

DIAGNÓSTICO DE IMPACTOS DE LA MINERÍA A LA ECO-HIDROLOGÍA

DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA
Y FAUNA TUTUACA Y EL PARQUE NACIONAL
CASCADA DE BASASEACHI, CHIHUAHUA



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA

INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



DIAGNÓSTICO DE IMPACTOS DE LA MINERÍA A LA ECO-HIDROLOGÍA DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA TUTUACA Y EL PARQUE NACIONAL CASCADA DE BASASEACHI, CHIHUAHUA





Contenido

1. FUNDAMENTO LEGAL	6
2. INTRODUCCIÓN.....	11
3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA	12
a) Precipitación	12
b) Flora y Fauna	15
4. PROYECTOS MINEROS EN LA REGIÓN	25
a) Mina El Concheño – Newmont.....	25
b) Mina Pinos Altos – Agnico Eagle.....	31
c) Mina Ocampo – Frisco	35
5. DISPONIBILIDAD Y CALIDAD DEL AGUA.....	39
a) Disponibilidad	39
b) Calidad del agua Superficial	52
c) Toxicidad y materia orgánica en sedimentos.....	77
d) Bioindicadores	79
6. CONCLUSIONES.....	103
7. BIBLIOGRAFÍA	105

**TABLAS**

Tabla 1. Géneros y especies por orden y familia de plantas presentes en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic. Adaptado de CONANP (2016).....	16
Tabla 2. Géneros y especies por orden y familia de plantas presentes en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic. Adaptado de CONANP (2016).....	19
Tabla 3. Géneros y especies por orden y familia de fauna presentes en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic. Adaptado de CONANP (2016)	21
Tabla 4. Cuadro resumen de valores de los términos que intervienen en el cálculo de la disponibilidad superficial en la cuenca hidrológica en estudio.....	41
Tabla 5. Distribución de los volúmenes de agua superficial en los diferentes usos para la cuenca hidrológica en la zona de estudio.....	43
Tabla 6. Disponibilidad de agua subterránea para el acuífero 2658-San Bernardo al 17 de septiembre de 2020.....	47
Tabla 7. Distribución de los volúmenes de agua subterránea en los diferentes usos para el acuífero en la zona de estudio.....	48
Tabla 8. Tipo de contenedor y preservación por parámetro para su análisis.....	55
Tabla 9. Toxicidad medida para V. Fischeri de la muestras de sedimento del Río Candameño	78
Tabla 10. Clasificación de la calidad del agua en base al índice biótico de Hilsenhoff, (IBH, 1988).....	85
Tabla 11. Descriptores de la comunidad de macroinvertebrados. S (riqueza), N (abundancia total) H' (índice de diversidad de Shannon-Wiener),HB (índice de Diversidad de Brillouin); EB (Equitatividad de Brillouin) IBH (índice Biótico de Hillsenhof)	86
Tabla 12 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM2.....	86
Tabla 13. Métricas de condición de salud del sistema SM2	87
Tabla 14 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM3	88
Tabla 15 Métricas de condición de salud del sistema SM3	88
Tabla 16. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM4	89
Tabla 17 Métricas de condición de salud del sistema SM4	90
Tabla 18 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM5	91
Tabla 19 Métricas de condición de salud del sistema SM5	91
Tabla 20 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM6	93
Tabla 21 Métricas de condición de salud del sistema SM6	93
Tabla 22 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM7.....	94
Tabla 23 Métricas de condición de salud del sistema SM7	95
Tabla 24 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM8	96
Tabla 25 Métricas de condición de salud del sistema SM8	97
Tabla 26 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM9	98
Tabla 27 Métricas de condición de salud del sistema SM9	99
Tabla 28 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM1	100
Tabla 29 Métricas de condición de salud del sistema SM1	100



Tabla 30 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM11.....	101
Tabla 31 Métricas de condición de salud del sistema SM11	102

FIGURAS

Figura 1. Distribución espacial de la precipitación media anual en la cuenca del Río Mayo 1.....	13
Figura 2. Precipitación anual en la zona de estudio.....	14
Figura 3. Precipitación mensual en la zona de estudio.....	14
Figura 4. Precipitación media mensual en la zona de estudio.	15
Figura 5. Localización de la Mina El Concheño	26
Figura 6. Material molido anual en la mina El Concheño	27
Figura 7. Pasos para estimar la Huella Hídrica en la industria minera.	28
Figura 8. Estimación de los consumos de agua de la mina El Concheño con base en la Huella Hídrica del Oro.....	31
Figura 9. Localización de la Mina Pinos Altos.....	32
Figura 10. Estimación de los consumos de agua de la mina Pinos Altos con base en la Huella Hídrica del Oro.....	34
Figura 11. Localización de la Mina Ocampo.....	36
Figura 12. Material molido anual en la mina El Concheño.....	37
Figura 13. Estimación de los consumos de agua de la mina Ocampo con base en la Huella Hídrica del Oro.	38
Figura 14. Cuenca hidrológica del río Mayo 1.....	39
Figura 15. Variables del balance hídrico superficial	41
Figura 16. Distribución de los volúmenes de agua superficial en los diferentes usos para la cuenca hidrológica en la zona de estudio.	44
Figura 17. Ubicación del acuífero San Bernardo (2658). Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 18. Esquema de variables de entrada y salida para el balance hídrico subterráneo.	47
Figura 19. Distribución de los volúmenes de agua subterránea en los diferentes usos para el acuífero en la zona de estudio.....	50
Figura 20. Variación mensual del cambio en el almacenamiento de agua en la zona de estudio (incluye aguas superficiales y subterráneas).	51
Figura 21. Reunión de programa de muestreo, Personal del Parque Nacional de Bassaseachic, Area de Protección de Flora y Fauna Tutuaca y de la comunidad.	53
Figura 22.Ubicación de los sitios de muestreo de acuerdo al programa de muestreo.	54
Figura 23. Multiparamétrico YSI ProQuatro.	56
Figura 24. Toma de muestra, Sitio Cascada de Bassaseachic.....	57
Figura 25. Preservación de muestras.....	58



Figura 26. Identificación de los envases de muestras.....	59
Figura 27. Valores obtenidos de Conductividad eléctrica.....	61
Figura 28. Valores obtenidos de Sólidos Suspendidos Totales.....	62
Figura 29. Valores obtenidos de Sólidos Disueltos Totales.....	63
Figura 30. Valores obtenidos de Hierro.....	64
Figura 31. Valores obtenidos de Aluminio.....	65
Figura 32. Valores obtenidos de Cianuro.....	66
Figura 33. Valores obtenidos de Zinc.....	67
Figura 34. Valores obtenidos de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	68
Figura 35. Valores obtenidos de Demanda Química de Oxígeno.....	69
Figura 36. Valores obtenidos de Fosforo Total.....	70
Figura 37. Valores obtenidos de Nitrógeno Total.....	72
Figura 38. Valores obtenidos de Coliformes Fecales.....	73
Figura 39. Numero de Compuestos Orgánicos Semivolátiles cuantificados en los sitios, medio ácido.....	74
Figura 40. Numero de Compuestos Orgánicos Semivolátiles cuantificados en los sitios, medio neutro.....	75
Figura 41. Numero de Compuestos Orgánicos Semivolátiles cuantificados en los sitios, medio Básico.....	76
Figura 42. Porcentaje de materia orgánica en la cuenca del río Moris	79
Figura 43 Condición visual del SM2 ubicada en la parte más cercana a la mina Concheño.....	87
Figura 44 Condición visual del sistema SM3	89
Figura 45. Condición visual del sitio de muestreo SM4.....	90
Figura 46 Condición visual del sitio de muestreo SM5.....	92
Figura 47 Condición visual del sitio de muestreo SM6.....	94
Figura 48 Condición visual del sitio de muestreo SM7.....	96
Figura 49 Condición visual del sitio de muestreo SM8	98
Figura 50 Condición visual del sitio de muestreo SM9.....	99
Figura 51 Condición visual del sitio de muestreo SM1	101
Figura 52 Condición visual del sitio de muestreo SM11.....	103



1. 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, uso 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.

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, son base fundamental del desarrollo nacional, 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, se cuide en todo momento su conservación y el medio ambiente,





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.

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. Las fracciones III y IV del referido artículo 15, indican que corresponde





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.

Para lograr la eficacia de las acciones ecológicas, es indispensable la coordinación entre dependencias y entidades de la administración pública, los distintos órdenes de gobierno, así como 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 el 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.

México, como otros países, está comprometido a reconocer el Derecho Internacional, a no afectar el equilibrio ecológico, de promover, preservar y restaurar los ecosistemas regionales y globales. Así como de hacer la política ambiental a través de unidades administrativas adscritas a la SEMARNAT. Por lo que la Secretaría, debe observar y realizar actividades permanentes, que le permitan conocer y diagnosticar la situación de la biodiversidad en una o más





zonas, regiones, estados o sitios del país. Así también, debe fijar la política ambiental ya que tiene el carácter de autoridad.

Es por ello, que paralelamente a la obligación de ser la autoridad garante, le corresponde a la Secretaría 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, y la atmósfera, entre otros.

En este contexto, como respuesta a la problemática expresada por las comunidades y CONANP en lo que se refiere a la zona que corresponde al Parque Nacional Basaseachi.

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 en el territorio.

Por esta razón, el Gobierno de México a través de la SEMARNAT, dispuso la generación de un 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 documento que constituye un diagnóstico técnico elaborado por instituciones que forman parte del sector ambiental mexicano.

En el diagnóstico 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 disponibilidad, demanda y huella hídrica de las tres mineras de la zona.





2. INTRODUCCIÓN

Este diagnóstico presenta una caracterización ecohidrológica de la subcuenca del Río Moris dentro del Área de Protección Tutuaca y la Subcuenca del Río Candameña donde se ubica el Parque Nacional Cascada de Basaseachi en el Estado de Chihuahua con el objeto de atender la preocupación de la población y autoridades de la comunidad de Basaseachi y pueblos aledaños respecto de los posibles impactos derivados de la actividad minera en la zona, entre las que figuran las Mina El Concheño, Pinos Altos y Ocampo. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), realizó un programa de muestreo en 11 sitios en los ecosistemas loticos de la zona con el objetivo de caracterizar el estado de la calidad del agua, así como identificar posibles indicadores de contaminación generados por la actividad minera.

El diagnóstico también integra una caracterización ambiental de la zona que incluye un subcapítulo de la precipitación de la cuenca del Río Mayo a la cual pertenecen las subcuenca en estudio; así como del estado actual de los componentes bióticos, en el cual se enlistan la flora y fauna, organismos que podemos reconocer dentro de un ecosistema como un indicador clave del estado de salud del mismo; En el capítulo cuatro, se realiza una estimación de la huella hídrica de los principales proyectos mineros de la zona, entre los que se encuentran las Minas El Concheño, Pinos altos y Ocampo, para ello se obtiene la superficie del proyecto y se calcula la producción obtenida para cada una de ellas. En el capítulo cinco se obtiene un estudio de disponibilidad del agua superficial y subterránea en el cual se muestra la distribución de los volúmenes de agua en los diferentes usos para la cuenca hidrológica del Río Mayo, también se muestran los resultados obtenidos de calidad agua de las muestras colectadas en los cuerpos loticos de la zona. En el capítulo seis, se muestran las conclusiones de los resultados obtenidos en este diagnóstico y el capítulo siete concluye con la bibliografía empleada.



3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA

a) Precipitación

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 las subcuencas de los ríos Moris (RH09 Ac) y Candameña (RH09 Ad). 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 pixeles 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 1, la precipitación media anual se concentra hacia el noreste de la cuenca del río Mayo 1, donde se ubican las mayores elevaciones de la cuenca y las Minas Concheño, Mascota y Pinos Altos, con hasta casi 1,015 mm de precipitación media anual y disminuye hacia el suroeste donde la precipitación oscila entre los 600 mm en promedio.

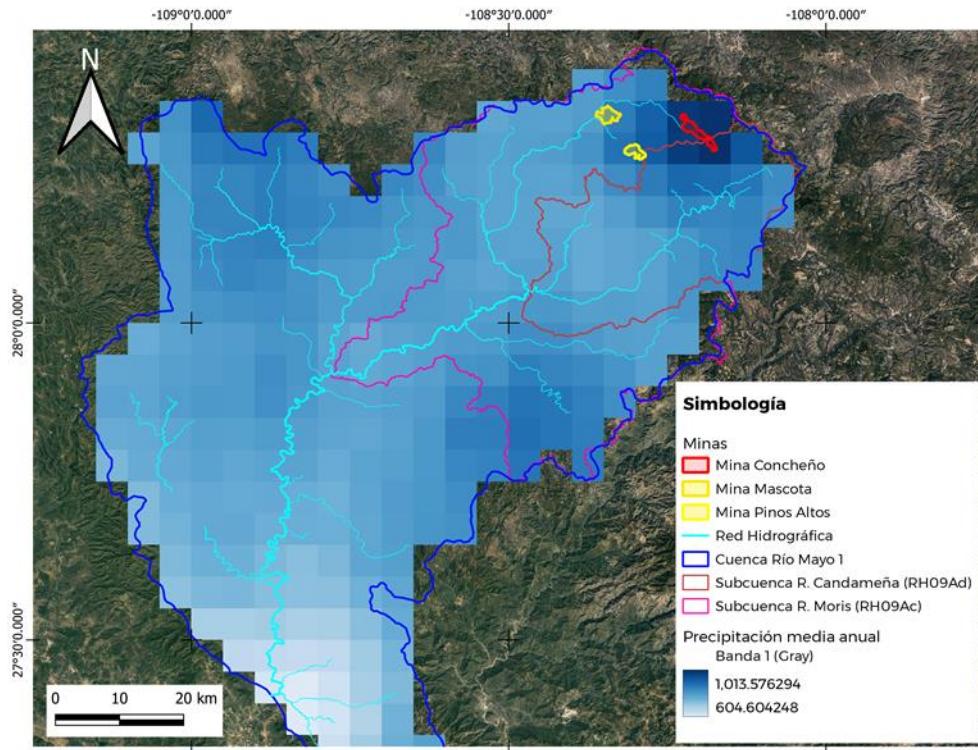


Figura 1. Distribución espacial de la precipitación media anual en la cuenca del Río Mayo 1.

Fuente: Elaboración propia.

La precipitación media anual en el municipio es de 833.45 mm en el periodo de 1981 al 2021. En este periodo los años más lluviosos han sido 1986, 1990, 2001, 2004, 2005, 2007 y 2015, por arriba de los 950 mm. Por otra parte, se observa una tendencia negativa de la precipitación en la zona de estudio (Figura 2 y Figura 3).

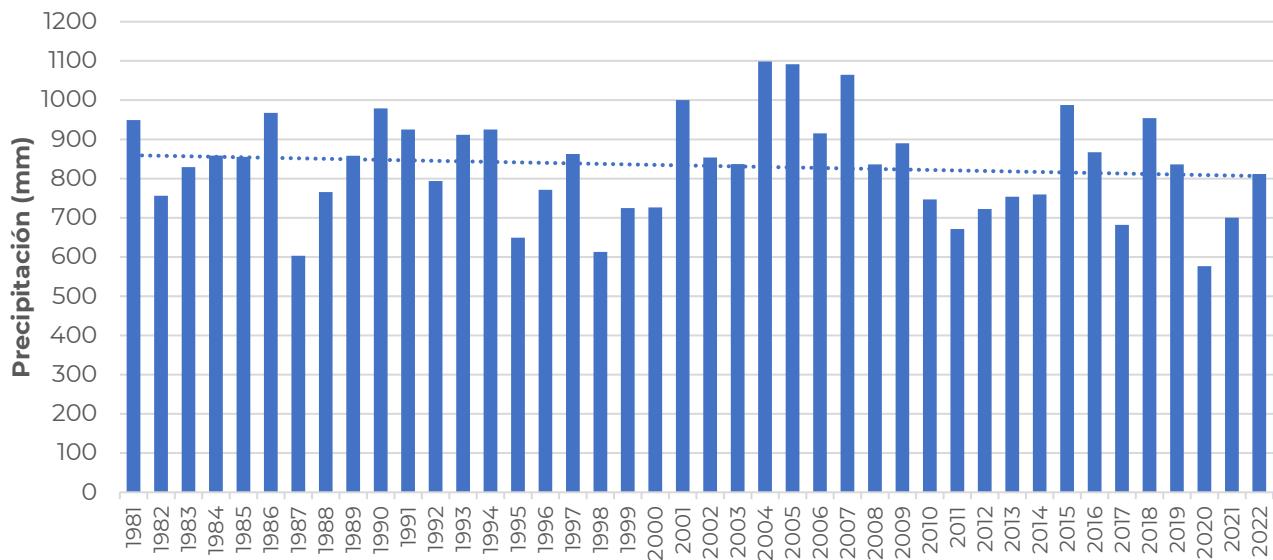


Figura 2. Precipitación anual en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

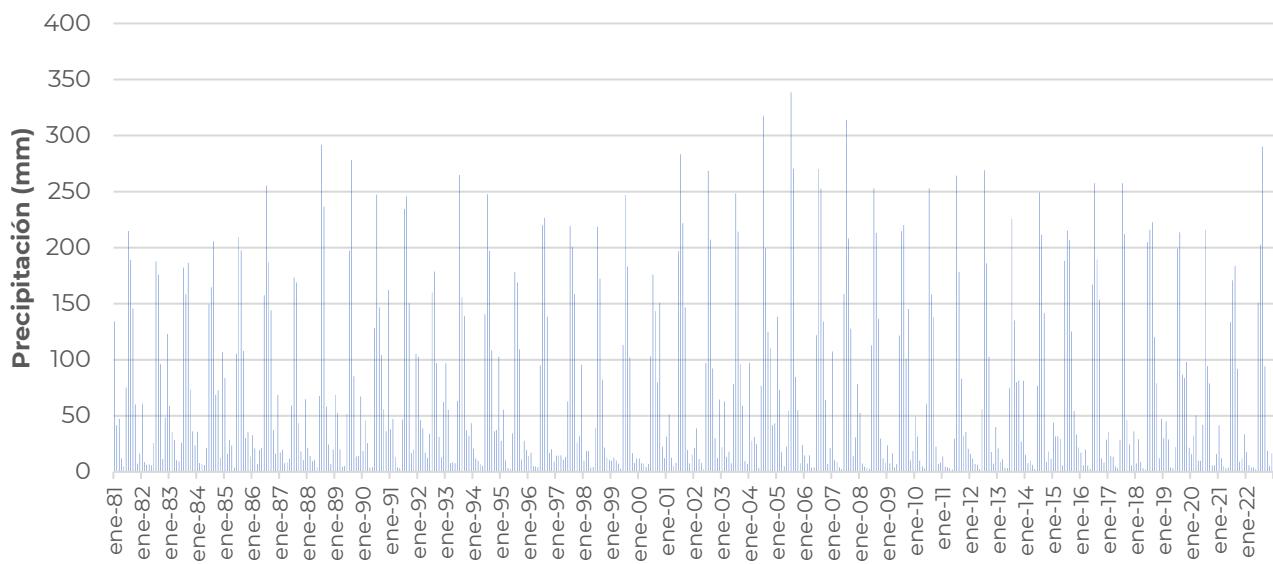


Figura 3. Precipitación mensual en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.



Por otra parte, las lluvias se concentran en verano, en los meses de junio a septiembre, ver Figura 4. No obstante, los meses de mayor acumulación de lluvia corresponden a los meses de julio y agosto donde la precipitación promedio mensual oscila entre los 197.75 mm a los 233.17 mm.

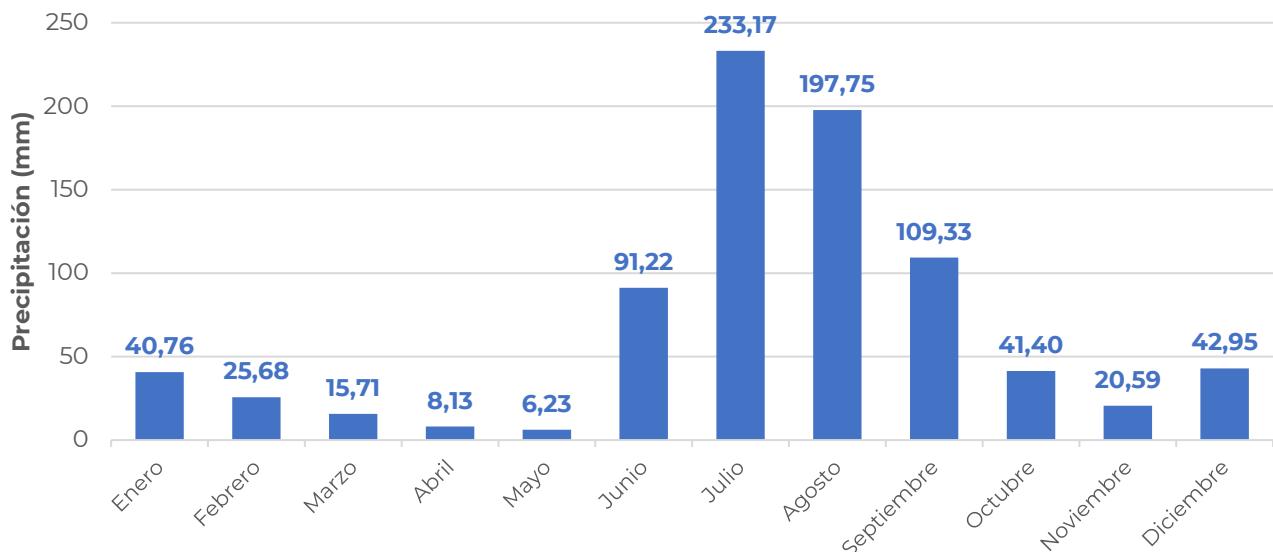


Figura 4. Precipitación media mensual en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

b) Flora y Fauna

Los componentes bióticos son esenciales dentro de un ecosistema, ya que debido a ellos existe un complejo flujo de materia y energía y el listado de organismos que podemos reconocer dentro de un ecosistema es un indicador clave del estado de salud del mismo (Gonzalez et al. 2020).

Un adecuado programa de manejo sobre un área en particular es aquel que reconoce el listado de su biodiversidad, ya que a partir de este listado se pueden llevar a cabo diagnósticos posteriores sobre la condición que guarda esa área. Por otra parte, es también importante reconocer que las especies dentro de un



ecosistema pueden tener un criterio de clasificación en términos de su nivel de conservación (Duenas et al. 2021)

El Parque Nacional Cascada de Bassaseachic representa un espacio funcional dentro de la Sierra Madre Occidental y forma parte de un corredor biológico de especies como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el puma (*Puma concolor*), el coyote (*Canis latrans*) y el oso negro (*Ursus americanus*). Este corredor está formado por el Área de Protección de Flora y Fauna Tutuaca, el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic y el Área de Protección de Flora y Fauna Papigochic, y proporciona conectividad entre paisajes, ecosistemas y hábitat para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y de los procesos ecológicos y evolutivos (CONANP, 2016).

Flora

El tipo de vegetación que caracteriza a la región corresponde al bosque de coníferas, el cual está confinado a las partes más altas y húmedas de las montañas; está formado principalmente por especies de los géneros *Pinus sp*, *Pseudotsuga sp* y *Abies sp*. Además del bosque de encino, donde se encuentran especies de los géneros *Quercus sp*, *Cupressus sp*, *Juniperus sp*, *Populus sp* y *Arbutus sp*. El estrato rasante de estos bosques está ocupado por musgos, hongos y líquenes. Su abundancia varía de un lugar a otro y está determinada en gran medida por la humedad de los sitios y por la época de lluvia (Vargas-Márquez 1984).

