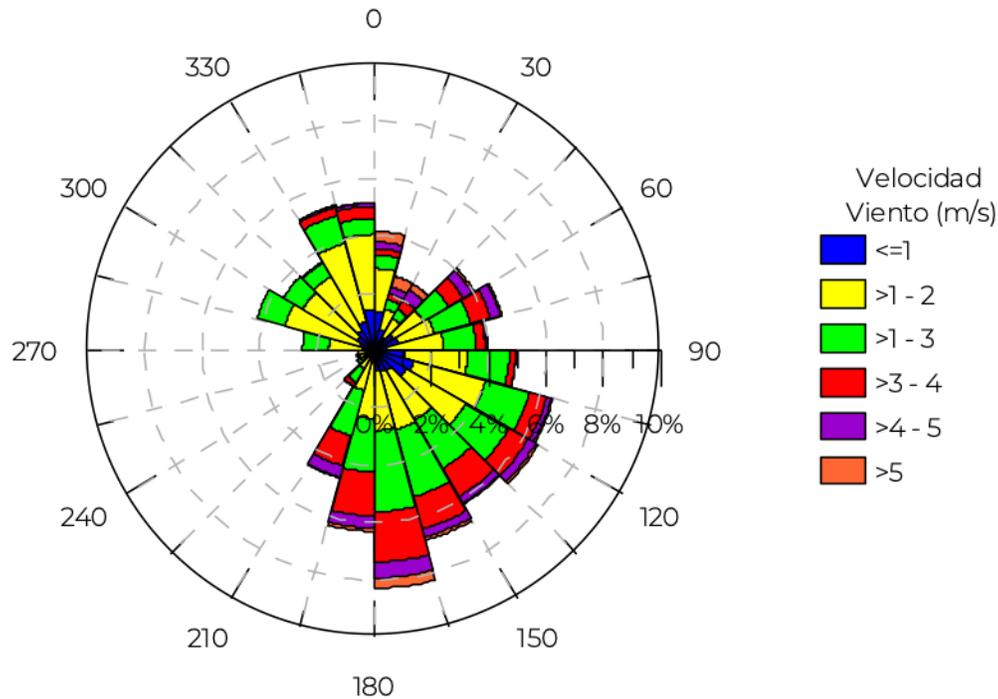


Figura 2.77. Rosa de los vientos —velocidad y dirección del viento— elaborada a partir de las mediciones realizadas durante el periodo del 13 al 18 de febrero de 2023, en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.

Material particulado $PM_{2.5}$

A continuación, en la Figura 2.78, se presentan las concentraciones ambientales de $PM_{2.5}$, determinadas a partir de las muestras colectadas en las comunidades de Alpuyeca, Miacatlán y Xochicalco. En ella se puede apreciar que ningún día se rebasó el

valor máximo permisible de $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ —establecido en la NOM-025-SSA1-2021— a pesar de los múltiples incendios de pastizales y la quema de biomasa, que se observó durante la campaña de mediciones.

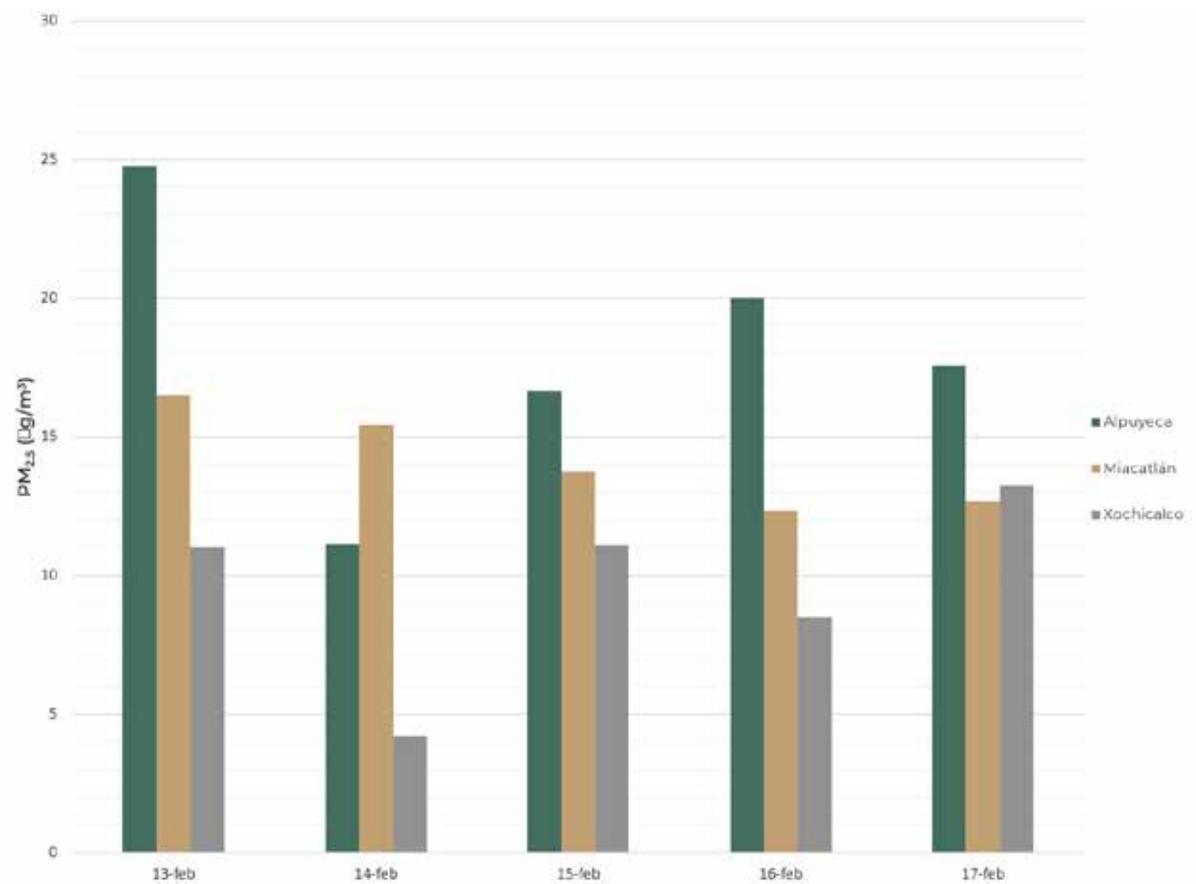


Figura 2.78. Concentraciones ambientales de PM2.5, determinadas a partir de las muestras colectadas con los muestreadores portátiles.

Posterior al análisis gravimétrico de las muestras, se les realizó la determinación de las fracciones de carbono orgánico y elemental, y en la Figura 2.79, se presentan los resultados.

Se aprecia que las mayores concentraciones de se registraron en la comunidad de Alpuyecá, lo cual podrá estar relacionado con la cercanía del sitio a la autopista Cuernavaca – Chilpancingo, así como, el impacto de las quemas de la zafra azucarera.

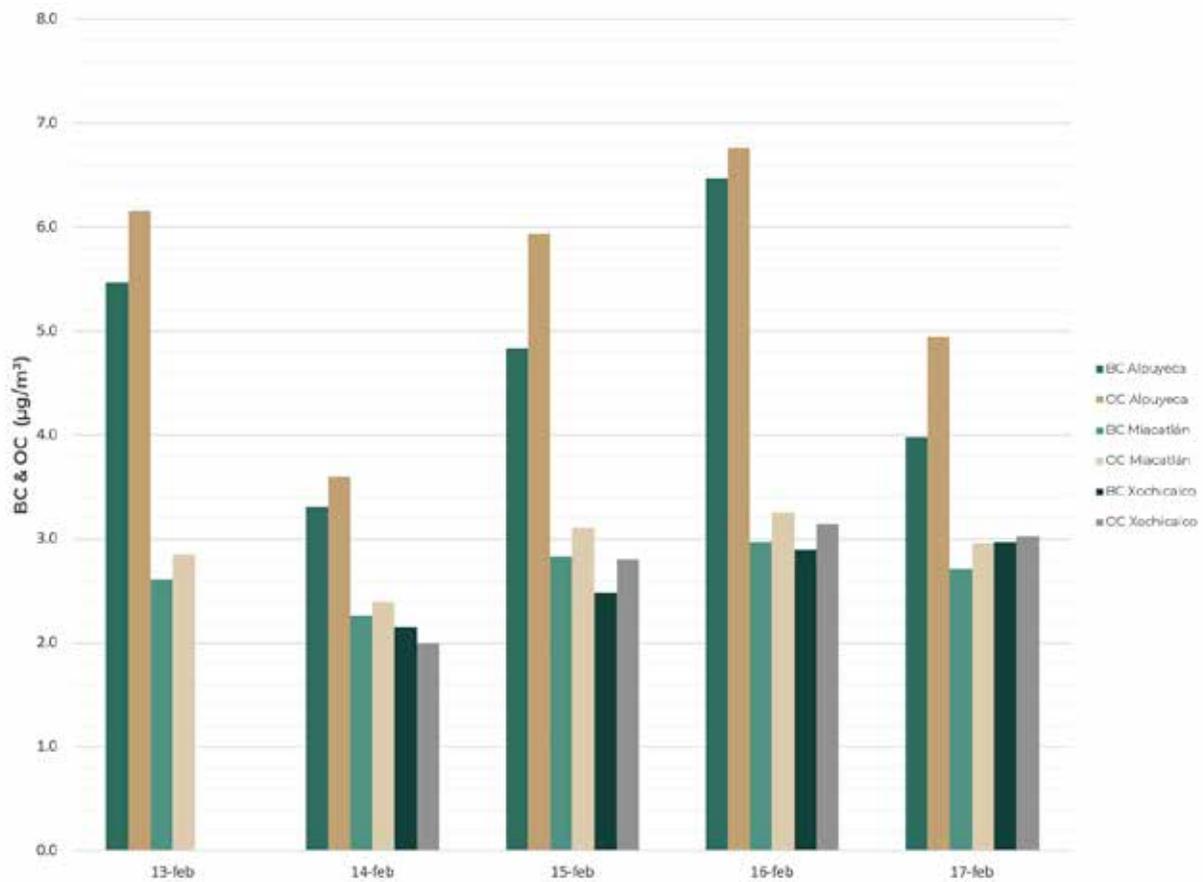


Figura 2.79. Concentraciones de carbono orgánico y elemental, determinadas de las muestras de PM_{2.5} colectadas durante la campaña de mediciones en las comunidades de Alpuyecá, Miacatlán y Xochicalco, Morelos.

A continuación, en las Figuras 2.80, 2.81 y 2.82, se presenta la especiación de metales presentes en las muestras de PM_{2.5}, colectadas durante la campaña de mediciones. En los tres casos los metales con mayor abundancia son aquellos que componen la corteza terrestre de manera natural.

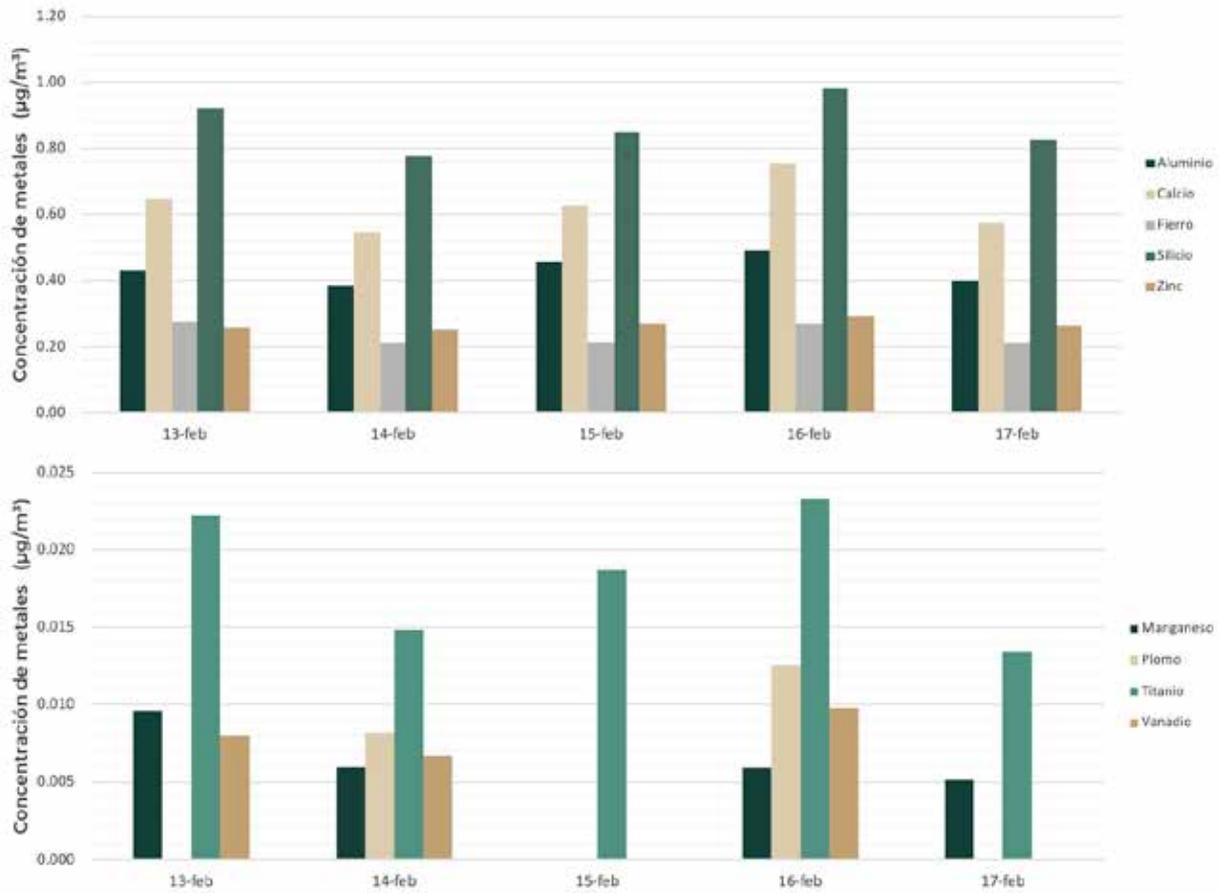


Figura 2.80. Determinación cualitativa y cuantitativa de metales presentes en las muestras de PM2.5, colectadas en la comunidad de Alpuyea, Morelos.

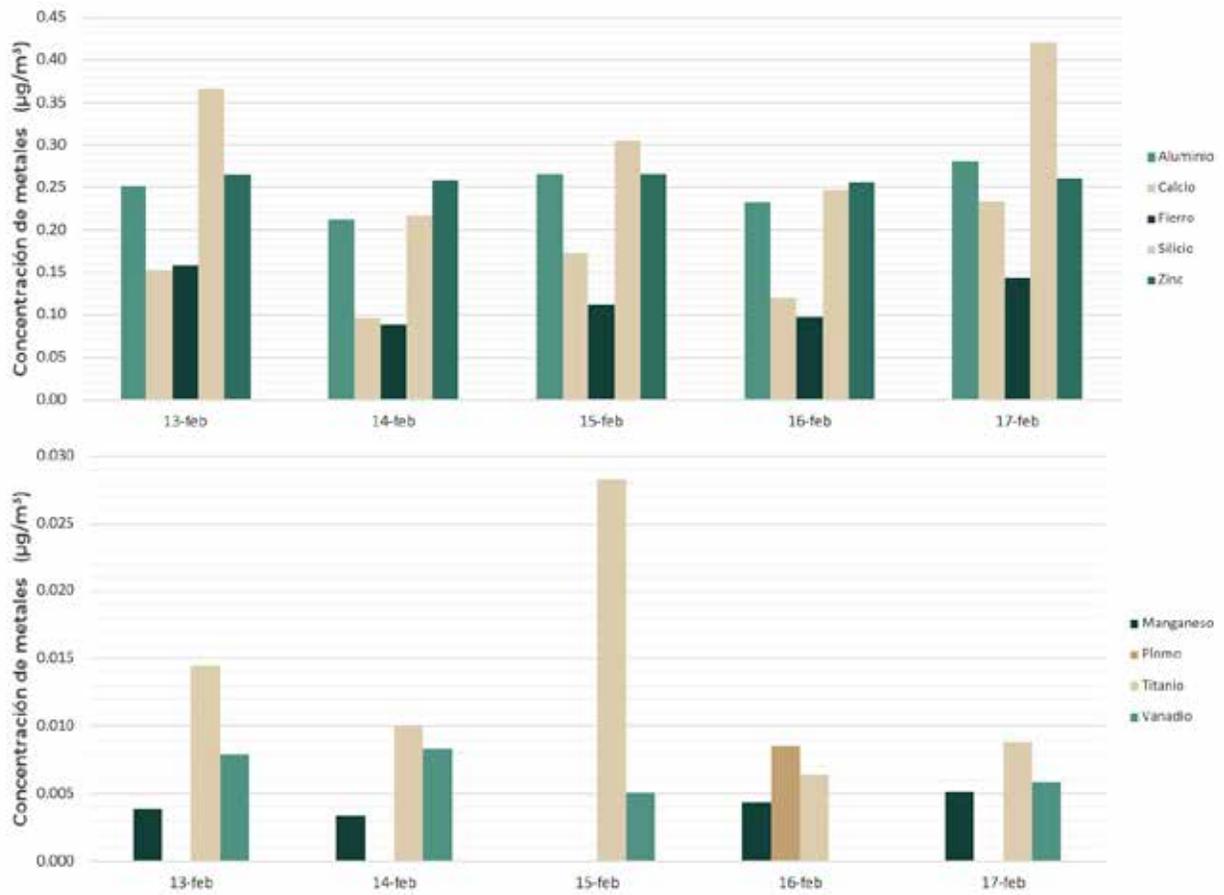


Figura 2.81. Determinación cualitativa y cuantitativa de metales presentes en las muestras de PM2.5, colectadas en la comunidad de Miacatlán, Morelos.

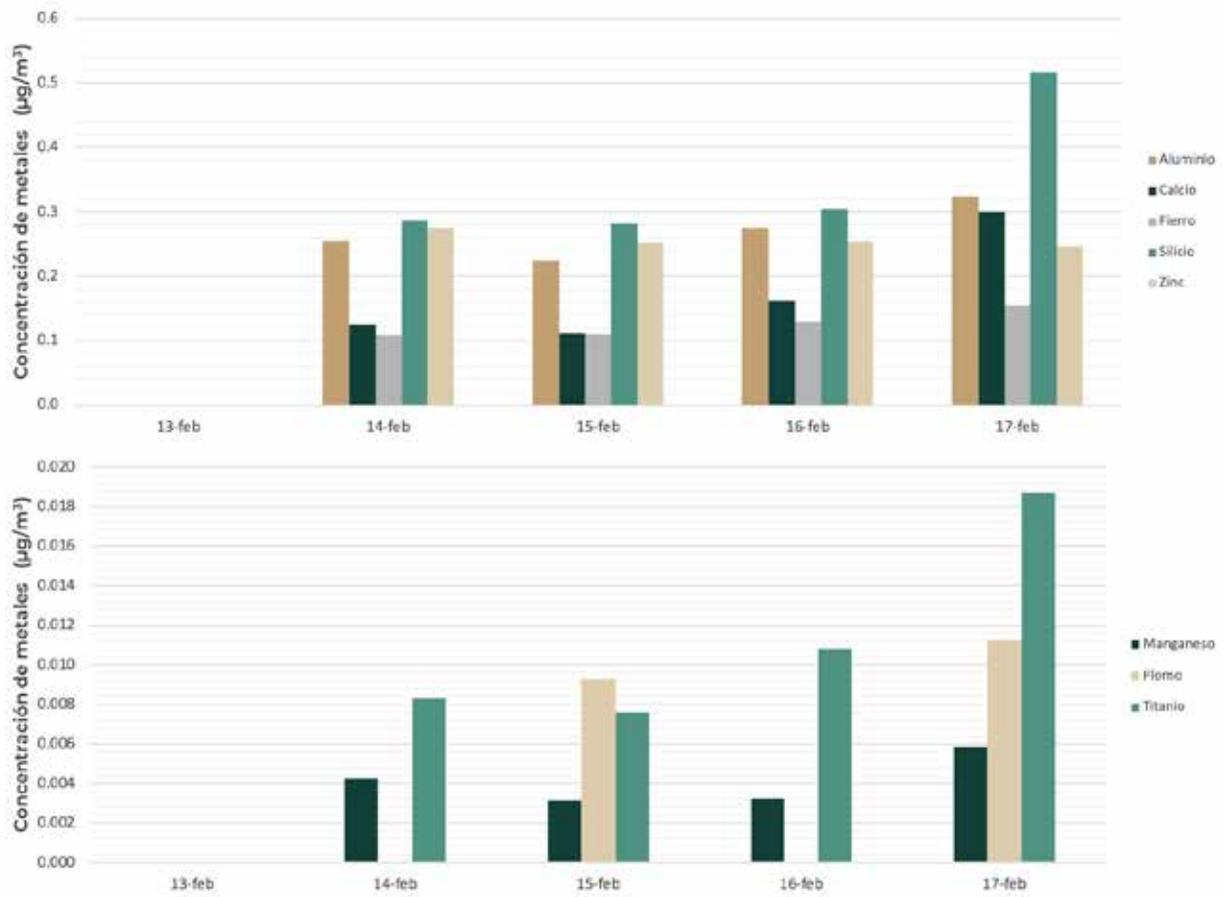


Figura 2.82. Determinación cualitativa y cuantitativa de metales presentes en las muestras de PM2.5, colectadas en el sitio arqueológico de Xochicalco, Morelos.

Determinación de la exposición personal

Posterior a la realización de los recorridos, se integraron y validaron las bases de datos de las concentraciones georreferencias y se estimaron las

concentraciones promedio para cada uno de los días de la campaña de mediciones. En la tabla 2.28, se presentan las mismas.

Tabla 2.28. Concentraciones de PM2.5, determinadas a nivel de banqueta, a las que se podría estar exponiendo la población que transita por las calles y/o avenidas de la región.

Fecha	PM _{2.5} [µg/m ³]
2023.02.13	55.95
2023.02.14	40.08
2023.02.15	33.24
2023.02.16	35.96
2023.02.17	70.99

Es importante mencionar que aun cuando las concentraciones promedio no presentan concentraciones tan elevadas, durante los recorridos hay momentos en los cuales se tuvo una exposición aguda a PM_{2.5} —altas concentraciones, valores

superiores a 300 µg/m³, por un breve periodo de tiempo. A manera de ejemplo en la siguiente figura 2.83, se presenta un perfil de las concentraciones de PM_{2.5} y una fotografía de la fuente de emisión que contribuye a la exposición en ese momento.

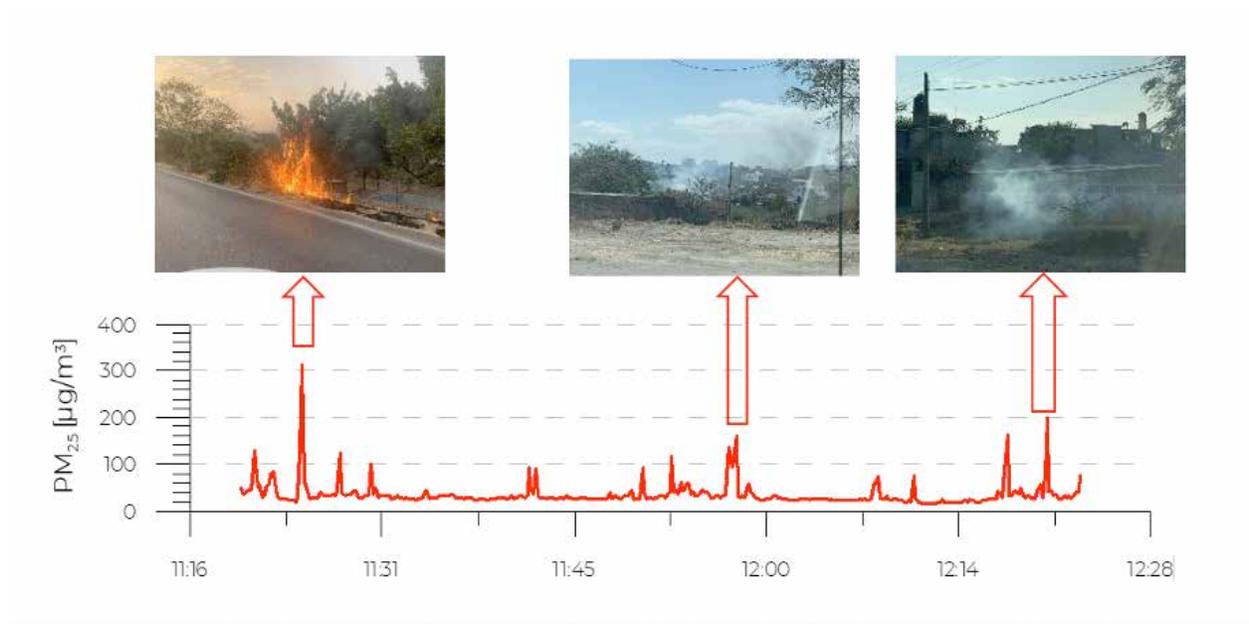


Figura 2.83. Perfil de concentraciones de PM2.5 e imagen de las fuentes de emisión de PM2.5 (quemadas de biomasa) que contribuyeron a la exposición personal.



CONCENTRACIÓN DE METALES Y METALOIDES EN SUELOS

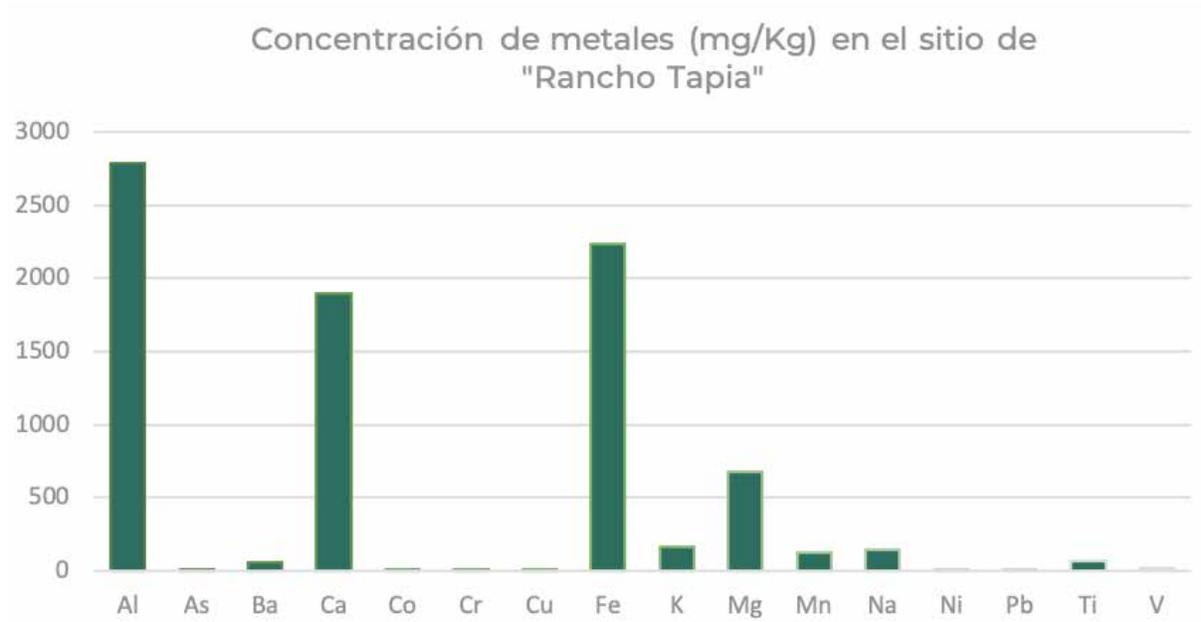


Figura 2.84. Concentración de metales y metaloides en el sitio de "Rancho Tapia".

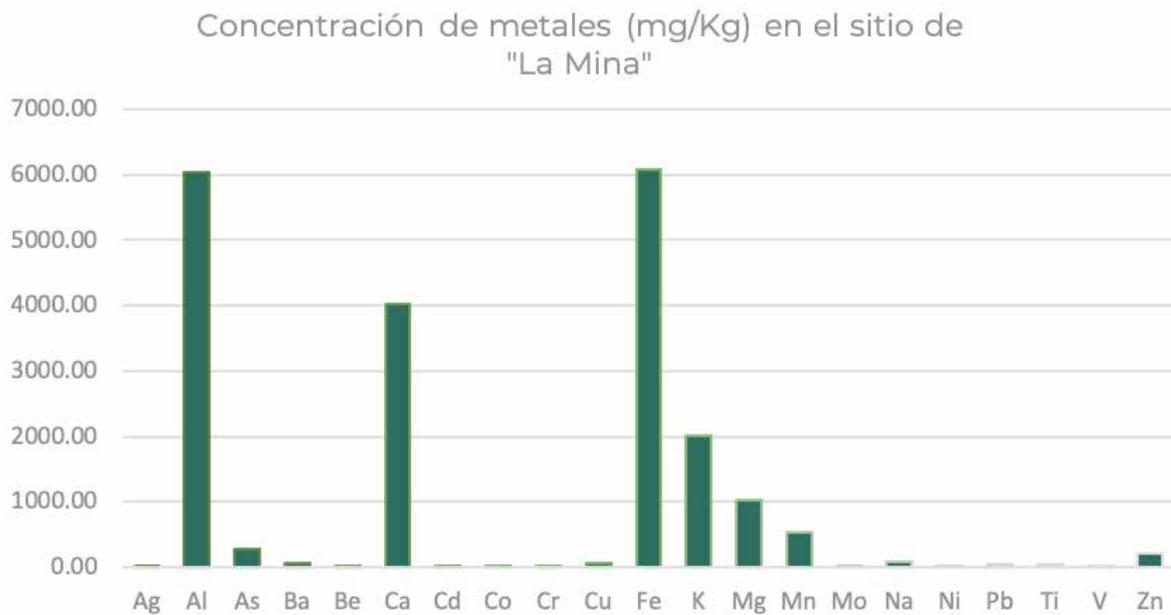


Figura 2.85. Concentración de metales y metaloides en el sitio de "La Mina".





Concentración de metales (mg/Kg) en el sitio de "Río Tetlama"

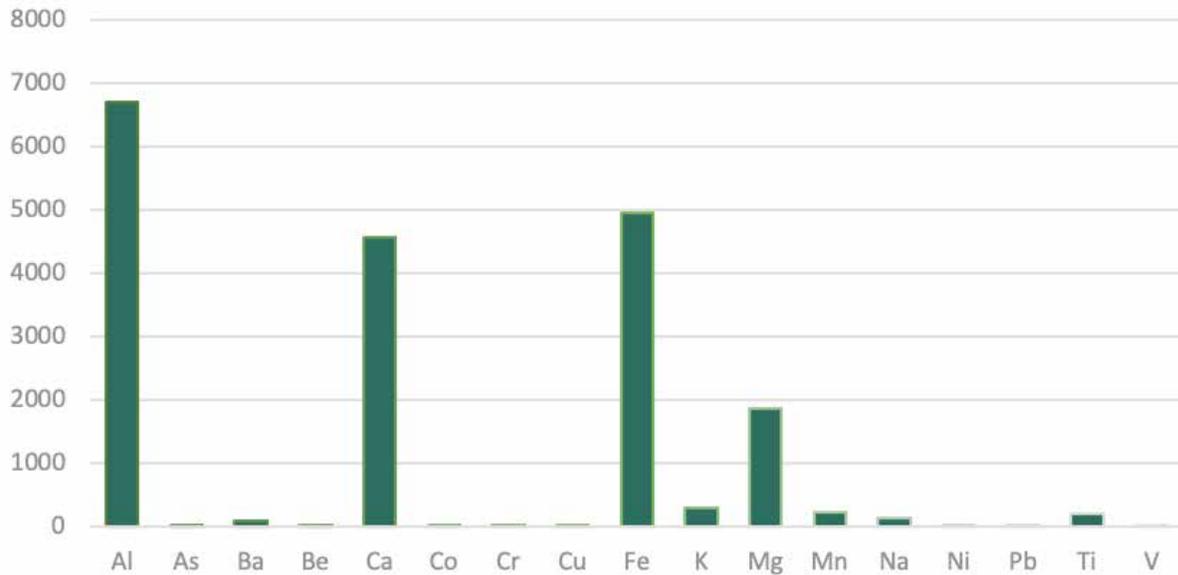


Figura 2.86. Concentración de metales y metaloides en el sitio de "Río Tetlama".

Concentración de metales (mg/Kg) en el sitio de "El Rodeo"

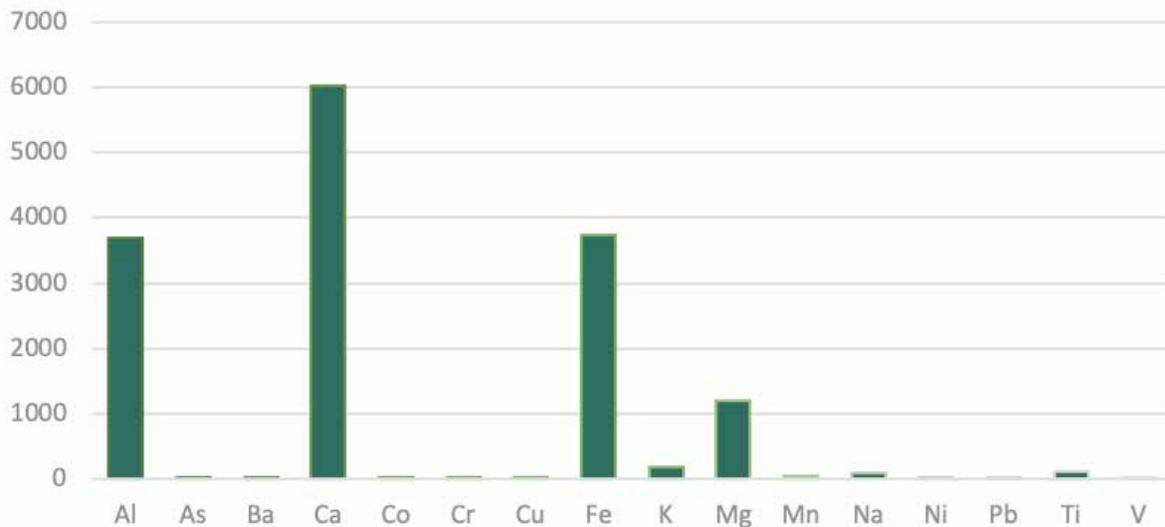


Figura 2.87. Concentración de metales y metaloides en el sitio de "Río Tetlama".



Concentración de metales (mg/Kg) en el sitio de "Huertas de Alpuyeca"

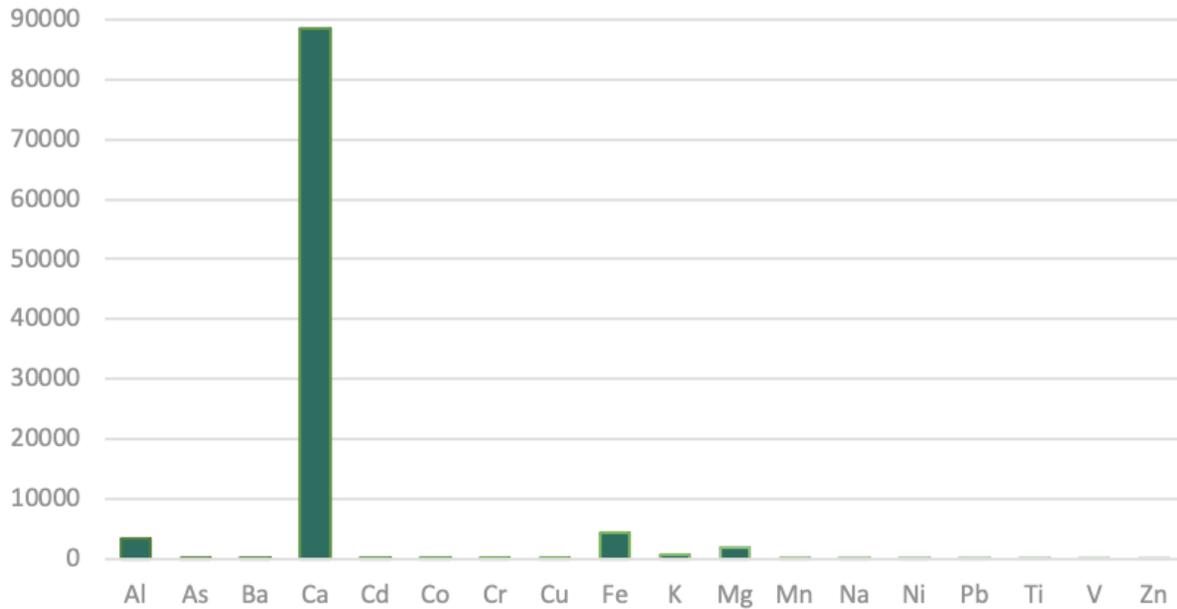


Figura 2.88. Concentración de metales y metaloides en el sitio de "Huertas de Alpuyeca"

Concentración de metales (mg/Kg) en el sitio de "Jardines de Xochitepec"

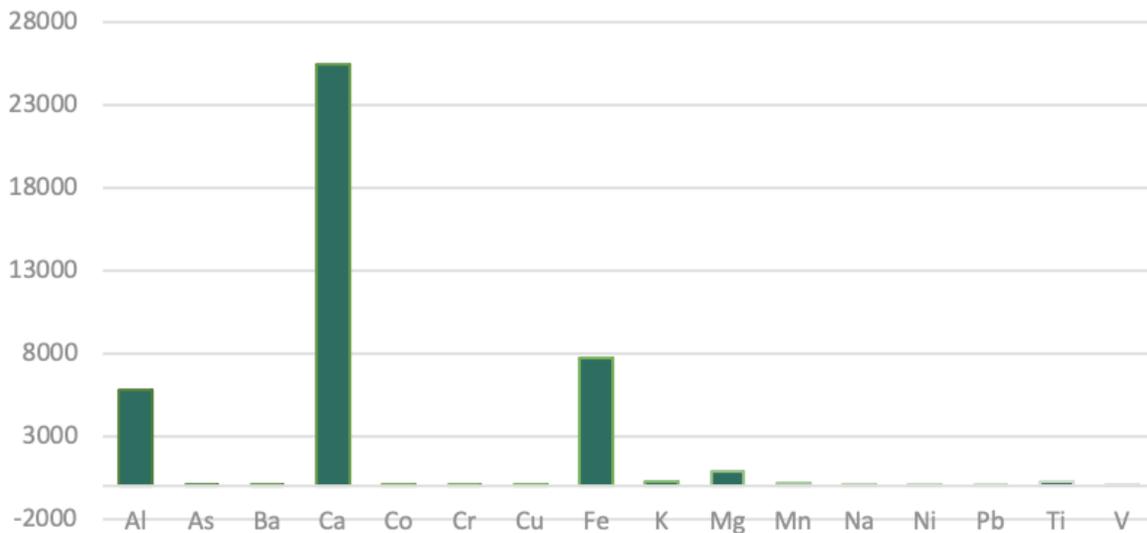


Figura 2.89. Concentración de metales y metaloides en el sitio de "Jardines de Xochitepec".

RESULTADOS GLOBALES ANÁLISIS DE METALES EN SUELO EN LOS MUNICIPIOS DE SAN AGUSTÍN TETLAMA, XOCHITEPEC Y MIACATLAN, MORELOS

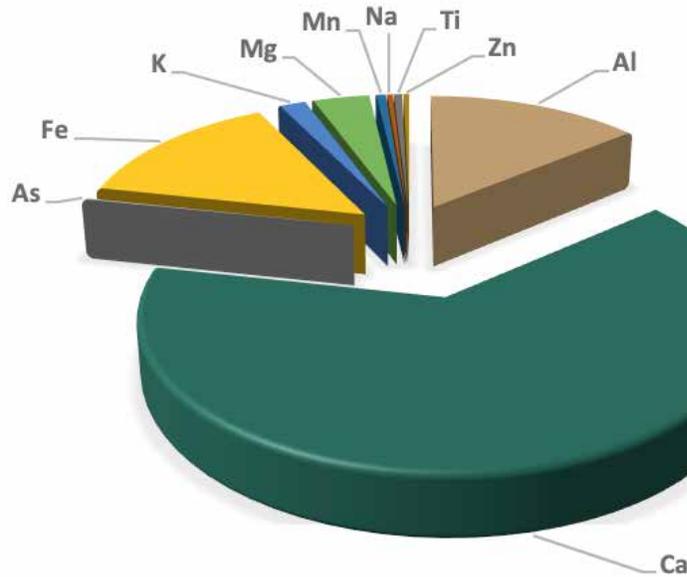


Figura 2.90. Resultados globales de la concentración de metales y metaloides en suelo en los municipios de Temixco, Xochitepec y Miacatlán.

Se observa que en las gráficas la concentración de calcio, hierro, magnesio, aluminio y potasio se encuentran en altas concentraciones lo cual es esperado debido a que son minerales que se encuentran dentro de la propia composición del suelo.

Hay un sitio en el que la cantidad de arsénico rebasa la cantidad máxima permitida en la norma, la cual menciona que para suelos de uso agrícola la concentración de arsénico máxima es de 22 mg/Kg.

En el sitio de "La mina", que es el sitio más cercano al Cerro del Jumil, se obtuvo una concentración de arsénico de 271.69 mg/Kg, que son casi 13 veces más de lo que dicta la norma. De igual manera, la concentración de Cobre en ese sitio comparado con la de los 5 sitios restantes es 8 veces mayor al promedio ya que se obtuvo una concentración de 59.90 mg/Kg mientras que el promedio de los 5 sitios restantes fue de 7.44 mg/Kg.

2.5 Clima y precipitación

Los cambios en el clima se pueden representar por variaciones a largo plazo (30, 50, 100 años), en los valores medios y extremos de alguna variable climática, como la temperatura o la precipitación. Incluso los cambios se pueden presentar con periodos de cientos o miles de años (IPCC, 2007; Casas y Alarcón, 1999). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define el cambio climático como el “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

Ante las problemáticas derivadas del cambio climático es preciso considerar que la información climática es fundamental para una toma de decisiones bien informada en el contexto de cambio climático (INECC, 2022). A través del diagnóstico climático se puede conocer cuál ha sido el comportamiento del clima observado y cuáles han sido los cambios que se han presentado históricamente, así como cuáles son los cambios proyectados a futuro.

En este sentido el análisis del clima observado permite detectar cambios en el clima actual y su posible vinculación al cambio de uso de suelo, a la pérdida de vegetación, al crecimiento de la mancha urbana, entre otros factores. Las proyecciones con escenarios de cambio climático, permite conocer cómo podría ser el comportamiento de las variables en un periodo de tiempo a futuro.

Se hizo la caracterización climática del lugar por medio de las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed) y precipitación (Pcp).

Debido a la variabilidad natural que se puede tener año con año, se utilizan medias de 30 años de temperaturas, precipitaciones y otras variables para definir, por ejemplo, la magnitud de una ola de calor o una tormenta de lluvia actual en el contexto histórico. Para establecer una línea base con la cual se podrá comparar con lo observado históricamente se utilizó el periodo base de 1981-2010 para las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed) y precipitación (Pcp).

2.5.1 Estado de Morelos

Los datos climáticos muestran que en el estado de Morelos hay una ocurrencia de precipitaciones por encima de lo esperado de 2013 a 2022, y de temperaturas diurnas y nocturnas más cálidas de 2006 a 2022. Lo que significa que la temperatura y precipitación que se espera ocurra en promedio año con año, está cambiando (Figura 2.91).

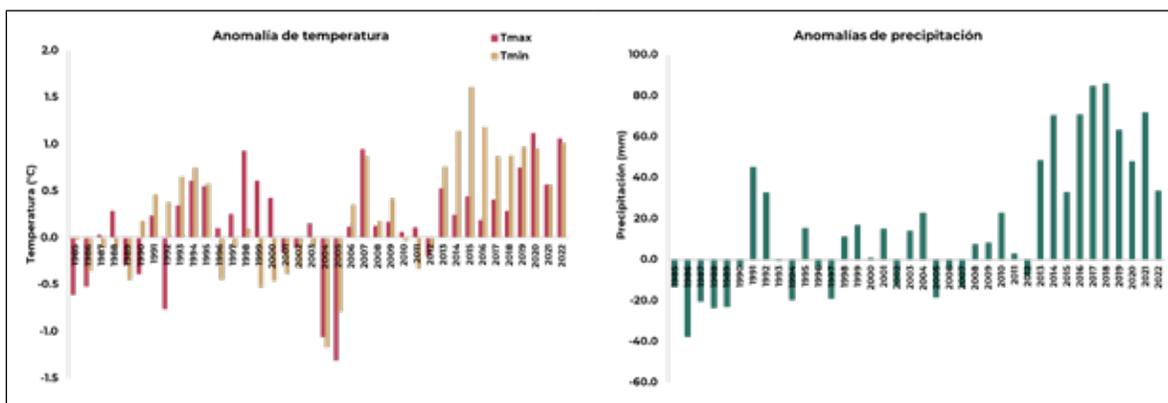


Figura 2.91. Valores de temperatura y precipitación por encima y por debajo de la climatología base 1981-2010. Elaboración propia con datos del SMN.

A lo anterior se suma lo basado en la ficha climática del estado de Morelos, donde las proyecciones de cambio climático muestran una disminución gradual de la precipitación respecto al periodo base 1981-2010, y las proyecciones de la temperatura muestran un incremento llegando hasta 4.9°C bajo el escenario más pesimista (SSP5 RCP8.5) a largo plazo (2081-2100) (Figura 2.92 y Figura 2.93).

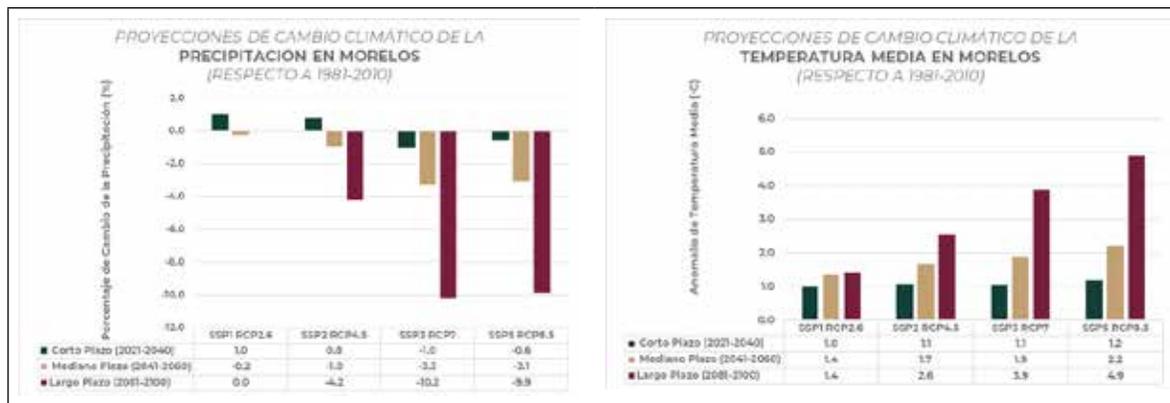


Figura 2.92. Proyecciones de cambio climático del estado de Morelos, basado en la información del Atlas interactivo del Grupo de Trabajo I del IPCC (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>) con respecto a la climatología 1981-2010.

Estas proyecciones muestran las anomalías de las temperaturas y el porcentaje de cambio de la precipitación, con respecto a las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) y las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP, por sus siglas en inglés).

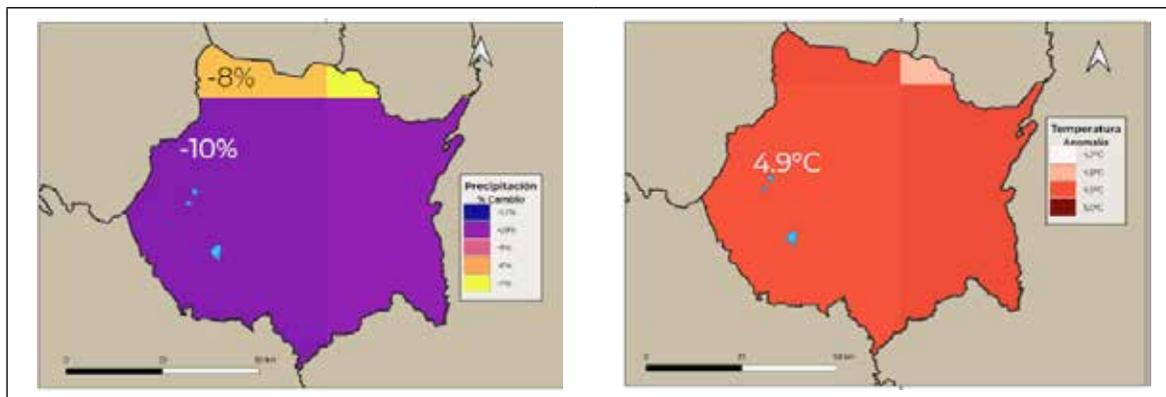


Figura 2.93. -Mapas que representa el escenario más pesimista (SSP5 RCP 8.5) a largo plazo (2081-2100) en el estado de Morelos.

Estos resultados y sus efectos se podrían exacerbar dadas las actividades que se realizan o pretenden realizar en el territorio de Morelos, como es el caso de la actividad minera.

Tan sólo en el poniente de Morelos existen 13 concesiones mineras ubicadas en los municipios de Cuernavaca, Miaatlán, Temixco, Coatetelco, Xochitepec, Emiliano Zapata y Tlaltizapan de Zapata (Figura 2.94).

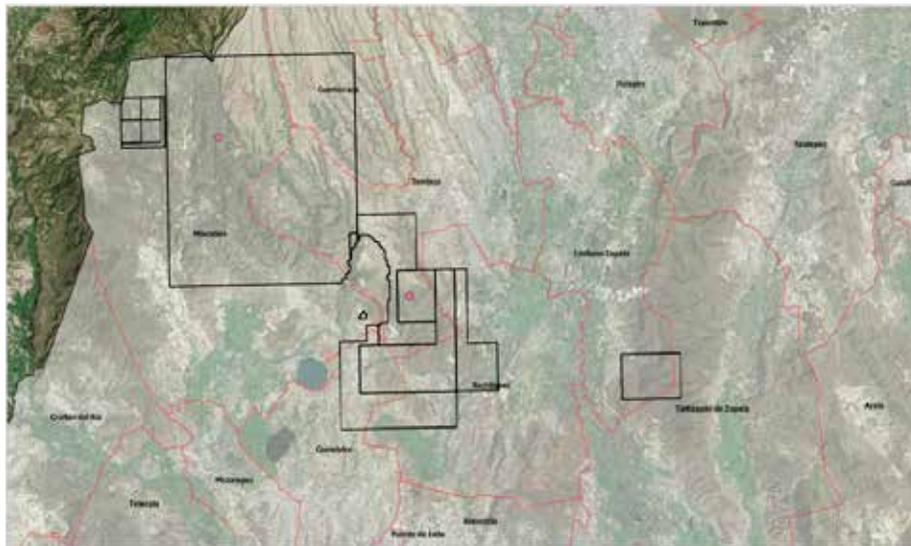


Figura 2.94. Ubicación de las concesiones mineras por municipios en el poniente del estado de Morelos. Los puntos rosas indican las minas de Miaatlán en explotación y de Xochitepec en desarrollo

La superficie de concesión minera, el porcentaje que ocupa por municipio y el número de habitantes se presenta en la Tabla 2.29

Tabla 2.29. Población, superficie minera concesionada por municipio y porcentaje que ocupa con relación a la superficie del municipio. Elaborado con datos del Censo de Población y Vivienda 2020.

No	Municipio	Número de habitantes	Superficie minera concesionada (ha)	% en el municipio
1	Coatetelco	11,347	988.40	19.16
2	Cuernavaca	378,476	1,508.08	7.57
3	Emiliano Zapata	107,053	504.59	7.39
4	Miaatlán	15,802	6,483.55	39.87
5	Temixco	122,263	3,694.85	35.95
6	Tlaltizapan de Zapata	52,399	95.41	0.40
7	Xochitepec	77,539	2,047.02	21.95

Dada la actividad minera que se registra y se pretende establecer en la zona poniente del estado de Morelos se presenta el análisis climático observado y proyectado, y el cambio de uso de suelo para esta región. De esta manera determinar los impactos potenciales en la región debido a la minería.

2.5.2. Municipios

Se presenta una descripción de la climatología a nivel municipal, utilizando la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional en el periodo de 1981-2010.¹ Lo cual permitirá conocer como es el comportamiento de las variables climáticas a lo largo del año de los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla en Morelos con problemáticas por la actividad minera (Figura 2.95).

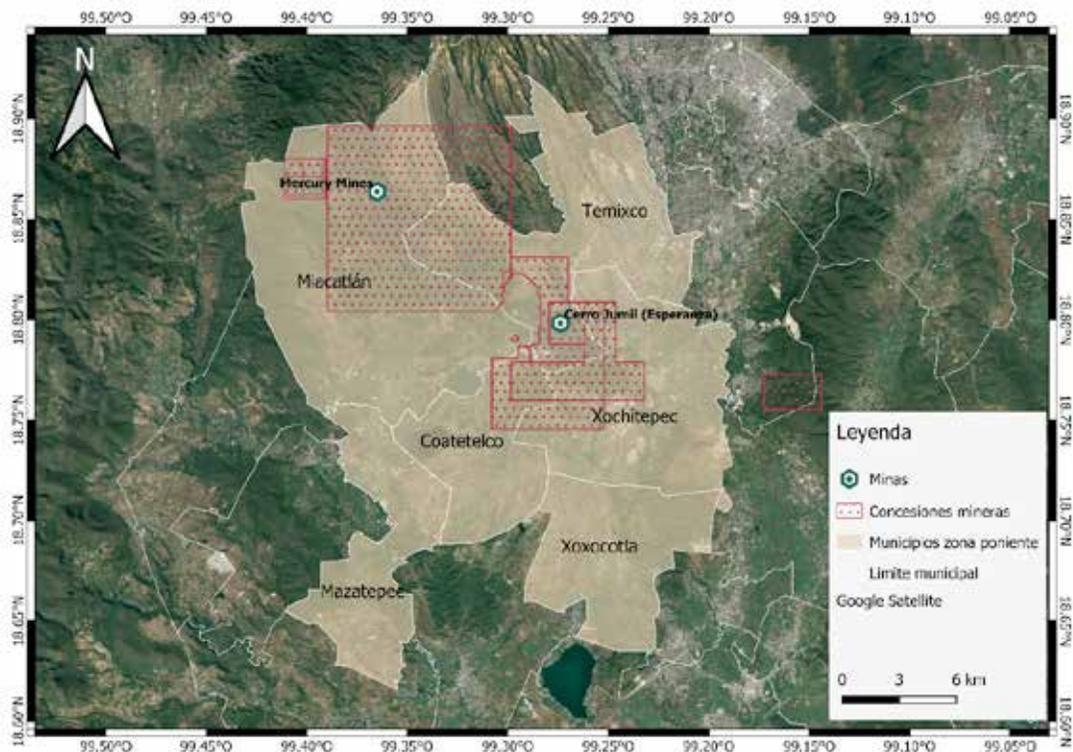


Figura 2.95. Ubicación de los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla en Morelos, con las minas y concesiones mineras dentro de su territorio. Elaboración propia con el Marco Geoestadístico 2020 de INEGI.

¹ Comunicación por solicitud al Servicio Meteorológico Nacional en 2022. Datos del Servicio Meteorológico Nacional.



En los climogramas de la Figura 2.96, se aprecia el comportamiento a través del año de la temperatura (Tmax, Tmin y Tmed) y la precipitación con base al promedio 1981-2010.

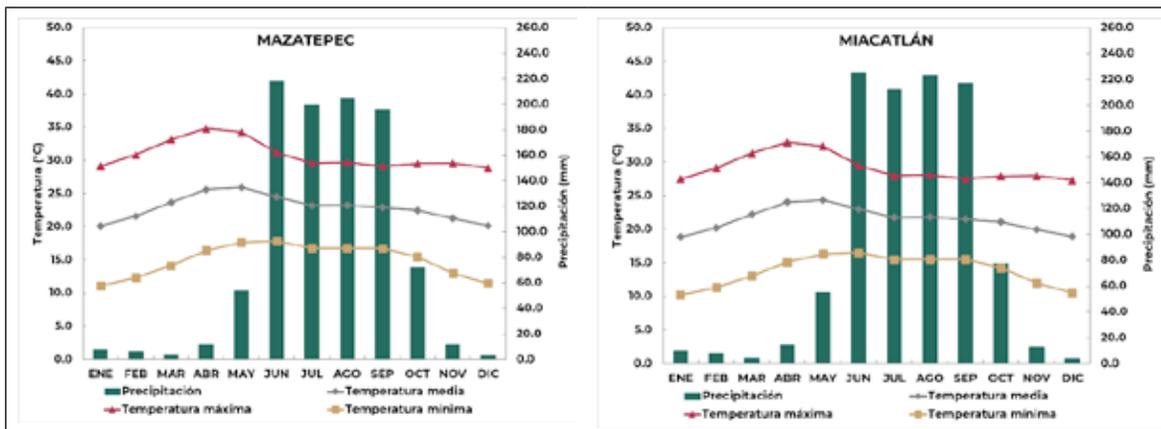
En temperatura se puede observar, de manera general, un aumento gradual de enero hasta abril y mayo, para luego descender en los meses de junio a diciembre. En todos los municipios el mes más cálido es abril donde se presentan las Tmax más altas y los meses más frescos son enero y diciembre, aunque el mínimo valor se tiene en enero donde las Tmin son las más bajas. En la Tabla 2.30 se indican las Tmax del mes de abril, las Tmin del mes de enero y las Tmed de mayo y enero.

Tabla 2.30. Valores de temperatura en el mes más cálido y fresco en los municipios de análisis. Elaborado con datos del SMN.

Promedio base 1981-2010				
Municipio	Tmax (°C) más cálida	Tmin (°C) más fría	Tmed (°C) más cálida	Tmed (°C) más fría
Mazatepec	34.8	11.1	25.9	20.1
Miacatlán	32.9	10.2	24.3	18.8
Temixco	32.7	10.3	24.3	18.8
Xochitepec	34.4	10.8	25.7	19.9
Coatetelco	34.5	10.9	25.7	19.9
Xoxocotla	35.6	11.2	26.5	20.6

De los 6 municipios, donde se presentan las Tmax y Tmin más cálidas es en Xoxocotla, al sureste de la región poniente. Con base a los valores máximos y mínimos, las temperaturas son más cálidas en

los municipios al sur de la zona poniente y los más frescos hacia la parte norte; por lo tanto, Temixco y Miacatlán tienen las temperaturas más frescas de los seis municipios analizados.



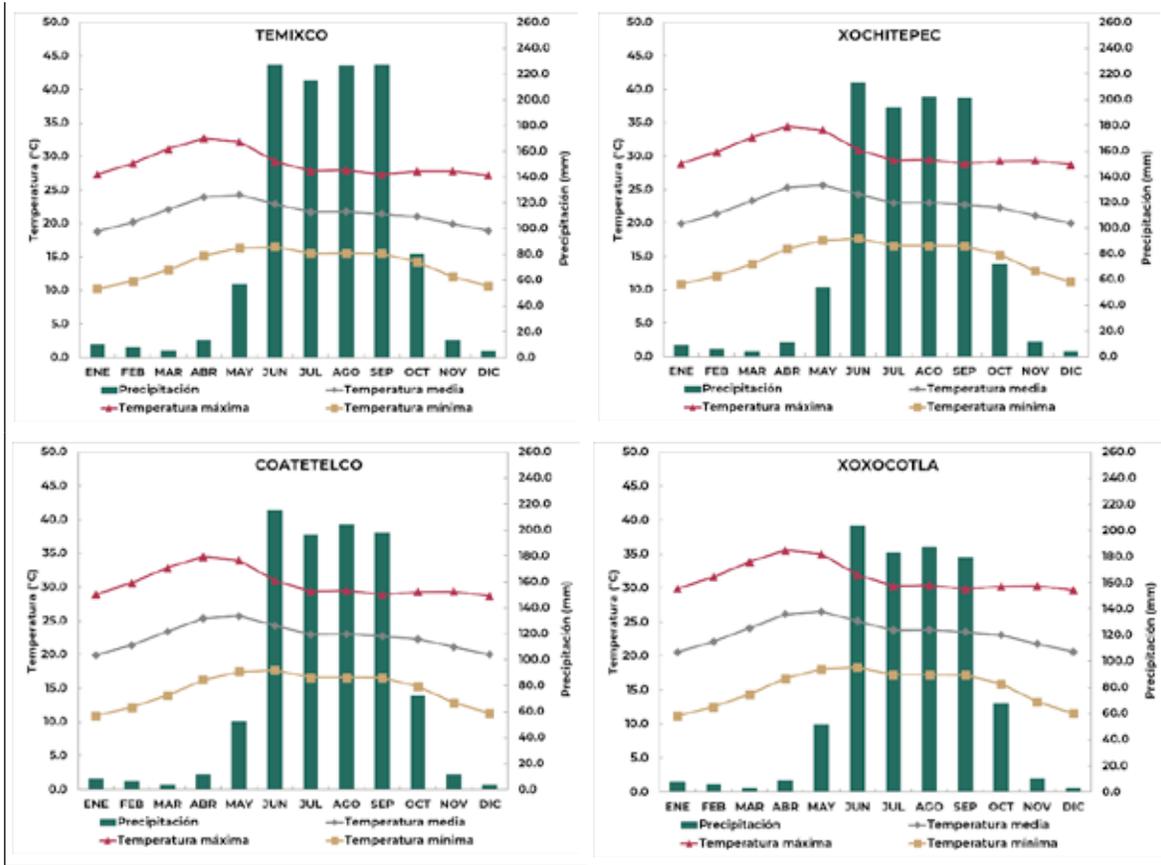


Figura 2.96. Climograma de los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla en Morelos. Elaboración propia con datos de las normales climatológicas 1981-2010 del SMN.