El listado de la flora para el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic se entra disponible en el programa de manejo (CONANP, 2016). En la tabla 1 se muestra un resumen la diversidad de especies vegetales por familia y género.

Tabla 1. Géneros y especies por orden y familia de plantas presentes en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic. Adaptado de CONANP (2016)

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ESPECIES DENTRO DE ALGUNA CATEGORÍA DE RIESGO NOM-059-SEMARNAT-2010
Alismatales	Hydrocharitaceae	1	1	
	Juncaginaceae	1	1	
	Potamogetonaceae	1	2	





Apiales	Apiaceae	9	13	<i>Tauschia spellenbergii</i> (E)
	Araliaceae	1	1	<i>Hydrocotyle pusilla</i> (E)
Asparagales	Asparagaceae	5	6	
	Amaryllidaceae	3	4	<i>Hymenocallis pimana</i> (E)
	Hypoxidaceae	1	1	
	Iridaceae	2	4	
	Orchidaceae	9	24	<i>Malaxis salazarii</i> (E)
Aquifoliales	Aquifoliaceae	1	2	
Asterales	Asteraceae	60	139	<i>Conoclinium mayfieldii</i> (E); <i>Erigeron basaseachensis</i> (E); <i>Erigeron eruptens</i> (E); <i>Erigeron fundus</i> (E); <i>Erigeron neomexicanus</i> (E); <i>Erigeron podophyllum</i> (E); <i>Erigeron wislizeni</i> (E); <i>Laennecia chihuahuana</i> (E); <i>Pinaropappus pooleanus</i> (E)
	Campanulaceae	1	2	
Brassicales	Brassicaceae	8	12	
Commeliniales	Commelinaceae	2	2	
Caryophyllales	Amaranthaceae	2	2	
	Polygonaceae	2	5	
	Phytolaccaceae	1	1	
	Cactaceae	2	3	
Cornales	Hydrangeaceae	3	3	
Cucurbitales	Begoniaceae	1	1	
	Cucurbitaceae	3	3	<i>Cyclanthera dieterleiana</i> (E)
Dipsacales	Caprifoliaceae	1	1	
	Caryophyllaceae	4	9	
	Valerianaceae	1	1	
Ericales	Clethraceae	1	1	
	Ericaceae	6	8	
	Polemoniaceae	3	3	
	Primulaceae	1	1	
Fagales	Betulaceae	2	2	<i>Ostrya virginiana</i> var. <i>guatemalensis</i> (Pr)
	Fabaceae	13	31	<i>Trifolium wormskioldii</i> (A)
	Fagaceae	1	15	<i>Quercus tarahumara</i> (E)
	Polygalaceae	2	3	
Garryales	Garryaceae	1	2	



Gentianales	Asclepediaceae	1	6	Asclepia atrovilacea (E); Asclepia jorgeana (E); Asclepia ovata (E)
	Gentianaceae	2	3	
	Rubiaceae	6	11	Hedyotis spellenbergii (E)
Geraniales	Geraniaceae	2	2	
Lamiales	Boraginaceae	1	3	
	Callitrichaceae	1	1	
	Lamiaceae	6	12	
	Lentibulariaceae	1	1	
	Oleaceae	2	2	
	Orobanchaceae	6	11	Castilleja lebgueana (E)
	Phrymaceae	1	3	
	Plantaginaceae	2	4	
	Scrophulariaceae	1	1	
	Verbenaceae	1	1	
Liales	Liliaceae	1	2	
	Smilacaceae	1	1	
Magnolophya	Talinaceae	1	2	
Malpighiales	Euphorbiaceae	2	6	
	Linaceae	1	2	
	Salicaceae	1	1	
Malvales	Malvaceae	1	1	
	Tiliaceae	1	1	
Myrtales	Onagraceae	3	6	
Oxalidales	Oxalidaceae	1	3	
Piperales	Piperaceae	1	1	
Pinales	Cupressaceae	3	6	Cupressus lusitanica (Pr)
	Pinaceae	3	16	Pinus strobiformis (Pr)
Poales	Bromeliaceae	2	2	
	Cyperaceae	2	6	
	Eriocaulaceae	1	1	
	Juncaceae	1	1	
	Poaceae	31	78	Aristida spanospicula (E)
Polypodiales	Dennstaedtiaceae	2	2	
	Dryopteridaceae	2	2	
	Polypodiaceae	3	5	
	Thelypteridaceae	1	1	



Pteridales	Adiantaceae	3	5	
Ranunculales	Papaveraceae	1	1	
	Ranunculaceae	2	4	
Rosales	Rhamnaceae	2	5	
	Rosaceae	6	9	
	Urticaceae	1	1	
Sapindales	Anacardiaceae	2	2	
	Sapindaceae	2	2	
Saxifragales	Crassulaceae	1	4	
	Grossulariaceae	1	1	
	Saxifragaceae	1	2	
Santalales	Viscaceae	1	1	
Selaginellales	Selaginellaceae	1	2	
Solanales	Hydrophyllaceae	1	1	
	Convolvulaceae	1	1	
	Solanaceae	3	5	Browallia eludens (E)
Violales	Cistaceae	1	2	
	Vioalaceae	1	1	
Vitales	Vitaceae	1	1	
	TOTAL	285	566	

*E = Probablemente extinta en medio silvestre; P = En peligro de extinción; A = Amenazada; Pr = Sujeta a protección especial. Se reconoce también una serie de hongos los que se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 2. Géneros y especies por orden y familia de plantas presentes en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic. Adaptado de CONANP (2016)

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ESPECIES DENTRO DE ALGUNA CATEGORÍA DE RIESGO NOM-059-SEMARNAT-2010
Agaricales	Amanitaceae	1	2	Amanita muscaria (A)
	Agaricaceae	2	2	
	Hydnangiaceae	1	1	
	Shizophyllaceae	1	1	
Auriculariales	Auriculariaceae	1	1	
Boletales	Boletaceae	1	4	Boletus edulis (A)
Cantharellales	Cantharellaceae	1	1	
Gomphiales	Gomphaceae	1	1	





Hypocreales	Hypocreaceae	1	1	
Pezizales	Morchelaceae	1	1	
	Helvellaceae	2	2	
Russulales	Russulaceae	1	2	
	Hericiaceae	1	1	
Ustilaginales	Ustilaginaceae	1	1	
TOTAL		16	21	

Las especies identificadas como endémicas están representadas generalmente por hierbas que crecen en la comunidad de vegetación al fondo de la cascada, que es el único lugar en donde se localizan las siguientes especies: *Erigeron basaseachensis*, *Erigeron eruptens*, *Erigeron lepidopodus*, *Erigeron wislizeni*. Todas las especies están confinadas a la poza de agua en la caída de la cascada, por lo que cualquier disturbio que las afecte puede eliminarlas, así como también a otras especies muy restringidas a nivel regional, como abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), oyamel (*Abies durangensis*), *Tilia floridana*, palo de azúcar (*Acer grandidentatum* var. *brachypteron*), duraznillo (*Ostrya virginiana* var. *guatemalensis*), *Quercus Basaseachiensis*, chilillo (*Ilex rubra*), *Ilex tolucana*. El estudio desarrollado por Spellenberg et al. (1996) En el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic demostró la existencia de endemismos, sobre todo plantas vasculares al norte del Parque Nacional, ubicados en la parte baja de la cascada, en un área con centro en la poza de la caída de la misma, esto debido al ecosistema generado por la brisa producto de la caída de agua, como es el caso de *Cirsium basaseachense* y *Erigeron basaseachensis*.

Fauna

Debido a las características propias del parque, y a la gran diversidad de hábitats, es difícil mencionar solo algunas especies, pues el área presenta ecosistemas que van desde bosque de pino, hasta sitios con vegetación semitropical debajo de la corriente de agua que forma la cascada. En este sitio se pueden encontrar el oso negro (*Ursus americanus*), el puma (*Puma concolor*), la nutria (*Lontra longicaudis*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el chichimoco (*Neotamias dorsalis*), el águila real (*Aquila chrysaetos*), el guajolote silvestre (*Meleagris gallopavo*), el pájaro buzo (*Cinclus mexicanus*), víboras de cascabel, y





especies de murciélagos, ardillas y liebres. Este lugar era también el hábitat histórico del lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) (CONABIO, 2014).

De igual manera, el listado de fauna del Parque Nacional Cascada de Bassaseachic se encuentra disponible en el programa de manejo. En la tabla 3 se resumen el listado de fauna por grupos principales de vertebrados, así como el número de especies por género familia y orden y se señalan las especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Tabla 3. Géneros y especies por orden y familia de fauna presentes en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic. Adaptado de CONANP (2016)

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	ESPECIES DENTRO DE ALGUNA CATEGORÍA DE RIESGO NOM-059-SEMARNAT-2010
Mamíferos				
Artiodactyla	Cervidae	1	1	
	Tayassuidae	1	1	
Carnivora	Canidae	2	2	
	Felidae	3	4	<i>Herpailurus yagouaroundi</i> (A)
	Mephitidae	3	4	
	Mustelidae	3	4	<i>Lontra longicaudis annectens</i> (A); <i>Taxidea taxus</i> (A)
	Procyonidae	3	4	
	Ursidae	1	1	
Chiroptera	Phyllostomidae	4	4	<i>Choeronycteris mexicana</i> (A)
	Molossidae	3	3	
	Natalidae	1	2	
	Nycteridae	1	2	
	Vespertilionidae	6	12	<i>Euderma maculatum</i> (Pr)
Didelphimorphia	Didelphinae	1	2	
Lagomorpha	Leporidae	2	4	
Rodentia	Castoridae	1	1	<i>Castor canadensis mexicanus</i> (P)
	Cricetidae	6	13	
	Erethizontidae	1	1	<i>Erethizon dorsatum</i> (P)
	Geomysidae	1	1	
	Heteromyidae	1	1	



	Muridae	3	6	
	Sciuridae	4	9	Glaucomys volans (A); Sciurus aberti phaeurus (E, Pr); Spermophilus madrensis (E, Pr)
Soricomorpha	Soricidae	1	1	Notiosorex crawfordi crawfordi (A)
	Total	53	83	
Aves				
Accipitiformes	Accipitridae	2	2	
Anseriformes	Anatidae	2	5	
Apodiformes	Trochilidae	1	1	
Cathartiformes	Cathartidae	1	1	
Columbiformes	Columbidae	1	1	
Falconiformes	Falconidae	1	1	Buteogallus anthracinus (Pr)
	Accipitridae	1	1	
Galliformes	Odontophoridae	1	1	Cyrtonyx montezumae (Pr)
	Phasianidae	1	1	
Passeriformes	Bombycillidae	1	1	
	Cardinalidae	1	1	
	Corvidae	3	3	
	Certhiidae	1	1	
	Cinclidae	1	1	Cinclus mexicanus (Pr)
	Emberizidae	2	2	
	Fringillidae	1	1	
	Hirudinidae	1	1	
	Icteridae	1	2	
	Laniidae	1	1	
	Parulidae	3	3	
	Sittidae	1	1	
	Tyrannidae	2	3	
	Turdidae	1	1	
Pelecaniformes	Ardeidae	2	2	
Piciformes	Picidae	4	6	
Psittaciformes	Psittacidae	4	4	Amazona finschi (E, P); Ara militaris (P); Aratinga holochlora (A); Rhynchopsitta pachyrhyncha (P)
Strigiformes	Tytonidae	1	1	



Trochiliformes	Trochilidae	4	4	
Trogoniformes	Trogonidae	1	1	
	Total	47	54	
Anfibios				
Anura	Bufoidae	2	5	Anaxyrus debilis (Pr)
	Microhylidae	1	1	Gastrophryne olivacea (Pr)
	Hylidae	1	4	
	Ranidae	1	3	Lithobates berlandieri (Pr)
	Scaphiopodidae	2	3	
Urodela	Ambystomatidae	1	1	
	Total	8	17	
Reptiles				
Squamata	Anguidae	2	2	Elgaria multicarinata (Pr)
	Colubridae	16	24	Heterodon nasicus (Pr); Hypsiglena torquata (Pr); Lampropeltis getula (A); Lampropeltis pyromelana (A); Coluber flagellum (A); Tantilla atricpes (A); Thamnophis cyrtopsis (A); Thamnophis eques (A); Thamnophis marcianus (A)
	Crotaphytidae	2	2	Crotaphytus collaris (A); Gambelia wislizenii (Pr)
	Gekkonidae	1	1	
	Leptotyphlopidae	1	2	
	Phrynosomatidae	7	13	Cophosaurus texanus (A); Uta stansburiana (A)
	Scincidae	1	2	
	Teiidae	1	4	
	Viperidae	1	5	Crotalus lepidus, C. pricei, C. scutulatus, C. viridis, C. willardi (todas en Pr)
Testudines	Emydidae	1	1	Terrapene ornata (Pr)
	Kiosternidae	1	2	Kinosternon hirtipes, (Pr); K. sonoriense (P)
	Total	34	58	
Peces				
Cypriniformes	Catostomidae	1	2	
	Cyprinidae	6	8	Agosia chrysogaster(E, A)



Cyprinodontiformes	Cyprinodontidae	1	1	
Perciformes	Centrarchidae	2	4	
Salmoniformes	Salmonidae	1	2	
Siluriformes	Ictaluridae	1	2	Ictalurus melas (E); I. pricei (A)
	TOTAL	12	19	



4. PROYECTOS MINEROS EN LA REGIÓN

a) Mina El Concheño – Newmont

Superficie del proyecto

El Concheño es una mina a cielo abierto que cuenta también con operaciones subterráneas perteneciente a Minera Frisco S.A.B. de C.V. Se localiza en el denominado Distrito Ocampo en el estado de Chihuahua, una región minera que ha sido históricamente conocida por su producción de minerales preciosos, como oro y plata. Este Distrito tiene una larga historia de actividad minera que se remonta a la época colonial en México y dado que ha sido un área significativa para la producción de minerales preciosos, a través del tiempo, ha atraído la atención de diferentes compañías mineras.

Las instalaciones de la mina El Concheño se ubican en el municipio de Ocampo, Chihuahua y de acuerdo con la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) se identificó que el proyecto minero tiene una vida útil que contempla 28 años (25 años para la operación y tres años para el abandono), en una superficie de 821.485 hectáreas dentro del Área Natural Protegida Tutuaca, categorizada como Área de Protección de Flora y Fauna.



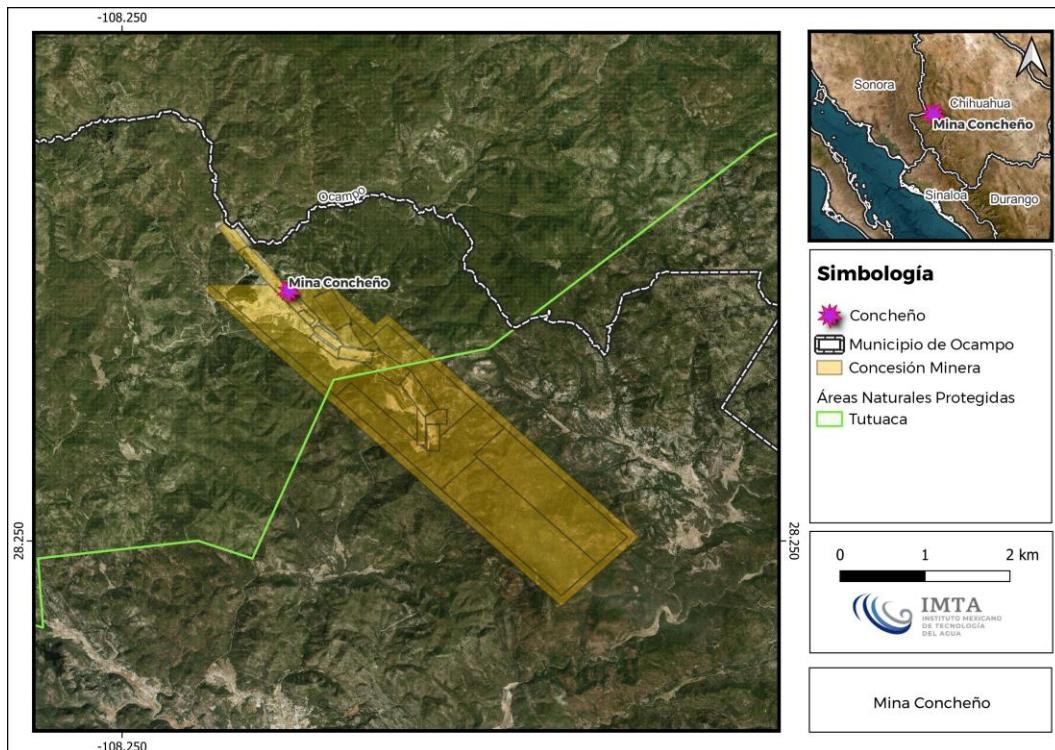


Figura 5. Localización de la Mina El Concheño

Las operaciones de la mina se desarrollan de manera general en tres fases: (1) extractiva, (2) beneficio y (3) depósito de jales.

La planta de beneficio tiene una capacidad de 20,000 toneladas diarias y se beneficia mediante un proceso de lixiviación dinámica, la cual desarrolla varios procesos de tratamiento del mineral, los cuales consisten en triturar, moler, espesar, lixivar con cianuro, lavado, precipitación, filtrado y remoción de valores oro-plata de los jales. Los jales son enviados a los depósitos en la última etapa.

Producción obtenida

La Mina Concheño produce barras de doré, con contenidos vendibles de Oro y Plata.



En la Figura 6, se presenta la evolución de las toneladas molidas de 2016 a 2021 en donde se puede notar que el año 2017 fue el año con mayor movimiento de material.

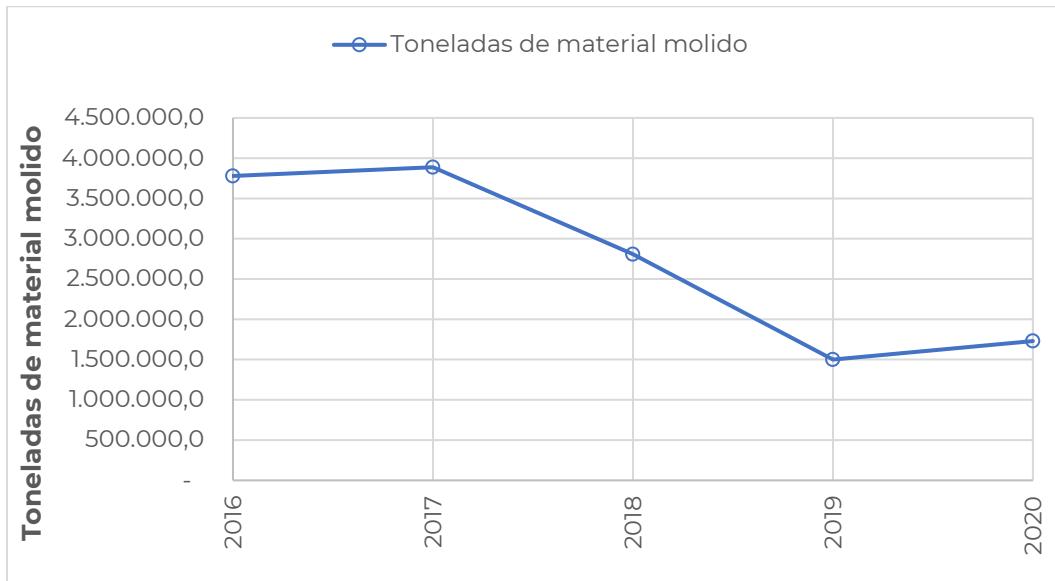


Figura 6. Material molido anual en la mina El Concheño

En el ejercicio de 2016 la unidad minera alcanzó una producción de onzas de oro y plata de 123,943 y 3,184,058 respectivamente, que comparado con la producción de 2015 se incrementó en un 29% y 17%, respectivamente.

Con base en el dato anterior, se puede inferir que en el año 2015 la producción de oro y plata fue de 96,080 y 2,721,417 onzas respectivamente.

Durante el 2021, la mina Concheño se ubicó entre los 15 principales productores nacionales de oro por unidad minera, año en el que se produjeron 50,070 onzas. Al cierre de ese año, Minera Frisco reportó en su informe del cuarto trimestre, que el aumento en la producción de la unidad Concheño, se debe al crecimiento en





tonelaje procesado y a un incremento en ley procesada.

En su Informe Anual 2023, la Cámara Minera de México (CAMIMEX) reporta para el apartado Plata, que en el año 2022 Concheño de Minera Frisco incrementó su producción en 20.2% con respecto al 2021.

Huella hídrica

La industria minera despliega un papel vital en el suministro de materiales esenciales para múltiples sectores industriales. Sin embargo, su naturaleza intensiva en recursos hídricos y los posibles impactos ambientales resultantes subrayan la necesidad de un enfoque responsable y sostenible hacia el uso del agua en esta actividad. La medición y comprensión de la "Huella Hídrica" se presentan como una herramienta crucial para lograr estos objetivos.

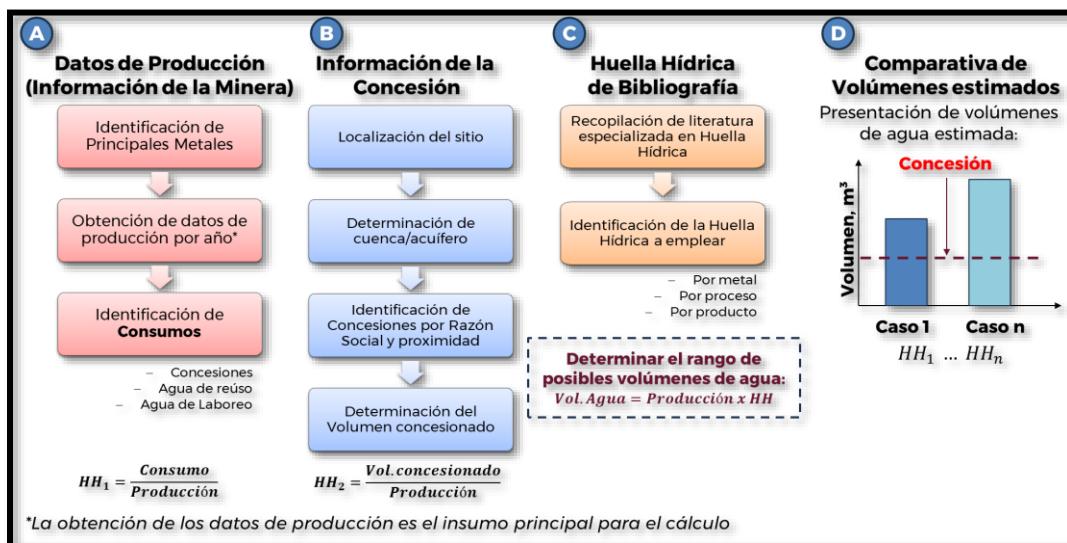


Figura 7. Pasos para estimar la Huella Hídrica en la industria minera.



En este sentido, la Huella Hídrica es un concepto utilizado para estimar y evaluar el uso de agua en relación con la producción y consumo de bienes y servicios. Se refiere a la cantidad total de agua (tanto directa como indirectamente), que se utiliza en el proceso de producción y suministro de un producto o servicio, teniendo en cuenta el agua consumida y la contaminación del agua durante todas las etapas de su ciclo de vida. En muchos casos, la estimación está sujeta a la disponibilidad de información

De acuerdo con la MIA, el abastecimiento de agua de la mina El Concheño se realiza con las aguas de laboreo. Asimismo, en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) no se encuentran aprovechamientos superficiales ni subterráneos asociados a la mina El Concheño.