La precipitación es mínima en los meses de enero a abril, en mayo empieza a incrementarse y de junio a septiembre es donde los meses son más lluviosos, para llover en menor cantidad en octubre y ya en noviembre y diciembre la precipitación es mínima. Los meses de mayo y octubre son de transición, entre la temporada seca de enero a abril y de noviembre a diciembre, y la temporada de lluvia de junio a septiembre. El mes con mayor lluvia en todos los municipios es junio, aunque la cantidad de lluvia que precipita es similar en los cuatro meses, por ejemplo, en Temixco en el mes de junio y septiembre se tiene la misma cantidad promedio de precipitación (226.8 mm). Los meses con menor precipitación son marzo y diciembre, aunque en este último se tiene el valor más bajo. De acuerdo con la Tabla 2.31, los municipios con la mayor cantidad de lluvia en verano son Temixco y Miacatlán, que se encuentran en la parte norte de la zona poniente de Morelos, y los más bajos valores son para los municipios al sur de la zona poniente.

Tabla 2.31. Valores de precipitación máxima y mínima en los municipios de análisis.

Promedio base 1981-2010		
Municipio	Pcp (mm) máxima	Pcp (mm) mínima
Mazatepec	218.2	2.7
Miacatlán	225.0	4.0
Temixco	226.8	4.4
Xochitepec	213.5	3.7
Coatetelco	214.9	3.2
Xoxocotla	203.8	3.1

Asimismo, durante el verano se puede observar un ligero descenso de precipitación, lo cual se relaciona con la sequía intraestival o canícula. Este fenómeno ocurre a mitad del verano, y se caracteriza por la disminución de las precipitaciones en el centro-sur de México y, en algunas ocasiones, en regiones muy específicas del norte del país. La canícula es un periodo en el que se favorece el aumento de la temperatura debido a la disminución de lluvias, propicia el aumento de enfermedades asociadas al calor en la población, y afecta sectores como la agricultura y la ganadería².

Tabla 2.32. Normales climatológicas 1981-2010 para los municipios de interés. Elaboración propia con información del SMN.

Promedio base 1981-2010				
Municipio	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Pcp (mm)
Mazatepec	30.8	15.0	22.9	82.2
Miacatlán	29.1	13.8	21.5	88.6
Temixco	29.0	13.9	21.4	90.4
Xochitepec	30.6	14.8	22.7	81.7
Coatetelco	30.6	14.8	22.7	81.8
Xoxocotla	31.6	15.3	23.4	75.9

En la Tabla 2.32 se muestran los valores promedio de la normal climatológica 1981-2010 para los seis municipios en Morelos. Con base a estos valores se puede decir que la temperatura en esos municipios es mayor en aquellos que se localizan en la parte sur (Xoxocotla, Mazatepec, Coatetelco, Xochitepec), siendo la parte norte ligeramente más fresca (Miacatlán y Temixco). Por otra parte, el municipio más lluvioso es Temixco, seguido de Miacatlán, Mazatepec, Coatetelco, Xochitepec y Xoxocotla. En este caso la precipitación es mayor en los municipios al norte de la zona poniente y va descendiendo hacia los municipios más al sur.

Aunque en los municipios de Temixco y Miacatlán, es donde se registra la mayor cantidad de lluvia y las temperaturas más frescas de la zona poniente, también es donde se ubican las mayores concesiones mineras y las minas activas del estado. Las actividades mineras pueden tener impactos negativos por el cambio de uso de suelo, lo que puede

ocasionar cambios en la temperatura y precipitación de la zona; por lo que es preciso conservar la vegetación natural, los ecosistemas y los cuerpos de agua.

2.5.3 Sitios específicos

A continuación, se realizó un análisis climatológico en los sitios de las minas de la zona poniente de Morelos. Las minas son Mercury Mines en estatus de exploración y la de Cerro Jumil (Esperanza) con estatus de desarrollo (Tabla 2.33). En la Figura 2.97 se puede observar de manera espacial la ubicación de las minas.

Tabla 2.33. Sitios seleccionados para el análisis climatológico en la zona poniente de Morelos.

Municipio	Nombre	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
Miacatlán	Mercury Mines	18.8638	-99.3650
Temixco	Cerro Jumil (Esperanza)	18.7983	-99.2737

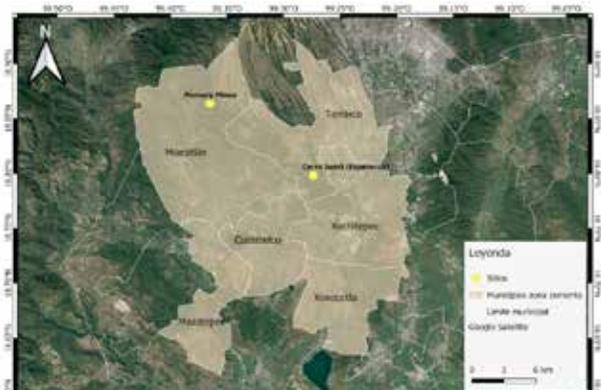


Figura 2.97. Ubicación de los sitios específicos con base a la localización de las minas en la zona poniente de Morelos. Elaborado con datos del Marco Geoestadístico del INEGI 2020.

La caracterización de la climatología se realizó utilizando las variables de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura media (Tmed) y precipitación (Pcp). La base de datos que se utilizó fue la de Daymet V4 (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>) en una resolución diaria. Daymet V4, es un conjunto de datos climáticos diarios cuadrículados con una resolución espacial de 1 km² para el periodo 1980-2022. La base de datos está construida por medio de una combinación de interpolación, extrapolación y ponde-

2 <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/lo-que-debes-saber-de-la-canícula>.



raciones a partir de los datos observacionales de las estaciones climatológicas de la Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) V3.26. De esta manera Daymet refleja las relaciones espaciales y temporales entre una cuadrícula y las estaciones climatológicas circundantes (Thornton et al., 2021). Por lo tanto, la ubicación de las minas se utilizó como referencia para la obtención de los datos puntuales en Daymet V4. Se utilizó el reanálisis, ya que el periodo de tiempo es lo más actual y se tiene una disponibilidad del 100% de los datos, como una opción ante la falta de series de datos actualizadas.

A las series de reanálisis se les aplicó el control de calidad básico utilizando el software Rclimdex1.0 (Zhang y Yang, 2004), posteriormente los datos diarios fueron promediados para obtener datos mensuales y anuales para cada sitio para el periodo de 1980-2022.

El promedio 1981-2010 para cada uno de los sitios de análisis se muestra en la Tabla 2.34. De acuerdo con los valores normales de climatología, el rango de valores entre los 2 sitios está entre 26.8°C a 33.7°C en Tmax, de 10.2°C a 17.6°C en Tmin, de 18.5°C a 25.6°C en Tmed y de 2.2 mm a 206.3 mm en Pcp. El sitio con las temperaturas más cálidas es Cerro Jumil (Esperanza) y el más fresco es Mercury Mines, por influencia orográfica, la altura a la que se ubican ambos sitios (a mayor altitud menor temperatura) y a la vegetación del lugar.

Tabla 2.34. Normales climatológicas 1981-2010 para las estaciones meteorológicas seleccionadas. Fuente: Elaboración propia con información de Thornton et al. (2021).

Promedio base 1981-2010					
Municipio	Estación	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	Pcp (mm)
Miacatlán	Mercury Mines	28.4	13.3	20.8	78.6
Te-mixco	Cerro Jumil (Esperanza)	30.5	14.8	22.6	76.1

En la Figura 2.98 se puede observar el comportamiento del ciclo anual de las variables de Tmax, Tmin, Tmed y Pcp, es decir la variación que se tiene en estas variables a lo largo del año.

De manera general, la temperatura se incrementa gradualmente de enero hasta abril-mayo, para disminuir en junio con mínimas variaciones hasta septiembre, donde vuelve a disminuir de octubre a diciembre. El descenso de la temperatura es menos pronunciado que el aumento en la primera parte del año. El mes más cálido es abril con una Tmax de 31.9°C en Mercury Mines y de 34.0°C en Cerro Jumil (Esperanza). Los meses más fríos son enero y diciembre, de los cuales el mayor mínimo ocurre en enero con una Tmin de 10.2°C en Mercury Mines y de 11.1°C en Cerro Jumil (Esperanza). Las Tmed con los valores más cálidos ocurren en mayo y son de 23.5°C (Mercury Mines) y 25.6°C (Cerro Jumil (Esperanza)), y las más frescas son de 18.5°C y 19.9°C en enero, en Mercury Mines y Cerro Jumil (Esperanza) respectivamente.



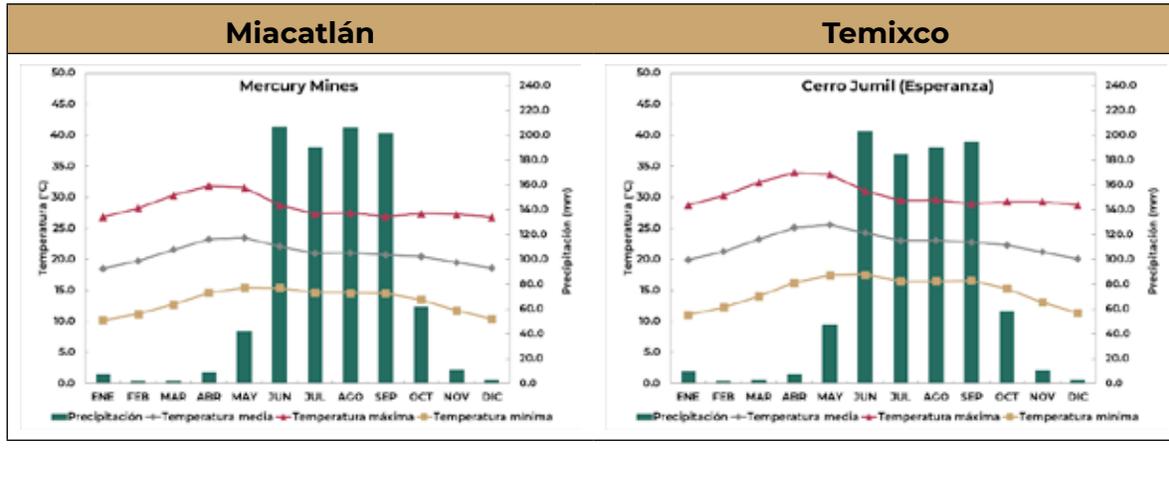


Figura 2.98. Climogramas de los sitios Cerro Jumil (Esperanza) y Mercury Mines. Elaborados con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

En precipitación se tiene que de enero a abril y de noviembre a diciembre los meses son de escasa precipitación, mayo y octubre son de transición, y de junio a septiembre son los más lluviosos. Los meses con mayor precipitación son junio (206.5 mm) y agosto (206.3) en Mercury Mines, mientras que en Cerro Jumil (Esperanza) es junio (203.6 mm). Los meses con menor cantidad de lluvia son febrero, marzo y diciembre donde la precipitación está entre 2.2 mm a 3.1 mm.

En ambos sitios sobresale el efecto de la sequía intraestival o canícula, ya que hay una disminución de precipitación en el mes de julio.

Con base en los análisis anteriores se puede decir que en el sitio con mayor vegetación es donde se registran las temperaturas más frescas y la mayor cantidad de precipitación. Por lo que es preciso conservar estas condiciones para que no exista un efecto por cambio de uso de suelo ante la actividad minera.

2.5.4 Anomalías respecto al periodo de 1980-2021

Las normales climatológicas son utilizadas como un valor de referencia para el cálculo de las anomalías, es decir, para poder comparar un dato reciente con un conjunto de datos históricos de un lugar específico con respecto a valores esperados. La anomalía se calcula por medio de la diferencia del valor normal menos el valor observado, permitiendo indicar los elementos que están con comportamientos atípicos para el periodo de estudio. El análisis de las anomalías indica la variabilidad climática que se presentó o que puede presentar un periodo, es decir, si hay la presencia de condiciones que no son las típicas en el periodo de registro (OMM, 2011). Las anomalías de temperatura y de la precipitación permiten identificar si los valores de estas variables para cada año de registro están por encima o por debajo de la normal climatológica 1981-2010.

Temperatura

En la Figura 3.99, se observan las anomalías de temperatura máxima y temperatura mínima para los sitios de análisis. En Mercury Mines, hay variabilidad entre las anomalías de incremento y decremento en ambas temperaturas por lo que no se ve un patrón claro de algún comportamiento. Mientras que en Cerro Jumil (Esperanza) se observan valores por debajo de los normales desde 2014 a 2022, y valores por encima de lo normal de 1990 a 2002. Durante este último periodo destaca la anomalía de +1.8°C en 1998, que corresponde a un año de El Niño, de igual manera en Mercury Mines el aumento en este mismo año fue de +1.0°C. La magnitud de las anomalías no rebasa el +1.5°C y el -1.0°C en Mercury Mines, y el +2.0°C y -2.0°C en Cerro Jumil (Esperanza).

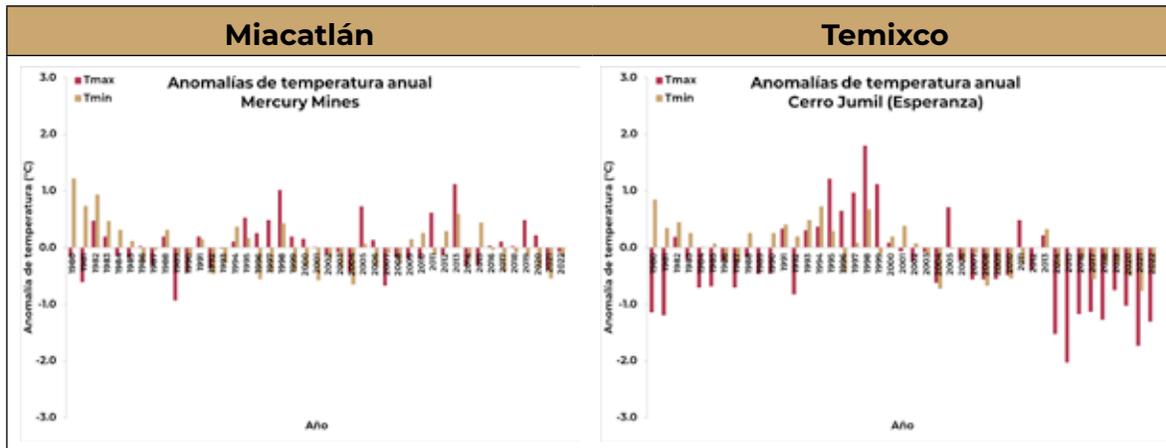


Figura 2.99. Anomalías de temperatura anual con respecto a la normal climatológica 1981-2010 para los sitios Cerro Jumil (Esperanza) y Mercury Mines. Elaborados con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

Precipitación

En la Figura 2.100, se muestran las anomalías para la precipitación promedio anual, en ambos sitios se observa un dominio de anomalías por encima de lo normal durante el periodo de 1980 a 2013, con al-

gunos valores por debajo de lo normal en los años de 1990, 1994 y 2010. Pero a partir de 2014 a 2022 han sido persistentes los valores promedio por debajo de lo normal, es decir anomalía de decremento.

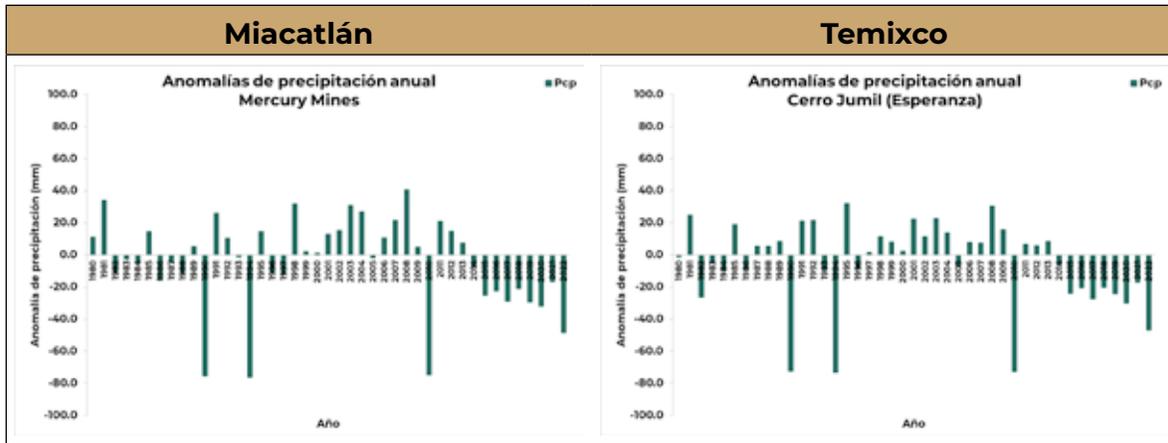


Figura 2.100. Anomalías de precipitación anual con respecto a la normal climatológica 1981-2010 para los sitios Cerro Jumil (Esperanza) y Mercury Mines. Elaborado con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

En los dos sitios se ha alcanzado déficits de precipitación de hasta 62% (2022), aunque en años anteriores se han tenido déficits de más del 90%. No se deben de subestimar los déficits de precipitación, ya que en los últimos años han superado el -60.0%, por lo que es necesario considerar este comportamiento y los posibles efectos en la población, las actividades económicas y los ecosistemas, ante los impactos negativos potenciales de un cambio de uso de suelo. Lo anterior podría tener efectos en la disponibilidad de agua, la cual se agravaría ante la presencia de la minería.

Tendencias climáticas

Como se ha observado en las anomalías de temperatura y precipitación, es posible que haya cambios en aquellas variables, por tal motivo a continuación se presenta un análisis de tendencias climáticas para las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación acumulada anuales, para detectar posibles cambios en el clima de los sitios Mercury Mines y Cerro Jumil (Esperanza). El análisis de tendencias climáticas permite determinar si el clima está cambiando en algún sentido estadístico, sin dar una atribución del cambio (Bindoff et al., 2013).

La detección de cambios se realizó por medio de un ajuste de tendencias a las variables de Tmax, Tmin y Pcp acumulada anuales, el cual es una aproximación empírica para cuantificar y explicar cambios en un sistema sobre un periodo de tiempo. Las series de datos muestran una tendencia si, en promedio, las series tienen un incremento o decremento progresivo (Chandler y Scott, 2011).

Para el ajuste de tendencias se utilizó un modelo de regresión lineal de la forma:

$$y_t = \alpha + \beta x_t + u_t, \dots (1)$$

donde y_t , es la variable dependiente, α la ordenada al origen (constante), β la pendiente, x_t la variable independiente y u_t la perturbación aleatoria (Brooks, 2008).

El modelo tiene supuestos estadísticos que se deben de cumplir, para lo cual se requiere de pruebas de validación que sustenten los valores calculados (muestrales) de los parámetros α y β . Estos valores se pueden representar como $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ y respectivamente (valores estimados). Además de los parámetros, también se debe verificar el comportamiento de u_t . Si el modelo no está bien especificado, éste se tiene que ajustar introduciendo variables tipo dummy (variable con valores 0 y 1), para lo cual se tienen que volver a realizar las pruebas correspondientes hasta que el modelo sea válido. La significancia de todas las pruebas es a un nivel de confianza del 95% (López, 2014), si la tendencia es positiva significativa es de incremento, si es negativa significativa es de decremento y si no es significativa entonces no hay cambio.

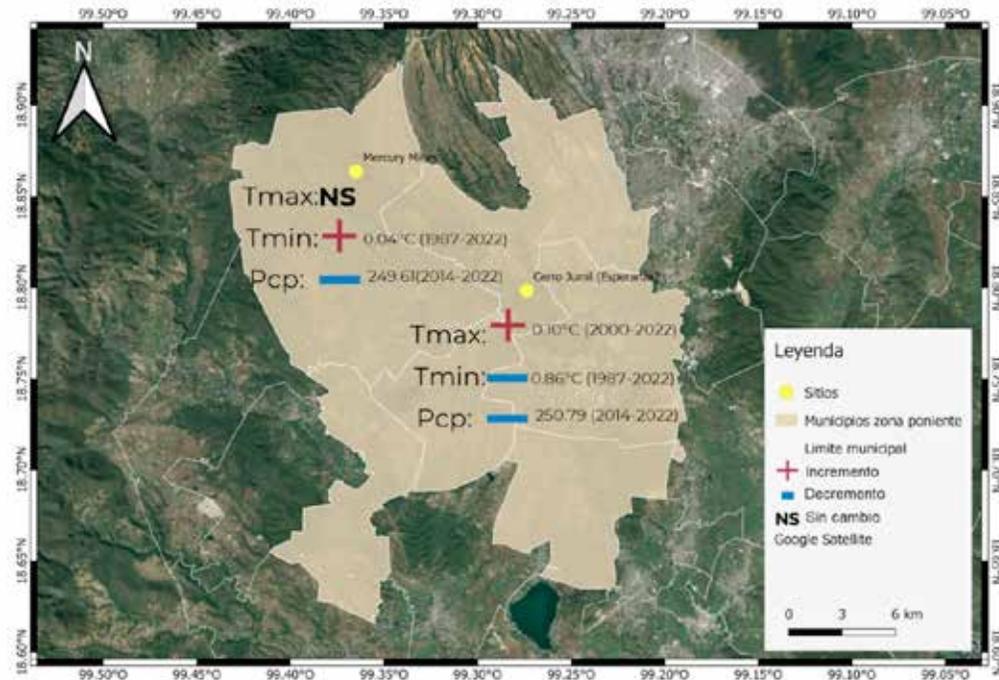


Figura 2.101. Tendencias para la Tmax, Tmin y Pcp acumulada para los sitios Cerro Jumil (Esperanza) y Mercury Mines. Elaborado con datos de Daymet (<https://daymet.ornl.gov/single-pixel/>).

En la Figura 2.101, se representa el comportamiento de las tendencias de Tmax, Tmin y la Pcp acumulada,

es decir si han tenido un comportamiento de incremento, de decremento o no han tenido cambios.

La Tmax está aumentando únicamente en el sitio Cerro Jumil (Esperanza) con una tasa de cambio de $0.005^{\circ}\text{C/año}$ en los últimos 12 años, debido a que hubo un cambio estructural en el año 2000. Respecto a la Tmin, en el sitio Mercury Mines ha incrementado a partir de 1987 ($0.001^{\circ}\text{C/año}$), ya que de 1980 a 1986 tuvo un decremento de $-0.17^{\circ}\text{C/año}$. Por otra parte, se ha tenido un comportamiento diferente en Cerro Jumil (Esperanza), ya que la Tmin está disminuyendo de 1988 a 2022 con una tasa de cambio de $-0.025^{\circ}\text{C/año}$, anteriormente la disminución fue con mayor rapidez, ya que de 1980 a 1987 el valor de la tendencia fue de $-0.127^{\circ}\text{C/año}$. En precipitación ambos sitios tienen el comportamiento de disminución con tendencia de -31.20 mm/año y de -31.34 mm/año en Mercury Mines y Cerro Jumil (Esperanza), respectivamente, a partir de 2014. Incluso de 1980 a 2013 el comportamiento era de incremento.

Por lo tanto, la temperatura está teniendo vari-

aciones en las tendencias en ambos sitios, los cambios diferenciados se pueden deber a condiciones locales, sin embargo, es evidente una disminución de precipitación a partir de 2014.

Sequía

La sequía es uno de los principales fenómenos climáticos que afecta a México, principalmente en el norte del país donde se presentan periodos prolongados secos por falta de precipitación. En el estado de Morelos se han presentado sequías, y de acuerdo con los datos del Monitor de Sequías que va del año 2003 a 2023, en los seis municipios de análisis se han presentado periodos anormalmente secos, con sequía moderada y sequía severa. Los años que han presentado periodos anormalmente secos, sequías moderadas y/o severas han sido 2003, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2015 y de 2017 a 2023. **Los periodos de sequía son consistentes con la disminución de la precipitación acumulada.**



da anual de los sitios Mercury Mines (Miacatlán) y Cerro Jumil (Esperanza) (Temixco).

En la Figura 2.102, se muestra el Monitor de Sequía en México, que nos proporciona la información sobre las regiones del país que presentan algún grado de intensidad de sequía durante el periodo de

análisis. Se observa que, en la quincena del 16 al 30 de abril del 2023, en el estado de Morelos se presentan condiciones anormalmente seco.

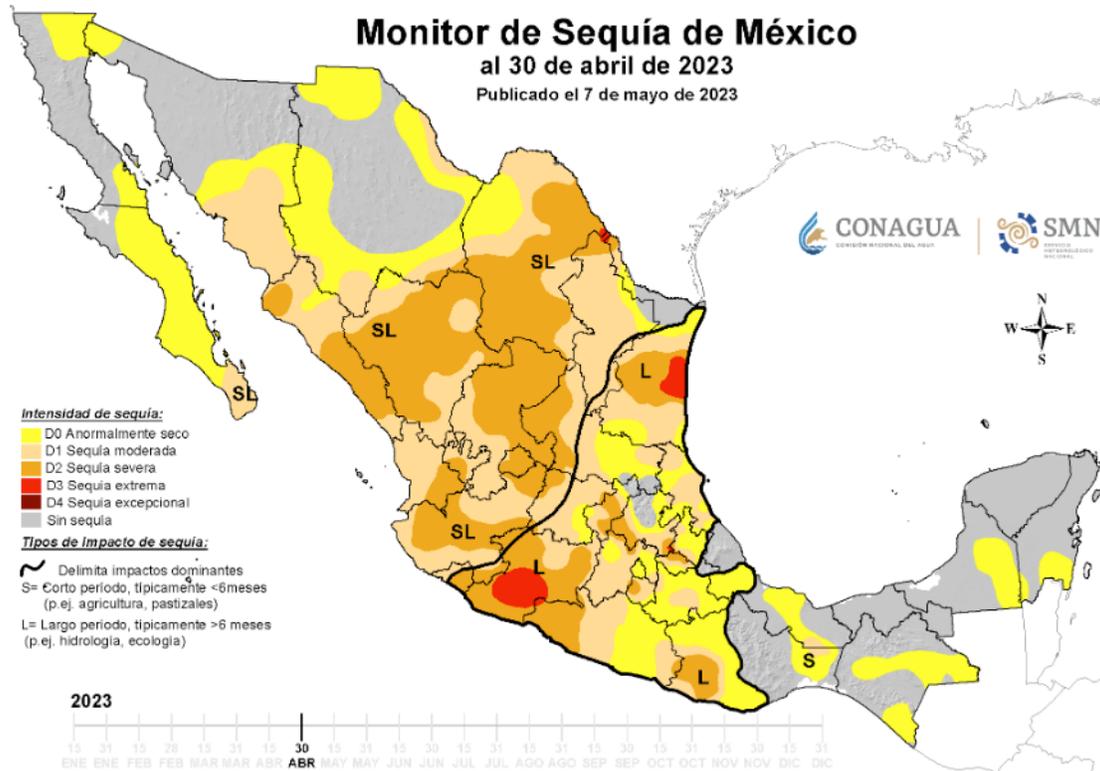


Figura 2.102. Monitor de Sequía en México, análisis al 30 de abril de 2023. Tomado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.



2.5.5 Escenarios de cambio climático

Los escenarios de cambio climático son una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basados en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construyen para ser utilizados de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y que sirven a menudo de insumo para las simulaciones de los impactos.

Esta información debe de integrarse desde una perspectiva multidimensional en combinación con otras herramientas de apoyo, por lo cual en este apartado se generaron tablas y gráficas, con el objetivo de facilitar el análisis de la información. Las proyecciones de los escenarios de cambio climático fueron obtenidas con respecto a las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) y las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP, por sus siglas en inglés). La descripción de los escenarios de cambio climático utilizados para este estudio es la siguiente (IPCC, 2021):

SSP1-RCP2.6: En el siguiente mejor escenario, las emisiones globales de CO₂ se reducen drásticamente, pero no tan rápido, alcanzando el cero después de 2050. Hay cambios socioeconómicos hacia la sostenibilidad, la temperatura se estabiliza en torno a 1.8 °C a finales de siglo.

SSP2-RCP4.5: Se trata de un escenario "intermedio". Las emisiones de CO₂ rondan los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo, pero no llegan al cero neto hasta 2100. Los factores socioeconómicos siguen sus tendencias históricas, sin cambios notables. El progreso hacia la sostenibilidad es lento, y el desarrollo y la renta crecen de forma desigual. En este escenario, la temperatura aumentaría 2.7 °C a finales de siglo.

SSP3-RCP7.0: En esta trayectoria, las emisiones y las temperaturas aumentan de forma constante y las emisiones de CO₂ se duplican aproximadamente respecto de los niveles actuales para 2100. Los países se vuelven más competitivos entre sí, orientándose hacia la seguridad nacional y asegurando su propio suministro de alimentos. A finales de siglo, la temperatura media ha aumentado 3.6 °C.

SSP5-RCP8.5: Este es un futuro que hay que evitar a toda costa. Los niveles actuales de emisiones de CO₂ se duplicarán aproximadamente en 2050. La economía mundial crece rápidamente, pero se alimenta de la explotación de los combustibles

fósiles y de estilos de vida que consumen mucha energía. Para el año 2100, la temperatura media mundial ha subido 4.4 °C.

Estos escenarios no son pronósticos climáticos, ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima futuro. Por lo cual es importante resaltar la siguiente cita: "El objetivo de trabajar con escenarios no es predecir el futuro, sino comprender mejor las incertidumbres y futuros alternativos, con la finalidad de considerar qué tan sólidas pueden ser las diferentes decisiones u opciones dentro de una amplia gama de futuros posibles." Fuente: IPCC Scenario Process for AR5 mencionado por Wayne (2013).

Los escenarios de cambio climático están basados en la información del Atlas Interactivo del Grupo de Trabajo I del IPCC (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>) y la climatología 1981-2010 del Servicio Meteorológico Nacional. Estas proyecciones fueron elaboradas por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Las variables que se analizan son la temperatura media y la precipitación, en los horizontes temporales 1981-2010 (clima histórico obtenido del SMN), proyecciones a futuro 2021-2040 (corto plazo), 2041-2060 (mediano plazo) y 2081-2100 (largo plazo). Con esta información podemos tener una idea de las condiciones climáticas que se podrían presentar en un futuro y como estas pueden variar de un escenario a otro, sin perder de vista sus alcances y limitaciones.

Temperatura

Para el análisis de la temperatura se elaboró la gráfica de las proyecciones de cambio climático de la temperatura media anual de la zona poniente de Morelos, en específico de los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla (Figura 3.103). En estas gráficas se observa que la temperatura media anual más alta del clima histórico se presenta en Xoxocotla y es de 23.4°C; la temperatura más baja es de 21.4°C y se presenta en Temixco. Estas variaciones de la temperatura están relacionadas tanto con la latitud, la altitud y el efecto orográfico.

Las proyecciones de los escenarios de cambio climático se muestra un incremento de la temperatura en los diferentes periodos de tiempo. En el corto plazo (2021-2040) se observa que la diferencia de temperaturas no es tan grande entre un escenario y otro, y esto es debido a la línea base de la que parten. Conforme se aleja en el tiempo, los cambios son mucho más significativos, y esto está relacionado con las características que definen a cada uno de los escenarios. En el largo plazo (2081-2100) la temperatura media más alta se presenta en el



escenario más drástico (SSP5 RCP8.5) en Xoxocotla, la cual es de 28.4°C. La temperatura media más baja se presenta en Temixco y va de 22.8°C en el

escenario más favorable (SSP1 RCP2.6) a 26.4°C en el escenario más drástico (SSP5 RCP8.5).

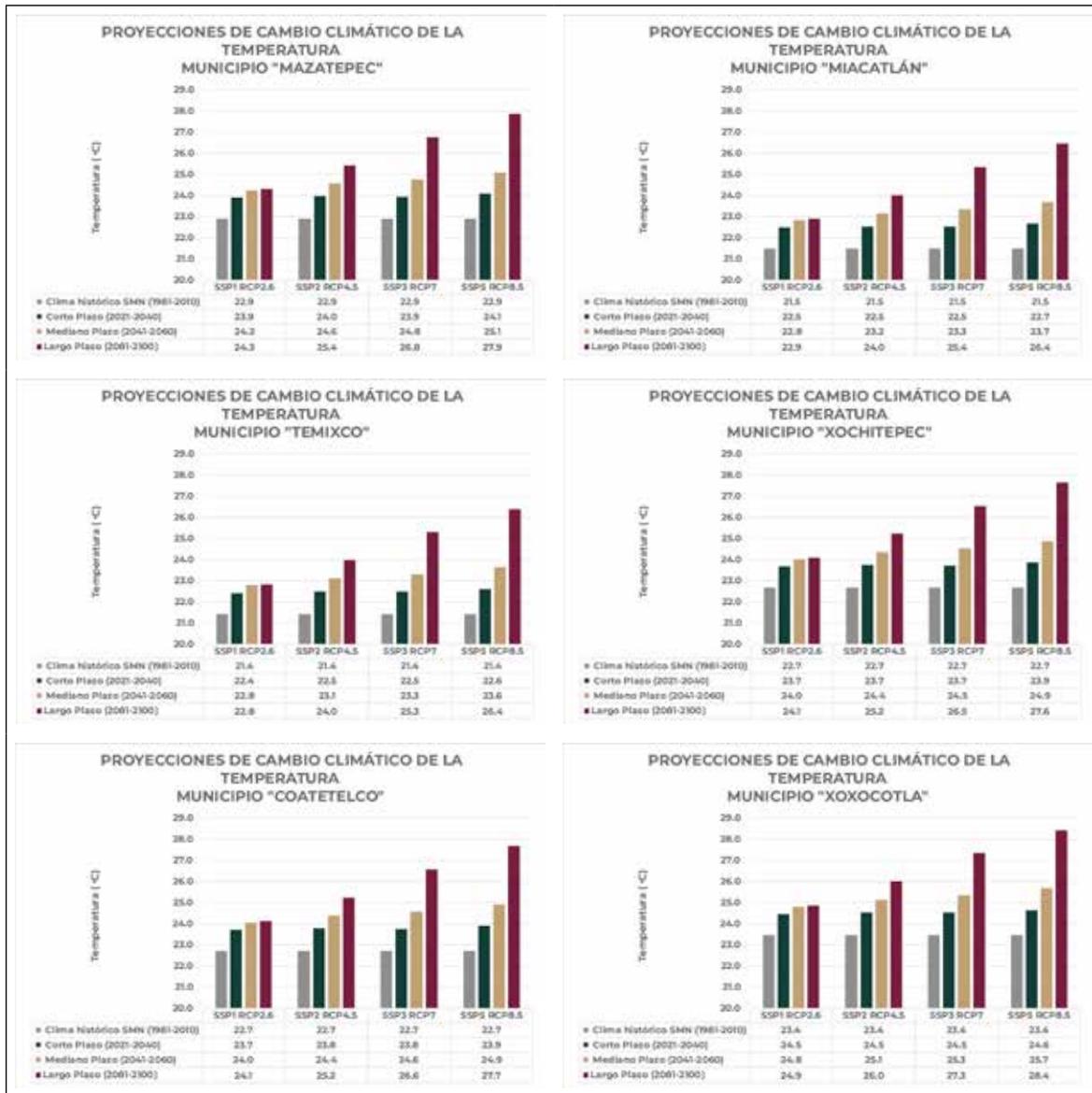


Figura 2.103. Gráficas de la temperatura media anual que muestra una comparación del clima histórico y las proyecciones de los diferentes escenarios de cambio climático en distintos periodos de tiempo de los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla.

Para poder analizar los cambios de las temperaturas con las diferentes proyecciones de los escenarios de cambio climático, se realizó la Tabla 2.35, que integra los valores de las anomalías (incrementos o disminuciones) en distintos periodos de tiempo futuro, con respecto al clima histórico. En el corto plazo el incremento de temperatura es de

1.0°C a 1.2°C. En el largo plazo, existe una diferencia marcada de la temperatura entre los diferentes escenarios, y los incrementos son de 1.4°C en el escenario más favorable y 5.0°C en el escenario más drástico.



Tabla 2.35. Anomalía de la temperatura de las proyecciones de los escenarios de cambio climático con respecto al clima histórico 1981-2010 para los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla en Morelos.

Anomalía de Temperatura (°C)					
Municipio	Periodo	SSP1 RCP2.6	SSP2 RCP4.5	SSP3 RCP7	SSP5 RCP8.5
MAZATEPEC	Corto Plazo (2021-2040)	1.0	1.1	1.1	1.2
	Mediano Plazo (2041-2060)	1.4	1.7	1.9	2.2
	Largo Plazo (2081-2100)	1.4	2.6	3.9	5.0
MIACATLÁN	Corto Plazo (2021-2040)	1.0	1.1	1.1	1.2
	Mediano Plazo (2041-2060)	1.4	1.7	1.9	2.2
	Largo Plazo (2081-2100)	1.4	2.6	3.9	5.0
TEMIXCO	Corto Plazo (2021-2040)	1.0	1.1	1.1	1.2
	Mediano Plazo (2041-2060)	1.4	1.7	1.9	2.2
	Largo Plazo (2081-2100)	1.4	2.6	3.9	5.0
XOCHITEPEC	Corto Plazo (2021-2040)	1.0	1.1	1.1	1.2
	Mediano Plazo (2041-2060)	1.4	1.7	1.9	2.2
	Largo Plazo (2081-2100)	1.4	2.6	3.9	5.0
COATETELCO	Corto Plazo (2021-2040)	1.0	1.1	1.1	1.2
	Mediano Plazo (2041-2060)	1.4	1.7	1.9	2.2
	Largo Plazo (2081-2100)	1.4	2.6	3.9	5.0
XOXOCOTLA	Corto Plazo (2021-2040)	1.0	1.1	1.1	1.2
	Mediano Plazo (2041-2060)	1.4	1.7	1.9	2.2
	Largo Plazo (2081-2100)	1.4	2.6	3.9	5.0

Para observar los cambios proyectados a futuro en el ciclo anual de la temperatura media en cada municipio, se realizaron dos gráficas. La Figura 2.104 muestra las gráficas del clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro cercano

(2021- 2040), y la Figura 2.105, muestra las gráficas del clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro lejano (2081-2100).

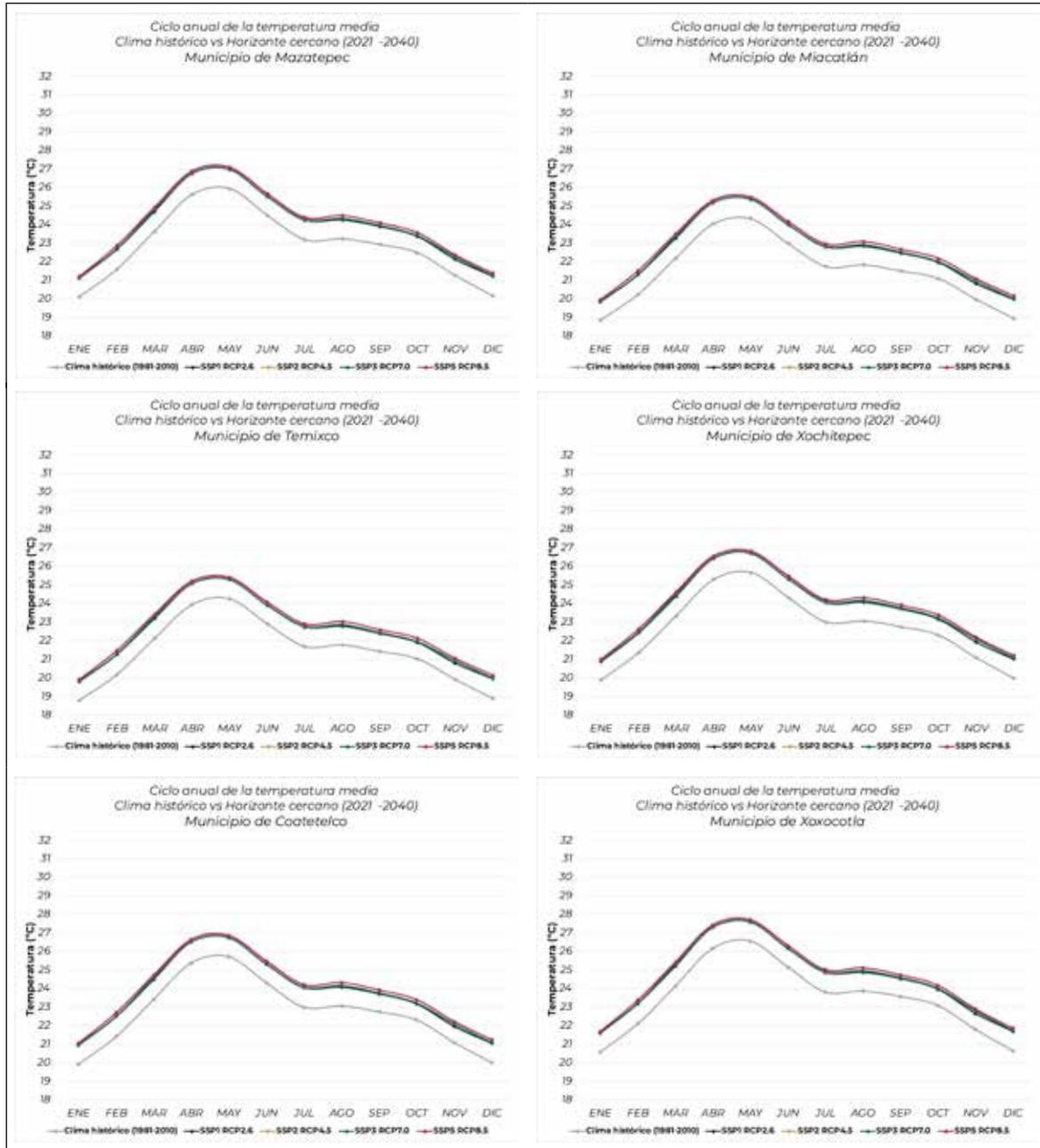


Figura 2.104. Gráfica del ciclo anual de la temperatura media que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte cercano (2021-2040) para los municipios de Mazatepec, Miaatlán.

En la Figura 2.104, se observa que en las proyecciones de los escenarios de cambio climático de la temperatura media en el futuro cercano, los seis municipios conservan un comportamiento similar al clima histórico con un incremento aproximado de 1°C. Las temperaturas medias más bajas se presentan en el invierno, siendo enero el mes más frío,

esto se relaciona con el paso de sistemas frontales dentro del territorio nacional. Las temperaturas medias más altas se presentan entre marzo y junio, siendo abril y mayo los meses con las temperaturas más altas.

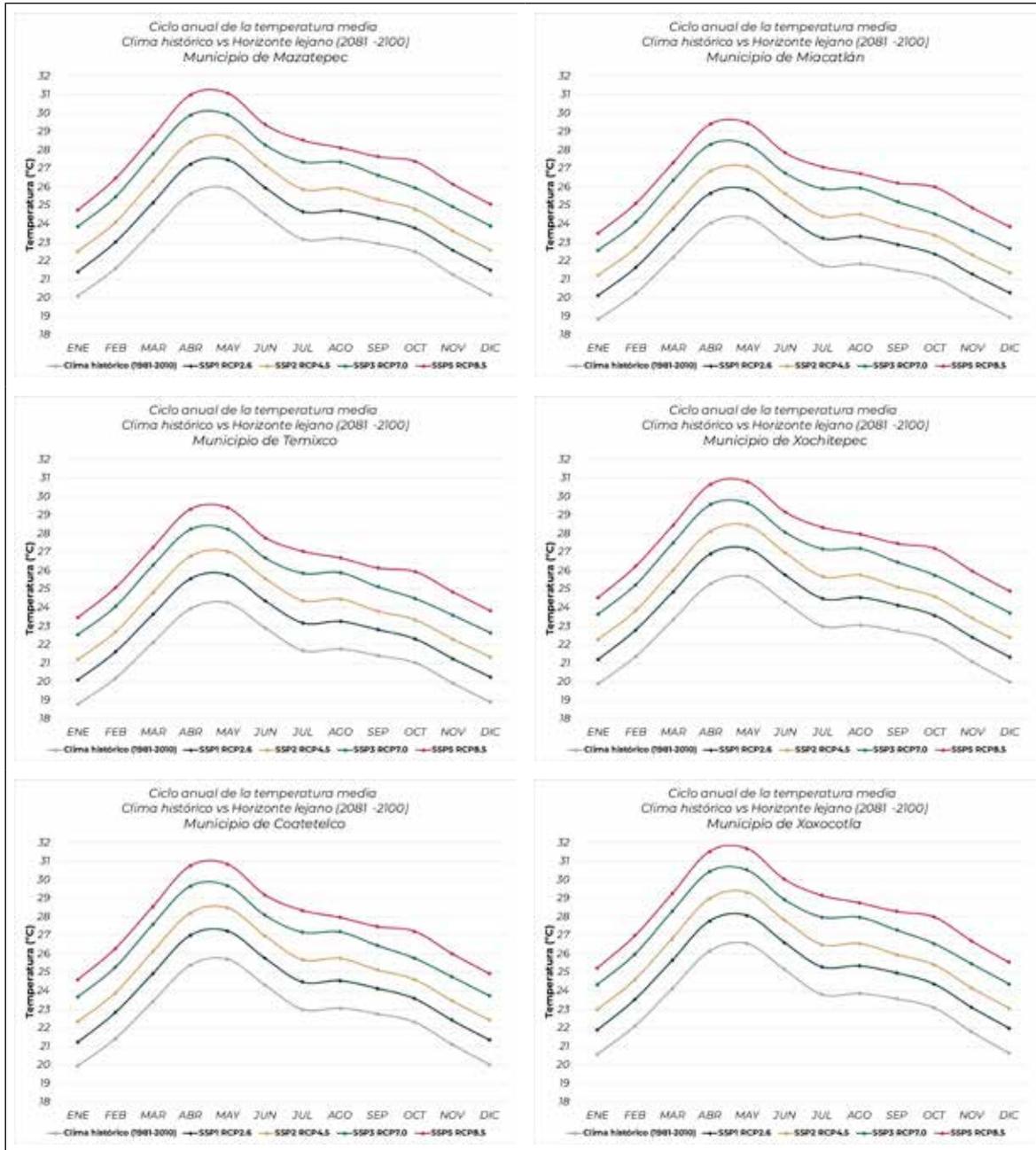


Figura 2.105. Gráfica del ciclo anual de la temperatura media que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte lejano (2081-2100) para los municipios de Mazatepec, Miaquatlán,

Así como en la Figura 2.104, la Figura 2.105, muestra un incremento de la temperatura media mensual. El escenario SSP1 RCP2.6 proyecta un incremento aproximado entre 1.3°C a 1.6°C a lo largo del año con respecto al clima histórico. El escenario SSP2 RCP4.5 proyecta un incremento de 2.3°C a 2.8°C. El escenario SSP3 RCP7.0 proyecta un incremento aproximado entre 3.5°C a 4.3°C. El escenario SSP5

RCP8.5 proyecta un incremento aproximado entre 4.7°C a 5.4°C. La diferencia de temperatura que existe entre un escenario y otro en el futuro lejano es grande y marcada, incluso la distribución de la temperatura muestra variaciones entre el clima histórico y lo que se proyecta en el futuro lejano.

Precipitación

Para el análisis de la precipitación se elaboró la gráfica de las proyecciones de cambio climático de la precipitación acumulada anual de los municipios de la zona poniente de Morelos, en específico en Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla (Figura 2.106). La precipitación acumulada anual del clima histórico más alta es de 1085 mm y se registra en Temixco. El municipio con la precipitación más baja es Xoxocotla con 911 mm. En los seis municipios se observa el efecto altitudinal y orográfico en la precipitación, lo que hace que los valores de precipitación entre un municipio y otro sean diferentes.

En las proyecciones de los escenarios de cambio climático se observa un ligero incremento en la precipitación en el escenario más favorable (SSP1 RCP2.6) en todos los municipios. En el resto de los escenarios en el futuro lejano se proyecta una disminución de la precipitación. En el escenario SSP5 RCP8.5 en el futuro lejano, se proyecta una precipitación de 969 mm en Temixco, y de 815 mm en Xoxocotla.

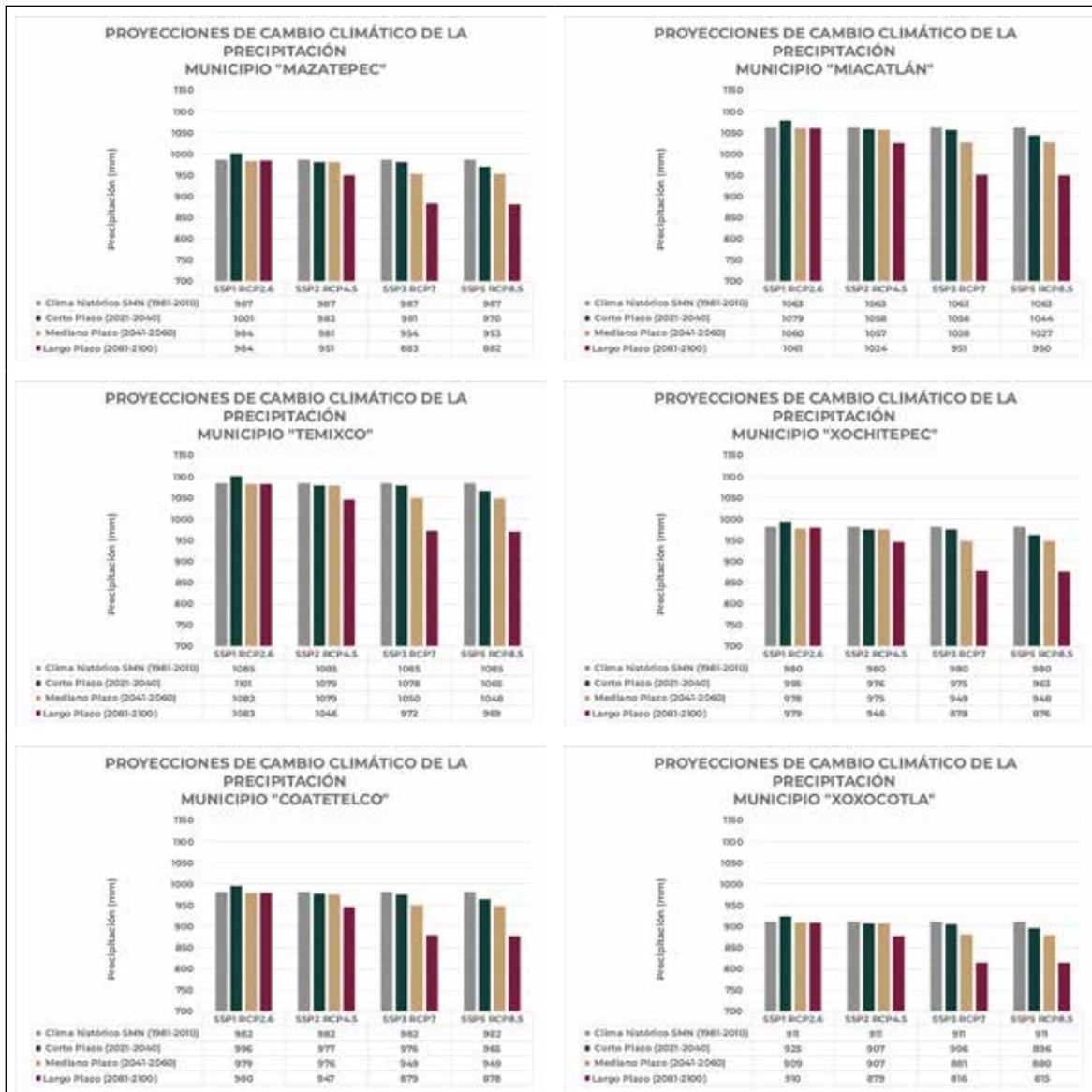


Figura 2.106. Gráfica de la precipitación acumulada anual, en la cual se muestra una comparación del clima histórico y las proyecciones de los diferentes escenarios de cambio climático en diferentes periodos de tiempo de los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Coatetelco y Xoxocotla.



Para poder analizar los cambios de la precipitación con las diferentes proyecciones de los escenarios de cambio climático, se realizó la Tabla 2.36 que integra los porcentajes de cambio de la precipitación (incrementos o disminuciones) en los diferentes periodos de tiempo futuro, con respecto al clima histórico. En el escenario SSP1 RCP2.6 futuro

cercano se proyectan incrementos de la precipitación que alcanzan hasta un 1.5 % en casi todos los municipios, con la excepción de Mazatepec en donde el incremento se proyecta de 1.4 %. El cambio más grande de la precipitación se presenta en el futuro lejano bajo el escenario SSP5 RCP8.5 con una disminución de 10.6 % en los seis municipios.

Tabla 2.36. Porcentaje de cambio de la precipitación de las proyecciones de los escenarios de cambio climático con respecto al clima histórico 1981-2010 para los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla en Morelos.

Porcentaje de Cambio de la Precipitación (%)					
Municipio	Periodo	SSP1 RCP2.6	SSP2 RCP4.5	SSP3 RCP7	SSP5 RCP8.5
MAZATEPEC	Corto Plazo (2021-2040)	1.4	-0.5	-0.6	-1.7
	Mediano Plazo (2041-2060)	-0.3	-0.6	-3.3	-3.4
	Largo Plazo (2081-2100)	-0.2	-3.6	-10.5	-10.6
MIACATLÁN	Corto Plazo (2021-2040)	1.5	-0.5	-0.6	-1.8
	Mediano Plazo (2041-2060)	-0.3	-0.6	-3.3	-3.4
	Largo Plazo (2081-2100)	-0.2	-3.6	-10.6	-10.6
TEMIXCO	Corto Plazo (2021-2040)	1.5	-0.5	-0.6	-1.8
	Mediano Plazo (2041-2060)	-0.2	-0.5	-3.2	-3.3
	Largo Plazo (2081-2100)	-0.1	-3.5	-10.4	-10.6
XOCHITEPEC	Corto Plazo (2021-2040)	1.5	-0.5	-0.6	-1.7
	Mediano Plazo (2041-2060)	-0.2	-0.5	-3.3	-3.3
	Largo Plazo (2081-2100)	-0.1	-3.5	-10.4	-10.6
COATELCO	Corto Plazo (2021-2040)	1.5	-0.5	-0.6	-1.7
	Mediano Plazo (2041-2060)	-0.3	-0.5	-3.3	-3.4
	Largo Plazo (2081-2100)	-0.2	-3.6	-10.5	-10.6
XOXOCOTLA	Corto Plazo (2021-2040)	1.5	-0.5	-0.6	-1.7
	Mediano Plazo (2041-2060)	-0.3	-0.5	-3.3	-3.4
	Largo Plazo (2081-2100)	-0.2	-3.6	-10.5	-10.6

Para observar los cambios proyectados a futuro en el ciclo anual de la precipitación en cada municipio, se realizaron dos gráficas. La Figura 2.107, muestra al clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio

climático en el futuro cercano (2021-2040), y la Figura 2.108 muestra al clima histórico (1981-2010) comparado con las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro lejano (2081-2100).

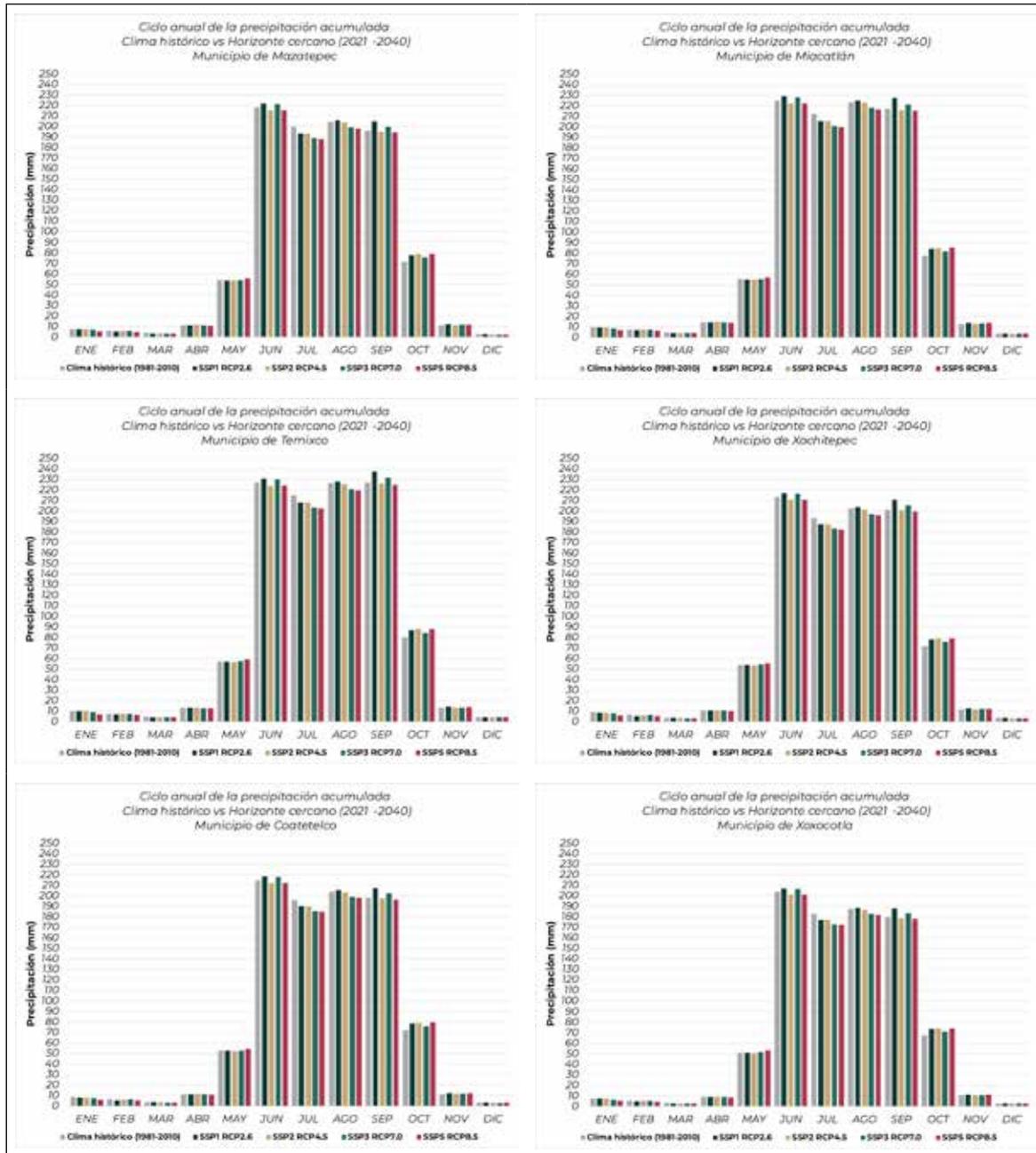


Figura 2.107. Gráfica del ciclo anual de la precipitación que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte cercano (2021-2040) para los municipios de Mazatepec, Miaquatán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco, Xoxocotla.

En la Figura 2.107, se observa claramente dos periodos, de secas que va de noviembre a abril y de lluvias que va de junio a septiembre, siendo mayo y octubre los meses de transición. Las escasas lluvias que se reciben en la temporada invernal están relacionadas con el paso de frentes fríos y sistemas de baja presión. Mientras que la temporada de llu-

vias intensas se relaciona con el paso de sistemas tropicales como son los ciclones y la humedad que inyectan al interior del país. Se puede observar un ligero efecto de la canícula o sequía intraestival entre los meses de junio y agosto.

Lo que muestran las proyecciones de los escenarios de cambio climático es que va a haber una ligera variación de la precipitación en el futuro cercano,

siendo en la temporada de lluvias donde se observan mayores cambios.