Al realizar la revisión del REPDA con fecha de corte 28 de julio de 2023, para el municipio de Ocampo se determinó que únicamente existe un Título de concesión de aguas subterráneas catalogado como “Uso en Servicios” y cuyo pozo está localizado en las coordenadas 28°12'50.3" latitud norte, 108°13'22.4" longitud oeste; esto es aproximadamente 9 km de distancia con respecto a la mina El Concheño.

Por otra parte, los informes de sustentabilidad de Minera Frisco tampoco muestran información sustancial sobre los volúmenes de agua que se usan en sus Unidades Mineras. De acuerdo con su Informe Ejecutivo de Sustentabilidad 2019, para el tema Agua se presenta de manera general los porcentajes de uso de agua en función de sus fuentes, indicando que el 66% es agua tratada-reutilizada, 23% es de aguas de laboreo, 10% de agua subterránea y 1% de agua superficial, sin definir los volúmenes en los cuales se basan para la determinación de los porcentajes o en su caso, el detalle de uso por Unidad Minera

Otros informes como el presentado el 4 de octubre de 2022 por HR Ratings (calificadora de valores global con presencia en el mercado mexicano), en su evaluación relativa al impacto que los factores ambientales, sociales y de gobernanza tienen sobre la calidad crediticia de la Empresa, menciona que cuenta con programas como “Cosecha de Agua Pluvial” (piloto), tratamiento de aguas residuales grises, recuperación de agua y recirculación. Asimismo,





menciona que se ha implementado un plan de desarrollo llamado “Frisco Contigo” en todas sus Unidades Mineras, a fin de alinearse con la Agenda 2030 de la ONU en cuatro ramas de desarrollo, las cuales incluyen Fortalecimiento Comunitario, Vida Saludable, Cuidado Ambiental y Desarrollo Local. Dicho informe no da detalles que permitan cuantificar ninguno de los aspectos mencionados.

Asimismo, en la página web de Minera Frisco se presenta este programa en el apartado denominado Sustentabilidad, sin embargo, al término del segundo cuatrimestre del año 2023, no se presentan detalles o evidencia de la labor realizada.

Con base en los datos de producción obtenidos, para el caso del oro en los años 2015, 2016 y 2021, se puede emplear la Huella Hídrica para dicho mineral reportada por Álvarez-Pugliese, et al. (2018) y Güney & Demirel, (2022), el cual va de un rango de 79.91 a 452.40 m³/kg,

En este caso no hay valores de concesión ni información que pueda servir como un posible indicador del volumen que la mina El Concheño utiliza, por lo que, en términos de volumen de agua, se puede estimar que la minera en cuestión usa valores en un rango que va desde los 113,429.01 m³ al año, hasta 1,589,607.87 m³, los cuales se extraen de agua de laboreo, esto es, agua subterránea.

De lo anterior, cabe resaltar que el valor de 1,589,607.87 m³ es casi 80 veces el volumen total de agua subterránea concesionado en el REPDA para el municipio de Ocampo (20,000 m³).



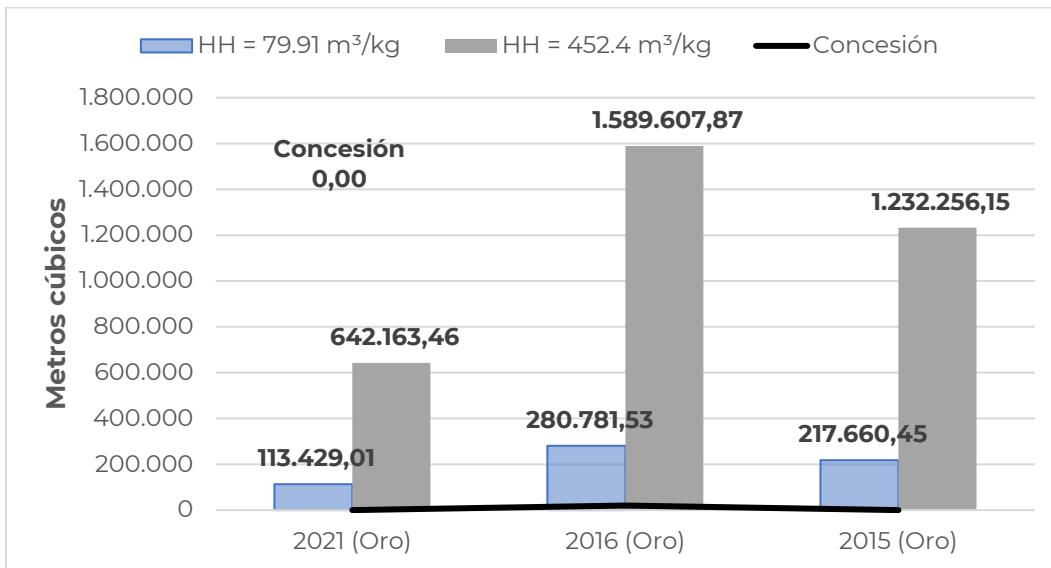


Figura 8. Estimación de los consumos de agua de la mina El Concheño con base en la Huella Hídrica del Oro.

b) Mina Pinos Altos – Agnico Eagle

Superficie del proyecto

La Compañía Agnico Eagle es una empresa minera canadiense de oro fundada en 1957, que produce metales preciosos a través de operaciones en Canadá, Australia, Finlandia y México.

Cuenta con un conjunto de proyectos de exploración y desarrollo en estos países, así como en los Estados Unidos. Su enfoque principal es el oro, sin embargo, su alcance se extiende a la exploración, desarrollo y extracción, o la inversión en empresas centradas en otros metales, como el cobre y el níquel.

Durante el primer trimestre de 2005, la Compañía formalizó un acuerdo con Industrias Peñoles S.A. de C.V. para la adquisición de la propiedad Pinos Altos en el norte de México. Posteriormente, en febrero de 2006, la Compañía procedió a ejercer su opción, materializando la adquisición de la propiedad Pinos Altos el 15





de marzo de 2006. Se estima que la mina mantendrá su operatividad hasta el año 2028.

Pinos Altos es una mina que combina operaciones a cielo abierto y subterráneo. La participación de la compañía en la propiedad de la mina está gestionada por medio de su subsidiaria indirecta, Agnico Eagle Mexico, S.A. de C.V.

La Mina Pinos Altos se sitúa en la zona norte de la provincia geológica Sierra Madre, en el margen noreste de la Caldera Ocampo, un área rica en manifestaciones de oro y plata de tipo epitermal, que incluye las minas cercanas de Ocampo y Moris.

Las instalaciones de la mina Pinos Altos también se localiza en el municipio de Ocampo, al oeste de las instalaciones de la mina El Concheño, aproximadamente separados por una distancia de 9 km. De igual forma, la superficie del proyecto se encuentra inmerso dentro de la ANP Tutuaca.

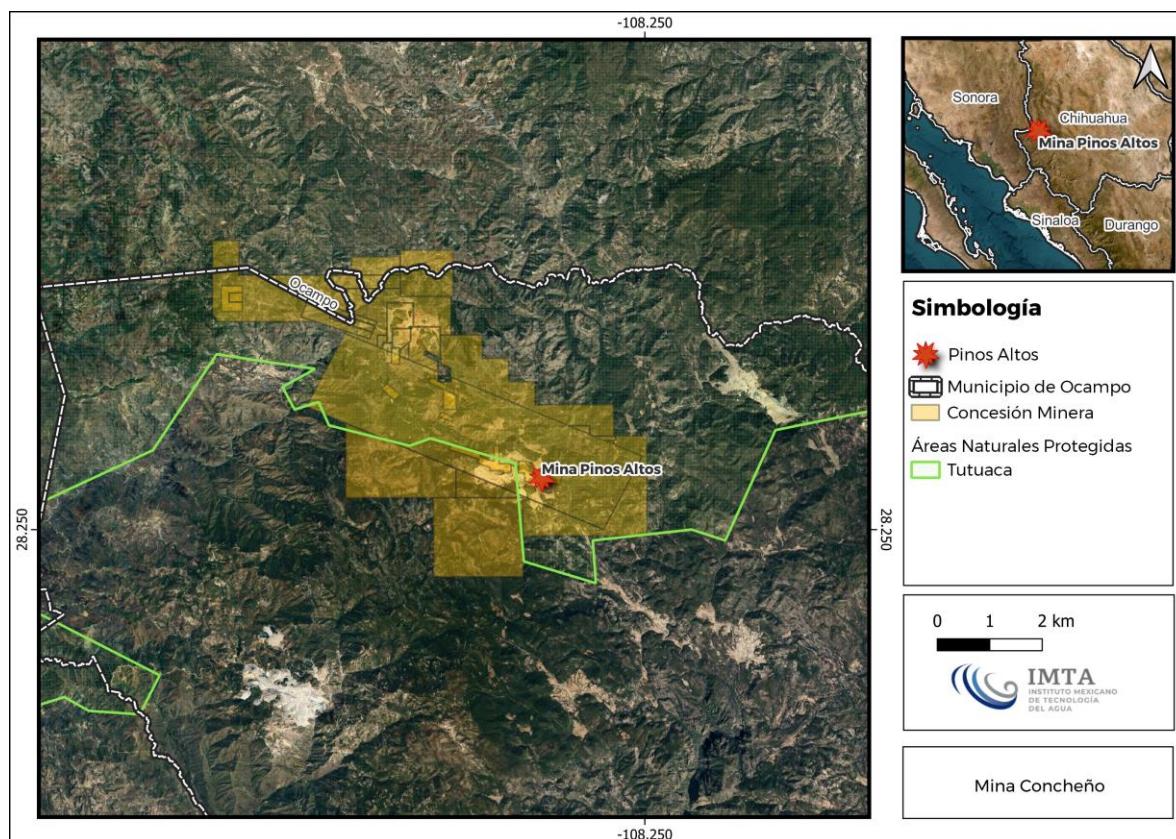


Figura 9. Localización de la Mina Pinos Altos.



El terreno en cuestión está compuesto por formaciones volcánicas e intrusivas del período terciario (con menos de 45 millones de años de antigüedad), que han sido afectadas por fallas.

De acuerdo con el Manifiesto de Impacto Ambiental, la zona de trabajo está conformada por una superficie de aproximadamente 1,320 hectáreas.

Producción obtenida

La mina Pinos Altos explota principalmente Oro y Plata. Con fecha 31 de diciembre de 2022, se calcula que la mina Pinos Altos albergaba reservas minerales probables de 665,000 onzas de oro y 14.8 millones de onzas de plata, distribuidas en 10.3 millones de toneladas de mineral con una ley de 2.01 gramos de oro por tonelada y 44.78 gramos de plata por tonelada.

En el año 2022, la mina Pinos Altos logró una producción comercializable de 96,522 onzas de oro y 1,013,595 millones de onzas de plata, extraídas de 1,510,393 millones de toneladas de mineral con una ley de 2.07 gramos de oro por tonelada y 41.72 gramos de plata por tonelada.

Esto incluyó la producción de la planta de flotación, que generó 96,052 onzas de plata a partir de 1,494,479 millones de toneladas de mineral con una ley de 22.7 gramos de plata por tonelada.

Asimismo, las operaciones de lixiviación en montón en el yacimiento Creston Mascota arrojaron una producción comercializable de 2,630 onzas de oro y 7,035 onzas de plata, procedentes de los inventarios residuales en los patios de lixiviación.





Para el año 2023, se estima que la producción anual en la mina Pinos Altos oscilará entre 80,000 y 90,000 onzas de oro, junto con 1,078,000 onzas de plata.

Huella hídrica

Al igual que en la mina El Concheño, los datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA) muestra que la concesión de agua de la mina Pinos Altos es nula, tanto para agua superficial como para agua subterránea.

Con base en los datos de producción obtenidos para el año 2022, se puede observar que la mina alcanzó un valor de 96,550 onzas de oro, esto es 2,737 kg de este metal. Por tratarse de oro, se puede emplear nuevamente la Huella Hídrica para dicho mineral reportada por Álvarez-Pugliese, et al. (2018) y Güney & Demirel, (2022), el cual va de un rango de 79.91 a 452.40 m³/kg, observándose que los consumos de agua de la mina pueden ir desde 218,725.20 m³ hasta 1,238,284.05 m³.

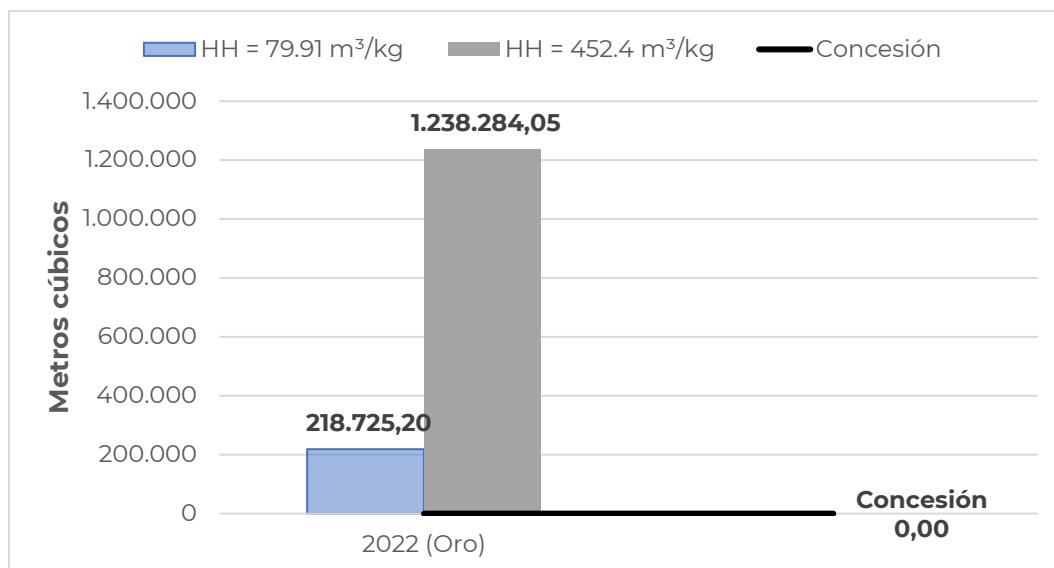


Figura 10. Estimación de los consumos de agua de la mina Pinos Altos con base en la Huella Hídrica del Oro.





Si hacemos una comparación similar a la hecha en la mina El Concheño, tenemos que para el límite superior estimado de consumo (1,238284.05 m³), representa casi 62 veces el volumen total de agua subterránea concesionado en el REPDA para el municipio de Ocampo (20,000 m³).

c) Mina Ocampo – Frisco

Superficie del proyecto

La mina Ocampo en el estado de Chihuahua es una de las 8 Unidades Mineras de Minera Frisco, cuyo minado es subterráneo y a tajo abierto, produciendo barras de doré, al igual que la mina El Concheño. Se localiza aproximadamente a 12 kilómetros de la mina Pinos Altos y a 21 kilómetros de la mina El Concheño.

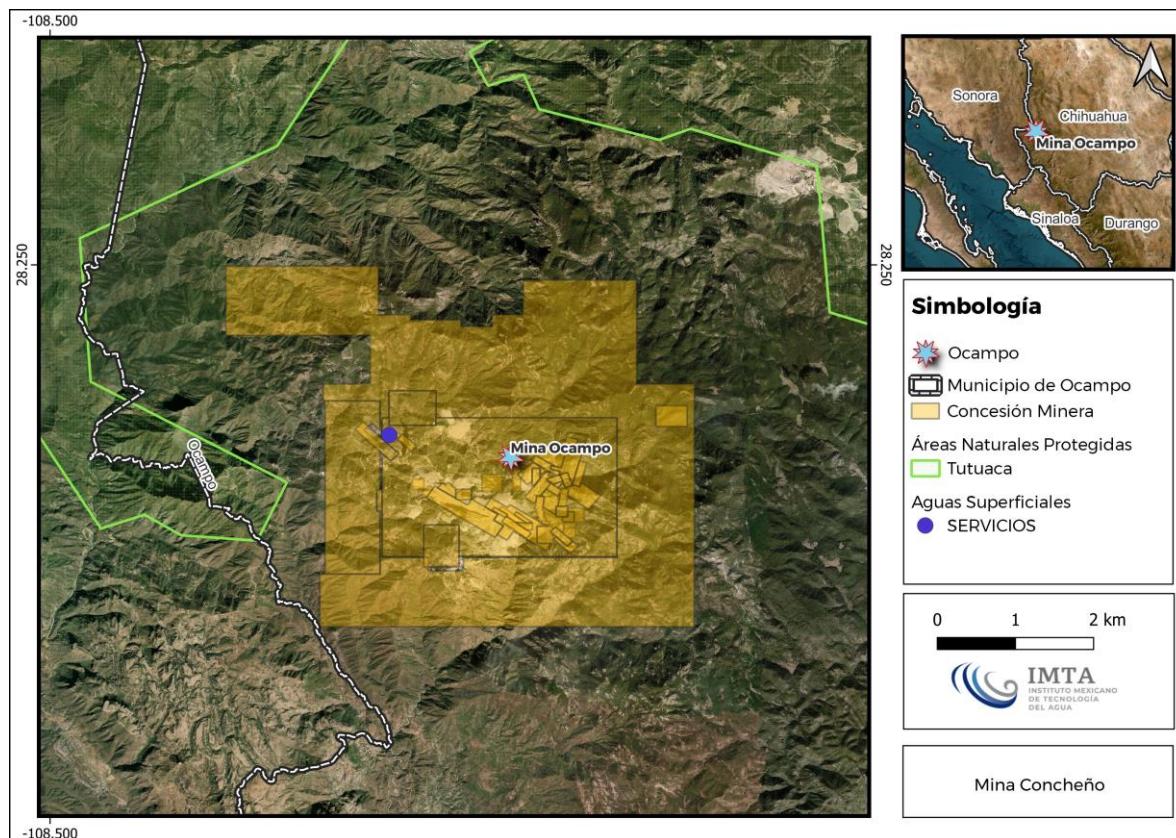




Figura 11. Localización de la Mina Ocampo.

De acuerdo con el Manifiesto de Impacto Ambiental, las instalaciones ocupan una superficie de 208.39 hectáreas, en las que se encuentran las instalaciones de mina y terreros, la planta concentradora y el campamento que incluye talleres y laboratorios de ensaye, las presas de jales, presa de agua y áreas para maniobras con caminos y uniones entre sitios.

Producción obtenida

La producción de la mina cuenta con datos de producción para los años 2016, 2017 y 2018, años en los que se obtuvieron cantidades de oro equivalentes a 10,471 kg, 9,119 kg y 8,737 kg respectivamente.

Por otra parte, las métricas operativas indican que del año 2016 al 2020 se tiene un promedio de toneladas molidas de material del orden de 363,604.2 toneladas.

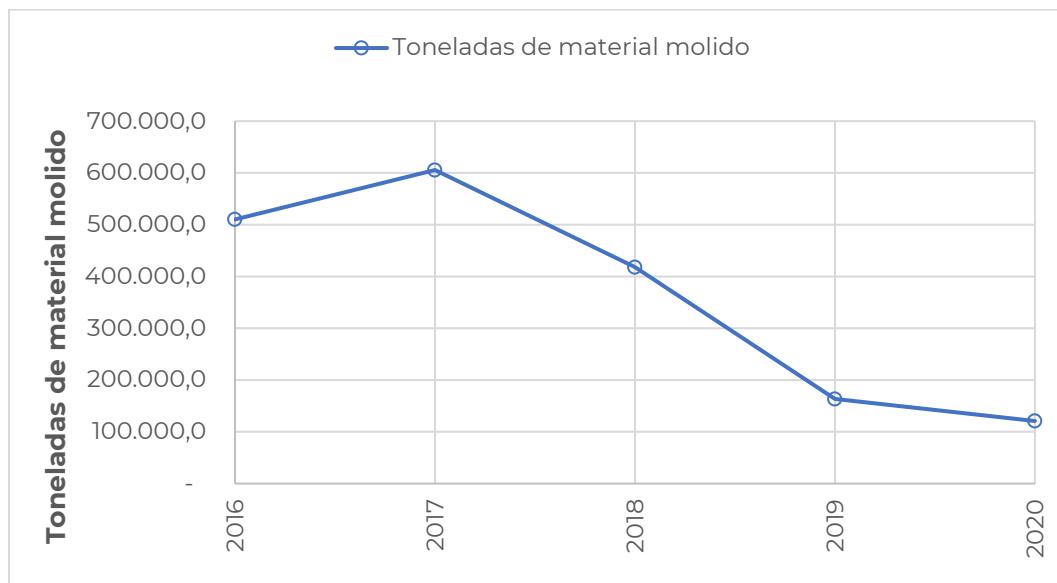




Figura 12. Material molido anual en la mina El Concheño.

Huella hídrica.

A diferencia de los casos presentados en El Concheño y Pinos Altos, la mina Ocampo si cuenta con un Título de Concesión de aguas superficiales que ampara el uso de agua para Servicios. Es decir, no es usada para el proceso industrial de beneficio o transformación de los minerales.

El valor amparado por la concesión es de 500,000 m³ bajo el registro con Título 02CHI140619/09EDDL17 a nombre de OCAMPO MINING S A DE C V y su afluente es el río Candamena, la cual pertenece a la cuenca del Río Mayo. El registro data del 05 de febrero de 2013.

Con base en los datos de producción obtenidos, para el caso del oro en los años 2016, 2017 y 2018, se puede emplear nuevamente la Huella Hídrica para dicho mineral reportada por Álvarez-Pugliese, et al. (2018) y Güney & Demirel, (2022), el cual va de un rango de 79.91 a 452.40 m³/kg,

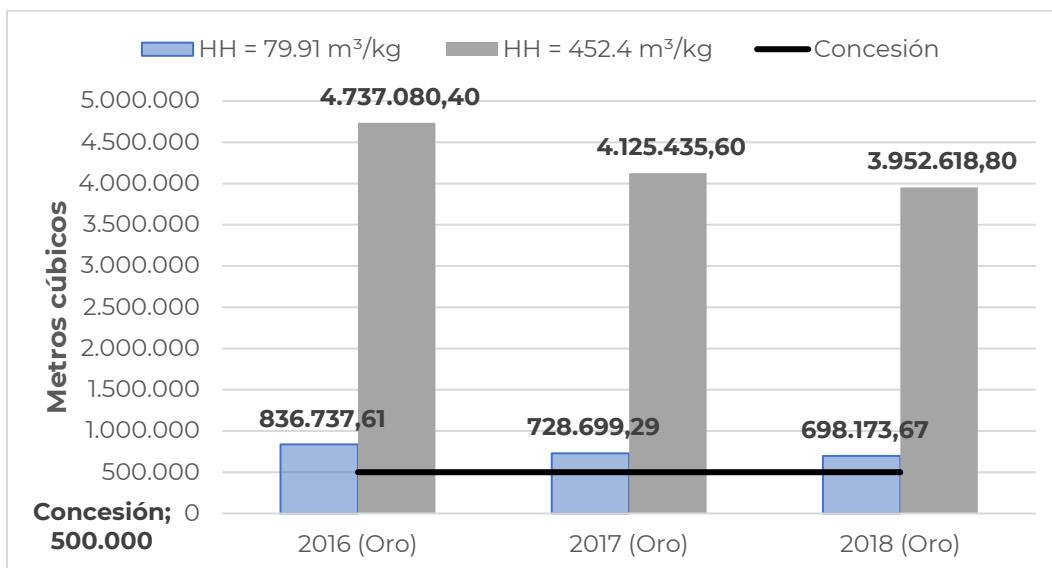




Figura 13. Estimación de los consumos de agua de la mina Ocampo con base en la Huella Hídrica del Oro.

Se puede observar como los consumos de agua para los valores de producción en el periodo 2016 a 2018 van desde 698,173.67 m³ hasta 4,737,80.40 m³, valores muy superiores a la concesión (de 8 a 10 veces aproximadamente).

Es importante recalcar que el valor de la concesión es para Servicios y al igual que en la mina El Concheño, no se tienen reportes del uso de agua en los informes de sustentabilidad, por lo que los volúmenes de agua empleados para los procesos industriales mineros no quedan definidos en registros que puedan dar idea de las cantidades de agua que emplea la mina o de sus fuentes de abastecimiento.



5. DISPONIBILIDAD Y CALIDAD DEL AGUA

a) Disponibilidad

Aguas superficiales

De conformidad con el “ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos”, publicado en el Diario Oficial de la Federación el pasado 27 de mayo de 2016 (DOF, 2016). La cuenca hidrológica donde se ubica la zona en estudio corresponde a la siguiente: Río Mayo 1 (0913), la cuenca comprende desde su nacimiento ubicado en la Sierra madre Occidental, específicamente en la porción sur entre en los límites de los estados de Chihuahua y Sonora, hasta la estación hidrométrica “San Bernardo” ubicada en la localidad del mismo nombre sobre la presa “Los Pilares”, con una superficie de aportación de 7696.96 km², ver Figura 14.

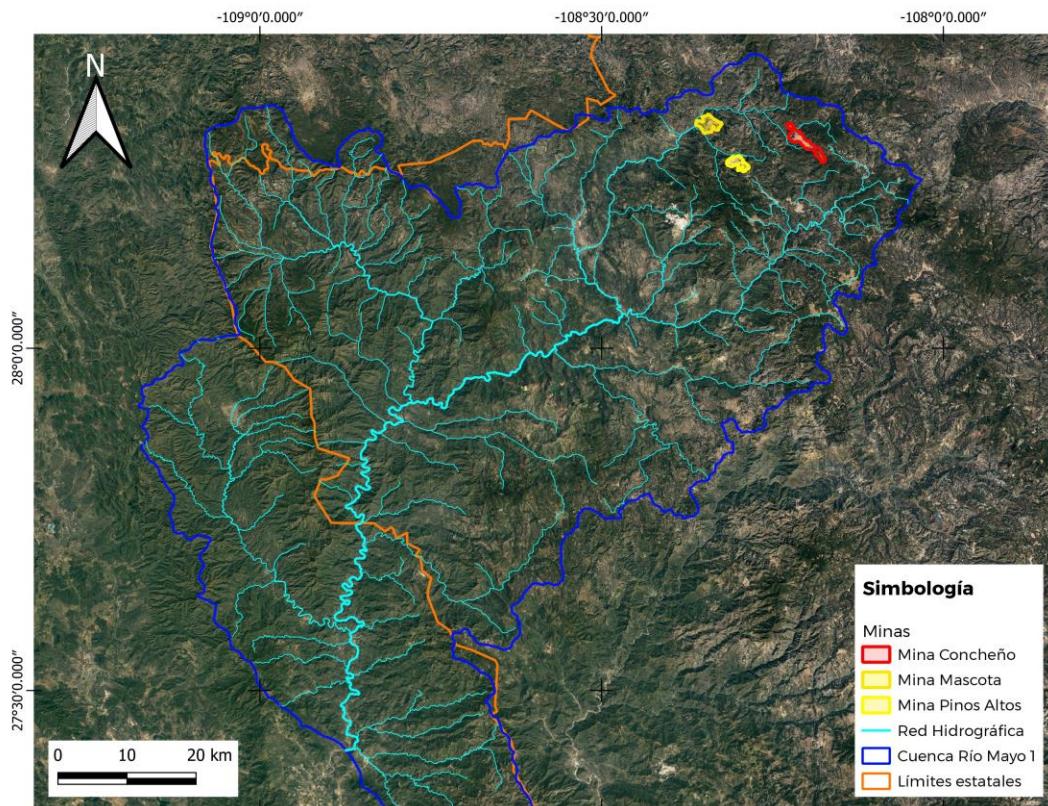


Figura 14. Cuenca hidrológica del río Mayo 1.



Fuente: *Elaboración propia.*

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 Mm^3

A_b Volumen medio anual de escurrimientos hacia aguas abajo en Mm^3

R_{xy} Volumen medio anual comprometido hacia aguas abajo en Mm^3

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 (Uc(a), Uc(b), Uc(c))

$Uc(a)$ Volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos/asignados 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

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

A_v Volumen medio anual de variación de almacenamiento en embalses



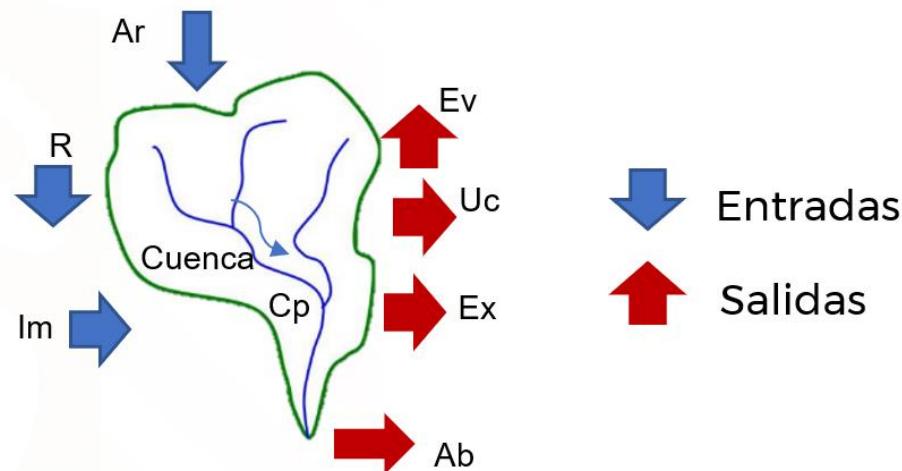


Figura 15. Variables del balance hídrico superficial

Fuente: Elaboración propia.

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

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 hidrológica 913-Río Mayo 1, presentan los valores para estimar la disponibilidad, ver Tabla 4.

Tabla 4. Cuadro resumen de valores de los términos que intervienen en el cálculo de la disponibilidad superficial en la cuenca hidrológica en estudio.



Nombre de la cuenca	Cp	Ar	Uc (a)	Uc (b)	Uc (c)	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	D
0913-Río Mayo 1	965.05	0.00	3.26	25.02	0.00	2.02	0.00	0.00	0.00	0.00	938.80	938.75	0.05

Fuente: (DOF. 2020), unidades en $\text{hm}^3/\text{año}$. **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 disponibilidad en la cuenca es de $0.05 \text{ hm}^3/\text{año}$, es decir, **presenta disponibilidad para el uso de las aguas nacionales superficiales, no obstante es necesario indicar que el volumen de aguas superficiales disponible en la cuenca corresponde a un valor cercano a cero, así mismo este volumen solo se encuentra disponible a la salida de la cuenca, lo que compromete el desarrollo de las actividades que puedan comprometer el recurso hídrico.**

Distribución de las aguas superficiales

De acuerdo con la base de datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) con fecha de corte al 31 de diciembre de 2019, se tiene la siguiente distribución del volumen de agua superficial concesionada para la cuenca hidrológica del río Mayo 1, ver Tabla 5.



Tabla 5. Distribución de los volúmenes de agua superficial en los diferentes usos para la cuenca hidrológica en la zona de estudio.

Uso	913-Río Mayo 1 REPDA 2019	Porcentaje 913-Río Mayo 1
Acuacultura	0.000	0.00%
Agrícola	0.000	0.00%
Diferentes usos	0.038	1.18%
Doméstico	0.001	0.02%
G.E.Eléctrica	0.000	0.00%
Industrial	0.000	0.00%
Pecuario	0.037	1.15%
Público Urbano	2.679	82.30%
Servicios	0.500	15.36%
TOTAL	3.26	100.00%

Fuente REPDA, 2019.

Las concesiones de aguas superficiales en la cuenca de la zona de estudio (0913-Río Mayo 1) corresponden en su mayoría al uso público urbano con un volumen total concesionado de **2.679** hm³/año (82.3 %), seguido del uso de servicios con un volumen total de **0.50** hm³/año (15.36%), y como se puede observar el sector agrícola en esta región es del 0%. El volumen total concesionado en la zona de estudio es de **3.26** hm³/año, considerado que en este caso solo se reporta el volumen anual de extracción de agua superficial mediante títulos inscritos actualmente en el REPDA; y no se considera el volumen anual de extracción de agua superficial de títulos en proceso de inscripción en el REPDA. La forma de cómo se distribuyen los diferentes usos del agua, se muestra en la Tabla 5 y Figura 16.

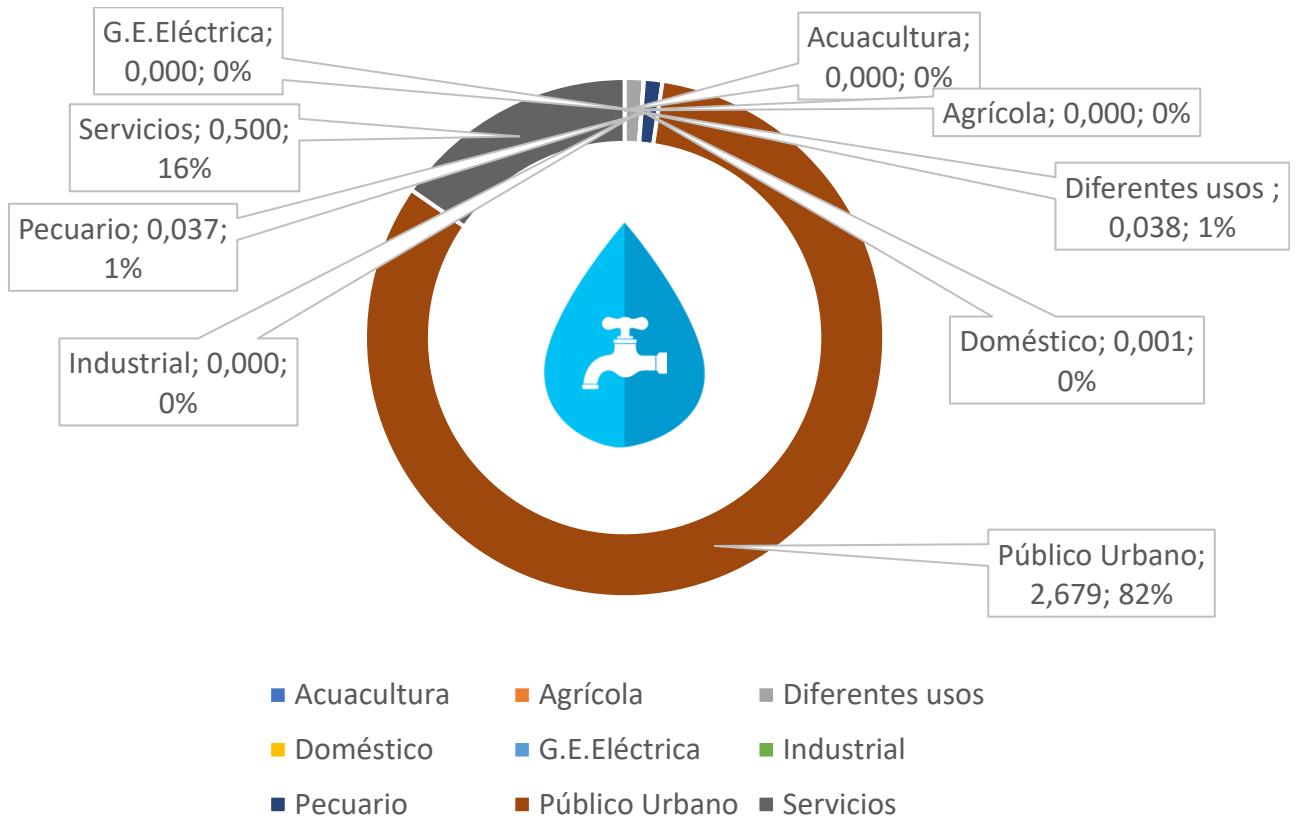


Figura 16. Distribución de los volúmenes de agua superficial en los diferentes usos para la cuenca hidrológica en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Aguas subterráneas



De conformidad con los instrumentos normativos siguientes, en los que se establecieron los límites geográficos de los 653 acuíferos en que se encuentra dividido el territorio nacional:

1. "ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas subterráneas de 50 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológicas que se indican", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2007.
2. "ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas subterráneas de 30 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológicas que se indican", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de enero de 2008.
3. "ACUERDO por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos del territorio nacional, se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2009.

La zona de estudio se encuentra en su totalidad sobre el acuífero San Bernardo (2658), el cual cuenta con una superficie de 9,674 km² colocándose como uno de los más grandes de la región sur del Estado de Sonora, El acuífero en la porción sonorense se encuentra dentro de los municipios de Álamos, El Quiriego, Rosario de Tesopaco y Yécora; asimismo en la porción del estado de Chihuahua, se





localizan los municipios Urachi, Moris y Ocampo. Respecto de la zona de estudio del presente documento la ubicación del acuífero se muestra en la Figura 17 .

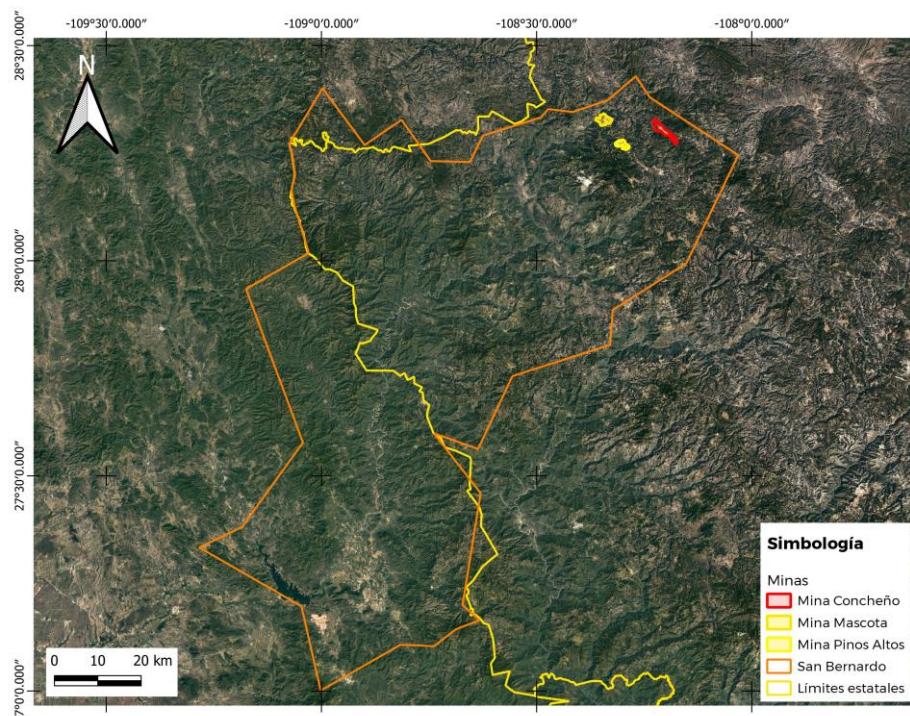


Figura 17. Ubicación del acuífero San Bernardo (2658).
Fuente: Elaboración propia.

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;

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

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;

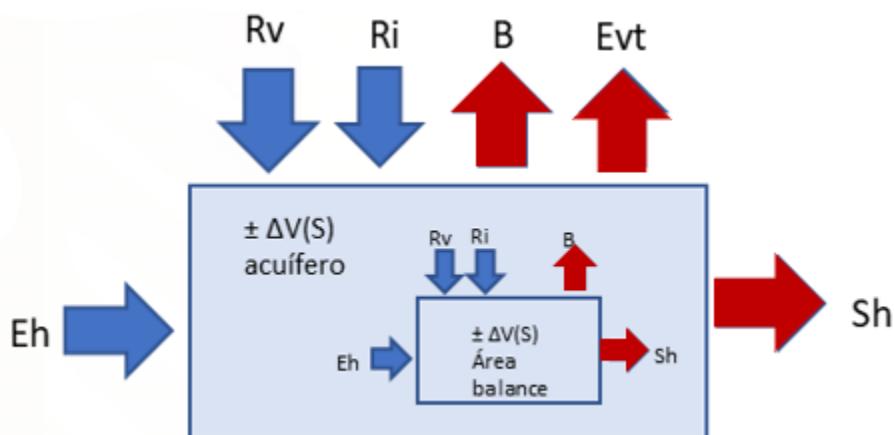


Figura 18. Esquema de variables de entrada y salida para el balance hídrico subterráneo.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se tiene la condición de disponibilidad media anual para el acuífero, 2658-San Bernardo, mostrando disponibilidad de 18.64 hm^3 . De acuerdo a la situación regulatoria del acuífero específicamente en esta zona en donde se localizan los proyectos mineros, no presentan veda, pero de manera general en el acuífero si se establece veda por tiempo indefinido, para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la región de Cuauhtémoc, del Estado de Chihuahua, tal como lo establece el acuerdo en el Diario Oficial de la Federación del 21 de octubre de 1967.

Tabla 6. Disponibilidad de agua subterránea para el acuífero 2658-San Bernardo al 17 de septiembre de 2020.





Nombre	R	DN C	VEAS				DMA	NEGATIV A (DÉFICIT)	Condición DMA
			VCA S	VEAL A	VAPTY R	VAPR H			
San Bernard o (2658)	39.7 0	6.50	9.66	2.82	2.08	0.00	18.64	0.00	Disponibilida d

Distribución de las aguas subterráneas

Con base en la información del REPDA, relativa a concesiones del acuífero San Bernardo (2658) con corte al 30 de junio del 2023, se obtiene que el volumen concesionado es de 9.878 hm³. El cual se encuentra distribuido como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Distribución de los volúmenes de agua subterránea en los diferentes usos para el acuífero en la zona de estudio.

Uso	2658-San Bernardo REPDA 2023	Porcentaje 2658-San Bernardo
Agrícola	0.184	1.86%
Diferentes usos	0.699	7.07%
Doméstico	0.000	0.00%
Industrial	8.353	84.57%
Pecuario	0.502	5.08%
Público urbano	0.120	1.21%
Servicios	0.020	0.20%
TOTAL	9.88	100.00%

Fuente REPDA, 2023.





Las concesiones de aguas subterráneas en el acuífero en estudio (2658 – San Bernardo) corresponden en su mayoría al uso industrial con un volumen total concesionado de **8.353** hm³/año (84.57 %), seguido del uso diferentes usos con un volumen total de **0.699** hm³/año (7.07%), el tercer uso más importante en el acuífero corresponde al uso pecuario con **0.502** hm³/año (5.08 %), el cuarto corresponde al uso agrícola con **0.184** hm³/año (1.86 %), y el uso público urbano con **0.12** hm³/año (1.21 %). El volumen total concesionado en la zona de estudio es de **9.88** hm³/año. Esta distribución de volúmenes únicamente considera el volumen concesionado de agua subterránea (VCAS) mediante títulos inscritos actualmente en el REPDA; y no se considera el volumen de extracción de agua en las zonas de suspensión provisional de libre alumbramiento (VEALA); el volumen de extracción de agua pendiente de titulación y/o registro en el REPDA (VAPTYR); y el volumen de agua correspondiente a reservas, reglamentos y programación hídrica (VAPRH). La forma de cómo se distribuyen los diferentes usos del agua, se muestra en la Tabla 7 y Figura 19Figura 19.

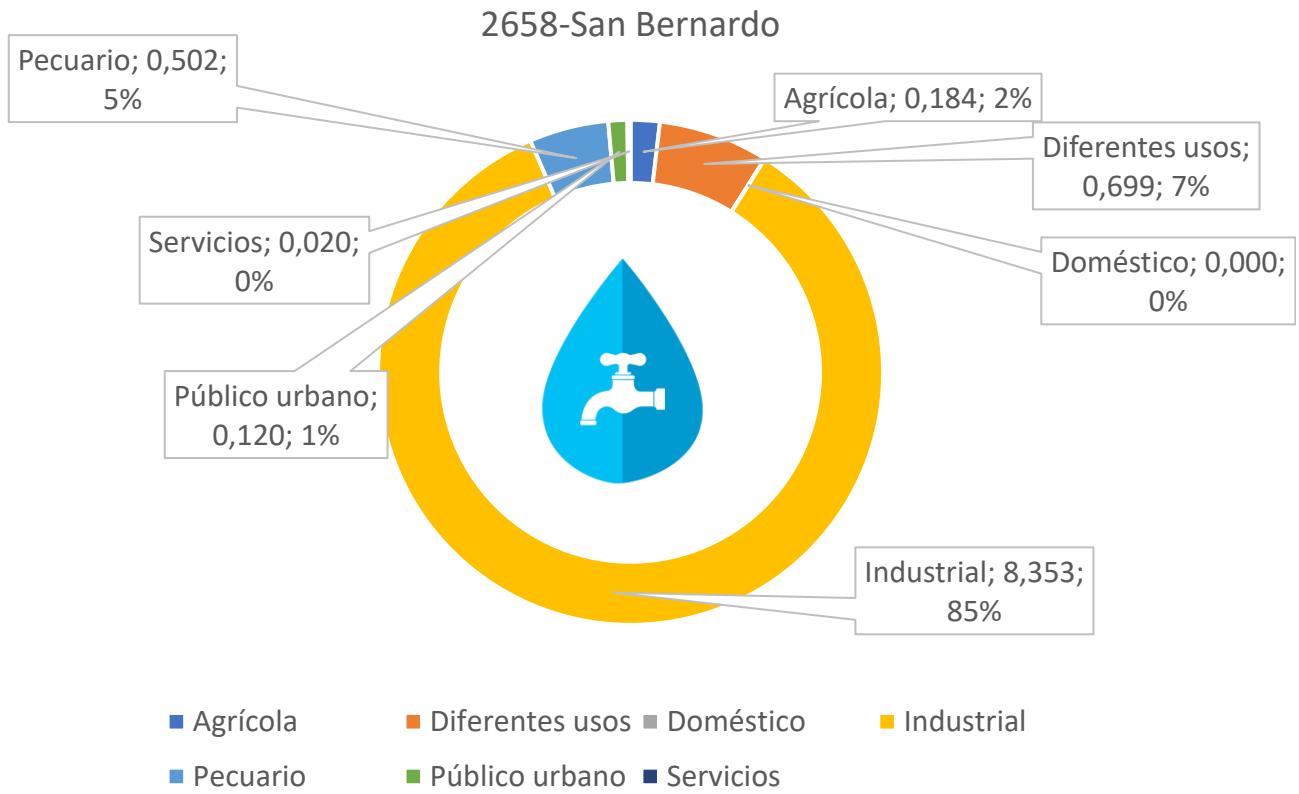


Figura 19. Distribución de los volúmenes de agua subterránea en los diferentes usos para el acuífero en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

El titular con el mayor volumen concesionado en el acuífero corresponde a “COBRE DEL MAYO, S.A. DE C.V.” con un volumen concesionado de aguas subterráneas de $4.14 \text{ hm}^3/\text{año}$, seguido de “BI METALS MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.” con un volumen concesionado de aguas subterráneas de $4.03 \text{ hm}^3/\text{año}$. **Ambos titulares tienen concesionado un volumen de $8.16 \text{ hm}^3/\text{año}$, que corresponde al 82.6% del volumen total de aguas subterráneas concesionado del acuífero San Bernardo ($9.88 \text{ hm}^3/\text{año}$).**

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 del 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 las subcuencas de los ríos Moris (RH09 Ac) y Candameña (RH09 Ad), ver Figura 1 y Figura 20.