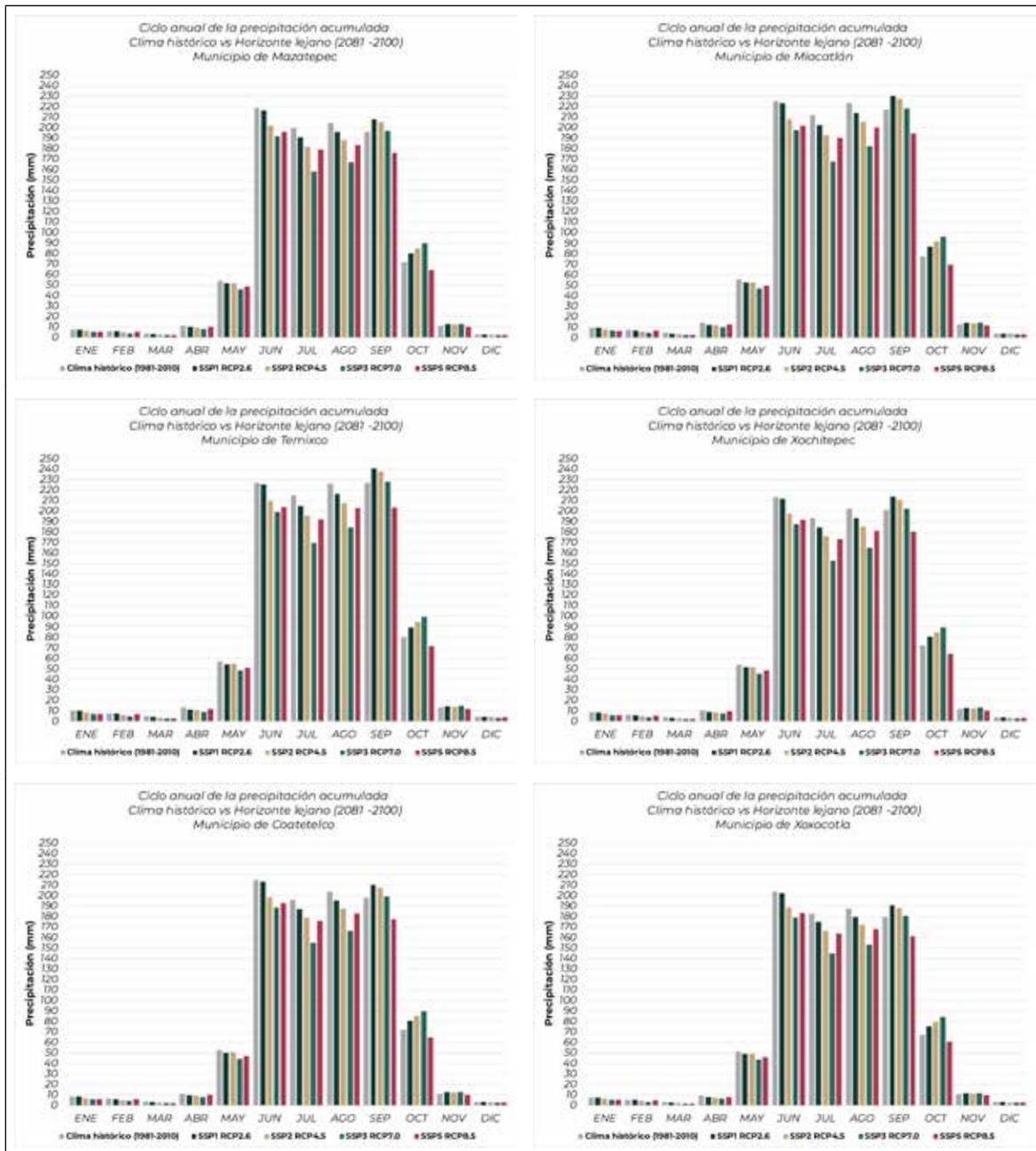


Figura 2.108. Gráfica del ciclo anual de la precipitación que muestra una comparación del clima histórico (1981-2010) y la proyección de los diferentes escenarios de cambio climático en el horizonte lejano (2081-2100) para los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla.

Las proyecciones de la precipitación de los escenarios de cambio climático en el futuro lejano (Figura 2.108), muestran pequeños cambios en la precipitación con respecto al clima histórico en

los meses de invierno. En los meses de mayo a octubre hay una mayor diferencia entre un escenario y otro, así como con el clima histórico.



3. Caracterización socioambiental

Las interacciones que se desarrollan en el ecosistema entre las especies animales, vegetales y humanas generan relaciones sociales, culturales, políticas, económicas y artísticas que posibilitan la reproducción de la vida humana en su conjunto. De manera que, las políticas ambientales de regulación del clima, el uso del suelo o el suministro de agua, entre otras, impactan directamente ya sea positiva o negativamente en los procesos sociales, porque alteran el ecosistema, transforman el paisaje, y modifican las dinámicas de convivencia entre las especies y el modo en que las personas convivimos en ese ambiente, o porque propician un ambiente radicalmente diferente que modifica las prácticas de vida tradicionales, lo que a veces se traduce en enfermedades, exclusión social o devastación ambiental.

Existen diferentes concepciones disciplinarias para aproximarse al entendimiento del medio ambiente, una definición abstracta se refiere a que, “es el fluido material dentro del cual está inmerso un sistema a través del cual se realizan los intercambios de materia y energía del mismo sistema con el exterior (Ramírez, 2023)”, otra definición afirma que es un concepto universal, “que suele entenderse como el conjunto de las condiciones que permiten la existencia y la reproducción de la vida en el Planeta Tierra (Ramírez, 2023)”.

El paradigma del entendimiento del medio ambiente se fisura cuando se confrontan epistemologías que plantean a la Tierra no como ente separado de la vida humana, sino como un hogar en donde las personas somos habitantes, en ese pensamiento persiste la consciencia de que las personas no somos las únicas en el Planeta, sino que lo compartimos con la diversidad de cada geografía en la que nos tocó crecer. En ese sentido se crea una tensión epistémica frente a las concepciones eurocéntricas que a través de la racionalidad instrumental separan al medio ambiente en recursos renovables y no renovables, los útiles para el ser humano y aquellos de los que podemos prescindir. De manera que, se encuentran dos percepciones: una, producto de las cosmovisiones de los pueblos indígenas latinoamericanos en donde los rituales para agradecer la generosidad la Madre Tierra están presentes, por ejemplo, en los ciclos agrícolas

y en el respeto que profesan frente al medio ambiente cuando es necesario tomar de éste algún bien indispensable para el sustento humano; el otro parte de la racionalidad instrumental, en la que los recursos naturales son necesarios para proveer las necesidades humanas y como algunos son no renovables e indispensables para la reproducción humana debemos procurar su existencia y preservarlos.

Ramírez argumenta que, “el olvido y el desprecio de nuestra civilización hacia la naturaleza ha colocado al hombre moderno en la ineludible necesidad de establecer un sistema de protección jurídica (2023)”. La devastación que ha generado el intensivo proceso de producción capitalista a costa del medio ambiente ha generado cambios casi irreversibles en la atmósfera, que se traducen en el cambio climático acelerado, la escasez del agua limpia, la contaminación del aire y el suelo, etc. Ante esa urgencia que pone en peligro a la vida humana, se han creado regulaciones en el marco nacional e internacional que pretenden atenuar la devastación ambiental, creando compromisos y acciones para administrar adecuadamente los recursos y proyectar niveles de producción sostenida en el largo plazo.

En el presente apéndice se explican las características socioambientales que se han construido a través de muchas décadas en el territorio de Morelos, en particular la región centro y poniente que es la que concierne a este estudio.

Aunque el término “ambiente” se utiliza para designar a todos los sistemas posibles en los que interactúan los organismos vivos, es fundamental poner el acento en lo socioambiental, porque permite explorar desde la abstracción la forma en que la sociedad interactúa con el ambiente que se comparte con todos los componentes del ecosistema, sean o no vivos, como el suelo, el aire y el agua.

En los siguientes apartados se reflejarán las interrelaciones que se han generado en el territorio morelense a causa de las actividades económico-sociales y también se reconocen prácticas de vida comunitarias que se desarrollan basadas en ejercicios de reciprocidad y equilibrio con el ambiente.





3.1 Problemáticas ambientales

Este apéndice es producto del diagnóstico participativo que se llevó a cabo en talleres de comunidades pertenecientes a la Región Centro y Poniente de Morelos. Asimismo, se retoman elementos teóricos vertidos en ponencias que dieron personas dedicadas a la investigación y a la docencia que participaron en el Foro Sociedad, Territorio y Naturaleza en el Poniente de Morelos y sus Áreas Colindantes, llevado a cabo en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, UAEM.

Los municipios que conforman la Región centro son, Cuernavaca, Temixco, Emiliano Zapata, Jiutepec, Xochitepec; mientras que la región Poniente está conformada por, Coatlán del Río, Mazatepec, Miacatlán, Tetecala.

Las problemáticas registradas en los talleres de diagnóstico participativo tienen como objetivo identificar causas de impacto socioambiental. Se problematizan dos ejes de análisis: el primero centrado en identificar cómo las actividades humanas impactan en el ambiente, de acuerdo con la visión de las comunidades, y el segundo encausado en analizar cómo la interacción recíproca con el ecosistema ha reproducido los medios y prácticas de vida comunitarias a partir del equilibrio ambiental, es decir, sin devastar pero interrelacionando la cotidianidad.

Asimismo, se plantean los impactos que actividades económicas como la minería, la industria, la agroindustria, desarrollos inmobiliarios, basureros a cielo abierto, o la deforestación impactan en el buen vivir de la población, ya que si no se actúa a tiempo para regular estas actividades la estimación del impacto social, económico, cultural, de salud y al ambiente en general será mayor que el crecimiento registrado por dichas actividades, algunas consecuencias por agentes de contaminación serían: enfermedades a especies animales que los pondrían en riesgo de extinción; derivado de los cambios de clima cambios en la producción de alimentos y enfermedades en la piel; la deforestación al alterar el ecosistema transformaría la vida vegetal; el desabasto de agua en los hogares y para el campo modificarían la dieta alimenticia, propiciando enfermedades, epidemias o el no control de plagas.

Rafael Monroy argumentó en el foro académico que en la contabilidad del Producto Interno Bruto (PIB), que registra el crecimiento económico de México, no se contabiliza el daño ambiental ni social, cuyos costos asume la población, traducié-

dose en daños a la salud. Ofelia Sotelo también señalaba que a veces las plantas tienen la capacidad de reproducirse y afrontar los cambios ambientales, pero ello no quiere decir que no absorbieran los metales pesados del ambiente que finalmente se trasladan a los alimentos.

3.1.1 Primer eje de caracterización socioambiental

La población total del estado es de 1,971,520 personas, la edad promedio de la población morelense es de 30 años, 37,569 personas son hablantes de lengua indígena, el porcentaje de población inmigrante es de 43% (INEGI, 2020).

Las actividades económicas de Morelos se concentran en: comercio con 16.9%, servicios inmobiliarios con 16.4%, fabricación de maquinaria y equipo con 9.6% y construcción con 7.4%, el resto está desagregado en los demás sectores (Secretaría de Economía).

Los municipios con mayor número de unidades económicas son Cuernavaca (26.6%), Jiutepec (14.4%), Cuautla (9.3%). De estos Cuernavaca concentra el 35.3% de personal ocupado. Mientras que los municipios más favorecidos por la industria son Cuernavaca, Cuautla, Jiutepec, Yautepec, Xochitepec, Axochiapan y Ayala (Secretaría de Economía).

Aunque las actividades señaladas generan empleo deben mantener un equilibrio socioambiental para que el impacto positivo y de beneficios a la población sean mayores que los conflictos socioambientales que produzcan, puesto que, los recursos naturales son finitos y deben someterse a protección, resguardo y usarse de forma equilibrada para el beneficio social.

Las preocupaciones señaladas por la población de las comunidades aledañas, las organizaciones sociales y académicos, recabados mediante foros participativos, convocados por la SEMARNAT, a través del IMTA, INECC, y CEDADESU junto con la UAEM a través del CIB, la Facultad de Arquitectura y agrupaciones de la sociedad civil, el Movimiento Morelense contra la Minería Tóxica por Metales, la Dimensión del cuidado de la creación de la Diócesis de Cuernavaca y el Colegio de Biólogos del estado de Morelos A.C., identificaron diferentes ámbitos de riesgo, como se señala en la tabla siguiente.



Tabla 3.1. Primer eje de caracterización socioambiental.

Problemática socioambiental	Reflexiones de la comunidad
<i>El cambio climático</i>	<ul style="list-style-type: none">• La época de calor se adelantó. Antes empezaba en abril y duraba hasta mayo, pero ahora se recorrió un mes, empezando en marzo.• Ha disminuido el agua de lluvia.• Se ha alterado la vida de la flora porque se secan los árboles.• El Río Apatlaco ya no tiene peces pues la temporada de lluvias es menor desde hace varios años.
<i>El cambio de vegetación en áreas comunes</i>	<ul style="list-style-type: none">• Desde la década de los noventa, se enraizó una planta que llaman "rosilla", que es externa del lugar, relatan que desde que llegó empezó a proliferar.• Se han extinguido plantas del campo como las verdolagas.• Han desaparecido especies de árboles y plantas que tenían uso doméstico y la nueva vegetación no tiene beneficios.• Riesgo de pérdida de plantas endémicas y con ello, de la fauna que vive de su consumo.
<i>Pérdidas económicas</i>	<ul style="list-style-type: none">• La siembra de temporal está siendo afectada porque no se alcanza a terminar el ciclo de la cosecha.• Las nuevas condiciones climáticas están forzando a los productores a cambiar la producción, de manera que se han perdido cultivos como la calabaza.• Se ha visto afectados los huertos como espacio y practica de producción de recursos alimentarios para el autoconsumo y comercialización.
<i>Agua contaminada</i>	<ul style="list-style-type: none">• Las descargas del drenaje dan a las barrancas y a los afluentes de los ríos.• Los desarrolladores inmobiliarios acaparan agua.
<i>Deforestación</i>	<ul style="list-style-type: none">• Muchas personas talan clandestinamente el cerro.• No hay organización en la comunidad para la reforestación.
<i>Actividad minera</i>	<ul style="list-style-type: none">• Cambio en el uso de suelo.• Pérdida de medio de vida, ante daños a producción agrícola de autoconsumo.• Cambio en las actividades socioculturales y la pérdida de espacios para el desarrollo de las mismas.• Riesgos de deterioro del tejido social.



3.1.2 Segundo eje, patrimonio biocultural

Bonfil Batalla escribió que, “la tierra es un ente vivo, que reacciona ante la conducta de los hombres, por eso, la relación con ella no es puramente mecánica, sino que se establece simbólicamente a través de innumerables ritos, y se expresa en mitos y leyendas (1990)”. De ahí que, la defensa del territorio se plantee como la defensa por la vida misma, la identidad, la lengua, la cultura y las cosmovisiones en donde cada elemento que habita a la Madre Tierra tiene un lugar y están interconectados. En el Foro “Sociedad, Territorio y Naturaleza en el Poniente de Morelos y sus Áreas Colindantes”, el ponente Alejandro García retrató el papel de las aves (búhos y lechuzas) en los mitos y leyendas que comparten las comunidades pertenecientes a la selva caducifolia de Morelos.

Históricamente los pueblos han construido sus cosmovisiones basados en los territorios que han habitado, algunos pueblos indígenas han establecido relaciones con el ambiente planteadas en la reciprocidad, en donde el equilibrio y el respeto a

la Madre Tierra se fundamentan como los motores de la toma de bienes que ofrecen los territorios, por eso en algunas comunidades se pide permiso al sol, a la lluvia, a los árboles para tomar de ellos, cuidando desde el saber y las técnicas tradicionales para procurar el alimento y la reproducción de esas especies.

En estas regiones de Morelos hay elementos culturales y espirituales conectados con el medio ambiente que forman parte del patrimonio biocultural, en estos ejercicios participativos se identificaron las actividades económicas que pondrían en riesgo estas intersubjetividades.





Tabla 3.2. Segundo eje de caracterización socioambiental.

Patrimonio biocultural	Reflexiones de la comunidad
Ritos y ceremonias	<ul style="list-style-type: none">· En la Cueva Santa o Coatepec, Xoxocotla y otros pueblos hacen visita ceremonial. Quiénes entran a la cueva pueden interpretar el tiempo para la siembra y cosecha. Hay seis o siete lugares "con la cruz", los pueblos se organizan para llevar ofrendas.· La forma de pronosticar y ofrendar la lluvia y el agua para la agricultura es parte de un ritual.· En la cueva sagrada donde está el ojo de agua, entran tres hombres. No está permitida la entrada a las mujeres. Se llena una cazuela que se entierra en los puntos designados. Se hace cuando el tiempo dilata de que va a llover. Y eso sirve para no dejar ir la humedad, se deja ahí para que el maíz aguante.· Cuando el pozo está rancio, la lluvia viene con basura y fuerte aire. Cuando esté clarita, va a ser una buena temporada.· En los inicios de la comunidad, de ahí se acarreamos agua. Por eso están los guardianes del pozo, el agua se mantiene por los ritos sagrados.

3.2 Antecedentes de alarma

En 1994 hay un parteaguas en el tema medioambiental, primero porque la reforma al artículo 27 constitucional, permitió la modificación del uso y propiedad de la tierra y sus recursos naturales; en segundo lugar, la entrada en vigor del TLCAN implicó la liberalización del mercado, por lo que, los campesinos fueron forzados a vincularse a una relación de producción mundial, dejaron de recibir apoyos gubernamentales a través de los cuales in-

centivaron la producción que sostuvo por décadas la soberanía alimentaria mexicana. Desde el gobierno se promovió el libre mercado, se eliminaron gradualmente los aranceles a las importaciones de alimentos provenientes de Estados Unidos y el campo quedó desprotegido, muchos campesinos se vieron forzados a migrar, en ese proceso abandonaron sus tierras, sus costumbres y su forma de vivir.





Tabla 3.3. Antecedentes de alarma.

Periodo	Proceso
1990-1991	• Se entregaron 3,096 títulos de concesiones.
1992	• Se sumaron 2,917 títulos.
2000 a 2015	• El total de concesiones mineras fue de 31,557, que representan una superficie de 63 934,736.62 hectáreas de tierra, en esos quince años se concesionó el 33.63% del territorio nacional (López, 2017).
1994	• Se instaló en la región centro y poniente de Morelos el proyecto de la empresa estadounidense Recursos Cruz del Sur, filial de Y3K Exploration Company, su primera concesión para la explotación minera fue de 696.92 hectáreas y el proyecto fue bautizado como “Esperanza”, la extensión actual abarca siete concesiones en los municipios de Miacatlán, Temixco, Xochitepec y Cuernavaca, contando con una superficie de 14,337 hectáreas.

Ante la expansión del proyecto minero, comenzó a tejerse también la organización comunitaria para hacer frente a las concesiones mineras, orientadas a defender a la Madre Tierra de la contaminación y devastación que observan se generará en su territorio en caso de que el proyecto minero avance, en el caminar de la organización en defensa de la vida, se han identificado otros factores de riesgo y contaminación, sin embargo, las manifestaciones y protestas frente al proyecto minero buscan prevenir, “la contaminación del agua y de la tierra que dejaría afectaciones para más de 200 mil habitantes que viven en las comunidades de la Región Centro y Poniente”.

Como señalaban los integrantes del Movimiento Morelense Contra la Minera, su lucha busca proteger el medio ambiente, reivindicando el derecho a vivir en un ambiente sano que les permita seguir reproduciendo el sustento de sus familias, mantener su patrimonio y cultivar como siempre lo han hecho, puesto que para los pueblos indígenas y comunidades campesinas la tierra es, “un espacio que sirve para establecer la vivienda o producir alimentos”, el territorio es necesario para ser y seguir siendo pueblos (López, 2017)”.

De acuerdo con Azamar y Téllez (2022), en el desarrollo operativo de la mina se planeaban invertir 126.6 millones de dólares en la construcción, operación y cierre del proyecto, y únicamente 9.043 millones para la protección social y ambiental, que incluía la creación de un jardín botánico, prevención, mitigación y recuperación ambiental durante el desarrollo y cierre de la mina. Además, se obtendrían 51 toneladas de oro y 585 de plata, por lo que el porcentaje que se invertiría en protección ambiental sería ínfimo (alrededor de 0.25%) com-

parado con el margen de ganancias generado por la extracción de dichos materiales. En ese sentido, la posible riqueza generada en el territorio morelense, en dónde la mayoría de la población sufrirá los estragos ambientales se quedaría con el costo ambiental, y salarios bajos como los que suelen ofrecerse en otros proyectos mineros. Además, el dinero invertido quedaría en manos de empresas canadienses.

Los dueños de la minera se han encontrado con resistencia por parte de las comunidades, quienes están preocupadas por el impacto ambiental, social y sanitario y se han articulado en los siguientes momentos clave:

En 2006 se registraron los primeros indicios de oposición, cuando la población de la comunidad de San Agustín Tetlama se opuso a seguir colaborando para la implementación de una mina, por lo que muchos decidieron dejar sus empleos y retirar su apoyo a la empresa bajo el lema: “la vida vale oro, pero el oro no vale la vida”.

Después de años de acciones de rechazo al proyecto, el 5 de junio del 2013, la SEMARNAT negó la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) emitida por la empresa, lo cual detiene las operaciones hasta que se plantee una solución a las problemáticas expuestas en ésta. Las principales observaciones de la SEMARNAT estuvieron centradas en las cantidades de agua que requeriría la mina (51% de los recursos hídricos disponibles por año de la zona) y en la subestimación del impacto que tendría la mina en los cuerpos de agua, al no contemplar a la fauna acuática en el estudio biótico.





Un mes después, la empresa Alamos Gold compró el proyecto con las concesiones de un total de casi 50 millones de dólares.

En la defensa por el territorio, la relevancia de la zona arqueológica de Xochicalco tuvo un papel fundamental como argumento crítico en contra de la mina, pues en 2017, después de que, en años previos el Programa de Ordenamiento Ecológico y Regional del Estado de Morelos (POEREM) declaró que “en todo el territorio del Estado de Morelos no se permite la minería metálica a tajo

4. DEMANDA HÍDRICA

El proyecto minero Esperanza Silver, conforme a su Manifestación de Impacto Ambiental y los reportes financieros de Alamos Gold Inc. de 2022, tiene pretendida ubicación geográfica en los cerros El Jumil y Colotepec, para la extracción de oro y plata por el método de tajo abierto, empleando explosivos para la fragmentación y extracción del suelo.

El proyecto minero considera en su diseño, una producción de 18000 toneladas diarias que serán lixiviadas con soluciones diluidas de cianuro de sodio para disolver los metales preciosos.

El proyecto contempla una duración inicial de entre 12 y hasta 15 años, que puede incrementarse si las condiciones de explotación son favorables.

- Los primeros 7 años serán para la extracción de minerales del suelo.
- Durante 12 años se realizarán los procesos de lixiviación, los cuales iniciarán al mismo tiempo que la extracción.



Figura 4.1. Vista del sitio desde la Zona Arqueológica de Xochicalco

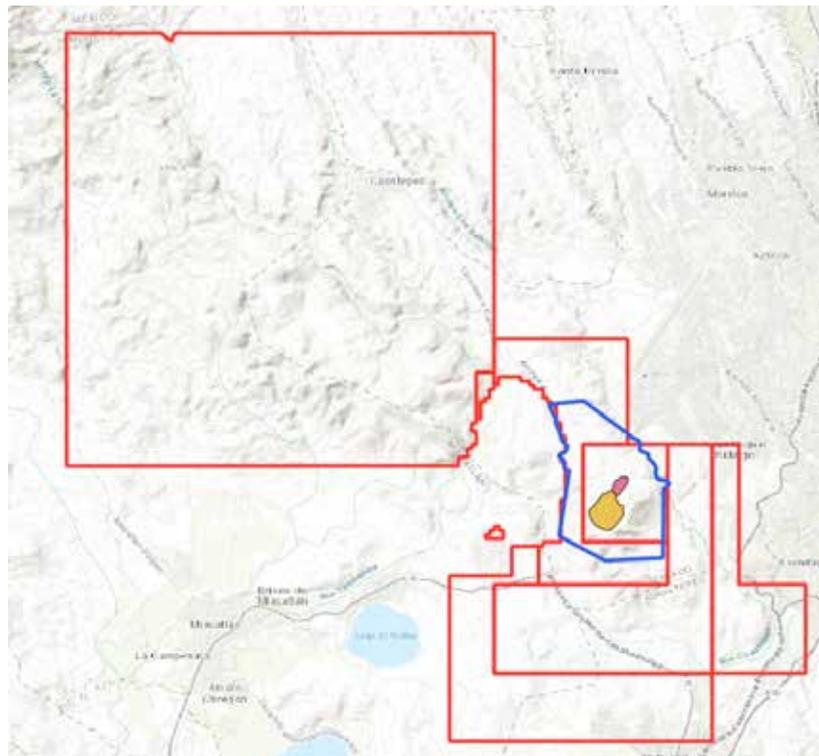


Figura 4.2. Polígono del proyecto.



4.1. Superficie del proyecto

La superficie del proyecto es de 6'969,200 m² (696.92 ha), de las cuales 4'580,500 (458.05 ha) se consideran para obras permanentes.

Dichas obras permanentes, contemplan la operación y administración de la mina, incluyendo los tajos de explotación de material, las instalaciones para el beneficio de minerales y la disposición final de los materiales inertes.

Entre los usos destinados en el sitio destacan:

- La superficie total para el desarrollo del patio de lixiviación es de 591,600 m² (59.16 ha). La capacidad del patio será de 21.6 millones de metros cúbicos.
- Se contempla que la capacidad final del patio de lixiviación alcance una capacidad final de 54 millones de toneladas.
- Dos tajos que ocuparán una superficie de 578,000 m² (57.80 ha): el primer tajo de 98,991.55 m² y 50 m de profundidad y el segundo tajo de 479,008.45 m² (47.90 ha) y 90 m de profundidad.
- Dos áreas para el depósito de tepetate; la superficie para cada uno es: 166000 m² (16.6 ha) y 248000 m² (24.8 ha) para el poniente.
- Depósito superficial de cuerpo estéril que abarcará una superficie de 844000 m² (84.4 ha).
- Depósito superficial de suelo fértil de 72000 m² (7.2 ha).

4.1.1. Método de extracción del material

El método de explotación inicia una vez identificado y delimitado el cuerpo mineral, primero retirando la capa superficial de suelo y después la extracción de tierra con contenido mineralógico.

Se reporta que este proceso tomará siete años y se realizará en dos tajos que ocuparán una superficie de 578,000 m² (57.80 ha):

- El primer tajo de 98,991.55 m² y 50 m de profundidad.
- El segundo tajo de 479,008.45 m² y 90 m de profundidad.

Para el proceso de minado se usarán voladuras, su propósito principal es la fragmentación de la roca usando explosivos de nitrato de amonio.

La explotación a cielo abierto es el método de explotación más rentable y una de las principales características de este método es la remoción de grandes volúmenes de suelo para obtener minerales de baja ley.

4.1.2. Método de lixiviación con cianuro en la extracción del oro

La lixiviación con cianuro es el principal método usado para extraer metales como el oro, plata, cobre y zinc, de minerales que contienen valores minerales en concentraciones muy bajas.

El material obtenido durante la etapa de extracción se transporta a la planta de trituración y molienda mediante camiones con capacidad de carga de 100 toneladas. En esta etapa se reduce el tamaño del material hasta alcanzar una granulometría menor



a 300 mm para que esté en condiciones de ser colocado en las pilas de lixiviación para el beneficio del mineral.

De forma general, el procedimiento de lixiviación se describe a continuación:

a) Preparación de la superficie. La preparación donde se depositarán las pilas de mineral consiste en colocar una capa de material impermeable con una pendiente tal que en la parte más baja se instalen los colectores de la solución rica en metales disueltos.

b) Depósito de mineral. El mineral producto de la quebradora de tamaño óptimo (<300 mm) es depositado en pilas en camas de 10 metros de altura y 65° para el ángulo de los taludes.

c) Lixiviación. Las camas de mineral depositado son regadas constantemente con cianuro de sodio, y en este proceso va disolviendo los metales contenidos en el mineral. La solución se mueve por gravedad, es recolectada en la parte inferior y es conducida a piletas.

d) Concentración y fundición. La solución con los metales disueltos es bombeada de las piletas hacia la planta concentradora, en esta planta se realizan procesos electroquímicos para obtener lodos con una concentración alta de los metales de interés. Posteriormente se separan los metales en un proceso de electrodeposición. Los lodos obtenidos pasan a un proceso de secado y fundición, el producto final es una amalgama de oro y plata (dore).

La solución residual se deposita en piletas y es durante la concentración que se agregan varios aditivos químicos sedimentadores y catalizadores, por lo que la solución residual contiene cianuro, metales pesados, nitritos, amoníaco, etc., que requieren de un control estricto para su disposición final.

4.2. Producción

De acuerdo con la Manifestación de Impacto Ambiental la etapa de explotación de la mina será por un periodo de siete años con una producción de 18,000 toneladas diarias de mineral que serán lixiviadas con soluciones diluidas de cianuro de sodio durante doce años (Planeación y Proyectos de Ingeniería, S.C. de C.V. S/F).

De acuerdo al Observatorio de Paisajes Sociales Mineros del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la UNAM, en el proyecto minero

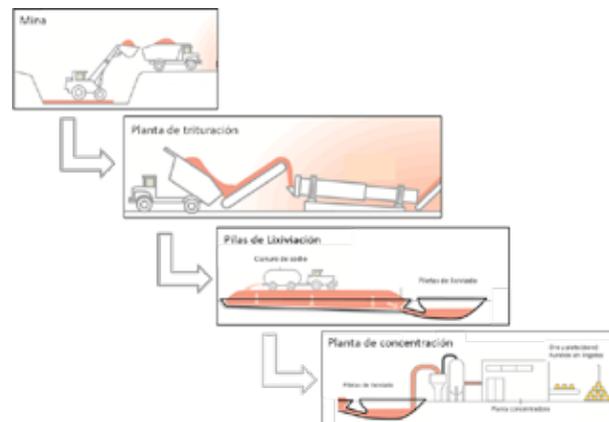


Figura 4.3. Método de cianuración en la extracción del oro.

Esperanza Oro, de la Empresa Álamos Gold INC., la estimación del monto total de reservas es 1.5 millones de onzas de oro (42,525 kg de oro) y 16 millones de onzas de plata (453,600 kg de plata), durante el periodo de vida de la mina (Observatorio de paisajes mineros, 2019).

La Manifestación de Impacto Ambiental señala que el descapote del cuerpo mineral incluye la remoción de material estéril o suelo con un volumen estimado de 6.83 millones de metros cúbicos y una densidad bruta de 1.8 toneladas por metro cúbico, por lo que se tienen 12.3 millones toneladas; asimismo, tomando en cuenta que la capacidad final estimada para los patios de lixiviación es de 54 millones de toneladas, por tanto, si se restan los 12.3 millones de toneladas de material estéril, se infiere que el contenido mineralógico se encuentra en 41.7 millones de toneladas.

En este sentido y bajo el entendido de que la minería a cielo abierto se realiza para leyes bajas de minerales, con los datos de la reserva de oro equivalentes a 42'525,000 gramos de oro y el material mineral que asciende a 41'700,000 toneladas, se puede estimar que la ley aurífera es del orden de 1.02 g/ton.