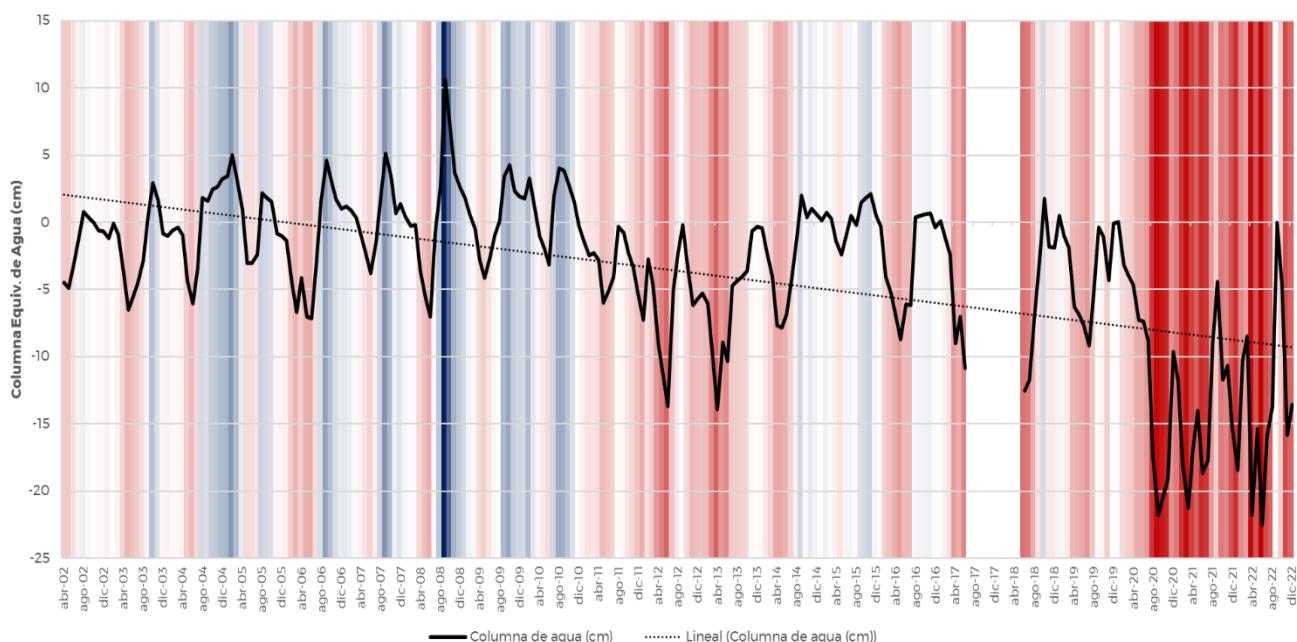


Figura 20. Variación mensual del cambio en el almacenamiento de agua en la zona de estudio (incluye aguas superficiales y subterráneas).





Fuente: Elaboración propia con datos de la misión GRACE-FO CSR de abril de 2002 a diciembre de 2022 (Datos mensuales)

Los resultados muestran que el incremento en el almacenamiento de agua en la región coincide con la época de lluvias, asimismo el decremento en el almacenamiento de agua en la correspondiente época de estiaje demostrando el funcionamiento hidrológico de la región. No obstante, considerando la comparación del promedio del periodo de 2018 - 2022 respecto del periodo 2002 - 2006 se observa un decremento el almacenamiento de agua de alrededor de 8.4 cm, que multiplicados por el área de la zona de estudio (2,880.255 km²) resulta en un volumen promedio de variación negativa de agua en la región de 241.54 hm³, es decir, **actualmente se cuenta con un volumen de agua de 241.54 hm³ menos de lo que se contaba en el primer lustro de la década de los años 2000's. Este decaimiento se observa intensificado en los últimos tres años, donde se observa que existe una mayor explotación de los recursos hídricos en la región.**

b) Calidad del agua Superficial

Plan de muestreo

El 16 de febrero del 2023, se realizó una reunión de programa de muestreo con personal de la comunidad de Basaseachi, personal del Parque Nacional de Bassaseachic y del Área de Protección de Flora y Fauna Tutuaca. En esta reunión se definieron los puntos de muestreo con el objetivo de identificar afectaciones en la calidad del agua en los principales ríos por actividades antropocéntricas en la zona.





Figura 21. Reunión de programa de muestreo, Personal del Parque Nacional de Bassaseachic, Área de Protección de Flora y Fauna Tutuaca y de la comunidad.

Zona de Estudio

La zona de influencia de la actividad minera comprende 2 subcuenca, la del Río Morris dentro de la Área de Protección Tutuaca en el cual se definieron 4 puntos de muestreo, identificados como: SM2, SM3, SM4 y SM5; y la Subcuenca del Río Candameña con 7 sitios de muestreo SM6, SM7, SM8, SM11, SM10, SM9 y SM1, los últimos 3 dentro del Parque Nacional de la Cascada de Basaseachi. En la Figura 22, se muestran la ubicación de los sitios de muestreo en ambas subcuenca y las actividades potenciales como es la actividad minera y la zona urbanizada del municipio de Bassaseachic.



Figura 22. Ubicación de los sitios de muestreo de acuerdo al programa de muestreo.

El programa de muestreo consistió en la selección de los sitios de muestreo, la medición de parámetros de calidad del agua en campo y del caudal, la recolección de las muestras, su conservación, preservación, embalaje, transporte y entrega al laboratorio para su posterior análisis de los parámetros seleccionados.

El muestreo se realizó de acuerdo a lo establecido en los NMX-AA-014-1980 cuerpos receptores. – muestreo, que establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y



bacteriológicas; esta actividad fue desempeñada por personal del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) acreditado ante la entidad mexicana de acreditación, a.c. (ema) con No. AG-177-032/09, y aprobación por CONAGUA con número CNA-GCA-1928, en cumplimiento de los requisitos de la Norma ISO/IEC 17025:2017.

Metodología

Selección de parámetros de calidad del agua y preparación de material

Existen condiciones particulares para cada uno de los contenedores, esto va de acuerdo a las características fisicoquímicas de los parámetros a muestrear, debido a esta naturaleza se utilizan contenedores de diferente material y en algunos casos se adicionan preservadores con el objetivo de mantener las condiciones iniciales de las muestras de cada uno de los parámetros. En la tabla 8, se muestra los parámetros seleccionados para sus análisis, así como el tipo de contenedor usado y su preservación.

Tabla 8. Tipo de contenedor y preservación por parámetro para su análisis.

Parámetro	Tipo de contenedor	Volumen (mL.)	Preservación
Demandas Bioquímicas de Oxígeno, Fósforo Total, Sólidos suspendidos totales. Sólidos disueltos Totales.	Plástico	2000 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Nitrógeno como Nitrógeno Total,	Plástico	2000 mL.	H ₂ SO ₄ a 4°C ± 2°C
Demandas Químicas de Oxígeno	Vidrio	110 mL.	H ₂ SO ₄ a 4°C ± 2°C
Grasas y Aceites	Vidrio	1000 mL	HCl, 4°C ± 2°C
Carbón Orgánico Total	Vidrio ámbar	250 mL.	H ₂ SO ₄ a 4°C ± 2°C
Color Verdadero (Método de Coeficientes de Absorción Espectral)	Vidrio ámbar	250 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Metales: Arsénico, Bario, Hierro, Manganeso Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Zinc, Selenio, Calcio.	Plástico	500 mL.	HNO ₃ , 4°C ± 2°C



Mercurio	Plástico	500 mL.	HNO ₃ , + Dicromato de potasio 4°C ± 2°C
Microbiológicos : Coliformes feca	Bolsas estériles	100 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Toxicidad Aguda con <i>Vibrio fischeri</i>	Vidrio ámbar	1000 mL.	Hielo a 4°C ± 2°C
Barrido de Compuestos Orgánicos Semivolátiles	Vidrio ámbar	4000 mL	Hielo a 4°C ± 2°C

Equipo

El equipo para la medición de parámetros de calidad del agua en campo fue calibrado y verificado. Para la medición de los parámetros de campo se utilizó un multiparamétrico con compensador de temperatura marca YSI Mod. ProQuattro. Ver Figura 23.



Figura 23. Multiparamétrico YSI ProQuattro.

Colecta de la muestra

Previo a la recolecta de la muestra, los recipientes de muestreo y el material auxiliar de muestreo utilizado, fue enjuagado de dos a tres veces con la misma





agua del cuerpo receptor, solo para aquellos parámetros que aplicaba. En se recolectaron 11 muestras en diferentes sitios, durante la recolecta de las muestras se evitó que el recipiente hiciera contacto con el fondo, esto con el fin de evitar la suspensión de los sedimentos u otros materiales presentes, y con ello, que éstos sean parte de la muestra de agua. La recolección de la muestra se realizó de forma directa a 20 cm del espejo del agua, con el recipiente de muestreo.



Figura 24. Toma de muestra, Sitio Cascada de Bassaseachic.

Conservación y preservación de las muestras

Durante la recolecta de las muestras, conforme se fueron llenando cada uno de los recipientes, éstos se colocaron en la hielera, la cual previamente contiene el hielo suficiente para conservar las muestras a una temperatura de $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Una vez terminada la recolecta de las muestras se procede a preservar aquellas que lo requieran.



Figura 25. Preservación de muestras.

En aquellas muestras donde la preservación se realizó con disoluciones ácidas o básicas (ver tabla 8), se verificó que la muestra haya alcanzado el pH indicado por lo general pH menor a 2. Para verificar el pH se vertió un volumen pequeño de agua en la tapa del recipiente de muestreo y éste a su vez se vertió sobre la tira reactiva de pH.

Identificación y control de muestras

Para la identificación de las muestras, los contenedores fueron etiquetados con la fecha de muestreo, hora, nombre del muestreador, parámetro a analizar, preservación de la muestra e identificación de la misma (Figura 26).

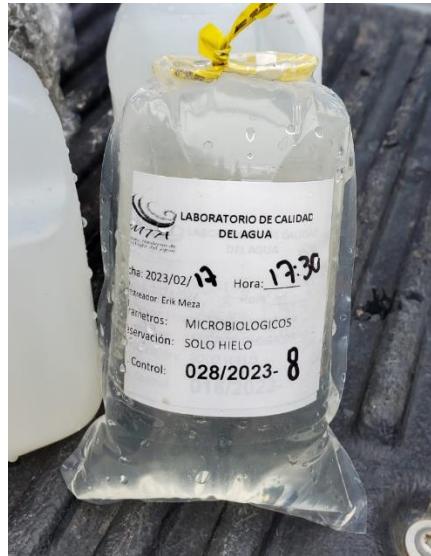


Figura 26. Identificación de los envases de muestras.

Embalaje, transporte y almacenamiento de muestras

Para el envío de las muestras al laboratorio, fueron embaladas adecuadamente en las hieleras, de tal forma que se evite que los recipientes sufran ruptura o fugas que provoquen la pérdida de las muestras y/o su contaminación. Así mismo, las muestras contenidas en la hielera se acompañaron con geles para conservar a $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta su entrega.

El transporte de las muestras del sitio de muestreo al laboratorio fue vía aérea, ya que fueron considerados los tiempos máximos de conservación de las muestras para que éstas no rebasen el tiempo límite para su medición.

Resultados

Los valores obtenidos del análisis de la calidad del agua de las muestras, fueron contrastadas con los lineamientos de calidad del agua Protección a la vida acuática: Agua dulce, incluye humedales; para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) estos fueron contrastados con el **Índice de Calidad del Agua de la CONAGUA**.



Conductividad Eléctrica (CE)

Con respecto a la conductividad eléctrica se presenta un promedio de 228 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la Subcuenca del Río Morris (SCRM), predomina los 1240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aporte por la mina (SM6) en la Subcuenca del Río Candemeña (SCRC). Hay un pequeño aporte por la comunidad de Basaseachi de 179 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SM9). El valor obtenido en el sitio de referencia fue de 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SM7), Figura 27.

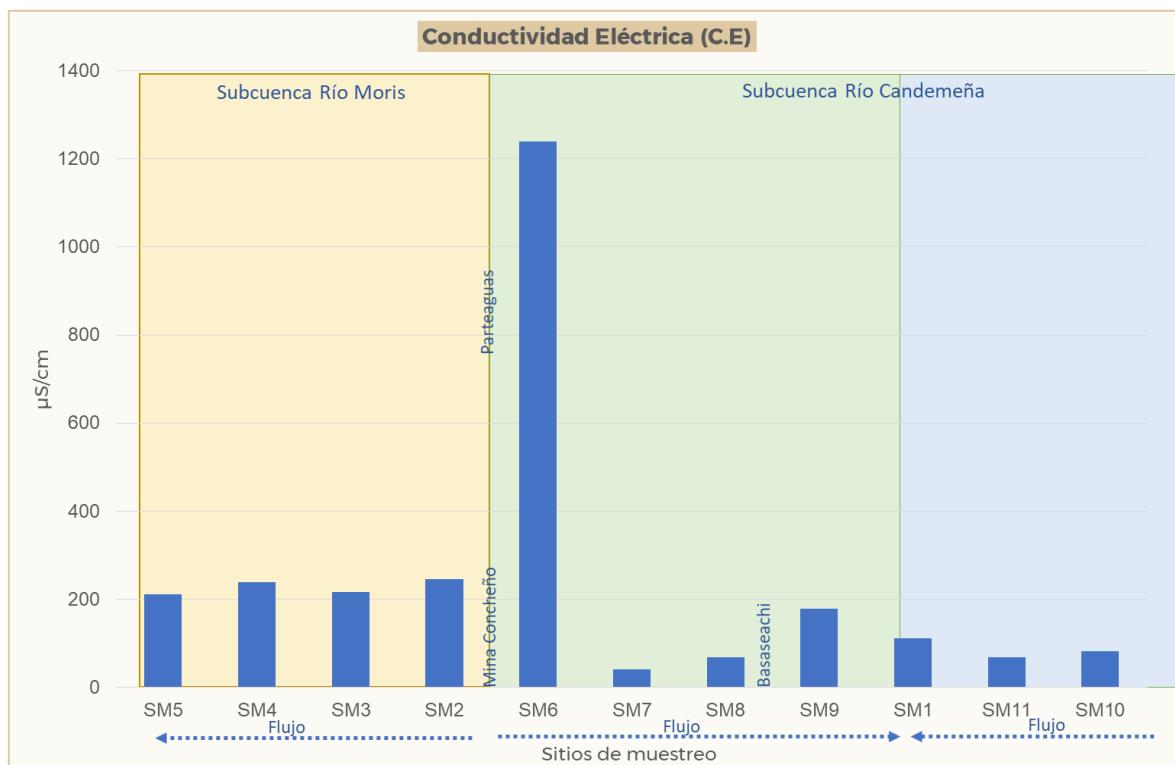




Figura 27. Valores obtenidos de Conductividad eléctrica.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

De acuerdo a los datos obtenidos el principal aporte se deriva por actividades de la Mina Concheño con 358 (SM2) y 184 mg/L (SM6), hay un pequeño aporte por parte de la comunidad de Basaseachi 20.8 mg/L (SM9), el sitio de referencia reporto un valor <3.17 mg/L (SM7). Figura 28; Los sitios SM2, SM4 y SM5 de la SCRM sobrepasan los 30 mg/L del criterio establecido en los LCA para protección a la vida acuática; así como el sitio SM6 de la SCRC.

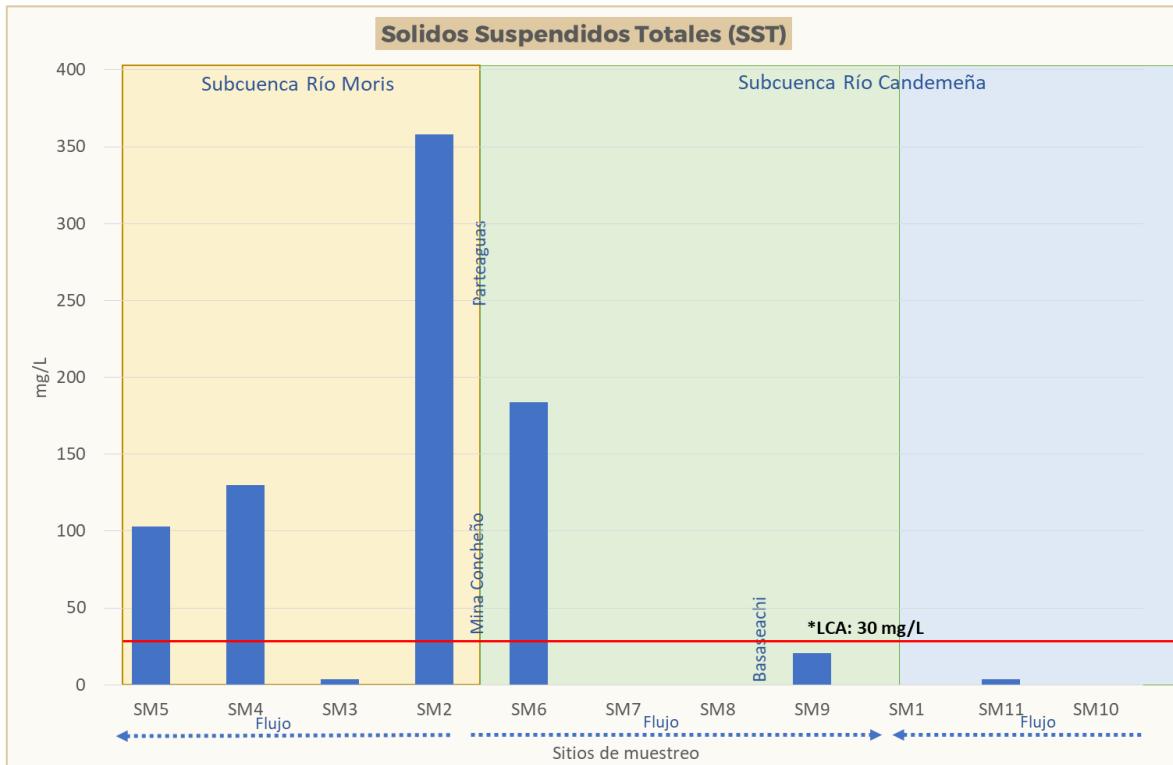


Figura 28. Valores obtenidos de Sólidos Suspendidos Totales.

Sólidos Disueltos Totales (SDT)

El máximo valor se encuentra en (SM6) con 568 mg/L y (SM2) con 230 mg/L por la actividad Minera, hay un pequeño aporte por parte de la comunidad de Basaseachi 122 mg/L (SM9) de igual manera el sitio SM7 presenta un valor < 40 mg/L. Figura 29; Solo el SM6 sobrepasa el LCA de 500 mg/L para su uso como Fuente de abastecimiento para uso público urbano o como para Riego Agrícola.

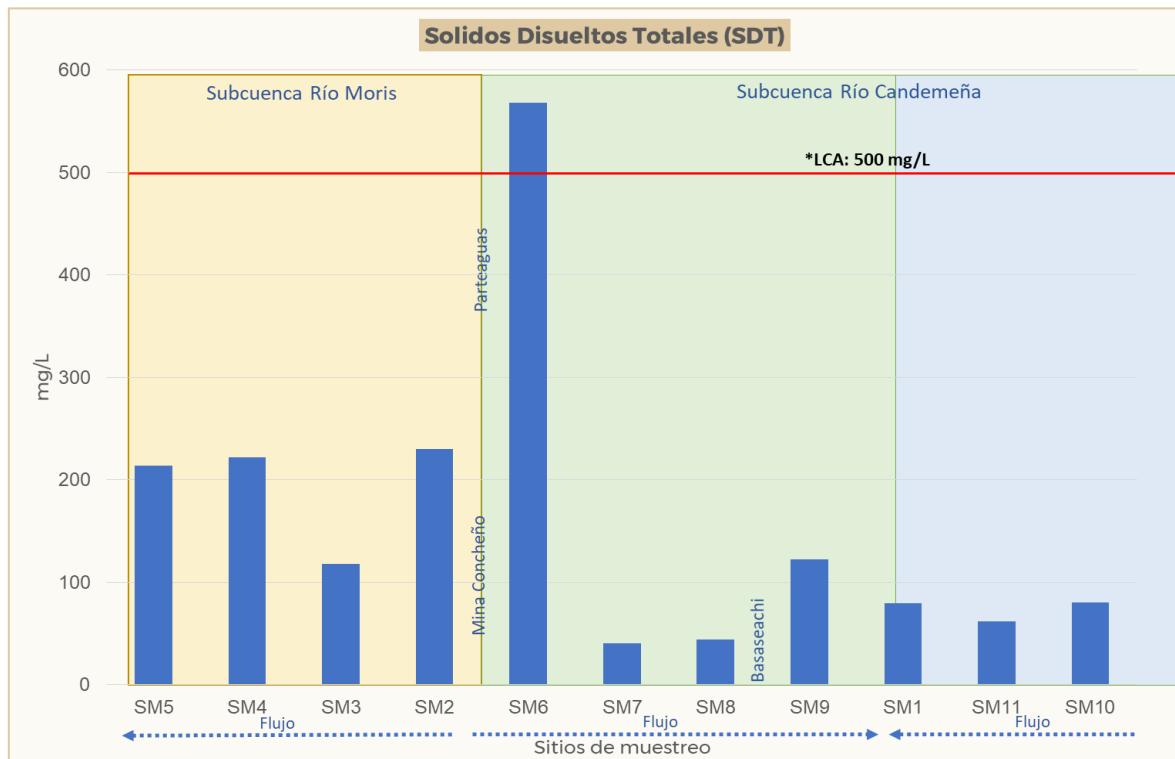


Figura 29. Valores obtenidos de Sólidos Disueltos Totales.

Hierro (Fe)

Con respecto al hierro el máximo valor reportado se encuentra en (SM6) con 5.83 mg/L y (SM2) con 5.04 mg/L por la actividad Minera estos valores además presentan valores por arriba de LCA para protección a la vida acuática, también el SM5 con 1.36 mg/L y SM4 con 1.19 mg/L. El valor obtenido en el sitio de referencia SM7 es < 0.10 mg/L. Figura 30.

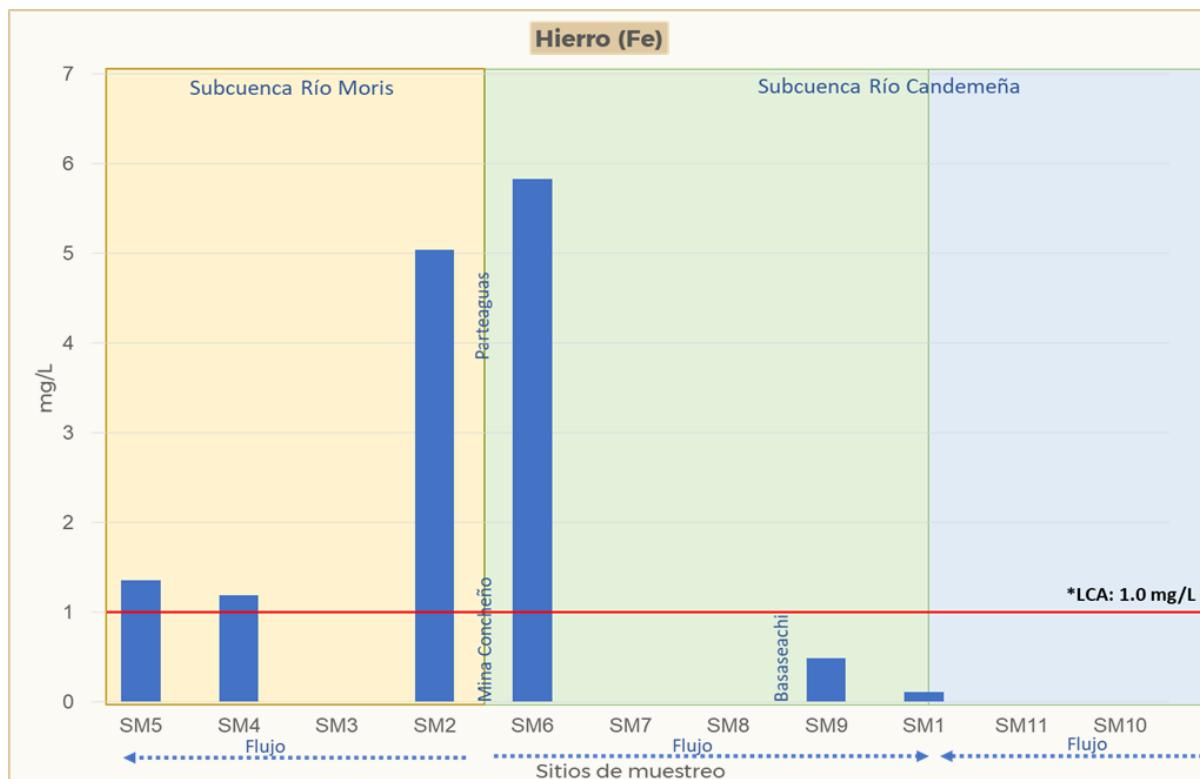


Figura 30. Valores obtenidos de Hierro.

Aluminio (Al)

Las concentraciones más elevadas de aluminio se observaron en (SM6) con 9.34 mg/L y (SM2) con 9.22 mg/L, además los sitios SM5, SM4, SM7 y SM9 con 3.68, 3.60, 1.19 y 0.79 mg/L, respectivamente sobreponen los LCA para protección a la vida acuática con valor permisible de 0.05 mg/L.

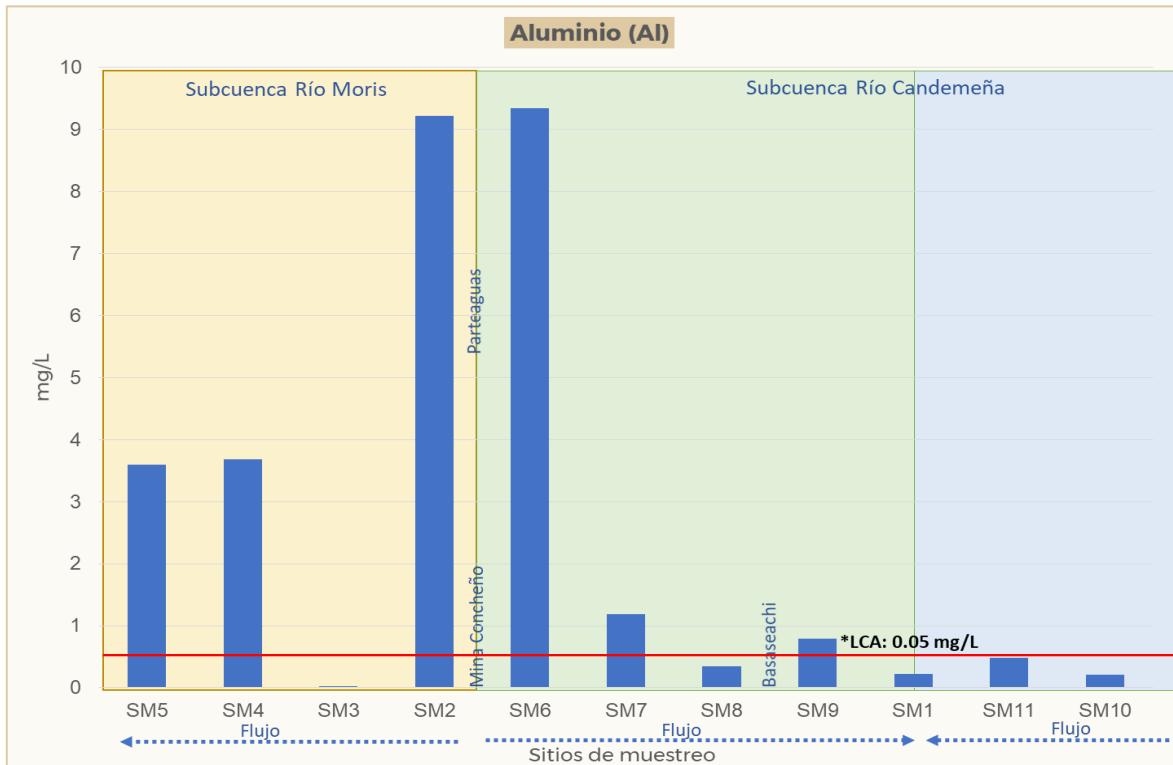


Figura 31. Valores obtenidos de Aluminio.

Cianuros (CN)

Se obtuvo un valor de Cianuros de 0.03 mg/L (SM6) muy por encima del LM de 0.02 mg/L, en todos los demás sitios se obtuvieron valores <0.02 que es el Límite de cuantificación.

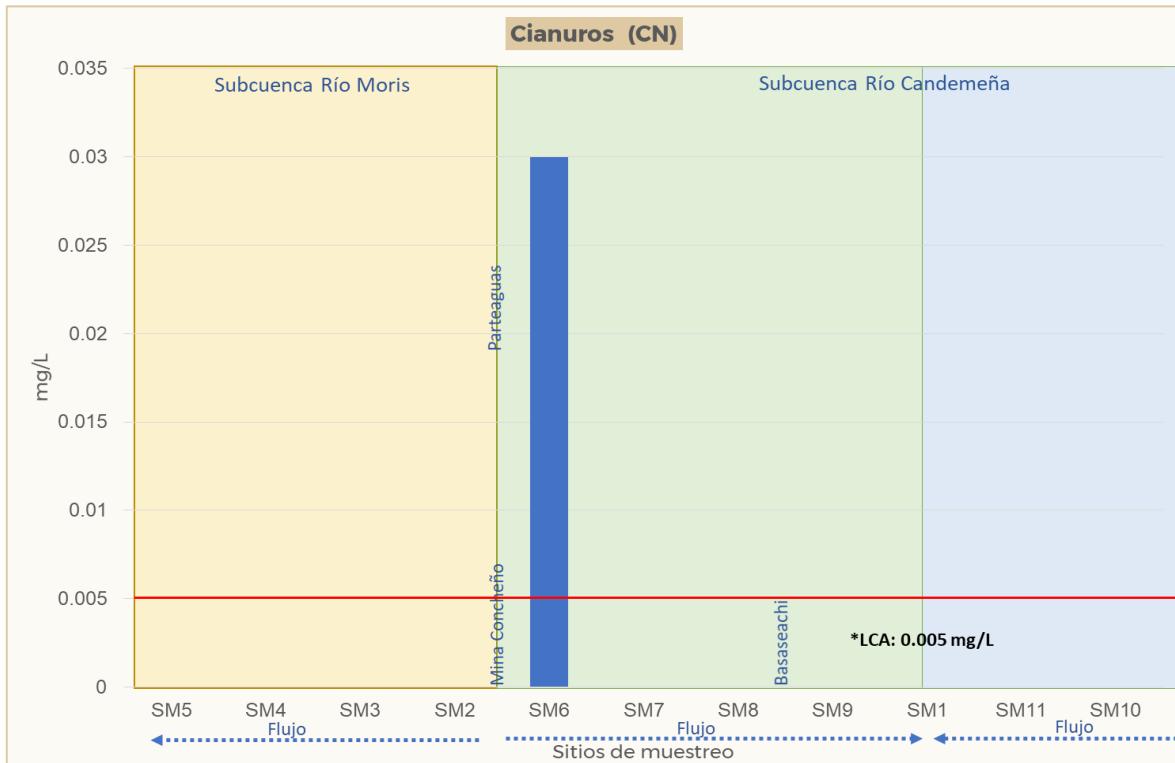


Figura 32. Valores obtenidos de Cianuro.

Zinc (Zn)

Para el caso del Zinc, se obtuvo un valor de 0.15 en el sitio SM2, este valor se encuentra por encima del Límite permisible de los LCA para protección a la vida acuática que es de 0.02 mg/L.

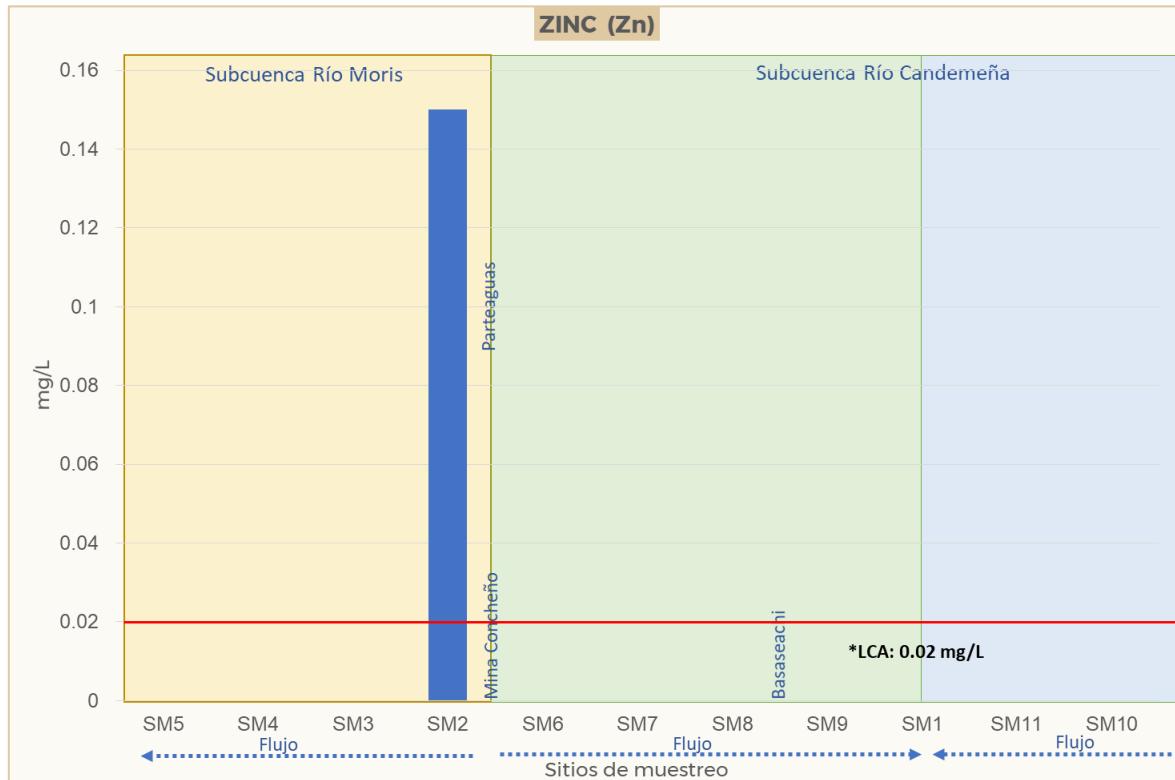


Figura 33. Valores obtenidos de Zinc.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Los valores máximos de DBO, se obtuvieron en los sitios SM6, SM2 y SM3 derivado de la actividad minera, así como SM9 por efecto de aguas residuales municipales, sitio posterior a la mancha urbana de la comunidad de Basaseachi; sin embargo, estos parámetros se encuentran de acuerdo al *Índice de Calidad del Agua de la CONAGUA de Buena Calidad y Aceptable. Para el caso del sitio de referencia el estado de Calidad del agua es excelente (SM7).

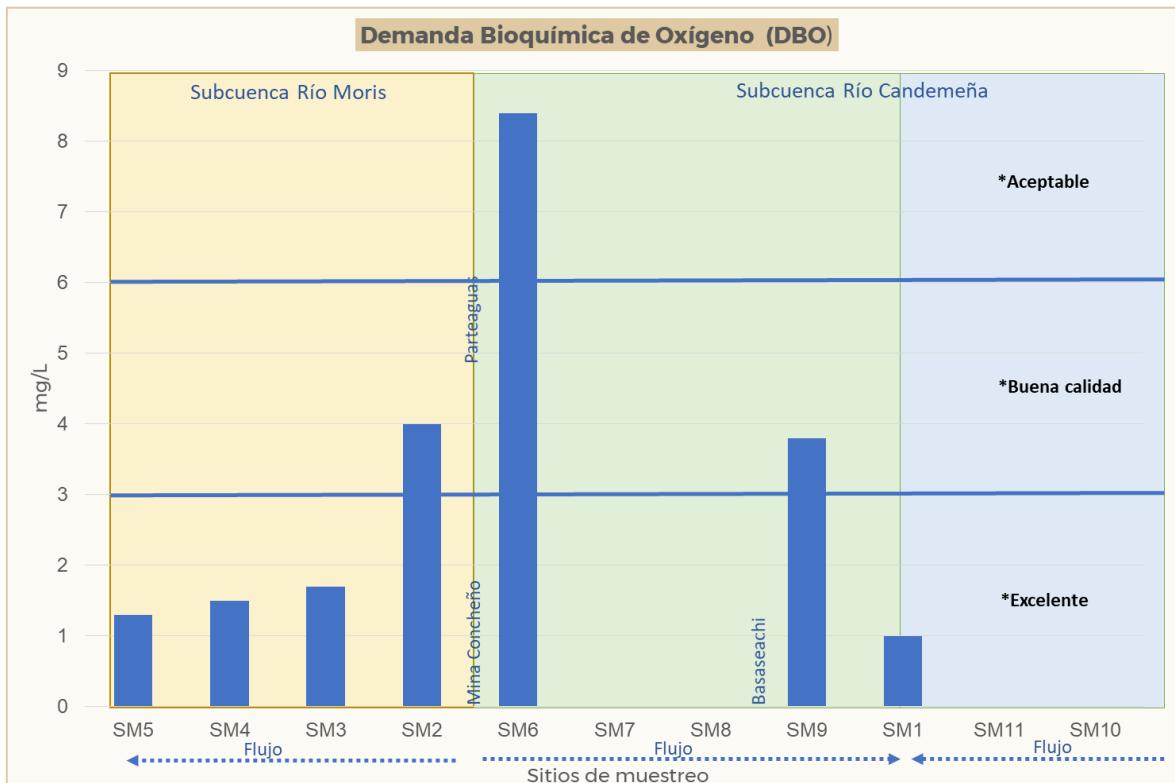


Figura 34. Valores obtenidos de Demanda Bioquímica de Oxígeno.



Demanda química de oxígeno (DQO)

Con respecto a la DQO, los valores máximos se obtuvieron en los sitios SM6, SM2 y SM3 presuntamente por la actividad minera, así como SM9 por efecto de aguas residuales municipales, sitio posterior a la mancha urbana de la comunidad de Basaseachi; sin embargo, estos parámetros se encuentran de acuerdo al *Índice de Calidad del Agua de la CONAGUA de Buena Calidad y Aceptable.

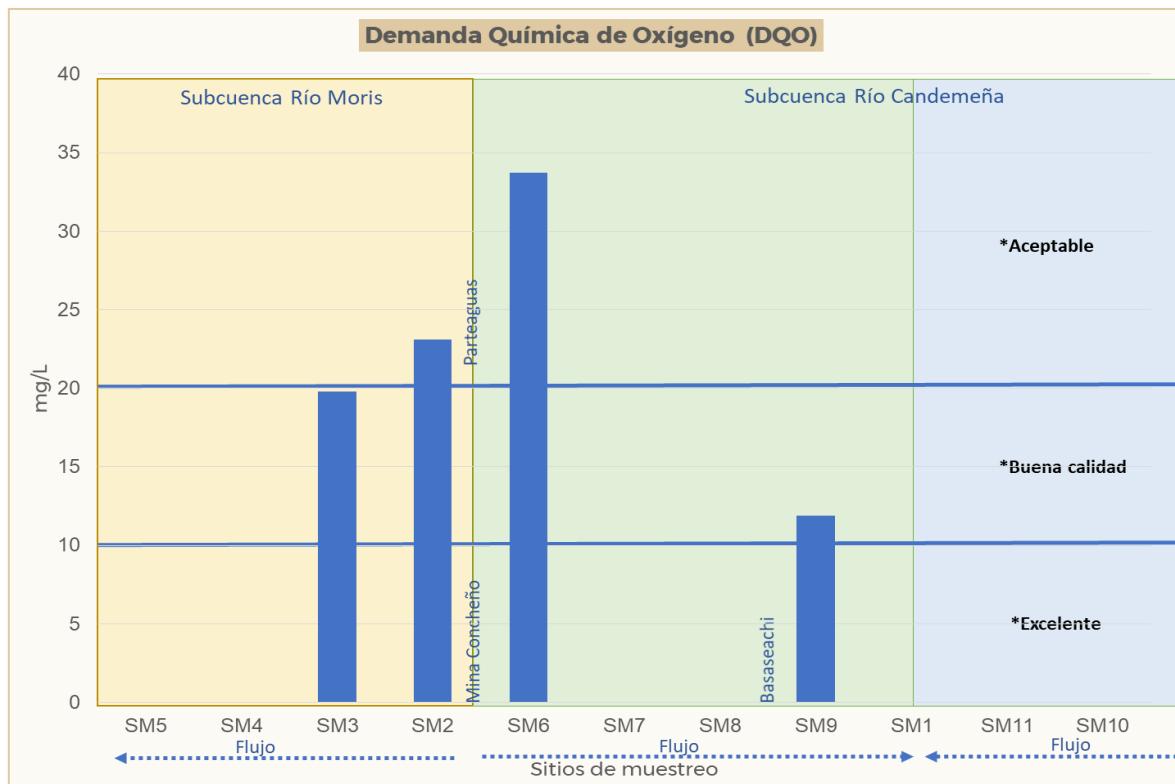


Figura 35. Valores obtenidos de Demanda Química de Oxígeno.



Fósforo total (Pt)

Generalmente el Fosforo total en los cuerpos lóticos (ríos) son atribuidos al aporte de actividades agrícolas por el usos excesivo de fertilizantes y ganaderas por el estiércol, así como a las aguas residuales derivadas de la actividades industriales y urbanas. Los resultados obtenidos muestran valores que sobrepasan el LCA para protección a la vida acuática que es de 0.05 mg/L, con exención de los sitios SM5, SM1 y SM11 que se encontraron valores por debajo del límite. El valor más elevado es el sitio SM9 con un valor 0.66 mg/L un sitio aguas debajo de la zona urbana de Bassaseachic. Figura 36.

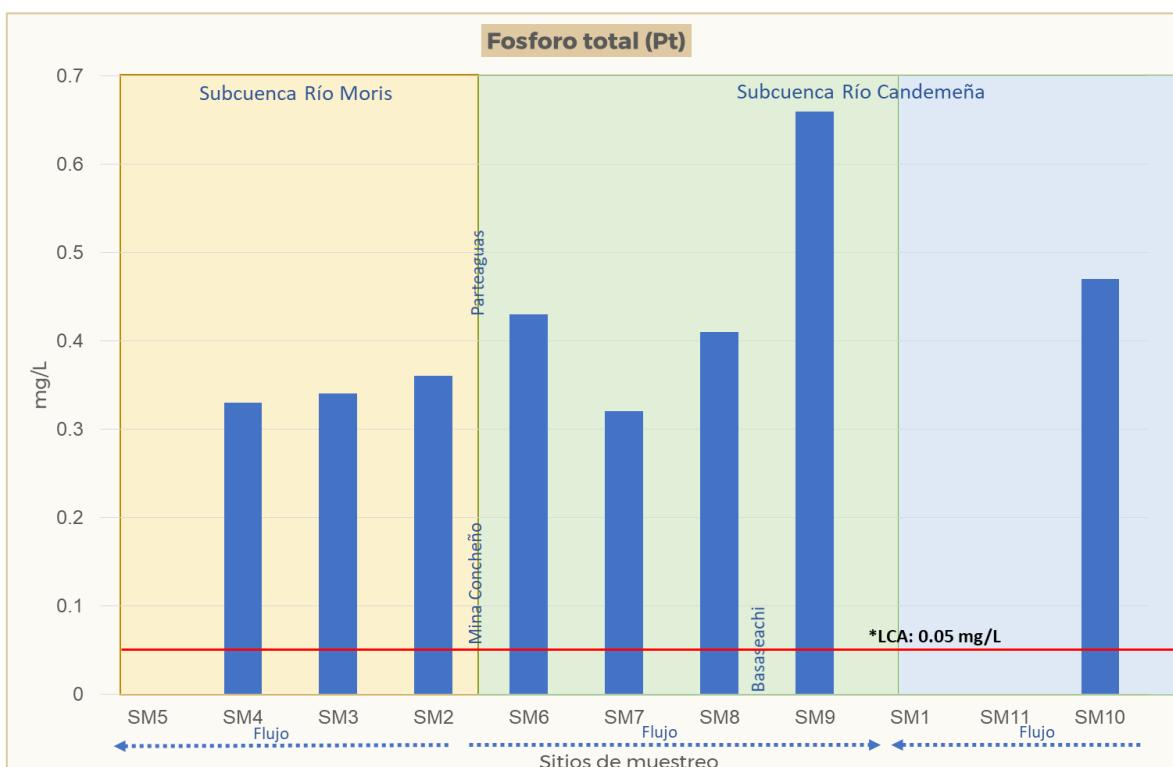


Figura 36. Valores obtenidos de Fosforo Total.



Nitrógeno total (Nt)

Valores elevados de nitrógeno puede ser debido al aporte de aguas residuales domésticas y el uso excesivo de fertilizantes en la actividad agrícola, también puede ser aportado por el arrastre de nutrientes durante lluvias intensas. Los principales problemas del exceso en los niveles del nitrógeno es el crecimiento excesivo de plantas acuáticas y algas (eutrofización) esto causa una demanda de oxígeno disuelto a medida que se van pudriendo y bloquear la luz que llega hasta las aguas profundas, esto provoca asfixia en peces y fauna acuática. Demasiado nitrógeno en el agua potable puede ser dañino para la salud humana.