De acuerdo con el Portafolio de proyectos mineros mexicanos (SE, 2022), en lo que se refiere al oro, México cuenta con proyectos clasificados entre el 10% de los depósitos más grandes a nivel mundial como es el caso de: Pachuca - Real del Monte, La

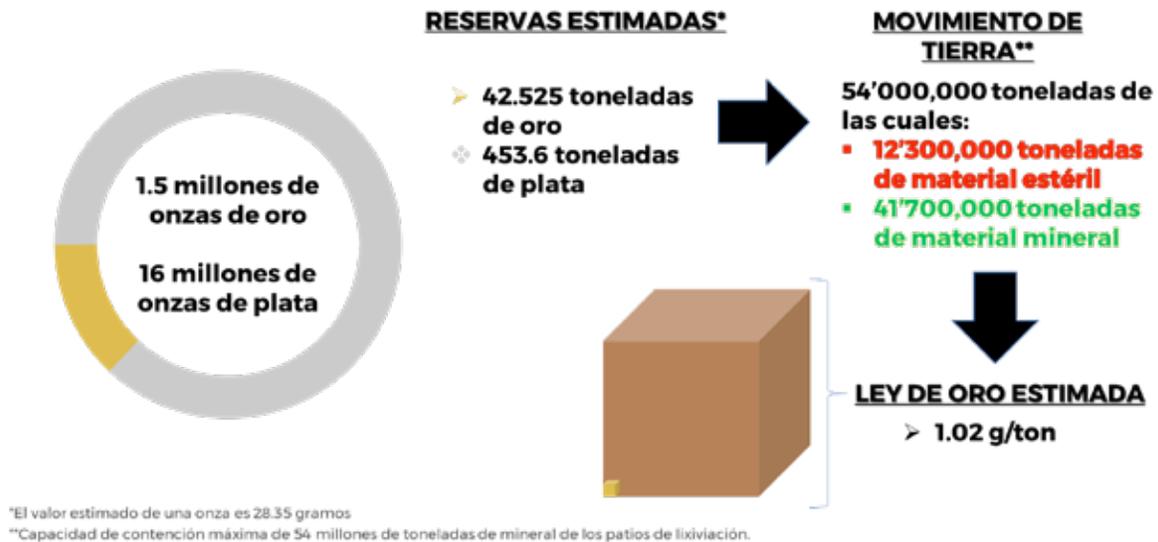


Figura 4.4. Producción de plata y oro y estimación de la baja Ley del oro.

Herradura, San Dimas, Cananea, El Arco, Guanajuato, El Sauzal; y dentro del 1% de los depósitos más grandes a nivel mundial se tiene a Peñasquito.

Asimismo, entre sus principales proyectos mineros de oro y plata, destacan las siguientes leyes auríferas:

- El prospecto El Fraile localizado en la parte norte del estado de Guanajuato, en el municipio de San Felipe con valores entre 0.15 a 2.12 g/ton.
- El proyecto Jacala en el estado de Hidalgo, con lotes mineros que cubren un área aproximada de 390 hectáreas. Para este caso la veta Humboldt se tienen leyes de 0.25 g/ton y el potencial geológico muestra leyes promedio del orden de 1.96 g/ton.
- El proyecto La Caridad se localiza en Escuinapa, Sinaloa y se estima un potencial geológico con evidencias de una estructura mineralizada tipo cizalla, del orden de 1.42 g/ton.
- El proyecto Fali se localiza en el municipio de Almoloya de Alquisiras, en la parte sur del Estado de México; el análisis muestra datos de 0.60 g/ton a 4.7 g/ton.
- La propiedad Pajarito ubicada dentro del municipio de Morelos, cerca del extremo suroeste del estado de Chihuahua, con leyes que van de 0.97 g/ton a 1.83 g/ton.
- El proyecto Guaynopa comprende lotes mineros que se localizan en el municipio de Madera,

Chihuahua con una ley promedio de 1 g/ton.

El promedio de todos los valores reportados resulta en 1.5 g/ton, valor que puede considerarse bajo aún y que justifica el uso de la explotación con tajos a cielo abierto; por otro lado, el máximo valor de 4.7 g/ton se presenta junto con un límite inferior de 0.6 g/ton, siendo el promedio de este rango que incluye el valor máximo de 2.65 g/ton.

Con base en lo anterior y considerando que la estimación realizada para el proyecto minero se realizó con la información de la Manifestación de Impacto Ambiental y no a partir de resultados de estudios de exploración y prospección, se define que la ley estimada de 1.02 g/ton es un valor conservador, motivo por el cual se declara en la MIA que el proyecto puede tener posibilidades de ampliarse dependiendo de los resultados que se vayan obteniendo en la etapa extractiva de los minerales.

4.3 Huella hídrica

El consumo de agua en los procesos mineros varía significativamente entre una mina y otra, ya que este depende directamente del método que se aplique en el proceso extractivo, así como la región donde se encuentre y otros tipos de factores. La razón de esto es debido a que, en cada lugar se tienen condiciones geológicas y climáticas distintas para cada unidad minera, aunado a la ley del

mineral extraído, por lo que la huella hídrica de los metales no es un valor constante, pero se pueden utilizar como un valor de referencia para estimar los consumos de agua utilizados en la extracción de los minerales.

Para el caso de esta industria, existen diferentes procesos antes de llegar al producto mineral final, por tanto, la huella hídrica debe calcularse en cada uno. Para el presente caso, el producto final del proyecto es el doré (mezcla impura y sin refinar de oro metálico y plata), por lo que la huella hídrica solo considera las etapas hasta el secado del concentrado.

El proceso en donde se consume el mayor volumen de agua dentro de la minería es la lixiviación con cianuro (etapa de concentración).

Existen dos tipos de métodos de lixiviación con cianuro: en pilas y en tanques, para el presente caso los procesos se realizarán utilizando pilas; en general, los impactos ambientales principales de ambos procesos son bastante similares, especialmente cuando se considera el largo plazo (Moran 2002).

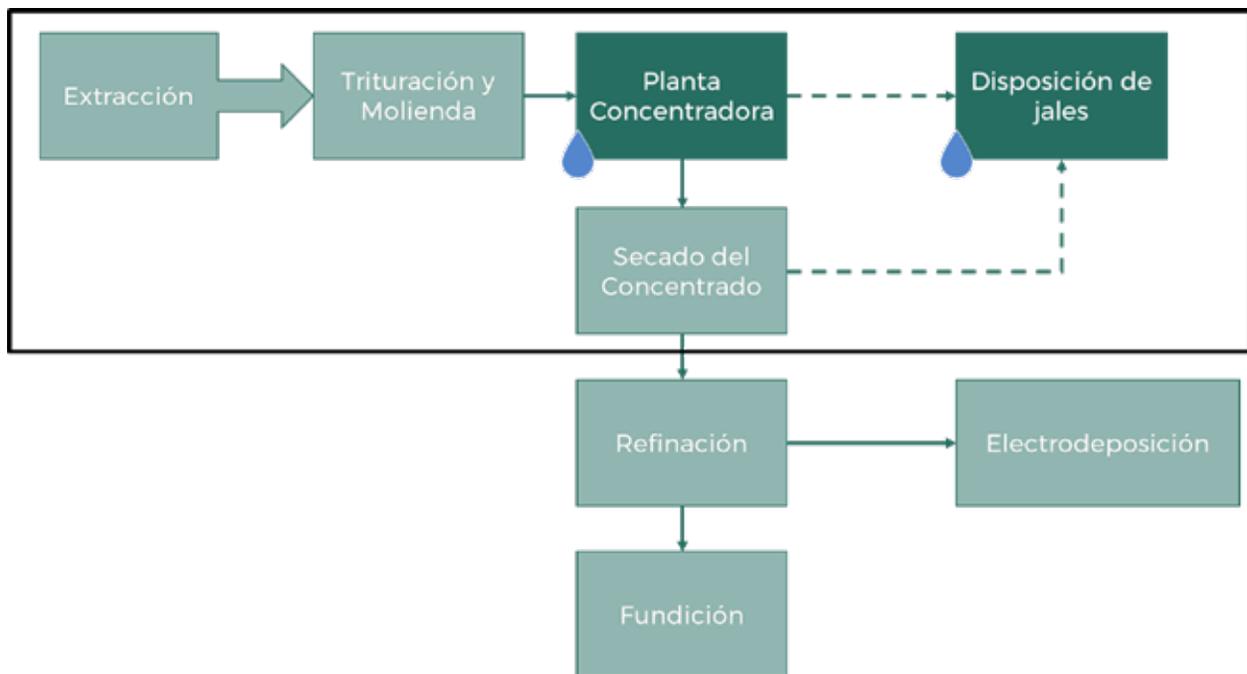


Figura 4.5. Diagrama general del proceso minero.

Fuente: Elaboración propia con base en Peña & Huijbregts, (2014).

La tecnología utilizada en este proceso es un factor predominante para que una unidad minera sea más o menos eficiente en el uso del agua. Un ejemplo de esto, se puede observar en estudios realizados en minas de oro de Colombia, donde la huella hídrica oscila de 21.79 m³/kg en Las Vetas, de 58.69 m³/kg en Segovia y 79.91 m³/kg en Suárez (Álvarez-Pugliese, et. al. 2021).



4.3.1 Consumo de agua

El valor medio de la huella hídrica reportado para el oro es de 237.09 m³/kg, mientras que el valor máximo es de 452.40 m³/kg según la literatura. Además, las reservas de este mineral que se identificaron en

el análisis de producción, ascienden a 42,525 kg, con base en esta información es posible realizar las siguientes estimaciones:

ESCENARIO HIPOTÉTICO 1.
(Valor medio de HH, producción reportada)

$$\text{Volumen de agua} = 237.09 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 42,525 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de agua} = 10'082,252 . 25 \text{ m}^3 = 10.082 \text{ hm}^3$$

ESCENARIO HIPOTÉTICO 2.
(Valor máximo de HH, producción reportada)

$$\text{Volumen de agua} = 452.40 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 42,525 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de agua} = 19'238,310 . 00 \text{ m}^3 = 19.238 \text{ hm}^3$$

Por otro lado, hay que tomar en cuenta que el valor inferido de la ley aurífera con la producción reportada resulta en 1.02 g/ton como valor conservador.

Asimismo, del análisis de los principales proyectos en México se definió un rango medio de leyes auríferas que oscila entre 1.5 g/ton y 2.65 g/ton; con estos

valores, y considerando el cuerpo total del movimiento de tierra con material mineral de 41'700,000 toneladas se pueden obtener producciones de 62,550 kg hasta 110,505 kg. En estos casos se tendrían los siguientes escenarios hipotéticos de uso de agua:

ESCENARIO HIPOTÉTICO 3.
(Valor máximo de HH, producción con ley de 1.5 g/ton)

$$\text{Volumen de agua} = 452.40 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 62,550 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de agua} = 28'297,620 . 00 \text{ m}^3 = 28.297 \text{ hm}^3$$

ESCENARIO HIPOTÉTICO 4.
(Valor máximo de HH, producción con ley de 2.65 g/ton)

$$\text{Volumen de agua} = 452.4 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \times 110,505 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen de agua} = 49'992,462 . 00 \text{ m}^3 = 49.992 \text{ hm}^3$$



Adicionalmente, se tiene que en la minería a cielo abierto el uso principal de agua es en el riego de vías internas (caminos, rampas y frentes) para reducir el polvo en suspensión. Las cifras disponibles indican que el agua utilizada en riego de caminos

puede variar entre cero y el 15% del consumo total de agua de una operación minera (Chaparro, 2009).

Con base en lo anterior, el rango de uso de agua queda definido entre 11594 hm³ a 57491 hm³.



Figura 4.6. Posibles consumos de agua para la minera.

4.3.2 Situación de los recursos hídricos en la zona

Comparando el consumo de agua requerido con máximo valor de 57.491 hm³ con la disponibilidad superficial de la cuenca del Amacuzac (-239.77 hm³) y de los acuíferos Cuernavaca (20.34 hm³) y Zacatepec (11.91 hm³), sitio donde se encuentra la concesión de la mina, se observa que solo se cuenta con disponibilidad de agua subterránea en los dos acuíferos en donde se localiza la concesión minera, en caso de usar dichos volúmenes se pone en riesgo la seguridad hídrica de la región, ya que el proceso de lixiviación hará que el agua que se usa entre en contacto con el cianuro, disminuyendo la disponibilidad de agua en términos de cantidad y calidad.

De igual forma, de acuerdo con la veda publicada en el año 1962, se declara que solo se podrá otorgar una concesión sobre las aguas disponibles si es para Uso Público Urbano, por lo que esta agua no se podrá disponer para uso minero.

Asimismo, tal como se presentó en el apartado de información hidrogeológica, en la zona propuesta para el desarrollo minero, que evidencia la presencia de flujo subterráneo en los acuíferos Cuernavaca y Zacatepec. El desarrollo de un complejo minero o mina (cielo abierto o tiro de mina), captará parte del flujo subterráneo, que afectará aguas abajo, por lo que en este caso se debe considerar como un impacto ambiental al recurso hídrico de la región en cantidad y calidad, que en caso de ocurrir se convertirá en un daño irreversible. Por otro lado, las implicaciones en la alteración de la calidad del agua subterránea serán otra componente más para considerar en los impactos.

4.3.3 Acaparamiento de los recursos agua y tierra

Por otro lado, la fase de explotación de 7 años que indica la mina es un periodo de tiempo cuestionable, así como el volumen anual de mineral a explotar, la MIA no define la superficie concesionada total, cita los títulos de concesión de los lotes (títulos de concesiones mineras número 220742, 228265, 231734, 234011, 234755 y 234784); un análisis de la zona utilizando la información de las superficies mineras concesionadas de la Secretaría de Economía, arroja una superficie total del orden de 15,000 ha, es decir, el proyecto actual de 696.92 ha, representa el 4.6% de aprovechamiento de la superficie concesionada total.

Téllez Ramírez y Sánchez-Salazar (2018), presenta los hechos de cómo fue creciendo la concesión, narrando que en 1994 la compañía minera estadounidense Exploration Company LLC (Y3K) adquirió el título La Esperanza (número 200264) para la explotación de 600 hectáreas. En 2003, esta misma empresa adquirió un segundo título llamado

Esperanza II, que abarca 1,270 hectáreas. En marzo de 2004, después de cinco años terminó vendiendo ambos títulos a la minera canadiense Esperanza Resources. A partir de ese momento y hasta junio de 2010, esta empresa continuó el muestreo y el mapeo detallado del área ubicada entre el Cerro Jumil y el Cerro Colotepec, construyó más caminos de acceso y completó 40,760 metros de perforaciones.

Es decir, durante el periodo 2004 a 2010, Esperanza Resources también se enfocó en aumentar la superficie concesionada a 15,024 hectáreas con la adquisición de los lotes Esperanza III, Esperanza IV, Esperanza V, Esperanza VI y Esperanza VII pero ahora con una vigencia de 50 años, luego de que la reforma a la Ley Minera en 1992 permitiera ampliar los periodos de concesión de 25 a 50 años, con la posibilidad de prórroga por un periodo similar.

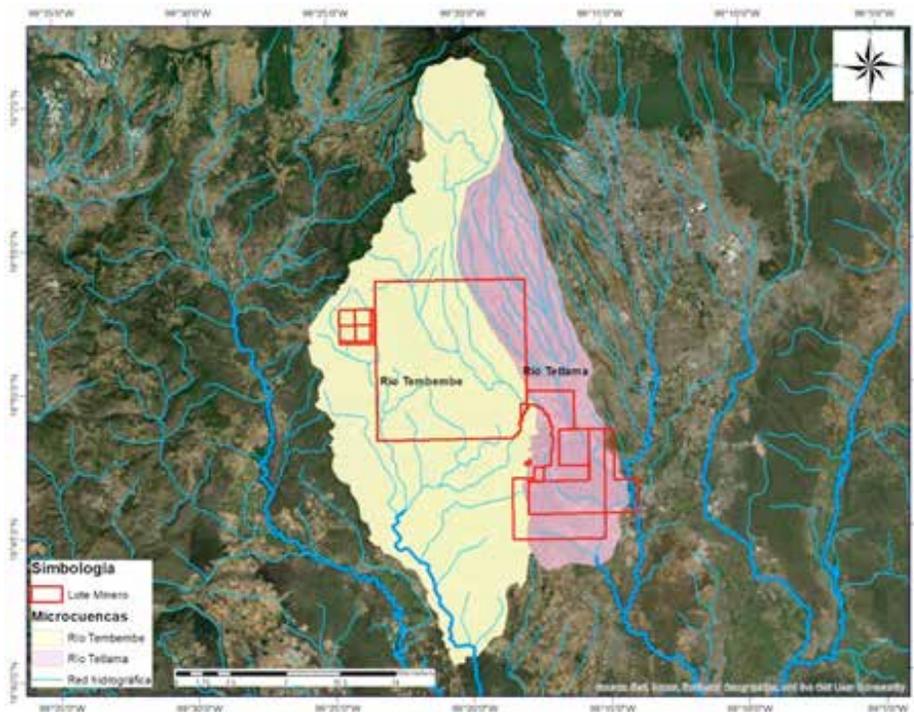


Figura 4.7. Expansión del lote Minero.



4.4 Legislación

4.4.1. Uso del cianuro

El proceso de lixiviación de minerales con cianuro utiliza alrededor del 13% del consumo mundial de esta sustancia, permite obtener compuestos cianurados de metales que son solubles en agua y son transportados por ella.

Por su bajo costo y alto rendimiento es el proceso más usado actualmente para la extracción de oro al menos en países donde no está prohibido su uso en esta actividad. Los compuestos de cianuro son altamente tóxicos, su uso es controversial y ha sido prohibido en varios lugares del mundo. El proceso es el equivalente moderno de la amalgamación de oro y plata con mercurio (también muy tóxico) masivamente usado en las minas del Potosí en Bolivia durante la época colonial.

Las comunidades afectadas por la minería están participando cada vez más con su voz en reclamos de moratorias y prohibiciones para la minería, especialmente la que emplea cianuro. Los impactos ambientales y sociales han sido tan negativos e irreversibles que cada vez es mayor la oposición ciudadana a estos modelos de desarrollo basados en la minería a gran escala.

Los países pioneros en la prohibición de cianuro en minería fueron: la República Checa en el Artículo 30 de su Ley minera de 1991, modificada en 2000 y 2002 y Turquía mediante las Resoluciones 5348/1996 y 2311/1997.

Otros países que prohibieron o limitaron la lixiviación con cianuro son:

- a) Costa Rica. Decreto ministerial publicado el 12 de junio de 2002 que estableció una moratoria en la minería de oro a cielo abierto.
- b) Alemania. Decreto de 2002.
- c) Argentina. Prohibición en diferentes provincias: Chubut, Esquel, Córdoba, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Río Negro, El Bolsón, Maquinchao, Ramos Mexía, San Carlos de Bariloche, Sierra Colorada, San Luis y Tucumán.
- d) Filipinas. Provincia Oriental Mindoro, suspensión por 25 años de proyectos mineros desde abril de 2002.
- e) Grecia. Se han prohibido varios proyectos mineros.
- f) En Alaska, varios consejos municipales y de aborígenes consideran que la minería atenta contra su

estilo de vida. Colorado, Cinco condados, Summit County el 27/01/23004. Montana, por iniciativa popular en 1998.

A raíz de desastres vinculados al uso de cianuro el Parlamento Europeo en 2010 recomendó prohibir el uso de cianuro en la minería (Lixiviación con cianuro, 2012).

Un texto de referencia sobre la minería a cielo abierto que utiliza cianuro es "Declaración de Berlín sobre la contaminación por cianuro en minas de oro", en donde se explica en parte las razones que llevaron a Alemania a prohibir el cianuro para estos fines (Kore et al, 2001).

En la literatura se han presentado discusiones sobre rupturas accidentales en estanques que contienen cianuro residual. Estas filtraciones han causado la muerte de seres humanos y han causado estragos en los sistemas ecológicos circundantes, incluyendo plantas y animales. La industria minera a menudo dice que no habrá fugas de las instalaciones modernas de relaves porque estarán revestidas con membranas sintéticas, por lo tanto, son a menudo llamados "instalaciones de descarga cero", lo que implica de manera declarativa que no habrá fugas.

Todos los revestimientos permiten un grado de filtración hasta cierto punto, esto es bien reconocido dentro de la comunidad profesional. Estas fugas pueden ser muy significativas si los revestimientos no se instalaron correctamente. Los revestimientos sintéticos para tales instalaciones de lixiviación normalmente se utilizan equipos mecánicos pesados que pasan sobre los revestimientos, asimismo el tránsito de camiones de 100 toneladas aumenta el riesgo de daño en los materiales sintéticos. Incluso cuando se instala correctamente, pequeñas cantidades de fugas pueden producir impactos significativos si pasan largos periodos de tiempo. El control de posibles fugas se vuelve aún más difícil una vez que la mina cierra. Puede requerir de alguna forma de actividades de control de flujos que impacten cuerpos de agua continúen a perpetuidad después del cierre de la mina, (Moran, 2001).



4.4.2. Uso del agua

Para el momento en que se hicieron los permisos de autorización de este proyecto, en la Ley Minera se encontraban evidentes problemas de inconstitucionalidad como lo refiere Cárdenas (2013) en 13 puntos en los que destacan: Las modificaciones a la Ley Minera en 1992 incluyen El Artículo 6° que dispone: “La exploración, explotación y beneficio de los minerales o sustancias a que se refiere esta Ley son de utilidad pública, serán preferentes sobre cualquier otro uso o aprovechamiento del terreno”, esto limita a las comunidades su participación e incidencia en la toma de decisiones favoreciendo la actividad de ciertos grupos en la industria minera del país, y se deja en segundo plano aspectos centrales para las sociedades como la protección a la salud y el medio ambiente. Otro cambio en la Ley Minera fue en el artículo 19 fracción V, que las concesiones mineras confieren derecho a “Aprovechar las aguas provenientes del laboreo de las minas para la exploración explotación y beneficio de los minerales o sustancias que se obtengan y el uso doméstico del personal empleado en las mismas”, sin la necesidad de contar con una concesión otorgada por Conagua. Es evidente que se trata de derechos superiores al de la propiedad privada o al social, porque pueden disponer de los derechos de propiedad de terceros —es cierto que a través de los cauces legales—, incluso a la expropiación sin que exista causa de utilidad pública, sino sólo negocios y beneficios particulares. Además, tienen derecho a las aguas provenientes del laboreo —sin pagar contribuciones por esa agua que es de la nación—, y el derecho preferente a obtener concesiones sobre éstas (con respecto a las últimas sí pagan derechos).

El Artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su párrafo sexto define: “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines”.

Asimismo, el Artículo 27 de la CPEUM en el párrafo tercero refiere que: “La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribu-

ción equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana”. Es decir, el “interés público” está subordinado al beneficio social, por otro lado, la utilidad pública referida en el artículo 6°³ de la Ley Minera aplica lo mismo, en términos que la CPEUM es la carta magna y norma fundamental, establecida para regir jurídicamente al país.

³ A partir del 8 de mayo de 2023, se publica en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Minera, donde este artículo queda derogado, es decir, la actividad minera no es prioritaria.





5. CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO

El cambio en la cobertura vegetal y de uso de suelo es importante para evaluar la deforestación y degradación ambiental provocadas por actividades antropogénicas. El objetivo principal es describir y analizar los cambios de uso de suelo en el estado de Morelos del periodo de 2002 a 2022, a partir de una técnica de clasificación supervisada, mediante el software QGIS 3.22, en la cual se logra distinguir los cambios de cobertura vegetal en los años 2002, 2013 y 2022 que ha tenido como consecuencia las concesiones mineras al poniente del estado.

5.1. Cubierta de suelos

La cubierta del suelo o cobertura vegetal puede definirse como la capa superficial del sustrato edáfico. Según la definición de la FAO, la cubierta vegetal o cubierta del suelo es "la capa de vegetación que cubre el suelo, incluyendo plantas herbáceas, arbustos y árboles pequeños, así como también la hojarasca, ramas y otros residuos vegetales" (FAO, 2007).

La SEMARNAT (2021) define la cobertura del suelo como "la distribución espacial de los diferentes tipos de superficies terrestres que cubren la Tierra, tales como cuerpos de agua, áreas urbanas, tierras agrícolas, pastizales, bosques, selvas, matorrales, entre otros".

La cobertura vegetal desempeña funciones importantes en los ecosistemas terrestres, y también puede influir en la cantidad de luz solar que llega al suelo, afectando la temperatura y la humedad en el área circundante. (Hunt et al., 2004). El monitoreo de los cambios consecuencia de las actividades humanas, es necesario para ejercer acciones que ayuden a disminuir los cambios de cobertura vegetal con el fin de preservar los ecosistemas y los efectos del cambio climático.

Cambios en la cobertura del suelo

El presente análisis tiene como objetivo visualizar los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo en la zona de las concesiones mineras ubicadas al poniente del estado de Morelos. La medición parte de la clasificación de las cubiertas vegetales tomando como insumo imágenes satelitales en tres temporalidades importantes para la zona. El primer corte es 2002, año en que se otorgaron las concesiones y aún no entraban en operación las minas. Los dos siguientes cortes se eligieron con base en marcar una temporalidad de 10 años, siendo 2013 y 2022 las dos fechas para medir los cambios.

Procedimiento metodológico

Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto y gratuito, QGIS versión 3.24 mediante el plugin de Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2021). Para la obtención de las imágenes satelitales se utilizaron dos servicios de satélites, para el año 2002 se utilizó el satélite Landsat 7, mientras que para el año 2013 y 2022 se utilizaron los recursos obtenidos del satélite Landsat 8.

La combinación de diferentes bandas satelitales permite la generación de imágenes compuestas de la superficie terrestre con una gran cantidad de información que puede ser utilizada para una amplia gama de aplicaciones, desde la planificación urbana hasta la gestión de recursos naturales y la agricultura de precisión. Es fundamental conocer las características técnicas de los satélites y las bandas satelitales para seleccionar la imagen satelital adecuada para una aplicación específica.



Clasificación

Se empleó un método conocido como “clasificación no supervisada”, un proceso de análisis de datos que utiliza algoritmos de aprendizaje automático para clasificar los diferentes objetos o características presentes en una imagen satelital en diferentes categorías predefinidas.

- Desprovisto de vegetación
- Cultivos y pastizales
- Asentamientos humanos
- Cuerpos de agua

Procesamientos y homologación de clases

Para lograr tener uniformidad en los resultados obtenidos se categorizaron las cubiertas de las tres temporalidades en las siguientes clases:

- Vegetación abundante
- Vegetación sutil

Para las últimas dos categorías no se registraron cambios sustanciales en la clasificación de los últimos años, por lo que la medición para estas clases no se tomará en cuenta, sino que se tomarán los polígonos establecidos por INEGI. Para una mayor comprensión del proceso realizado se detallan las actividades desarrolladas por año indicando los productos cartográficos obtenidos.

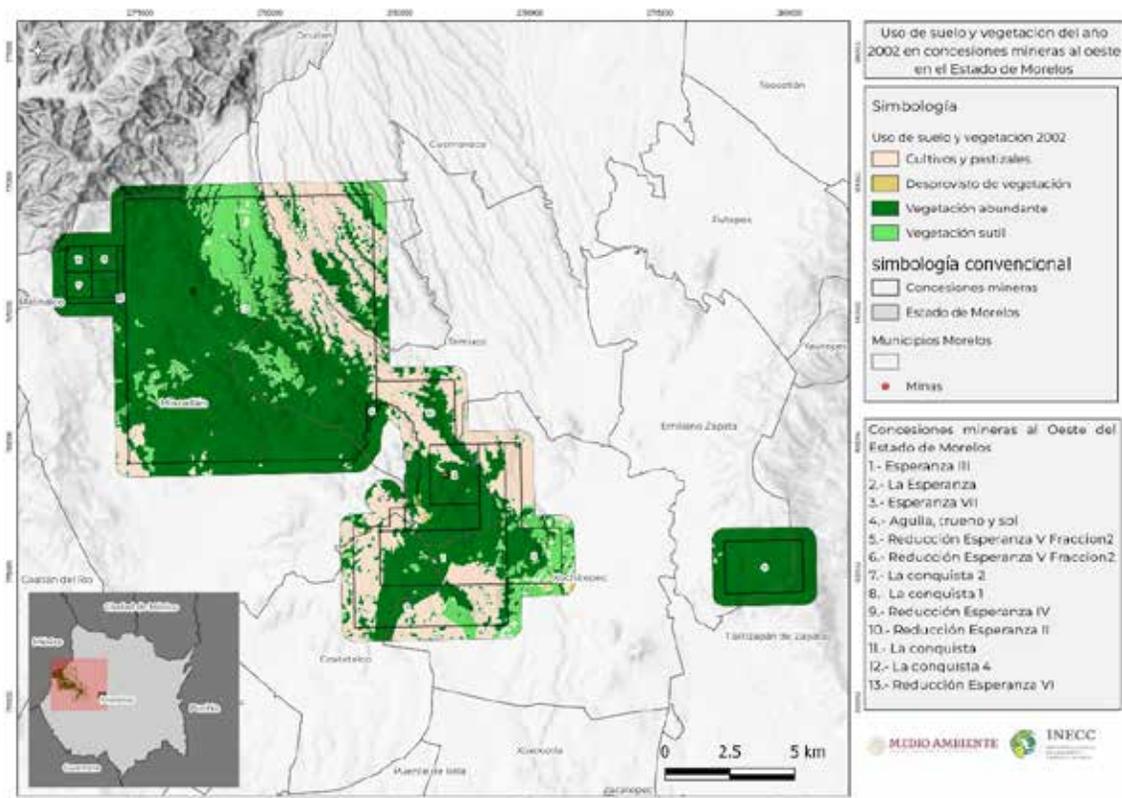


Figura 5.1. Mapa del uso de suelo y vegetación del año 2002 al poniente de Morelos. Fuente: Elaboración propia con datos del satélite Landsat.

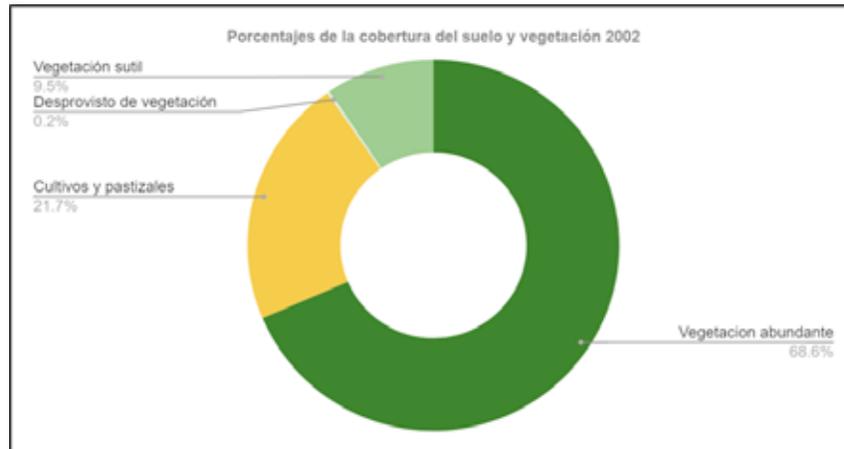


Figura 5.2. Gráfica con los porcentajes de uso de suelo y vegetación del año 2002.