El Nitrógeno total no está normado en los LCA, pero de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-2021 el LP es de solo 35 mg/L, siendo superado por mucho en el sitio SM6 con un valor de 95.3 mg/L

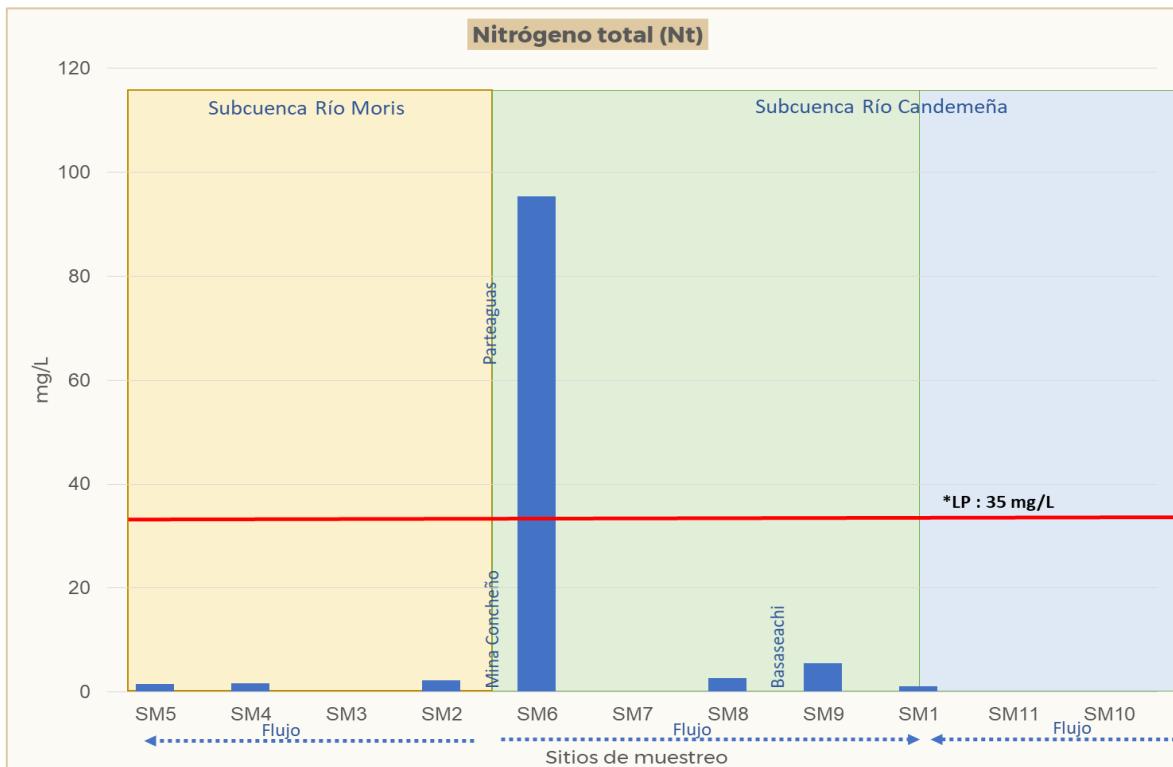


Figura 37. Valores obtenidos de Nitrógeno Total.

Coliformes fecales

No se encontraron valores por encima de los límites permisibles de los LCA (1000 NMP/100 mL), solo el sitio SM5 presenta un valor de 750 NMP/100 mL que es menor al LP, lo que puede deberse a que la temperatura óptima de crecimiento de los coliformes totales se encuentra alrededor de 35-37°C. La temperatura del agua de los sitios oscilo entre los 2°C y 16°C como máximo, el sitio SM5 presentó una temperatura de 18°C.

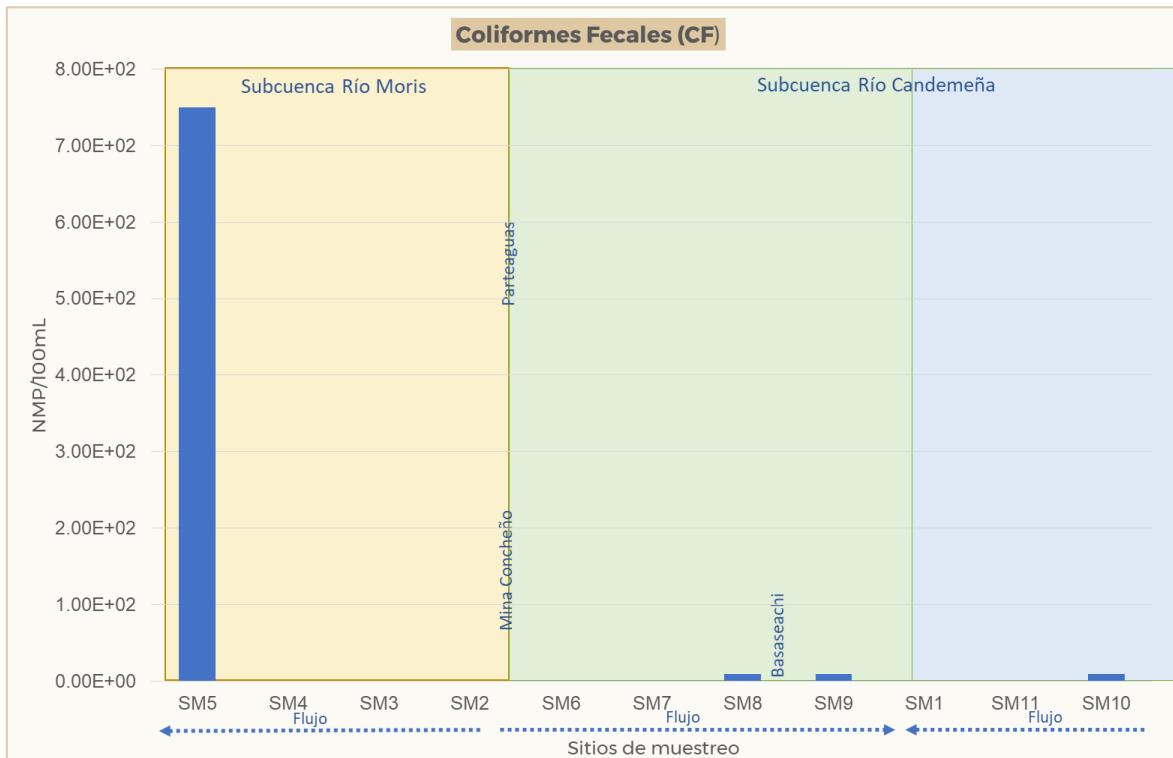


Figura 38. Valores obtenidos de Coliformes Fecales.

Compuestos Orgánicos Semivolátiles (COSv)

Se realizó un barrido de COSv en medio acido, neutro y básico. Se encontraron de manera frecuente en los sitios SM6, SM3 y SM9, principalmente en medio ácido.

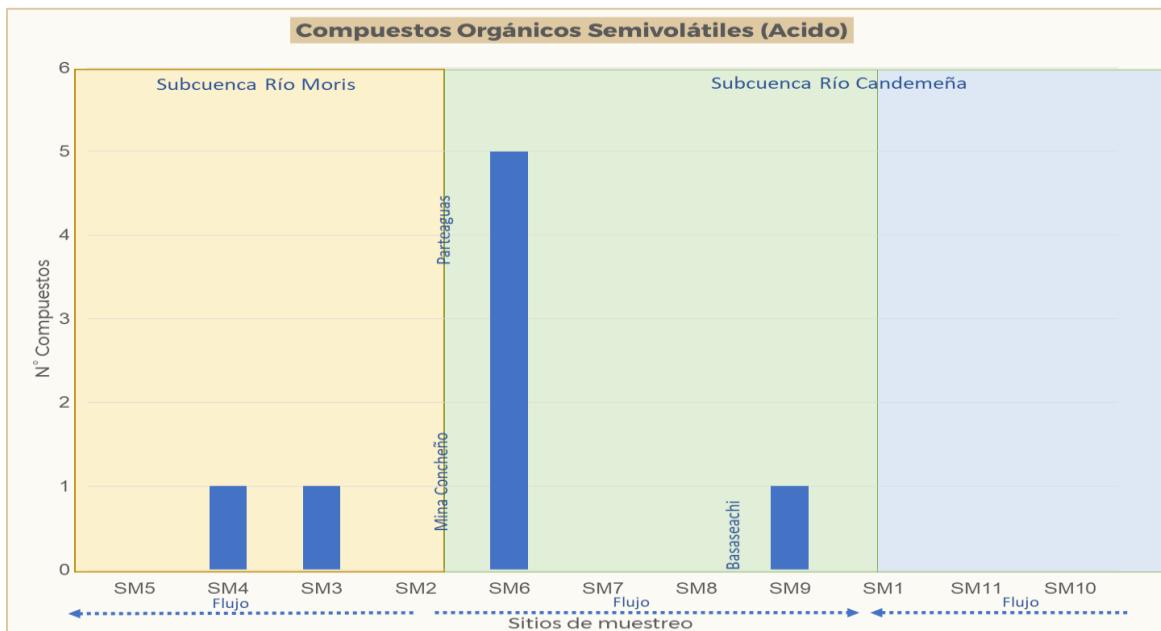


Figura 39. Número de Compuestos Orgánicos Semivolátiles cuantificados en los sitios, medio ácido.

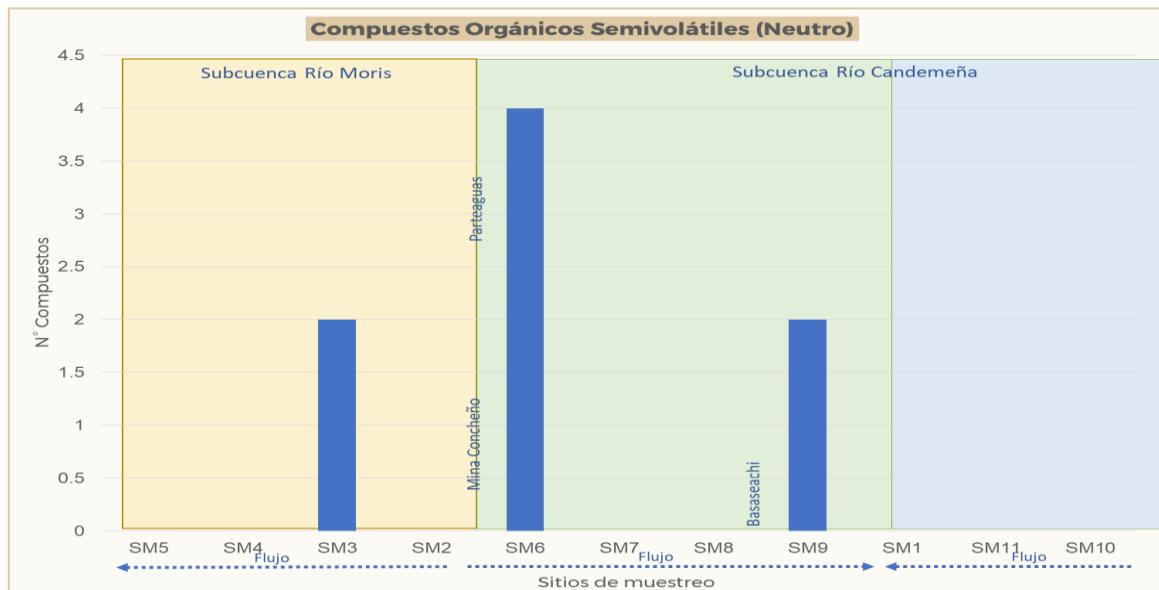


Figura 40. Número de Compuestos Orgánicos Semivolátiles cuantificados en los sitios, medio neutro.

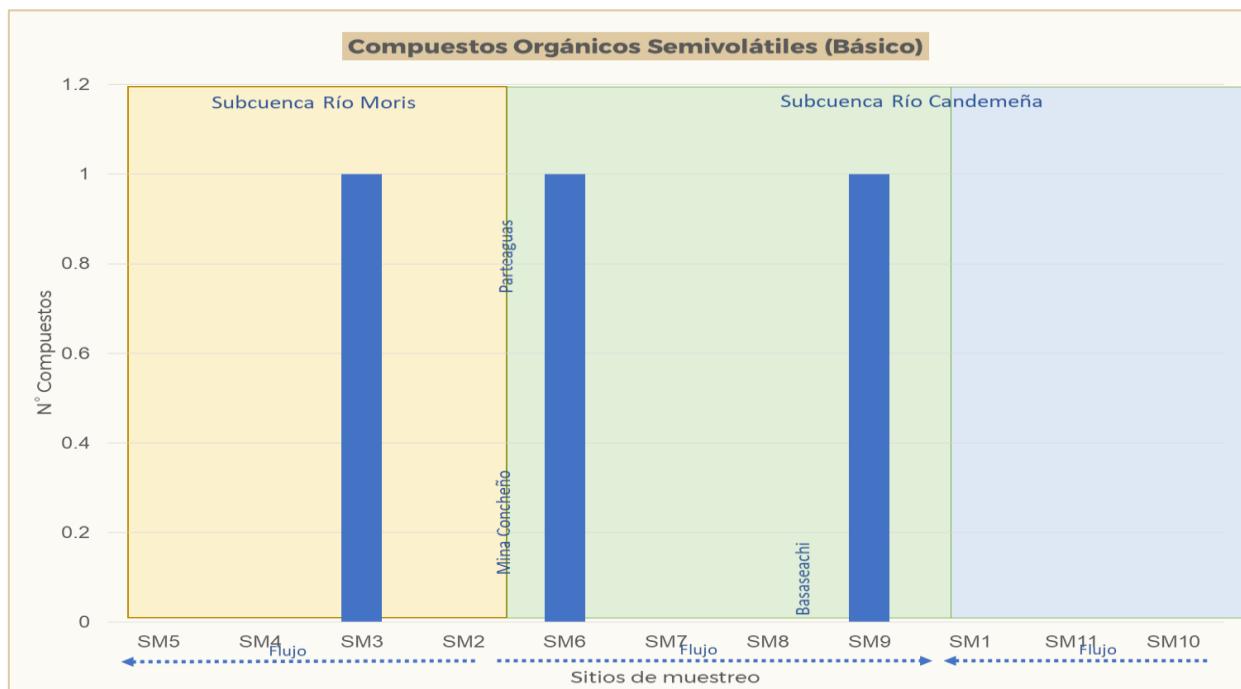


Figura 41. Número de Compuestos Orgánicos Semivolátiles cuantificados en los sitios, medio Básico.



c) Toxicidad y materia orgánica en sedimentos

Toxicidad en sedimentos

Los resultados de toxicidad en sedimentos se expresan como Concentración Letal Media (CL50) para *Daphnia magna* y Concentración de Efecto (CE50) para *Vibrio fischeri*. Se emplea como unidades de efecto el término Eq. mg/mL debido a que la muestra de sedimento no se expone directamente a los organismos mencionados sino que se producen elutriados y extractos orgánicos para disolver las sustancias retenidas en él, por ello se emplea el término Equivalentes (Eq) que hace referencia a la cantidad del material extraído de un gramaje controlado de sedimento, en 1 mL del solvente de extracción en cuya concentración sucede la CL50 o CE50, según sea el caso.

En relación a los valores de la CL50 o CE50, debe tenerse presente que cuando los valores son más pequeños significa que la muestra es de mayor toxicidad.

La segunda manera de expresión de la toxicidad son la Unidades de Toxicidad (UT), las cuales se derivan de la propia CL50 o CE50 y guardan una relación lógica con el valor, es decir que cuanto mayor sea su valor mayor será la toxicidad de la muestra.

Para el cálculo de las UT en elutriados y extractos de sedimento se consideró la fórmula:

$$UT = MCE \text{ Eq. mg/mL} / CE50 \text{ Eq. mg/mL},$$

Dónde: MCE es la Máxima Concentración Experimental ..

La MCE se obtiene de considerar que el elutriado y la fase orgánica se obtienen mediante la extracción en solventes de 20g de sedimento, el material extraído queda concentrado en un volumen de 4 mL, por lo que la concentración en el extracto es 5000 Eq. mg/mL.

De los 4 mL de extracto se emplea para la prueba con *V. fischeri* un máximo de 30 μ L en el sistema experimental que contiene 2.75 mL, y siguiendo esta misma proporción, en el caso de *Daphnia magna* se emplean 300 μ L en 27.5 mL, con el





fin de que el contenido del solvente de extracción no exceda del 1% en una relación V:V, por lo que la máxima concentración experimental (MCE) posible en la prueba será de 54.54 Eq. mg/mL.

Para el análisis de la información derivada de las determinaciones de toxicidad, se emplearán las Unidades de Toxicidad en el caso de que esta sea positiva, con el fin de que se facilite la comprensión del manejo de los resultados.

Tabla 9. Toxicidad medida para *V. Fischeri* de la muestras de sedimento del Río Candameño

FASE ACUOSA Eq. mg/mL.						
Sitio	CE ₅₀			UT		
	5 min	15 min	30 min	5 MIN	15 MIN	30 MIN
SM4	TND	TND	TND	TND	TND	TND
SM3	TND	TND	TND	TND	TND	TND
SM2	795.46	912.397	84.810	1.14	0.996	1.08
SM5	TND	TND	TND	TND	TND	TND
AM5	TND	TND	TND	TND	TND	TND
FASE METANÓLICA Eq. mg/mL.						
Sitio	CE ₅₀			UT		
	5 min	15 min	30 min	5 MIN	15 MIN	30 MIN
SM4	52.371	46.046	53.226	1.040	1.185	1.025
SM3	60,194	41,815	38,530	0,907	1,305	1,417
SM2	15,846	11,492	12,507	3,447	4,753	4,367
SM5	TND	TND	TND	TND	TND	TND
AM5	TND	TND	TND	TND	TND	TND

UT Unidades de Toxicidad; TND Toxicidad no detectada.

Los análisis fueron aplicados para ambos organismos de prueba; sin embargo, se obtuvieron resultados únicamente con *Vibrio fischeri*. Para la fase acuosa la mayor respuesta de toxicidad se dio en SM2 a los 15 min (0.996 UT), mientras que en fase metanólica dio positivo para SM4, SM3 y SM2.

Materia Orgánica





Los resultados de materia orgánica mostraron una muy baja concentración para todas las localidades, con excepción del sitio de referencia SM7, esto como consecuencia de la materia aportada por la crianza de truchas en la localidad.

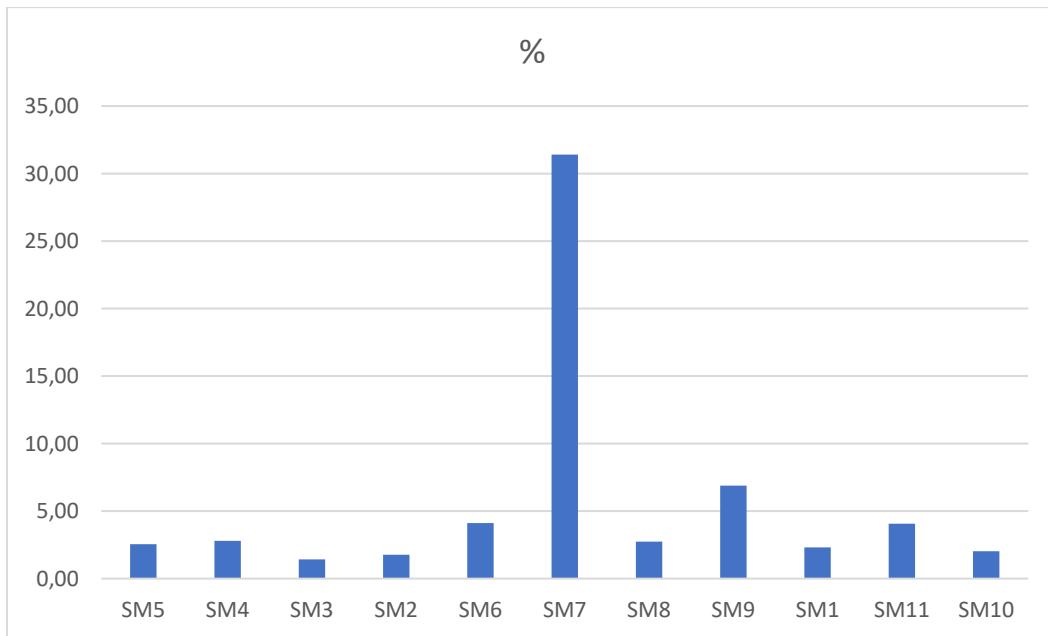


Figura 42. Porcentaje de materia orgánica en la cuenca del río Moris

d) Bioindicadores

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 (Froese and Pauly 2023). 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 dulceacuícolas es muy alta, principalmente en los lagos (Groombridge y Jenkins 2002).

Estos ríos son de enorme importancia por dos razones principales: son fuente de abastecimiento para una gran proporción de la población del estado de Morelos así como para producción agrícola y 2) 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 biomonitoring 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.). El monitoreo biológico o biomonitoring 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 biomonitoring 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 a 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 afectados por la mina Concheño, así como de ríos de cuencas paralelas con fines comparativos.

Elaborar una lista sistemática a nivel de orden y/o familia de los grupos de macroinvertebrados dulceacuícolas.

- a) Caracterizar el estado actual de la comunidad de macroinvertebrados, a través del cálculo de las propiedades emergentes: índices de diversidad, riqueza y estructura de la comunidad (basada en densidad relativa)
- b) Determinación de la calidad del agua a través del Índice Biótico de Familia (Hilsenholff 1998)

Metodología

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 1.5m, ya que se ha visto que la fauna macrobentónica difícilmente habita a profundidades mayores (Baker y Feltmate 1989), con





excepción de algunos dípteros y moluscos. Para ambientes léticos 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 a la presencia o ausencia de vegetación tanto sumergida como emergente o flotante. En cada sitio se midieran 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 (Merrit 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 (EPT), 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.

$$IBH = \sum n_j a_j / N$$

Dónde:

IBH = Índice biótico de Hilsenhoff

n_j = abundancia de cada taxón (familia).

a_j = valor de tolerancia asignado a n_j

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 10). 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, Barbour et al 2000).

Tabla 10. 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 significante
6.51 – 7.50	Regular pobre	Contaminación significante
7.51 – 8.50	Pobre	Contaminación muy significante
8.50 – 10.00	Muy pobre	Contaminación severa

Resultados

El presente reporta muestra los resultados para 10 de las localidades trabajadas en las subcuencas Río Moris y Río Candameño durante los meses de enero-febrero del 2023. Es importante indicar que la Mina Concheño se encuentra ubicada sobre la subcuenca Moris. Los resultados de los descriptores ecológicos de la comunidad indican una muy baja riqueza de taxa para los ríos asociados a la subcuenca Moris (tabla 11)





Tabla 11. Descriptores de la comunidad de macroinvertebrados. S (riqueza), N (abundancia total) H' (índice de diversidad de Shannon-Wiener), HB (índice de Diversidad de Brillouin); EB (Equitatividad de Brillouin) IBH (índice Biótico de Hilsenhof)

Subcuenca	Localidad	S	N	$H' =$	HB	E B	IBH
Moris	SM5	7	230	0.57	0.53	0.25	5.14
	SM4	6	222	0.46	0.43	0.26	5.86
	SM3	3	703	0.04	0.03	0.35	5.99
	SM2	6	1424	0.36	0.2	0.35	5.1
Candameño	SM6	3	4	N.A	N.A	N.A	N.A
	SM7	19	740	1.76	1.8	0.31	4.97
	SM8	18	1221	0.52	0.49	0.09	2.35
	SM9	9	1061	0.99	0.98	0.3	5.91
	SM1	9	492	0.36	0.34	0.16	5.98
	SM11	12	937	1.71	1.68	0.46	4.53

Subcuenca Moris

SM2 salida de Mina sobre Río

Se identificaron 1424 individuos de 6 familias, de los cuales los Oligochaetos (Orden Haplotalide un tipo de anélidos) están presentes con una dominancia del 90.23%. La baja riqueza de seis taxa así como la dominancia de un taxa altamente tolerante (Karr y Chu 1999) nos habla de una condición de afectación severa (tabla 12 y 13)

Tabla 12 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM2

Orden	Familia	Densidad (ni)
Diptera	Chironomidae	128
Haplotalide	Naidiidae	1285
Diptera	Empididae	5
Diptera	Tipulidae	3
Basommatophora	Limnaeidae	2
Coleoptera	Hydrophilidae	1
		1424



*Tabla 13. Métricas de condición de salud del sistema SM2*

Sensibles	Tolerantes	
Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	Chironomidae	Oligochaeta
0%	8%	90%

La condición visual del sistema se muestra en la figura 43. Se observa de manera muy tangible la alta concentración de sedimento fino disuelto.

*Figura 43 Condición visual del SM2 ubicada en la parte más cercana a la mina Concheño*



SM3

Se identificaron 703 individuos pertenecientes a tres familias y dos Órdenes; Los Chironomidae representan casi la totalidad de la abundancia con 99.43 %. Esta bajísima riqueza de taxa indica un desequilibrio muy importante, razón por la cual no es factible aplicar el índice de familias (IBH) para evaluar su calidad (tabla 14)

Tabla 14 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM3

Orden	Familia	Densidad (ni)
Diptera	Chironomidae	699
Diptera	Tipulidae	3
Coleoptera	Hydrophilidae	1
		703

La proporción de organismos Tolerantes es del 99%, que aunado a la baja riqueza confirma una clara afectación al sistema (tabla 15)

Tabla 15 Métricas de condición de salud del sistema SM3

Sensibles	Tolerantes
% Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	% Chironomidae
0	99.41

Las imágenes del sitio (figura 44) no muestra una sobrecarga de sedimentos en suspensión, aunque si de nutrientes que se reflejan en la presencia de algas en el fondo del lecho. Este tipo de condiciones debería presentar una estructura de la comunidad mucho más rica de especies, condición que no se cumple.



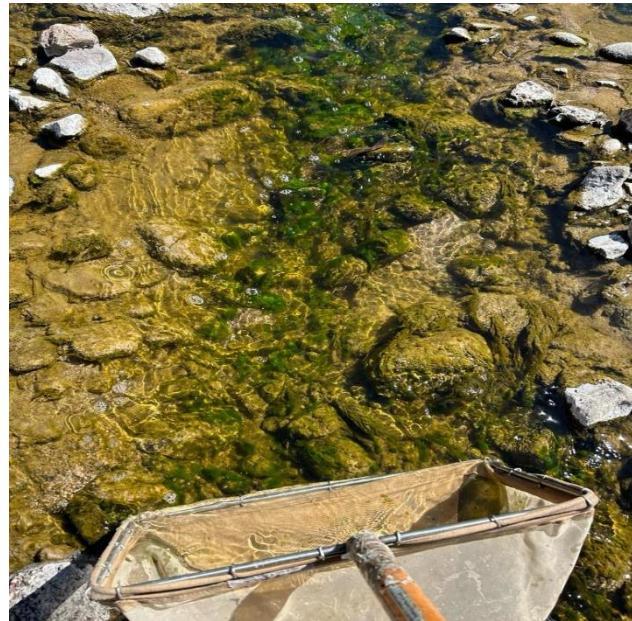


Figura 44. Condición visual del sistema SM3

SM4

Se colectaron 222 organismos de 3 órdenes y seis familias con una dominancia de Chironomidae del 89%. Se observa una baja riqueza, así como una muy alta dominancia por un solo taxón (tabla 16)

Tabla 16. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM4

Orden	Familia	Densidad (ni)
Odonata	Libellulidae	1
Diptera	Tipulidae	6
Diptera	Empididae	2
Diptera	Chironomidae	198
Haplotaenidae	Naididae	14
Hemiptera	Hebridae	1
		222





La proporción de organismos o taxa tolerantes de la comunidad es del 99.5 %, dentro de los cuales Chironomidae representa el 89% (tabla 17)

Tabla 17 Métricas de condición de salud del sistema SM4

Sensibles	Tolerantes
% Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	% Chironomidae
0	89.19

Las imágenes de este sitio de muestreo permiten ver las malas condiciones que prevalecen, donde el sedimento suspendido, así como depositado, han cubierto por completo el sustrato, eliminando con ello el hábitat natural del sistema además de afectar las estructuras respiratorias de los organismos con respiración branquial (figura 45)

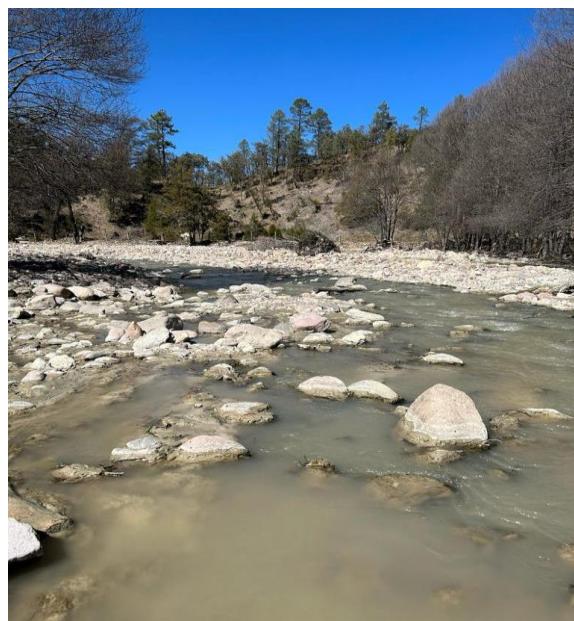
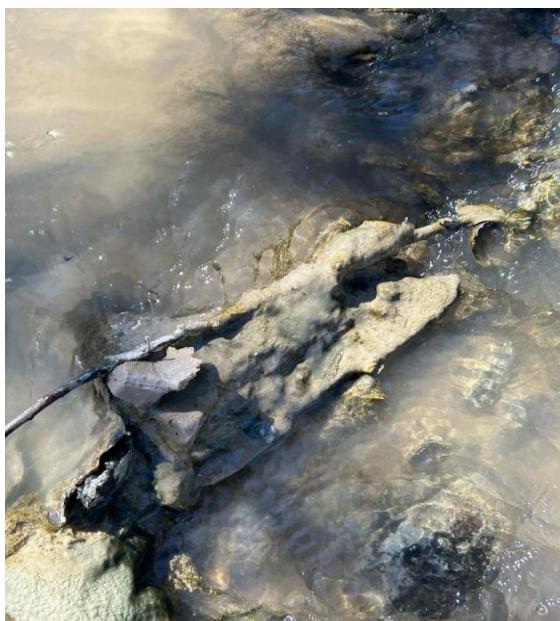


Figura 45. Condición visual del sitio de muestreo SM4





SM5 Rancho 7 km abajo mina

En esta localidad se identificaron 230 individuos pertenecientes a 7 familias de los cuales, 198 individuos pertenecen al grupo Oligochaeta (grupo dominante); si bien la riqueza es de 7 taxa, la representación o densidad de cada uno de ellos es extremadamente baja, por lo que se considera que el sitio se encuentra en extremo afectado. Cabe destacar que esta localidad se encuentra 7 km debajo de la mina Concheño, lo cual nos habla de que la pluma de afectación va kilómetros abajo, sí que hasta el momento se precise su alcance.

Tabla 18 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM5

Orden	Familia	Densidad (ni)
Ephemeroptera	Baetidae	4
Coleoptera	Staphylinidae	1
Diptera	Empididae	5
Coleoptera	Dytiscidae	1
Trichoptera	Helicopsychidae	1
Diptera	Chironomidae	20
Oligochaeta	Oligochaeta	198
Total		230

La proporción de organismos sensibles contra organismos tolerantes nos habla igualmente de la condición de salud de este sistema que muestra una clara afectación (tabla 19)

Tabla 19 Métricas de condición de salud del sistema SM5

Sensibles	Tolerantes	
Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	Chironomidae	Oligochaeta
2.17 %	8.70%	86%





La condición de este sitio de muestreo permite ver nuevamente, que las condiciones que prevalecen son completamente anómalas, donde el sedimento suspendido como depositado han cubierto por completo el sustrato, eliminando con ello el hábitat natural del sistema e inclusive se observa muerte de árboles en la primera línea del bosque cercano al cauce (figura 4).



Figura 46 Condición visual del sitio de muestreo SM5

Subcuenca Río Candameña

SM6

Esta localidad se encuentra ubicado en las faldas de un terraplén de la mina y su efecto es de evidente impacto y una de las más afectadas. Presentó únicamente cuatro individuos en total, perteneciente a tres órdenes y tres familias. Debido a esta bajísima riqueza y abundancia, no se puede hacer ningún tipo de análisis referente a índices biológicos, pero si podemos decir que el sitio se encuentra prácticamente carente de vida. (Tabla 20)



*Tabla 20 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM6*

Orden	Familia	Densidad (ni)
Diptera	Chironomidae	2
Indeterminada	Oligochaeta	1
Coleoptera	Dytiscidae	1
Total		4

La proporción de los escasos organismo, clasificados bajo las métricas de sensibles contra organismos tolerantes, nos habla que la condición de salud de este sistema muestra una clara afectación (tabla 21).

Tabla 21 Métricas de condición de salud del sistema SM6

Sensibles	Tolerantes
Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	Chironomidae + Oligochaeta
0%	75%

Las condiciones del sitio muestran el efecto de la mina, no tan solo por el talud de la excavación, sino por el tipo de sedimento fino que se observa sobre el cauce del arroyo (figura 47)





Figura 47 Condición visual del sitio de muestreo SM6

SM7 Las Truchas (sitio de Referencia)

Se trata de un arroyo que se encuentra muy cercano y de la misma subcuenca del anterior SM6 pero proveniente de diferente microcuenca, de tal manera que nos permite observar las condiciones originales de esta ecorregión. Sin embargo, el punto de colecta no fue de sitio completamente sin afectación ya que se emplea para cultivo de trucha.

En esta localidad se colectaron un total de 740 individuos pertenecientes a nueve órdenes y 19 familias, el valor más alto de la riqueza medida en todas las localidades (tabla 22)

Tabla 22 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM7

Orden	Familia	Densidad (ni)
Coleoptera	Elmidae	45
Ephemeroptera	Baetidae	267
Diptera	Simuliidae	2
Trichoptera	Hydropsychidae	63
Odonata	Calopterygidae	18





Orden	Familia	Densidad (ni)
Diptera	Chironomidae	237
Trichoptera	Leptoceridae	2
Indeterminada	Turbellaria	2
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	4
Acari	Hydracnidae	13
Crustacea	Ostracodo	32
Trichoptera	Polycentropodidae	3
Oligochaeta (Haplotaixidae)	Naidiade	39
Diptera	Tipulidae	3
Diptera	Empididae	1
Coleoptera	Dytiscidae	2
Ephemeroptera	Leptohyphidae	4
Odonata	Libellulidae	2
Odonata	Coenagrionidae	1
Total		740

Las métricas de organismos sensibles contra tolerantes nos hablan de una mayor proporción de organismos sensibles que, aunado a la alta riqueza, nos habla de un sitio en muy buenas condiciones ecológicas a pesar de la presencia del cultivo de trucha (tabla 23).

Tabla 23 Métricas de condición de salud del sistema SM7

Sensibles	Tolerantes
Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	Chironomidae + Ologichaeta
46.08%	37.3%

Las imágenes de esta localidad (figura 48) nos muestra cómo el sustrato como la columna de agua NO presentan sedimento suspendido, como tampoco sedimentado sobre el sustrato rocoso, lo cual permite que los organismos, además de contar con hábitat disponible, no sean afectado en su sistema respiratorio de tipo branquial, a pesar de la presencia de las piscinas de piscicultura que además es de baja escala.





Figura 48 Condición visual del sitio de muestreo SM7

SM8

Esta localidad es la unión entre los sitios Sm6 y SM7. Cabe destacar que es de este punto de donde la población de Basaseachi se surte de agua para consumo. En esta localidad se colectaron 1221 organismos de 10 órdenes y 18 familias (tabla 24)

Tabla 24 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM8

Orden	Familia	Densidad (ni)
Odonata	Libellulidae	1
Megaloptera	Corydalidae	2
Ephemeroptera	Leptohyphidae	1104
Odonata	Gomphidae	2
Trichoptera	Calamoceratidae	1
Tricladida	Planariidae	7
Coleoptera	Staphylinidae	1
Coleoptera	Dryopidae	1
Acari	Hydracnidae	19
Diptera	Chironomidae	20
Ephemeroptera	Baetidae	37
Trichoptera	Hydropsychidae	1
Trichoptera	Polycentropodidae	1





Hemiptera	Belostomatidae	3
Diptera	Empididae	6
Trichoptera	Helicopsychidae	1
Basommatophora	Planorbidae	1
Ephemeroptera	Caenidae	13
Total		1221

Las métricas de organismos sensibles contra tolerantes nos hablan de una muy alta proporción de organismos sensibles que, aunado a la alta riqueza, nos habla de un sitio en excelentes condiciones ecológicas, con una clara dominancia de la familia Leptohyphidae. (Tabla 25)

Tabla 25 Métricas de condición de salud del sistema SM8

Sensibles	Tolerantes
Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	Chironomidae + Tricladidae
94.8%	2.2%

Las imágenes de este sitio (figura 49) nos muestra un sistema con condiciones físicas de amplio rango de tamaño de roca, aguas claras y nada de sedimento suspendido, no se muestra fenómeno de colmatación por materia orgánica; todo esto brinda las mejores condiciones para presencia de un gran número de hábitats y condiciones de salud excelente.





Figura 49 Condición visual del sitio de muestreo SM8

SM9

Esta localidad se encuentra aguas debajo de población Basaseachi y aguas debajo de SM8. Presentó una densidad total de 1061 individuos distribuidos en 7 órdenes y 9 familias. Con una clara dominancia de la familia Chironomidae (tabla 26)

Tabla 26 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM9

Orden	Familia	Densidad (ni)
Cladocera	Daphniidae	33
Diptera	Simuliidae	31
Diptera	Tipulidae	5
Acari	Hydracnidae	44
Diptera	Chironomidae	709
Oligochaeta (Haplotaxidae)	Naididae	236
Lepidoptera	Crambidae	1
Ephemeroptera	Baetidae	1
Crustacea	Ostracodo	1
Total		1061

Las métricas de organismos sensibles contra tolerantes nos hablan de una total dominancia de organismos tolerantes, esto consecuencia de la falta de sistemas





de tratamiento de agua en la población de Basaseachi, la cual vierte sus aguas negras directamente al sistema del río (tabla 27)

Tabla 27 Métricas de condición de salud del sistema SM9

Sensibles	Tolerantes
Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	Chironomidae + Naidiidae
0.1%	89%

La condición del río en este punto puede apreciarse a través de las imágenes de la figura 8, la cual muestra una gran cantidad de sedimento depositado en el lecho del río y con presencia de acolmatación entre las rocas. Esto producto de la materia orgánica que entra al sistema.



Figura 50 Condición visual del sitio de muestreo SM9





SM1 Cascada Basaseachi

Esta localidad se localiza unos metros antes de la caída de la cascada. En este punto se colectaron un total de 492 individuos de siete órdenes y nueve familias (tabla 28).

Tabla 28 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM1

Orden	Familia	Densidad (ni)
Ephemeroptera	Baetidae	8
Ephemeroptera	Leptohyphidae	1
Trichoptera	Hydropsychidae	4
Ostracoda	Ostracoda	11
Diptera	Simuliidae	1
Tricladida	Planariidae	5
Diptera	Chironomidae	459
Acari	Hydracnidia	1
Diptera	Empididae	2
		492

Las métricas asociadas a organismos sensibles contra tolerantes nos hablan de una total dominancia de organismos tolerantes, esto consecuencia de la falta de sistemas de tratamiento de agua en la población de Basaseachi, la cual vierte sus aguas negras directamente al sistema del río (tabla 29), lo que conlleva a una mala condición de salud del sistema que se vierte directamente a la cascada emblemática de la localidad.

Tabla 29 Métricas de condición de salud del sistema SM1

Sensibles	Tolerantes
% Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	% Chironomidae
2.64%	93.29%





Las características físicas del sistema nos indican estar caracterizado de manera natural por una extensa placa de piedra, cuyas condiciones generales es la carencia de cantes rodados y poca vegetación tanto riparia como dentro del sistema mismo. Esto a su vez proporciona poca oportunidad de hábitats para los macroinvertebrados (figura 51)

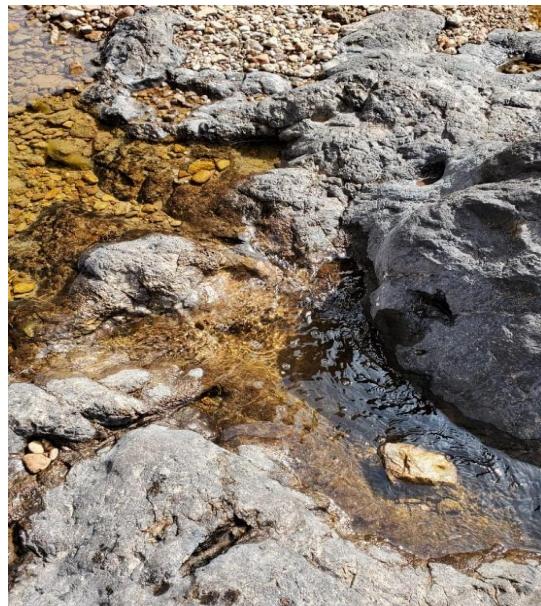


Figura 51 Condición visual del sitio de muestreo SM1

SM11 El Pajarito (sitio de referencia)

El pajarito es un sitio de referencia localizado en una subcuenca paralela y que también afluye al SM9 sin pasar por la población Basaseachi. En esta localidad se colectaron un total de 937 individuos de nueve órdenes y 12 familias.

Tabla 30 Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en SM11

Orden	Familia	Densidad (ni)
Hemiptera	Pleidae	33
Coleoptera	Dytiscidae	161
Ephemeroptera	Baetidae	97





Trichoptera	Helicopsychidae	46
Ephemeroptera	Leptohyphidae	214
Diptera	Chironomidae	345
Basommatophora	Lymnaeidae	2
Trichoptera	Leptoceridae	7
Trichoptera	Polycentropodidae	18
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10
Odonata	Coenagrionidae	3
Crustacea	Ostracodo	1
Total		937

A pesar de las condiciones aparentemente poco impactadas, es un sistema que recibe afectaciones por cultivos y algunos caseríos río arriba, lo que se refleja en la dominancia de Chironomidos. Sin embargo, cuenta con una proporción alta de organismos sensibles, lo que implica un estado de salud bueno. (tabla 31)

Tabla 31 Métricas de condición de salud del sistema SM11

Sensibles	Tolerantes
Ephemeroptera + Trichoptera+ Plecoptera (EPT)	Chironomidae
41.84	36.82

Las condiciones físicas de este sistema nos hablan de sedimento en buenas condiciones, no suspendido y no colmatación de piedras, lo que implica una buena oferta de hábitats para las especies acuáticas (figura 52).





Figura 52 Condición visual del sitio de muestreo SM11

6. CONCLUSIONES

Calidad del agua

La actividad de la minera El Concheño impacta la calidad del agua en los parámetros de Sólidos disueltos totales, Sólidos suspendidos totales, metales como el Aluminio, Hierro, Zinc y Cianuro.

El cianuro, tiene efecto altamente tóxico en seres vivos ya que bloquea el transporte de oxígeno a las células y en concentraciones con toxicidad agudas altera el sistema nervioso central y cardiovascular.

Se observa además, la pérdida de fauna macrobentónica y peces en las subcuencas impactadas por el sedimento fino de origen externo causado por la mina; muerte de árboles riparios muy probablemente por niveles altos de concentración de contaminantes.





De acuerdo a los resultados analizados a partir de la respuesta de la fauna de macroinvertebrados, podemos concluir que la cuenca del Río Moris presenta una grave afectación provocada por los vertidos de la mina Candameño, la cual se puede observar no solamente desde el punto visual; sino a través de la respuesta de la comunidad de macroinvertebrados. Se observa que la baja riqueza en toda la cuenca Moris es un punto rojo a atender de manera urgente. Los sitios SM3 y SM6 muestran una eliminación casi completa de la vida acuática en el sistema, a pesar de que SM6 es el inicio de la cuenca Candameño. Lo que implica que las actividades mineras están afectando seriamente a las dos subcuenca de estudio.

Disponibilidad

Actualmente se cuenta con un volumen de agua de 241.54 hm³ menos de lo que se contaba en el primer lustro de la década de los años 2000's. Este decaimiento se observa intensificado en los últimos tres años, donde se observa que existe una mayor explotación de los recursos hídricos en la región





7. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Alonso-EguíaLis. 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.
- 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.
- Barbour, M. T., Swietlik, W. F., Jackson, S. K., Courtemanch, D. L., Davies, S. P., & Yoder, C. O. (2000). Measuring the attainment of biological integrity in the USA: a critical element of ecological integrity. *Hydrobiologia*, 422, 453-464.
- 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.
- 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.

- 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>
- CONABIO. 2014. La Biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. México. Disponible en: <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20230825095727>. Consultado: 25/08/2023
- CONAGUA. (2018). Estadísticas del Agua en México. Ciudad de México: Gobierno de la República.
- CONANP. 2016. Programa de Manejo del Parque Nacional Cascada de Bassaseachic. SEMARNAT, México. Disponible en: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/8_libro_pm.pdf. Consultado: 25/08/2023
- Cummins KW. 1996. Invertebrates. In *River Biota. Diversity and Dynamics*, Petts G, Calow P (eds). Blackwell Science: Oxford; 75–91.
- DOF. 2007. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas subterráneas de 50 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológicas que se indican, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2007.
- DOF. 2008. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas subterráneas de 30 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológicas que se indican, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de enero de 2008.
- DOF. 2009. ACUERDO por el que se da a conocer la ubicación geográfica de 371 acuíferos del territorio nacional, se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de 282 acuíferos, y se modifica, para su mejor



precisión, la descripción geográfica de 202 acuíferos, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2009.

- DOF. 2015. NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- DOF. 2016. ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.
- 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., Lévéque, 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* 21: 163–182
- Duenas, M. A., Hemming, D. J., Roberts, A., & Diaz-Soltero, H. (2021). The threat of invasive species to IUCN-listed critically endangered species: A systematic review. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01476.
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. 2023. FishBase. World Wide Web electronic publication.
- Gonzalez, A., Germain, R. M., Srivastava, D. S., Filotas, E., Dee, L. E., Gravel, D., ... & Loreau, M. (2020). Scaling-up biodiversity-ecosystem functioning research. *Ecology Letters*, 23(4), 757-776.



- 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.
- Hellawell, 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.
- Karr, J. R., & Chu, E. W. (1999). Restoring life in running waters: better biological monitoring. Island Press, Connecticut, USA
- 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.
- McGeoch, M. A. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 73:181–201
- 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).
- REPDA, 2019. Registro Público de Derechos del Agua. Comisión Nacional del Agua. 2019.
- Rosenberg, D. M., and V. H. Resh. 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, London
- SIATL, 2023. Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. INEGI. Visto en https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/ el 8 de septiembre de 2023.



- Spellenberg, R., Lebgue, T., & Corral-Díaz, R. (1996). A specimen-based, annotated checklist of the vascular plants of Parque Nacional "Cascada de Basaseachi" and adjacent areas, Chihuahua, Mexico (No. 13). UNAM.
- 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).
- 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.
- Vargas-Márquez, F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM.
- 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).
- www.fishbase.org, version (10/2023).