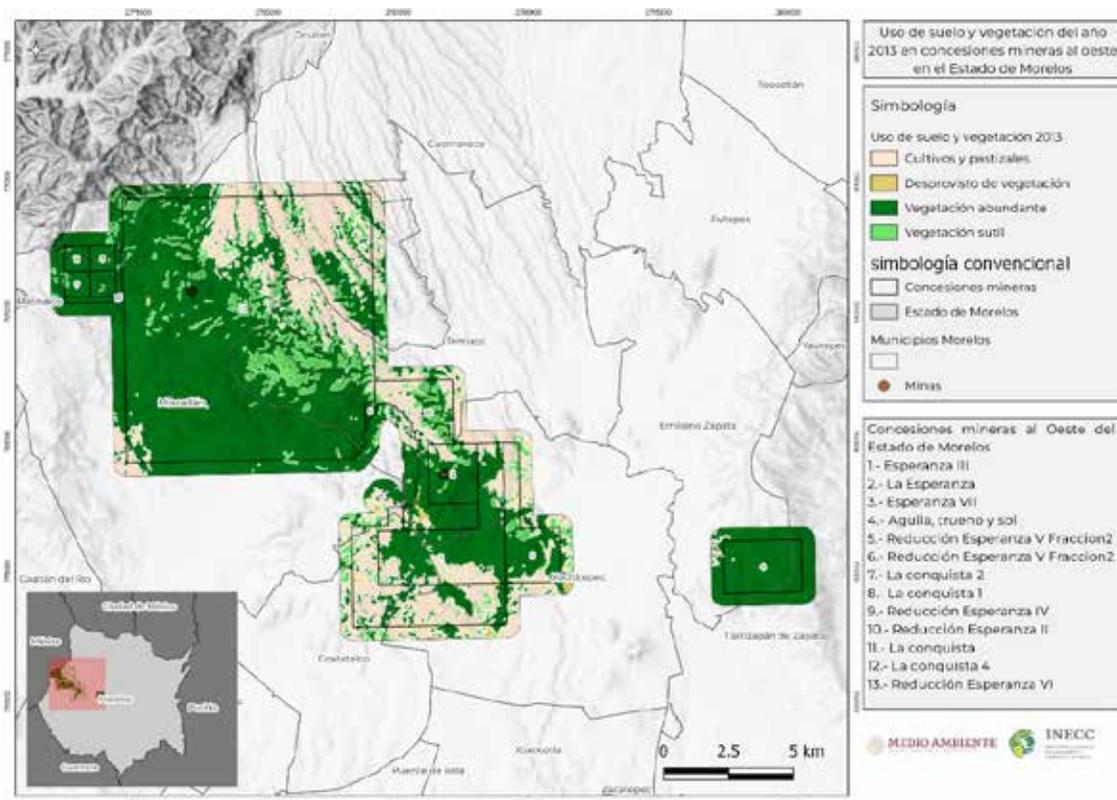


Figura 5.3. Mapa del uso de suelo y vegetación del año 2013 al poniente de Morelos. Fuente: Elaboración propia con datos del satélite Landsat.

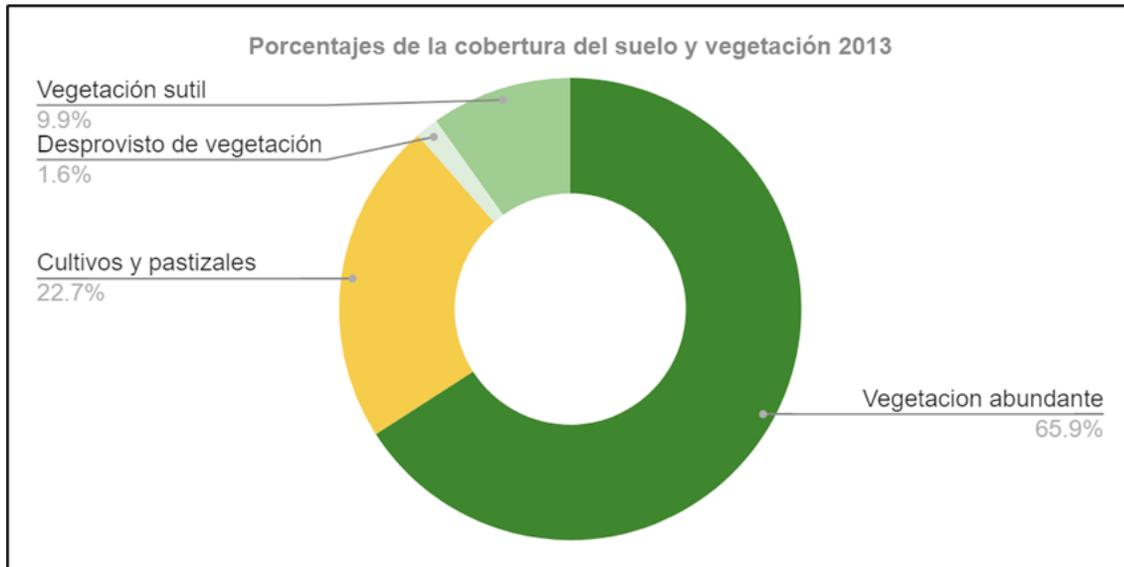


Figura 5.4. Gráfica con los porcentajes de uso de suelo y vegetación del año 2013.

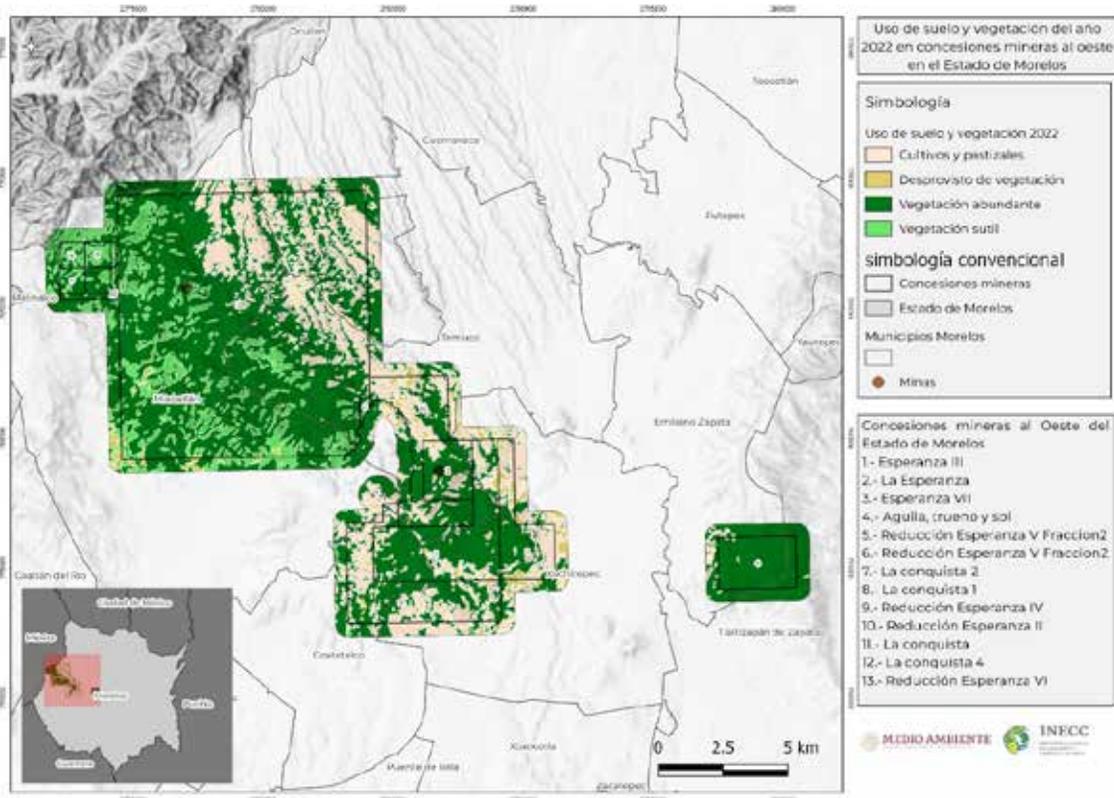


Figura 5.5. Mapa del uso de suelo y vegetación del año 2022 al poniente de Morelos. Fuente: Elaboración propia con datos del satélite Landsat.

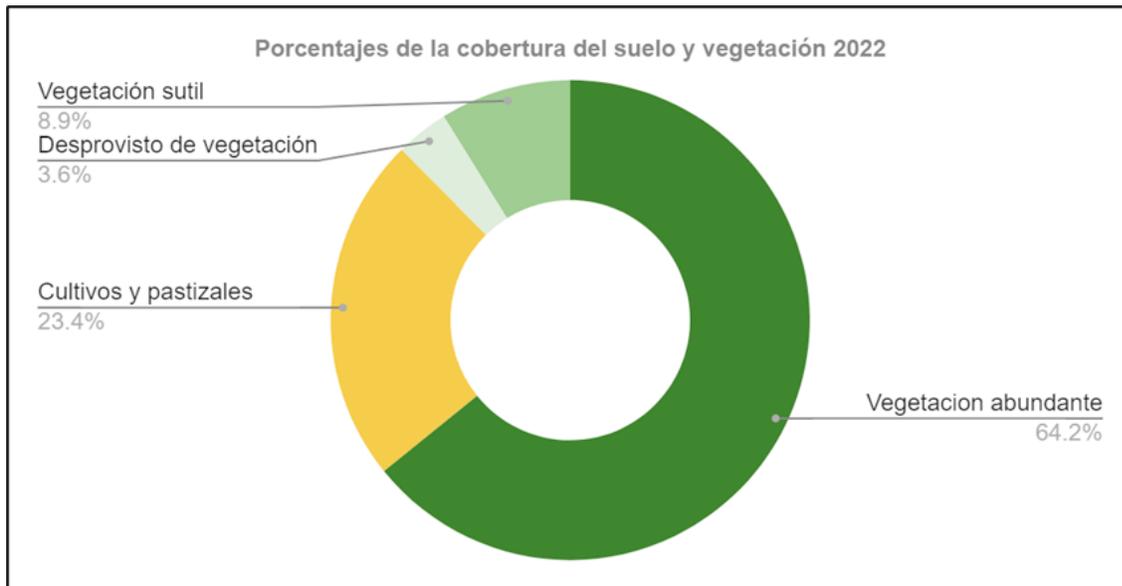


Figura 5.6. Gráfica con los porcentajes de uso de suelo y vegetación del año 2022.

5.2. Clima y cambio de uso de suelo al poniente del estado de Morelos

El cambio de uso de suelo es un fenómeno que es constante, dinámico y comúnmente se asocia a un fenómeno o actividad humana imperante. En este caso se intenta buscar una relación de la minería y sus afectaciones a la vegetación de la zona.

Sin embargo, los cambios para las tres temporalidades en los polígonos de las concesiones mineras han sido pocos, como se puede ver en los porcentajes de las gráficas. Esto no quiere decir que no existan afectaciones a la vegetación o que no haya un cambio significativo por la actividad minera, sino que es posible que estos fenómenos de cambio estén ligados a otros procesos o que los cam-

bios y afectaciones sean un fenómeno que está próximo a ocurrir en los próximos años.

Si bien ha habido cambios en todas las categorías de cobertura, tal vez el más significativo es en "Vegetación abundante" donde la vegetación disminuyó en un aproximado de 7 km² en los 20 años de diferencia entre las tres temporalidades. Otra clase que aumentó su área es la catalogada como "área desprovista de vegetación" en donde aumentó aproximadamente 6.5 km² en los mismos años. Lo mismo pasa para los cultivos que fueron ganando más terreno con el paso de los años.

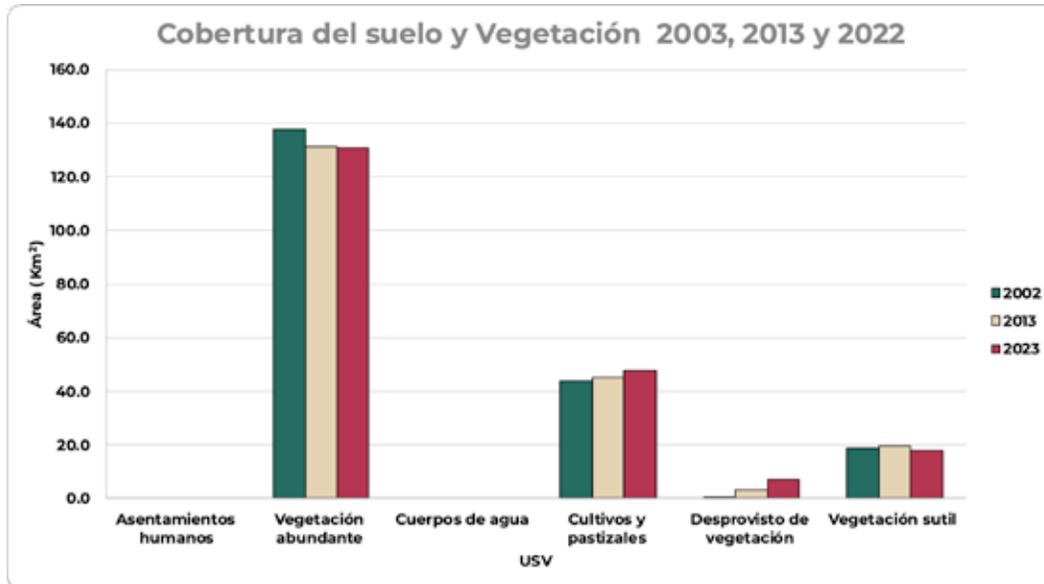


Figura 5.7 Comparativa de los usos de suelo y vegetación entre las tres temporalidades.

Tabla 5.1. Área en kilómetros cuadrados por tipo de uso de suelo y vegetación en las tres temporalidades

USV	2002	2013	2022
Asentamientos humanos	0.0	0.0	0.0
Vegetación abundante	137.9	131.2	131.0
Cuerpos de agua	0.0	0.0	0.0
Cultivos y pastizales	43.7	45.1	47.8
Desprovisto de vegetación	0.5	3.2	7.3
Vegetación sutil	19.0	19.7	18.1

Con base en el análisis de cambio de uso de suelo y vegetación mostrados en la Tabla 5.1 Se observa una disminución de 7 km² de vegetación abundante y un aumento de cobertura desprovista de vegetación de manera similar, mientras que el área destinada a cultivos y pastizales muestran un aumento de 4 km² en las concesiones mineras del poniente del estado de Morelos.



5.3. Cambio de uso de suelo en el Estado de Morelos

Contexto general de cambio de uso de suelo en Morelos

Se hizo una búsqueda de bibliografía relacionada a los cambios de cobertura para el estado de Morelos. En un estudio llamado “Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México” se identificaron 14 clases de coberturas vegetales y usos del suelo, que incluyen cuerpos de agua, los cuales no se consideran en el análisis y se registran dos coberturas que ganan terreno: la agricultura, que muestra un incremento de 1 373 ha y urbano, con 189 ha; los tipos de vegetación que indican más cambio son selva baja (1 841 ha) y los bosques, con 858 ha. En dicho estudio se observa que, la dinámica del cambio es compleja y se identifican factores socioambientales y de tenencia de la tierra como las causas principales.

Asimismo, el estudio, menciona que los datos satelitales multiespectrales de LANDSAT se usaron para mapear y analizar los cambios de uso de suelo producidos en los años 2000 y 2009, mediante el software ESRI ARCMAP 10; y se empleó la técnica de clasificación supervisada, basada en el algoritmo de máxima verosimilitud. Es por ello que la información sobre el uso de cobertura vegetal y uso del suelo así como la identificación de las posibilidades para su uso óptimo, obtenida con per-

cepción remota y sistemas de información geográfica, es esencial para la selección, planificación y ejecución de planes de ordenamiento territorial, desarrollo, conservación y aprovechamiento de recursos naturales, con el propósito de satisfacer la creciente demanda de las necesidades básicas de la humanidad, así como su bienestar (Escandón et al., 2018).

Cambio de cobertura entre 2000 y 2009

En el análisis se muestra que los principales tipos de vegetación que disminuyeron fueron: selva baja caducifolia, bosque degradado, bosques de encino; sin embargo, los usos de suelo que aumentaron fueron la agricultura de temporal, agricultura de riego, pastizal natural, matorral rosetófilo y el suelo urbano.

En ambas temporalidades, el uso de suelo predominante en Morelos es la selva baja caducifolia, seguida de la agricultura de temporal, la vegetación secundaria y la agricultura de riego, pero la agricultura es la clase de uso de suelo con mayor transformación, con un 28.97 % del total para el año 2000, y de 31.5 % del total para el 2009.

Tabla 5.2. Superficie por clase de cobertura vegetal y uso del suelo en hectáreas (ha). Fuente: Escandón et al. (2018).

Cobertura vegetal y uso del suelo	Abrv	2000 (ha)	2009 (ha)	Tasa promedio anual de variación (ha)
Bosque de encino	BE	12 493.41	9 787.08	300.70
Bosque degradado	BD	24 493.09	19 474.92	557.57
Selva baja caducifolia	SBC	104 770.11	88 193.87	1841.80
Matorral rosetófilo	MR	4 698.11	9 310.52	-512.49
Bosque mesófilo	BM	8 247.80	8 383.95	-15.13
Agricultura de riego	AR	55 343.10	61 273.01	-658.88
Agricultura de temporal	AT	86 319.13	92 748.81	-714.41
Sin vegetación aparente	SV	10 798.44	9 565.55	136.99
Suelo urbano	SU	35 704.19	37 407.79	-189.29
Vegetación riparia	VR	37 878.68	38 128.52	-27.76
Pastizal natural	PN	14 883.24	20 714.44	-847.91
Vegetación secundaria	VS	71 416.01	71 390.96	2.78
Bosque de coníferas	BC	17 922.99	12 268.46	634.95
Total		484 968.30	478 587.88	

Abrv = Abreviatura; BE = Bosque de encino; BD = Bosque degradado; SBC = Selva baja caducifolia; MR = Matorral rosetófilo; BM = Bosque mesófilo; AR = Agricultura de riego; AT = Agricultura de temporal; SV = Sin vegetación aparente; SU = Suelo urbano; VR = Vegetación riparia; PN = Pastizal natural; VS = Vegetación secundaria; BC = Bosque de coníferas.

Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte

Se trata de una plataforma que combina datos geoespaciales armonizados de Canadá, Estados Unidos y México para ofrecer una perspectiva subcontinental y regional de algunos aspectos ambientales que trascienden nuestras fronteras políticas.

Los mapas elaborados en el marco de esta iniciativa representan la cobertura del suelo en 2005, 2010, 2015 y 2020, con base ya sea en compuestos mensuales de imágenes con una resolución espacial de 250 metros obtenidas por el sensor MODIS (espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución media, conocido por sus siglas en inglés), o bien en imágenes recopiladas por vía satelital Landsat 7-8 o RapidEye, a una resolución de 30 metros.

Las 19 clases de cobertura del suelo utilizadas en el NALCMS se basan en la norma del Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra (Land Cover Classification System, LCCS) establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Se analizaron los datos del 2010, 2015 y 2020 para el estado de Morelos ya que representan una misma resolución espacial de 30 metros. Se omitió el análisis para el año 2005 ya que es un sensor diferente y una escala que rebasa los 250 metros por píxel. Se realizó un corte para solo obtener los datos del estado de Morelos por cada una de las tres temporalidades (2010, 2015 y 2020).

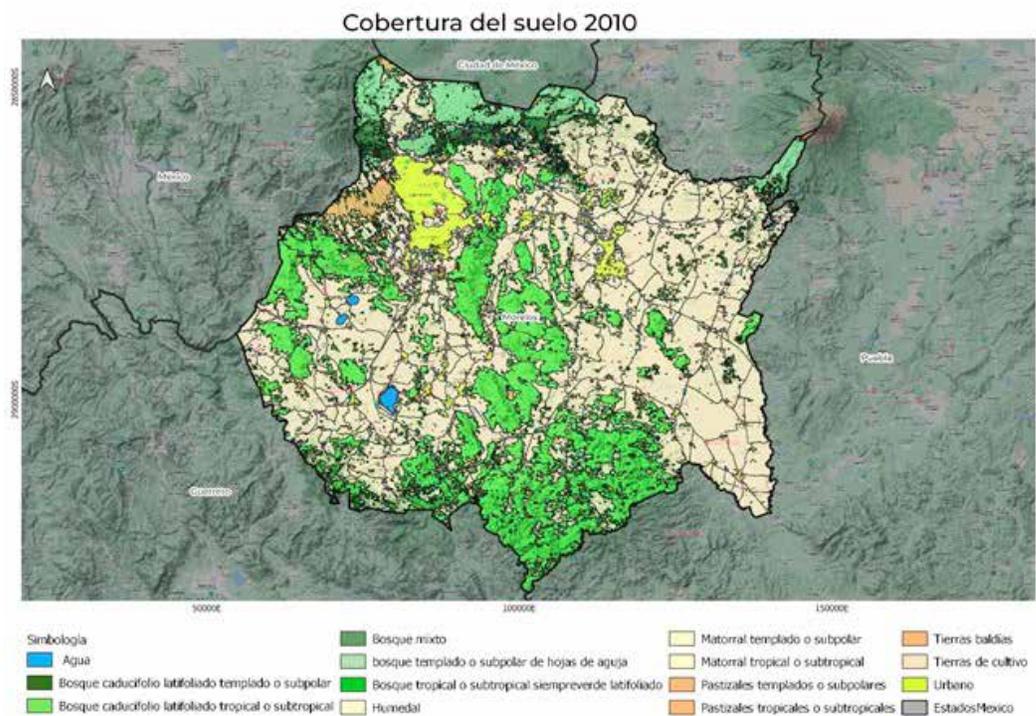


Figura 5.8. Mapa de usos de suelo y vegetación del 2010. Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas Ambiental de Norteamérica de la CCA.

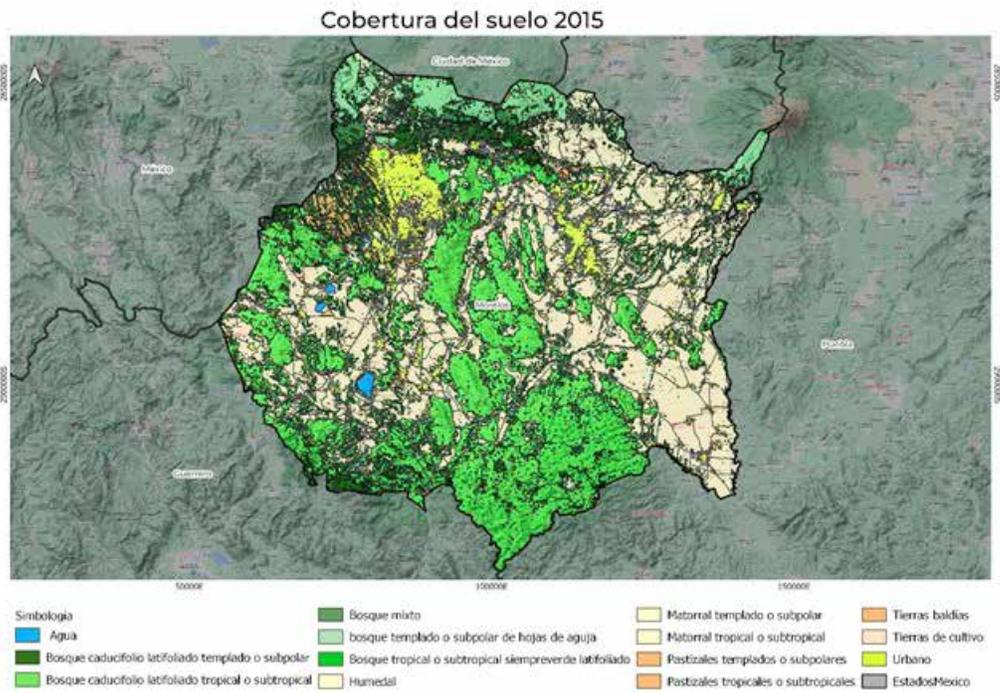


Figura 5.9. Mapa de usos de suelo y vegetación del 2015. Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas Ambiental de Norteamérica de la CCA.

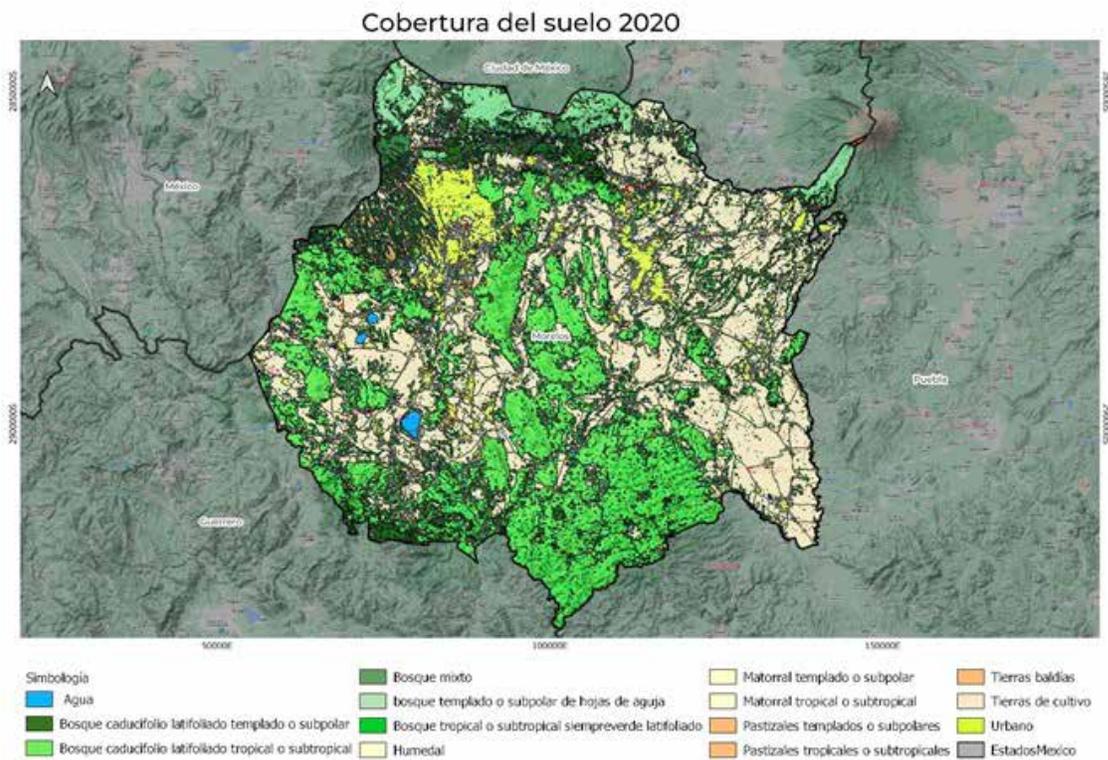


Figura 5.10. Mapa de usos de suelo y vegetación del 2020. Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas Ambiental de Norteamérica de la CCA.



Por otro lado, el volumen de producción corresponde a más de 4 millones de toneladas producidas casi en su totalidad por el cultivo de riego, es decir que la demanda de agua y disponibilidad son cru-

ciales para obtener estos niveles de producción. El valor de la producción asciende a poco menos de 1000 millones de pesos según datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (Tabla 5.3.).

Tabla 5.3. Superficie de cultivos de riego y temporal, volumen de la producción (ha) y Valor de la producción (pesos corrientes) para los municipios con superficie de concesión minera en el estado de Morelos. Los datos están basados en el Censo Agrícola 2021.

AGRICULTURA DE RIEGO							
Municipio							
No	Coatetelco	Cuernavaca	Emiliano Zapata	Miacatlán	Temixco	Tlaltizapan de Zapata	Xochitepec
1	Calabacita	Calabacita	Calabacita	berenjena	Calabacita	Elote	arroz palay
2	Maiz grano	Maiz grano	Cebolla	calabacita	Elote	Maiz grano	calabacita
3	Pepino	Pepino	Elote	caña de azúcar	Frijol	Arroz palay	caña de azúcar
4	Mango	Mango	Maiz grano	chile verde	Maiz grano	Cebolla	elote
5	Tomate rojo (jitomate)	Pepino	elote	Pepino	Sorgo grano	limon	
6	Tomate verde	Tomate rojo (jitomate)	frijol	Tomate rojo (jitomate)	Tomate rojo (jitomate)	mango	
7	Gladiola (gruesa)	Tomate verde	huauzontle	Tomate verde	Agave	maiz grano	
8	Arroz palay	Arroz palay	limon	Arroz palay	Alfalfa verde	pepino	
9	Nochebuena (planta)	Caña de azúcar	mango	Cebolla	Caña de azúcar	rosa(gruesa)	
10	Guayaba	Frijol	maiz grano	Limón	Guayaba	tomate rojo	
11	Rosa (gruesa)	Limón	pepino	Rosa (gruesa)	Limón	cebolla	
12		Nochebuena (planta)	rosa(gruesa)		Mango	tomate verde	
13		Rosa (gruesa)	tomate rojo		Naranja		
14		Tomate rojo (jitomate)	tomate verde		Papaya		
15					Toronja (pomelo)		
	4	11	14	14	11	15	12
SUPERFICIE DE SIEMBRA (ha)							
Municipio							
	Coatetelco	Cuernavaca	Emiliano Zapata	Miacatlán	Temixco	Tlaltizapan de Zapata	Xochitepec
	28.00	134.00	670	1087.9	382.8	4,019.50	1,259.80
VOLUMEN PRODUCCIÓN (ton)							
	255.00	2,578,744.28	542,940.39	77,080.18	348,294.60	292,334.60	127,056.46
VALOR PRODUCCIÓN (pesos corrientes)							
	960,673.00	103,825,770.77	93,057,173.97	98,596,285.10	86,640,780	296,242,549.00	121,134,835.19
AGRICULTURA DE TEMPORAL							
Municipio							
	Coatetelco	Cuernavaca	Emiliano Zapata	Miacatlán	Temixco	Tlaltizapan de Zapata	Xochitepec
1	Maiz grano	Frijol	Calabacita	agave	Frijol	Maiz grano	Maiz grano
2	Sorgo grano	Maiz grano	Frijol	berenjena	Maiz grano	Sorgo grano	Sorgo grano
3	Sorgo grano	Maiz grano	calabacita	Sorgo grano			
4	Tomate rojo (jitomate)	Pepino	chile verde	Agave			
5	Aguacate	Sorgo grano	frijol				
6			maiz grano				
7			pepino				
8			sandia				
9			sorgo grano				
10			tomate verde				
	2	5	5	10	4	2	2
SUPERFICIE DE SIEMBRA (ha)							
Municipio							
	Coatetelco	Cuernavaca	Emiliano Zapata	Miacatlán	Temixco	Tlaltizapan de Zapata	Xochitepec
	350	1,211	239	2,865	775	1,053	280
VOLUMEN PRODUCCIÓN (ton)							
	1,530	6,595	1,069	16,826	3,075	4,282	1,192
VALOR PRODUCCIÓN							
	5,990,396	59,113,324	4,464,470	95,787,365	12,140,561	16,520,985	4,814,947
Gran total Sup siembra							14,354.5
Gran total Volumen producción							4,001,273.16
Gran total Valor producción							999,290,115.9



6. Conclusiones Generales

6.1. Flora y fauna

Con relación a la flora, en términos generales, la selva baja caducifolia destaca por su importancia biológica y cultural dentro de las comunidades, en primera por su riqueza de biológica (85 familias, 285 géneros, 434 especies) y en segundo lugar por su importancia dentro del conocimiento tradicional de las comunidades al ser usadas principalmente con fines medicinales y comestibles.

Con relación a la fauna, se reporta un total de 206 especies de vertebrados, en los que destacan las aves con 108 especies, seguidos de mamíferos y anfibios/reptiles con 38 y 37 especies, respectivamente y finalmente 23 especies de peces. Resulta importante destacar que en la zona de estudio se reportan especies amenazadas, especies en peligro de extinción, especies sujetas bajo protecciones especiales y vulnerables.

6.2. Socioambiental

El documento aquí presentado es un reflejo del trabajo en colaboración con las comunidades que han acompañado en distintos espacios, la recolección de datos y la revisión de temas para analizar por parte de las distintas instancias. Es un dictamen que parte de las preocupaciones directas de la población afectada.

Por el aspecto del interés sociocultural y patrimonio biocultural que mantiene la población, se atiende que sería afectada la construcción histórica de los pueblos de su cosmovisión basada en las relaciones con el ambiente en la reciprocidad, cuidando desde el saber y las técnicas tradicionales que se pondrían en riesgo inevitablemente con este tipo de desarrollos. Lo que puede repercutir negativamente en los medios de subsistencia de la población y la preservación y conservación de la diversidad biocultural.

El ejemplo del estado actual de los ríos del área de estudio, evidencia esta relación en equilibrio, ya que, como se mostró, hasta el momento las actividades humanas que en el área se desarrollan no han generado que alteraciones significativas en el cauce como en su geomorfología, y es prueba de la armonía que existe y que se debe de preservar, y esto se debe gracias al manejo que se ha llevado a cabo en la zona por sus propias comunidades.

Además, el impacto que generan al medio ambiente actividades económicas como la minería, la industria, los basureros a cielo abierto, las descargas de agua residual a los ríos, deben ser revisadas por los organismos correspondientes para que se regulen y adecuen, de manera que el impacto negativo a la población y al ecosistema no repercuta en el largo plazo en el bienestar y posibilite la reproducción de los medios de vida materiales y subjetivos.

6.3. Agua

En la zona de estudio no se presenta disponibilidad para el uso de aguas superficiales al tener un déficit de 239.771 hm³/año, solo existe disponibilidad de agua subterránea con un volumen anual de 32.26 hm³. Sin embargo, solo es posible disponer de ella para uso doméstico y público urbano, al existir una veda en dichos acuíferos.

Cambios en la topografía y deforestación causados por el desarrollo de un proyecto minero provocarán el cambio del comportamiento hidrológico-hidráulico, aumentando con ello el riesgo asociado a inundaciones en zonas urbanizadas aguas abajo del proyecto minero, lo que se demuestra en el análisis hidrológico de los escurrimientos superfi-



ciales realizado, en el cual se observó que constituyen ríos de rápida respuesta (alrededor de 3 a 4 horas) y presentan gastos máximos de entre 28.7 y 661.2 m³/s.

Con estos antecedentes, se puede indicar que es preciso el establecimiento de medidas de conservación de los recursos hídricos superficiales que están en déficit. Además de los impactos al flujo superficial, el empleo de técnicas a cielo abierto para la extracción de los minerales del suelo causarían una grave degradación y la reconfiguración del paisaje, siendo probable la intercepción del flujo subterráneo en la frontera de los acuíferos, afectando directamente a los usos público-urbano y agrícola principalmente.

El desarrollo de una industria hidointensiva, como la minería, iría en contra de la conservación del ciclo hidrológico del que depende la población y sus actividades. Teniendo en cuenta que se observó un decaimiento de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) de 271.09 hm³ en el periodo del 2002 al 2022, además de un uso intensivo del recurso hídrico desde 2019.

Por el proyecto minero, se estima que los volúmenes a usar en los procesos, van del rango de 11.594 hm³ a 57.491 hm³, en caso de usar dichos volúmenes se pone en riesgo la seguridad hídrica de la región. Dado que la disponibilidad actual de ambos acuíferos asciende a 32.26 hm³, el rango de los volúmenes estimados conllevaría a la generación de un déficit en la disponibilidad futura.

Con respecto a la calidad del agua superficial y subterránea, la cuenca alta y media donde se pretende el proyecto minero, actualmente se encuentra de manera general en un estado de buena calidad a excelente. La baja presencia de SST en todos los sitios de la zona de estudio, indican un estado excelente de calidad, que se debe a los servicios ecosistémicos de regulación de sedimentos, resultado del buen estado de la cobertura vegetal y un buen estado de conservación de la geomorfología de cauce.

La actividad de explotación minera, representaría un degradación de la calidad del agua en la cuenca alta, media y pasaría de un estado excelente o buena calidad a contaminada. La cuenca baja actualmente se encuentra en estado vulnerable por la contaminación difusa de descargas de tipo residual urbano, una carga mayor de contaminación derivada de la actividad minera impactaría severamente. La alteración en la geomorfología de cauce por el aporte de sedimentos de los residuos mineros tendría efectos negativos en la vegetación y fauna ribereña.

6.4 Aire y suelo

Después de realizar la campaña de mediciones y analizar las muestras e información generada podemos comentar que las principales fuentes de emisión de PM_{2.5} en la región fueron las quemas de pastizales y residuos domésticos y biomasa, así como, la resuspensión en calles sin pavimentar. Es por ello, por lo que se sugiere diseñar y socializar un programa en el cual se invite a la población y se desincentive la quema de basura y/o biomasa.

Respecto a la contribución que pudiera tener la zafra azucarera es necesaria una vigilancia del apego a la normatividad vigente, para la realización de quemas agrícolas.

Las concentraciones altas de arsénico y cobre en el sitio de muestreo identificado como "La mina", por ser el más cercano al cerro del Jumil, están asociadas a la composición natural del suelo de la región. Sus valores representan un riesgo a la salud de la población y la biodiversidad, si estuvieran disponibles en las partículas por las actividades de remoción inherentes a una minera e incrementados hasta cinco veces en la disposición de presas de jales a la intemperie. Por tal razón, se considera inviable una concesión de explotación.

Por último, dar la concesión de explotación para un proyecto de mina en la región será en detrimento de la salud ambiental y de la población, ya que como se mencionó al inicio del documento, esta actividad tendría inmensos impactos ambientales, visuales, humanos y culturales.



6.5. Cambio de uso de suelo

De acuerdo con el cambio de uso de suelo y vegetación a partir de 2013 ha disminuido la cobertura en las zonas de concesiones mineras y minas, lo cual coincide con la disminución de precipitación que se ha registrado en esa misma región en los sitios analizados (Mercury Mines y Cerro Jumil (Esperanza)) a partir de 2014. El cambio de uso de suelo podría estar influenciado en gran medida a la precipitación. En el estado de Morelos de 2000 a 2017 la actividad minera repuntó.

Por otra parte, aunque hay degradación en la zona de las concesiones y minas, aún se mantiene una cobertura densa que ayuda a amortiguar los cambios en la temperatura, ya que no todas las tendencias muestran incrementos y aquellas donde sí, la tasa de cambio tiene valores bajos. Por ejemplo, en Temixco en la zona más urbanizada la Tmax se ha incrementado 2.1°C de 1974 a 2016 y la Tmin ha aumentado 0.34°C de 1999-2016. Tan sólo en el sitio Cerro Jumil (Esperanza) se ha tenido un aumento de 0.05°C por década, mientras que en la zona urbana de Temixco el incremento ha sido de hasta 0.5°C por década.

Por lo tanto, es preciso impedir los cambios de uso de suelo por la actividad minera, y así evitar la aparición de los parches de suelo desnudo. De esta manera se podrán atenuar los efectos de los cambios en la precipitación y temperatura tanto actuales como futuras; ya que con los escenarios de cambio climático se espera un inevitable aumento de temperatura y disminución de la precipitación.

Es importante señalar que la zona puntual en donde está instalada la mina es cobertura vegetal abundante y en este caso, de acuerdo con la clasificación del atlas ambiental, la gran parte de la superficie de las concesiones mineras cae dentro de alguna categoría de bosque, ante ello es necesario generar las acciones necesarias para la preservación de este y que no se siga degradando más.

Es imperante la creación de estrategias para combatir la pérdida de la cobertura vegetal que brinda muchos beneficios a los ecosistemas terrestres y que repercuten en la interacción del ser humano con la naturaleza.

Con base en los escenarios de cambio climático de la zona poniente de Morelos, en específico de los municipios de Mazatepec, Miacatlán, Temixco, Xochitepec, Coatetelco y Xoxocotla, se pudo observar que las proyecciones a futuro muestran cambios tanto en la precipitación como en la temperatura. Incluso en el escenario más favorable esas variaciones pueden tener un impacto considerable tanto en los ecosistemas como en las actividades productivas. Es importante considerar esta información en el momento de plantear medidas de adaptación, haciendo primero un análisis de la vulnerabilidad y de la gestión de riesgos que pueden incrementarse con los efectos del cambio climático.





7. Referencias

- Abou Zaki, N., Torabi Haghghi, A., M Rossi, P., J Tourian, M., & Kløve, B. (2019). Monitoring Groundwater Storage Depletion Using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data in Bakhtegan Catchment, Iran. *Water*, 11(7), 1456. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/7/1456>
- Aditya Kumar Patra, Sneha Gautam, Prashant Kumar (2016), Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation—A review, *Environmental Technology & Innovation* (5), 233–249
- Alonso-Eguía Lis. 2004. Ecología de las asociaciones de Odonata (Insecta) en el área de influencia de las microcuencas afectadas por la presa Zimapán, Querétaro e Hidalgo México. Tesis Doctoral. UAQ. México 231Pp.
- Álvarez-Pugliese C. E., Machuca-Martínez F., & Pérez-Rincón M. (2021). Water footprint in gold extraction: A case study in Suárez, Cauca, Colombia. *Heliyon*, 7(9), e07949. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)02052-1?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021020521%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)02052-1?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844021020521%3Fshowall%3Dtrue)
- Álvarez, T. A. A., Sarabia, M. S., Bernal, A. D. J. G., González, N. P. M., Salgado, N. A. N., y Galindo, F. L. (2011). Recambio de aves en el gradiente Tlajotla-El Rincón en el Municipio de Miacatlán, Morelos, México. *Revista de Zoología*, (22), 43-62.
- Álvarez, T. A. A., Sarabia, M. S., de Jesús García-Bernal, A., Miranda-González, N. P., y Jiménez-Gutiérrez, B. E. (2009). Mamíferos medianos y grandes de la comunidad El Paredón, Miacatlán, Morelos, México. *Revista de Zoología*, (20), 17-29.
- Álvarez-Castañeda, S. T., y López-Forment, W. (1995). Datos sobre los mamíferos del área aleadaña a Palpan, Morelos, México. En *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* (Vol. 66, pp. 123-133).
- Arjona-García, C., Blancas, J., Beltrán-Rodríguez, L., López Binnqüist, C., Colín Bahena, H., Moreno-Calles, A.I, y López-Medellín, X. (2021). ¿Cómo afecta la urbanización las percepciones y el conocimiento tradicional de las plantas medicinales?. *Diario de Etnobiología y Etnomedicina*, 17 (1), 1-26.
- Baker, R. L. y B.W. Feltmate (1989). Depth selection by larval *Ischnura verticalis* (Odonata: Coenagrionidae) effects of temperature and food. *Freshw. Biol.* 22: 169-175.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers. USEPA, Washington.
- Bernal, A. D. J. G., Miranda, P., Álvarez, T. A. A., Sarabia, M. S., y Salgado, N. A. N. (2014). Anfibios y reptiles de la comunidad El Paredón, Miacatlán, Morelos, México. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 7(25), 482-496.
- Bernal, A. D. J. G., Miranda, P., Álvarez, T. A. A., Sarabia, M. S., y Salgado, N. A. N. (2014). Anfibios y reptiles de la comunidad El Paredón, Miacatlán, Morelos, México. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 7(25), 482-496.
- Bueno-Soria, J. (2010). Guía de identificación ilustrada de los géneros de larvas de insectos del orden Trichoptera de México. México, DF. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cairns, J., and J. R Pratt. 1993. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. Pages 10–27 in D. M. Rosenberg, V. R. Resh (eds.), *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York.
- Cárdenas, J. (2013). La minería en México: despojo a la nación. *Cuestiones constitucionales*,



- Castle, S. L., Thomas, B. F., Reager, J. T., Rodell, M., Swenson, S. C., & Famiglietti, J. S. 2014. Groundwater depletion during drought threatens future water security of the Colorado River Basin. *Geophysical Research Letters*, 41(16), 5904-5911. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014GL061055#:~:text=Results%20indicate%20that%20groundwater%20may,to%20the%20seven%20Basin%20states>.
- Cerros-Tlatilpa, R., Ceja-Romero, J., Mendoza-Ruiz, A., Flores-Morales, A., y Jaramillo-Sánchez, M. (2020). Inventario florístico de los cerros La Cantera y Delgado, Jantetelco, Morelos, México. *Acta botánica mexicana*, (127).
- Chaparro, E. (2009). Los Procesos Mineros y Su Vinculación con el Uso del Agua. Santiago de Chile, abril.
- Chen, J., Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., ... Mills, J. (2014). Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 7-27. <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.09.002>
- CLICOM, 2021. CLiMate COMPUting Project. Servicio Meteorológico Nacional. 2021
- Colin-Bahena, H. (2018). El tianguis de Coatetelco, Morelos: articulador de la conservación biocultural en el territorio. *Etnobiología*, 16 (2), 87-97.
- Colín-Bahena, H., Monroy-Martínez, R., y Rodríguez-Chávez, J. M. (2016). Las unidades de manejo tradicional, base de la conservación comunitaria en Morelos, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(1), 7-27.
- CONAGUA, 2020a. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Cuernavaca (1701), Estado de Morelos. Subdirección General Técnica Gerencia de Aguas Subterráneas. Comisión Nacional del Agua. CDMX, diciembre de 2020.
- CONAGUA, 2020b. Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Zacatepec (1703), Estado de Morelos. Subdirección General Técnica Gerencia de Aguas Subterráneas. Comisión Nacional del Agua. CDMX, diciembre de 2020.
- Conagua. (2021, 10 3). Sistema Nacional de Información del Agua. Retrieved from *Indicadores_calidad_agua_subterránea_2012_2019*: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/calidadAguaSub.php>
- Conagua. (2022). Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), Recuperado de: <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>
- CONAGUA. 2020a. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zacatepec (1703), Estado de Morelos. Subdirección General Técnica https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/morelos/DR_1703.pdf
- Conagua. 2020b. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuernavaca (1701), Estado de Morelos. Subdirección General Técnica https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/morelos/DR_1701.pdf
- Cordero-Martínez, G., Mercado-Silva, N., García-de-Jesús, S., Arce, E., Ramírez-Ponce, A., y Mejía-Mojica, H. (2022). Diversidad específica y taxonómica de la ictiofauna del Río Amacuzac, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*, 70(1), 290-306.
- Cummins KW. 1996. Invertebrates. In *River Biota. Diversity and Dynamics*, Petts G, Calow P (eds). Blackwell Science: Oxford; 75-91.
- DEPARTMENT OF LABOR AND INDUSTRY Employment Relations Division Safety and Health Bureau (2012). Statute: 82-4-335 through 82-4-338, MCA https://leg.mt.gov/content/Publications/Environmental/permit_index/mining.pdf
- Diario de Morelos. Protestan en Temixco contra operación de minera canadiense Álamos Gold. <https://www.diariodemorelos.com/noticias/protestan-en-temixco-contr-operaci-n-de-minera-canadiense-lamos-gold>
- DOF (1962) Decreto que amplía la zona de veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo establecida en la zona del Estado de Morelos, según Decreto de 1º. de junio de 1960. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México. *Diario Oficial de la Federación*. 26 de marzo de 1962.
- DOF (1973) Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la zona no vedada del Estado de Morelos, para el mejor control de las extracciones, uso o aprovechamiento de aguas del subsuelo de dicha región. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México. *Diario Oficial de la Federación*. 6 de julio de 1973.



- Springer, Monika (2010) Biomonitordeo acuático. Revista UCR Vol. 58 (Suppl. 4): 53-59; Diciembre de 2010. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/20082/20284/>
- DOF (2020) Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológicas-administrativas que se indican. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México. Diario Oficial de la Federación. 17 de septiembre de 2020. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600593&fecha=17/09/2020#gsc.tab=0
- DOF. 2020a. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.
- DOF. 2020b. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican.
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.I., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman R.J., Prieur-Richard, A.H., Soto, D., Stiassny M.L.J. y Sullivan, A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Conservation Biology* 81: 163-182
- Estrada-Márquez A. S, Villaseñor J. L, Escalante T. 2020. Áreas de endemismo de Magnoliophyta en el estado de Morelos, México. *Botanical Sciences* 98: 377-392. DOI: 10.17129/botsci.2492
- García, F. A., Marquina, R. V., y Martínez, R. M. (2021). El patrimonio biocultural de la selva baja caducifolia, Sierra de Huautla, Morelos. *Inventio. La génesis de la cultura universitaria en Morelos.*
- Gispert, C.M., Monroy, R., Díaz, R.A., Bautista, G.A., Colín-Bahena, H., García-Flores. A. 2014. Testimonios de Mujeres del Barrio de Ixtlahuacan, Yautepec sobre los efectos del cambio climático. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Groombridge, B. y Jenkins, M.B. 2002. *World Atlas of Biodiversity. Earth's living resources in the 21st Century.* Berkeley, California. University of California Press.
- Güney, Emre & Demirel, Nuray. (2021). Water Footprint Assessment of Carbon in Pulp Gold Processing in Turkey. *Sustainability*. 13. 8497. 10.3390/su13158497.
- Hellowell, J. M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management.* Elsevier, London
- Hilsenhoff W. L. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *Benthol Soc.* 7(1): 65-68.
- https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2396209
- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-91932013000100002
- INEGI (2020). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Consulta a la base de datos 2020. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI, 2001. Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos escala 1:1 000 000. Continuo Nacional serie I. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2001 <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575>. Descargado el 15 de febrero de 2023.
- INEGI, 2004. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Evapotranspiración. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2004. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267520> Descargado el 15 de febrero de 2023.
- INEGI, 2008. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2008. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>. Descargado el 15 de febrero de 2023.
- INEGI, 2011a. Conjunto de datos vectoriales escala 1:250 000. Edafología. Serie II. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2011.
- INEGI, 2011b. Guía para la interpretación de cartografía. Edafología. Escala 1:250000. Serie II. INEGI. 2011. ISBN 978-607-494-162-3.
- INEGI, 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2013.
- INEGI, 2018. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, SERIE VII. Conjunto Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2018.





- INEGI, 2018. Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, SERIE VII. Conjunto Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Edición 2018.
- INEGI, 2020. Marco geoestadístico. Censo de población y vivienda 2020.
- Isidro Téllez Ramírez (2015), Acumulación por desposesión y espacios de megaminería en México. El caso del proyecto "Cerro Jumil", Temixco, Morelos [tesis que para optar por el grado de maestro en geografía] Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jenkins, R. A., K. R. Wade, y Pugh, E. (1984). Macroinvertebrate habitat relationships in the River Teifi catchment and the significance to conservation. *Freshwater Biology* 14:23-42.
- Juárez-Delgado, JC, Monroy-Martínez, R., Colín-Bahena, H., Monroy-Ortiz, R., y Dorado-Ramírez, O. (2018). Los subsidios de las unidades productivas tradicionales a la ganadería extensiva en Huautla Morelos, México. *Polibotánica*, (46), 327-340.
- Katpatal, Y. B., Rishma, C., & Singh, C. K. (2018). Sensitivity of the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) to the complexity of aquifer systems for monitoring of groundwater. *Hydrogeology Journal*, 26(3), 933-943. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018HydJ...26..933K/abstract>
- Korte, F. and Coulston, F. (2001) COMMENTARY The Berlin Declaration on Gold Mining Further Observations and Comments on the Cyanide Process to Produce Gold. https://www.researchgate.net/publication/11477384_The_Berlin_Declaration_on_Gold_Mining_-_Further_observations_and_comments_on_the_cyanide_process_to_produce_gold
- Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. New York, NY: Harper and Row Publishers Inc., 654 p.
- Lenat, David & Barbour, Michael. (1994). Using benthic macroinvertebrate community structure for rapid, cost-effective, water quality monitoring: rapid bioassessment.
- Lixiviación con cianuro, (2012). Enciclopedia de ciencias y tecnologías en Argentina https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Lixiviaci%C3%B3n_con_cianuro
- López Bárcenas, Francisco. *La vida o el mineral. Los cuatro ciclos del despojo minero en México*. Ed. Akal/Inter Pares. 2017.
- Luna-Nemecio, Josemanuel. El Proyecto Integral Morelos y la devastación del territorio. <https://medioambiente.nexos.com.mx/el-proyecto-integral-morelos-y-la-devastacion-del-territorio/#:~:text=Impactos%20socio-ambientales%20y%20la%20defensa%20del%20agua&text=Es%20en%20esta%20entidad%20donde,oriente%20del%20estado%20de%20Morelos>.
- Martens, K. (2010). The international year of biodiversity. *Hidrobiología* 637: 1-2.
- McGeoch, M. A. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 73:181-201
- Mejía-Mojica, H., Contreras-MacBearth, T., & Ruiz-Campos, G. (2015). Relationship between environmental and geographic factors and the distribution of exotic fishes in tributaries or the balsas river basin, Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 98, 611-621.
- Miranda-González, N. P., García-Bernal, A. D. J., Altamirano-Álvarez, T. A., Soriano-Sarabia, M., Navarrete-Salgado, N. A., Bedia-Sánchez, C., y López-Galindo, F. (2011). Aves de la comunidad El Paredón, Miacatlán, estado de Morelos, México. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 4(13-16).
- Eschmeyer, William N., Ronald Fricke, Jon D. Fong y Dennis A. Polack (2010) Marine fish diversity: history of knowledge and Discovery (pisces). *Zootaxa* 2525: 19-50, Magnolia Press. https://www.calacademy.org/sites/default/files/assets/docs/pdf/eschmeyer_wn_et_al_2010_marine_fish_diversity_history_zootaxa_2525_19-50.pdf
- Merritt, R. W., K. W. Cummins y T. M. Burton. 1984. The role of aquatic insects in the processing and cycling of nutrients. Pp: 134-163. En: Resh, V. H. y D. V. Rosenberg (Eds). *The ecology of aquatic insects*. Praeger Publishers, Nueva York.
- Monroy, R. (2017). La occidentalización de los asentamientos indígenas en Morelos, México. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 7(1), 22-29.
- Moran, R. E. (2001). De-coding Cyanide, An Assessment of Gaps in Cyanide Regulation at Mines, presentado ante la Unión Europea y el Programa de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente. <https://earthworks.org/files/publications/DecodingCyanide.PDF>





- Newson, M D, C L Newson, and Tyne Ne. 2000. "Geomorphology , Ecology and River Channel Habitat : Mesoscale Approaches to Basin-Scale Challenges." 2: 195–217.
- Niu, G. Y., Yang, Z. L., Dickinson, R. E., Gulden, L. E., & Su, H. (2007). Development of a simple groundwater model for use in climate models and evaluation with Gravity Recovery and Climate Experiment data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D7). https://www.researchgate.net/publication/200041855_Development_of_a_Simple_Groundwater_Model_for_Use_in_Climate_Models_and_Evaluation_with_Gravity_Recovery_and_Climate_Experiment_Data
- NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo
- Observatorio de paisajes mineros (2019), Universidad Nacional Autónoma de México. <http://mineria.ciga.unam.mx/www-paisajes-mineros/pags/minas/esperanza.html>
- Ortega-Cala, LL, Monroy-Ortiz, C., Monroy-Martínez, R., Colín-Bahena, H., Flores-Franco, G., Luna-Cavazos, M., y Monroy-Ortiz, R. (2019). Plantas medicinales utilizadas para enfermedades del sistema digestivo en Tetela del Volcán, Estado de Morelos, México. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas* , 18 (2), 106-129.
- Peña, C. A., & Huijbregts, M. A. (2014). The blue water footprint of primary copper production in northern Chile. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 49-58.
- Planeación y Proyectos de Ingeniería, S.C. de C.V. Manifestación de Impacto Ambiental, Modalidad Particular. Mina Esperanza, Tetlama, Morelos. Esperanza Silver de México S.A.
- Programa de desarrollo Urbano de Centro de Población de Miacatlán, Morelos. Gobierno del estado de Morelos, Ayuntamiento de Miacatlán. Recuperado el 22 de Marzo del 2023 de <https://sustentable.morelos.gob.mx/sites/sustentable.morelos.gob.mx/files/pdfs/pducup-miacatlan.pdf>
- Raven, E. K, S. N. Lane, and L. J. Bracken. 2010. "Understanding Sediment Transfer and Morphological Change for Managing Upland Gravel-Bed Rivers." *Progress in Physical Geography* 34(1): 23–45.
- Rendón-Correa, A., y Fernández-Nava, R. (2007). Plantas con potencial uso ornamental del estado de Morelos, México. *Polibotánica*, (23), 121-165.
- REPDA, 2017. Registro Público de Derechos del Agua. Comisión Nacional del Agua. 2017.
- Resj. V.H. (2008). Wich group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environ. Monit. Assess.* 138: 131-138.
- Revista caminando. Actúa ahora: no a la mina de oro en Temixco, Morelos <https://www.cdhal.org/es/actua-ahora-no-a-la-mina-de-oro-en-temixco-morelos/#:~:text=en%20el%20municipio%20de%20Temixco,y%20de%20otros%20giros%20industriales>.
- Rosenberg, D. M., and V. H. Resh. 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, London
- Rosgen, D. L. 1996. *Applied River Morphology*. Pagosa. 385 Pp.
- Rosgen, D. L., & Silvey, H. L. (1998). *Field guide for stream classification*. Wildland Hydrology Books.
- Secretaría de Economía, Morelos. <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/delegaciones-de-la-se/estatales/morelos#:~:text=El%2088.3%25%20de%20la%20producci%C3%B3n,al%20resto%20de%20los%20sectores>.
- Secretaría de Economía, Morelos. Información económica y estatal, Morelos. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43792/Morelos.pdf>
- SIASv2, 2009. Sistema de Información de Aguas Superficiales. Gerencia en el Estado de México. Comisión Nacional del Agua. Diciembre de 2009.
- SIATL, 2023. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. INEGI. Visto en https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/ el 20 de febrero de 2023.
- SINA (2021) Sistema Nacional de Información del Agua. Conagua. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=sitiosRam-sar&ver=mapa&o=0&n=nacional>
- Sistema Costarricense de Información Jurídica, (2010). Reforma decreto ejecutivo N° 35982-MINAET <http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/>





- nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&n-Valor1=1&nValor2=67913&nValor3=80689&str-TipM=TC#:~:text=%22Art%C3%ADculo%201%C2%BA%2D%20Se%20declara%20la,extra%C3%ADdos%20utilizando%20cianuro%20o%20mercurio.%22
- Sorani, V., G. Rodríguez-Gallegos y C. L. Román-Colín (2020). En: LA biodiversidad de Morelos. Estudio de estado 2. Vol. I. CONABIO, México, pp. 257-277.
 - Springer, Monika (2010) Biomonitorio acuático. Revista UCR Vol. 58 (Suppl. 4): 53-59; Diciembre de 2010. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/download/20082/20284/>
 - Tapley, B. D., Bettadpur, S., Watkins, M., & Reigber, C. 2004. The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophysical Research Letters*, 31(9). <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004GL019920>
 - Téllez Ramírez, I y Sánchez-Salazar, M. T. (2018). La expansión territorial de la minería mexicana durante el periodo 2000-2017. Una lectura desde el caso del estado de Morelos. UNAM.
 - Trujillo-Jiménez, P., López-López, E., Díaz-Pardo, E., & Camargo, J. A. (2010). Patterns in the distribution of fish assemblages in Rio Amacuzac, Mexico: influence of abiotic factors and biotic factors. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 20(4), 457-469.
 - UICN. 2022. La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Versión 2022-2. <https://www.iucnredlist.org>. Accedido el [14 de mayo de 2023].
 - Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P., & Tachet, H. (2000). Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? Springer Netherlands.
 - Valle-Marquina, R., García-Flores, A., Monroy-Martínez, R., Monroy-Ortiz, R., Monroy-Ortiz, C., y Colín-Bahena, H. (2022). CACERÍA EN UNA COMUNIDAD CAMPESINA DE LA SIERRA DE HUAUTLA, MORELOS, MÉXICO/Hunting in a peasant community of the Sierra de Huautla, Morelos, Mexico. *Revista Acta Biologica Colombiana*, 27(2), 2d-2d.
 - Valle-Marquina, R., García-Flores, A., Monroy-Martínez, R., Monroy-Ortiz, R., Monroy-Ortiz, C., y Colín-Bahena, H. (2022). Hunting in a peasant community of the Sierra de Huautla, Morelos, Mexico. *Revista Acta Biologica Colombiana*, 27(2).
 - Villanueva-Figueroa, ML, Colín-Bahena, H., Monroy-Martínez, R., Monroy-Ortiz, R., García-Flores, A., y Monroy-Ortiz, C. (2021). Etnobotánica de los rituales vinculados al ciclo agrícola y su función en la conservación biocultural en Coatetelco, Morelos, Mexico. *Polibotánica*, (52), 241-264.
 - Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad* 87: 559-902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
 - Wang, X., de Linage, C., Famiglietti, J., & Zender, C. S. (2011). Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) detection of water storage changes in the Three Gorges Reservoir of China and comparison with in situ measurements. *Water Resources Research*, 47(12). <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2011WR010534>
 - Wehncke, E. V., J. Reyes y E. Urzúa-Vázquez (2020). Diversidad de ecosistemas. En: Diversidad de ecosistemas. En: La biodiversidad en Morelos. Estudio de Estado 2. Vol. I. CONABIO, México, pp. 255-256.



Dictamen Diagnóstico Socioambiental de la Zona de influencia del Proyecto de la Minera Esperanza S. A. de C. V. en su versión digital se terminó de editar en mayo de 2023.

El diseño editorial se realizó por parte de la Coordinación General de Comunicación Social de la Semarnat.

El contenido es responsabilidad de los autores.

**DICTAMEN
DIAGNÓSTICO
SOCIOAMBIENTAL
DE LA ZONA DE
INFLUENCIA DEL
PROYECTO DE LA**

*Minera La Esperanza
S. A. de C. V.*



**GOBIERNO DE
MÉXICO**

MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA