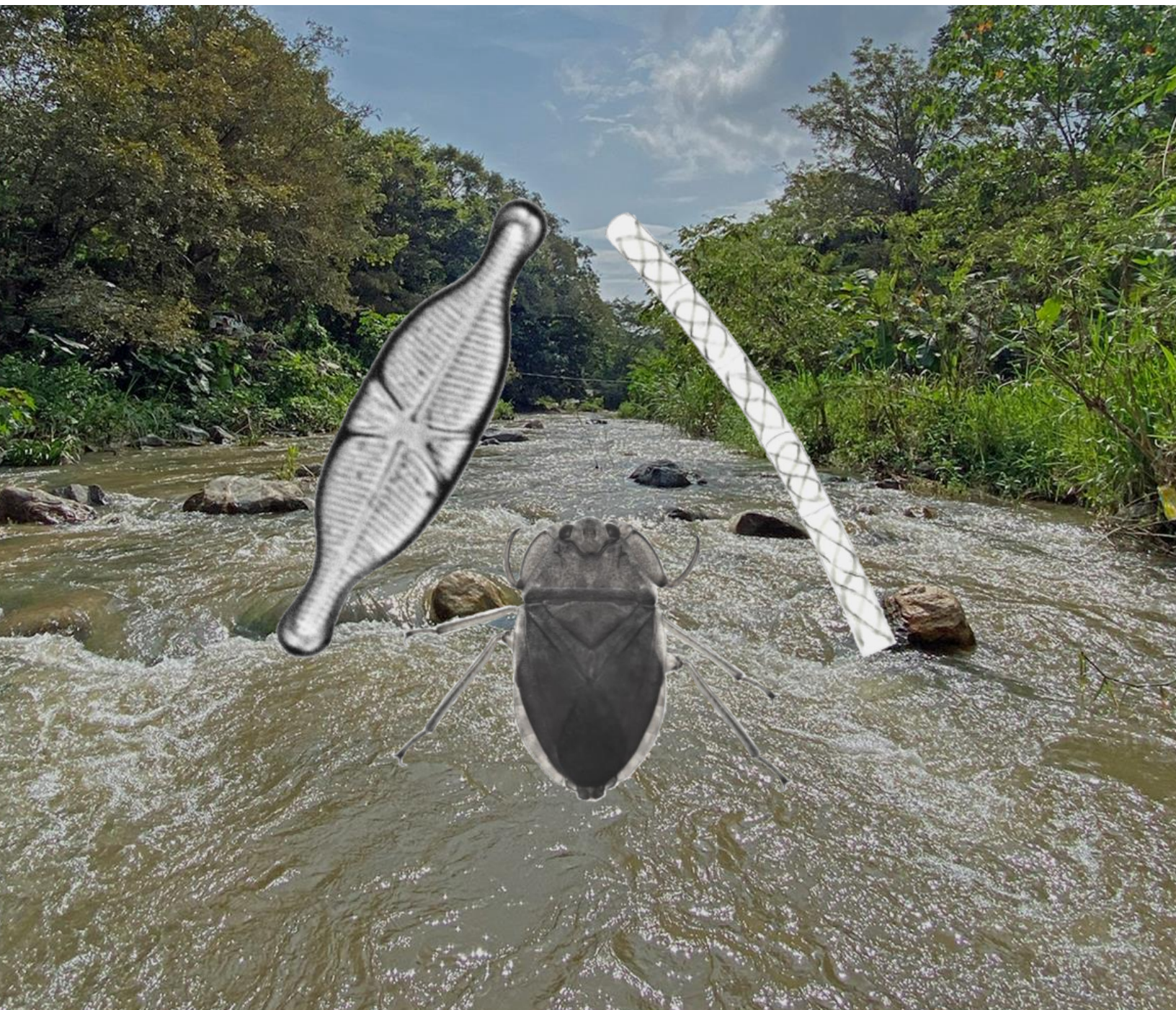


Monitoreo de la calidad ecológica del río Manialtepec, Oaxaca

Informe final de resultados
Enero 2024



Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C.

Dirección general. María Teresa Gutiérrez Mercadillo

Coordinación técnica. Karla Isabel Rivera Ramírez

Coordinación científica. Victor Hugo Salinas Camarillo y Arantza Ivonne
Daw Guerrero

Boulevard Manuel Ávila Camacho 67, Col. Polanco V sección, Alcaldía Miguel
Hidalgo, C.P. 11560. Ciudad de México, México.

www.fcea.org.mx

Forma de citar:

FCEA. (2024). Salinas-Camarillo, V.H., Daw-Guerrero, A.I., Rivera-Ramírez, K.I., y Gutiérrez-Mercadillo, M.T. *Monitoreo de la calidad ecológica del río Manialtepec, Oaxaca*. Saneamiento y Regeneración de la cuenca del río Manialtepec.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN EJECUTIVO	5
1. ANTECEDENTES	7
2. INTRODUCCIÓN	8
2.1 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	9
2.2 PARÁMETROS PAISAJÍSTICOS	9
2.2.1 <i>Calidad hidromorfológica</i>	10
2.2.2 <i>Calidad de vegetación de ribera</i>	10
2.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS	10
2.3.1 <i>Bacterias coliformes totales</i>	12
2.3.2 <i>Diatomeas bentónicas</i>	12
2.3.3 <i>Macroalgas bentónicas</i>	14
3. OBJETIVOS	17
4. MÉTODOS	18
4.1 ÁREA DE ESTUDIO	18
4.2 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	21
4.3 PARÁMETROS PAISAJÍSTICOS	22
4.3.1 <i>Calidad hidromorfológica</i>	22
4.3.2 <i>Calidad de vegetación de ribera</i>	23
4.4 PARÁMETROS BIOLÓGICOS	24
4.4.1 <i>Bacterias coliformes totales</i>	24
4.4.2 <i>Diatomeas bentónicas</i>	25
4.4.3 <i>Macroalgas bentónicas</i>	27
4.4.5 <i>Macroinvertebrados bentónicos</i>	28
5. RESULTADOS	31
5.1 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	31
5.2 PARÁMETROS PAISAJÍSTICOS	47
5.2.1 <i>Calidad hidromorfológica</i>	47
5.2.2 <i>Calidad de la vegetación de ribera</i>	48
5.3 PARÁMETROS BIOLÓGICOS	52
5.3.1 <i>Bacterias coliformes totales</i>	52
5.3.2 <i>Diatomeas bentónicas</i>	52
5.3.3 <i>Macroalgas bentónicas</i>	89
5.3.4 <i>Macroinvertebrados bentónicos</i>	104
ANÁLISIS INTEGRADO	133
CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES	135
REFERENCIAS	136

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de la Fundación SERTULL, quien hizo posible el desarrollo del presente trabajo.

Así mismo, reconocemos el acompañamiento y apoyo logístico de las autoridades municipales y comunales mencionadas a continuación:

Santos Reyes Nopala

- Fernando Velasco Loaeza-Presidente del Comisariado de los Bienes Comunales;
- Porfirio Canseco Galván-Presidente del Consejo de Vigilancia del Comisariado;
- Magali Soledad Zurita Matus-Regidora de Salud;
- Rosa Nayeli Hernández Reyes-Regidora de Salud Suplente;
- Cecilia Coronel Santiago-Promotora de Salud;
- Eugenio Chávez Cruz-Asesor Externo;
- Ing. Florentino Silverio Mendoza Fuentes-Asesor del Instituto de Estudios de Bachillerato del Estado de Oaxaca (IEBO);
- Lic. Jhonatham Daniel Jiménez Sandoval-Asesor de la Preparatoria por Cooperación 181.

San Juan Lachao

- Jaime Diaz Salinas-Presidente Suplente del Comisariado de los Bienes Comunales;
- Luis Miguel Martínez Mendoza-Secretario Suplente del Comisariado de los Bienes Comunales;
- Oscar Daniel Salinas Ramírez-Regidor de Salud;
- Biól. Cenobia Lazo Sánchez-Asesora del Instituto de Estudios de Bachillerato del Estado de Oaxaca.

Santa Lucía Teotepec

- Alfonso Olivera - Comisariado de los Bienes Comunales.

A los alumnos del IEBO No. 155 en San Juan Lachao, del IEBO 06 y de la Preparatoria por Cooperación 181 “Ricardo Flores Magón” en Santos Reyes Nopala.

Finalmente, agradecemos el acompañamiento y apoyo logístico del equipo del Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental:

- Ing. Fernando Salinas - Coordinador Educativo en la Cuenca Alta de Manialtepec;
- Biól. Laura Reyes - Coordinadora de Desarrollo Comunitario de Manialtepec;
- Lic. Aline Eichelmann

RESUMEN EJECUTIVO

El monitoreo de la calidad ecológica es una línea de trabajo novedosa e incipiente en el país que permite analizar desde una perspectiva integral a los ecosistemas acuáticos, centrándose en reconocer la estructura (quiénes los habitan) y funcionamiento (el papel que desarrollan los habitantes) de los ecosistemas para procurar el mantenimiento de los procesos que permiten la provisión de servicios ecosistémicos.

Con el objetivo de realizar el levantamiento de la línea base de la calidad ecológica en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca, se realizó el monitoreo de parámetros físico-químicos, paisajísticos y biológicos en trece sitios ubicados a lo largo del río y la Laguna de Manialtepec durante las épocas de secas y lluvias del año 2023.

En conjunto, estos parámetros permitieron caracterizar el impacto de las actividades humanas, no sólo en la calidad del agua, si no de manera integral en la salud ecológica. Así mismo, se generó un registro de la biodiversidad acuática en la cuenca; 216 especies de diatomeas, 21 taxones de macroalgas y 74 taxones de macroinvertebrados.

De manera general, se identificó que, si bien se registran sitios bien conservados en la parte alta de la cuenca, el patrón de degradación más que seguir una tendencia de disminución desde la parte alta a la baja, respondió principalmente al tipo e intensidad de las actividades humanas que se desarrollan en el territorio de los diversos puntos de monitoreo.

Los sitios Río Salado Alto, Cascada Velo de Novia, Río Salado, Barrio del Carmen y Hondura El Pollito cuentan con una buena calidad ecológica. Por su parte, los sitios Confluencia Neblina y Maíz, Barrio del Carmen, San José Manialtepec y la Hondura del Metate muestran un deterioro, principalmente por la modificación de los parámetros paisajísticos y, en consecuencia, de los físico-químicos y biológicos. Finalmente, los sitios Planta de Tratamiento, Granja Lachao y Cerro del Aire presentaron una mayor degradación vinculada a las actividades agrícolas, pecuarias y a la contaminación generada por el aporte de aguas residuales sin tratamiento.

Una perturbación por destacar es la extracción de materiales pétreos del lecho del río; una actividad común a lo largo de la cuenca, pero con impactos desiguales, lo cual se relaciona con la forma (manual o maquinaria) y dimensión de la actividad. En este sentido, se hace necesario generar estrategias que permitan realizar un aprovechamiento sostenible del recurso sin poner en riesgo el funcionamiento del ecosistema acuático.

Respecto a la Laguna de Manialtepec, los dos sitios analizados presentan afectaciones asociadas a la deforestación del mangle y a la contaminación ocasionada por las actividades turísticas; sin embargo, El Aguaje muestra un incremento de nutrientes, condición reflejada tanto por los indicadores físico-químicos como por los bioindicadores, aspecto que indica una fuente puntual de contaminación.

Se recomienda continuar los esfuerzos por robustecer la línea base de información biológica, lo cual puede permitir la generación de índices regionales y con ello, contar con interpretaciones más precisas. Asimismo, para asegurar el monitoreo en el tiempo y que los resultados sean útiles para la toma de decisiones, es indispensable poner en marcha un programa de monitoreo comunitario en la cuenca costera de Manialtepec.

1. ANTECEDENTES

En la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca, la degradación ambiental se ha incrementado en los últimos años por factores como el cambio de uso de suelo intensivo, la explotación ilegal de materiales pétreos y fauna, el turismo no planificado, técnicas productivas inapropiadas, deforestación, uso indiscriminado de agroquímicos y la contaminación del agua. Como resultado, actualmente la cuenca presenta problemas ambientales, entre los que destaca la contaminación del río y la laguna de Manialtepec.

En este contexto, en el año 2020 el Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., comenzó el proyecto “Saneamiento y regeneración de la cuenca del río Manialtepec” con el objetivo de mitigar la degradación ambiental, promover mejores condiciones de vida para los pobladores de la cuenca y procurar la conservación de los ecosistemas. En la primera fase del proyecto se llevó a cabo el análisis de la calidad y cantidad del agua mediante una caracterización físico-química y el cálculo de gasto hidráulico (en un sitio y única ocasión en la parte baja de la cuenca). Estos estudios reflejaron que la zona media y baja de la cuenca presenta contaminación, principalmente por las descargas de aguas grises y negras, así como el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias (Encinos, 2021a, b; 2022).

Si bien, esta caracterización físico-química permite entender el impacto de las actividades humanas sobre los cuerpos de agua, como el río, la laguna y el agua subterránea, resulta indispensable incorporar una aproximación que permita conocer de manera integral su estado ecológico, considerando además elementos paisajísticos y biológicos, con los cuales conocer cómo está estructurado el ecosistema acuático y cómo funciona. Con esta visión se favorece la gestión sostenible de la cuenca costera de Manialtepec, priorizando el correcto funcionamiento de los ecosistemas para el mantenimiento de los *servicios ecosistémicos* o también llamadas contribuciones de la naturaleza (beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas), sin los cuales no sería posible el desarrollo social y económico en la región.

2. INTRODUCCIÓN

Pese a que el agua es un recurso vital que hace posible el desarrollo social y económico, comúnmente su calidad y cantidad se ven afectados por diversas actividades humanas que carecen de una adecuada planificación. Esto pone en riesgo la salud de los ecosistemas y de su biodiversidad y limita su capacidad para brindar beneficios a las poblaciones humanas. En este contexto, resulta indispensable comprender la importancia de ecosistemas saludables para el bienestar humano y de otras especies.

Para conocer la calidad y cantidad de agua se establecen programas de monitoreo que buscan evaluar diversas características del ecosistema, como los parámetros físicos, químicos y biológicos, registrar su comportamiento a lo largo del tiempo e identificar cambios que pudieran reflejar amenazas potenciales. De manera convencional se han utilizado parámetros de percepción (p.ej. color), físico-químicos y microbiológicos con base en criterios establecidos o valores máximos permisibles. Estos valores dependen del uso que se busque dar al agua, desde el consumo humano directo, riego agrícola, consumo para el ganado, recreación o en muy pocos casos, para el mantenimiento de la vida acuática.

Si bien estos atributos permiten detectar de manera puntual eventos de contaminación, arrojándonos una fotografía del momento en que las muestras son tomadas, su interpretación se da en función de los potenciales riesgos para la salud humana, dejando un gran vacío en la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas y su biodiversidad.

A partir del surgimiento de la Directiva Marco del Agua Europea (EC, 2000), se dio un cambio de paradigma sobre la evaluación de la calidad del agua, pues entonces se resaltó la importancia de caracterizar la calidad de los ecosistemas acuáticos de manera integral, promoviendo un uso sostenible de los recursos hídricos.

En este cambio de paradigma se propuso evaluar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos a partir de parámetros físico-químicos y microbiológicos ya conocidos, adicionando la evaluación de la calidad hidromorfológica (grado de conservación de la naturalidad de los cauces), la calidad de la vegetación de ribera y la evaluación de las comunidades acuáticas de productores primarios: fitoplancton, diatomeas bentónicas,

macrófitos acuáticos (plantas acuáticas y macroalgas) y de consumidores: macroinvertebrados bentónicos y peces.

Con esta visión integrativa, la evaluación del estado ecológico se centra en reconocer la estructura (quiénes los habitan) y funcionamiento (el papel que desarrollan los habitantes acuáticos) de los ecosistemas para procurar el mantenimiento de los procesos que ocurren de manera natural en los ecosistemas y que proveen servicios ecosistémicos.

2.1 Parámetros físico-químicos

Para conocer las características de los sistemas acuáticos y entender los procesos que en ellos ocurren se utilizan numerosos indicadores físico-químicos, como la temperatura del agua, el nivel de acidez o basicidad (pH), el contenido de sales disueltas (conductividad eléctrica), la materia orgánica e inorgánica disuelta o suspendida (sólidos disueltos totales o sólidos suspendidos totales), la salinidad, la concentración de oxígeno disuelto, la concentración de nutrientes como nitrógeno o fósforo, el contenido de carbonatos y bicarbonatos, la concentración de metales pesados, entre muchos otros.

Los valores de estas variables suelen estar reguladas por características o procesos naturales, como el origen geológico de las cuencas, el clima, latitud y elevación, o por los cambios que acompañan a las estaciones del año, o los hidroperiodos de lluvias y estiaje.

Los valores de estas variables también pueden ser alterados por diversas actividades humanas, desde obras hidráulicas que modifican la estructura de los cauces (represamientos o canalizaciones), o procesos de contaminación puntual (descargas de aguas residuales) o difusas (lixiviación de fertilizantes).

2.2 Parámetros paisajísticos

Para una evaluación del estado de los ecosistemas acuáticos se requiere la observación de diversos elementos del paisaje, como la cantidad de sustratos en el lecho de ríos y arroyos, los procesos de erosión en los cuerpos de agua, la presencia de intervenciones humanas y la calidad de la vegetación que se desarrolla como una “frontera” entre los ecosistemas terrestres y los acuáticos, conocida como *vegetación de ribera*.

2.2.1 Calidad hidromorfológica

El estudio de las formas del paisaje originadas por el agua se denomina *hidromorfología*. En particular se estudia el régimen hidrológico (la fluctuación de los caudales), las relaciones con el agua subterránea y características morfológicas como la profundidad, ancho, forma y naturaleza de bancos e islas. Estas formas del paisaje son muy variables en el tiempo y el espacio, presentando gran diversidad de características físicas que afectan el hábitat de las comunidades biológicas.

Para evaluar la calidad hidromorfológica de los ecosistemas acuáticos se utilizan indicadores hidromorfológicos que permiten reconocer la diferencia entre las características hidrológicas y geomorfológicas actuales y aquellas características que se tendrían en ausencia de alteraciones humanas, ya que algunas de ellas (p.ej. represamientos o canalizaciones) provocan la homogenización del hábitat que, a su vez, da lugar a la disminución en la biodiversidad.

2.2.2 Calidad de vegetación de ribera

La mayoría de los sistemas acuáticos del mundo poseen en sus márgenes un bosque de ribera o también conocido como bosque de galería constituido por vegetación adaptada a crecer en suelos fértiles y que puede resistir inundaciones periódicas.

Estos bosques tienen un efecto directo sobre los procesos que se llevan a cabo en los sistemas acuáticos: proporcionan sombra, ayudan a regular la temperatura del agua además de mantenerla bien oxigenada, constituyen una importante entrada de materia orgánica (hojas, frutos, troncos) que sirven de refugio y/o alimento para otros organismos acuáticos, limitan la erosión de los márgenes, sirven como filtro para retener partículas y nutrientes, y funcionan como corredores biológicos.

Las características de los bosques de ribera, como su composición, estructura y funcionamiento, cambian dependiendo del tipo de sistema acuático, de su ubicación geográfica y de los procesos de erosión, transporte y sedimentación de materiales que se

llevan a cabo en los cuerpos de agua. Por lo anterior, es importante conocer cada atributo de la vegetación de ribera respecto a su estado natural, es decir, en condiciones prístinas o lo más conservadas posibles.

Algunos de los aspectos que se evalúan para calificar la calidad de estos bosques son la proporción de la cubierta forestal ribereña; la estructura del bosque en función de los árboles y arbustos; la calidad de la cobertura, considerando la proporción de especies nativas o introducidas; y, el grado de naturalidad del canal fluvial dependiendo de las modificaciones humanas que existan (p.ej. canales y represamientos).

La evaluación de la calidad del bosque de ribera nos permite conocer el estado de conservación en el que se encuentra, ubicar fácilmente los tramos mejor conservados y vincular el estado ambiental con las presiones existentes. Esta tarea también facilita el diagnóstico de los principales problemas ambientales mediante el reconocimiento de las presiones que modifican la composición, estructura y funcionamiento de la vegetación de ribera.

2.3 Parámetros biológicos

Los habitantes de los cuerpos de agua desempeñan funciones de vital importancia para sus ecosistemas, al encargarse de la descomposición de la materia orgánica y de la producción de oxígeno y alimento para el resto de los seres vivos acuáticos y terrestres.

Las bacterias, las diatomeas, las macroalgas y los macroinvertebrados son utilizados como indicadores de la salud de los ecosistemas acuáticos debido a que muchos de ellos son sensibles a los cambios en su entorno, incluida la calidad del agua. Al monitorear su presencia, ausencia o cantidad se pueden detectar posibles contaminantes, cambios en los niveles de oxígeno en el agua, en el pH, temperatura, modificaciones en las condiciones hidromorfológicas o del bosque de ribera, así como variaciones en la cantidad de nutrientes, factores que podrían afectar negativamente a los ecosistemas.

2.3.1 Bacterias coliformes totales

Los coliformes son ampliamente utilizados a nivel mundial como indicadores de contaminación de origen fecal en el agua, ya que, pese a que pueden vivir de manera natural en el ambiente, son habitantes frecuentes del tracto digestivo de animales de sangre caliente (incluidos los seres humanos). Estas bacterias comúnmente llegan a los ecosistemas acuáticos por el vertimiento de aguas residuales, desechos de rellenos sanitarios, infiltraciones de tanques sépticos, defecación a campo abierto y por la presencia de animales domésticos y silvestres que defecan en o cerca de los cursos de agua.

2.3.2 Diatomeas bentónicas

Las diatomeas son un grupo de algas microscópicas unicelulares (cada célula es un organismo independiente) que parecen vivir en casas de cristal, puesto que sus paredes celulares están hechas de sílice; un material transparente y muy resistente. Las formas de estas paredes celulares y los patrones de ornamentación que presentan son la base para la identificación de las especies.

Aunque estos organismos sólo pueden observarse a través de un microscopio, forman crecimientos que en ocasiones pueden observarse a simple vista en hábitats acuáticos como tapetes color café o dorado debido a los pigmentos fotosintéticos (Fig. 1). Además, suelen ser los responsables de generar la textura resbalosa en las superficies mojadas debido al mucílago que producen para adherirse o moverse en los sustratos.

Las diatomeas están presentes en todos los ecosistemas donde hay agua, desde manantiales, ríos, lagos, humedales, lagunas costeras y, por supuesto, en los océanos, donde se ha estimado que producen casi 30 % del oxígeno que respiramos en el planeta. Esta capacidad de habitar diferentes ambientes se ve reflejada en la enorme diversidad de especies que existen, estimadas en un rango de 20,000 a 2 millones (Spaulding et al. 2021).

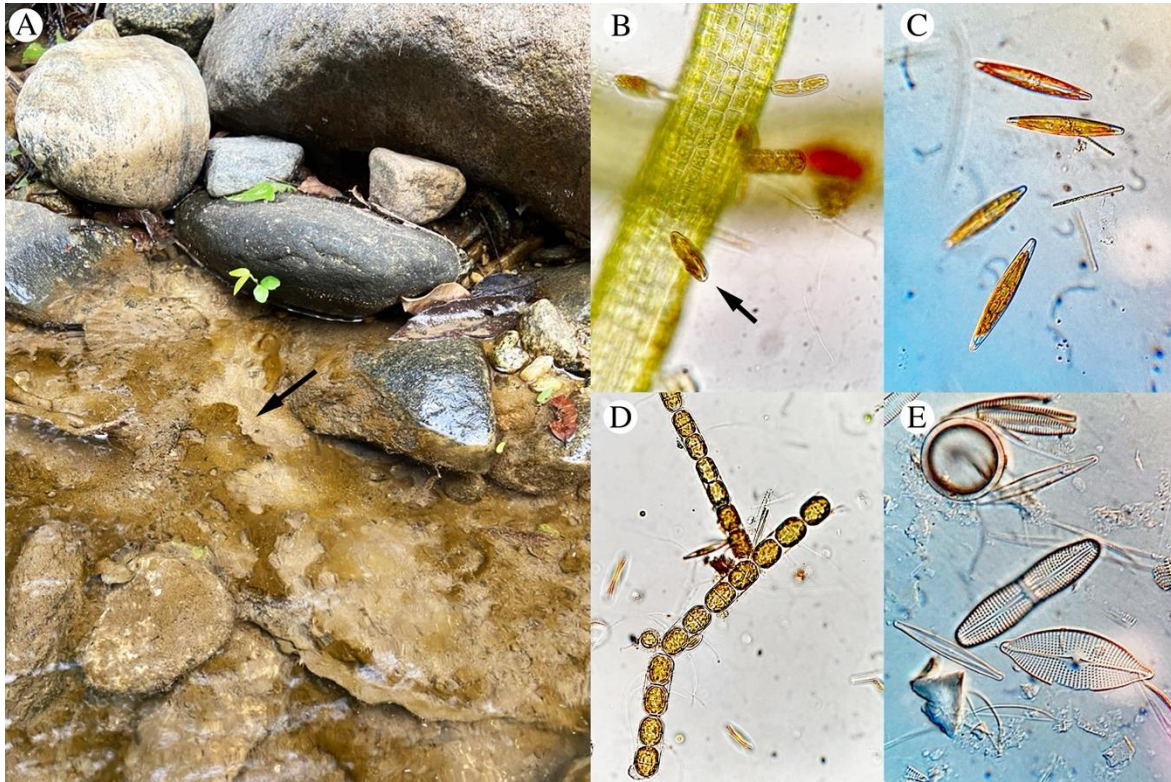


Figura 1. Diatomeas bentónicas en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca. A. Crecimiento visible sobre sedimento fino sumergido (flecha negra), B. Diatomeas creciendo sobre el talo de algas macroscópicas, C. Diatomeas solitarias, D. Colonia filamentosa de diatomeas, E. Pared celular de sílice de diatomeas.

Al ser los organismos fotosintéticos dominantes en el lecho de los ríos (rocas, sedimentos y plantas), desempeñan un papel fundamental en los sistemas acuáticos, pues son responsables de generar oxígeno y de gran parte del reciclaje de nutrientes como fósforo y nitrógeno, funcionando como la base de las redes tróficas, manteniendo la biodiversidad acuática.

Estos organismos tienen un ciclo de vida corto, es decir, que los cambios en el ambiente (naturales o antropogénicos) que repercuten en su crecimiento y reproducción son notables en el corto plazo (días, semanas). Variables ambientales como: temperatura del agua, pH, salinidad, contaminación orgánica, nutrientes inorgánicos y metales pesados, además de contaminación difusa (agricultura) o puntual (descargas de aguas residuales domésticas o industriales), modifican las características del hábitat de diatomeas, lo cual se refleja en la composición de especies y, sobre todo, en alteraciones en su nivel de abundancia, al presentar diferentes intervalos de preferencia o tolerancia (Salinas-Camarillo et al. 2020).

Las diatomeas, al ser tan vulnerables a las características del agua que habitan, son consideradas uno de los mejores indicadores de la salud de los sistemas acuáticos. A nivel mundial se han desarrollado índices que permiten asignar un valor de calidad dependiendo de la composición y la abundancia de las especies presentes en cada comunidad, reflejando las condiciones de su hábitat (Lobo et al. 2019). Aunque cada índice funciona para la región para la que fue desarrollado, incorporando la diversidad local de especies y su respuesta ante las presiones de su región, existen algunas opciones que resumen las preferencias a nivel de género o incluso que toman en cuenta información no taxonómica (funcional), como la talla de los organismos, la forma de vida o el espacio que ocupan dentro de la comunidad. Si bien estas opciones pueden no ser tan precisas como los índices a nivel de especie, brindan una buena imagen de la condición del sistema.

2.3.3 Macroalgas bentónicas

Las algas constituyen un grupo biológico “artificial” en el que se agrupan aquellos organismos acuáticos fotosintéticos que a diferencia de las plantas no tienen una raíz verdadera, tallo, hojas o tejido vascular, ni presentan un verdadero embrión (Carmona et al. 2021). El término *macro* hace referencia a que forman crecimientos visibles a simple vista, por lo que aun cuando los organismos sean microscópicos, las colonias que pueden llegar a formar son fácilmente distinguibles en los ecosistemas, desde tapetes de unos cuantos centímetros hasta crecimientos masivos de varios metros de longitud.

Entre los grupos de organismos que conforman a las algas podemos encontrar las que pertenecen al reino Plantae: algas verdes (Chlorophyta) y algas rojas (Rhodophyta), y las que pertenecen al reino Protista: algas pardas (Heterokontophyta); cuyos colores son característicos por los pigmentos fotosintéticos que poseen (Fig. 2). Además de estos grupos, también podemos encontrar cianobacterias, un grupo de bacterias (procariontes) que realizan fotosíntesis por lo que se asemejan más a las algas e incluso forman crecimientos de algunos pocos centímetros que pueden identificarse por presentar colores verde-azulado.

Las macroalgas son de vital importancia para los sistemas acuáticos, ya que funcionan como productores primarios, llevando a cabo la fotosíntesis y sirviendo de alimento y/o refugio para algunos organismos como los macroinvertebrados acuáticos o peces.

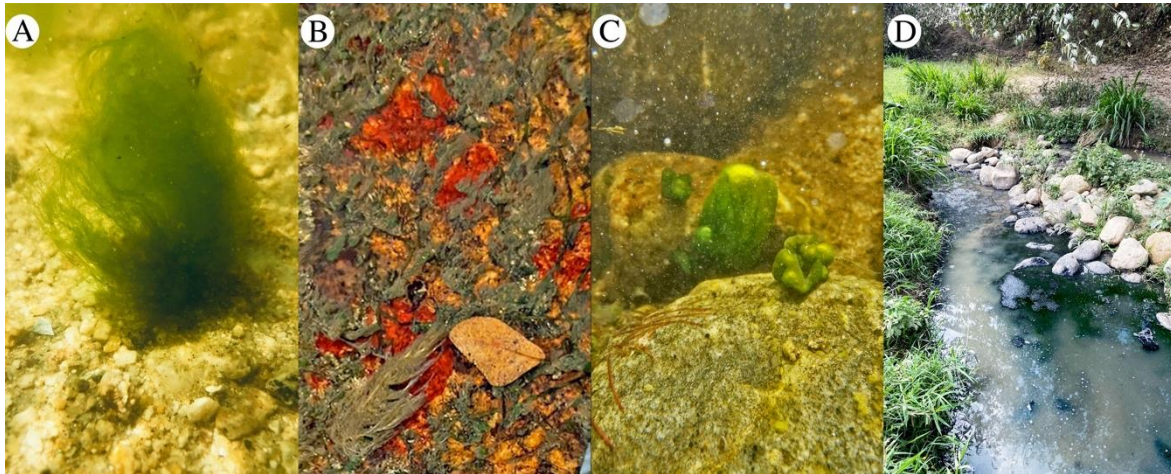


Figura 2. Diferentes formas y colores de macroalgas bentónicas en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca. A. Algas verdes filamentosas, B. Algas rojas costrosas, C. Cianobacterias globosas, D Cianobacterias formando tapetes.

La distribución y la abundancia de las especies de las macroalgas depende de varios factores, como la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo), a partir de los cuales lleva a cabo la fotosíntesis, o la transparencia del agua y la cobertura de la vegetación de ribera, que limitan la entrada de luz al agua. Sin embargo, las diversas especies presentan diferentes niveles de preferencia o tolerancia ante los cambios. Además, como estos organismos están adaptados a los ciclos naturales que se llevan a cabo en los ríos, como los periodos de lluvias y estiaje, cambios en las características hidromorfológicas de los ríos, como represamientos o derivaciones, tienen repercusiones en la composición y la abundancia de las especies. Por esta sensibilidad ante cambios en su ambiente en periodos de semanas a unos pocos meses, son utilizadas como indicadores de calidad ecológica (Carmona et al. 2021).

2.3.4 Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados acuáticos bentónicos (MIBs) son aquellos organismos invertebrados (no poseen huesos) que se pueden observar a simple vista y viven adheridos al sustrato que se encuentra dentro los cuerpos de agua. Los MIBs incluyen larvas de insectos como mosquitos, caballitos del diablo, libélulas, escarabajos, chinches y efímeras. Además de otros grupos como los caracoles, conchas, cangrejos, camarones, lombrices de agua, ácaros de agua y sanguijuelas (Fig. 3).

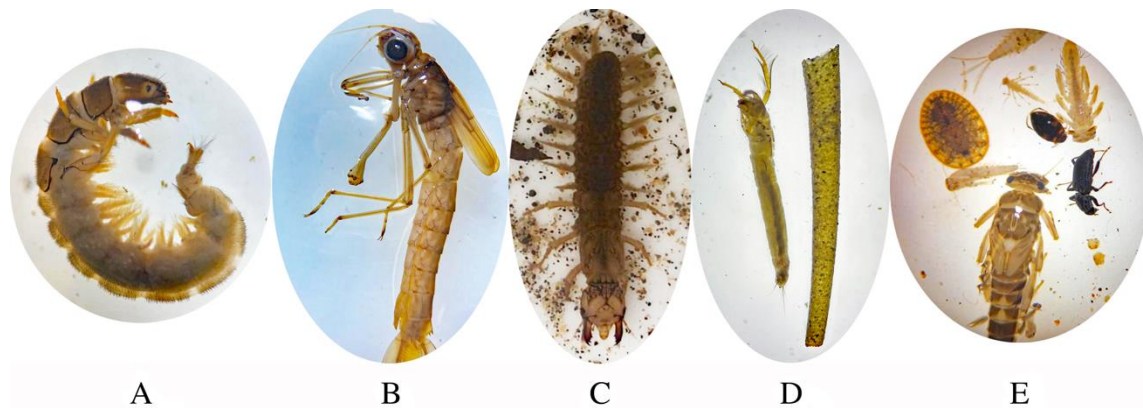


Figura 3. Ejemplos de la diversidad de MIBs en ambientes acuáticos. Se indican los órdenes taxonómicos y nombre común: A. Tricoptera (mosca de piedra), B. Odonata (caballito del diablo), C. Megaloptera (perro de agua), D. Tricoptera (moscas de piedra), E. Otros.

Debido a que los MIBs abarcan una gran cantidad de organismos, existen diferentes tipos de hábitats donde pueden vivir tanto en aguas corrientes como arroyos y río, como en aguas estancadas: restos de plantas u hojas flotantes, troncos caídos y en descomposición, lodo o arena del fondo o sobre y debajo de rocas.

El alimento de los MIBs se puede generar dentro del ecosistema acuático (autóctono) o venir del ecosistema terrestre (alóctono). Dentro de cada una de estas categorías se pueden distinguir varios grupos funcionales alimenticios (GFA) (Tabla 1), los cuales están basados en el tipo de alimento que consumen (Hanson et al., 2010).

Los MIBs tiene una importancia especial dentro de los ecosistemas acuáticos, ya que participan en la transferencia de energía; consumen materia orgánica autóctona o alóctona y la transfieren a animales más grandes (por ejemplo, peces, aves o mamíferos) al ser consumidos por ellos.

La presencia de MIBs está controlada por un gran número de factores, que van desde su distribución biogeográfica, condiciones físicas (en especial la corriente y la disponibilidad de sustratos en los arroyos y ríos), la calidad físico-química del agua, disponibilidad de hábitat adecuado, alimento disponible y la presencia de depredadores, competidores o parásitos que puedan afectarlos.

Tabla 1. Grupos Funcionales Alimenticios (GFA) de macroinvertebrados acuáticos.

GFA	Descripción
Trituradores	Se alimentan de pedazos grandes de tejido vegetal (hojas, raíces, tallos) o algas macroscópicas.
Filtradores	Toman partículas suspendidas en el agua.
Raspadores	Obtienen su alimento de algas microscópicas y bacterias que se encuentran adheridos a rocas u otras superficies.
Depredadores	Su alimento consiste comer otros animales (la mayoría mastican a su presa, pero algunos pueden inyectar enzimas y succionar su contenido).
Recolectores	Recogen su alimento a partir de partículas finas (materia orgánica fina) depositadas en el lecho.

Algunos MIBs requieren de agua con buena calidad para sobrevivir, en cambio, otros resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Es decir, tienen niveles de tolerancia muy variados frente a distintos tipos de perturbaciones del ecosistema, razón por la que son excelentes indicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos.

3. OBJETIVOS

Realizar el levantamiento de la línea base de biodiversidad acuática (diatomeas bentónicas, macroalgas y macroinvertebrados bentónicos), parámetros paisajísticos (calidad hidromorfológica y calidad de vegetación de ribera) y físico-químicos para el análisis de la calidad ecológica en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca, durante las épocas de estiaje y lluvias del año 2023.

4. MÉTODOS

4.1 Área de estudio

La cuenca del río Manialtepec o río del Maíz (N° 347, Clave 2103) se localiza en la Región hidrológica Costa de Oaxaca, y pertenece a la Región Hidrológica Administrativa V Pacífico Sur. Se ubica en el Estado de Oaxaca, mide 825 km² y presenta altitudes desde el nivel del mar hasta los 2,445 msnm.

El Río Maíz-Manialtepec es la corriente principal, mide alrededor de 41.8 km de longitud, desemboca en el mar y también alimenta a la Laguna Manialtepec, un cuerpo de agua que mide 2,000 ha aproximadamente. El río nace a 2,400 m s.n.m. en la Sierra Madre del Sur, fluyendo a su paso hacia la costa del océano Pacífico a través de ocho municipios, desde Santiago Yaitepec, San Juan Lachao, Santa María Temaxcaltepec, San Gabriel Mixtepec, Santos Reyes Nopala, Santa Catarina Juquila, Villa de Tututepec y San Pedro Mixtepec.

En la cuenca podemos encontrar cinco tipos de clima, en la parte alta el semicálido subhúmedo (A)C(w2), en la parte media los cálidos subhúmedos Aw1 y Aw2, y en la parte baja el cálido subhúmedo Awo y semiárido cálido BS1(h')w (Tabla 2) (García, E.-CONABIO,1998).

En el territorio se presentan 11 tipos de vegetación: Bosque de encino; Bosque mesófilo; Bosque de pino; Bosque de pino-encino, Manglar; Pastizal; Selva baja subcaducifolia; Selva mediana subperennifolia; Selva mediana subcaducifolia; y Dunas costeras (Fig. 5). Tanto en la parte alta como en la parte baja de la cuenca predomina el uso de suelo agrícola, con pequeños manchones de asentamientos humanos.

Para el presente estudio se seleccionaron 13 sitios de monitoreo, 11 de ellos a lo largo del río Manialtepec y los dos restantes en la Laguna de Manialtepec (Tabla 2, Fig. 4).

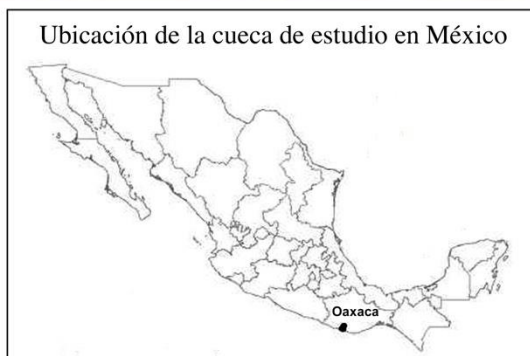
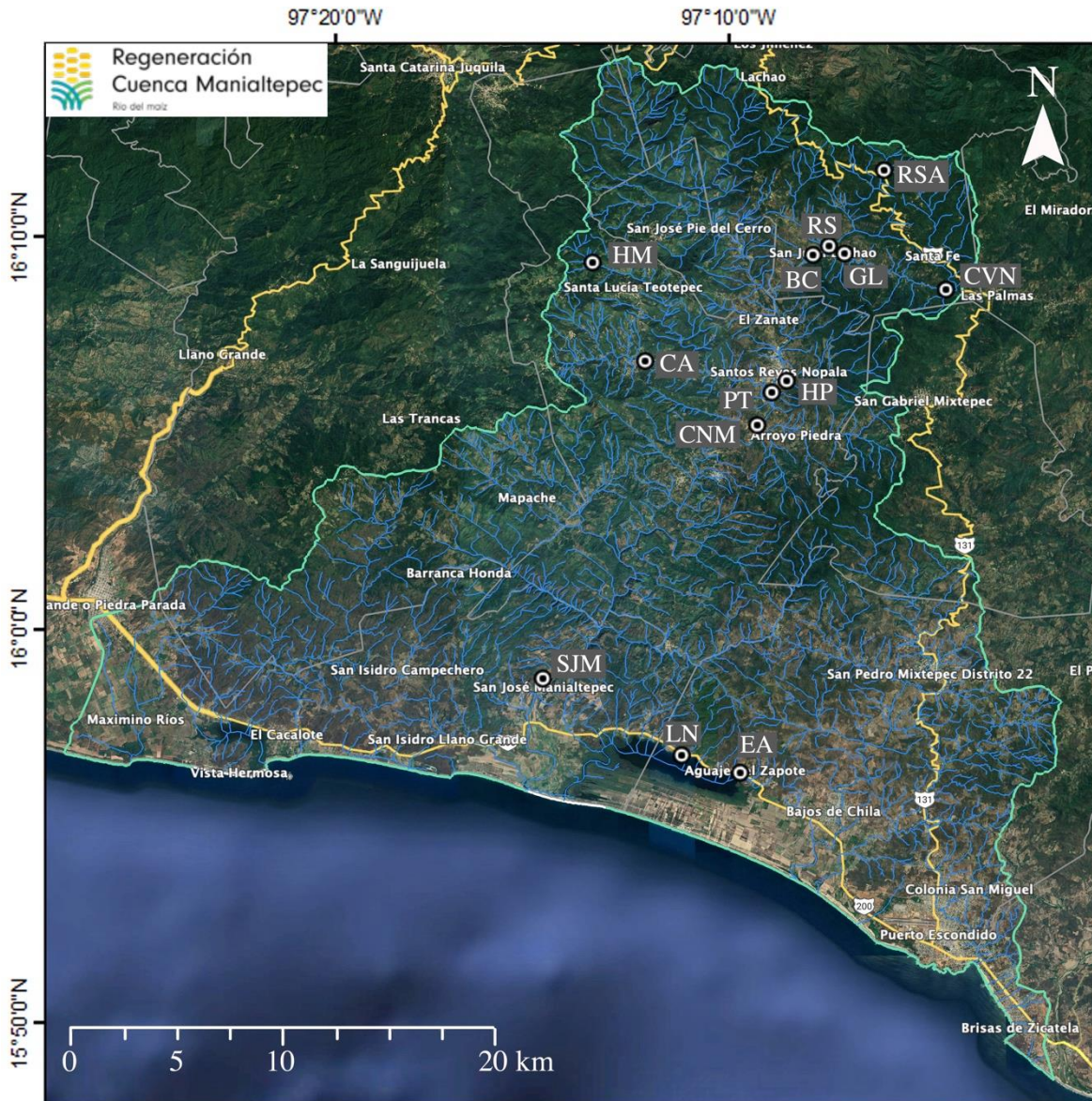


Figura 4. Ubicación de los sitios de monitoreo en la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. Hondura del Metate (HM), Cerro del Aire (CA), Río Salado Alto (RSA), Cascada Velo de Novia (CVN), Granja Lachao (GL), Río Salado (RS), Barrio del Carmen (BC), Hondura El Pollito (HP), Planta de Tratamiento (PT), Confluencia Neblina y Maíz (CNM), San José Manialtepec (SJM), Las Negras (LN), El Aguaje (EA).

Tabla 2. Información general de los sitios colectados en los monitoreos en las épocas de secas y lluvias 2023 en la cuenca del Río Manialtepec.

Nombre del sitio	Código	Fecha	Municipio	Coordenadas Geográficas		Elevación (m s.n.m.)	Tipo de vegetación
				Latitud Norte	Longitud Oeste		
1. Hondura del Metate (R)	HM_1	16/09/23	Santos Reyes Nopala	16°09'12.64"	97°13'24.71"	1179	Bosque de Pino-Encino
2. Cerro del Aire (R)	CA_1	16/09/23	Santos Reyes Nopala	16°06'41.58"	97°12'3.02"	593	Selva Media Subperenifolia
3. Río Salado Alto (R)	RSA_1	15/09/23	San Juan Lachao	16°11'34.80"	97°05'51.79"	1270	Bosque Mesófilo
4. Cascada Velo de Novia (R)	CVN_s	19/01/23	San Juan Lachao	16°08'31.00"	97°04'17.00"	770	Selva Media Subperenifolia
5. Granja Lachao (R)	GL_1	15/09/23	San Juan Lachao	16°09'26.42"	97°06'54.00"	616	Selva Media Subperenifolia
6. Río Salado (R)	RS_s	18/01/23	San Juan Lachao	16°09'38.00"	97°07'18.00"	620	Selva Media Subperenifolia
7. Barrio del Carmen (R)	BC_s	18/01/23	San Juan Lachao	16°09'24.23"	97°07'42.82"	553	Selva Media Subperenifolia
	BC_1	15/09/23					
8. Hondura El Pollito (R)	HP_s	18/01/23	Santos Reyes Nopala	16°06'11.41"	97°08'24.25"	452	Selva Media Subperenifolia
	HP_1	14/09/23					
9. Planta de Tratamiento (R)	PT_s	18/01/23	Santos Reyes Nopala	16°05'53.71"	97°08'47.25"	440	Selva Media Subperenifolia
	PT_1	14/09/23					
10. Confluencia Neblina y Maíz (R)	CNM_s	18/01/23	Santos Reyes Nopala	16°05'03.88"	97°09'9.83"	441	Selva Media Subperenifolia
	CNM_1	14/09/23					
11. San José Manialtepec (R)	SJM_s	17/01/23	Villa de Tututepec de Melchor Ocampo	15°58'40.91"	97°14'38.80"	27	Selva Baja Subcaducifolia
	SJM_1	13/09/23					
12. Las Negras (L)	LN_s	19/01/23	San Pedro Mixtepec	15°56'46.07"	97°11'06.25"	14	Manglar
	LN_1	13/09/23					
13. El Aguaje (L)	EA_s	17/01/23	San Pedro Mixtepec	15°56'19.93"	97°09'36.86"	14	Manglar
	EA_1	13/09/23					

Tipo de sistema acuático: Río (R); Laguna (L). Época: secas (_s); lluvias (_l).

La selección de sitios se realizó procurando tener representadas las condiciones de los diferentes tramos del río, siempre que el acceso a los lugares fuera práctico y seguro. Los dos sitios monitoreados en la laguna se seleccionaron por ser comunidades de interés para el proyecto, en donde existen desarrollos turísticos para realizaron actividades al interior del cuerpo de agua.

Las visitas a los sitios se realizaron en la época de secas del 17 al 19 de enero de 2023 y en la época de lluvias del 13 al 16 de septiembre de 2023, estas se desarrollaron con acompañamiento de autoridades municipales y comunales en los municipios de Santos Reyes Nopala y en San Juan Lachao.

4.2 Parámetros físico-químicos

En cada sitio se realizó el registro de la temperatura ambiental y del agua, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, salinidad, concentración de oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación con el uso de una sonda multiparamétrica Hanna (HI98194).

Además, se tomó una muestra de agua en un recipiente de polietileno de 500 mL (previamente lavado con ácido clorhídrico al 10 %), enjuagando 3 veces el recipiente con agua del sitio antes de tomar la muestra final. Esta muestra fue utilizada para el análisis químico de agua que contempló la medición de los siguientes parámetros por medio de kits de calidad de agua marca Lamotte®: nitrógeno de nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$, Kit de Nitrato-Nitrógeno código: 3615-01), nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3^+\text{-N}$, Kit de Amonio-Nitrógeno, código: 3304-02), ortofosfatos (PO_4^{3-} , Kit de ortofosfatos, código: 3121-02) y turbidez (Kit de Turbidez, código: 7519-01).

Se calculó el caudal o gasto de agua (Q) midiendo el área total (A) en un perfil transversal del río y la velocidad de corriente (V) superficial con ayuda de un flotador (Hauer & Lamberti, 1996):

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = A * V$$

Para calcular el área total (A) se trazó un perfil transversal del río y se dividió en secciones de distancia conocida (B) en las que se midió su profundidad inicial (H₁) y final (H₂), de esta manera se obtuvieron áreas parciales (A₁, A₂, A₃, A_n) cuya suma da el área total:

$$A_1^n = \frac{(H_1 + H_2)}{2} * B \qquad A(m^2) = A_1 + A_2 + A_3 + A_n$$

Para estimar la velocidad de corriente (V) superficial se utilizó un cronómetro para contar el tiempo (t) que le tomó a un flotador (frasco de plástico) recorrer una distancia conocida (D) atravesando el tramo del río en que se trazó el perfil transversal, este ejercicio se repitió en siete ocasiones eliminando el mayor y menor valor para obtener el tiempo promedio con los cinco valores restantes (t₁ a t₅):

$$t(s) = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5} \qquad V\left(\frac{m}{s}\right) = \frac{D}{t}$$

4.3 Parámetros paisajísticos

4.3.1 Calidad hidromorfológica

En cada sitio se procedió a realizar una evaluación utilizando una adaptación del índice de calidad hidromorfológica propuesto para evaluar la calidad hidromorfológica en ríos de montaña de México “HYQI” (por sus siglas en inglés) (Carmona et al., 2021). Este índice evalúa de manera general 12 parámetros divididos en tres secciones:

- I.** La calidad de la cuenca, caracterizada por la cobertura vegetal, la estabilidad del banco, el tipo y tamaño de sustrato, y el desarrollo de actividades productivas como ganadería y agricultura en la zona de ribera.
- II.** Las características hidrológicas del río, evaluando la naturalidad del canal y las interrupciones al flujo de agua.
- III.** Las alteraciones antropogénicas relacionadas con la contaminación del agua por fuentes puntuales o difusas.

Tiene un total de 120 puntos, 40 puntos para cada sección. El puntaje parcial de cada sección permite identificar a los aspectos más conservados o el componente que presenta algún deterioro, mientras que el puntaje final es el resultado de la suma de los 12 parámetros evaluados. Este puntaje se divide en cinco categorías de calidad:

- Muy Buena: 100 a 120 puntos
- Buena: 85 a 99 puntos.
- Media: 47 a 84 puntos.
- Mala: 13 a 46 puntos.
- Muy Mala: 8 a 12 puntos.

En la Laguna de Manialtepec se utilizó el índice del estado de conservación de ecosistemas lénticos someros (ECELS) (ACA, 2004), el cual se compone de cinco bloques que evalúan distintos elementos: morfología; construcciones, infraestructuras y usos humanos; aspecto del agua; y, vegetación de helófitos o salicorniar. Este índice cuenta con una puntuación que refleja cinco estados de calidad:

- Muy buena: 81 a 100 puntos.
- Buena: 61 a 80 puntos.
- Mediocre: 41 a 60 puntos.
- Deficiente: 21 a 40 puntos.
- Mala: 0 a 20 puntos.

4.3.2 Calidad de vegetación de ribera

En cada sitio se estimó la calidad de la vegetación de ribera seleccionando un tramo del sistema acuático de 100 metros. Se utilizó el índice de calidad de bosque de ribera “QBR” (por sus siglas en catalán) (Munné et al., 1998) que se compone de cuatro bloques, donde la puntuación máxima de cada uno es de 25 puntos y la mínima es cero:

I. Grado de cobertura riparia: tiene por objetivo evaluar la proporción del suelo cubierto por vegetación, considerando toda la vegetación excepto las hierbas de crecimiento anual. Toma en cuenta la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal que lo rodea. Los

caminos de menos de 4 m de ancho no se considerarán como elementos de aislamiento con el ecosistema forestal.

II. Estructura de la cobertura: evalúa la complejidad de la vegetación dada por la interacción entre vegetación de diferentes estratos como árboles y arbustos. Se consideran aspectos como afectaciones en la distribución de la vegetación originada por plantaciones o no distribuida uniformemente, presentando manchones. También se considera la presencia de plantas acuáticas en la orilla y la interconexión entre árboles y arbustos en la orilla.

III. Calidad de la cobertura: considera a las especies nativas e introducidas presentes en el tramo, su distribución en grupos que se entrelazan desde la zona más cercana al río hasta el final de la zona de ribera (galerías). La calificación de este bloque depende de identificar el tipo geomorfológico del ecosistema que estamos evaluando, por lo que se deberá determinar antes de realizar la evaluación.

IV. Grado de naturalidad del canal fluvial: evalúa la modificación del canal del río por intervención en las terrazas que lo limitan como construcción de estructuras sólidas que pudieran ser paredes o muros.

De esta manera, la puntuación final del índice se encuentra entre valores de cero y 100 y se presentan cinco categorías de calidad:

- Muy buena: 95 a 100 puntos. Bosque de ribera sin alteraciones, estado natural.
- Buena: 75 a 90 puntos. Bosque ligeramente perturbado.
- Media: 55 a 70 puntos. Inicio de alteración importante.
- Mala: 30 a 50 puntos. Alteración fuerte.
- Pésima: 0 a 25 puntos. Degradación extrema.

4.4 Parámetros biológicos

4.4.1 Bacterias coliformes totales

Con el agua de la muestra se realizó una prueba para determinar la presencia o ausencia de bacterias coliformes totales mediante el Kit de Coliformes de la marca Lamotte®, código: 4-

3616, el cual proporciona el resultado posterior a 48 horas de incubación a temperatura ambiente.

4.4.2 Diatomeas bentónicas

En cada sitio de colecta se seleccionaron 5 sustratos a lo largo de un transecto de 20 metros. Con ayuda de un cepillo de dientes nuevo se una superficie de 20 cm² del biofilm de la parte superior de cada sustrato, enjuagando el cepillo en un frasco de polietileno de 40 mL, formando una muestra compleja (combinación de la muestra de los cinco sustratos). Esta muestra se fijó con alcohol al 70 %.

La identificación de las diatomeas se realizó con base en las características morfológicas de la pared celular. Para poder observarlas con detalle se necesita oxidar el contenido celular de las diatomeas, así como la materia orgánica del biofilm que las acompaña. Para ello se utilizó peróxido de hidrógeno con una concentración al 30 % y ácido clorhídrico con una concentración al 10 % de acuerdo con lo descrito por Carmona et al. (2021). Una vez oxidado el material se realizó la preparación de tres laminillas permanentes por muestra, utilizando la resina comercial Naphrax®.

Para la revisión de la riqueza de especies de diatomeas se realizaron 10 recorridos transversales en cada preparación, utilizando un microscopio OPTIKA B-510 y realizando un registro fotográfico con una cámara OPTIKA C-WF. Las imágenes fueron editadas utilizando el programa Adobe® Photoshop Elements 14.1.

Las especies se identificaron utilizando las siguientes fuentes: Cantonati et al. (2017), Krammer y Lange-Bertalot (1988a, b, 1991a, b), Lange-Bertalot (2001), López-Fuerte et al. (2010), Metzeltin y Lange-Bertalot (1998, 2007), Metzltin et al. (2005), Rumrich et al. (2000), Spaulding et al. (2021), Taylor et al. (2007), entre otros.

Para obtener las abundancias de las especies de diatomeas se realizó el conteo de aproximadamente 400 valvas por preparación, por muestra. La abundancia relativa promedio de cada especie por muestra se calculó al promediar el número de valvas de cada especie en cada preparación entre el total de valvas cuantificadas por muestra.

La riqueza de especies en cada muestra se obtuvo a partir del número de especies observadas en el total de los transectos recorridos en las preparaciones.

Se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), que considera no solo el número de especies, sino, también su representación (individuos de cada especie de la comunidad) por lo que es muy susceptible a las abundancias:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$$

Donde i = cada especie, s = número total de especies; p_i = abundancia relativa de cada especie en la comunidad.

El valor de dicho índice tiende a cero en comunidades poco diversas y es igual al logaritmo de la riqueza específica en comunidades de máxima equitatividad.

También se realizó el cálculo del índice de equitatividad de Pielou (J'), que corresponde a una medida relativa de la heterogeneidad de la comunidad, sus valores oscilan entre 0 y 1:

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

Donde H' = diversidad de Shannon-Wiener; S = riqueza de especies de la comunidad.

Este valor tiende a cero cuando una especie domina sobre todas las demás de la comunidad y se acerca a 1 cuando todas las especies comparten abundancias similares.

Los índices de riqueza, diversidad y equitatividad se calcularon también para los grupos de macroalgas bentónicas y macroinvertebrados bentónicos.

Con las abundancias relativas de las especies se calculó el índice trófico de diatomea (TDI, Kelly et al. 2001), el cual fue diseñado en Reino Unido para evaluar la eutrofización de los sistemas acuáticos a partir de reconocer el grado de sensibilidad y el poder de indicación de las especies de diatomeas. Si bien este índice fue diseñado en condiciones distintas a las de la región a evaluar, tiene la ventaja de otorgar calificaciones a nivel de grupos de especies o géneros, lo cual permite calificar al ensamble de diatomeas de manera general. Este ejercicio

se realizó con el fin de poder resumir la información biológica de este grupo y su relación con el incremento de nutrientes en el agua.

La ecuación del índice está basada en los pesos ponderados de Zelinka & Marvan (1961):

$$\text{sensibilidad media ponderada (WMS)} = \frac{\sum_{j=1}^n a_j s_j v_j}{\sum_{j=1}^n a_j v_j}$$

Donde a_j = abundancia relativa de la especie j en la muestra, s_j = sensibilidad a la contaminación de la especie (1 – 5) j y v_j = valor indicador (1 – 3). Los valores de sensibilidad son los siguientes:

- 1= favorecida por bajas concentraciones de nutrientes
- 2= favorecida por bajas concentraciones de nutrientes
- 3= favorecidas por intermedias concentraciones de nutrientes
- 4= favorecidas por altas concentraciones de nutrientes
- 5= favorecidas por muy altas concentraciones de nutrientes

El índice TDI se calcula con la siguiente fórmula: $\text{TDI} = (\text{WMS} \times 25) - 25$

Se expresa en valores entre cero y 100 puntos y las categorías son las siguientes:

- Oligotrófico: 0 a 35 puntos
- Oligo-Mesotrófico: 36 a 50 puntos
- Mesotrófico: 51 a 60 puntos
- Eutrófico: 61 a 75 puntos
- Hipertrófico: 76 a 100 puntos

4.4.3 Macroalgas bentónicas

En cada sitio de monitoreo se realizó una estimación de la cobertura de los crecimientos de macroalgas bentónicas a lo largo de un transecto de 20 metros de longitud, utilizando el método del cuadrante (Necci et al. 1995).

La estimación se realizó utilizando una unidad de muestreo circular de 25 cm² de diámetro, por lo que se consideró de 0 a 100 % de cobertura dependiendo del espacio relativo que el crecimiento ocupó al interior del círculo. Estas coberturas porcentuales de cada cuadrante se promediaron para obtener un valor de cobertura promedio por especie y por sitio.

En cada sitio se colectó una muestra de cada crecimiento de macroalgas en un frasco de polipropileno de 40 mL. Estas muestras se preservaron sin fijar para poder analizar todas las estructuras y colores lo más naturales posibles. Las muestras se observaron utilizando un microscopio utilizando un microscopio OPTIKA B-510 y realizando un registro fotográfico con una cámara OPTIKA C-WF.

Para la identificación de las especies se utilizaron las siguientes fuentes: Carmona-Jiménez y Beltrán-Magos (2007), Dillard (1999), Necchi Jr (2016), Oliva-Martínez y Gardunño-Solórzano (2017), Wehr et al. (2015), entre otros.

Al igual que en el caso de las diatomeas, se realizó el cálculo de riqueza, diversidad y equitatividad de los taxones (se utiliza este término para referirse a organismo no identificados a nivel de especie).

4.4.5 Macroinvertebrados bentónicos

En cada sitio se realizó un muestreo multi-hábitat para colectar los MIBs y reconocer la diversidad en los diferentes puntos de muestreo. El muestreo consistió en seleccionar un tramo del río de 20 metros, que fuera lo más representativo posible de las características del sitio (lo más conservado posible, sin señales de perturbación, que presentara zonas con corriente suave y fuerte, zonas de pozas, sustrato duro y suave, vegetación acuática dentro del río o en las orillas, presencia de troncos o materia orgánica en descomposición, presencia de macroalgas, etc.), es decir, que presentara diversos tipos de hábitat donde los MIBs pudieran estar presentes (Chicas et al., 2010).

Para la captura de MIBs se requirió una red tipo D de 500 µm. En cada uno de los diferentes hábitats identificados se muestreó intensivamente durante un tiempo de 5 min aproximadamente. En sitios donde había sustrato rocoso o arenoso u hojarasca se aplicó el muestreo de pateo con la red tipo D, el cual consiste en remover el sustrato pateando y que

la misma corriente del río arrastre a los MIBs hacia la malla coladora de la red. La vegetación acuática se muestreó aplicando golpes con la red en las diferentes partes de la vegetación (que se encuentre sumergida) con la intención de que los MIBs que habitaran esos hábitats cayeran en la red. Finalmente se aplicó una búsqueda manual (sin usar la red ya que se puede dañar con materiales muy grandes) en sustratos de mayor tamaño como troncos dentro del río.

Todo el material que resultó del muestreo multi-hábitat fue colocado en una charola de plástico de fondo blanco para “pescar” a los MIBs con goteros o pinzas entomológicas. Los organismos fueron depositados en frascos con alcohol al 70 % para su almacenamiento y posterior transporte al laboratorio.

Se realizó la identificación de los organismos observándolos con un estereoscopio OPTIKA SLX-3 y utilizando las siguientes fuentes bibliográficas: Bouchard (2004), Bueno-Soria (2010), Flowers y De la Rosa (2010), Merrit et al. (2008), Novelo (2023), Ramírez (2010), Tennessen (2019), Thorp y Rogers (2015), Voshell (2002), entre otras.

La mayoría de los organismos fueron identificados a nivel de género, sin embargo, se presentaron casos en donde los organismos se encontraban dañados o eran demasiado juveniles para poder observar los caracteres de identificación, lo cual dificultó la identificación a nivel de género.

Una vez obtenidos los *taxa*, se calcularon los índices de riqueza y diversidad. Asimismo, se utilizó el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), uno de los índices más utilizados a nivel mundial para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos (Armitage et al. 1983), para lo cual se generó un listado con presencias y niveles de tolerancia (a nivel de familia) con respecto al índice adaptado para Costa Rica BMWP/CR (MINAE, 2007), debido a la similitud en las características ambientales. Finalmente, se tomó en cuenta el índice ASTP/CR (O’Callaghan y Kelly-Quinn, 2013), el cual trabaja con la suma de puntos obtenidos del BMWP/CR y la cantidad de familias que se contemplaron para el puntaje de tolerancia y así obtener un promedio; por lo que promedios bajos del ASTP/CR indican condiciones graves de contaminación y, por el contrario, promedios altos estarán relacionados a sistemas con aguas limpias o poco intervenidas (Álvarez, 2005). De tal

manera, a cada sitio de monitoreo se le puede asignar una de las cinco categorías de calidad de acuerdo con el puntaje obtenido:

- Muy buena: 6.1 a 9.0 puntos.
- Buena: 5.1 a 6.0 puntos.
- Media: 4.1 a 5.0 puntos.
- Mala: 3.1 a 4.0 puntos.
- Muy mala: 0.0 a 3.0 puntos.

Cabe resaltar que pese a la amplia aplicación del índice BMWP se tienen diversas limitantes. Al emplear únicamente datos cualitativos de presencia/ ausencia se ignoran otros caracteres importantes, como la abundancia de los organismos. Asimismo, al haber sido desarrollado en zonas con características geomorfológicas, ambientales y climáticas diferentes a los sitios que se desean evaluar, es posible encontrar diferencias tanto en la diversidad de macroinvertebrados como en la información que las diversas familias proporcionan. Por último, los valores de tolerancia se fundamentan en el criterio de expertos, más que en el uso integrado de dicho criterio con una herramienta numérica que permita establecer de manera objetiva y rigurosa los umbrales de adaptación de los organismos a las variables abióticas consideradas (Forero et al., 2014).

5. RESULTADOS

En el año 2023 se monitoreó un total de 13 puntos a lo largo de la cuenca costera de Manialtepec. Durante la época de secas se monitorearon nueve puntos; 7 sitios en el río y 2 en la laguna, mientras que en la época de lluvias se monitoreó un total de 11 sitios; 9 en río y 2 en la Laguna. Ver Tabla 3.

5.1 Parámetros físico-químicos

La temperatura del agua en el Río Manialtepec se registró entre 18.3 y 23.9 °C durante la época de secas, incrementando en lluvias con valores entre 19.1 y 28.8 °C (Fig. 5). Este mismo patrón se observó en los sitios de la Laguna de Manialtepec, con temperaturas de 29.8°C en la época de secas y de 33.9 a 34.1 °C en la época de lluvias. Lo anterior responde a las temporadas en que se realizaron los monitoreos, en invierno las secas y en verano las lluvias.

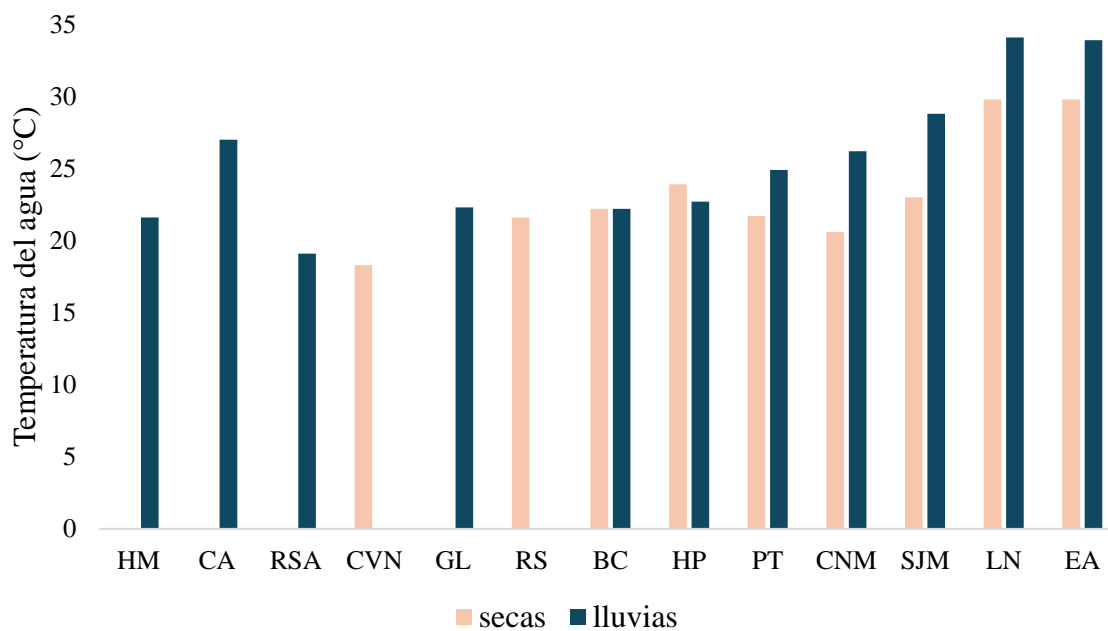


Figura 5. Temperatura del agua en la cuenca del Río Manialtepec y en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca, en las épocas de secas y lluvias del año 2023. HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA- Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS- Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM-Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje.

Si bien las temperaturas cambiaron entre temporadas y dependen de la hora del día en la que se realiza la medición, en los sitios de la parte más alta de la cuenca se tienen temperaturas cercanas a 20 °C, incrementándose alrededor de los 30 °C en la parte baja de la cuenca.

El pH del agua en el Río Manialtepec se registró entre 7.7 y 8.2 durante la época de secas, los valores se incrementaron durante la época de lluvias, registrándose entre 7.5 a 8.3 (Fig. 6). Este mismo patrón se observó en los sitios de la Laguna de Manialtepec, con valores de pH de 7.7 a 8.2 en la época de secas e incrementándose entre los 8.3 y 8.6 en la época de lluvias. Estos valores de pH se clasifican como alcalinos y la tendencia a aumentar los niveles en la época de lluvias se puede deber a que una mayor cantidad de materiales o nutrientes son arrastrados a los cuerpos de agua y con ello aumenta su productividad (por el desarrollo de microalgas como las diatomeas); al incrementarse la fotosíntesis los niveles de pH también aumentan. De manera general, el pH también sigue un patrón de incremento desde la parte alta a la baja de la cuenca.

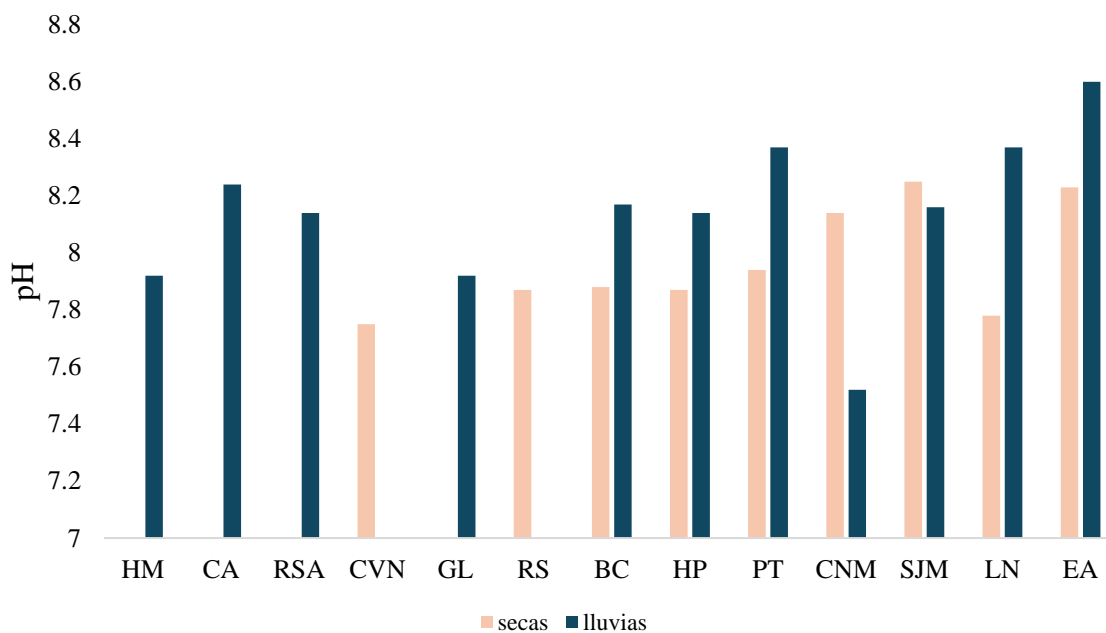


Figura 6. pH del agua en la cuenca del Río Manialtepec y en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca en las épocas de secas y lluvias 2023. HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA-Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS-Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM- Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje.

Tabla 3. Resultados de los parámetros físico-químicos en las épocas de secas y lluvias en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca. Temperatura del agua (T), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.), sólidos disueltos totales (SDT), salinidad (Sal.), oxígeno disuelto (O₂D), saturación de oxígeno (SO₂), turbidez (Tur.), ortofosfatos (PO₄³⁺), nitrógeno de nitratos (NO₃⁻-N), nitrógeno amoniacal (NH₃⁺-N) y caudal (Q).

Sitio	Código	T (°C)	pH	C.E. (μS/cm)	SDT (mg/L)	Sal. (ups)	O ₂ D (mg/L)	SO ₂ (%)	Tur. (JTU)	PO ₄ ³⁺ (mg/L)	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	NH ₃ ⁺ -N (mg/L)	Q (m ³ /s)
1. Hondura del Metate (río)	HM_1	21.6	7.92	64	32	0.03	8.1	105	5	0.2	0.2	0.05	189
2. Cerro del Aire (río)	CA_1	27.0	8.24	126	63	0.06	7.9	106	20	0	0.4	0.1	1343.9
3. Río Salado Alto (río)	RSA_1	19.1	8.14	76	38	0.04	8.2	103	5	0.2	0.2	0	463.4
4. Cascada Velo de Novia (río)	CVN_s	18.3	7.75	100	65	0.05	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	749.7
5. Granja Lachao (río)	GL_1	22.3	7.92	57	28	0.03	8.9	111	500	0.2	0.4	0.5	8102.9
6. Río Salado (río)	RS_s	21.6	7.87	110	71	0.06	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	673.6
7. Barrio del Carmen (río)	BC_s	22.2	7.88	122	79	0.06	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	3068.1
	BC_1	22.2	8.17	106	53	0.05	8.9	109	15	0.2	0.2	0.1	5542.9
8. Hondura El Pollito (río)	HP_s	23.9	7.87	127	83	0.06	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4417.9
	HP_1	22.7	8.14	104	52	0.05	9.4	113	50	0.2	0.2	0.1	8189.4
9. Planta de Tratamiento (río)	PT_s	21.7	7.94	147	95	0.07	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	2555.9
	PT_1	24.9	8.37	118	59	0.06	9.0	114	30	0.2	0.4	0.5	8478.3
10. Confluencia Neblina y Maíz (río)	CNM_s	20.6	8.14	140	91	0.07	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	6384.3
	CNM_1	26.2	7.52	114	57	0.05	9.0	116	30	0.2	0.2	0.1	9326.1
11. San José Manialtepec (río)	SJM_s	23.0	8.25	186	121	0.09	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	SJM_1	28.8	8.16	122	60	0.06	7.2	92	100	0.2	0.2	0	12074.9
12. Las Negras (laguna)	LN_s	29.8	7.78	12,900	8,390	7.37	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	LN_1	34.1	8.37	11,320	5,664	6.35	6.1	89	10	0	0.2	0.05	S/D
13. El Aguaje (laguna)	EA_s	29.8	8.23	12,420	8,100	7.11	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
	EA_1	33.9	8.60	10,700	5,362	5.99	6.1	88	5	0.2	0	0.05	S/D

S/D = Sin Datos¹; NA = No Aplica.

¹ Debido a que no se contó con kits de análisis físico-químico, en época de secas no se tuvieron datos para las siguientes variables: oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, turbidez, ortofosfatos, nitrógeno de nitratos y nitrógeno amoniacal.

La conductividad eléctrica del agua en el Río Manialtepec se registró entre 100 y 186 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante la época de secas, disminuyendo ligeramente durante la época de lluvia con valores entre 57 y 122 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 7). Este parámetro mostró una tendencia de incremento en los sitios de la parte baja de la cuenca, aunque se identificó un ligero aumento en los sitios Honduras El Pollito y la Planta de Tratamiento, aspecto vinculado a la descarga de aguas residuales que provocan una mayor concentración de sales disueltas en el agua. En el sitio San José Manialtepec se registraron los mayores valores en la época de secas y de los más altos en la época de lluvias. Además de ubicarse en la parta más baja del río; en donde las sales de la cuenca se concentran, río arriba se encuentran aguas termales, donde se han reportado conductividades de 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ENCINOS, 2022), lo cual puede explicar el incremento en los valores registrados.

En los sitios de monitoreo de la Laguna de Manialtepec también se registró una disminución de la conductividad en la época de secas (12,420 a 12,900 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a la época de lluvias (10,700 y 11,320 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Fig. 8). Esta disminución es esperable debido a que el agua de lluvia diluye la concentración de sales disueltas. Pese a ello, estos valores se consideran en rangos de aguas salobres.

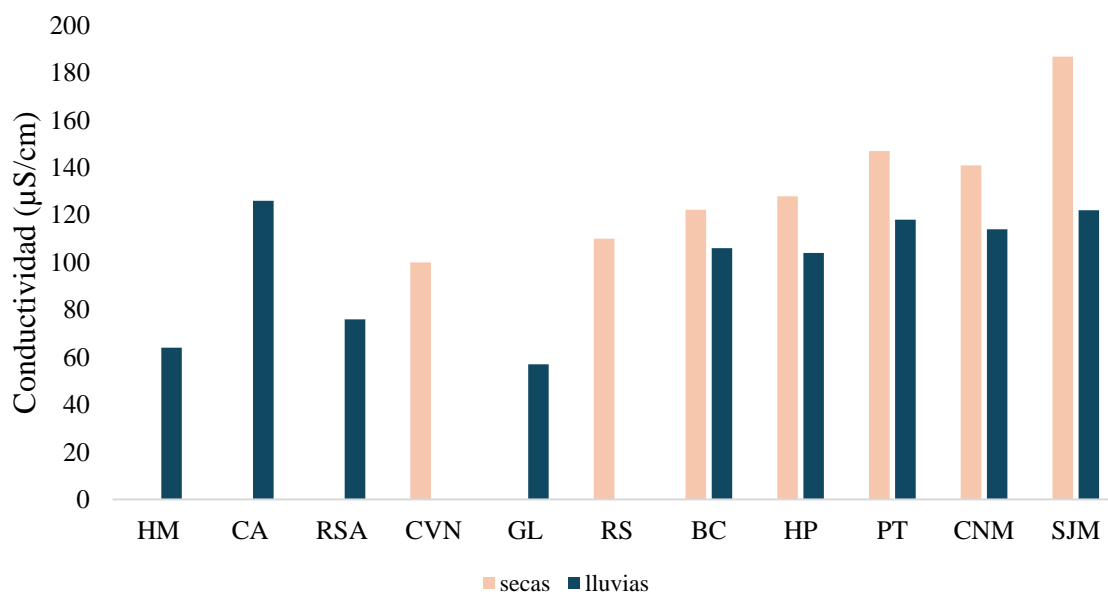


Figura 7. Conductividad eléctrica del agua en la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca en las épocas de secas y lluvias 2023. HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA- Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS-Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-

Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM- Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje.

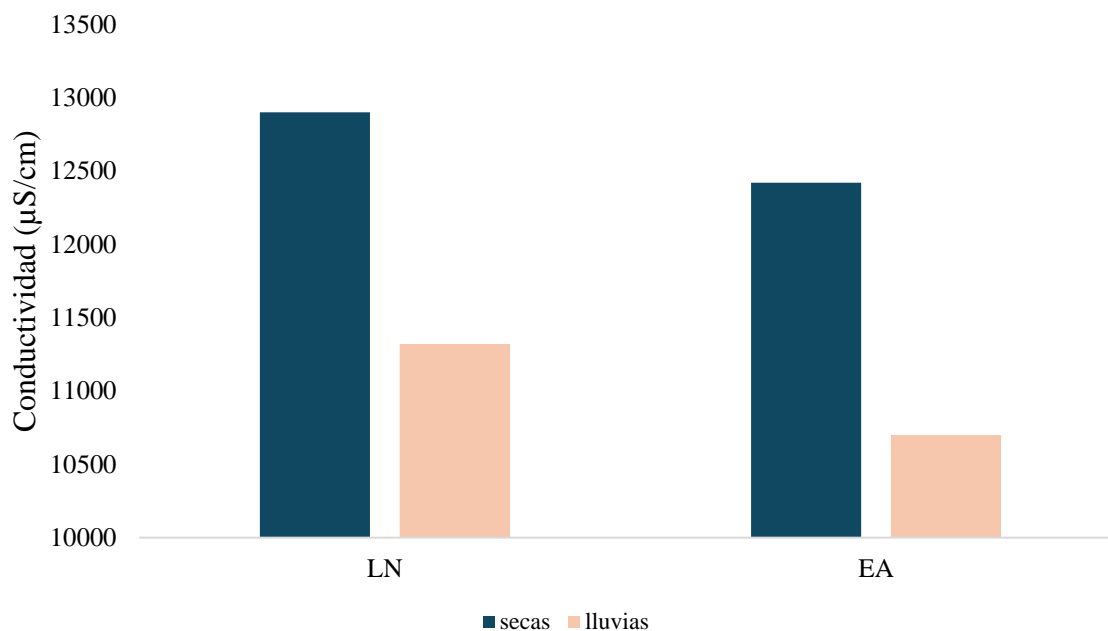


Figura 8. Conductividad eléctrica del agua en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca en las épocas de secas y lluvias 2023. LN-Las Negras, EA- El Aguaje.

El comportamiento de los sólidos disueltos totales y la salinidad fue congruente con el de la conductividad eléctrica, ya que el cálculo de estos depende directamente de los niveles de conductividad. En el caso específico de la salinidad, los valores fueron siempre menores a 0.1 ups en los sitios monitoreados en el Río Manialtepec, por lo que se consideran de agua dulce. En la Laguna las salinidades cambiaron entre temporadas, pues en la época de secas los valores se registraron entre 7.11 y 7.37 ups y en la época de lluvias entre 6.35 y 5.99 ups. Esto puede asociarse a que en lluvias las sales se diluyen por la entrada de agua dulce al ecosistema.

Cabe mencionar que el registro de la salinidad en la Laguna de Manialtepec cobra relevancia por eventos históricos, ya que en octubre del año 2019 el cuerpo de agua se tornó rosado, aspecto vinculado a un incremento en la salinidad y mezcla de los sedimentos del fondo ocasionado por la apertura de dos barras que comunican con el mar (Torres-Ariño, 2020). En este tipo de sistemas con una comunicación efímera con el mar, es muy importante procurar que las dinámicas sean lo más naturales posibles entre los periodos de lluvias y secas.

Los valores de oxígeno en el agua se registraron únicamente en el monitoreo de la época de lluvias debido a que en la época de secas no se contaba con el equipo para su medición. Las concentraciones se registraron entre 7.2 y 9.4 mg/L. Debido a que la diferencia altitudinal entre los sitios de la parte alta de la cuenca y de la baja fue de más de 1,000 metros, las comparaciones se realizaron en torno a la saturación de oxígeno (Fig. 9). De tal manera, los valores se registraron entre 92.8 y 116.7 %, catalogándose como aguas saturadas y sobresaturadas de oxígeno. Lo anterior resulta en valores normales para la época de lluvias, donde el volumen de agua que escurre es mayor y al poder fluir libremente el agua se oxigena. En el sitio San José Manialtepec la disminución en los valores registrados se puede asociar a que el agua fluía más despacio, así como a la carencia de materiales rocosos ocasionados por la sobre extracción, lo cual impide la oxigenación del agua de manera mecánica (choque del agua con las rocas).

En la Laguna de Manialtepec las concentraciones de oxígeno disuelto en ambos sitios fue de 6.1 mg/L con una saturación de 89 % (Fig. 9). Estos valores son bastante similares a los reportados por Torres-Ariño et al. (2020), indicando una elevada productividad primaria en la Laguna.

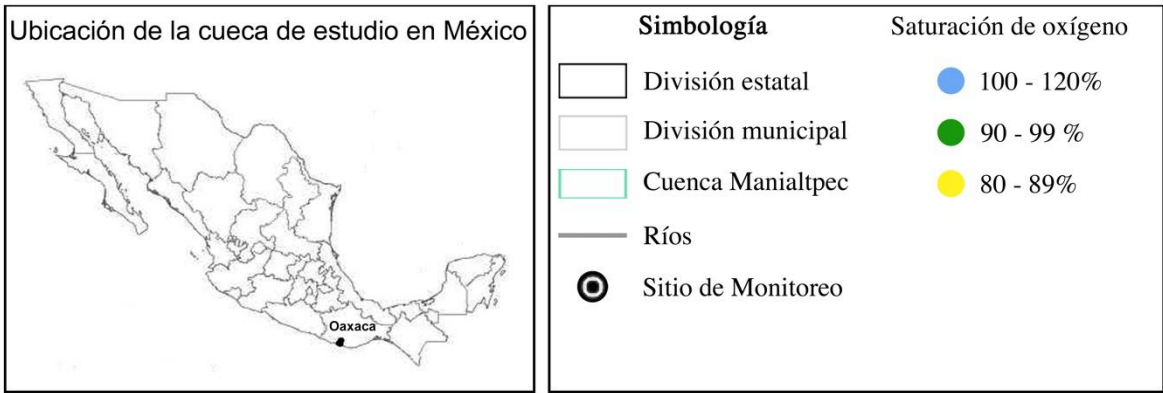
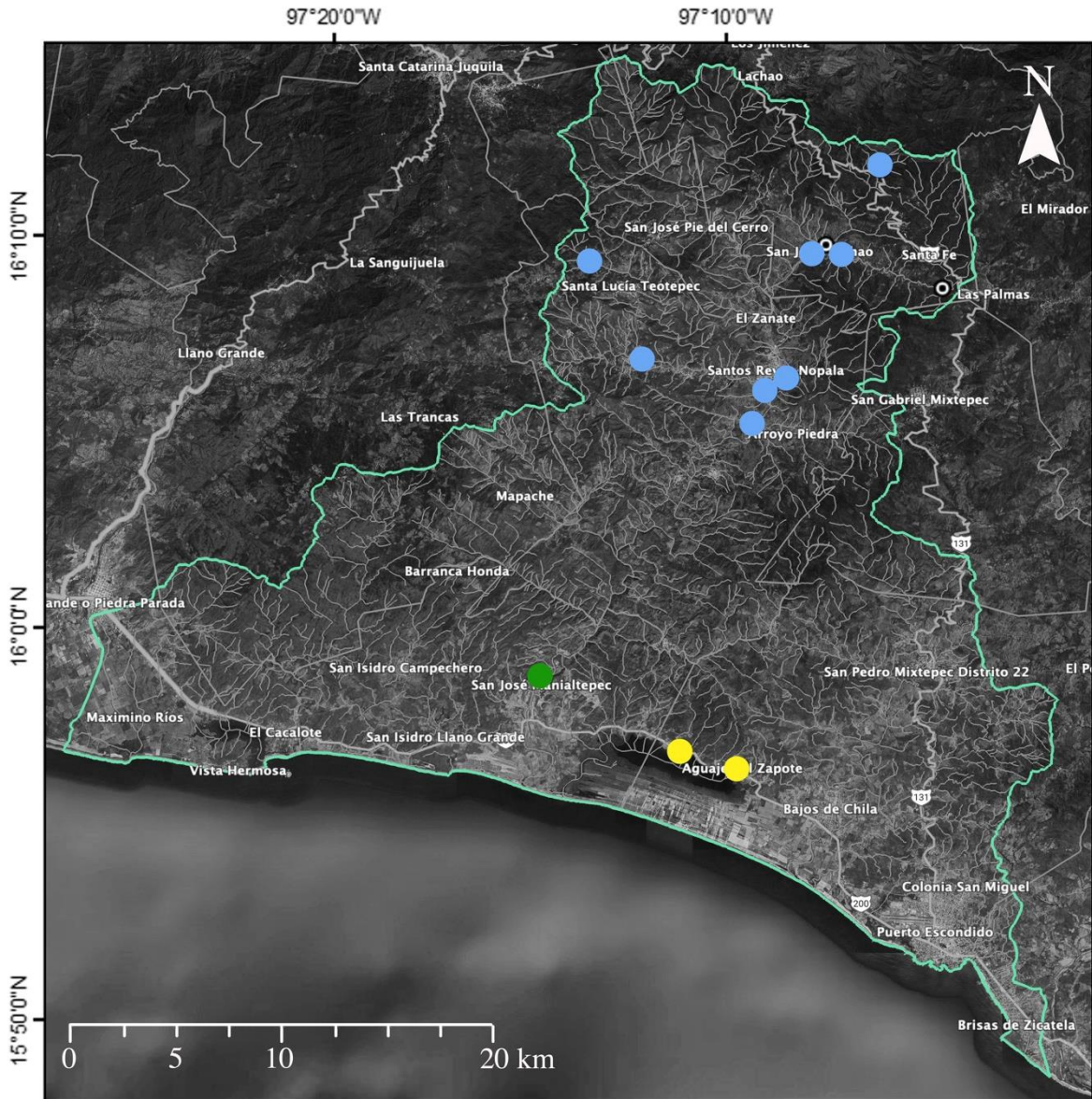


Figura 9. Saturación de oxígeno en el agua en la época de lluvias 2023 en los sitios de monitoreo en el Río Maniátepec y en la Laguna de Maniátepec, Oaxaca.

La turbidez del agua se registró únicamente en el monitoreo de la época de lluvias, con valores entre 5 y 500 JTU (Fig. 10). En este caso se debe destacar que, aunque el sitio Río Salado Alto se monitoreó lloviendo, la turbidez fue muy baja, en esta zona la comunidad de San Juan Lachao ha trabajado en la conservación y reforestación del bosque, evitando que las lluvias erosionen el suelo y que este llegue al cuerpo de agua.

Caso contrario ocurrió en el sitio Granja Lachao, donde se obtuvieron los valores más elevados de turbidez. Aunque este sitio también fue monitoreado mientras llovía, la vegetación de ribera y del bosque alrededor se observó alterada o ausente, permitiendo que una mayor cantidad del suelo erosionado fuera arrastrado al cuerpo de agua. En el resto de los sitios los valores de turbidez fueron bastante similares y elevados, pues, aunque de manera natural la turbidez se incrementa en la época de lluvias, la deforestación en la cuenca y la alteración de la vegetación de ribera favorece la erosión.

En la Laguna de Manialtepec la turbidez del agua fue baja en el sitio El Aguaje, incrementándose en Las Negras (Fig. 10), lo anterior puede responder a que en el primer sitio la profundidad del agua fue más somera. Pese a ello estos valores no fueron elevados.

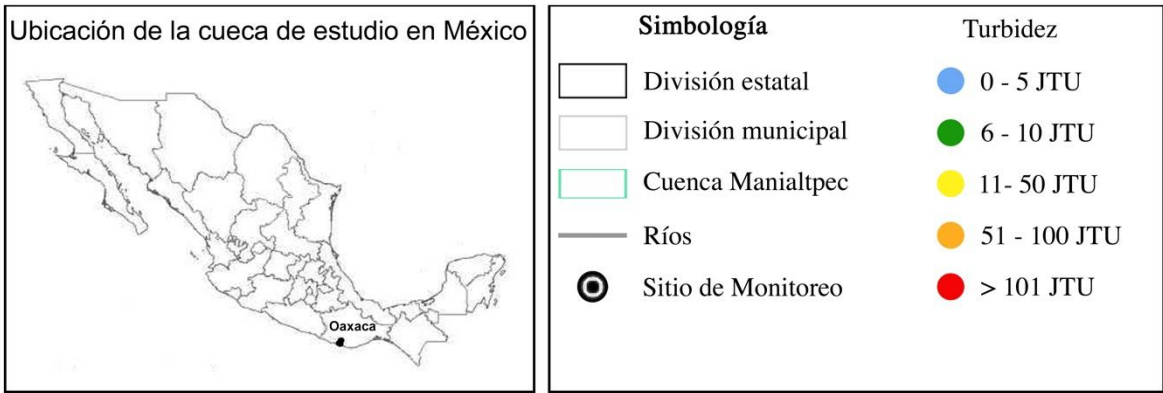
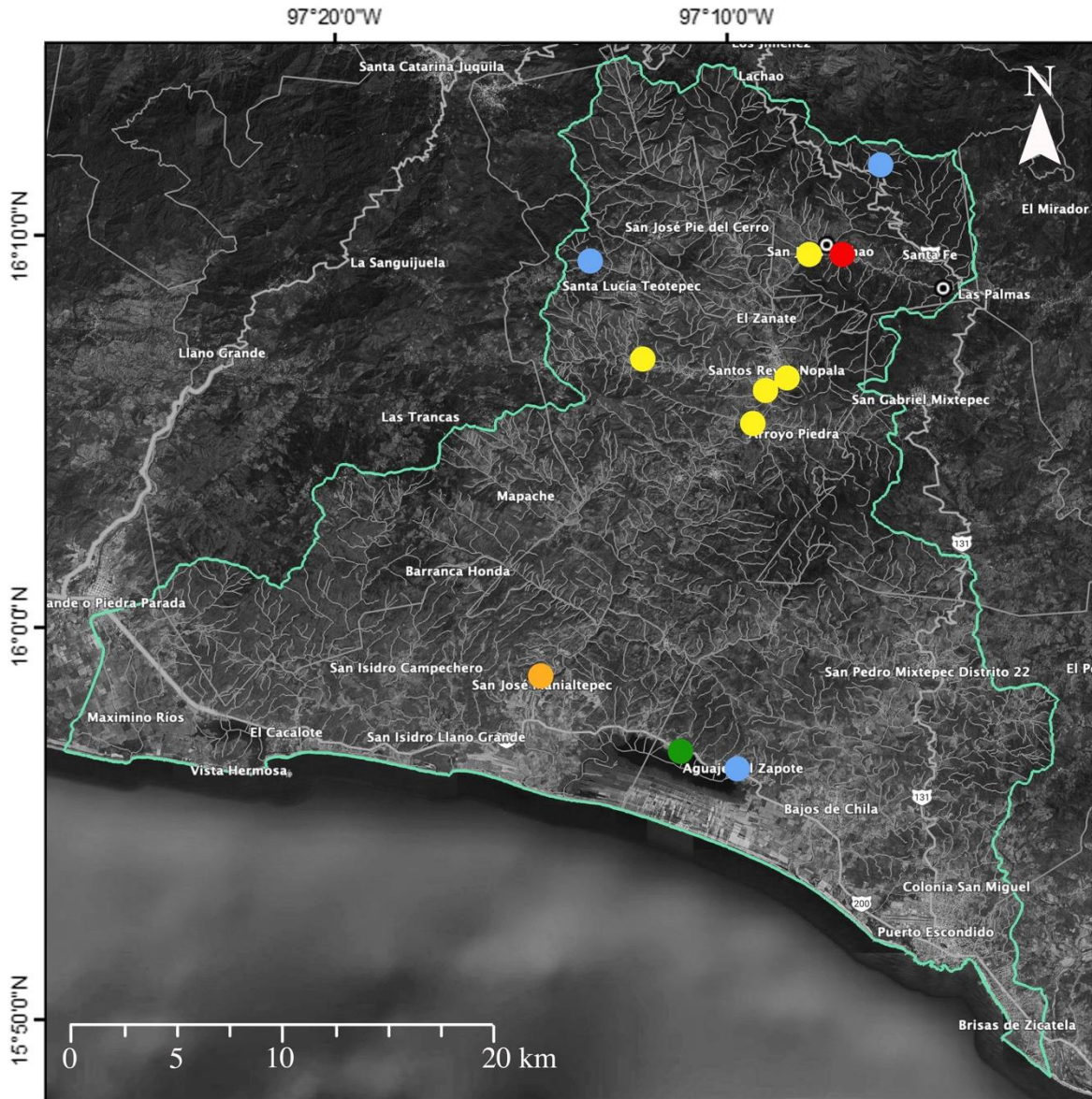


Figura 10. Turbidez del agua en el agua en la época de lluvias 2023 en los sitios de monitoreo en el Río Maniáltepec y en la Laguna de Maniáltepec, Oaxaca.

Las concentraciones de ortofosfatos en el agua se registraron únicamente en el monitoreo de la época de lluvias. Los valores se registraron entre 0 y 0.2 mg/L (Fig. 11). Aunque estos valores pudieran parecer bajos, se han reportado que concentraciones mayores a 0.1 mg/L en ríos pueden desencadenar problemas de eutrofización (USEPA, 1986). Son pocos los estudios realizados en zonas tropicales como la del presente estudio, por lo que será necesario continuar los esfuerzos para conocer los valores de referencia en las partes más conservadas de la cuenca.

En la Laguna de Manialtepec la concentración de ortofosfatos en Las Negras fue de 0 mg/L mientras que en el Aguaje fue de 0.2 mg/L (Fig. 11), al ser el mismo cuerpo de agua y tener muy poca separación entre ambos sitios es posible que en este último exista algún proceso de contaminación local.

Los valores de nitrógeno de nitratos en el agua se registraron únicamente en el monitoreo de la época de lluvias, con valores entre 0.2 y 0.4 mg/L en el río Manialtepec (Fig. 12). Los sitios con los mayores valores fueron Granja Lachao, Cerro del Aire y Planta de Tratamiento. Estos nutrientes suelen provenir del uso de fertilizantes en la agricultura, así como de descargas de aguas residuales. Debido al gran volumen de agua que fluye en temporada de lluvias, es posible que los valores bajos encontrados puedan incrementarse durante la época de secas, por lo que será conveniente evaluarlos en la siguiente temporada. Si bien las concentraciones aptas para el consumo humano deben ser inferiores a 10 mg/L, un valor mucho mayor al registrado en todos los sitios, en esta evaluación de la calidad ecológica se deberán seguir explorando las concentraciones en zonas conservadas para el establecimiento de condiciones de referencia en la cuenca.

En la Laguna de Manialtepec la concentración de nitrógeno de nitratos del agua fue de 0 mg/L y en el sitio El Aguaje de 0.2 mg/L en el sitio Las Negras (Fig. 12); concentraciones bajas y mucho menores a las reportadas en noviembre del año 2022 en la bocabarra (ENCINOS, 2022).

Los valores de nitrógeno amoniacal en el agua se registraron únicamente en el monitoreo de la época de lluvias, con valores entre 0 y 0.5 mg/L en el río Manialtepec (Fig. 13). En la parte alta de la cuenca, en el sitio Río Salado Alto, la concentración fue de 0 mg/L, así como en la parte más baja en San José Manialtepec. Los sitios con las concentraciones más elevadas fueron Granja Lachao y Planta de Tratamiento, mientras que en el resto de los sitios las concentraciones fueron de 0.1 mg/L. Las concentraciones en aguas naturales suelen sugerirse menores a 0.25 mg/L y menores a 0.5 mg/L para agua de consumo humano (USEPA, 1985e), por lo que las concentraciones alcanzadas en los sitios muestran evidentes señales de contaminación por la descarga de aguas residuales o del uso de fertilizantes.

En la Laguna de Manialtepec, en ambos sitios las concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron de 0.05 mg/L. Aunque son valores bajos, el nitrógeno amoniacal se presenta en mayor medida como amoníaco (una sustancia tóxica para la vida acuática) cuando la temperatura del agua y su pH se incrementan (como en estos sitios), favoreciendo su toxicidad para los organismos acuáticos como los peces. Es de vital importancia el control de esta variable debido a que, en ocasiones, el dragado del fondo de estos cuerpos de agua puede liberar nitrógeno amoniacal hacia la columna de agua, poniendo en riesgo de muerte a algunos organismos sensibles.

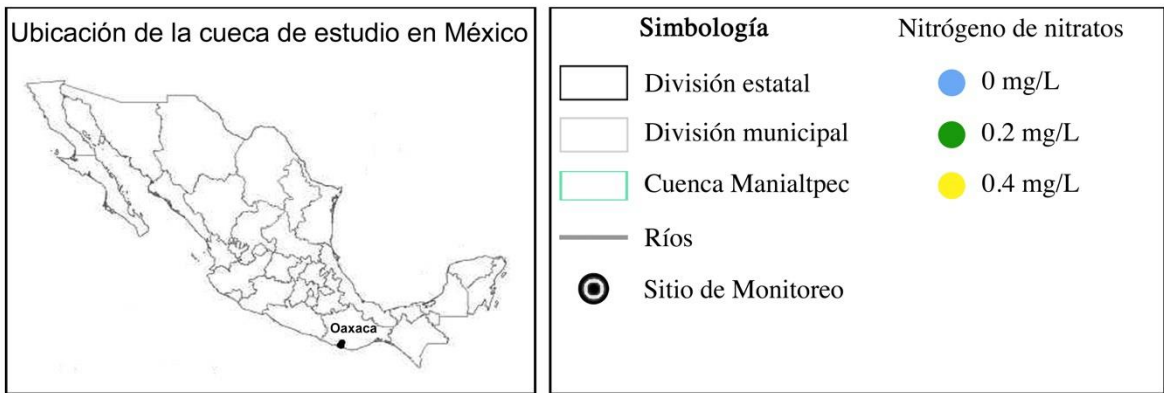
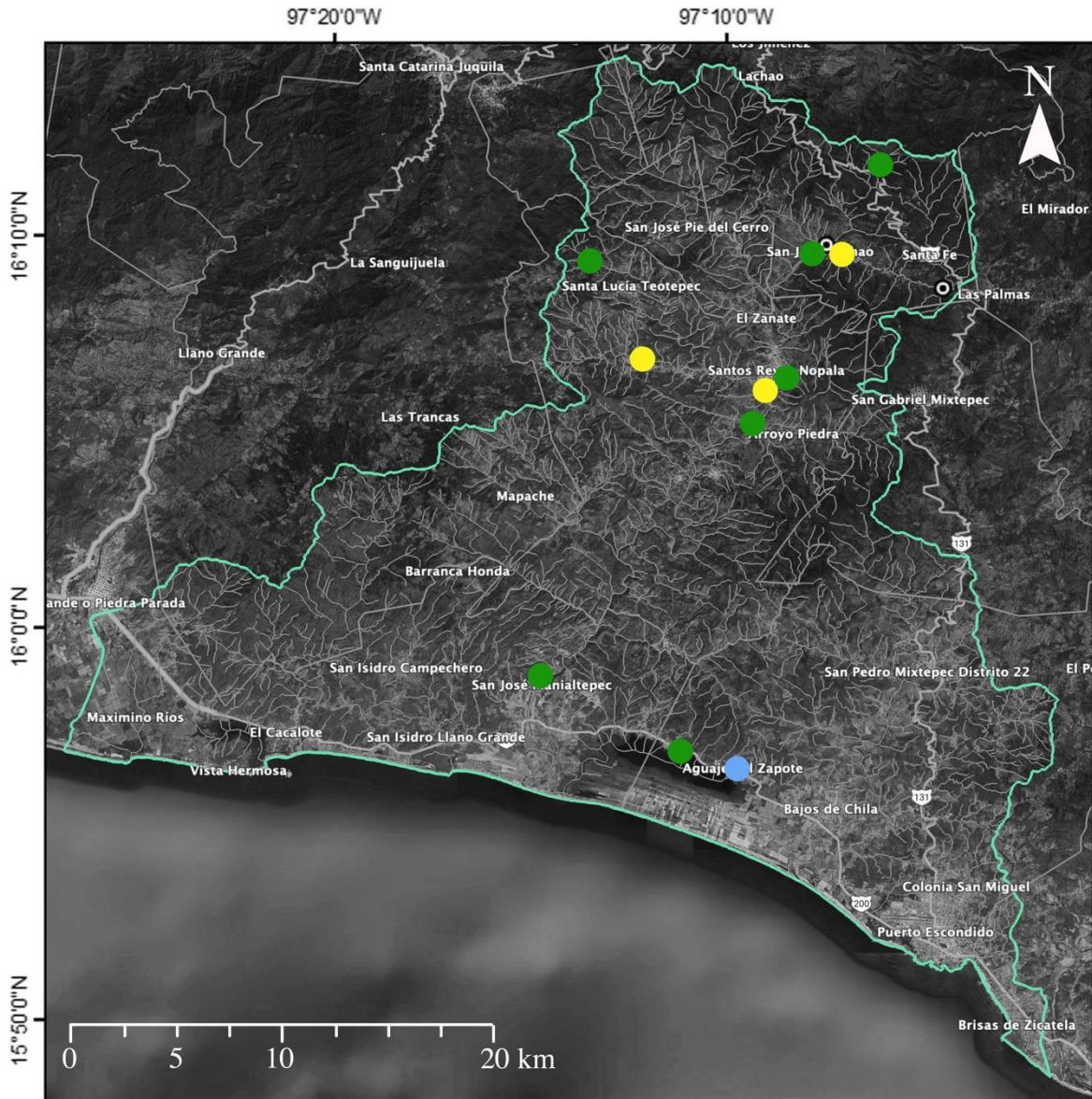


Figura 12. Concentración de nitrógeno de nitratos ($\text{NO}_3^- \text{N}$) en el agua en la época de lluvias 2023 en los sitios de monitoreo en el Río Maniáltepec y en la Laguna de Maniáltepec, Oaxaca.

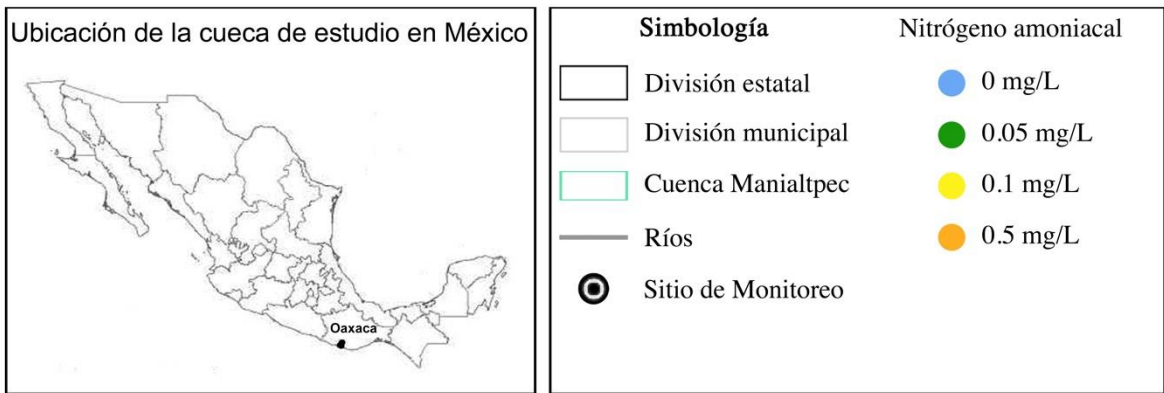
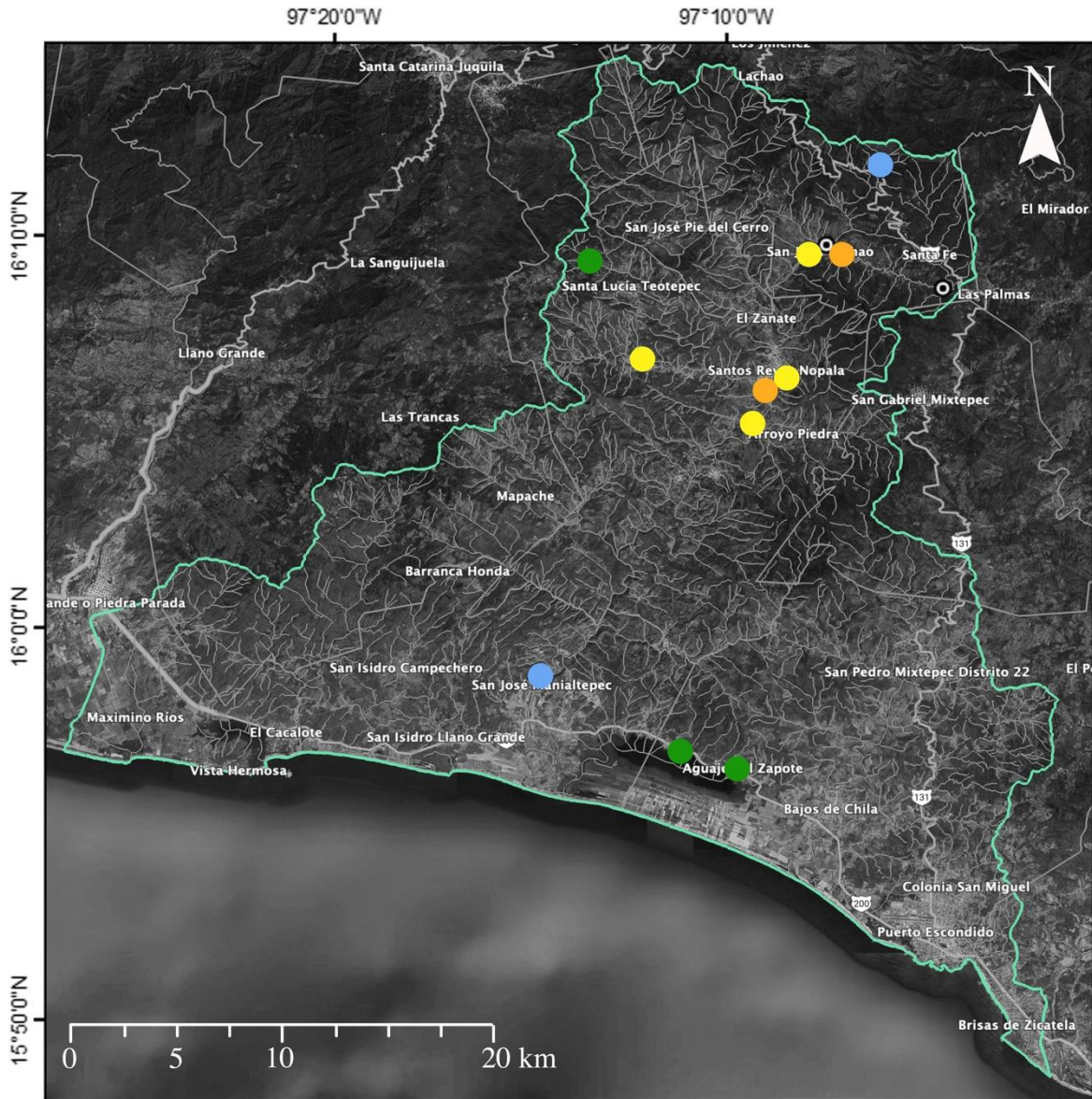


Figura 13. Concentración de nitrógeno amoniacal (NH_3^+-N) en el agua en la época de lluvias 2023 en los sitios de monitoreo en el Río Maniáltepec y en la Laguna de Maniáltepec, Oaxaca.

El caudal que escurrió en la cuenca en la época de secas se registró entre 673 y 6,384 L/s, los menores valores corresponden a tributarios de la parte alta de la cuenca en San Juan Lachao, lamentablemente estos mismos sitios no pudieron ser visitados en el monitoreo de la época de lluvias para conocer su comportamiento.

Entre los datos obtenidos destaca una disminución en el caudal entre los sitios Hondura El Pollito y Planta de Tratamiento, pues la tendencia normal es que conforme fluye el escurrimiento en la cuenca debería ir incrementándose el caudal, entre ambos sitios el caudal fue mayor aguas arriba, lo que apunta a una importante extracción de agua entre ambos sitios.

En la época de lluvias los valores del caudal se registraron entre 189 y 12,075 L/s, el sitio San José Manialtepec tuvo el mayor valor. En los sitios en que se tuvieron las estimaciones en ambas épocas los valores aumentaron entre un 146 y 330 % en la época de lluvias. Al respecto, el valor registrado en San José Manialtepec fue mayor al reportado en el mes de noviembre del año 2022 con 10,768 L/s (ENCINOS, 2022). Estos valores son de vital importancia para comenzar a generar un registro de la cantidad de agua que escurre en la cuenca y que alimenta a la Laguna de Manialtepec.

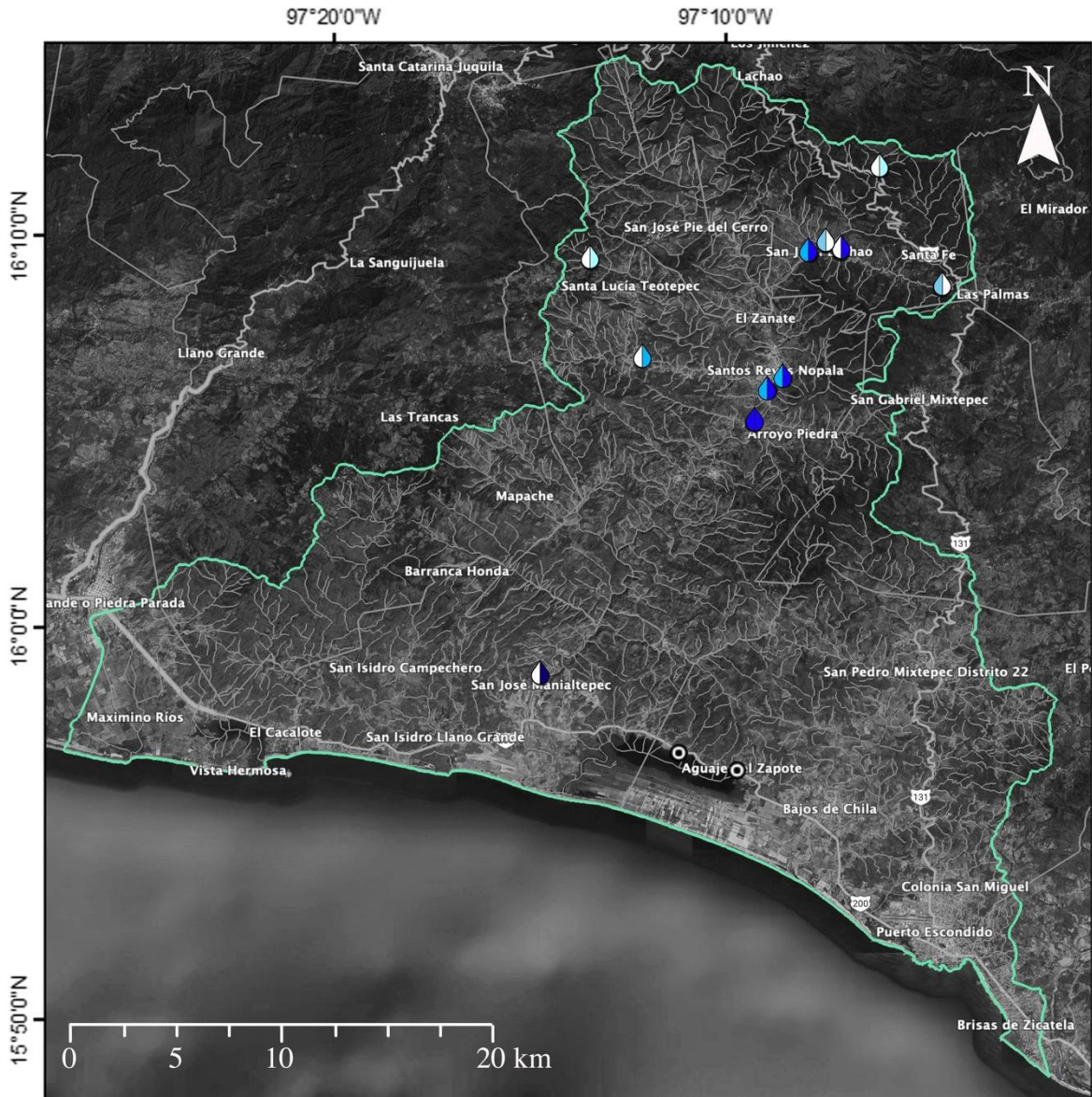


Figura 14. Caudal en las épocas de secas y lluvias 2023 en la cuenca del Río Maniátltepec, Oaxaca.

5.2 Parámetros paisajísticos

5.2.1 Calidad hidromorfológica

La calidad hidromorfológica evaluada en los sitios del Río Manialtepec se registró con categorías de Media a Muy Buena (Tabla 4, Fig. 15). En general se observó un río con características hidromorfológicas aún conservadas, sin represamientos o canalizaciones importantes. Sin embargo, en los sitios Hondura del Metate, Granja Lachao, Cerro del Aire y Planta de Tratamiento las categorías fueron de calidad Media. En estos sitios se encontraron modificaciones en los bancos de los ríos, es decir, en las áreas elevadas de tierra presentes a los lados del cuerpo de agua. por actividades ganaderas y agrícolas, además, en el sitio Planta de Tratamiento se identificaron descargas de aguas residuales, basura y modificaciones en los bancos.

Una de las principales afectaciones en las características hidromorfológicas de los tramos evaluados fue la extracción de materiales pétreos del lecho del río (Fig. 15); una práctica muy común en la cuenca. La forma e intensidad de la extracción varía a lo largo de la cuenca, ya que en la parte alta la práctica se realiza de manera manual, mientras que en la media y baja se utiliza maquinaria pesada.

Si bien el protocolo HYQI no contempla esta actividad en la evaluación es importante recordar que los materiales pétreos cumplen funciones muy importantes para el ecosistema: ayudan a la oxigenación mecánica del agua para poder degradar los nutrientes y otras sustancias del agua; ayudan a la retención de sedimentos para evitar su erosión y azolvamiento en la parte baja de la cuenca; brindan refugio a los organismos acuáticos encargados de mantener a los ecosistemas funcionando; y, frenan el flujo de agua ayudando a su infiltración al subsuelo y evitando inundaciones en la parte baja de la cuenca.

Será importante que estas prácticas se regulen para promover un aprovechamiento sostenible del recurso que permita que el ecosistema siga funcionando de manera adecuada.

En la Laguna de Manialtepec la calidad hidromorfológica fue Buena para ambos sitios, sin embargo, las principales afectaciones encontradas se relacionan con la construcción de

muelles dentro de la Laguna, la remoción del manglar y la construcción de comercios en el margen de la laguna.

5.2.2 Calidad de la vegetación de ribera

La calidad del bosque de ribera evaluada en los sitios del Río Manialtepec se registró con categorías de Muy mala a Muy Buena (Tabla 4, Fig. 16). El único sitio con la categoría de calidad Muy buena fue Cascada Velo de Novia en San Juan Lachao. La vegetación de ribera se encontró conservada en la parte alta y media de la cuenca en los sitios Río Salado Alto, Río Salado, Hondura El Pollito y Confluencia Neblina y Maíz, así como en la parte baja en San José Manialtepec.

Los sitios más afectados se encontraron en Hondura del Metate y Cerro del Aire, en donde a pasar de estar en la parte alta y media de la cuenca respectivamente, se encontró una pérdida casi completa de la vegetación de ribera, que fue reemplazada por potreros con pastos y algunos cultivos. En San Juan Lachao, en los sitios Granja Lachao y Barrio del Carmen, la vegetación de ribera se vio modificada por las alteraciones en los bancos del río por la construcción de caminos así como por algunos cultivos pequeños en las riberas. En la Planta de Tratamiento la vegetación de ribera también se vio modificada por el camino y por los potreros asociados.

Una de las principales formas en que se puede comenzar la recuperación de las funciones ecológicas en las cuencas es con la reforestación de la vegetación de ribera en los márgenes de los ríos, pues contribuye a mejorar el hábitat de todos los habitantes de la cuenca. Si bien la ley de aguas nacionales (LAN) en el artículo 3, fracción XLVII, establece que los 10 metros contiguos a partir del nivel de aguas máximas ordinarias (5 metros cuando el ancho del cauce es menor a 5 metros) constituyen la ribera o zona federal, se observó en una gran parte de los sitios analizados que las actividades productivas no respetaron dicha zona.

En la Laguna de Manialtepec la calidad del bosque de ribera resultó en una categoría Muy mala en el sitio Las Negras debido a la amplitud del muelle y del embarcadero construido, el cual ocasionó la remoción del manglar, además de que se observaron árboles ornamentales introducidos. En el sitio El Aguaje la calidad fue Mala, pues, aunque en menor medida, la construcción del muelle también representó la remoción de la vegetación nativa.

Tabla 4. Evaluación de los parámetros paisajísticos en la cuenca del Río Manialtepec y de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. Calidad Hidromorfológica (CH). Calidad de Bosque de Ribera (CBR).

Sitio	Código	CH		CBR		Actividades principales de perturbación
		pts.	Categoría	pts.	Categoría	
1. Hondura del Metate	HM_1	82	Media	40	Mala	Ganadería y agricultura en los márgenes
2. Cerro del Aire	CA_1	84	Media	25	Muy mala	Extracción de Sedimento y ganadería en los márgenes
3. Río Salado Alto	RSA_1	120	Muy buena	90	Buena	Sin actividades
4. Cascada Velo de Novia	CVN_s	118	Muy buena	100	Muy Buena	Sin Actividades
5. Granja Lachao	GL_1	84	Media	50	Media	Extracción de Sedimento y ganadería en los márgenes
6. Río Salado	RS_s	108	Muy buena	90	Buena	Asentamientos en los márgenes
7. Barrio del Carmen	BC_s	112	Muy buena	60	Media	Camino y agricultura en los márgenes, basura
	BC_1	109	Muy buena	60	Media	
8. Hondura El Pollito	HP_s	108	Muy buena	85	Buena	Extracción de Sedimento y turismo local
	HP_1	109	Muy buena	85	Buena	
9. Planta de Tratamiento	PT_s	77	Media	50	Media	Desagüe de planta de tratamiento y ganadería en los márgenes
	PT_1	83	Media	65	Media	
10. Confluencia Neblina y Maíz	CNM_s	103	Muy buena	75	Buena	Ganadería en los márgenes
	CNM_1	104	Muy buena	85	Buena	
11. San José Manialtepec	SJM_s	90	Buena	80	Buena	Extracción de Sedimento y asentamientos cercanos
	SJM_1	94	Buena	75	Buena	
12. Las Negras	LN_s	75	Buena	25	Muy mala	Muelle, turismo, asentamientos humanos, comercio y deforestación del manglar
	LN_1	70	Buena	25	Muy mala	
13. El Aguaje	EA_s	74	Buena	40	Mala	Muelle, turismo, deforestación de manglar
	EA_1	67	Buena	50	Mala	

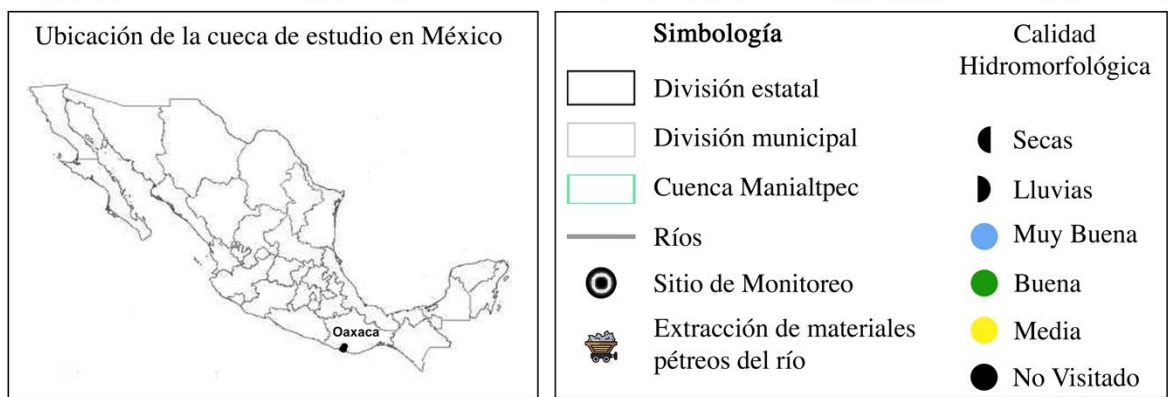
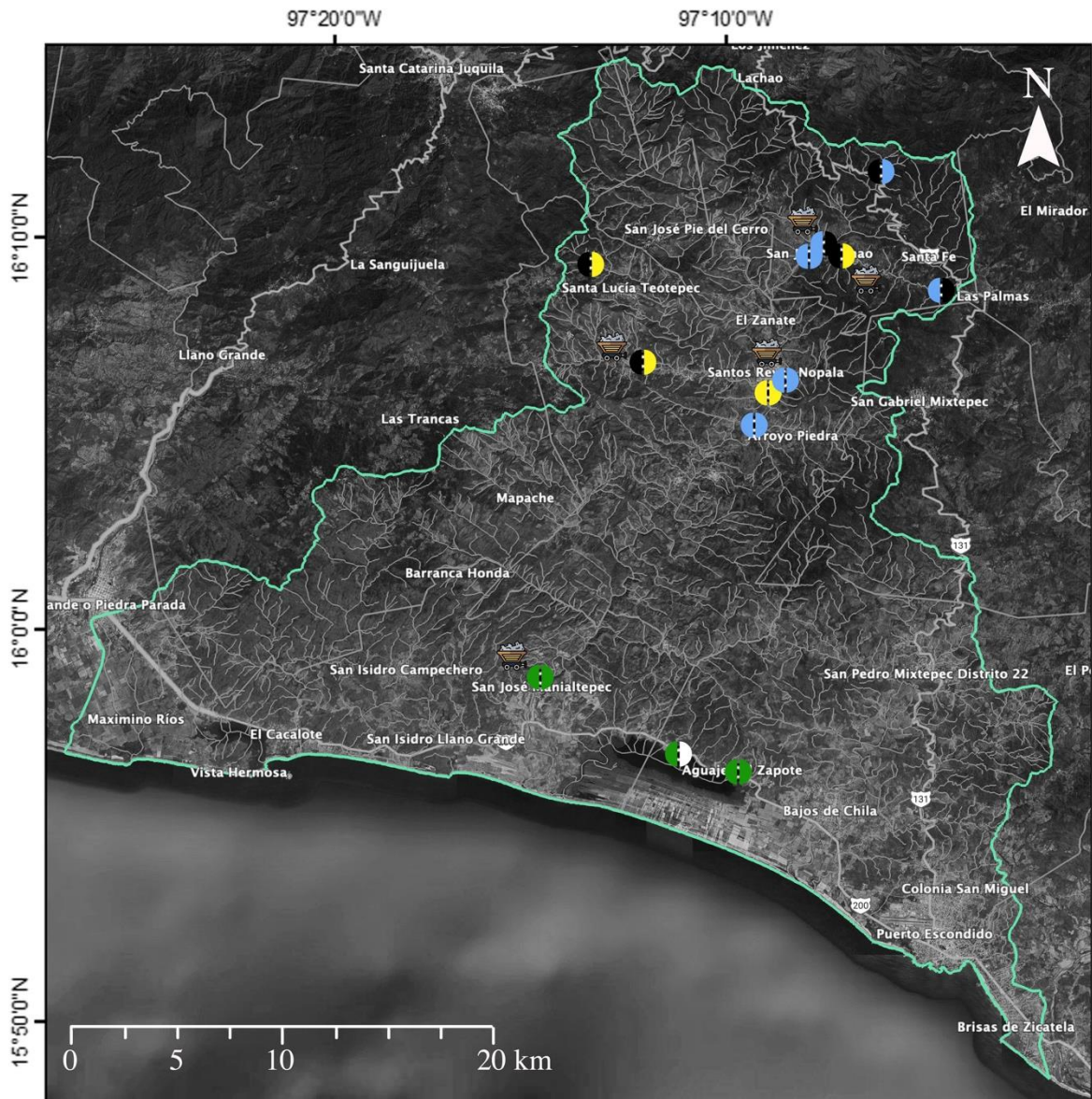


Figura 15. Calidad hidromorfológica en las épocas de secas y lluvias en los sitios de monitoreo de la cuenca del Río Maniáltepec y la Laguna de Maniáltepec, Oaxaca.

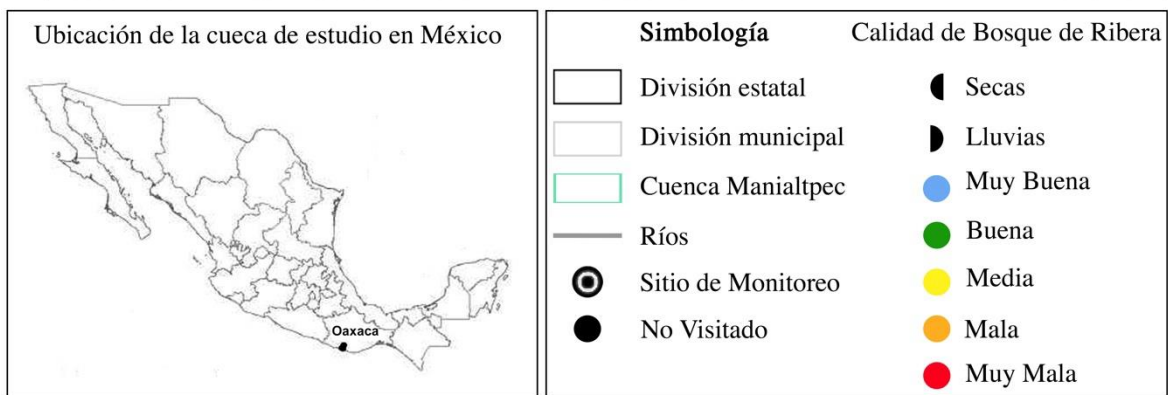
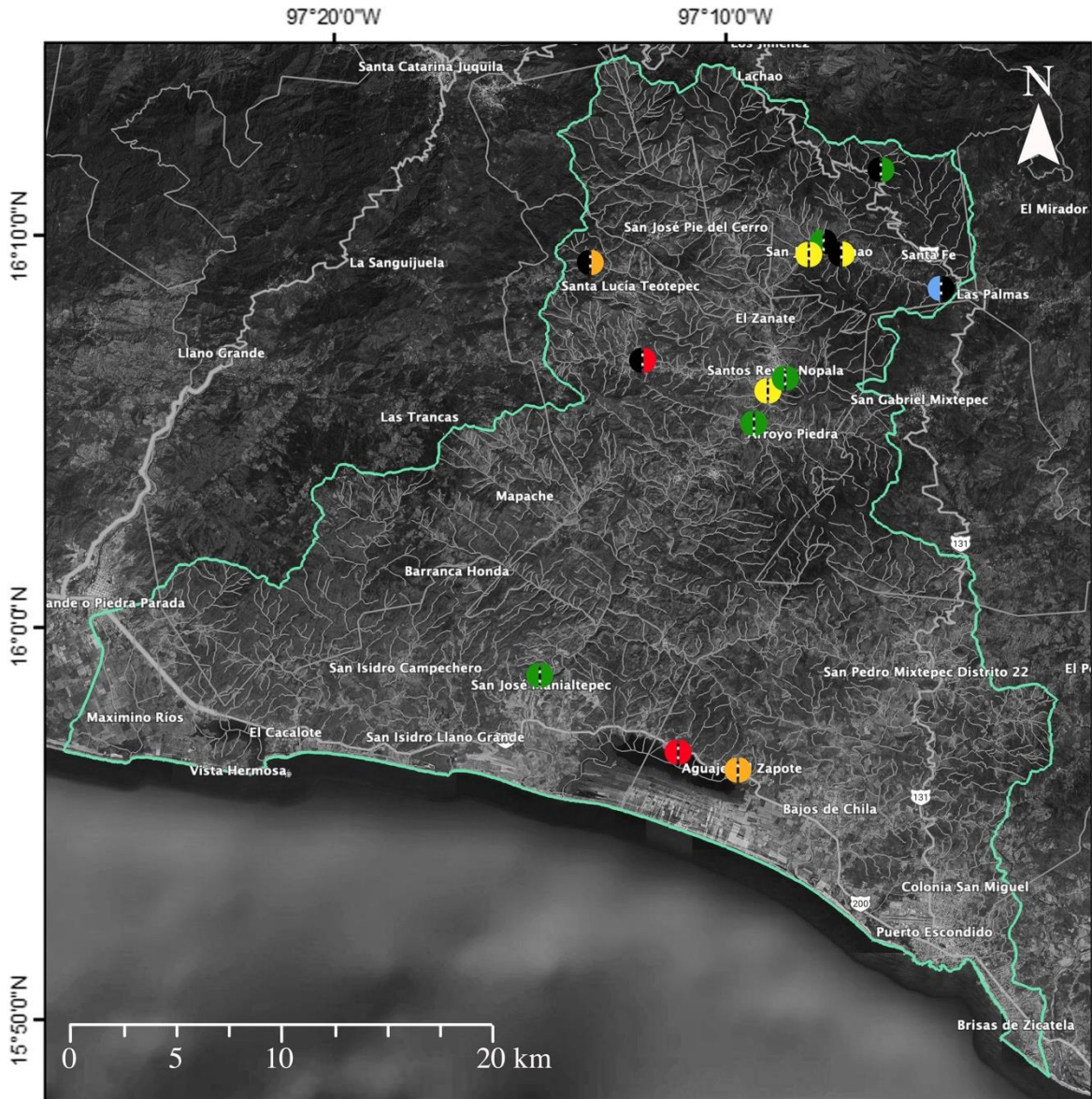


Figura 16. Calidad de Bosque de Ribera en las épocas de secas y lluvias en los sitios de monitoreo de la cuenca del Río Maniátepec y la Laguna de Maniátepec, Oaxaca

5.3 Parámetros biológicos

5.3.1 Bacterias coliformes totales

En todos los sitios de monitoreo visitados, tanto en el río como en la laguna, se registró la presencia de bacterias Coliformes Totales en la época de lluvias; sin embargo, no en todos los sitios esto se puede atribuir a fuentes de contaminación fecal por el impacto de las actividades humanas, debido a que la fauna silvestre también puede contribuir a la presencia de estas bacterias en el agua. Estos resultados son de vital importancia para la concientización de las comunidades que hacen uso directo del agua para consumo propio o del ganado, pues, aunque no todas las bacterias coliformes son patógenas, evidencia la necesidad de realizar la potabilización del agua antes de consumirla para evitar alguna enfermedad gastrointestinal. En futuros estudios se deberán realizar pruebas que permitan cuantificar las concentraciones de estas bacterias.

5.3.2 Diatomeas bentónicas

Se registraron 216 especies de diatomeas bentónicas en los 13 sitios analizados (Tabla 5), de las cuales 200 se registraron en la temporada de secas y 155 en la temporada de lluvias (10 de estas no aparecieron en la temporada de secas). Esta diversidad estuvo distribuida en 3 Clases, 6 Subclases, 17 Órdenes, 33 Familias y 73 Géneros. El mayor número de especies se registró en los géneros *Navicula*, *Nitzschia* y *Sellaphora* (Fig. 17). Se presenta la iconografía de las especies presentes en el Río Manialtepec (Figs 18-25) y en la Laguna de Manialtepec (Figs 26-30).

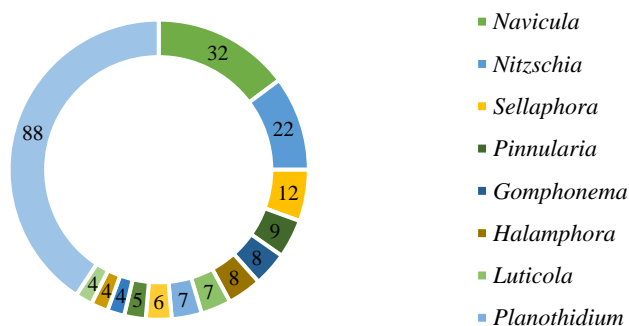


Figura 17. Distribución del número de especies por Género de diatomeas bentónicas en la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca.

Tabla 5. Clasificación taxonómica de las diatomeas bentónicas en la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca.

Clase	Subclase	Orden	Familia	Género	Especie	Figura					
Coscinodiscophyceae	Coscinodiscophycidae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira	<i>Aulacoseira</i> sp. 1	1 a					
			Melosiraceae	Melosira	<i>Melosira moniliformis</i> var. <i>octagona</i> (Grunow) Hustedt, 1927	10 a					
		Orthoseirales	Orthoseiraceae	Orthoseira	<i>Melosira undulata</i> (Ehrenberg) Kützing, 1844	1 b					
					<i>Melosira varians</i> C. Agardh, 1827	1 c					
Mediophyceae	Biddulphiophycidae	Biddulphiales	Biddulphiaceae	Terpsinoë	<i>Orthoseira</i> sp. 1	1 d					
					<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg, 1843	1 e					
	Thalassiosirophycidae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	Cyclotella	<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow, 1880	10 b					
					<i>Stephanodiscus medius</i> Håkansson, 1986	1 f					
					<i>Stephanodiscus</i> sp. 1	10 c					
			Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	Stephanocyclus	<i>Stephanocyclus meneghiniana</i> (Kützing) Kulikovskiy, Genkal & Kociolek, 2022	1 g, 10 d				
						<i>Conticribra weissflogii</i> (Grunow) Stachura-Suchoples & D.M. Williams, 2009	10 e				
						<i>Thalassiosira</i> sp. 1	10 f				
Bacillariophyceae	Fragilariophycidae	Fragilariales	Fragilariaceae	Fragilaria	<i>Fragilaria</i> sp. 1	1 h					
					Licmophorales	Ulnariaceae	Tabularia	<i>Tabularia</i> sp. 1	10 g		
	<i>Tabularia</i> sp. 2	10 h									
	Eunotiophycidae	Eunotiales	Eunotiaceae	Eunotia	Ulnaria	<i>Ulnaria biceps</i> (Kützing) Compère, 2001	1 i				
						<i>Ulnaria goulardii</i> (Brébisson ex Cleve & Grunow) D.M. Williams, Potapova & C.E. Wetzel, 2022	2 a, 10 i				
						<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère, 2001	2 b				
						<i>Eunotia</i> sp. 1	2 c				
						Bacillariophycidae	Achnanthes	Achnantheaceae	Achnanthes	<i>Achnanthes angustata</i> Greville, 1859	10 j
										<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> (Kützing) Cleve, 1895	10 k
	<i>Achnanthes curvirostrum</i> Brun, 1895	10 l									
	<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow, 1868	2 d									
	Achnanthidiaceae	Achnanthidium	<i>Achnanthidium</i> sp. 1	2 e							
			<i>Achnanthidium</i> sp. 2	2 f							
	Gogorevia	Gogorevia	Gogorevia	Gogorevia	<i>Achnanthidium</i> sp. 3	10 m					
<i>Gogorevia exilis</i> (Kützing) Kulikovskiy & Kociolek, 2020					2 g						
<i>Gogorevia</i> sp. 1					10 n						
<i>Karayevia</i> sp. 1					2 h						
Planothidium	Planothidium	Planothidium	Planothidium	<i>Planothidium biporumum</i> (M.H.Hohn & Hellerman) Lange-Bertalot, 1999	2 i						

Clase	Subclase	Órden	Familia	Género	Especie	Figura
					<i>Planothidium campechianum</i> (Hustedt) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin, 2000	10 o
					<i>Planothidium cryptolanceolatum</i> R. Jahn & N. Abarca, 2017	2 j
					<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot, 1999	2 k
					<i>Planothidium incuriatum</i> Wetzel, Van de Vijver & Ector, 2013	2 l
					<i>Planothidium lagerheimii</i> (Cleve) C.E. Wetzel & Ector, 2014	2 m
					<i>Planothidium rostratoholarticum</i> Lange-Bertalot & Bak, 2014	2 n
				Platessa	<i>Platessa bahlsii</i> Potapova, 2012	2 o
			Cocconeidaceae	Anorthoneis	<i>Anorthoneis dulcis</i> M.K. Hein, 1991	2 p
				Cocconeis	<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg, 1854	2 q
					<i>Cocconeis</i> sp. 1	10 p
		Mastogloiales	Mastogloiaceae	Craspedostauros	<i>Craspedostauros</i> sp. 1	10 q
				Mastogloia	<i>Mastogloia pumila</i> (Grunow) Cleve, 1895	10 r
		Naviculales	Amphipleuraceae	Amphipleura	<i>Amphipleura chiapasensis</i> Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998	3 a
				Frustulia	<i>Frustulia asiatica</i> (Skvortzov) Metzeltin, Lange-Bertalot & Soninkhishig, 2009	3 b
			Brachysiraceae	Nupela	<i>Nupela praecipuoides</i> Tremarin & Ludwig, 2015	3 c
			Diadesmidaceae	Diadesmis	<i>Diadesmis confervacea</i> Kützing, 1844	3 d, 10 s
				Humidophila	<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová, 2014	3 e
					<i>Humidophila</i> sp. 1	3 f
				Luticola	<i>Luticola</i> sp. 1	3 g
					<i>Luticola</i> sp. 2	3 h
					<i>Luticola</i> sp. 3	3 i
					<i>Luticola</i> sp. 4	3 j
					<i>Luticola</i> sp. 5	10 t
					<i>Luticola</i> sp. 6	3 k
					<i>Luticola</i> sp. 7	10 u
			Diploneidaceae	Diploneis	<i>Diploneis subovalis</i> Cleve, 1894	3 l
					<i>Diploneis</i> sp. 1	11 a
					<i>Diploneis</i> sp. 2	11 b
			Naviculaceae	Adlafia	<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot, 1999	3 m
					<i>Adlafia suchlandtii</i> (Hustedt) Monnier & Ector, 2012	3 n
				Caloneis	<i>Caloneis fontinalis</i> (Grunow) A. Cleve, 1932	3 o

Clase	Subclase	Órden	Familia	Género	Especie	Figura
				Capartogramma	<i>Capartogramma crusicola</i> (Grunow) R. Ross, 1963	3 p
				Geissleria	<i>Geissleria decussis</i> (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin, 1996	3 q
					<i>Geissleria punctifera</i> (Hustedt) Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez, 2005	3 r
				Gyrosigma	<i>Gyrosigma balticum</i> (Ehrenberg) Rabenhorst, 1853	11 c
					<i>Gyrosigma kuetzingii</i> (Grunow) Cleve, 1894	3 s
					<i>Gyrosigma obtusatum</i> (Sullivant & Wormley) C.S. Boyer, 1922	3 t
				Hippodonta	<i>Hippodonta subrhombica</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez, 2005	3 u
					<i>Hippodonta</i> sp. 1	3 v
				Kobayasiella	<i>Kobayasiella</i> sp. 1	3 w
				Navicula	<i>Navicula adversa</i> Krasske, 1938	4 a
					<i>Navicula amphiceropsis</i> Lange-Bertalot & U. Rumrich, 2000	4 b
					<i>Navicula canalis</i> R.M. Patrick, 1944	4 c
					<i>Navicula capitatoradiata</i> H.Germain ex Gasse, 1986	4 d
					<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot, 1985	4 e
					<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot, 1985	4 f
					<i>Navicula escambia</i> (R.M. Patrick) Metzeltin & Lange-Bertalot, 2007	4 g
					<i>Navicula germainii</i> J.H. Wallace, 1960	4 h
					<i>Navicula gregaria</i> Donkin, 1861	4 i
					<i>Navicula incarum</i> U. Rumrich & Lange-Bertalot, 2000	4 j
					<i>Navicula ingapirica</i> Lange-Bertalot & U. Rumrich, 2000	4 k
					<i>Navicula lohmanii</i> Lange-Bertalot & U. Rumrich, 2000	4 l
					<i>Navicula longicephala</i> Hustedt, 1944	4 m
					<i>Navicula platyventris</i> F. Meister, 1935	11 d
					<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot, 1985	4 n
					<i>Navicula rostellata</i> Kützing, 1844	4 o
					<i>Navicula tenelloides</i> Hustedt, 1937	4 p
					<i>Navicula</i> sp. 1	4 q
					<i>Navicula</i> sp. 2	11 e
					<i>Navicula</i> sp. 3	11 f
					<i>Navicula</i> sp. 4	11 g
					<i>Navicula</i> sp. 5	11 h

Clase	Subclase	Órden	Familia	Género	Especie	Figura
					<i>Navicula</i> sp. 6	11 i
					<i>Navicula</i> sp. 7	11 j
					<i>Navicula</i> sp. 8	11 k
					<i>Navicula</i> sp. 9	11 l
					<i>Navicula</i> sp. 10	11 m
					<i>Navicula</i> sp. 11	11 n
					<i>Navicula</i> sp. 12	11 o
					<i>Navicula</i> sp. 13	11 p
					<i>Navicula</i> sp. 14	11 q
					<i>Navicula</i> sp. 15	11 r
				Neidium	<i>Neidium</i> sp. 1	4 r
				Seminavis	<i>Seminavis eulensteinii</i> (Grunow) D.B. Danielidis, K. Ford & D. Kennett, 2003	11 s
					<i>Seminavis strigosa</i> (Hustedt) D.B. Danielidis & Economou-Amilli, 2003	11 t
			Pinnulariaceae	Envekadea	<i>Envekadea vanlandinghamii</i> C.L. Graeff, Kociolek & S.R. Rushforth, 2013	12 a
				Pinnularia	<i>Pinnularia acoricola</i> Hustedt, 1935	12 b
					<i>Pinnularia acrosphaeria</i> W. Smith, 1853	12 c
					<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg, 1843	4 s
					<i>Pinnularia jocolata</i> (Manguin) Krammer, 2000	4 t, 12 d
					<i>Pinnularia parvulissima</i> Krammer, 2000	5 a
					<i>Pinnularia saprophila</i> Lange-Bertalot, Kobayasi & Krammer, 2000	12 e
					<i>Pinnularia subgibba</i> Krammer, 1992	5 b
					<i>Pinnularia viridiformis</i> Krammer, 1992	5 c
					<i>Pinnularia</i> sp. 1	5 d
			Plagiotropidaceae	Plagiotropis	<i>Plagiotropis arizonica</i> Czarnecki & Blinn, 1978	12 f
					<i>Plagiotropis lepidoptera</i> var. <i>proboscidea</i> (Cleve) Reimer, 1975	12 g
			Pleurosigmataceae	Pleurosigma	<i>Pleurosigma salinarum</i> (Grunow) Grunow, 1880	12 h
			Scoliotropidaceae	Biremis	<i>Biremis lucens</i> (Hustedt) Sabbe, Witkowski & Vyverman, 1995	12 i
			Sellaphoraceae	Fallacia	<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G. Mann, 1990	5 e
					<i>Fallacia meridionalis</i> Metzeltin, Lange-Bertalot 6 García-Rodríguez, 2005	5 f
				Pseudofallacia	<i>Pseudofallacia tenera</i> (Hustedt) Y. Liu, Kociolek & Q.Wang, 2012	12 j
				Sellaphora	<i>Sellaphora atomoides</i> (Grunow) Wetzel & Van de Vijver, 2015	5 g

Clase	Subclase	Órden	Familia	Género	Especie	Figura
					<i>Sellaphora cosmopolitana</i> (Lange-Bertalot) C.E. Wetzel & Ector, 2015	5 h
					<i>Sellaphora javanica</i> Wetzel, 2015	5 i
					<i>Sellaphora laevis</i> (Kützing) D.G. Mann, 1989	5 j
					<i>Sellaphora pseudopupula</i> (Krasske) Lange-Bertalot, 1996	5 k, 12 k
					<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky, 1902	5 l
					<i>Sellaphora saugerresii</i> (Desmazières) C.E. Wetzel & D.G. Mann, 2015	5 m
					<i>Sellaphora</i> sp. 1	5 n
					<i>Sellaphora</i> sp. 2	5 o
					<i>Sellaphora</i> sp. 3	5 p, 12 l
					<i>Sellaphora</i> sp. 4	5 q
					<i>Sellaphora</i> sp. 5	5 r
			Stauroneidaceae	Craticula	<i>Craticula subminuscula</i> (Manguin) C.E. wetzel, 2015	5 s
				Dorofeyukea	<i>Dorofeyukea kotschyi</i> (Grunow) Kulikovskiy, Kociolek, Tusset & T. Ludwig, 2019	5 t
				Fistulifera	<i>Fistulifera</i> sp. 1	5 u
				Prestauroneis	<i>Prestauroneis</i> sp. 1	12 m
				Stauroneis	<i>Stauroneis thermicola</i> (J.B. Petersen) J.W.G. Lund, 1946	5 v, 12 n
					<i>Stauroneis valderostrata</i> Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998	5 w, 12 o
					<i>Stauroneis ventriosus</i> Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998	5 x
					<i>Stauroneis</i> sp. 1	5 y
		Cymbellales	Anomoneidaceae	Staurophora	<i>Staurophora salina</i> (W. Smith) Mereschkowsky, 1903	12 p
			Cymbellaceae	Cymbella	<i>Cymbella affinis</i> Kützing, 1844	6 a
					<i>Cymbella mexicana</i> (Ehrenberg) Cleve, 1894	6 b
					<i>Cymbella tropica</i> Krammer, 2002	6 c
					<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck, 1880	6 d
					<i>Cymbella turgidula</i> Gunow, 1875	6 e
				Encyonema	<i>Encyonema jemtlandicum</i> var. <i>venezolanum</i> Krammer, 1997	6 f
					<i>Encyonema</i> sp. 1	6 g
				Placoneis	<i>Placoneis undulata</i> (Østrup) Lange-Bertalot, 2000	6 h
					<i>Placoneis</i> sp. 1	6 i
					<i>Placoneis</i> sp. 2	6 j
					<i>Placoneis</i> sp. 3	6 k

Clase	Subclase	Órden	Familia	Género	Especie	Figura
					<i>Placoneis</i> sp. 4	6 l
					<i>Placoneis</i> sp. 5	6 m
			Gomphonemataceae	Gomphonema	<i>Gomphonema affine</i> Kützing, 1844	7 a
					<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst, 1864	7 b
					<i>Gomphonema commutatum</i> Grunow, 1880	7 c
					<i>Gomphonema kobayashiae</i> Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998	7 d
					<i>Gomphonema laticollum</i> E. Reichardt, 2001	7 e
					<i>Gomphonema mexicanum</i> Grunow, 1880	7 f
					<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing, 1849	7 g
					<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) E. Reichardt & Lange-Bertalot, 1991	7 h
				Reimeria	<i>Reimeria sinuata</i> (W. Gregory) Kociolek & Stoermer, 1987	7 i
					<i>Reimeria uniseriata</i> Sala, Guerrero & Ferrario, 1993	7 j
			Rhoicospheniaceae	Gomphosphenia	<i>Gomphosphenia oahuensis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot, 1998	12 q
					<i>Gomphosphenia</i> sp. 1	7 k
				Rhoicosphenia	<i>Rhoicosphenia</i> sp. 1	7 l
	Thalassiophysales		Catenulaceae	Amphora	<i>Amphora copulata</i> (Kützing) Schoeman & R.E.M. Archibald, 1986	7 m
					<i>Amphora mexicana</i> A.W.F. Schmidt, 1875	13 a
					<i>Amphora proteus</i> W. Gregory, 1857	13 b
				Halamphora	<i>Halamphora acusticula</i> (Kützing) Levkov, 2009	13 c
					<i>Halamphora bicapitata</i> (M.H. Hohn & J. Hellerman) J.G. Sepanek & Kociolek, 2018	7 n
					<i>Halamphora coffeaeformis</i> (C. Agardh) Levkov, 2009	7 o, 13 d
					<i>Halamphora cymbifera</i> (W.Gregory) Levkov, 2009	13 e
					<i>Halamphora holsatica</i> (Hustedt) Levkov, 2009	7 p, 13 f
					<i>Halamphora montana</i> (Krasske) Levkov, 2009	7 q, 13 g
					<i>Halamphora</i> sp. 1	13 h
	Bacillariales		Bacillariaceae	Bacillaria	<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F. Müller) N.I. Hende, 1951	7 r, 13 i
				Grunowia	<i>Grunowia solgensis</i> (A.Cleve) Aboal, 2003	7 s
				Hantzschia	<i>Hantzschia</i> sp. 1	7 t
					<i>Hantzschia</i> sp. 2	13 j
				Nitzschia	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow, 1862	7 u, 13 k
					<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch, 1860	7 v

Clase	Subclase	Órden	Familia	Género	Especie	Figura
					<i>Nitzschia distans</i> W. Gregory, 1857	13 l
					<i>Nitzschia epithemioides</i> Grunow, 1880	13 m
					<i>Nitzschia graciliformis</i> Lange-Bertalot & Simonsen, 1978	7 w
					<i>Nitzschia incognita</i> Legler & Krasske, 1940	13 n
					<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow, 1862	7 x, 13 o
					<i>Nitzschia kurzeana</i> Rabenhorst, 1873	7 y, 13 p
					<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith, 1853	8 a
					<i>Nitzschia littorea</i> Grunow, 1881	13 q
					<i>Nitzschia microcephala</i> Grunow, 1880	8 b, 13 r
					<i>Nitzschia nana</i> Grunow, 1881	13 s
					<i>Nitzschia oligotraphenta</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot, 2011	8 c
					<i>Nitzschia ovalis</i> H.J. Arnott, 1880	13 t
					<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith, 1856	8 d
					<i>Nitzschia palea</i> var. <i>debilis</i> (Kützing) Grunow, 1880	8 e
					<i>Nitzschia palea</i> var. <i>tenuirostris</i> Grunow, 1881	8 f
					<i>Nitzschia scalpeliformis</i> Grunow, 1880	14 a
					<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith, 1853	14 b
					<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot, 1978	8 g
					<i>Nitzschia</i> sp. 1	8 h
					<i>Nitzschia</i> sp. 2	14 c
				Simonsenia	<i>Simonsenia</i> sp. 1	8 i
				Tryblionella	<i>Tryblionella debilis</i> Arnott ex O'Meara, 1873	14 d
					<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) Frenguelli, 1942	14 e
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithemia	<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson, 1838	8 j
					<i>Epithemia gibba</i> (Ehrenberg) Kützing, 1844	8 k
					<i>Epithemia gibberula</i> (Ehrenberg) Kützing, 1844	8 l, 14 f
					<i>Epithemia musculus</i> Kützing, 1844	14 g
		Surirellales	Entomoneidaceae	Entomoneis	<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, 1845	14 h
			Surirellaceae	Iconella	<i>Iconella tenera</i> (W. Gregory) Ruck & Nakov, 2016	8 m
				Surirella	<i>Surirella angusta</i> Kützing, 1844	8 n
					<i>Surirella susanae</i> Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998	8 o

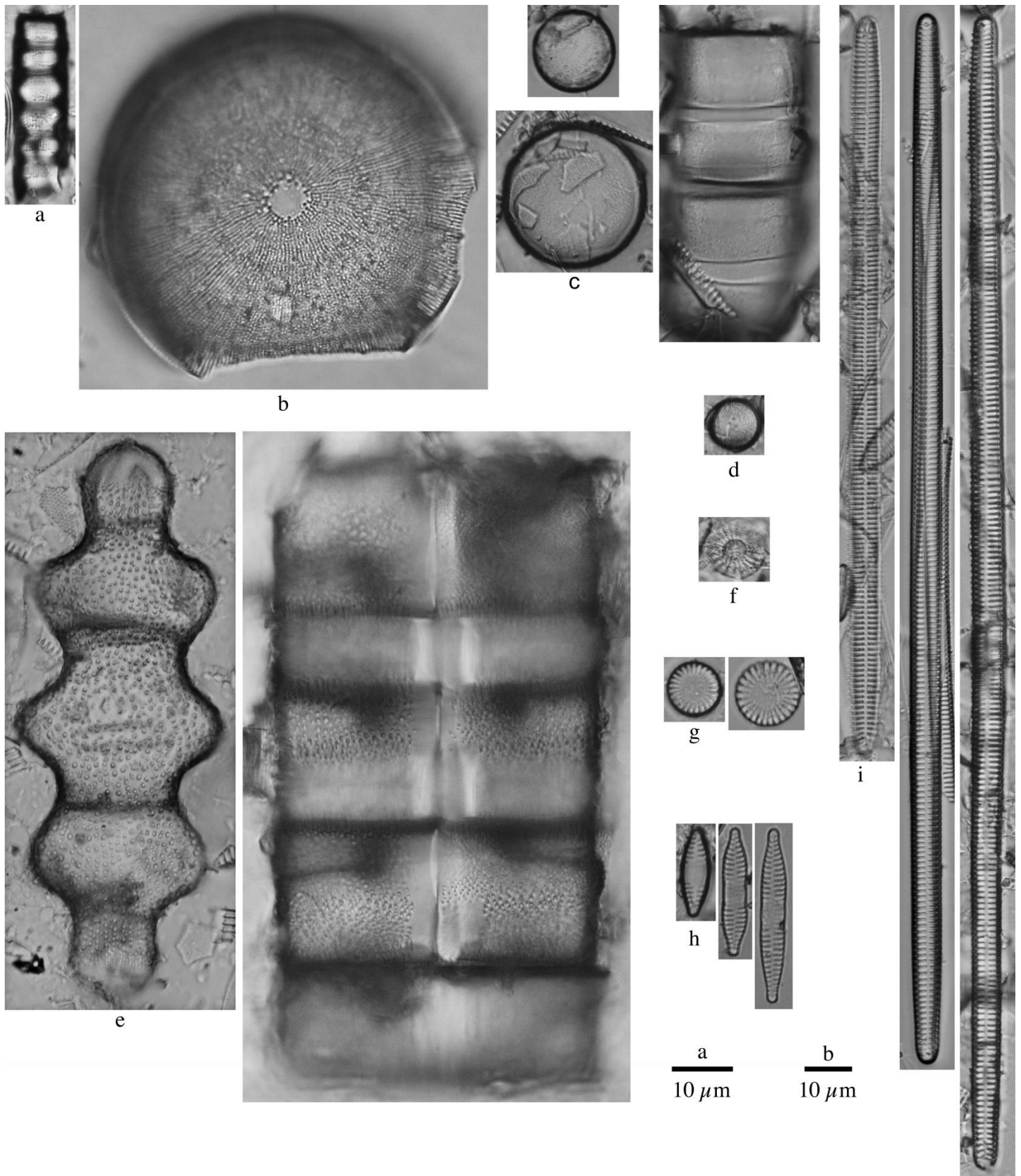


Figura 18. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Aulacoseira* sp. 1, b. *Melosira undulata*, c. *Melosira varians*, d. *Orthoseira* sp. 1, e. *Terpsinoë musica*, f. *Stephanodiscus medius*, g. *Stephanocyclus meneghiniana*, h. *Fragilaria* sp. 1, i. *Ulnaria biceps*. Barra de escala a para figuras a-g; b para figura i.

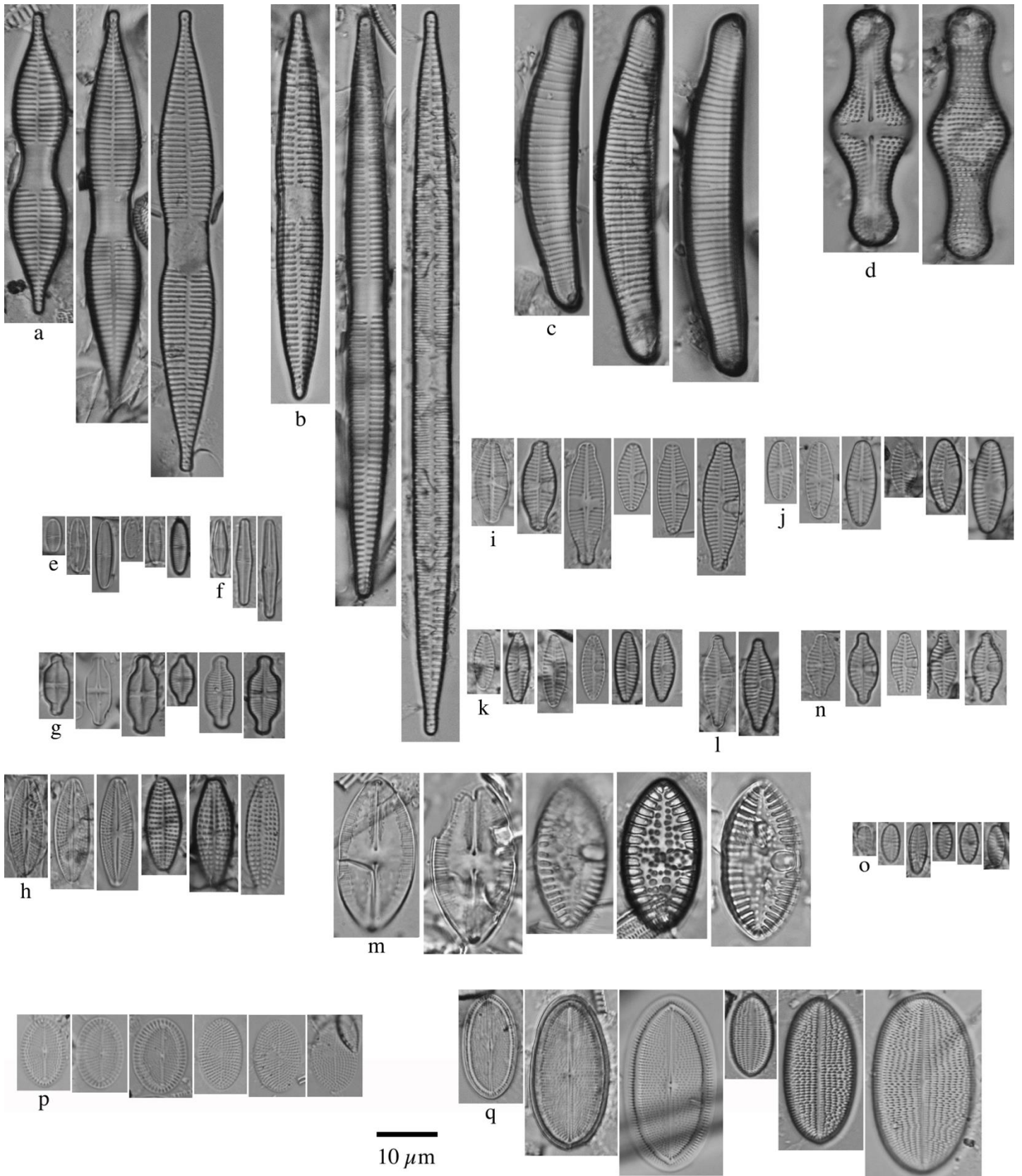


Figura 19. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Ulnaria goulardii*, b. *Ulnaria ulna*, c. *Eunotia* sp. 1, d. *Achnanthes inflata*, e. *Achnantheidium* sp. 1, f. *Achnantheidium* sp. 2, g. *Gogorevia exilis*, h. *Karayevia* sp. 1, i. *Planothidium biporum*, j. *Planothidium cryptolanceolatum*, k. *Planothidium frequentissimum*, l. *Planothidium incuriatum*, m. *Planothidium lagerheimii*, n. *Planothidium rostratoholarticum*, o. *Platessa bahlsii*, p. *Anorthoneis dulcis*, q. *Cocconeis euglypta*.

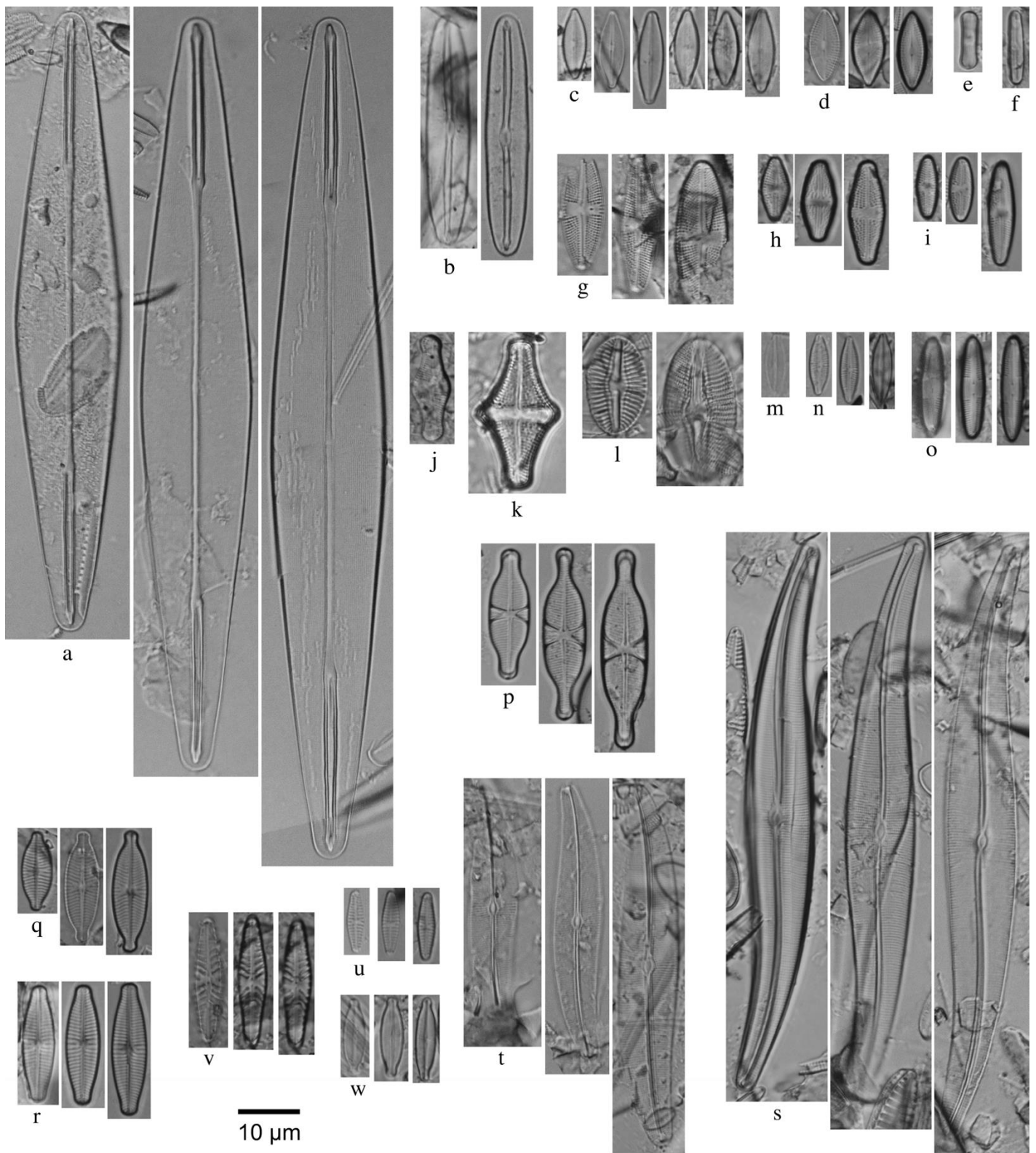


Figura 20. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Amphipleura chiapasensis*, b. *Frustulia assiatica*, c. *Nupela praecipuoides*, d. *Diadesmis confervacea*, e. *Humidophila contenta*, f. *Humidophila* sp. 1, g. *Luticola* sp. 1, h. *Luticola* sp. 2, i. *Luticola* sp. 3, j. *Luticola* sp. 4, k. *Luticola* sp. 6, l. *Diploneis subovalis*, m. *Adlafia minuscula*, n. *Adlafia suchlandtii*, o. *Caloneis fontinalis*, p. *Capartogramma crucicola*, q. *Geissleria decussis*, r. *Geissleria punctifera*, s. *Gyrosigma kuetzingii*, t. *Gyrosigma obtusatum*, u. *Hippodonta subrhombica*, v. *Hippodonta* sp. 1, w. *Kobayasiella* sp. 1.

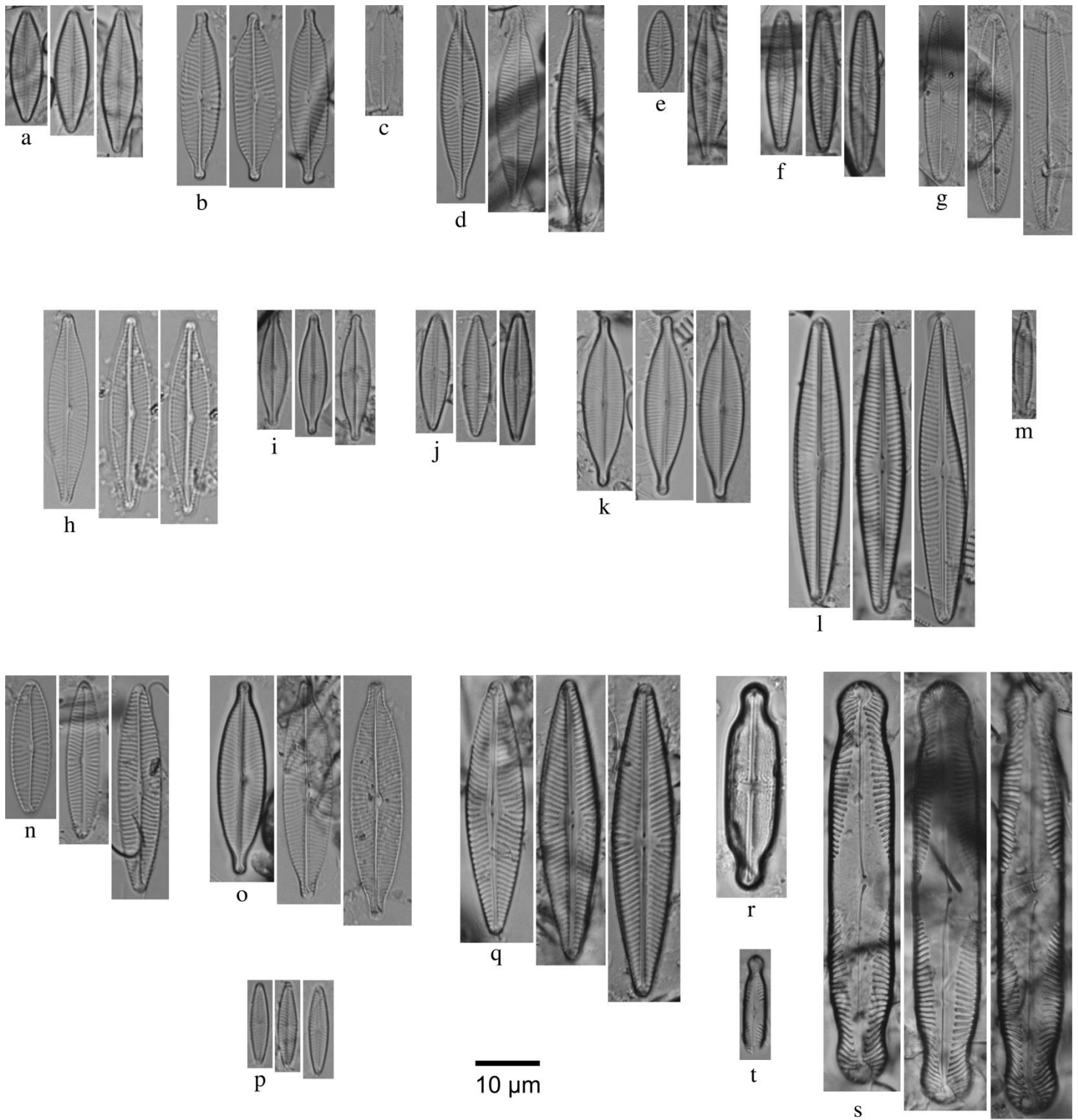


Figura 21. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Navicula adversa*, b. *Navicula amphiceropsis*, c. *Navicula canalis*, d. *Navicula capitatoradiata*, e. *Navicula cryptotenella*, f. *Navicula erifuga*, g. *Navicula escambia*, h. *Navicula germainii*, i. *Navicula gregaria*, j. *Navicula incarum*, k. *Navicula ingapirica*, l. *Navicula lohmanii*, m. *Navicula longicephala*, n. *Navicula recens*, o. *Navicula rostellata*, p. *Navicula tenelloides*, q. *Navicula* sp. 1, r. *Neidium* sp. 1, s. *Pinnularia gibba*, t. *Pinnularia joculata*.

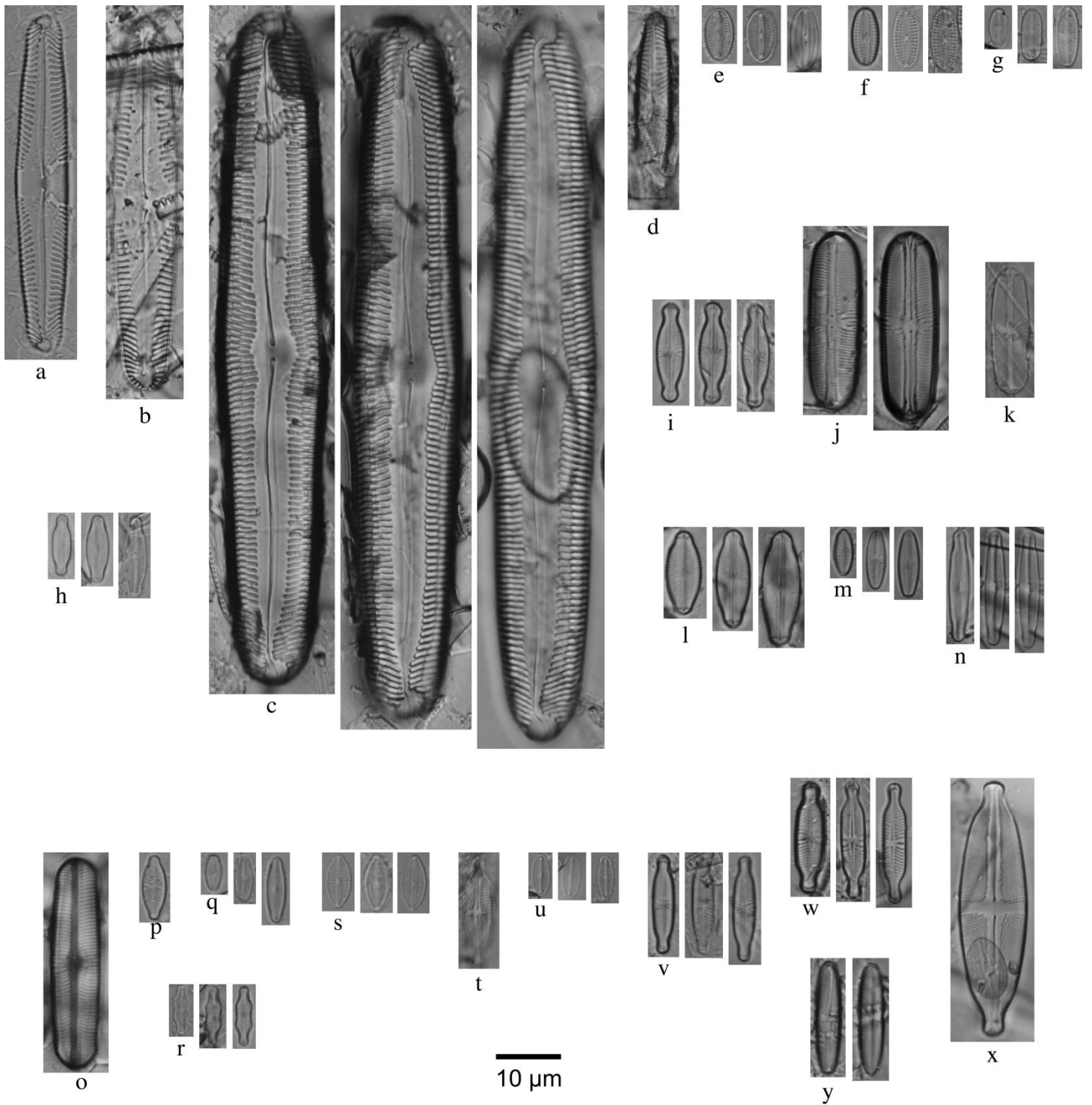


Figura 22. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Pinnularia parvulissima*, b. *Pinnularia subgibba*, c. *Pinnularia viridiformis*, d. *Pinnularia* sp. 1, e. *Fallacia insociabilis*, f. *Fallacia meridionalis*, g. *Sellaphora atomoides*, h. *Sellaphora cosmopolitana*, i. *Sellaphora javanica*, j. *Sellaphora laevissima*, k. *Sellaphora pseudopupula*, l. *Sellaphora pupula*, m. *Sellaphora saugerresii*, n. *Sellaphora* sp. 1, o. *Sellaphora* sp. 2, p. *Sellaphora* sp. 3, q. *Sellaphora* sp. 4, r. *Sellaphora* sp. 5, s. *Craticula subminuscule*, t. *Dorofeyukea kotschyi*, u. *Fistulifera* sp. 1, v. *Stauroneis thermicola*, w. *Stauroneis valderostrata*, x. *Stauroneis ventriosus*, y. *Stauroneis* sp. 1.

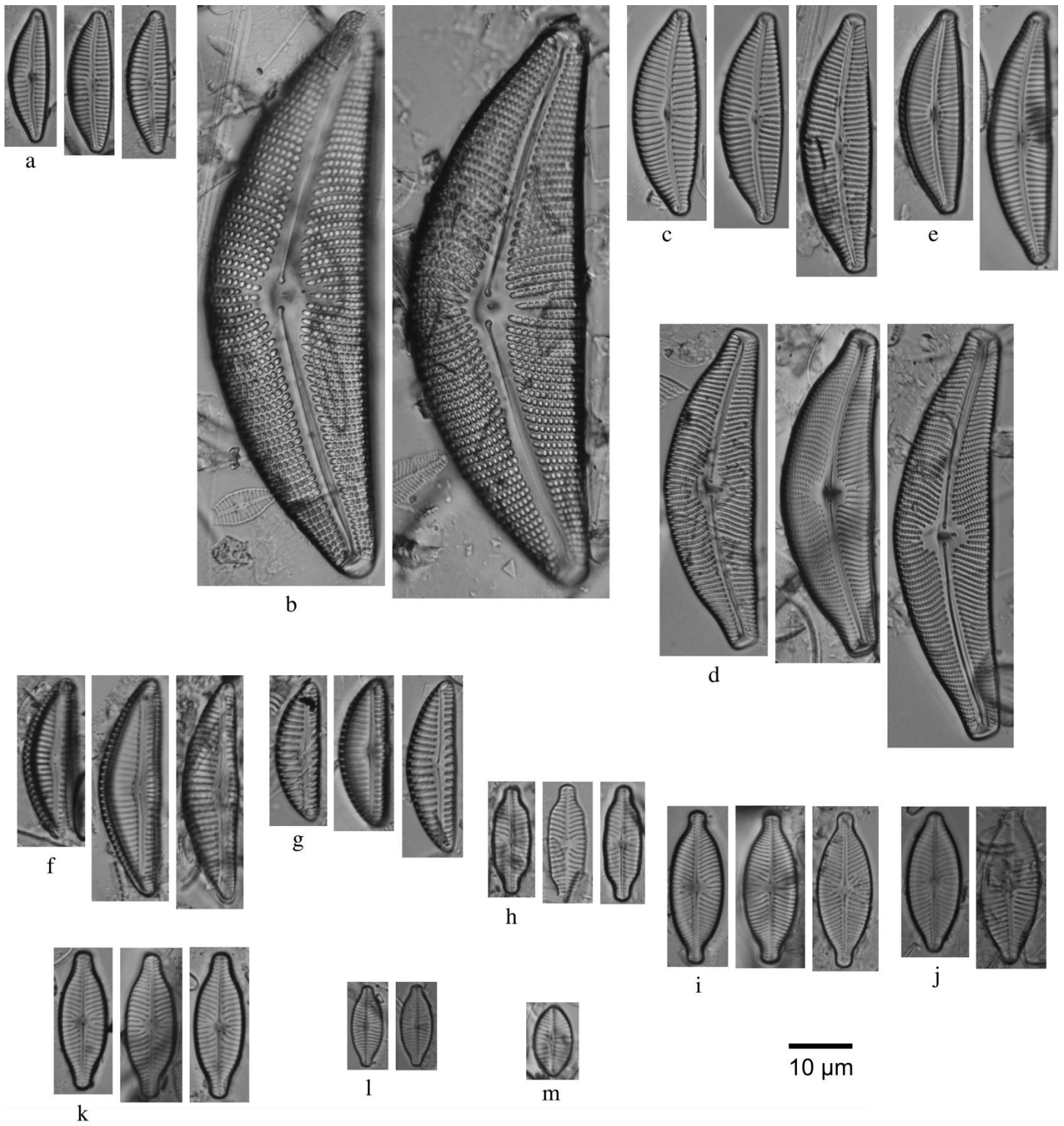


Figura 23. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Cymbella affinis*, b. *Cymbella mexicana*, c. *Cymbella tropica*, d. *Cymbella tumida*, e. *Cymbella turgidula*, f. *Encyonema jemtlandicum* var. *venezolanum*, g. *Encyonema* sp. 1, h. *Placoneis undulata*, i. *Placoneis* sp. 1, j. *Placoneis* sp. 2, k. *Placoneis* sp. 3, l. *Placoneis* sp. 4, m. *Placoneis* sp. 5.

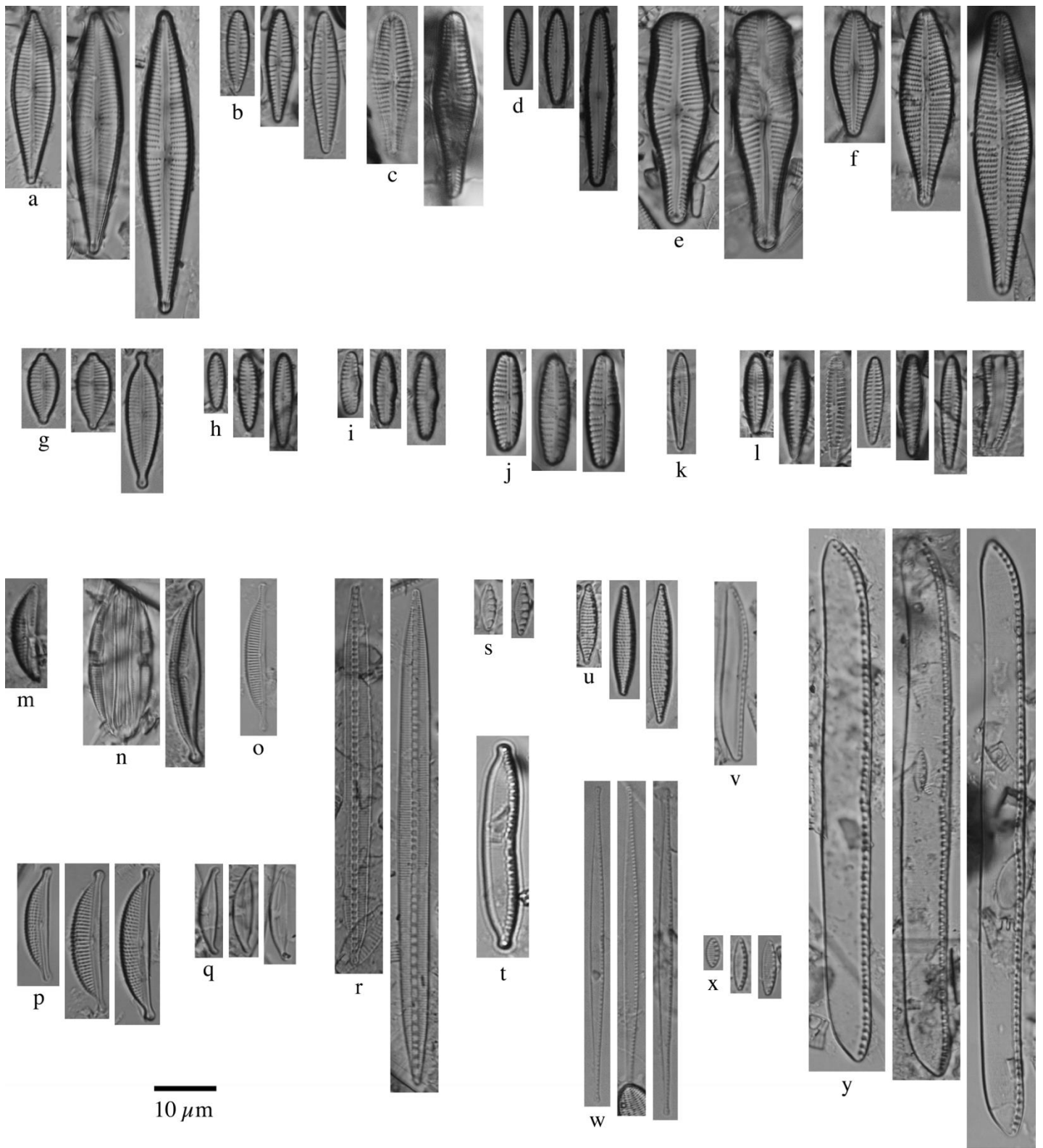


Figura 24. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Gomphonema affine*, b. *Gomphonema angustatum*, c. *Gomphonema commutatum*, d. *Gomphonema kobayashiae*, e. *Gomphonema laticollum*, f. *Gomphonema mexicanum*, g. *Gomphonema parvulum*, h. *Gomphonema pumilum*, i. *Reimeria sinuata*, j. *Reimeria uniseriata*, k. *Gomphosphenia* sp. 1, l. *Rhoicosphenia* sp. 1, m. *Amphora copulata*, n. *Halamphora bicapitata*, o. *Halamphora coffeaeformis*, p. *Halamphora holsatica*, q. *Halamphora montana*, r. *Bacillaria paxillifera*, s. *Grunowia solgensis*, t. *Hantzschia* sp. 1, u. *Nitzschia amphibia*, v. *Nitzschia clausii*, w. *Nitzschia graciliformis*, x. *Nitzschia inconspicua*, y. *Nitzschia kurzeana*.

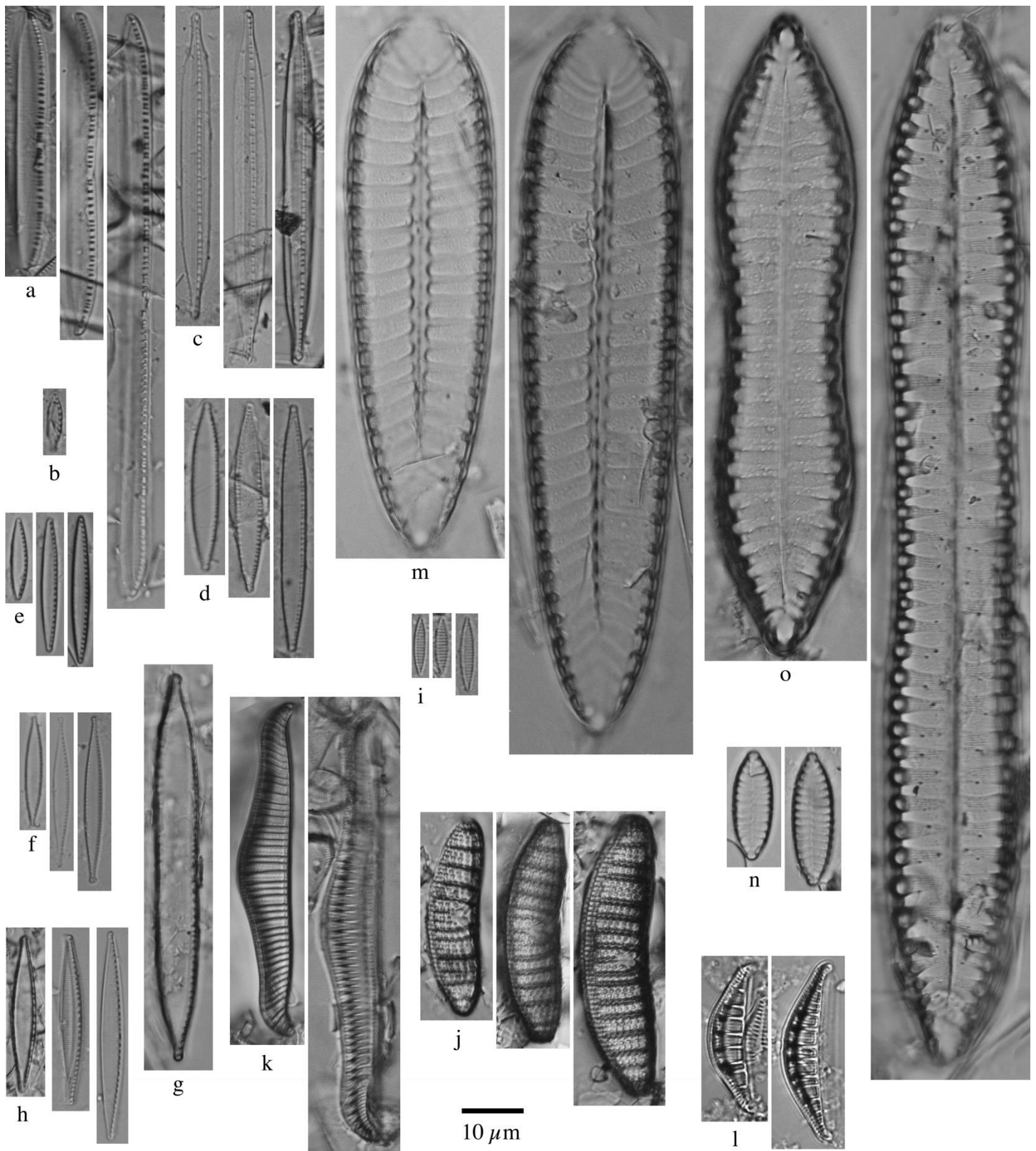


Figura 25. Diatomeas bentónicas del Río Manialtepec, Oaxaca. a. *Nitzschia linearis*, b. *Nitzschia microcephala*, c. *Nitzschia oligotrappenta*, d. *Nitzschia palea*, e. *Nitzschia palea* var. *debilis*, f. *Nitzschia palea* var. *tenuirostris*, g. *Nitzschia umbonata*, h. *Nitzschia* sp. 1, i. *Simonsenia* sp. 1, j. *Epithemia adnata*, k. *Epithemia gibba*, l. *Epithemia gibberula*, m. *Iconella tenera*, n. *Surirella angusta*, o. *Surirella susanae*.

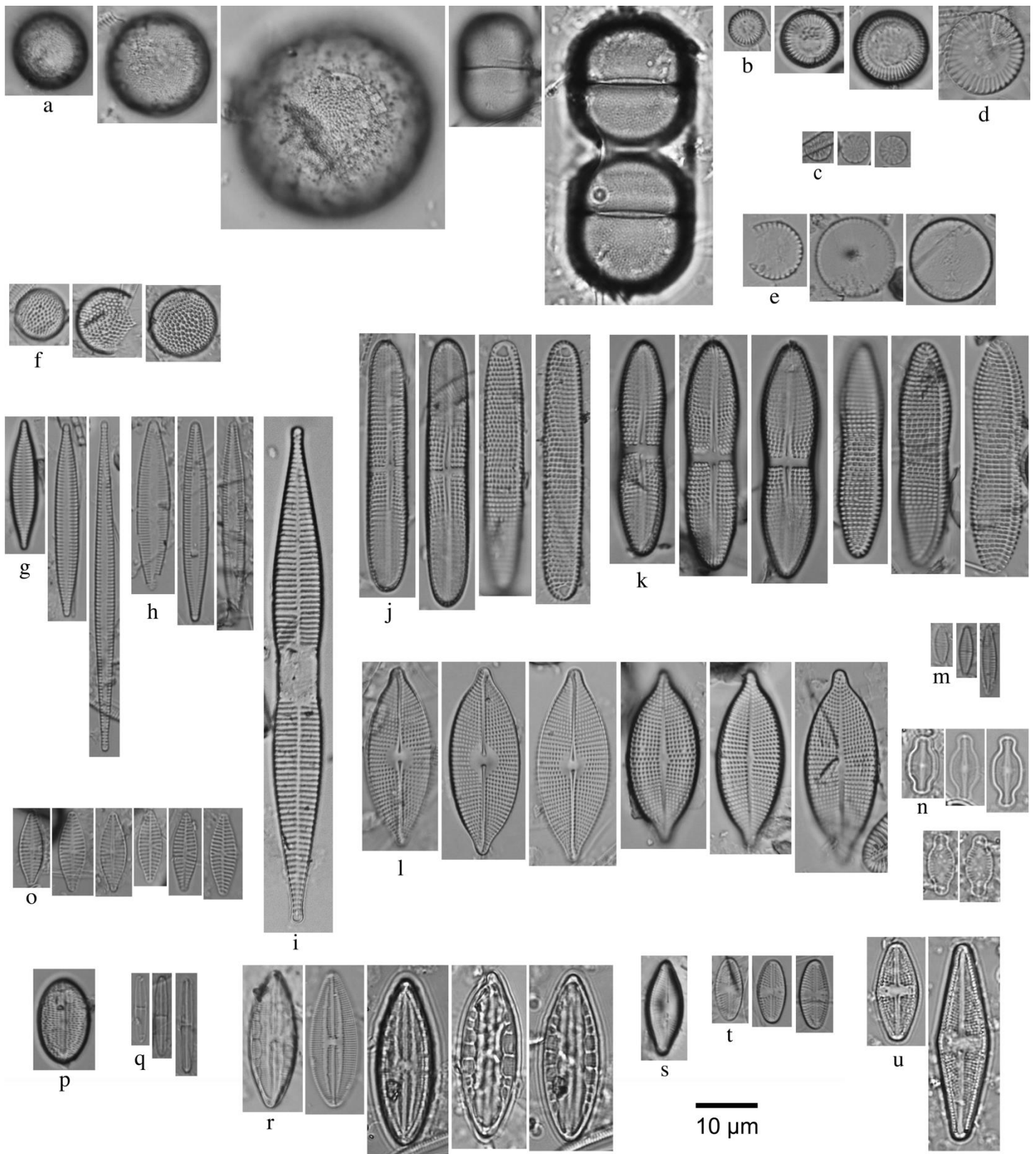


Figura 26. Diatomeas bentónicas de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. a. *Melosira moniliformis* var. *octagona*, b. *Cyclotella striata*, c. *Stephanodiscus* sp. 1, d. *Stephanocyclus meneghiniana*, e. *Conticribra weissflogii*, f. *Thalassiosira* sp. 1, g. *Tabularia* sp. 1, h. *Tabularia* sp. 2, i. *Ulnaria goulardii*, j. *Achnanthes angustata*, k. *Achnanthes brevipes* var. *intermedia*, l. *Achnanthes curvirostrum*, m. *Achnanthidium* sp. 3, n. *Gogorevia* sp. 1, o. *Planothidium campechianum*, p. *Cocconeis* sp. 1, q. *Craspedostauros* sp. 1, r. *Mastogloia pumila*, s. *Diadesmis confervacea*, t. *Luticola* sp. 5, u. *Luticola* sp. 7.

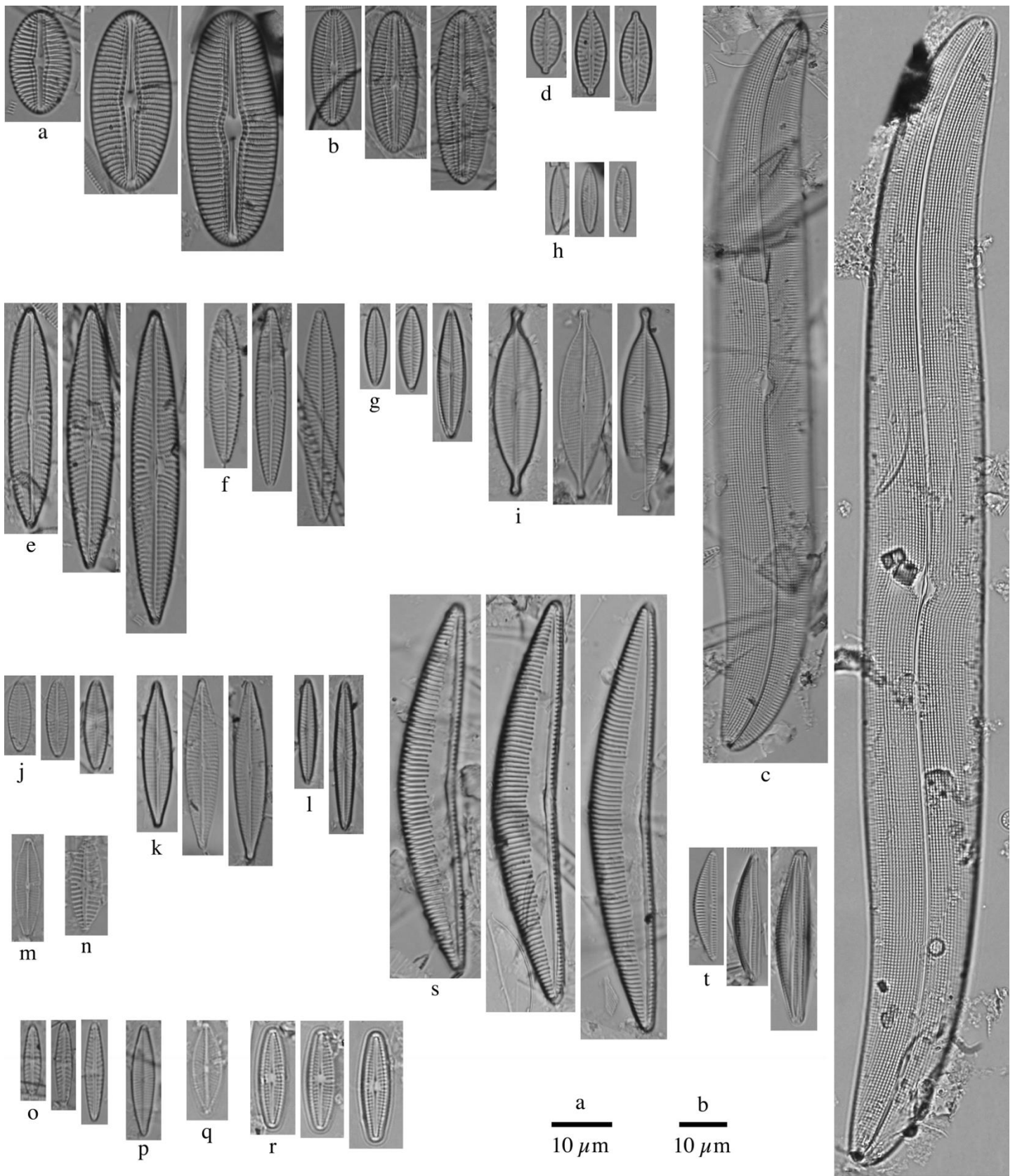


Figura 27. Diatomeas bentónicas de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. a. *Diploneis* sp. 1, b. *Diploneis* sp. 2, c. *Gyrosigma balticum*, d. *Navicula platyventris*, e. *Navicula* sp. 2, f. *Navicula* sp. 3, g. *Navicula* sp. 4, h. *Navicula* sp. 5, i. *Navicula* sp. 6, j. *Navicula* sp. 7, k. *Navicula* sp. 8, l. *Navicula* sp. 9, m. *Navicula* sp. 10, n. *Navicula* sp. 11, o. *Navicula* sp. 12, p. *Navicula* sp. 13, q. *Navicula* sp. 14, r. *Navicula* sp. 15., s. *Seminavis eulensteini*, t. *Seminavis strigosa*.

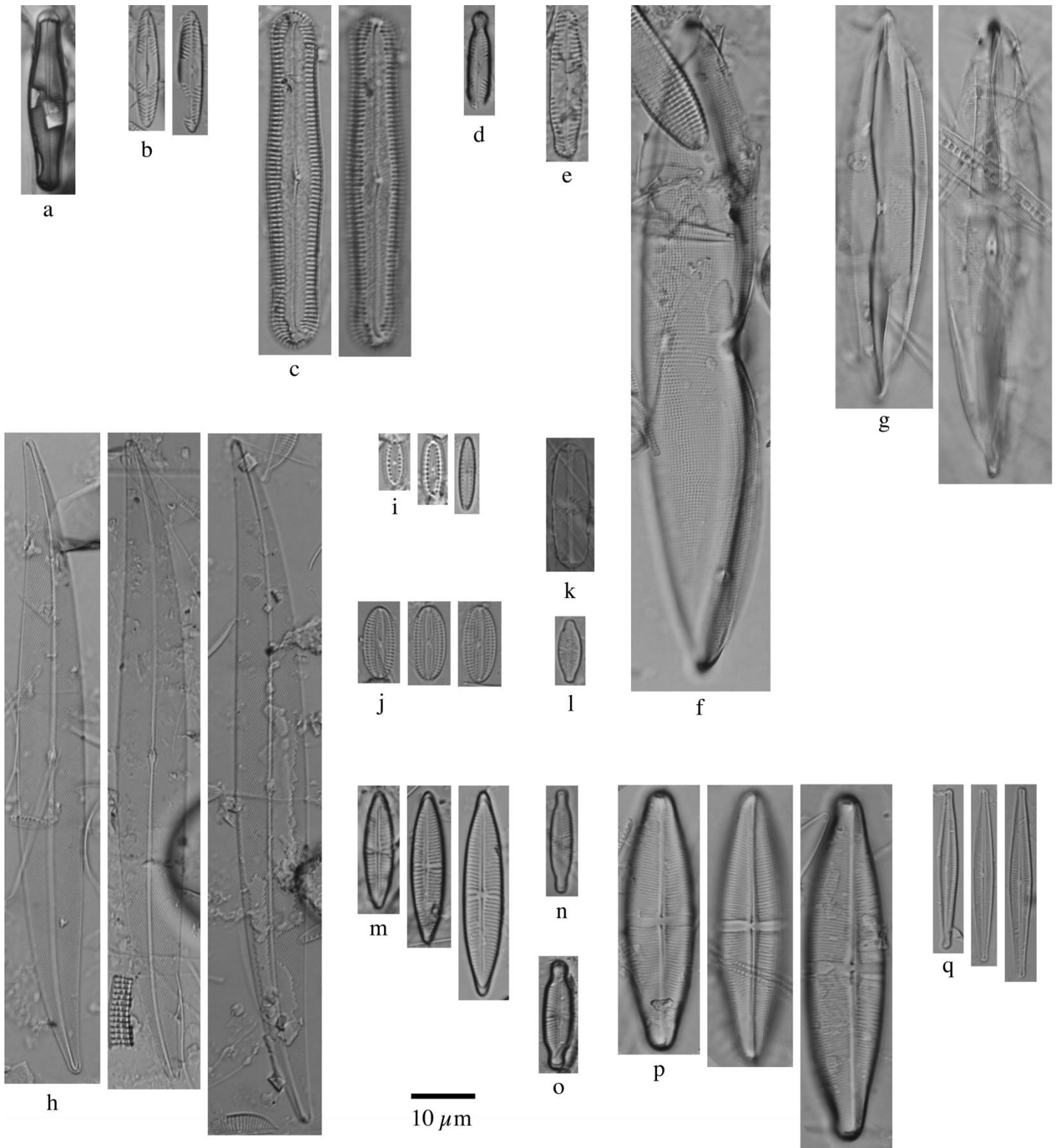


Figura 28. Diatomeas bentónicas de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. a. *Envekadea vanlandinghamii*, b. *Pinnularia acoricola*, c. *Pinnularia acrosphaeria*, d. *Pinnularia jocolata*, e. *Pinnularia saprophila*, f. *Plagiotropis arizonica*, g. *Plagiotropis lepidoptera* var. *proboscidea*, h. *Pleurosigma salinarum*, i. *Biremis lucens*, j. *Pseudofallacia tenera*, k. *Sellaphora pseudopupula*, l. *Sellaphora* sp. 3, m. *Prestauroneis* sp. 1, n. *Stauroneis thermicola*, o. *Stauroneis valderostrata*, p. *Stauraphora salina*, q. *Gomphosphenia oahuensis*.

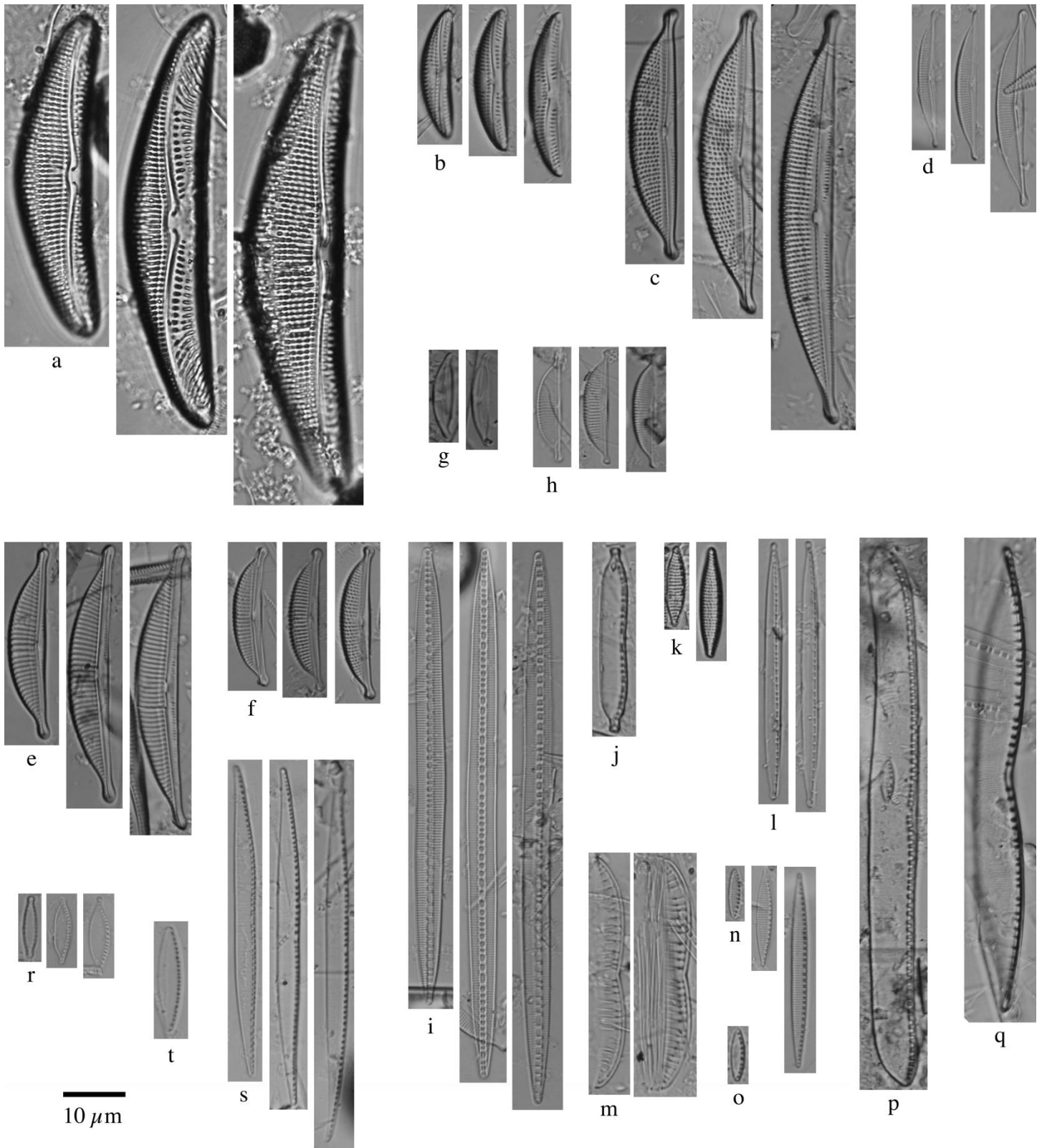


Figura 29. Diatomeas bentónicas de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. a. *Amphora mexicana*, b. *Amphora proteus*, c. *Halamphora acusticula*, d. *Halamphora coffeaeformis*, e. *Halamphora cymbifera*, f. *Halamphora holsatica*, g. *Halamphora montana*, h. *Halamphora* sp. 1, i. *Bacillaria paxillifera*, j. *Hantzschia* sp. 2, k. *Nitzschia amphibia*, l. *Nitzschia distans*, m. *Nitzschia epithemioides*, n. *Nitzschia incognita*, o. *Nitzschia inconspicua*, p. *Nitzschia kurzeana*, q. *Nitzschia littorea*, r. *Nitzschia microcephala*, s. *Nitzschia nana*, t. *Nitzschia ovalis*.

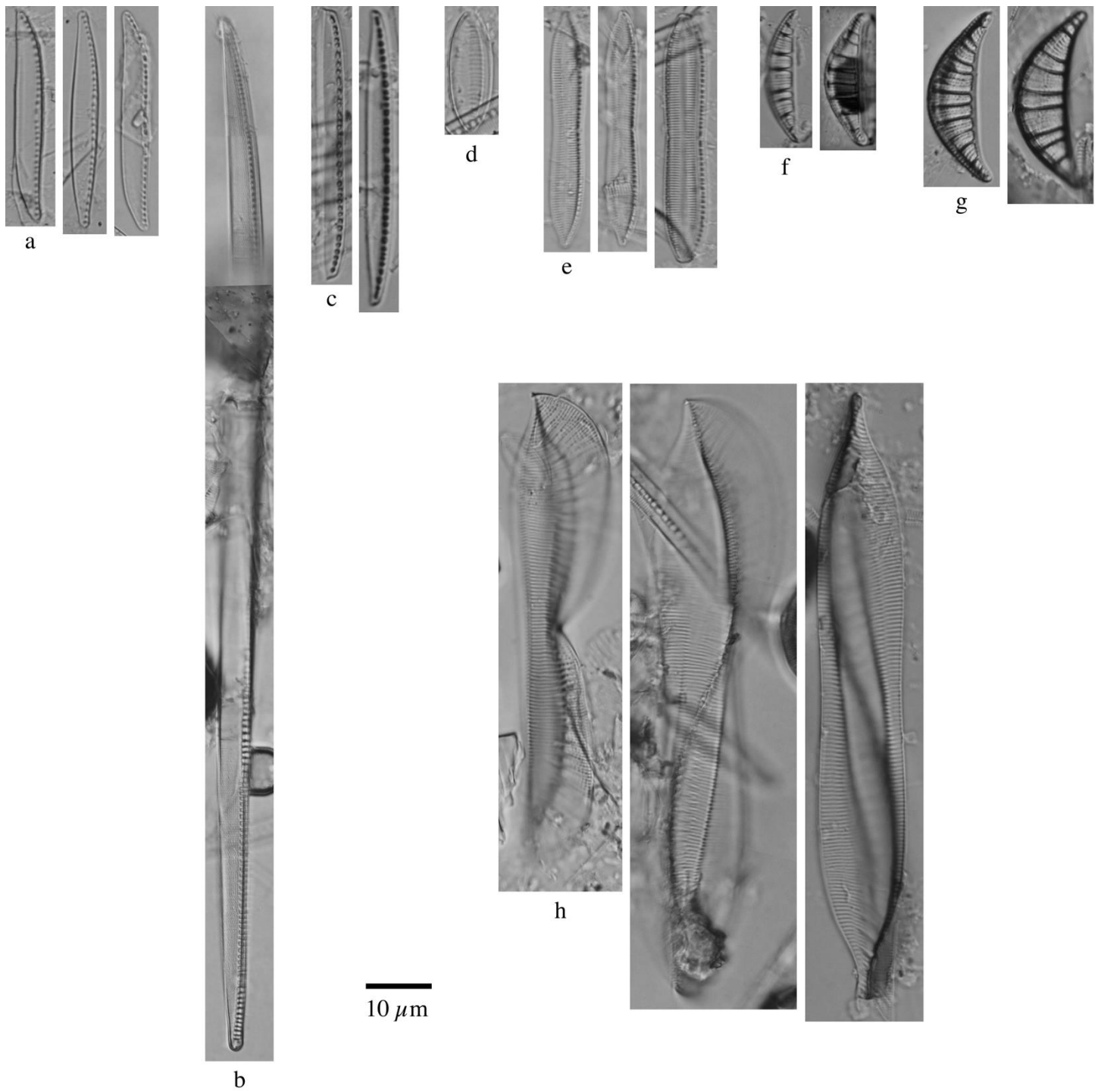


Figura 30. Diatomeas bentónicas de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. a. *Nitzschia scalpeliformis*, b. *Nitzschia sigmoidea*, c. *Nitzschia* sp. 2, d. *Tryblionella debilis*, e. *Tryblionella hungarica*, f. *Epithemia gibberula*, g. *Epithemia musculus*, h. *Entomoneis alata*.

En cuanto a la riqueza de especies, en la época de secas se registraron entre 63 y 82 especies por sitio, mientras que en la época de lluvias esta riqueza disminuyó encontrando entre 20 y 60 especies por sitio en el Río Manialtepec (Fig. 31). La riqueza de especies presentó una tendencia a incrementarse hacia las partes bajas de la cuenca durante la época de secas, pues incrementa la disponibilidad de recursos así como la heterogeneidad ambiental; en la época de lluvias esta tendencia no se observó, al contrario, la mayoría de sitios con los mayores número de especies se encontraron en las partes altas de la cuenca, pues con el estrés provocado por la subida en el nivel del agua, estas zonas constituyen refugios para las especies, dado que el nivel del agua no incrementa como en el resto de las zonas.

Los valores de diversidad del índice de Shannon (H') en la época de secas se encontraron entre 2.0 y 3.3, con la mayoría de los sitios en niveles intermedios (entre 2 y 3) (Fig. 31), aumentando hacia las partes bajas de la cuenca, sin embargo, en el sitio Planta de Tratamiento se obtuvieron los menores valores, mostrando señales de alteración en la comunidad de diatomeas. En la época de lluvias los valores del índice se encontraron entre 1.4 y 3.3, en este caso el valor más bajo se encontró en el sitio La Hondura El Pollito, mientras que en la Planta de Tratamiento los niveles se incrementaron debido a que con las lluvias la comunidad de diatomeas mostró una recuperación.

Los niveles de equitatividad (J') en la época de secas se encontraron entre 0.4 y 0.7 (Fig. 31), con los menores valores en la Planta de Tratamiento y el mayor valor en Barrio del Carmen, con ello podemos ver que las especies abundan en la comunidad de una manera más homogénea en este último sitio, mientras que en el primero existen especies que dominan la comunidad, siendo capaces de tolerar los niveles de contaminación respectivos. En la época de lluvias los valores se registraron entre 0.4 y 0.9, en este caso los valores menores se obtuvieron en la Hondura El Pollito, en donde el violento flujo de agua pudo ser la causa de que una especie capaz de desarrollarse en esas condiciones dominara la comunidad, mientras que en el sitio San José Manialtepec se obtuvo el valor más alto, en donde la mayoría de las especies presentaron abundancias similares.

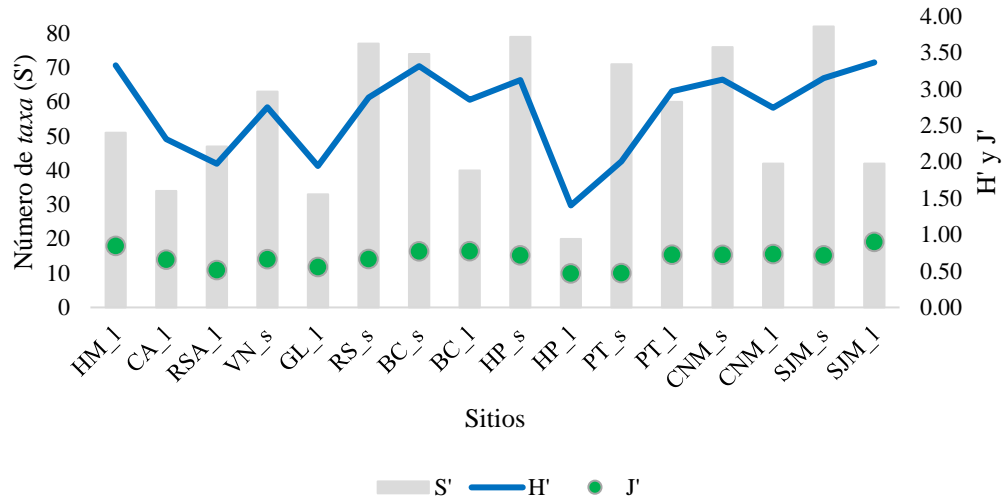


Figura 31. Índices de riqueza (S'), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J') de las diatomeas bentónicas en los sitios del Río Manialtepec, Oaxaca durante temporada de secas y lluvias. HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA- Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS-Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM- Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje. s= secas, l=lluvias.

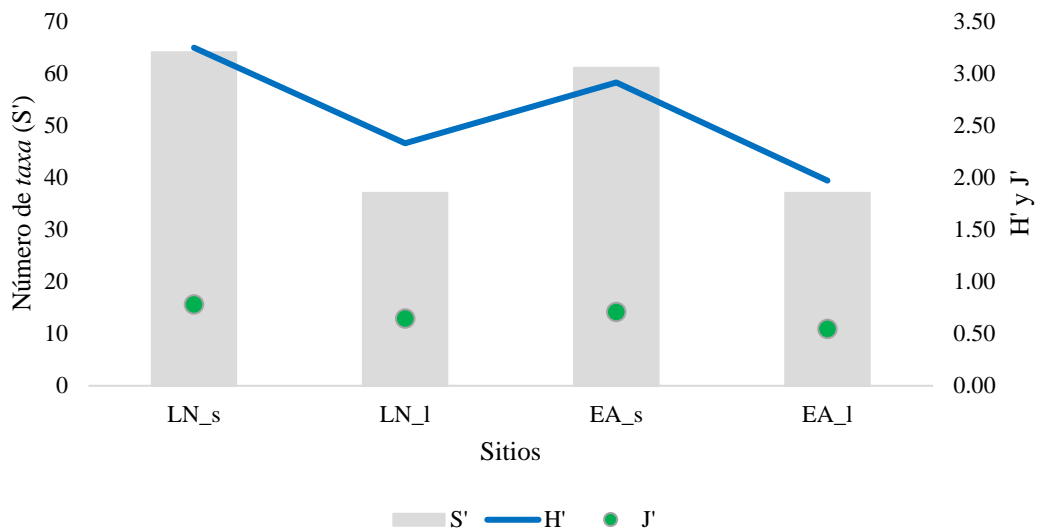


Figura 32. Índices de riqueza (S'), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J') de las diatomeas bentónicas en los sitios de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca durante temporada de secas y lluvias. LN-Las Negras, EA-El Aguaje. s= secas, l=lluvias.

En el caso de los sitios de la Laguna de Manialtepec, la riqueza de especies registrada en la época de secas fue de 61 a 64 especies, mientras que en la época de lluvias esta riqueza disminuyó encontrándose 37 especies por sitio (Fig. 32).

Los valores de diversidad del índice de Shannon (H') en la época de secas fueron bastante similares, con valores entre 2.9 y 3.2 (Fig. 32), disminuyendo en la época de lluvias (1.9 y 2.3), siguiendo la misma tendencia de la riqueza de especies.

De la misma manera, los valores de equitatividad fueron mayores en la época de secas (0.71 a 0.78) a los de la época de lluvias (0.54 a 0.64) (Fig. 32). Con ello podemos ver que la temporada de secas favorece a la diversidad de las comunidades de diatomeas en la Laguna.

En la Tabla 6 se presentan las abundancias relativas de las especies de diatomeas bentónicas en los sitios de monitoreo.

De acuerdo con la composición de especies dominantes en los sitios de monitoreo del Río Manialtepec (Fig. 33), podemos resaltar que *Melosira varians* dominó el sitio Río Salado en la época de secas, esta especie puede formar largas cadenas de muchas células y se desarrolla mejor en la época de secas cuando los nutrientes se concentran en el agua y la velocidad de corriente disminuye (Cantonati et al., 2017; Salinas-Camarillo et al., 2020).

La especie *Ulnaria biceps* tuvo una mayor abundancia en la época de secas, principalmente en el sitio Barrio del Carmen (Fig. 33), esta especie suele desarrollarse mejor cuando la velocidad de corriente disminuye en la época de secas, además de preferir cargas moderadas de nutrientes en el agua (Cantonati et al., 2017; Salinas-Camarillo et al., 2020).

Las especies *Cocconeis euglypta* y *Planothidium biporumum* fueron especies abundantes principalmente en la temporada de lluvias (Fig. 33) , pues al desarrollarse en la parte basal de los biofilms pueden resistir las elevadas velocidades de corriente que se alcanzan en la temporada, además de preferir aguas bien oxigenadas con bajas concentraciones de nutrientes (Cantonati et al., 2017; Salinas-Camarillo et al., 2020). Los sitios en los que estas especies fueron dominantes se encontraron en la parte alta y media de la cuenca.

La especie *Navicula incarum* fue dominante en dos sitios durante la temporada de lluvias (Fig. 33). Las especies del género presentan preferencias ecológicas muy diversas, pero cuentan con la capacidad de desplazarse en el biofilm en busca de las mejores condiciones o de refugio ante las fuertes corrientes (Cantonati et al., 2017; Salinas-Camarillo et al., 2020).

Las especies *Sellaphora atomoides* y *Sellaphora saugerresii* fueron dominantes en más sitios durante la temporada de lluvias, aunque también en la Planta de Tratamiento durante la temporada de secas (Fig. 33), ambas especies se desarrollan mejor en condiciones de elevadas cargas de materia orgánica, bajas concentraciones de oxígeno y en donde los sedimentos son más finos, señalando procesos de erosión (Cantonati et al., 2017; Salinas-Camarillo et al., 2020).

La especie *Gomphonema pumilum* fue abundante en los sitios Velo de Novia, Honduras El Pollito (lluvias) y San José Manialtepec (lluvias), esta especie se desarrolla mejor en aguas con bajo contenido de materia orgánica y puede tolerar niveles medios de enriquecimiento de nutrientes.

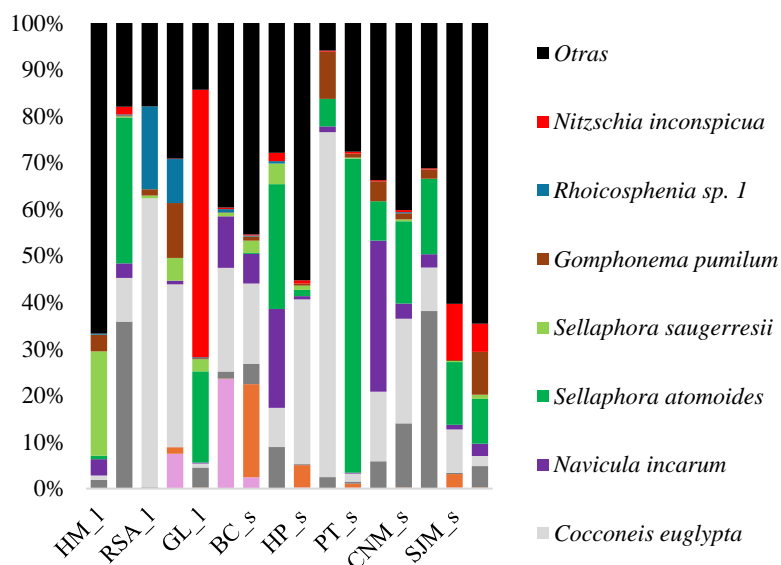


Figura 33. Composición de las especies de diatomeas bentónicas dominantes (>10 %) de los sitios del río Manialtepec, Oaxaca. HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA- Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS-Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM- Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje. s= secas, l=lluvias.

La especie *Rhoicosphenia* sp. 1 fue abundante en los sitios Río Salado Alto y Velo de Novia, esta especie prefiere aguas bien oxigenadas con elevada velocidad de corriente y bajas concentraciones de nutrientes y de materia orgánica (Salinas-Camarillo et al., 2020).

La especie *Nitzschia inconspicua* fue abundante en los sitios Granja Lachao y San José Manialtepec, esta especie es una indicadora de contaminación por nutrientes y es común encontrarla en sitios en donde los sedimentos son finos, mostrando así señales de erosión (Cantonati et al., 2017; Salinas-Camarillo et al., 2020).

En cuanto a las comunidades de la Laguna de Manialtepec, ambos sitios presentaron una composición de especies casi idéntica, con especies con la capacidad de desarrollarse en ambientes de aguas salobres, sin embargo, la estructura de las comunidades tuvo diferencias considerables (Fig. 34). En el sitio Las Negras se presentó una gran abundancia de la especie *Melosira moniliformis* var. *octagona* en ambas temporadas, la cual suele desarrollarse de formando cadenas adheridas a otras algas filamentosas que estuvieron presentes en el sitio.

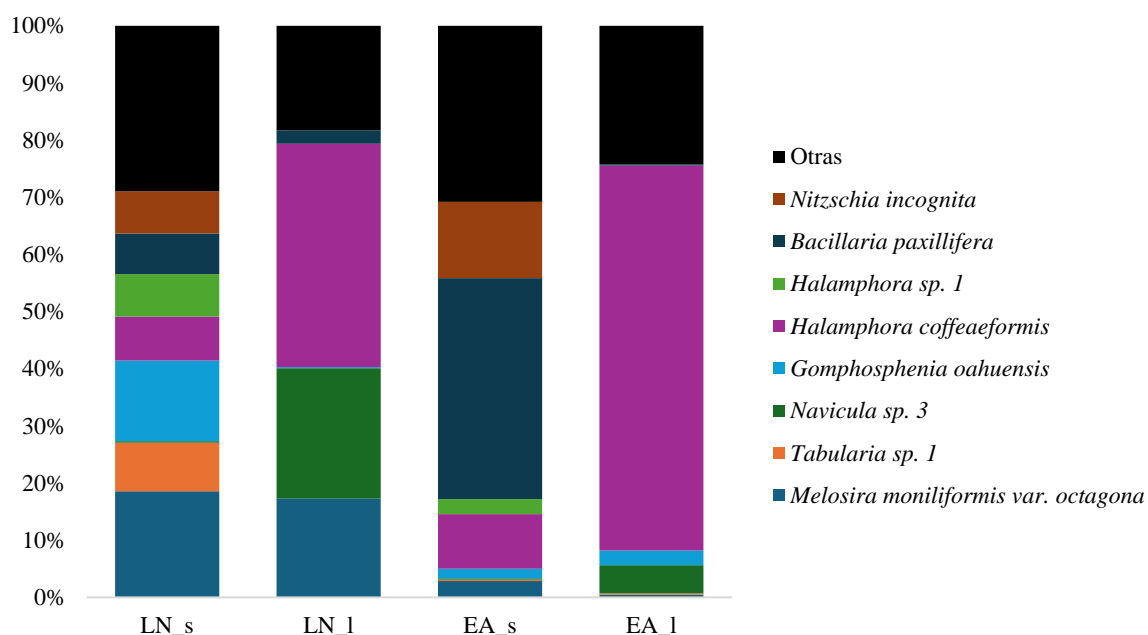


Figura 34. Composición de las especies de diatomeas bentónicas más abundantes (>5%) de los sitios de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. LN-Las Negras, EA-El Aguaje. s= secas, l=lluvias.

En este sitio durante la temporada de secas se distribuyó la abundancia de otras 6 especies de manera homogénea en la comunidad, mientras que en la época de lluvias las especies

Navicula sp. 3 y *Halamphora coffeaeformis* dominaron el resto de la comunidad, esta última especie se ha reportado como dominante en ambientes de agua salobre con cambios en los niveles del agua por las mareas.

En el sitio El Aguaje se encontró que la especie dominante durante la época de secas fue *Bacillaria paxillifera*, la cual además de la preferencia por aguas salobres, suele estar relacionada con fuentes de contaminación antropogénica (Cantonati *et al.*, 2017). En la época de lluvias la comunidad estuvo dominada por la especie *Halamphora coffeaeformis*.

Si bien no existe aún un índice diseñado para evaluar la calidad ecológica a partir de las comunidades de diatomeas para la región, se decidió utilizar el índice trófico de diatomeas (TDI) (Kelly y Whitton, 1995) para resumir la información ecológica que estos organismos aportaron. Este índice fue diseñado para evaluar el estado trófico de cuerpos de agua en Reino Unido, sin embargo, tiene la ventaja de poder asignar puntuaciones a nivel de género o de grupos de especies similares. Los resultados presentados a continuación (Fig. 35) deberán ser tomados con cautela, pues las preferencias ecológicas de las especies presentes en la cuenca evaluada podrían ser diferentes a las que el índice considera.

En la parte alta de la cuenca el sitio Río Salado Alto se clasificó como oligotrófico, o con una muy baja cantidad de nutrientes, mientras que los sitios Velo de Novia y Río Salado se clasificaron como oligo-mesotróficos, es decir, con una baja cantidad de nutrientes. Resalta que el sitio Hondura del Metate y Granja Lachao se clasificaron como eutróficos, o con una importante contaminación con nutrientes, esto puede responder a que en dichos tramos se observaron cultivos en los márgenes de los arroyos, así como una falta de vegetación de ribera. En la salida de San Juan Lachao, en el sitio Barrio del Carmen la categoría fue mesotrófica en la época de secas y eutrófica en la época de lluvias, señalando un arrastre de nutrientes durante esta última época.

En la parte media de la cuenca en Santos Reyes Nopala, el sitio con la mejor calificación fue la Hondura El Pollito, que en la época de lluvias alcanzó la categoría de oligotrófico, sin embargo, en la Planta de Tratamiento la calidad fue eutrófica en la época de secas, evidenciando la contaminación por las aguas residuales, este mismo sitio en la época de lluvias se recupera a la categoría de mesotrófico gracias al volumen de agua que escurre y

diluye los aportes de la planta de tratamiento. En el sitio Cerro del Aire se obtuvo una categoría de oligo-mesotrófico, señalando una baja concentración de nutrientes. En el sitio Confluencia Neblina y Maíz la comunidad de diatomeas muestra una recuperación después de las afectaciones de la planta de tratamiento, con categorías de mesotrófico en la época de secas y de oligo-mesotrófico en la época de lluvias.

En la parte baja de la cuenca en el sitio San José Manialtepec la calidad que las diatomeas reflejaron fueron de condiciones mesotróficas en la época de secas y empeorando en la época de lluvias con una condición eutrófica. En este sitio se juntan los aportes de la cuenca y el flujo de agua es más lento, por lo que los nutrientes se concentran. Se debe señalar que este sitio se mostró severamente impactado por la extracción de materiales pétreos del lecho del río, lo que resulta problemático pues se tiene una alta cantidad de nutrientes pero no sustratos disponibles para que los productores primarios se puedan desarrollar para aprovecharlos y evitar que estos lleguen a la Laguna de Manialtepec, donde las aguas estáticas son más vulnerables a procesos de eutrofización.

En la Laguna de Manialtepec, el sitio Las Negras obtuvo una categoría de condiciones eutróficas en la época de secas e hipertróficas en la época de lluvias, condición que se presentó en ambas temporadas en el sitio El Aguaje (Fig. 35). Si bien las concentraciones de nutrientes obtenidas en la Laguna mediante los kits utilizados no señalaron concentraciones elevadas, los organismos bioindicadores como las diatomeas evidencian procesos que ocurren en los sistemas acuáticos a lo largo del tiempo. De esta manera, podría ser que los nutrientes disponibles sean rápidamente aprovechados por los productores primarios tanto de la columna de agua como del fondo.

Es recomendable continuar con los esfuerzos para poder reconocer las preferencias ecológicas de las especies presentes en la cuenca para poder desarrollar índices locales o regionales que permitan interpretar la información que estos organismos bioindicadores nos proveen de manera más precisa.

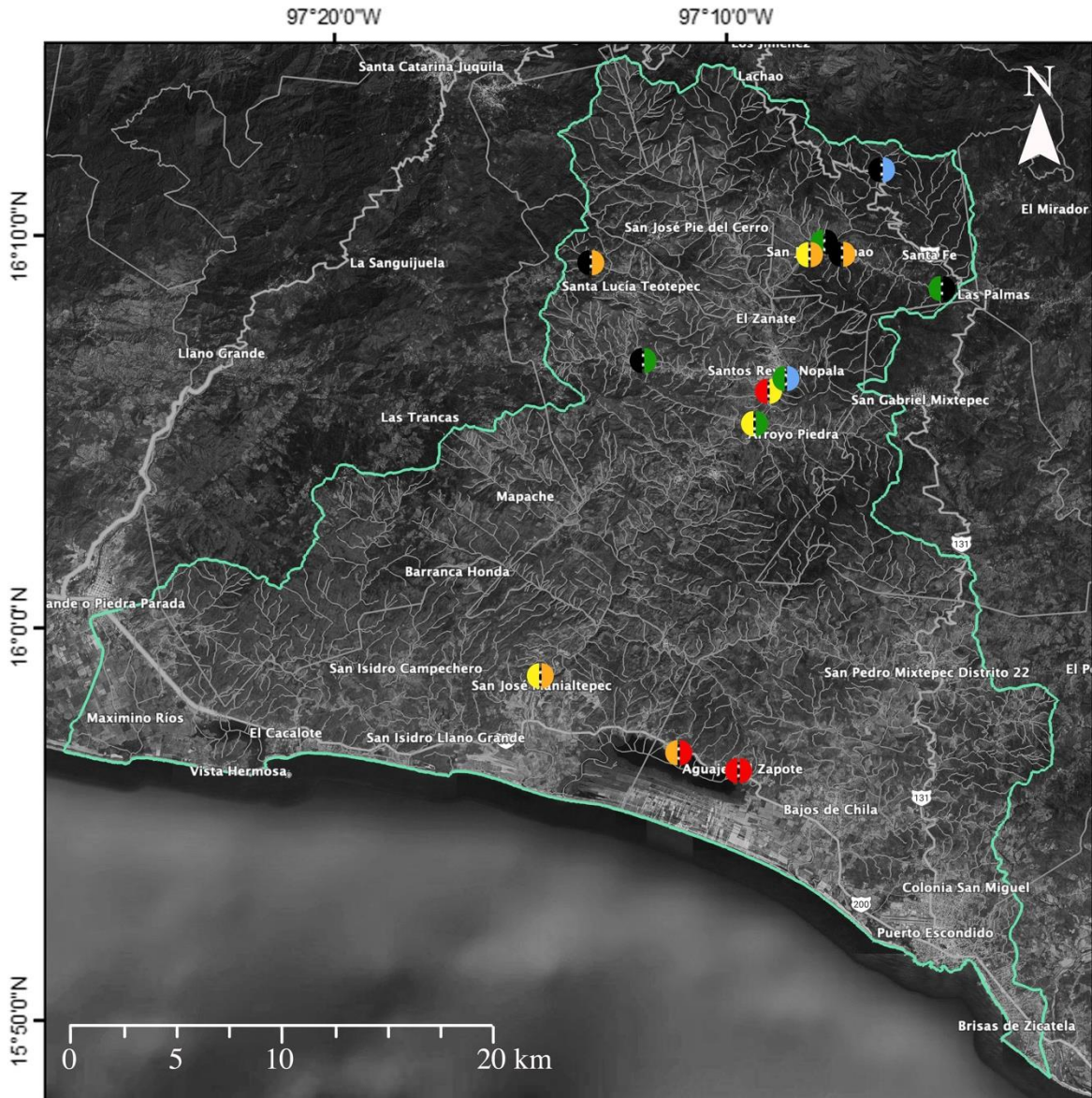


Figura 35. Categorías del índice trófico de diatomeas (TDI) para los sitios de monitoreo en las épocas de secas y lluvias en la cuenca del Río Maniatipec y la Laguna de Maniatipec, Oaxaca.

Tabla 6. Abundancia relativa de las diatomeas bentónicas en las épocas de secas y lluvias en la cuenca del Río Manialtepec y en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca.

Especie	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1
<i>Aulacoseira</i> sp. 1			0.26																	
<i>Melosira moniliformis</i> var. <i>octagona</i>																	18.57	17.29	2.86	0.47
<i>Melosira undulata</i>			0.26																	
<i>Melosira varians</i>				7.48		23.53	2.42		0.23		0.21				0.22					
<i>Orthoseira</i> sp. 1				0.12																
<i>Terpsinoë musica</i>				0.12																
<i>Cyclotella striata</i>																	1.34		0.24	0.74
<i>Stephanodiscus medius</i>				0.12																
<i>Stephanodiscus</i> sp. 1																	0.27	0.20	1.19	0.23
<i>Stephanocyclus meneghiniana</i>									0.23		0.21		0.22				0.27	0.39	0.24	0.23
<i>Conticribra weissflogii</i>																	0.27			
<i>Thalassiosira</i> sp. 1																	0.27		0.24	
<i>Fragilaria</i> sp. 1	1.64		0.26	3.91	0.22	1.17	0.66		0.23	0.49	0.21	0.78			0.22	0.22				
<i>Tabularia</i> sp. 1																	8.49		0.24	0.23
<i>Tabularia</i> sp. 2																	0.59		0.24	
<i>Ulnaria biceps</i>				1.40	0.22	0.12	20.01		4.81		0.86		0.22		2.90	0.22				
<i>Ulnaria gouldardii</i>			0.26	0.35		0.23	0.44		0.23		0.21	0.24	0.22		0.22	0.22	0.27			
<i>Ulnaria ulna</i>	0.23		0.26	2.54		1.17	0.22	0.53	0.23	0.25	0.21	0.24	0.22	0.24	0.22					
<i>Eumotia</i> sp. 1			3.20	0.12		0.12	0.22		0.23			0.24								
<i>Achnanthes angustata</i>																	0.27		2.39	
<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i>																	4.35	0.79	1.19	0.23
<i>Achnanthes curvirostrum</i>																	1.19	0.79	0.24	
<i>Achnanthes inflata</i>			0.26																	
<i>Achnanthidium</i> sp. 1	1.64	1.25	1.60	8.52		6.29	2.19	0.27	0.45		0.21		1.12		0.22	2.41				
<i>Achnanthidium</i> sp. 2					0.86				5.30		0.21	0.46		0.24						
<i>Achnanthidium</i> sp. 3																	1.34		0.48	
<i>Gogorevia exilis</i>	9.35	1.56	0.80	0.78	1.83	0.12	0.22	0.27	0.91		0.43	1.19	0.22	4.29	1.11	0.44				
<i>Gogorevia</i> sp. 1																		0.20		0.20

Especie	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1
<i>Karayevia</i> sp. 1	0.47		0.26	0.12	0.22	0.12														
<i>Planothidium biporum</i>	1.87	35.87	0.26		4.30	1.51	4.39	8.94	0.23	2.47	0.43	5.86	13.80	38.12	0.22	4.60				
<i>Planothidium campechianum</i>																	0.40	0.20	0.95	0.47
<i>Planothidium cryptolanceolatum</i>	4.21		0.40	0.12																
<i>Planothidium frequentissimum</i>	2.10	0.21	0.26	0.12	0.22	0.12	0.22	0.27			0.21	0.46	0.22		5.80					
<i>Planothidium incuriatum</i>			0.26	0.12		0.12					0.21				24.85					
<i>Planothidium lagerheimii</i>			0.26			0.12	0.22		4.54			0.24								
<i>Planothidium rostratoholarticum</i>		0.21							0.23		0.21	0.24	0.22	0.95	1.34					
<i>Platessa bahlsii</i>	0.23	0.21	0.26	0.12		0.12	0.22		0.23			0.46								
<i>Anorthoneis dulcis</i>															2.23					
<i>Cocconeis euglypta</i>	0.93	9.38	62.09	34.99	0.86	22.25	17.22	8.41	35.38	74.07	1.71	14.96	22.45	9.36	9.36	2.19				
<i>Cocconeis</i> sp. 1																	0.27			
<i>Craspedostauros</i> sp. 1																	0.27		0.24	
<i>Mastogloia pumila</i>																	0.27		0.24	0.23
<i>Amphipleura chiapasensis</i>	0.23		0.26	3.32		8.50	1.76	0.27	0.23		0.21	0.24	0.22		0.22	0.22				
<i>Frustulia asiatica</i>	0.23					0.12			0.23											
<i>Nupela praecipuoides</i>	2.57		0.80	0.12	0.22	0.23	0.22	0.53	0.23				0.22							
<i>Diademsis confervacea</i>											0.21	0.24	0.22	0.24	0.22	0.22	0.27			
<i>Humidophila contenta</i>			0.26								0.21	0.59								
<i>Humidophila</i> sp. 1															0.22					
<i>Luticola</i> sp. 1	0.23			0.12			0.22	0.27					0.22							
<i>Luticola</i> sp. 2	0.23		0.26			0.12						0.24			0.45	0.44				
<i>Luticola</i> sp. 3															1.34					
<i>Luticola</i> sp. 4															0.22					
<i>Luticola</i> sp. 5																	0.27		0.24	
<i>Luticola</i> sp. 6			0.26																	
<i>Luticola</i> sp. 7																				0.23
<i>Diploneis subovalis</i>													0.22							
<i>Diploneis</i> sp. 1																	0.27	0.59	0.95	0.23
<i>Diploneis</i> sp. 2																	0.27	0.20	0.48	
<i>Adlafia minuscula</i>					0.22				0.23							0.22				

Especie	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1
<i>Adlafia suchlandtii</i>	0.23	0.63		0.46		0.23	0.88		0.68	0.25	0.21	0.78	1.12	5.72	0.22	0.44				
<i>Caloneis fontinalis</i>						0.12	0.22		0.23			0.24								
<i>Capartogramma crucicola</i>				0.12		0.47	0.22						0.22		0.22					
<i>Geissleria decussis</i>		0.21		0.12		0.12	2.19		1.13		0.21	0.24	1.31	0.71	0.45					
<i>Geissleria punctifera</i>	1.17			0.12	0.22	0.12	0.22	0.27	0.68	0.25	0.21	0.24	5.70	0.48	1.11					
<i>Gyrosigma balticum</i>																	0.27	0.20	0.24	0.23
<i>Gyrosigma kuetzingii</i>						0.12	0.22				0.21	0.24	0.22		0.22					
<i>Gyrosigma obtusatum</i>						0.12	0.22	0.27							0.22					
<i>Hippodonta subrhombica</i>						0.12	0.22		0.23		0.21				0.45					
<i>Hippodonta</i> sp. 1															0.22					
<i>Kobayasiella</i> sp. 1	6.78	0.83	0.26				0.22	1.84	0.23		0.21									
<i>Navicula adversa</i>	0.23		0.26										1.50	0.22	0.48	0.22				
<i>Navicula amphiceropsis</i>							0.22								0.45	0.22				
<i>Navicula canalis</i>	0.23														0.22					
<i>Navicula capitatoradiata</i>				0.12		0.47	0.66	0.27	0.68		0.21	0.24	0.65	0.24		0.22				
<i>Navicula cryptotenella</i>	0.75		0.26			0.12			0.23			0.24		0.95						
<i>Navicula erifuga</i>	0.23	0.42		0.12	0.22		0.22	0.27	0.23		0.64	2.38	0.22	0.71	0.22	0.44				
<i>Navicula escambia</i>	3.27	1.46		0.46	0.86	3.43	1.17	1.58	0.91	0.74	0.21	4.49	0.22	0.71	0.22	8.05				
<i>Navicula germainii</i>												0.24								
<i>Navicula gregaria</i>	1.64	0.21	0.26	0.12		0.12	0.22		0.23		0.21		0.22	0.48						
<i>Navicula incarum</i>	3.50	3.13		0.78	0.22	11.07	6.37	21.23	0.68	1.23	0.21	32.45	3.27	2.86	0.99	2.63				
<i>Navicula ingapirica</i>		0.21							0.23	0.25			0.22	0.24	0.67					
<i>Navicula lohmanii</i>	0.23			0.12		0.12						0.24	0.22	0.24						
<i>Navicula longicephala</i>							0.22					0.46								
<i>Navicula platyventris</i>																	0.27		0.24	
<i>Navicula recens</i>			0.26									0.78			0.22	0.88				
<i>Navicula rostellata</i>	0.23			0.12		0.35	0.44		0.23		0.21	0.59	0.22		0.22					
<i>Navicula tenelloides</i>	0.71	4.11			5.59	0.12	0.22	7.36	0.68	1.73	0.21	6.84	1.31	3.57	0.99	6.35				
<i>Navicula</i> sp. 1			0.26	0.12		0.12									0.22					
<i>Navicula</i> sp. 2																	0.59	0.20	0.95	
<i>Navicula</i> sp. 3																	0.27	22.79	0.24	4.92

Especie	HM_I	CA_I	RSA_I	CVN_s	GL_I	RS_s	BC_s	BC_I	HP_s	HP_I	PT_s	PT_I	CNM_s	CNM_I	SJM_s	SJM_I	LN_s	LN_I	EA_s	EA_I
<i>Navicula</i> sp. 4																	0.27	0.59	0.24	2.11
<i>Navicula</i> sp. 5																	0.27	0.20	2.15	
<i>Navicula</i> sp. 6																	0.27		0.24	
<i>Navicula</i> sp. 7																	0.27	2.36	0.24	2.81
<i>Navicula</i> sp. 8																	0.27	1.38	0.24	3.52
<i>Navicula</i> sp. 9																	0.27		0.24	
<i>Navicula</i> sp. 10																	0.27			0.23
<i>Navicula</i> sp. 11																	0.27			
<i>Navicula</i> sp. 12																	0.27		1.19	
<i>Navicula</i> sp. 13																	0.27		2.15	
<i>Navicula</i> sp. 14																		0.20		0.23
<i>Navicula</i> sp. 15																		0.20		
<i>Neidium</i> sp. 1	0.23																			
<i>Seminavis eulensteinii</i>																		0.20	0.48	0.23
<i>Seminavis</i> sp. 1																	0.27			0.23
<i>Envekadea vanlandinghamii</i>																	0.27			
<i>Pinnularia acoricola</i>																	0.27			
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>																	0.27			
<i>Pinnularia gibba</i>						0.35	0.22		0.23		0.21	0.24	0.22		0.22					
<i>Pinnularia jocolata</i>														0.24			0.27			
<i>Pinnularia parvulissima</i>							0.22				0.24									
<i>Pinnularia saprophila</i>																				0.24
<i>Pinnularia subgibba</i>			0.26						0.23				0.22			0.22				
<i>Pinnularia viridiformis</i>				0.12		0.12	0.22		0.23		0.21		0.22		0.22					
<i>Pinnularia</i> sp. 1				0.12					0.23											
<i>Plagiotropis arizonica</i>																	0.27			
<i>Plagiotropis lepidoptera</i> var. <i>proboscidea</i>																				0.24
<i>Pleurosigma salinarum</i>																	0.27	0.20	1.68	
<i>Biremis lucens</i>																	0.27	0.20		0.47
<i>Fallacia insociabilis</i>				0.12					0.23						0.22					
<i>Fallacia meridionalis</i>															0.22	0.88				

Especie	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1
<i>Pseudofallacia tenera</i>																	0.27	0.20	0.24	
<i>Sellaphora atomoides</i>	0.75	31.35			19.58		0.22	26.82	1.36	5.93	67.45	8.44	17.66	16.20	13.50	9.64				
<i>Sellaphora cosmopolitana</i>	8.88					0.12	0.22	0.27	0.23	0.49	0.43	1.19		0.24						
<i>Sellaphora javanica</i>									0.23		0.21	0.46	0.22	1.19	0.22					
<i>Sellaphora laevisissima</i>											0.21		0.22							
<i>Sellaphora pseudopupula</i>			0.26																	0.24
<i>Sellaphora pupula</i>					0.22	0.12	0.22		0.23		0.21		0.44	0.24	0.22					
<i>Sellaphora saugerresii</i>	22.43	0.21	0.60	4.89	2.61	0.72	2.64	4.42	0.91		0.21		0.44		0.22	0.88				
<i>Sellaphora</i> sp. 1						0.12	0.22		0.23				0.22							
<i>Sellaphora</i> sp. 2				0.12																
<i>Sellaphora</i> sp. 3						0.12									0.22					1.17
<i>Sellaphora</i> sp. 4					0.65				0.45				0.22		0.22					
<i>Sellaphora</i> sp. 5					0.22			0.80	0.23		0.21	0.46	0.22		0.22					
<i>Craticula subminuscula</i>		3.34		0.12				0.27	0.23	0.25	7.80		1.74	0.95	1.11	7.45				
<i>Dorofeyukea kotschy</i>															0.22					
<i>Fistulifera</i> sp. 1	0.75	0.63		0.35		0.12	0.22	1.31	1.36	0.49	3.00	0.24	0.65	0.24	0.22	0.44				
<i>Prestauroneis</i> sp. 1																	0.20		0.72	
<i>Stauroneis thermicola</i>		0.21										0.24		0.24						0.24
<i>Stauroneis valderostrata</i>													0.22		0.45					0.23
<i>Stauroneis ventriosus</i>		0.21					0.22									0.22				
<i>Stauroneis</i> sp. 1				0.12																
<i>Staurophora salina</i>																	0.27		0.24	
<i>Cymbella affinis</i>		0.21							3.63		0.21		2.25		0.67	5.70				
<i>Cymbella mexicana</i>			0.26	0.12		0.12	0.22				0.21		0.22							
<i>Cymbella tropica</i>				0.12	0.22	1.75	5.94	0.27	3.63	0.25	0.21	0.46	1.31	0.71	0.67					
<i>Cymbella tumida</i>	0.23	0.21		0.12		1.63	1.76	0.27	0.23		0.21		0.22		0.22					
<i>Cymbella turgidula</i>		0.21	0.26					0.53			0.21					3.51				
<i>Encyonema jemtlandicum</i> var. <i>venezolanum</i>			0.26	0.12	0.22	0.12					0.21	0.24			0.22					
<i>Encyonema</i> sp. 1	0.23												0.22							
<i>Placoneis undulata</i>			0.26	0.12		0.12							0.22		0.22					
<i>Placoneis</i> sp. 1	0.23					0.12			0.23					0.24	0.45					

Especie	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1
<i>Placoneis</i> sp. 2											0.21		0.22							
<i>Placoneis</i> sp. 3			0.26				0.22				0.21		0.22							
<i>Placoneis</i> sp. 4						0.12	0.12		0.12						0.12					
<i>Placoneis</i> sp. 5											0.12									
<i>Gomphonema affine</i>	0.23		1.32			0.12													0.22	
<i>Gomphonema angustatum</i>	2.34			0.12		0.12			0.23		0.43		0.45		0.22	0.22				
<i>Gomphonema commutatum</i>						0.35	0.22	0.27	0.68											
<i>Gomphonema kobayashiae</i>	0.23			0.46		0.12	0.44	0.53	0.23		0.21	0.24	0.22							
<i>Gomphonema laticollum</i>			0.26						0.23				0.22		0.22					
<i>Gomphonema mexicanum</i>	0.23	0.21	0.26	0.12	0.22	0.93	5.93	3.42	1.36	0.25	0.64	1.37	1.53	0.71	0.22	0.66				
<i>Gomphonema parvulum</i>	1.87		0.26	0.46	0.22	0.93	3.51	0.27	2.57		0.43	0.24	6.34	1.67	0.22	4.82				
<i>Gomphonema pumilum</i>	3.56	0.21	1.32	11.80	0.22	0.12	0.88		0.45	10.12	0.86	4.30	1.31	1.99	0.22	9.20				
<i>Reimeria sinuata</i>				0.23		0.12	0.22		0.91		0.21	0.24	0.22	0.24						
<i>Reimeria uniseriata</i>						0.12	0.66	0.80	0.23				0.22							
<i>Gomphosphenia oahuensis</i>																	14.09	0.20	1.68	2.58
<i>Gomphosphenia</i> sp. 1						0.12														
<i>Rhoicosphenia</i> sp. 1	0.23	0.21	17.82	9.44	0.22	0.72	0.22	0.53					0.22							
<i>Amphora copulata</i>															0.22					
<i>Amphora mexicana</i>																	0.20		0.23	
<i>Amphora proteus</i>																	0.40	0.20	0.95	0.47
<i>Halamphora acusticula</i>																	0.27	0.20	0.24	
<i>Halamphora bicapitata</i>		0.21			0.22	0.12	0.22		0.23							0.44				
<i>Halamphora coffeaeformis</i>															0.22		7.70	39.09	9.55	67.34
<i>Halamphora cymbifera</i>																	0.27	1.96	1.43	3.99
<i>Halamphora holsatica</i>		0.21					0.22				0.21	0.24	0.22		0.22		3.82		0.24	
<i>Halamphora montana</i>	2.57				0.43	0.12	0.22	0.27	0.23			0.46							0.24	
<i>Halamphora</i> sp. 1																	7.43		2.62	
<i>Bacillaria paxillifera</i>															0.22		7.11	2.36	38.66	0.23
<i>Grunowia solgensis</i>	0.23						0.22	1.77	0.23		0.21	0.24	0.22	0.48						
<i>Hantzschia</i> sp. 1								0.27				0.24								
<i>Hantzschia</i> sp. 2																	0.20	0.24	0.23	

Especie	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1	
<i>Nitzschia amphibia</i>	0.23		0.26	0.12	0.65	0.12		1.31	0.23	0.25	0.21	0.46	0.22	0.24	1.34	4.38	0.27		0.24		
<i>Nitzschia clausii</i>																0.22					
<i>Nitzschia distans</i>																	0.40	1.96	2.86	1.64	
<i>Nitzschia epithemioides</i>																			0.24		
<i>Nitzschia graciliformis</i>						2.56	0.44				0.21				0.22						
<i>Nitzschia incognita</i>																	7.38		13.36		
<i>Nitzschia inconspicua</i>		1.67		0.12	57.45	0.35	0.22	1.77	0.68	0.25	0.43	0.24	0.44	0.24	12.04	6.03		0.20		0.74	
<i>Nitzschia kurzeana</i>															0.67			0.20		0.23	
<i>Nitzschia linearis</i>	0.47	0.21	0.26	0.23		1.51	0.88		0.23		0.21	0.59		0.24	0.22						
<i>Nitzschia littorea</i>																				0.24	
<i>Nitzschia microcephala</i>								0.53				0.46	0.22				1.38	0.79	0.24	1.17	
<i>Nitzschia nana</i>																	1.34	2.55	0.24	0.74	
<i>Nitzschia oligotraphenta</i>				0.12		0.23	0.22		0.23			0.24	0.22		0.22						
<i>Nitzschia ovalis</i>																			0.24	0.23	
<i>Nitzschia palea</i>	8.18			0.12		0.72	1.54		1.13		1.50	0.24	0.65	1.19	0.45	0.22					
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>debilis</i>	0.23	0.63			0.22		0.22	0.53	8.95			0.46		0.71	2.25	11.39					
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>tenuirostris</i>	0.23												1.96	0.95	0.22						
<i>Nitzschia scalpeliformis</i>																		0.27		0.24	
<i>Nitzschia sigmoidea</i>																		0.27			
<i>Nitzschia umbonata</i>											0.21		0.22								
<i>Nitzschia</i> sp. 1				0.35			4.39		3.86		0.21	0.24	0.65		0.22	2.41					
<i>Nitzschia</i> sp. 2																				0.24	
<i>Simonsenia</i> sp. 1				1.73		0.47	0.22		0.23				0.22		0.22						
<i>Tryblionella debilis</i>																				0.24	
<i>Tryblionella hungarica</i>																		0.27		0.24	
<i>Epithemia adnata</i>			0.26	0.12		0.12	0.22														
<i>Epithemia gibba</i>			0.26	0.12		0.12			0.23		0.21										
<i>Epithemia gibberula</i>			0.26		0.22				0.23											0.27	
<i>Epithemia musculus</i>																				0.27	
<i>Entomoneis alata</i>																		0.27	0.20	0.24	0.23
<i>Iconella tenera</i>						0.12	0.22		0.23		0.21		0.22		0.22						

Especie	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1
<i>Surirella angusta</i>						0.12	0.22						0.22							
<i>Surirella susanae</i>			0.26	0.58		0.47	0.22		0.23		0.21		0.22		0.22					

5.3.3 Macroalgas bentónicas

Se registraron 21 taxones de macroalgas bentónicas distribuidas en 4 Filos, 5 Clases, 10 Órdenes, 11 Familias y 13 Géneros. Los Filos Cyanobacteria y Chlorophyta tuvieron el mayor número de taxones (Fig. 36). Todos los crecimientos fueron identificados a nivel de morfotipo, ya que no se encontraron estructuras especializadas para poder clasificarlas de manera específica.

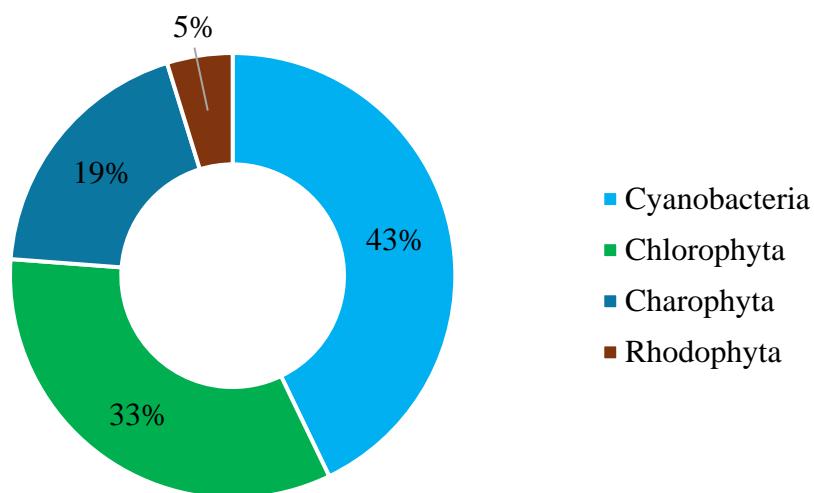


Figura 36. Proporción de los filos de macroalgas bentónicas en la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca.

De manera general se observó un mayor número de macroalgas durante la época de secas (18 taxones), ya que en todos los sitios de monitoreo se registraron crecimientos, por el contrario, durante la época de lluvias se registraron menos macroalgas (10 taxones) (Tabla 7).

En las figuras 37 a 46 se presentan fotografías de los crecimientos macroscópicos y microfotografías de los taxones registrados en los sitios del Río Manialtepec y de la Laguna de Manialtepec.

Tabla 7. Clasificación taxonómica de las macroalgas bentónicas en la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca.

Filo	Clase	Subclase	Orden	Familia	Género	Género	Figura
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocophycidae	Nostocales	Hapalosiphonaceae	<i>Nostochopsis</i>	<i>Nostochopsis</i> sp. 1	37 A-F
				Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena</i> sp. 1	38 A-B
					<i>Trichormus</i>	<i>Trichormus</i> sp. 1	38 C-D
					<i>Lyngbya</i>	<i>Lyngbya</i> sp. 1	38 E-F
				Oscillatoriothycidae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i>
		<i>Phormidium</i>	<i>Phormidium</i> sp. 1				40 A-D
		<i>Phormidium</i> sp. 2	40 E-F				
		<i>Phormidium</i> sp. 3	41 A-B				
		<i>Phormidium</i> sp. 4	41 C-F				
		Rhodophyta	Floridophyceae	Hildenbrandiophycidae	Hildenbrandiales	Hildenbrandiaceae	<i>Hildenbrandia</i>
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematophycidae	Spirogyrales	Spirogyraceae	<i>Spirogyra</i>	<i>Spirogyra</i> sp. 1	42 E-F
						<i>Spirogyra</i> sp. 2	43 A-B
						<i>Spirogyra</i> sp. 3	43 C-D
						<i>Spirogyra</i> sp. 4	43 E-F
Chlorophyta	Chlorophyceae		Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Stigeoclonium</i>	<i>Stigeoclonium</i> sp. 1	44 A-B
			Chlamydomonadales	Chlorococcaceae		Chlorococcaceae	44 C-D
			Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium</i>	<i>Oedogonium</i> sp. 1	44 E-F
			Sphaeropleales	Microsporaceae	<i>Microspora</i>	<i>Microspora</i> sp. 1	45 A-B
	Ulvophyceae		Cladophorales	Cladophoraceae	<i>Cladophora</i>	<i>Cladophora</i> sp. 1	45 C-E
					<i>Rhizoclonium</i>	<i>Rhizoclonium</i> sp. 1	46 AB
					Ulvales	Kornmanniaceae	<i>Blidingia</i>

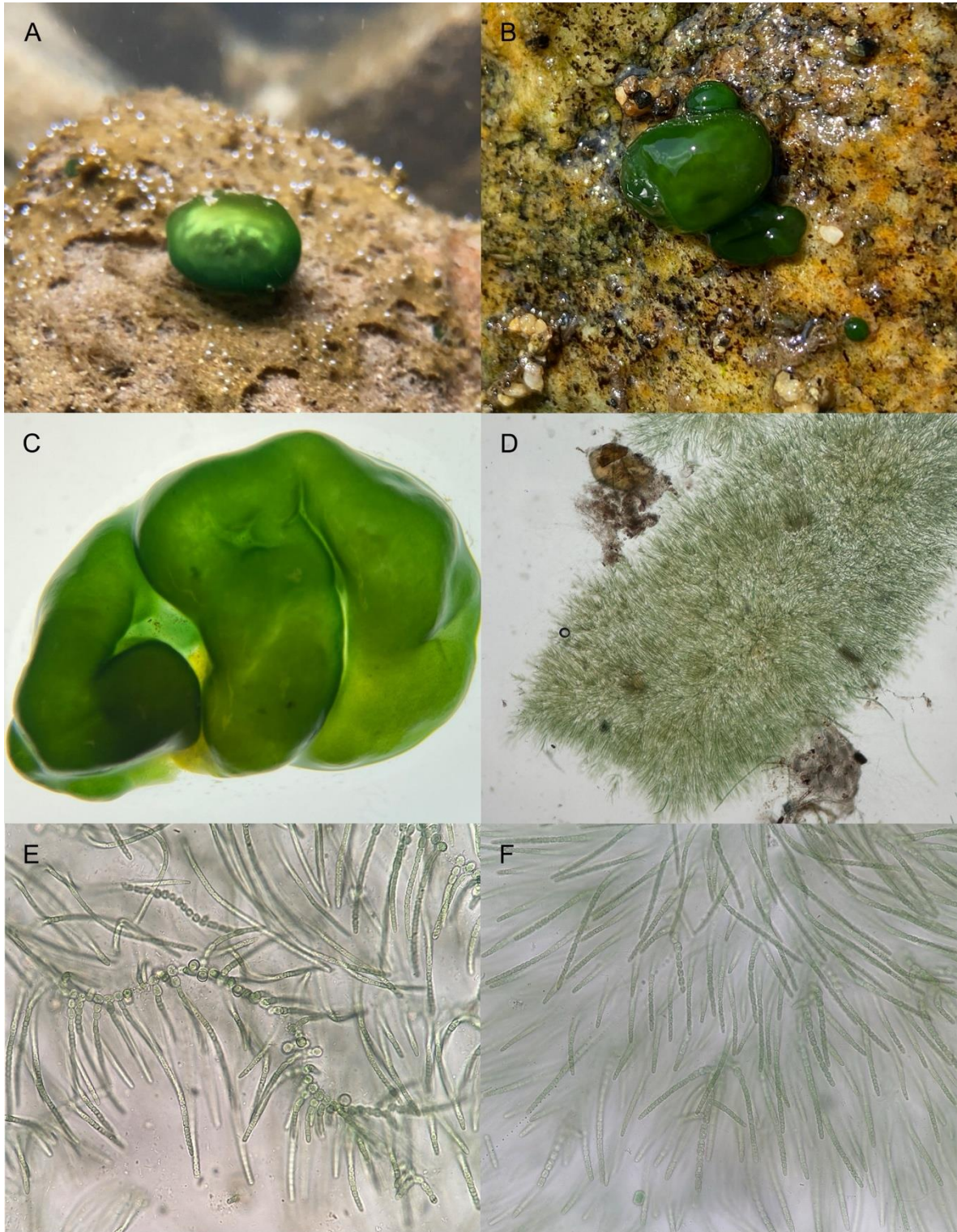


Figura 37. Crecimiento de macroalgas bentónicas del río Manialtepec. A-F *Nostochopsis* sp. 1. A-C Crecimiento macroscópico. D-F Acercamiento a los filamentos ramificados.

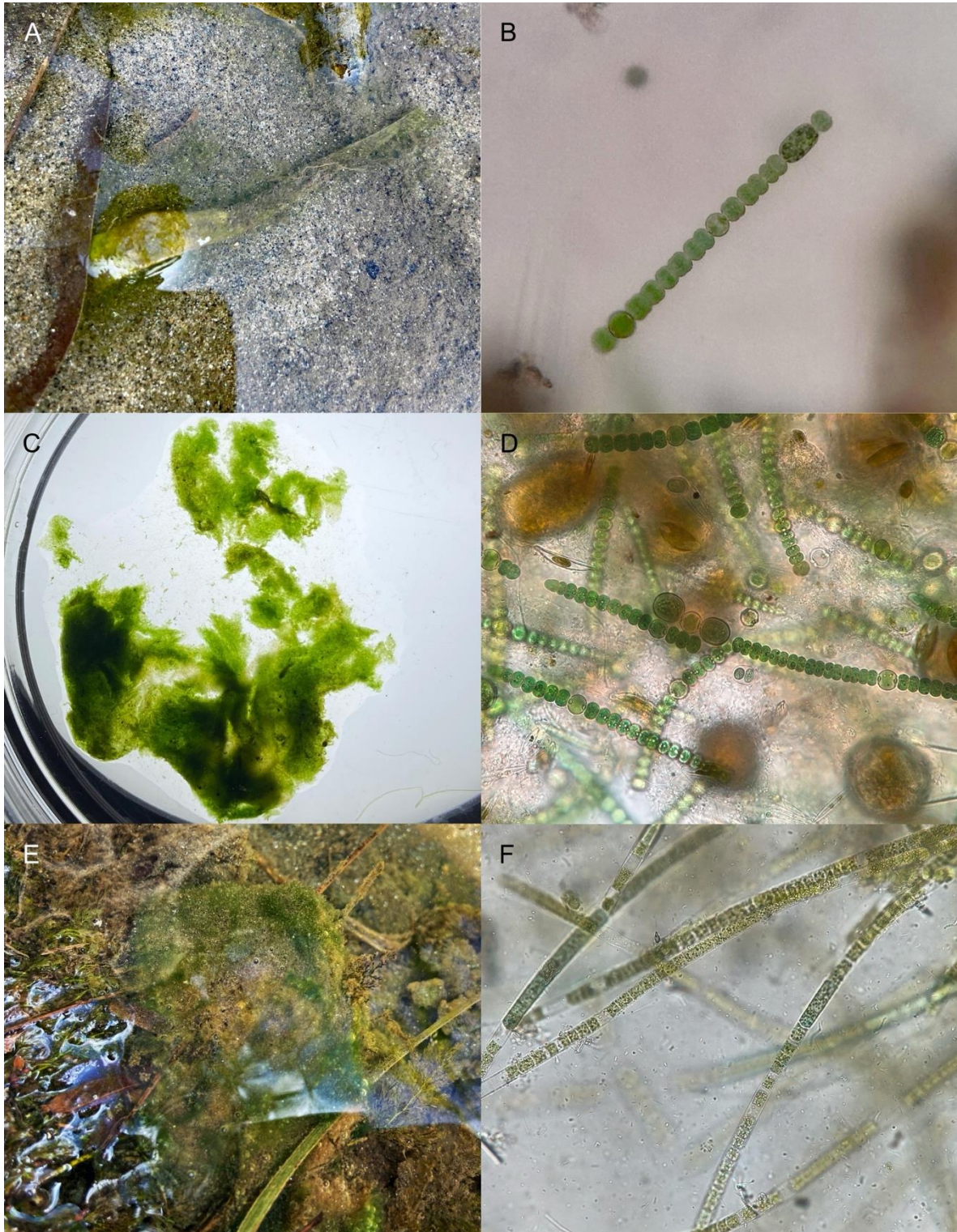


Figura 38. Crecimientos de macroalgas bentónicas del río Manialtepec. A-B *Anabaena* sp. 1. C-D *Trichormus* sp. 1. E-F *Lyngbya* sp. 1.

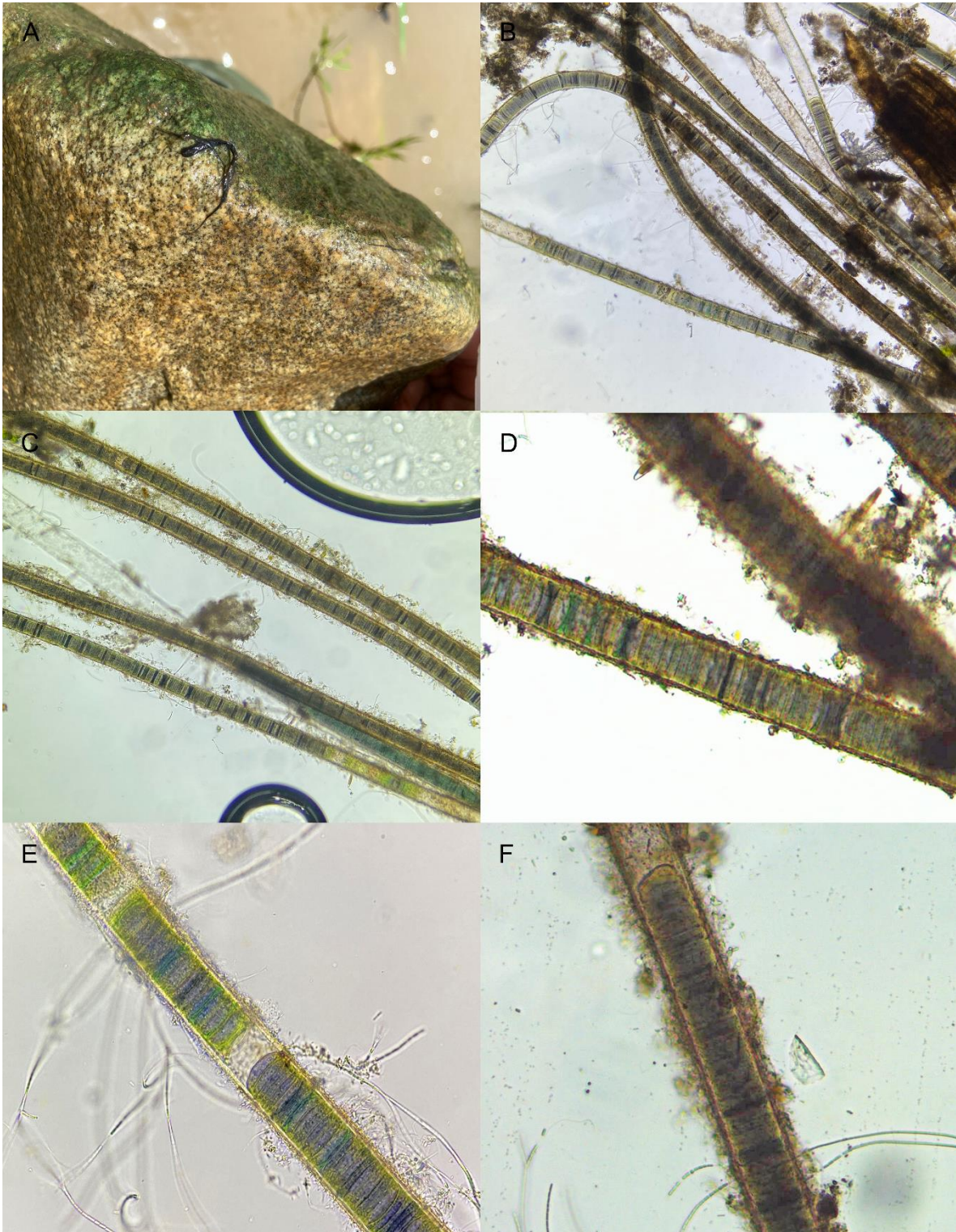


Figura 39. Crecimiento de macroalgas bentónicas del río Manialtepec. A-F *Lyngbya* sp. 2. A: Crecimiento macroscópico. B-F Acercamiento a los filamentos.

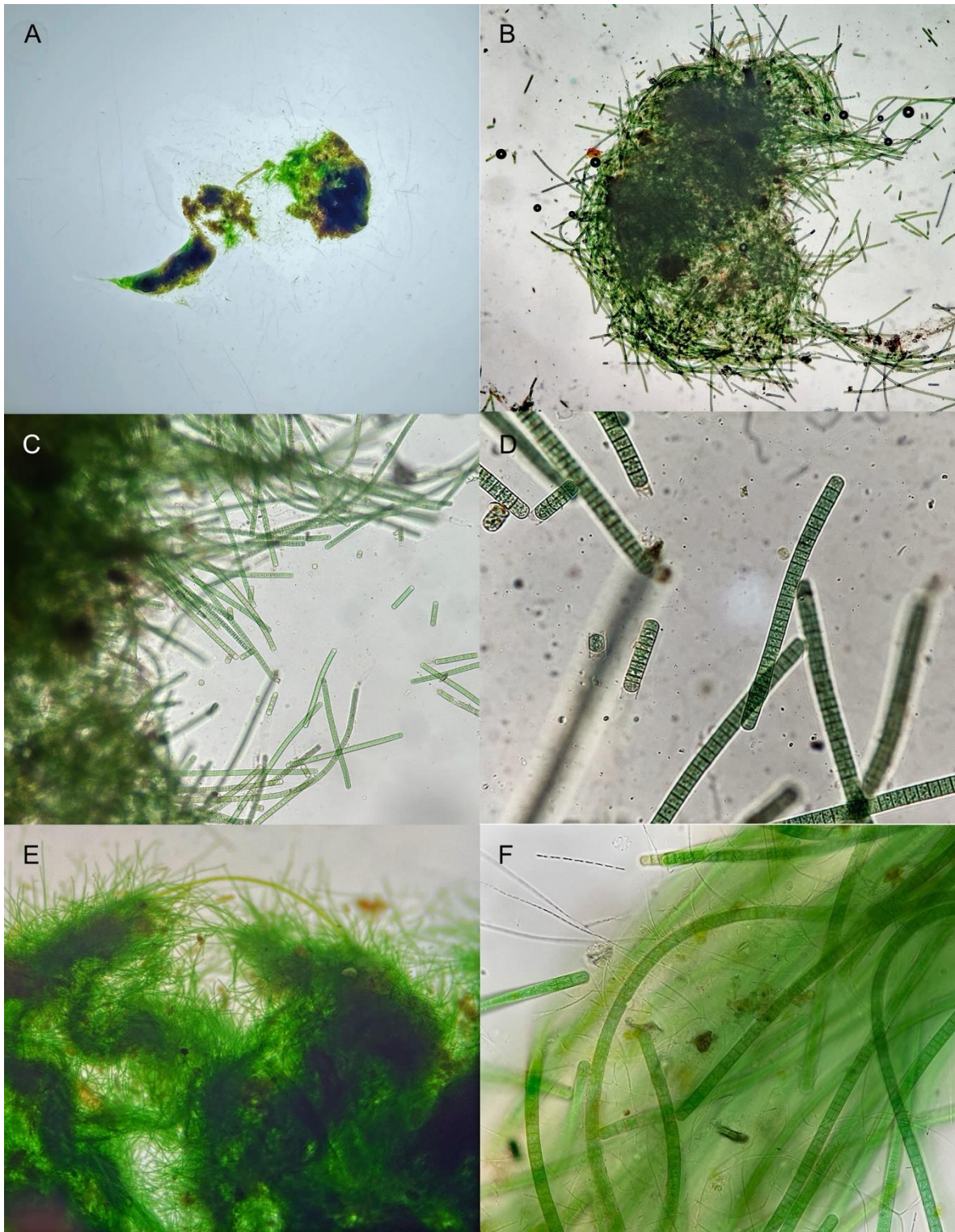


Figura 40. Crecimiento de algas macroscópicas del río Manialtepec. A-D *Phormidium* sp. 1. E-F *Phormidium* sp. 2.

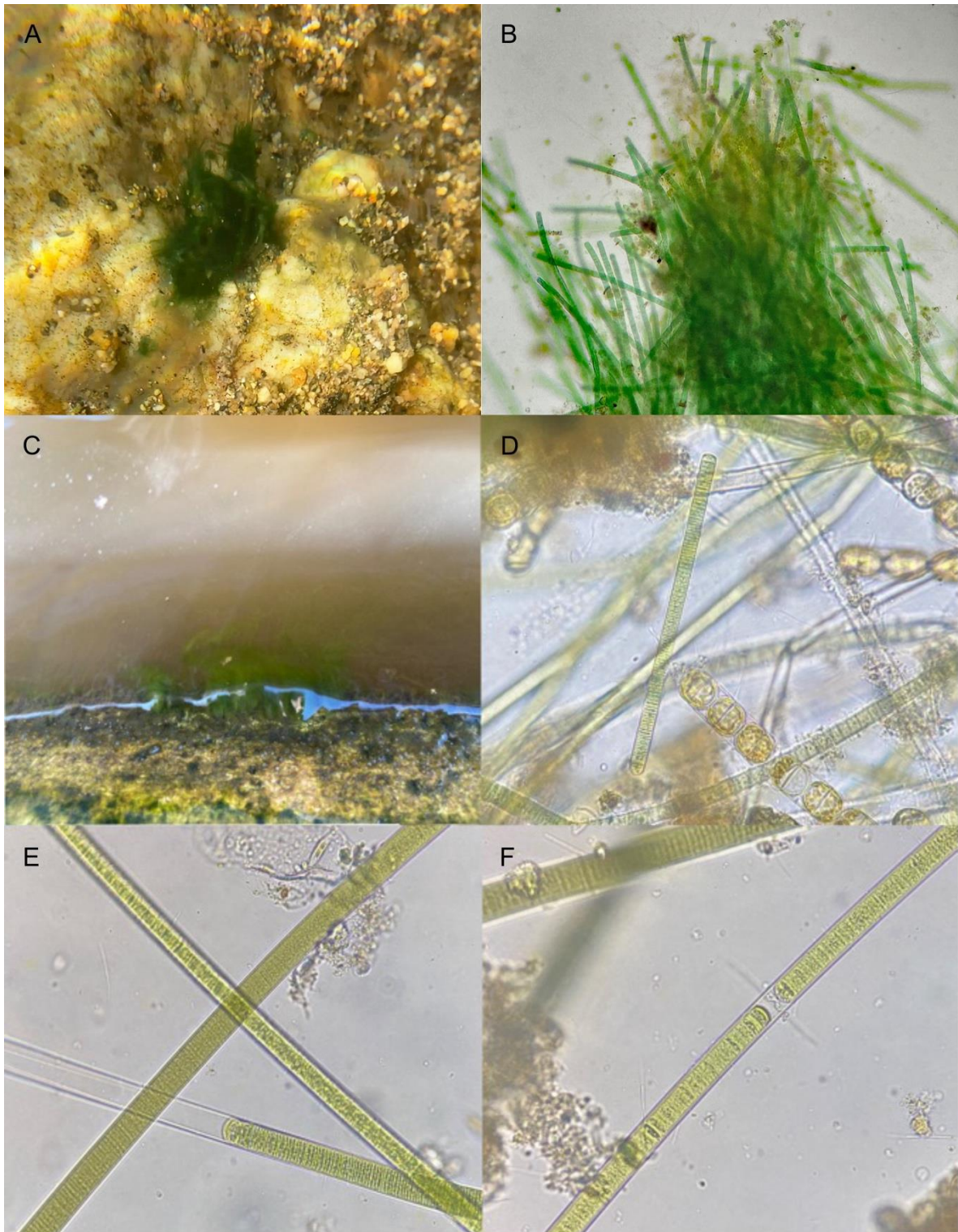


Figura 41. Crecimiento de macroalgas bentónicas del río Manialtepec. A-B *Phormidium* sp. 3. C-F *Phormidium* sp. 4. C: Crecimiento macroscópico. D-F Acercamiento a los filamentos.

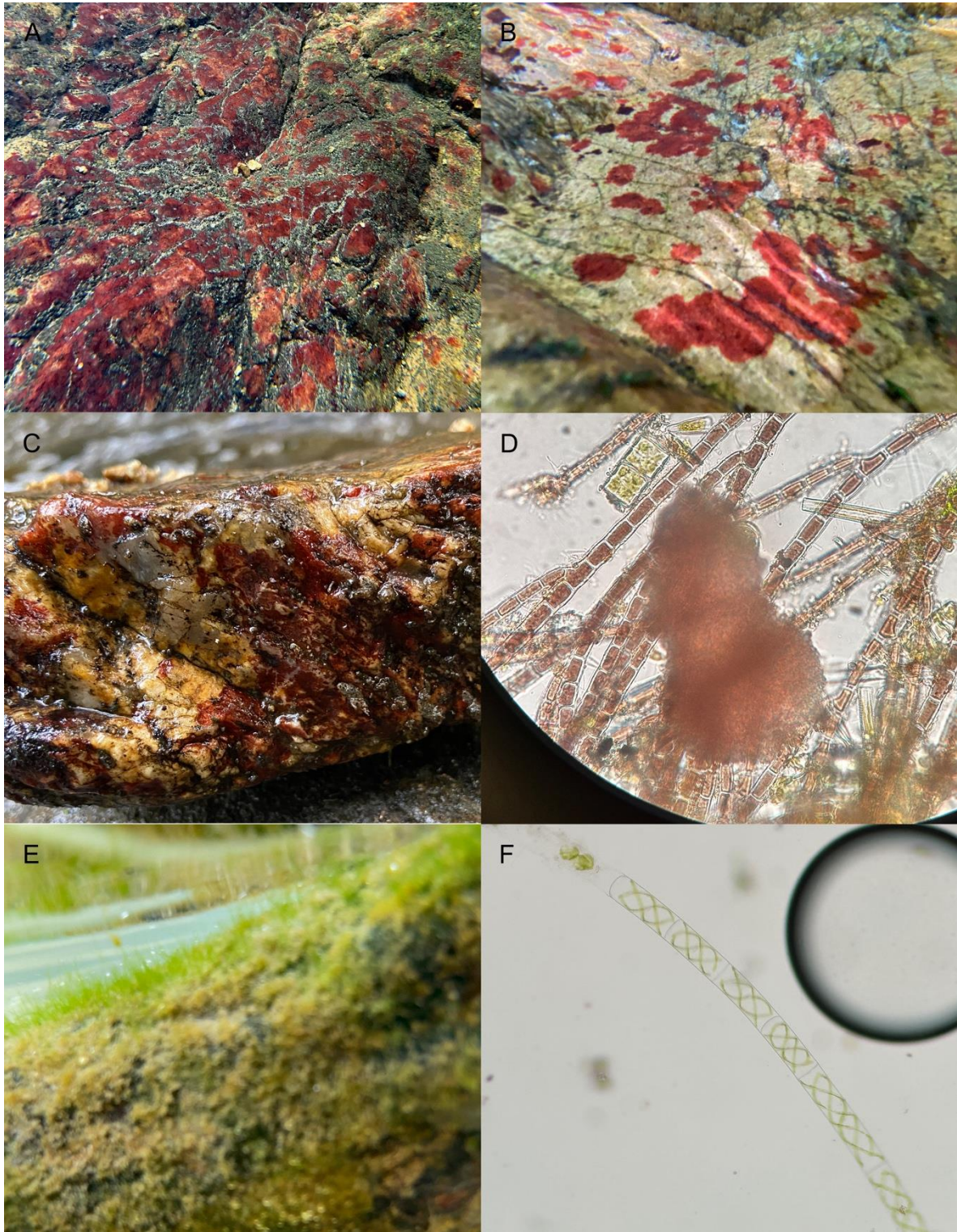


Figura 42. Crecimiento de algas macroscópicas del río Manialtepec. A-D *Hildenbrandia* sp. 1. E-F *Spirogyra* sp. 1.

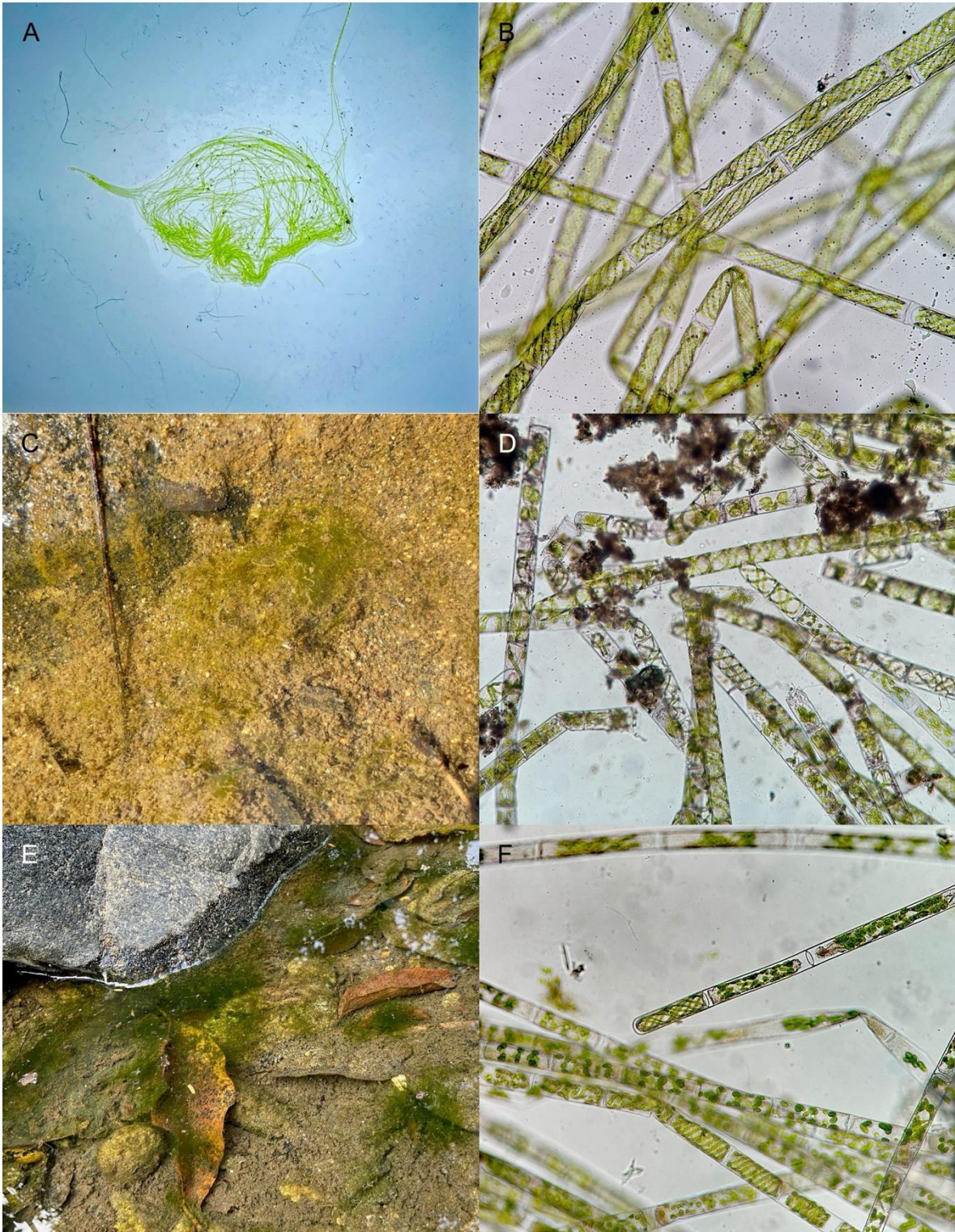


Figura 43. Crecimiento de algas macroscópicas del río Manialtepec. A-B *Spirogyra* sp. 2. C-D *Spirogyra* sp. 3. E-F *Spirogyra* sp. 4.

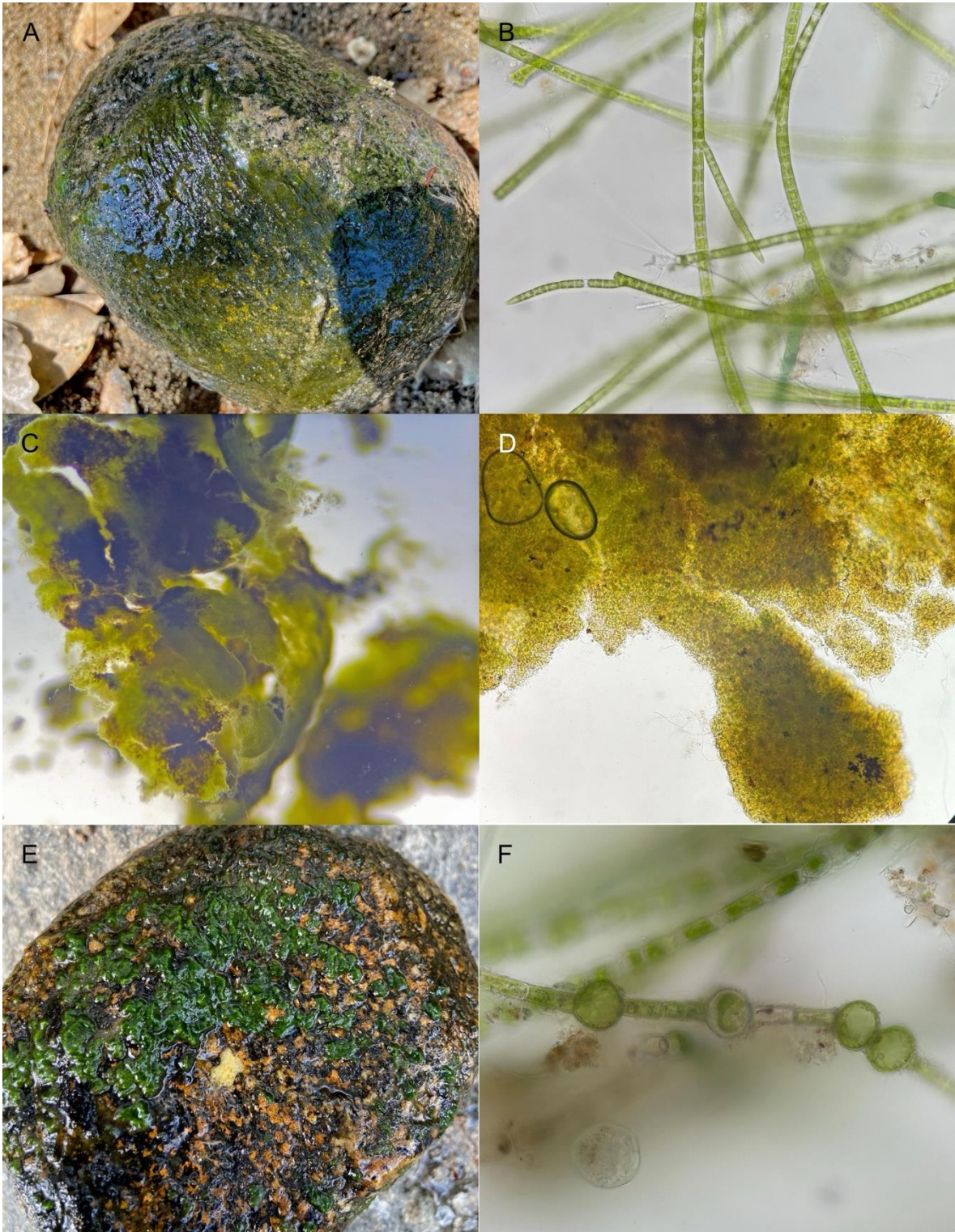


Figura 44. Crecimiento de algas macroscópicas del río Manialtepec. A-B *Stigeoclonium* sp. 1. C-D Chlorococcaceae. E-F *Oedogonium* sp. 1.

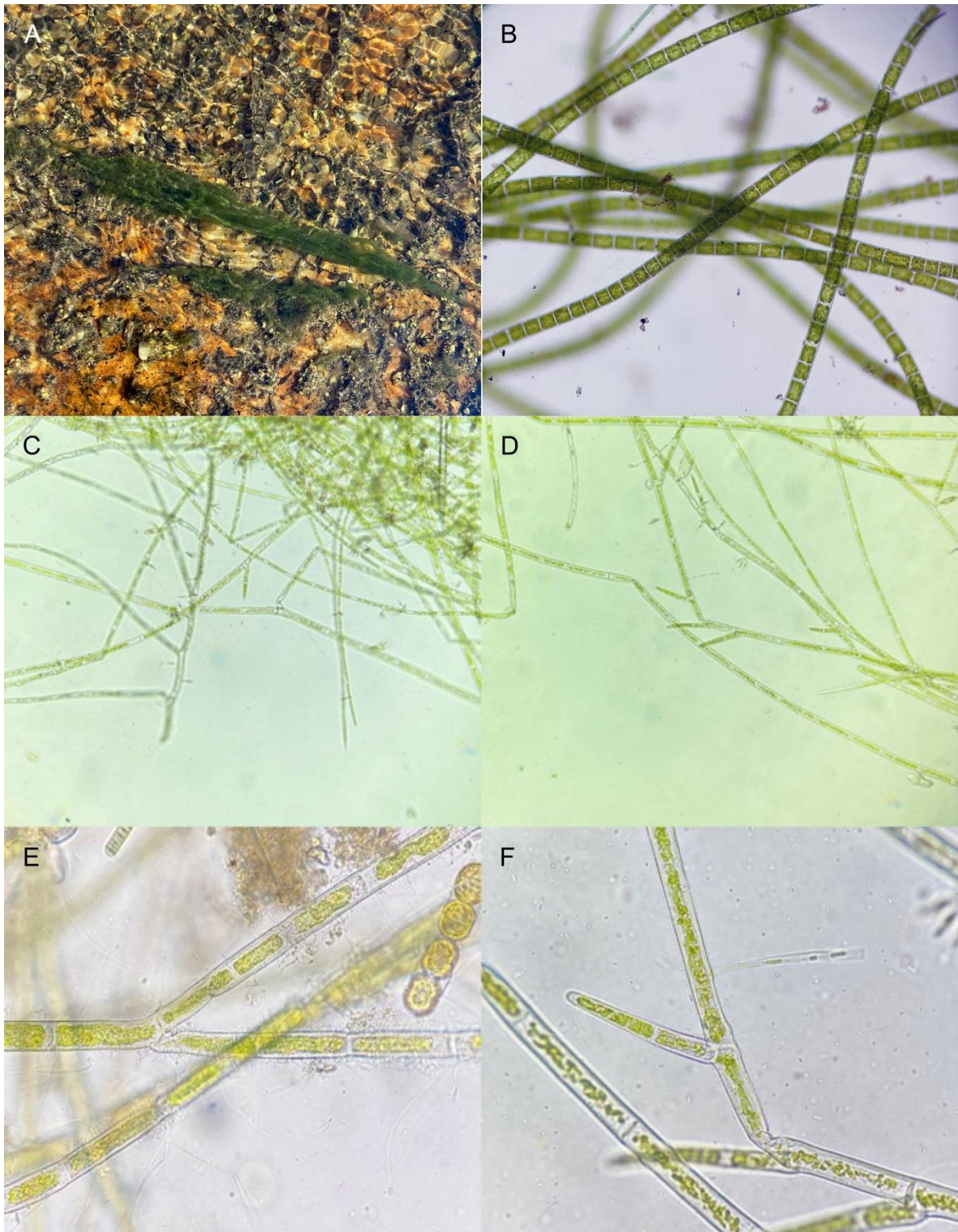


Figura 45. Crecimiento de algas macroscópicas del río Manialtepec. A-B *Microspora* sp. 1. C-E *Cladophora* sp. 1.

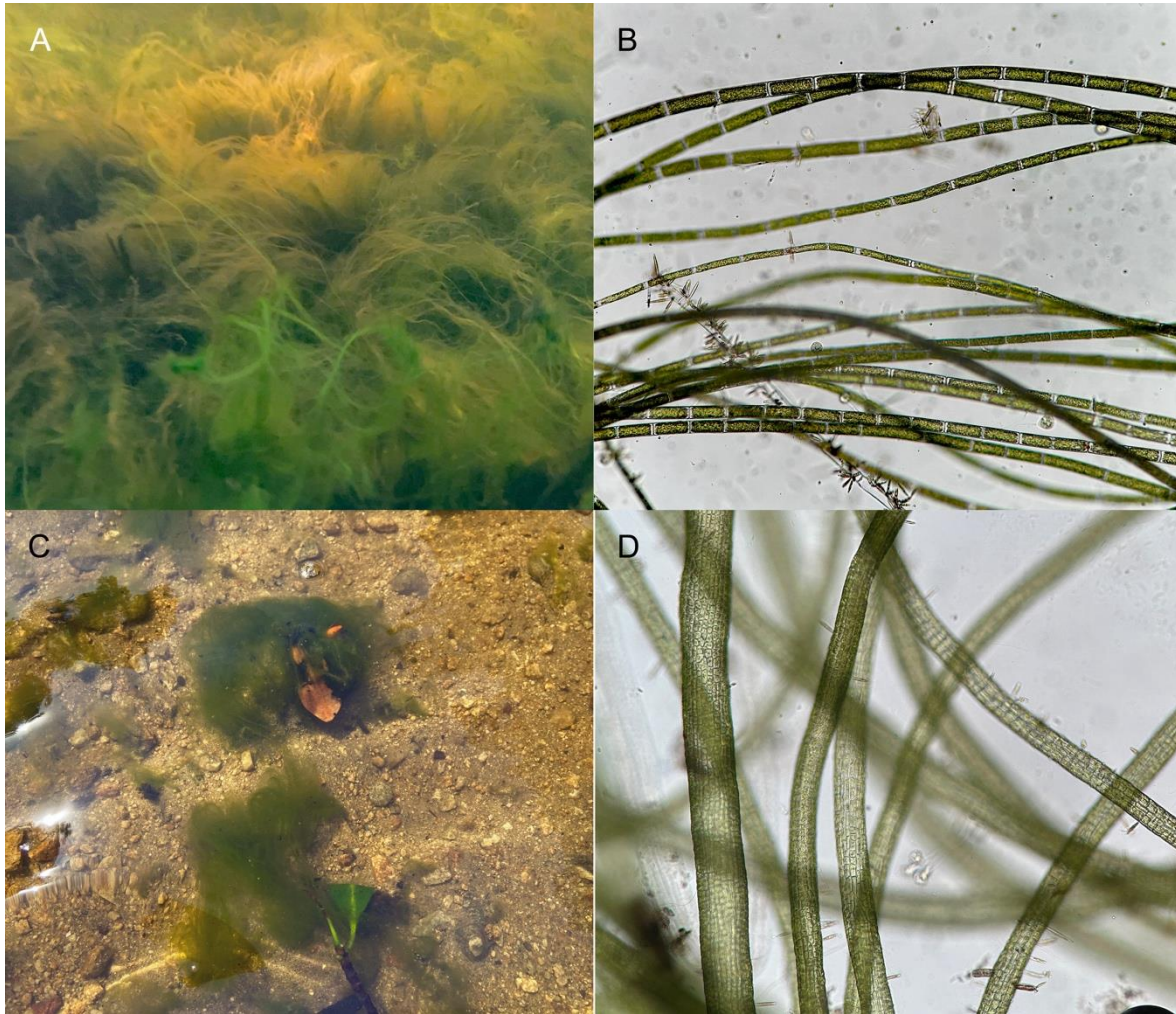


Figura 46. Crecimiento de algas macroscópicas del río Manialtepec. A-B. *Rhizoclonium* sp. 1. C-D. *Blidingia* sp. 1.

Respecto a los sitios del río Manialtepec, se registró una tendencia a la disminución de taxones hacia la parte baja de la cuenca que puede estar relacionada con el cambio de características físicas, químicas e hidromorfológicas hacia la parte baja de la cuenca.

De manera particular, durante la época de secas los valores de riqueza (S') de macroalgas se registraron entre 1 y 6 taxones, la diversidad (H') osciló entre 0 y 1.96 y los valores de equitatividad (J') se registraron entre 0 y 0.91. Los valores más altos de riqueza, diversidad y equitatividad se presentaron en el sitio Hondura El Pollito (HP) (Fig. 47) lo cual indica que la comunidad de macroalgas en este sitio tiende a ser homogénea debido a la disponibilidad de sustratos donde pueden adherirse y a la diversidad de microhábitats que permite el establecimiento de distintos taxones de macroalgas. En este sitio se registró un mayor número

de macroalgas del filo Cyanobacteria como *Phormidium* y *Lyngbya* que han sido reportadas en sistemas con altas concentraciones de materia orgánica, por lo que no se descarta la probabilidad de que el sitio tenga algunas entradas de nutrientes que favorecen el desarrollo de las cianobacterias.

Si bien el sitio con menor riqueza, diversidad y equitatividad fue Cascada Velo de Novia (CVN) al registrar únicamente un crecimiento de macroalga (Fig. 47), esta correspondió a *Hildenbrandia*; un alga roja característica de sitios con buena cobertura de vegetación de ribera y aguas no contaminadas (Carmona-Jiménez, 2007), por lo que se puede considerar como un sitio conservado.

Se registraron condiciones de poca o ligera contaminación en los sitios del Río Salado, Barrio del Carmen, Confluencia y San José Manialtepec donde se registraron mayormente crecimientos de algas verdes correspondientes a los géneros *Spirogyra*, *Oedogonium* y *Microspora*, que han sido reportados en condiciones de poco flujo de agua, altas cantidades de luz y aguas ligeramente contaminadas (Joska y Bolton, 1993). Contrario a lo anterior, el sitio en la planta de tratamiento (PT) presentó grandes crecimientos de *Stigeoclonium*, la cual es un alga verde indicadora de alta contaminación orgánica y, en algunos casos, puede ser tolerante a contaminación por metales pesados (Bellinger y Sigeo, 2015). La presencia y las altas coberturas de esta alga remarca el nulo funcionamiento de la planta y las descargas continuas de aguas residuales directo al sistema.

Durante la época de lluvias, la comunidad de macroalgas se vio fuertemente reducida ya que, de los 9 sitios del río monitoreados, solo en 6 se registraron macroalgas. Los valores de riqueza (S') de macroalgas se registraron entre 1 y 2 taxones, la diversidad de Shannon (H') entre 0 y 0.1 y la equitatividad (J') entre 0 y 0.15.

En este sentido, el sitio con los valores de riqueza, diversidad y equitatividad más altos fue San José Manialtepec, cuyos dos crecimientos de macroalgas correspondieron a cianobacterias del género *Lyngbya* y *Phormidium* las cuales estuvieron relacionadas a condiciones de ligera contaminación orgánica, producto del arrastre de sedimentos al cuerpo de agua debido a la precipitación. Los sitios Barrio del Carmen (BC), Hondura del Pollito (HP) y Confluencia (CNM) podrían ser catalogados como sitios ligeramente contaminados

debido a la presencia de *Oedogonium* y *Phormidium*, los cuales podrían estar relacionados a las concentraciones de nutrientes que se registraron en lluvias.

El sitio que presentó una buena calidad respecto a las macroalgas fue Río Salado Alto (RSA), ya que al igual que en la Cascada Velo de Novia se registró la presencia y alta cobertura de *Hildenbrandia*, la cual es característica de sitios bien conservados y no contaminados. El sitio de la planta de tratamiento (PT) continuó siendo el más perturbado y contaminado al tener únicamente crecimientos de *Stigeoclonium* y haber registrados las concentraciones de nutrientes más altas de todos los sitios.

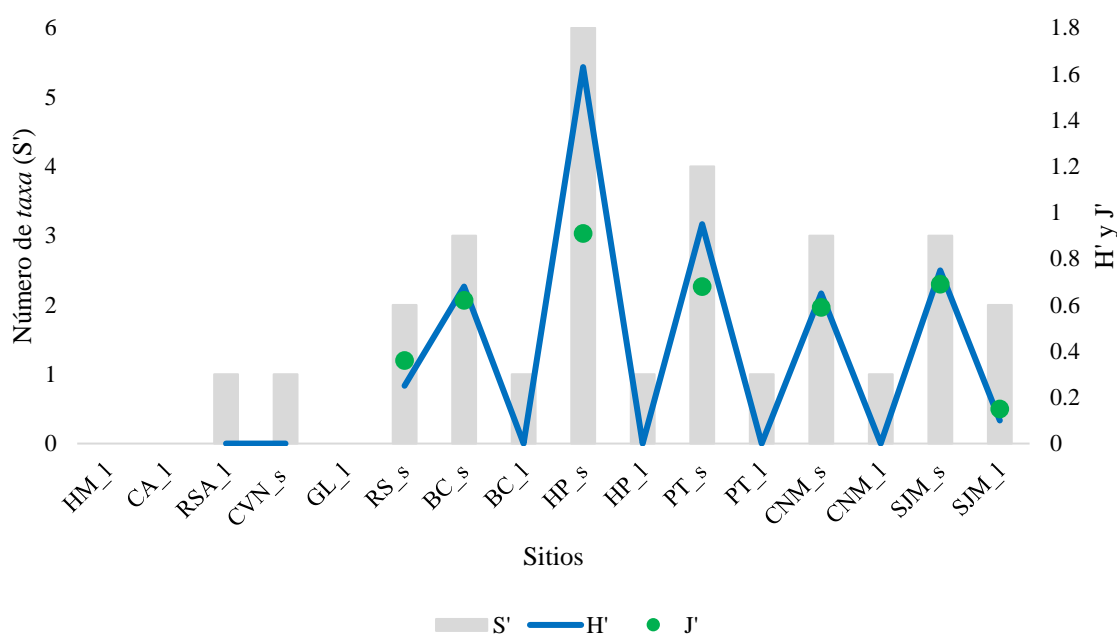


Figura 47. Índices de riqueza (S'), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J') de las macroalgas bentónicas en los sitios del río Manialtepec, Oaxaca, durante temporada de secas y lluvias. HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA- Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS-Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM- Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje. s= secas, l=lluvias.

En los sitios monitoreados de la Laguna de Manialtepec durante la temporada de secas, los valores de riqueza (S') de macroalgas se registraron entre 1 y 3 *taxa*, el índice de diversidad (H') entre 0 y 0.93 y la equitatividad (J') entre 0 y 0.85 (Fig. 48). Las Negras obtuvo los mayores valores de macroalgas, donde dominaron géneros de algas verdes como *Blidingia* y *Rhizoclonium* (esta última también presente en El Aguaje). *Blidingia* es un alga que se desarrolla en ambientes salobres o marinas (por esta razón no se registraron crecimientos en

los sitios del río) que puede tolerar cambios extremos en las condiciones del agua, especialmente de salinidad. Por otra parte, la presencia de *Rhizoclonium* puede dar indicios de altas cargas de nutrientes en el sistema, lo que puede provocar que genere grandes coberturas algales como los porcentajes que se registraron en campo.

Durante la temporada de lluvias se modificaron las comunidades de macroalgas y con ello, los valores de riqueza y diversidad de *taxa*. La riqueza de macroalgas estuvo registrada con 2 y 3 *taxa*, los valores de diversidad entre 0.23 y 0.46 y la equitatividad osciló entre 0.33 y 0.42 (Fig. 48). De la misma forma que en la época de secas, Las Negras presentó los valores más altos de los índices, pero con un cambio en los géneros de macroalgas, los cuales también estuvieron presentes en El Aguaje. En este caso, se registró una amplia cobertura del género *Phormidium* y la presencia de *Cladophora*, los cuales han sido reportados en ambientes salobres y con altas cargas de contaminación orgánica que pudo provenir del arrastre por las lluvias a lo largo de la cuenca, concentrando los nutrientes y materia orgánica en la laguna. Debido a lo anterior, los dos sitios podrían considerarse impactados por la deforestación y actividades turísticas. Se requiere considerar sitios conservados de monitoreo en la laguna para poder verificar las condiciones reales de la laguna sin ningún tipo de perturbación.

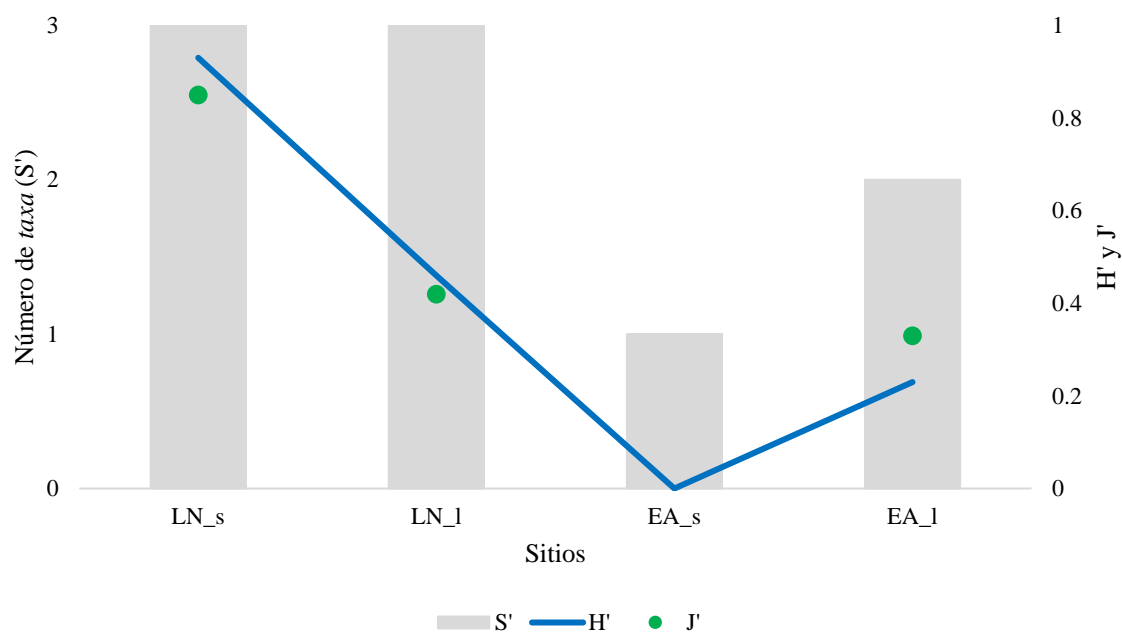


Figura 48. Índices de riqueza (S'), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J') de las macroalgas bentónicas en los sitios de la Laguna de Manialtepec, Oaxaca durante temporada de secas y lluvias. Las Negras (LN), El Aguaje (EA). S= secas, L= lluvias.

5.3.4 Macroinvertebrados bentónicos

Se identificaron 74 *taxa* de macroinvertebrados bentónicos en todos los sitios de muestreo (Tabla 8), de los cuales, 4 se identificaron a nivel de Clase, 4 a nivel de orden, 18 a nivel de familia y el resto de organismos a nivel de género. Se colectaron organismos cuyas preferencias ambientales son homogéneas a niveles taxonómicos generales, por lo que se registraron a nivel de Clase u Orden.

Por otra parte, algunos organismos se encontraban en etapas juveniles, por lo que no fue posible realizar la identificación taxonómica a nivel de género y se registraron a nivel de familia. Por último, existieron organismos que presentaron variación en sus características morfológicas, pero no fueron suficientes para poder hacer una distinción más particular, por lo que se registraron como morfotipos.

El filo con mayor riqueza de *taxa* correspondió a Arthropoda, principalmente organismos de la clase Insecta; cuyos grupos más diversos fueron Ephemeroptera y Trichoptera, mientras que los filos Platyhelminthes y Annelida registraron la menor riqueza de *taxa*.

Durante la época de secas se identificaron 59 *taxa* y 52 en la época de lluvias. Cabe destacar que durante lluvias se identificaron 15 *taxa* que no fueron encontrados durante la época de secas, lo cual amplía la caracterización de la fauna acuática de la cuenca.

En las figuras 49 a 61 se presentan las fotografías de la diversidad de macroinvertebrados bentónicos registrados en los monitoreos de ambas temporadas en el Río Manialtepec y en la Laguna de Manialtepec.

Tabla 8. Clasificación taxonómica y grupos funcionales alimenticios de los macroinvertebrados bentónicos de la Cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca.

Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Taxa	Grupo Funcional Alimenticio	Figura		
Annelida	Clitellata	Oligochaeta [Subclase]	NI	NI	Oligochaeta	Ra, DD	49 A		
	Polichaeta	NI	NI	NI	Polichaeta	De	49 B		
Mollusca	Bivalvia	Mytiloidea	NI	NI	Mytiloidea	Fi	49 C		
	Gastropoda	Caenogastropoda	Thiaridae	Melanoides	<i>Melanoides</i>	Ra	49 D		
		Cycloneritida	Neritidae	NI	Neritidae	Ra	49 E		
		Hygrophila	Physidae	NI	Physidae	Ra	49 F		
Platyhelminthes	Rhabditophora	Tricladida	Dugesidae	NI	Dugesidae	Re	50 A		
Arthropoda	Arachnida	Acari [Subclase]	NI	NI	Acari	De	50 B		
	Insecta	Coleoptera	Elmidae	NI	Elmidae 1	Re, Ra, Tr	50 C		
				NI	Elmidae 2	Re, Ra, Tr	50 D		
				NI	Elmidae adulto	Re, Ra, Tr	50 E		
			Gyrinidae	Dineutus	<i>Dineutus</i>	De	50 F		
				Gyretes	<i>Gyretes</i>	De	51 A		
			Hydrophilidae	NI	Hydrophilidae	De	51 B		
			Psephenidae	Psephenus	<i>Psephenus</i>	Ra	51 C		
			Ptilodactylidae	NI	Ptilodactylidae	Tr, DD	51 D		
				Diptera	Blephariceridae	NI	Blaphariceridae	Ra	51 E
					Ceratopogonidae	NI	Ceratopogonidae 1	De (Re, Ra)	51 F
			NI	Ceratopogonidae 2	De (Re, Ra)	52 A			

Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Taxa	Grupo Funcional Alimenticio	Figura
			Chironomidae	NI	Chironomidae	Re, Fi, De	52 B
			Psychodidae	NI	Psychodidae	Re	52 C
			Simuliidae	NI	Simuliidae	Fi	52 D
			Tipulidae	NI	Tipulidae	Tr, Re	52 E
		Ephemeroptera	Baetidae	NI	Baetidae	Re, Ra	52 F
				Baetodes	<i>Baetodes</i>	Ra	53 A
				Camelobaetidius	<i>Camelobaetidius</i>	Ra	53 B
				Centroptilum	<i>Centroptilum</i>	Re [DD]	53 C
			Heptageniidae	Epeorus	<i>Epeorus</i>	Ra	53 D
			Leptohyphidae	Asioplax	<i>Asioplax</i>	Re	53 E
				Leptohyphes	<i>Leptohyphes</i>	Re, (Ra, Tr)	53 F
				NI	Leptohyphidae	Re	54 A
				Tricorythodes	<i>Tricorythodes</i>	Re (Ra)	54 B
			Leptophlebiidae	Thraulodes	<i>Thraulodes</i>	Re (Ra)	54 C
			Oligoneuriidae	Lachlania	Lachlania	Fi	54 D
		Hemiptera	Belostomatidae	Belostoma	<i>Belostoma</i>	De	54 E
				NI	Belostomatidae	De	54 F
			Corixidae	NI	Corixidae	De	55 A
			Gerridae	Aquarius	<i>Aquarius</i>	De	55 B
				Rheumatobates	<i>Rheumatobates</i>	De	55 C

Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Taxa	Grupo Funcional Alimenticio	Figura
				Trepobates	<i>Trepobates</i>	De	55 D
			Naucoridae	Ambrysus	<i>Ambrysus</i>	De	55 E
				Cryphocricos	<i>Cryphocricos</i>	De	55 F
				Limnocoris	<i>Limnocoris</i>	De	56 A
			Veliidae	Rhagovelia	<i>Rhagovelia sp. 1</i>	De	56 B
				Rhagovelia	<i>Rhagovelia sp. 2</i>	De	56 C
		Lepidoptera	Crambidae	Petrophila	<i>Petrophila</i>	Ra (Tr)	56 D
		Megaloptera	Corydalidae	Corydalus	<i>Corydalus</i>	De	56 E
		Odonata	Calopterygidae	Calopteryx	<i>Calopteryx</i>	De	56 F
				Hetaerina	<i>Hetaerina</i>	De	57 A
			Coenagrionidae	Argia	<i>Argia</i>	De	57 B
			Gomphidae	Phyllogomphoides	<i>Phyllogomphoides</i>	De	57 C
				Progomphus	<i>Progomphus</i>	De	57 D
			Libellulidae	Paltothemis	<i>Paltothemis</i>	De	57 E
			Platystictidae	Palaemnema	<i>Palaemnema</i>	De	57 F
		Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	<i>Anacroneuria</i>	De	58 A
		Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus	<i>Phylloicus</i>	Tr, (Ra)	58 B
			Helicopsychidae	Helicopsyche	<i>Helicopsyche</i>	Ra	58 C
			Hydrobiosidae	Atopsyche	<i>Atopsyche</i>	De	58 D
			Hydropsychidae	Leptonema	<i>Leptonema</i>	Fi	58 E

Filo	Clase	Orden	Familia	Género	Taxa	Grupo Funcional Alimenticio	Figura
				Smicridea	<i>Smicridea</i>	Fi	58 F
			Hydroptilidae	NI	Hydroptilidae	Ra, Re	59 A
				Metrichia	<i>Metrichia</i>	Ra	59 B
				Rhyacopsyche	<i>Rhyacopsyche</i>	Ra	59 C
				Zumatrichia	<i>Zumatrichia</i>	Re	59 D
			Leptoceridae	Nectopsyche	<i>Nectopsyche</i>	Tr, Re	59 E
				Oecetis	<i>Oecetis</i>	De, (Tr)	59 F
			Philopotamidae	Chimarra	<i>Chimarra</i>	Fi	60 A
	Malacostraca	Amphipoda	NI	NI	Amphipoda	Re	60 B
		Decapoda	NI	NI	Decapoda	Re	60 C
			Palaemonidae	Macrobrachium	<i>Macrobrachium</i>	Re	60 D
				Palaemon	<i>Palaemon</i>	Re	60 E
		Isopoda	Cirolanidae	NI	Cirolanidae	Tr	60 F
		Tanaidacea	NI	NI	Tanaidacea	Re	61 A
	Thecostraca	Cirripedia [Subclase]	NI	NI	Cirripedia	Fi	61 B

NI: no identificado, De: depredador, Re: recolector, Ra: raspador, Tr: triturador, Fi: filtrador, DD: detritus, diatomeas, (): facultativo.

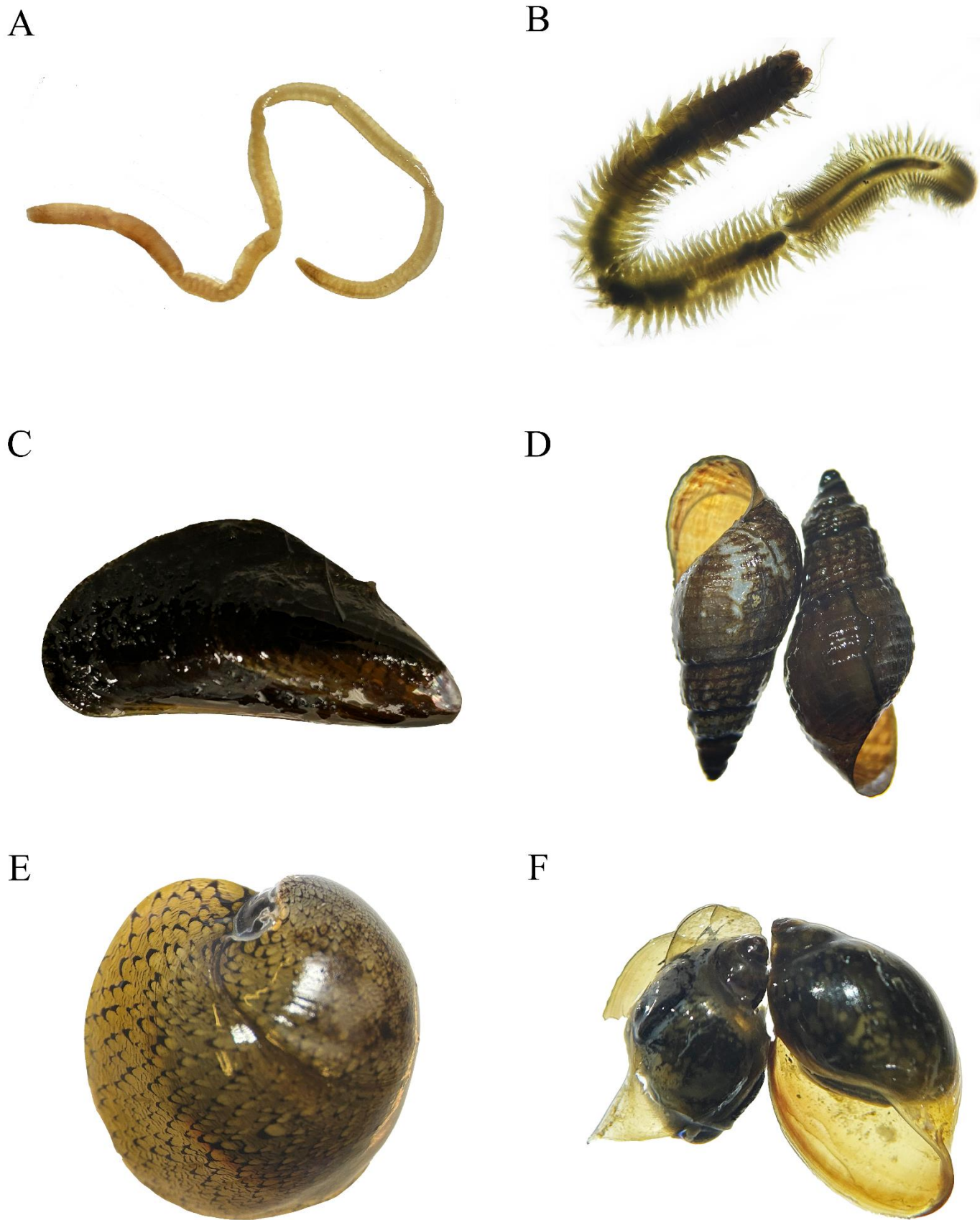


Figura 49. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) Oligochaeta, B) Polichaeta, C) Mytiloida, D) *Melanoides*, E) Neritidae, F) Physidae.

A



B



C



D



E



F



Figura 50. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) Dugesiidae, B) Acari, C) Elmidae 1, D) Elmidae 2, E) Elmidae (adulto), F) *Dineutus*.

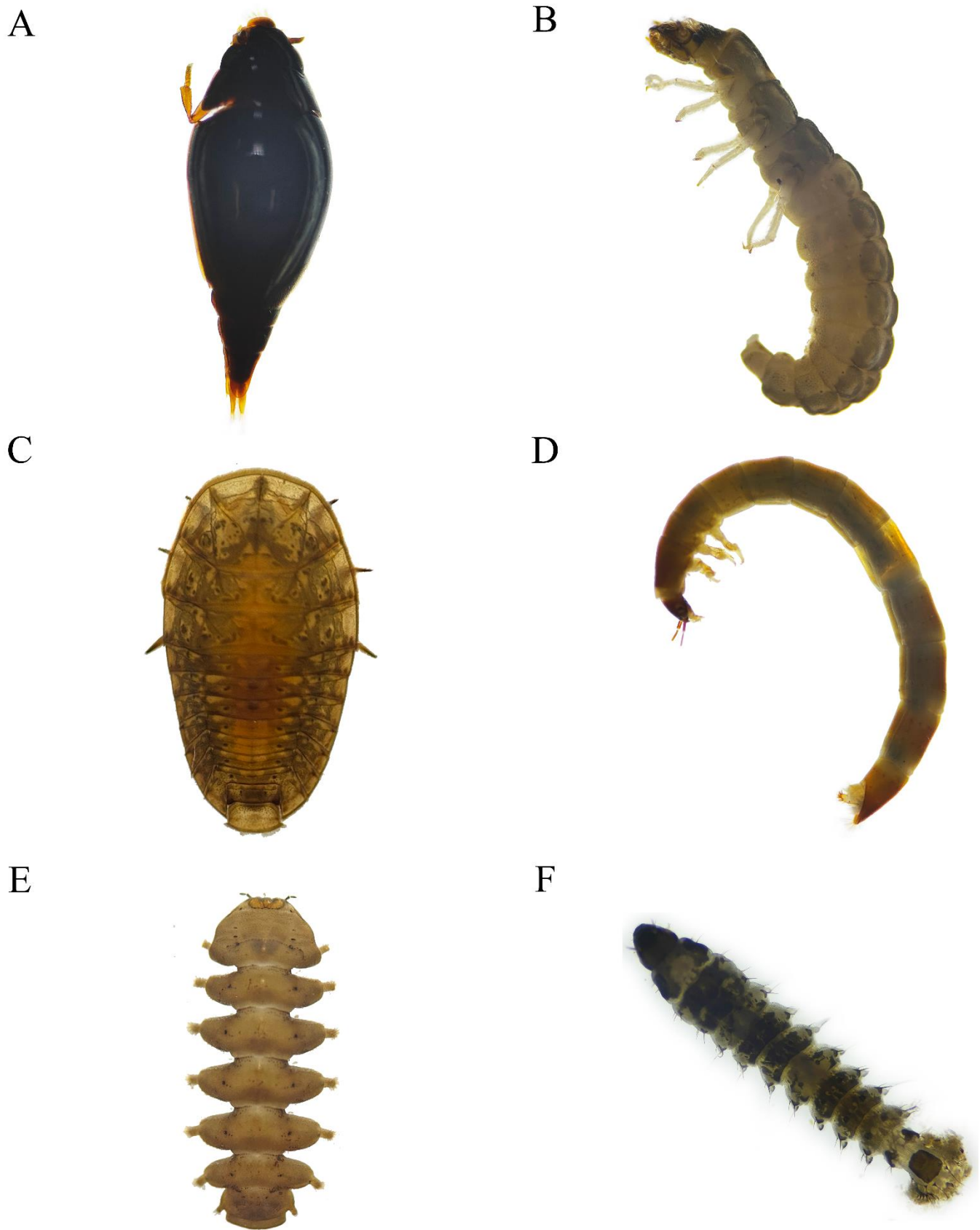


Figura 51. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) *Gyretes*, B) Hydrophilidae, C) *Psephenus*, D) Ptilodactylidae, E) Blephariceridae, F) Ceratopogonidae 1.



Figura 52. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) Ceratopogonidae 2, B) Chironomidae, C) Psychodidae, D) Simuliidae, E) Tipulidae, F) Baetidae.

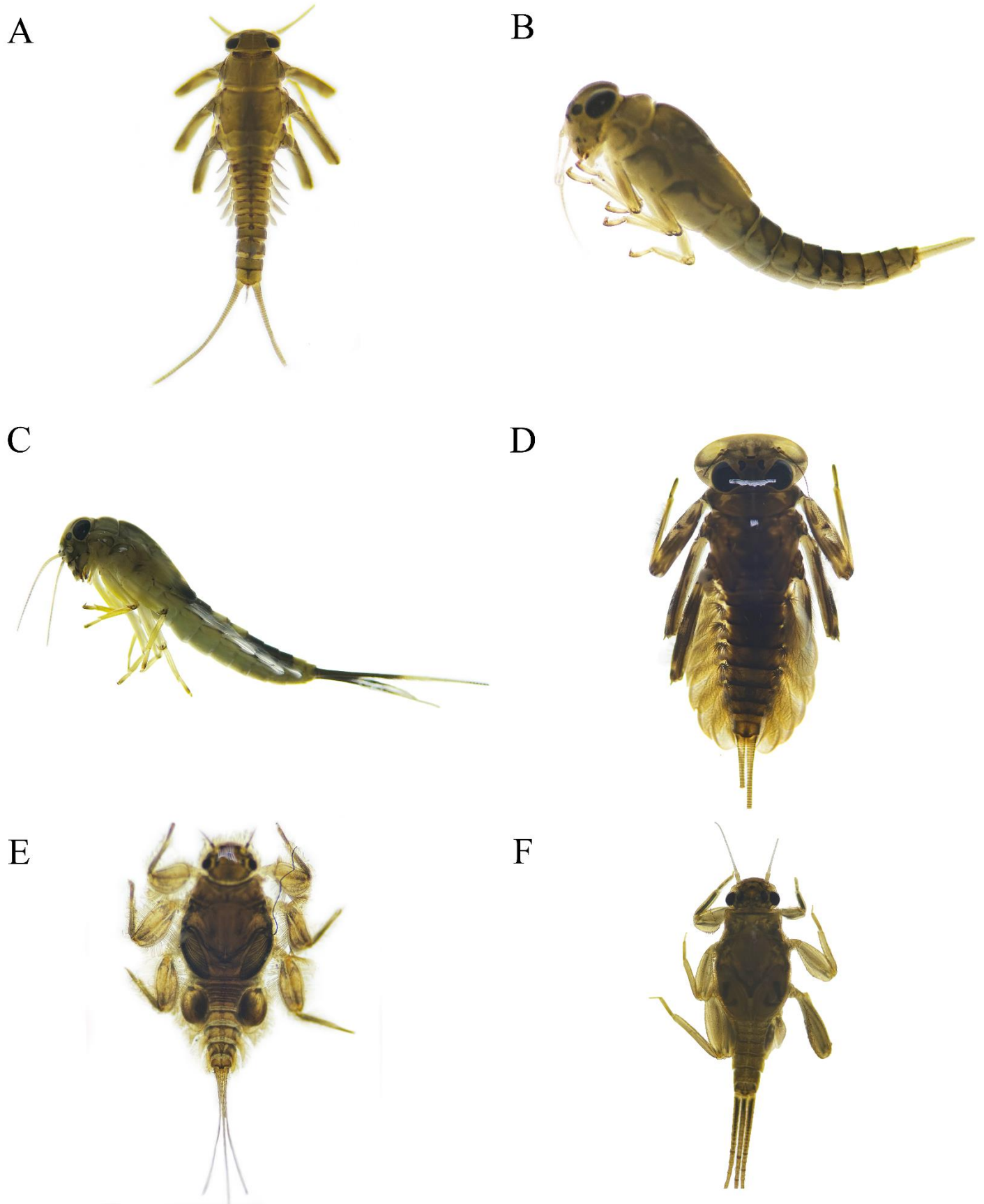


Figura 53. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) *Baetodes*, B) *Camelobaetidius*, C) *Centroptilum*, D) *Epeorus*, E) *Asioplax*, F) *Leptohyphes*.

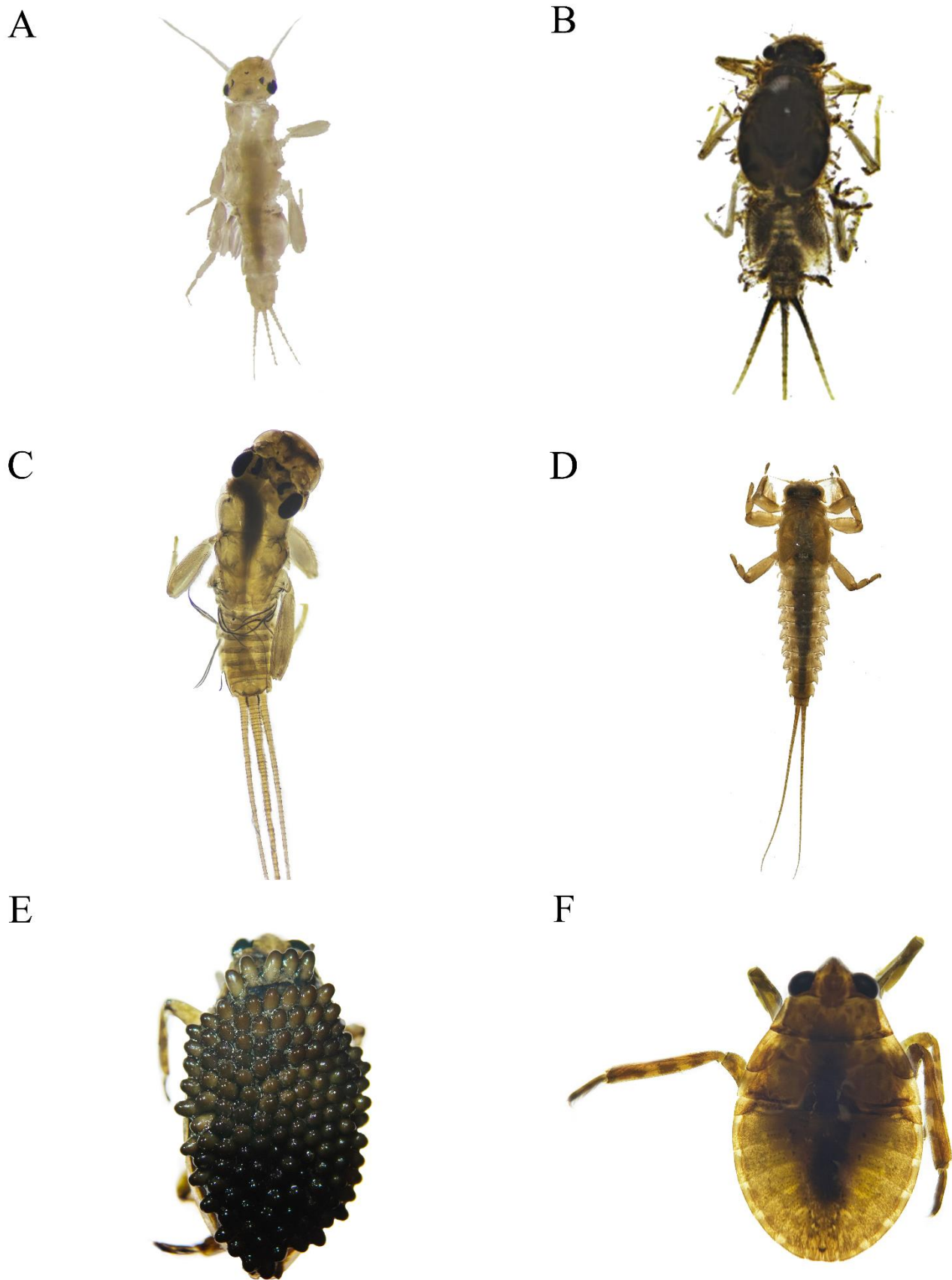
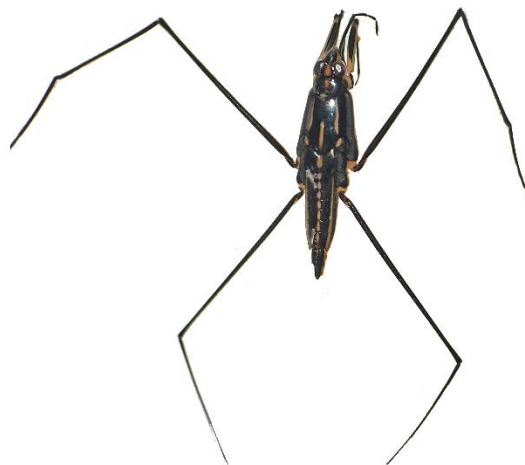


Figura 54. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) Leptohiphidae, B) *Tricorythodes*, C) *Thraulodes*, D) *Lachlania*, E) *Belostoma*, F) Belostomatidae.

A



B



C



D



E



F



Figura 55. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) Corixidae, B) *Aquarius*, C) *Rheumatobates*, D) *Trepobates*, E) *Ambrysus*, F) *Cryphocricos*.

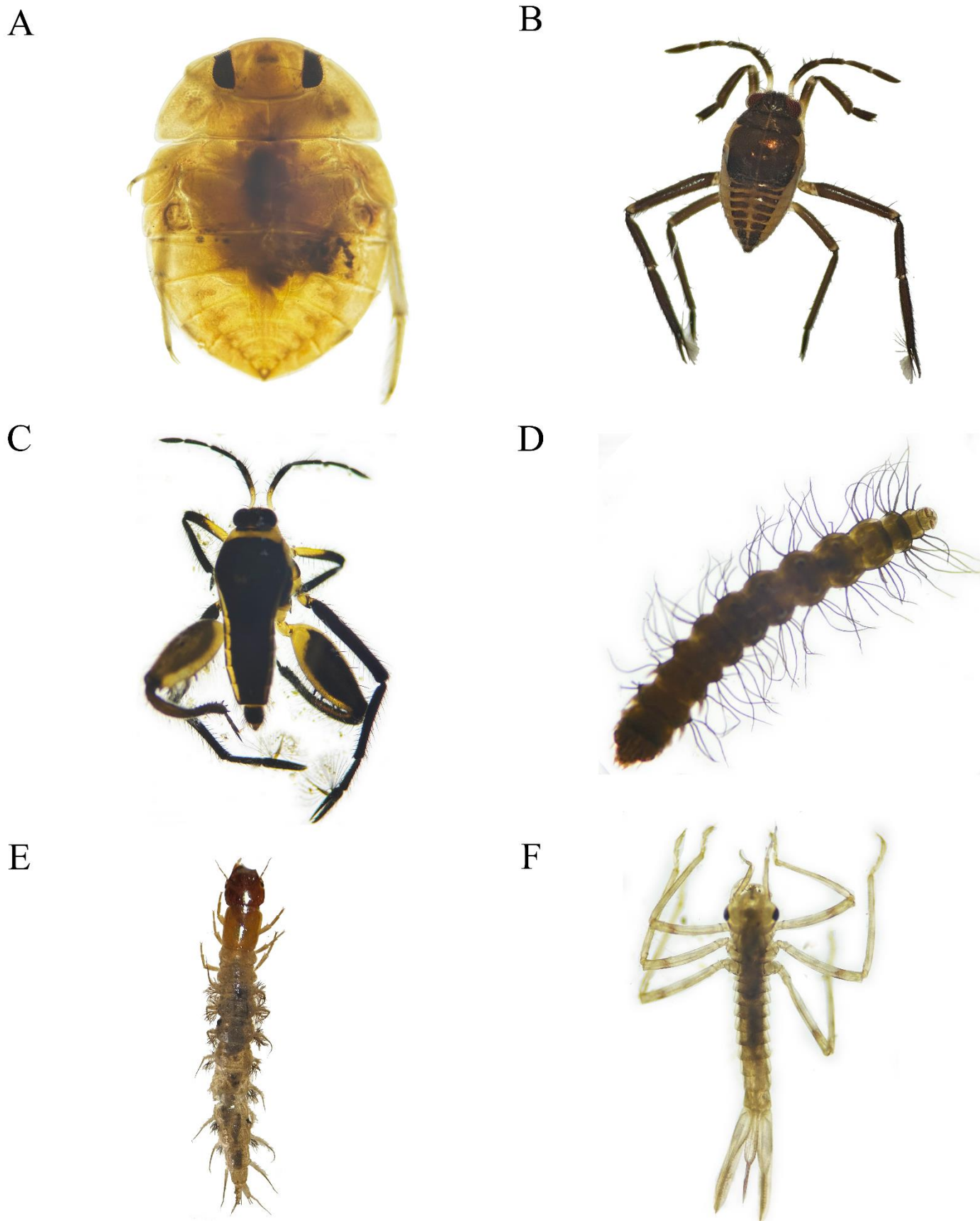


Figura 56. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) *Limnocoris*, B) *Rhagovelia* sp. 1, C) *Rhagovelia* sp. 2, D) *Petrophila*, E) *Corydalus*, F) *Calopteryx*.

A



B



C



D



E



F



Figura 57. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) *Hetaerina*, B) *Argia*, C) *Phyllogomphoides*, D) *Progomphus*, E) *Paltothemis*, F) *Palaemnema*.



Figura 58. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) *Anacronuria*, B) *Phylloicus*, C) *Helicopsyche*, D) *Atopsyche*, E) *Leptonema*, F) *Smicridea*.



Figura 59. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) Hydroptilidae, B) *Metrichia*, C) *Rhyacopsyche*, D) *Zumatrichia*, E) *Nectopsyche*, F) *Oecetis*.

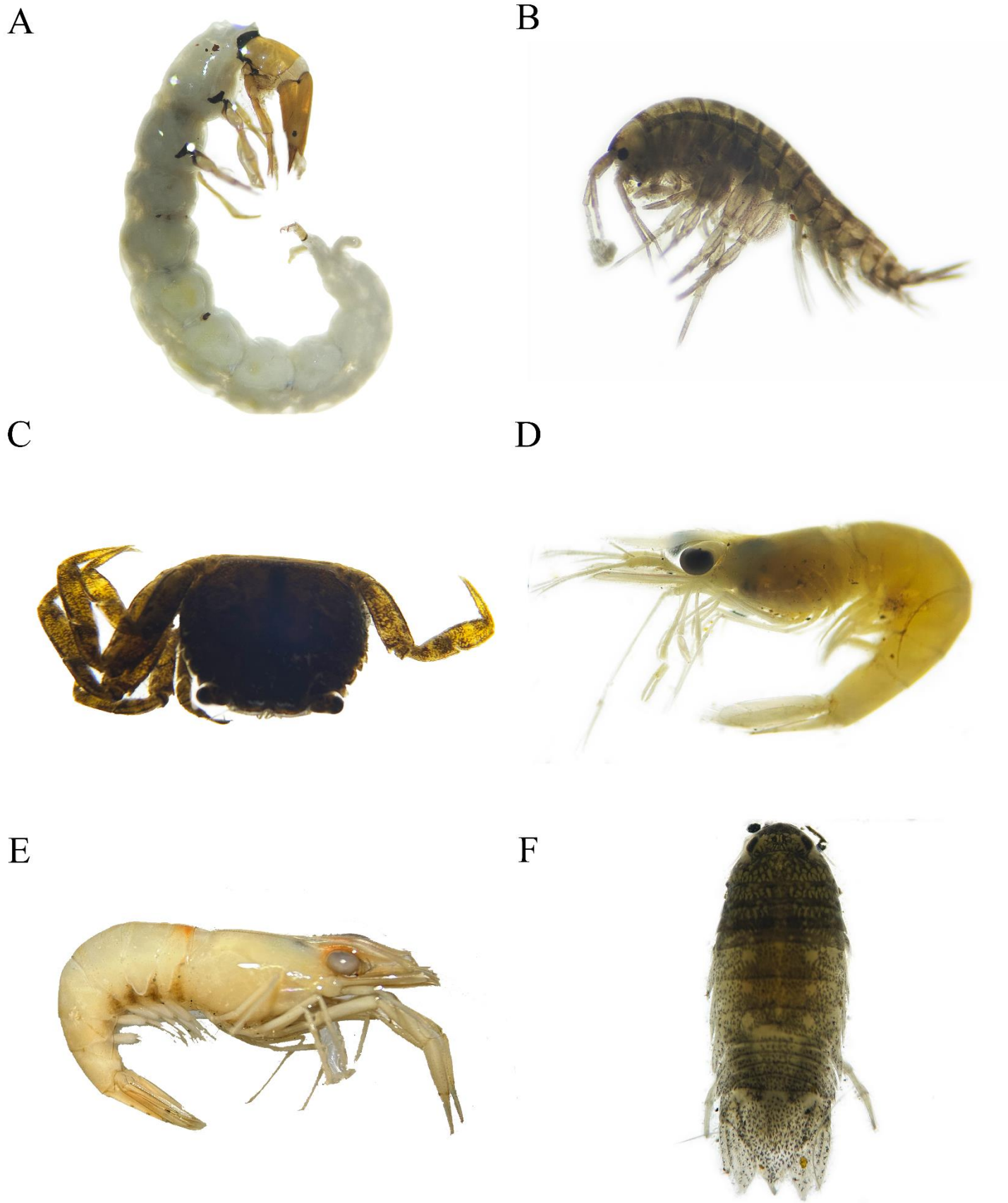


Figura 60. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) *Chimarra*, B) Amphipoda, C) Decapoda, D) *Macrobrachium*, E) *Palaemon*, F) Cirolanidae.

A



B



Figura 61. Macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del Río Manialtepec, Oaxaca. A) Tanaidacea, B) Cirripedia.

En los sitios del río Manialtepec se identificó una tendencia al aumento de *taxa* durante la época de lluvias, con excepción de los sitios ubicados la parte baja de la cuenca (CNM y SJM) (Fig. 62). De manera particular, durante la época de secas los valores de riqueza (S') oscilaron entre 10 y 24 *taxa*, los valores de diversidad (H') se encontraron entre 1.1 y 2.9 y la equitatividad (J') entre 0.49 y 0.91.

El sitio CVN presentó los valores más altos de riqueza, diversidad y equitatividad lo cual representa un sitio con heterogeneidad de hábitats y un alto grado de conservación que puede estar confirmado por la óptima calidad hidromorfológica y de vegetación de ribera, mientras que el sitio PT registró el menor número de *taxa*, así como los valores más bajos de diversidad y equitatividad, lo cual puede estar influenciado por la poca presencia de vegetación de ribera, así como al mal funcionamiento de la planta de tratamiento.

Por otro lado, durante la época de lluvias los valores de riqueza se registraron entre 9 y 22 *taxa*, los valores de diversidad (H') entre 1.7 y 2.8 y la equitatividad (J') entre 0.8 y 0.95. El sitio PT registró la mayor riqueza y diversidad de los sitios (contrario a lo presentado en secas) que pudo estar relacionado con el incremento de la cantidad y velocidad del agua que permitió que los aportes de aguas residuales y materia orgánica fueran arrastrados más rápido

cuenca abajo, mientras que el sitio HM fue el más equitativo al tener una distribución más homogénea de las abundancias de los MIBs. Contrario a lo anterior, el sitio SJM registró la menor riqueza y diversidad de MIBs, sin embargo, la menor equitatividad estuvo registrada en PT ya que se presentaron al menos 3 *taxa* que tuvieron una mayor abundancia que el resto de los organismos por lo que podrían estar dominando el ensamble de MIBs (Tabla 9).

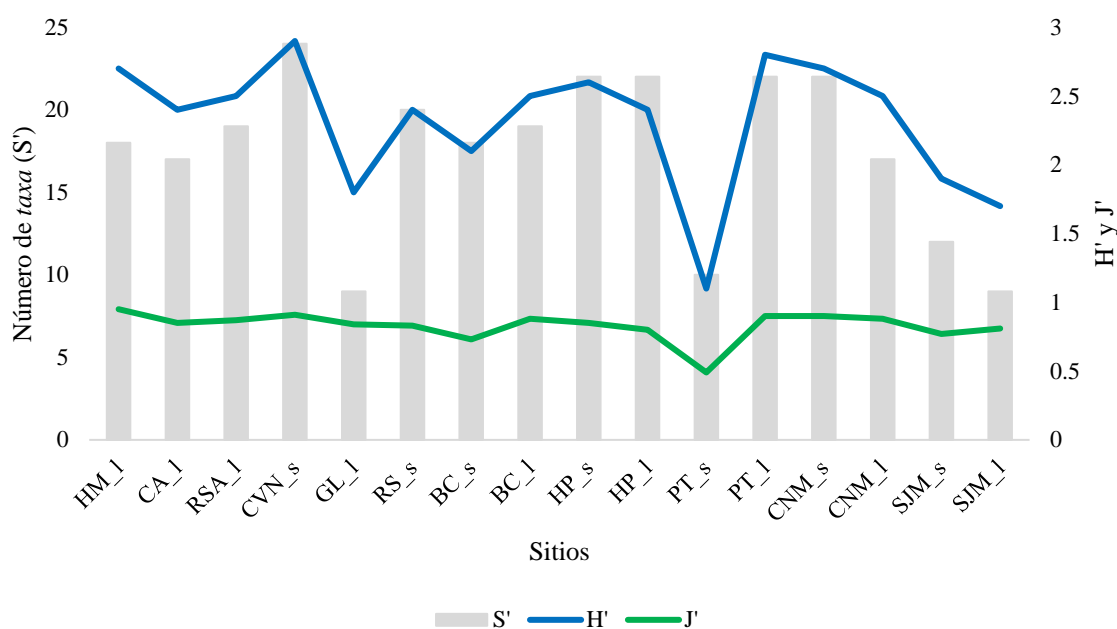


Figura 62. Riqueza de taxa (S'), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J') de los macroinvertebrados bentónicos del río Manialtepec, Oaxaca. . HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA- Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS-Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM- Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje. s=secas, l=lluvias.

Los sitios correspondientes a la laguna de Manialtepec presentaron una tendencia a la disminución de riqueza durante la época de lluvias (Fig. 63). De manera particular, la riqueza durante la temporada de secas fue de 7 y 8 *taxa*, los valores de diversidad (H') se encontraron entre 0.7 y 1.4 y la equitatividad (J') entre 0.37 y 0.75. El sitio LN presentó la mayor riqueza y diversidad, mientras que el sitio EA obtuvo la mayor equitatividad al tener una distribución más homogénea de los MIBs. Por otro lado, durante la época de lluvias los valores de riqueza se registraron entre 4 y 5 *taxa*, los valores de diversidad (H') fueron de 1.3 (en ambos sitios) y la equitatividad (J') entre 0.83 y 0.98. A pesar de que los valores de riqueza fueron más

bajos comparados con la época de secas, se logró identificar una mejor distribución de MIBs al aumentar los valores de equitatividad (Tabla 9).

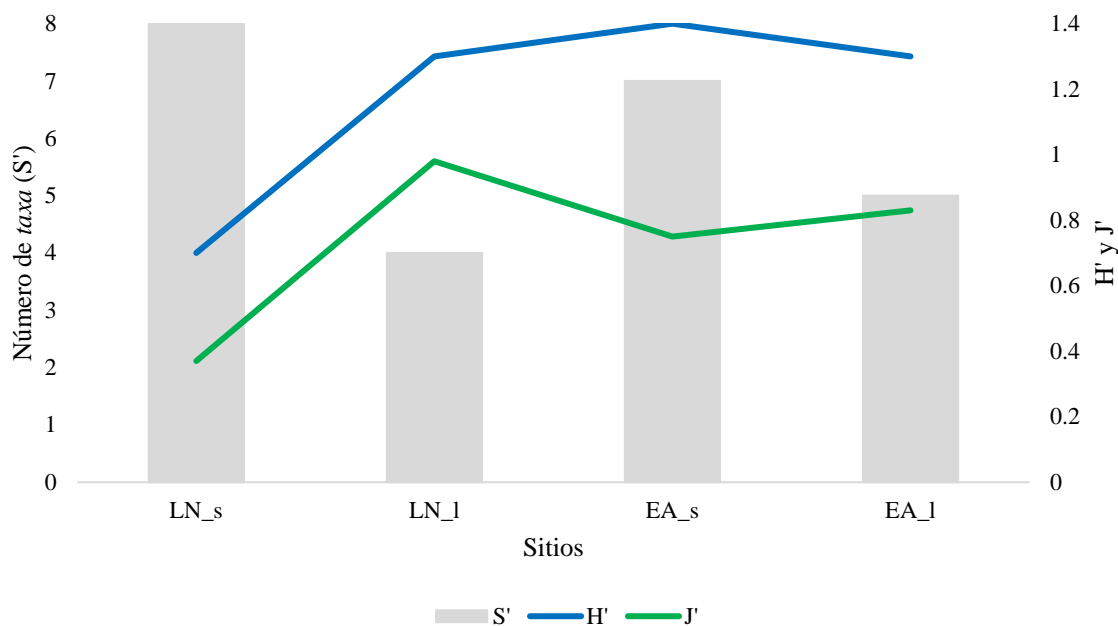


Figura 63. Riqueza de taxa (S'), diversidad de Shannon-Wiener (H') y equitatividad de Pielou (J') de los macroinvertebrados bentónicos de la Laguna Manialtepec, Oaxaca. LN= Las Negras, EA= El Aguaje. S= secas, l= lluvias.

Tomando en cuenta a los grupos funciones alimenticios (GFA) en los sitios del río Manialtepec, se reconocieron 5 grupos que contemplaron a los trituradores, depredadores, recolectores, raspadores y filtradores. El GFA más abundante correspondió a los recolectores, mientras que el grupo de los trituradores presentó las menores abundancias (Fig. 64).

En los sitios de la parte alta de la cuenca (HM-RS), se puede observar la presencia de organismos trituradores que puede estar relacionada con la disponibilidad de materia orgánica gruesa que está entrando al sistema proveniente de la vegetación de ribera. El sitio RSA presentó las mayores abundancias de trituradores en los sitios de la parta alta, ya que se registró un buen estado de conservación del cauce y de la vegetación de ribera. Contrario a esto, en los sitios CA y GL se registró una baja calidad de la vegetación de ribera que estuvo impactada por actividades de extracción de materiales, las cuales llevan a modificar o desmontar la vegetación para realizar la separación del sustrato o la construcción de caminos.

En la parte media de la cuenca se detectó la disminución y, en algunos sitios, la desaparición de organismos trituradores dando paso a la dominancia de organismos recolectores, especialmente en los sitios HP y PT, los cuales aprovechan la materia orgánica particulada fina (MOPF) que es transportada desde la parte alta de la cuenca. Si bien el proceso de transporte de materia orgánica cumple con su objetivo en esta parte de la cuenca, cabe destacar que en el sitio PT las abundancias de recolectores obtienen valores altos debido a que existe una mayor disponibilidad de Materia Orgánica Particulada Fina (MOPF) proveniente de las descargas de aguas residuales que la planta de tratamiento no logra degradar, sumado a la poca cantidad de agua característica de la época de estiaje y a la poca conservación de la vegetación de ribera.

Por último, en la parte baja de la cuenca se apreció una disminución de la cantidad de GFA limitándose únicamente a la presencia de raspadores, recolectores y depredadores. Esta disminución podría estar relacionada a la acumulación y abundancia de MOPF que ha recorrido todo el tramo del río. Es importante mencionar que al ser la parte más baja del río, presenta un ancho mucho mayor, un caudal más elevado, poca heterogeneidad de sustratos y un mayor impacto en los elementos paisajísticos que pueden estar afectando el desarrollo de los MIBs.

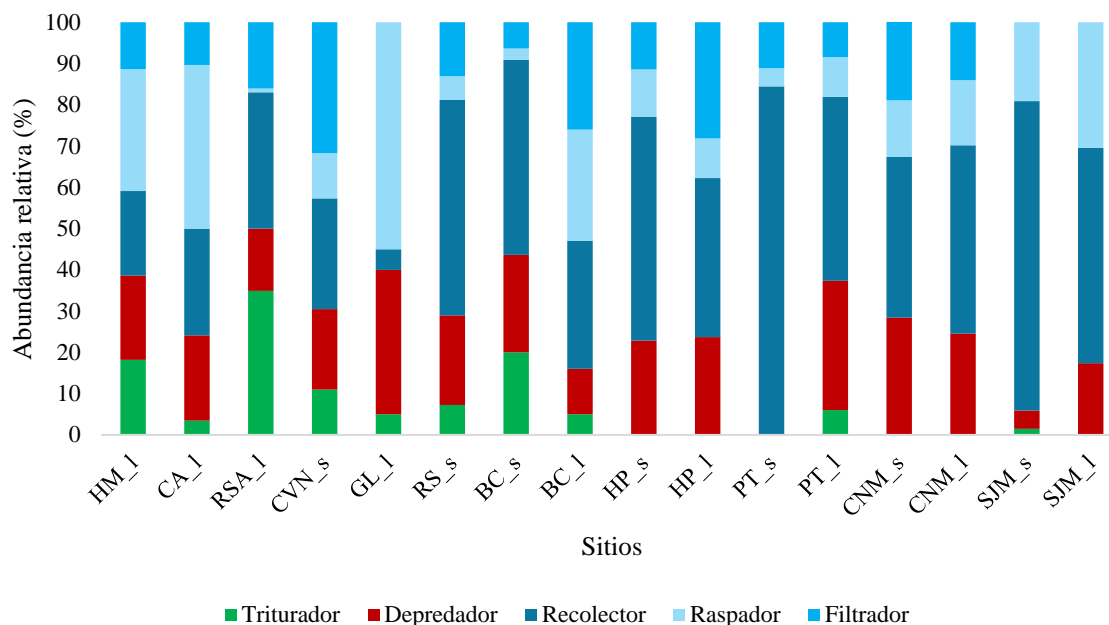


Figura 64. Abundancia relativa de los grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados bentónicos del río Manialtepec, Oaxaca. HM-Hondura del Metate, CA-Cerro del Aire, RSA- Río Salado Alto, CVN-Cascada Velo de Novia, GL-Granja Lachao, RS-Río Salado, BC- Barrio del Carmen, HP-Hondura El Pollito, PT-Planta de Tratamiento, CNM-Confluencia Neblina y Maíz, SJM-San José Manialtepec, LN-Las Negras, EA-El Aguaje. s= secas, l=lluvias.

En los sitios de la laguna de Manialtepec se reconocieron los mismos 5 GFA que en los sitios del río. Al igual en el río, el GFA más abundante correspondió a los recolectores, mientras que el menos abundante estuvo representado por los raspadores (Fig. 65).

Se registró un cambio en las abundancias de los GFA de manera espacial y temporal, debido a que en el sitio LN durante la época de secas dominó el grupo de recolectores representado por organismos del orden Amphipoda, los cuales pudieron estar aprovechando la concentración de materia orgánica en el agua o de florecimientos de productores primarios para alimentarse. Estos GFA cambiaron en la época de lluvias, ya que dominaron los organismos filtradores y depredadores. Estos dos grupos se favorecieron por el aumento en el volumen del agua que transportaba más MOPF para filtrar, así como un aumento en la disponibilidad de presas.

En el sitio EA se registró una mayor representatividad de GFA, debido a que la vegetación se encontraba un poco más conservada con respecto al sitio LN. El hecho de registrar organismos trituradores puede dar indicios sobre la entrada autóctona de MOPG proveniente

de la vegetación en las orillas que puede ser aprovechada por estos organismos. Debido al arrastre de agua resultado de las lluvias, existe un aporte de otros MIBs que pueden servir de alimento a los depredadores.

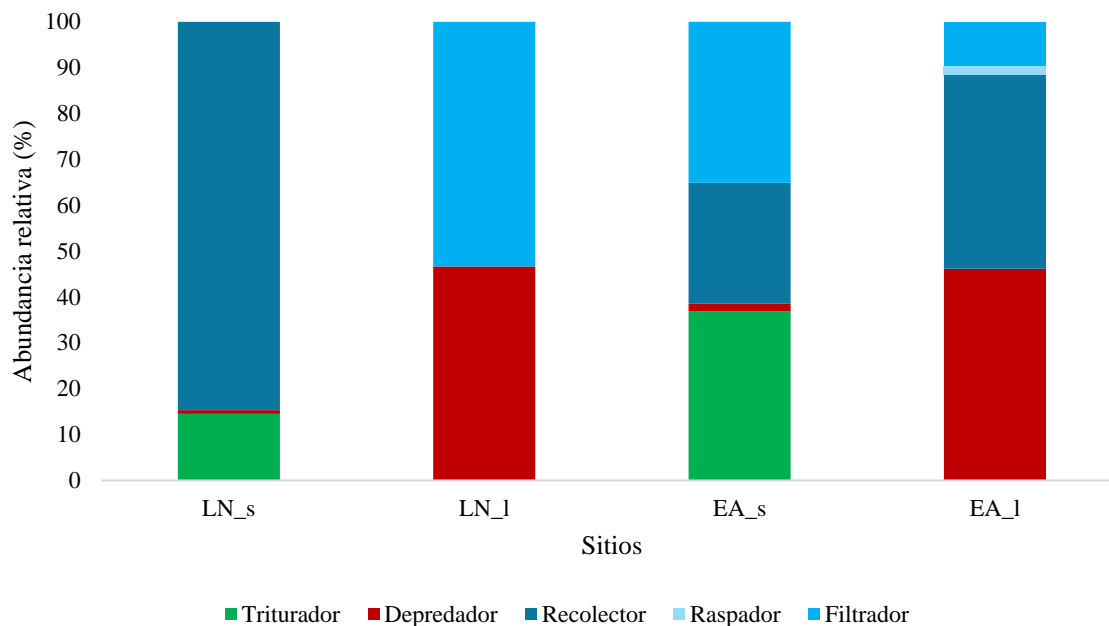


Figura 65. Abundancia relativa de los grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados bentónicos de la Laguna Manialtepec, Oaxaca. LN- Las Negras, EA-El Aguaje. s- Secas, l- lluvias

Con respecto al índice de calidad de macroinvertebrados en los sitios del río Manialtepec el rango de valores se encontró entre 4.9 y 6.1 en la temporada de secas donde la menor calidad la obtuvo el sitio PT y la mayor calidad el sitio CVN. Los rangos del índice durante la época de lluvias oscilaron entre 5 y 6.1, siendo el sitio GL el de menor calidad y el sitio HM el de mejor calidad con respecto a los MIBs. Se identificaron 3 categorías de calidad en ambas temporadas con 2 sitios en muy buena calidad, 12 sitios en buena calidad y 2 sitios en calidad media. De manera general, se pudo identificar una tendencia a conservar la categoría de calidad (en los sitios que pudieron muestrear en las dos temporadas), con excepción del sitio PT ya que mejoró la calidad durante la época de lluvias (Fig. 66).

El sitio CVN presentó una buena conservación del ambiente al no presentar modificaciones hidromorfológicas y una vegetación de ribera en buen estado. Estas condiciones favorecieron

una riqueza de MIBs alta y con abundancias homogéneas, lo que indica que el sitio tiene diferentes hábitats que permiten el desarrollo de distintos macroinvertebrados. Si bien se registraron organismos que pueden tolerar concentraciones altas de materia orgánica (p.e. Chironomidae, Tipulidae) la presencia de *taxa* con preferencias a bajas concentraciones de materia orgánica y buena conservación de los elementos paisajísticos fue más abundante, como es el caso de *Anacroneuria*, *Phylloicus* y *Epeorus*.

Para el caso del sitio HM, la riqueza de MIBs fue menor, pero con varios organismos que tienen preferencia por aguas transparentes (p.e. Blephariceridae) y una diversidad amplia de sustratos (rocas, gravas, arenas, troncos, plantas acuáticas) (p.e. *Epeorus*, *Phylloicus*, *Thraulodes*), lo que permitió obtener una calidad muy buena aun cuando los elementos paisajísticos se encontraron alterados: una baja cobertura de vegetación de ribera y la presencia de cultivos y ganado, sin embargo, el impacto es de manera muy particular y el resto del ecosistema río arriba tuvo un buen grado de conservación.

Con respecto a los sitios con buena calidad, los ensambles de macroinvertebrados se mantuvieron con poca variación entre las temporadas lo que permitió el mantenimiento de la calidad. De manera particular, se detectaron afectaciones puntuales en el resto de los sitios que estuvieron relacionados a la extracción de materiales pétreos, lo que representa una pérdida de hábitats que los MIBs pueden aprovechar para alimentarse o depositar huevos. A pesar de lo anterior, el ensamble de macroinvertebrados aún conserva las funciones ecológicas de reciclaje y transformación de materia orgánica. Así mismo, las actividades ganaderas y establecimiento de asentamientos humanos no han provocado la pérdida crítica del ecosistema ya que se desarrollan de manera muy local y a baja escala, lo que permite que los MIBs sigan estableciéndose en los sitios.

Cabe mencionar que la buena conservación de los tributarios que desembocan al río principal es de suma importancia como puntos de origen de una alta abundancia y diversidad de macroinvertebrados que pueden ser transportados hacia el río principal y cumplir las funciones ecológicas en cada uno de los tramos. En estos sitios, los organismos recolectores fueron los más abundantes especialmente *Leptohyphes*, *Thraulodes*, *Centroptilum*, *Baetodes* y *Nectopsyche*, cuyas preferencias ambientales corresponden a sitios con velocidad de

corriente media, presencia de zonas con pozas y de vegetación acuática y concentraciones bajas de contaminación orgánica.

En el caso de los sitios GL y PT que presentaron calidad media, se detectaron perturbaciones en la vegetación de ribera debido al desmonte para la extracción de materiales pétreos, la construcción de caminos y en las altas concentraciones de nutrientes, en particular en la planta de tratamiento donde las aguas residuales entran al río sin ningún tipo de manejo o transformación, lo cual genera de poco o nulo oxígeno y muy pocos MIBs se pueden establecer. Esto estuvo confirmado por la dominancia de larvas de mosca de la familia Chironomidae, las cuales pueden tolerar concentraciones bajas de oxígeno y altas cargas de contaminación orgánica. Durante la época de lluvias, el escenario del sitio PT mejoró al aumentar la calidad a buena, lo cual pudo estar relacionado al aumento de la cantidad y velocidad del agua, propiciando una dilución de nutrientes y materia orgánica, así como una mayor cantidad de oxígeno disuelto disponible para el aprovechamiento de los macroinvertebrados como *Camelobaetidius*, *Tricorytodes* y *Rhagovelia* que pueden tolerar niveles medios de contaminación orgánica.

Las calidades de los sitios de la Laguna Manialtepec con respecto a los MIBs se registraron con categoría media y se pudo obtener un puntaje únicamente durante la época de secas (Fig. 66). Es importante recalcar que el índice de macroinvertebrados está construido y adaptado para ríos de agua dulce, por lo que, aplicarlo en sistemas con una naturaleza diferente representa un sesgo en la información que proporciona.

Debido a lo anterior, los organismos que se colectaron y presentaron un puntaje para el cálculo del índice correspondieron a larvas de mosquito de las familias Ceratopogonidae y Chironomidae, los cuales se desarrollan principalmente en sistemas estancados como lagos y lagunas, con sustrato fangoso o arenoso y abundante materia orgánica en descomposición, características que se presentaron en los sitios LN y EG dentro de la laguna.

Así mismo, se registraron algunos organismos del orden Amphipoda y camarones del género *Macrobrachium*, los cuales tienen preferencia por sistemas con altas cargas de materia orgánica que aprovechan como alimento. En el caso de *Macrobrachium*, las bajas abundancias podrían estar relacionadas con la pérdida y modificación de la vegetación de

ribera, ya que son muy susceptibles a la disponibilidad de vegetación (p.ej. los mangles), los cuales utilizan como refugio, lugares para alimentarse y reproducirse.

Es importante considerar diferentes puntos en la laguna que tengan un mayor grado de conservación para poder comparar la abundancia de estos macroinvertebrados y contar con un panorama más amplio de las condiciones generales de la laguna.

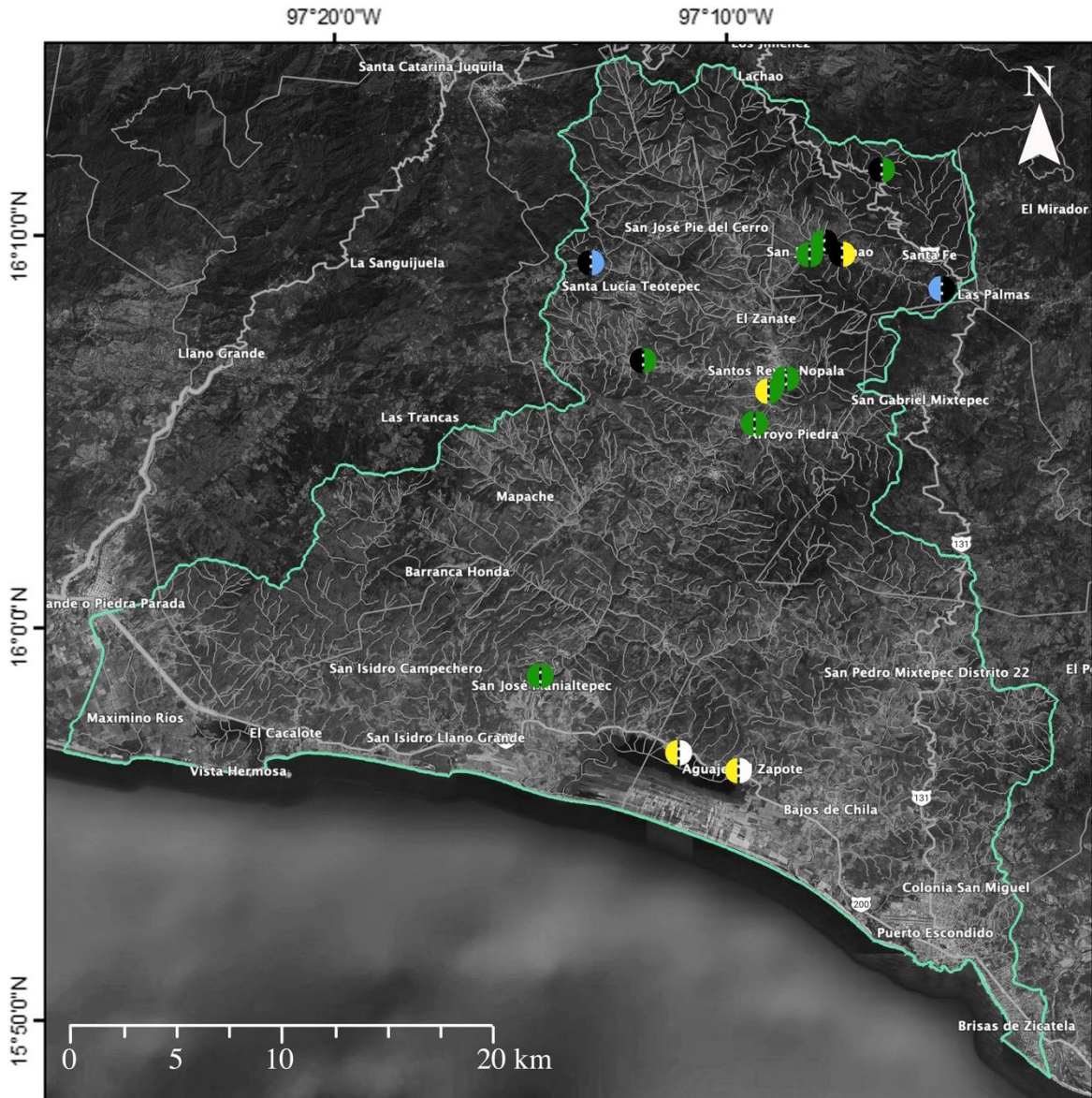


Figura 66. Categorías del índice de macroinvertebrados para los sitios de monitoreo en las épocas de secas y lluvias en la cuenca del Río Maniátepec y la Laguna de Maniátepec, Oaxaca.

Tabla 9. Distribución y abundancia relativa de macroinvertebrados bentónicos en el Río Manialtepec y en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca.

Taxa	HM_1	CA_1	RSA_1	CVN_s	GL_1	RS_s	BC_s	BC_1	HP_s	HP_1	PT_s	PT_1	CNM_s	CNM_1	SJM_s	SJM_1	LN_s	LN_1	EA_s	EA_1
Oligochaeta		1.7	0.9																	
Polichaeta																				1.8
Mytiloidea																		20.0	35.1	9.6
<i>Melanoides</i>									0.7		1.2		5.3	14.0	8.8	4.3				
Neritidae																				1.9
Physidae											1.1		4.2							
Dugesiiidae			1.9	1.2				5.0	7.6		3.3		8.4	3.5						
Acari				1.2	5.0				1.0	0.7										
Elmidae 1			4.7	3.7						3.0		1.2		1.8						
Elmidae 2			1.9														0.8			
Elmidae adulto			11.3																	
<i>Dineutus</i>			5.7																	
<i>Gyretes</i>	2.3				5.0		1.8													
Hydrophilidae						1.4														
<i>Psephenus</i>										0.7						8.7				
Ptilodactylidae	2.3		14.2	3.7	5.0															
Blephariceridae	2.3																			
Ceratopogonidae													1.1					0.8		
Ceratopogonidae 2																				
Chironomidae	9.1	5.2		2.4		2.9		2.0	7.6	3.0	71.1	12.0	7.4				2.4		8.8	
Psychodidae								4.0				3.6								
Simuliidae			0.9	1.2		4.3		23.0	1.9	2.2				7.0						
Tipulidae			0.9	1.2											1.5					
Baetidae											1.1				1.5					
<i>Baetodes</i>	4.5	29.3		3.7	15.0	2.9		10.0	5.7	1.5				1.8						
<i>Camelobaetidius</i>	13.6	8.6			40.0		0.9	10.0		5.9	2.2	6.0	2.1							
<i>Centroptilum</i>	6.8	8.6	0.9	8.5		4.3	11.8	6.0	12.4	8.1		6.0		5.3	13.2	4.3				
<i>Epeorus</i>	4.5			7.3		2.9			2.9											
<i>Asioplax</i>											1.1	1.2								
<i>Leptohyphes</i>		3.4	11.3	3.7	5.0	33.3	33.6	7.0	21.9	14.1	4.4	2.4	6.3	7.0				0.8		
Leptohyphidae															7.4					
<i>Tricorythodes</i>				2.4		7.2		4.0				13.3		5.3						
<i>Thraulodes</i>	4.5	3.4	0.9	4.9		2.9	1.8	3.0	3.8	10.4	3.3	4.8	16.8	21.1	39.7	4.3				
Lachlania		5.2						2.0		22.2				5.3						
<i>Belostoma</i>									1.0				1.1							
Belostomatidae			1.9			2.9	1.8		5.7	0.7		2.4	2.1	3.5						
Corixidae				3.7																
<i>Aquarius</i>	2.3				10.0															
<i>Rheumatobates</i>										0.7								20.0		23.1

Taxa	HM_I	CA_I	RSA_I	CVN_s	GL_I	RS_s	BC_s	BC_I	HP_s	HP_I	PT_s	PT_I	CNM_s	CNM_I	SJM_s	SJM_I	LN_s	LN_I	EA_s	EA_I
<i>Trepobates</i>					5.0					0.7								26.7		23.1
<i>Ambrysus</i>							5.5	3.0	1.9	2.2		6.0	3.2							
<i>Cryphocricos</i>	6.8					1.4			1.0				2.1			4.3				
<i>Limnocothis</i>		12.1						1.0	1.0					1.8	1.5					
<i>Rhagovelia sp. 1</i>		3.4			10.0		1.8			14.1		13.3		14.0		13.0				
<i>Rhagovelia sp. 2</i>				1.2		4.3	0.9													
<i>Petrophila</i>							0.9	1.0	1.9				1.1		5.9	13.0				
<i>Corydalus</i>	4.5	1.7				5.8		6.0	1.0				2.1							
<i>Calopteryx</i>						1.4														
<i>Hetaerina</i>	4.5						7.3		3.8			3.6	8.4	1.8						
<i>Argia</i>													1.2							
<i>Phyllogomphoides</i>													1.2							
<i>Progomphus</i>				2.4			0.9						1.1		1.5					
<i>Paltothemis</i>		1.7		1.2		2.9				0.7			3.2							
<i>Palaemnema</i>				1.2			0.9								1.5					
<i>Anacroneuria</i>		1.7	7.5	7.3		1.4	2.7	1.0	3.8	3.7			4.2	3.5						
<i>Phylloicus</i>	6.8	1.7	8.5										1.2							
<i>Helicopsyche</i>	4.5							6.0		0.7			2.4		4.4	4.3				
<i>Atopsyche</i>				1.2					2.9											
<i>Leptonema</i>	6.8		11.3	13.4		1.4	0.9			0.7		4.8	10.5							
<i>Smicridea</i>		5.2	1.9	9.8		7.2	5.5	1.0	9.5	3.0	11.1	3.6	5.3	1.8						
Hydroptilidae											1.1		1.1							
<i>Metrichia</i>							0.9													
<i>Rhyacopsyche</i>									1.0											
<i>Zumatrichia</i>									1.0											
<i>Nectopsyche</i>	9.1	1.7	11.3	6.1		7.2	20.0	5.0				4.8								
<i>Oecetis</i>												3.6								
<i>Chimarra</i>	4.5		1.9	7.3									3.2							
Amphipoda																	78.2			12.3
Decapoda																				1.8
<i>Macrobrachium</i>						1.4									13.2		1.6			3.5
<i>Palaemon</i>		5.2												1.8		43.5				
Cirolanidae																	14.5			36.8
Tanaidacea																	0.8			42.3
Cirripedia																		33.3		

Análisis integrado

Mediante el análisis de componentes principales se pudo integrar la información de los parámetros físico-químicos, paisajísticos y biológicos. De esta manera se puede observar que los sitios Río Salado Alto, Cascada Velo de Novia, Río Salado, Barrio del Carmen (secas) y Hondura El Pollito (secas y lluvias) conservan la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (Fig. 67).

Por su parte, los sitios Confluencia Neblina y Maíz, Barrio del Carmen (lluvias), San José Manialtepec y la Hondura del Metate presentan un deterioro ecológico, principalmente por la modificación de los parámetros paisajísticos y en consecuencia, de los físico-químicos y biológicos.

Finalmente, los sitios Planta de Tratamiento, Granja Lachao y Cerro del Aire fueron los que presentaron ecosistemas más degradados por el impacto de las actividades agrícolas, pecuarias y la contaminación generada por el aporte de aguas residuales sin tratamiento.

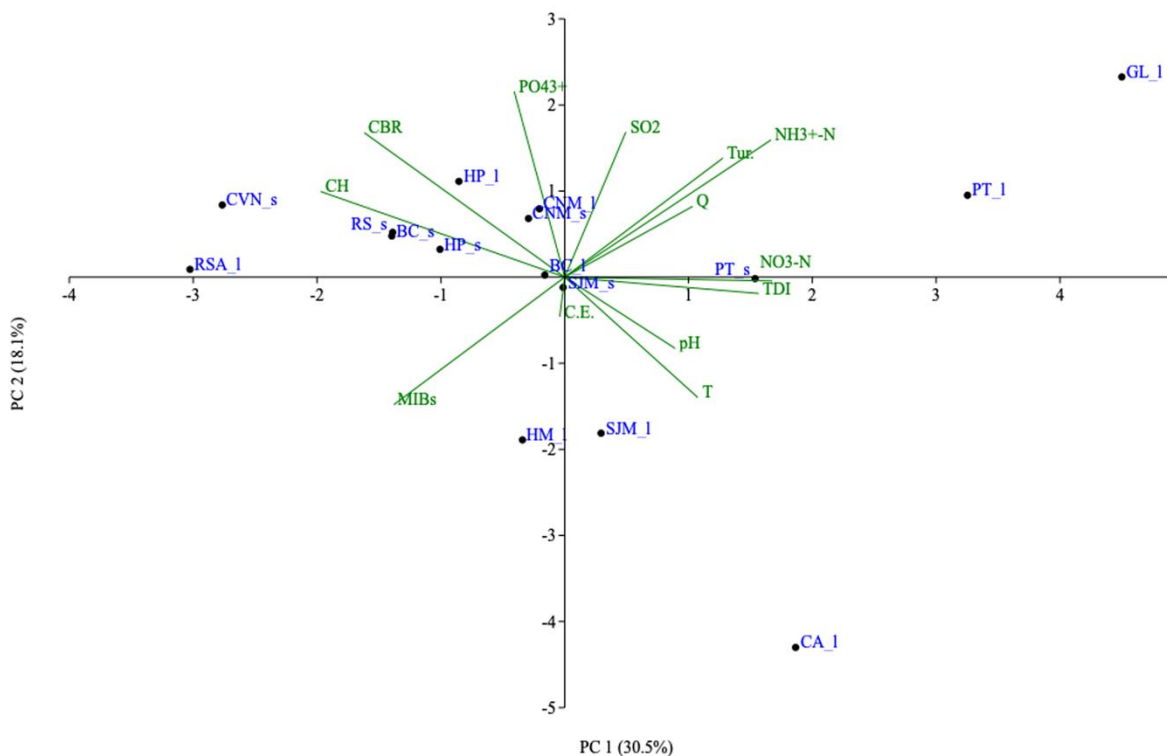


Figura 67. Análisis de componentes principales de los sitios monitoreados en la cuenca del Río Manialtepec. Códigos de los sitios en Tabla 2 y de las variables en tabla 3.

Conclusiones

En la parte alta de la cuenca se encontraron sitios bien conservados con ecosistemas funcionales, lo cual responde al desarrollo de actividades productivas a baja escala y a esfuerzos de conservación por parte de la comunidad de San Juan Lachao.

Si bien en la parte media de la cuenca el mayor factor de degradación es el vertido de aguas residuales de la Planta de Tratamiento de Santos Reyes Nopala, también hay otros elementos que disminuyen la calidad ecológica, como la remoción de la vegetación de ribera debido a que la actividad agrícola se desarrolla en la zona ribereña, sin respetar la zona federal. En este sentido, atender el problema de la planta de tratamiento es prioritario, pero se deben mantener esfuerzos por recuperar y reforestar las riberas.

Una de las principales perturbaciones observadas fue la extracción de materiales pétreos del lecho del río, si bien esta es una actividad común a lo largo de la cuenca, se deben de generar estrategias que permitan realizar un aprovechamiento sostenible del recurso sin poner en riesgo el funcionamiento del ecosistema acuático. Las consecuencias a largo plazo de esta actividad sin regulación no sólo repercutirán en el sitio de extracción, también cuenca abajo por la falta de control en la velocidad con la que escurre el agua y en la cantidad de sedimentos que se transportan hacia la Laguna de Manialtepec.

En el presente estudio se generó una línea base de la diversidad de organismos acuáticos de diatomeas, macroalgas y macroinvertebrados, siendo uno de los primeros esfuerzos nacionales en generar esta información.

La mayor diversidad acuática de los tres grupos analizados se registró durante la época de secas y presentó una tendencia a incrementarse hacia la parte baja de la cuenca.

Las especies de diatomeas respondieron al incremento de nutrientes por las actividades productivas en la cuenca, así como por el aporte de materia orgánica en la Planta de Tratamiento.

De manera similar, los taxones de macroalgas respondieron en la época de secas, pues en lluvias disminuyó considerablemente la riqueza de especies debido a un patrón estacional natural en que estos crecimientos no soportan las crecidas en el caudal.

Los macroinvertebrados bentónicos respondieron al aumento del caudal durante la época de lluvias y a la pérdida o modificación de la vegetación de ribera que reflejó una disminución considerable de la riqueza de macroinvertebrados con respecto a los organismos colectados durante la época de secas.

En la Laguna de Manialtepec los resultados señalaron condiciones de eutrofización en las comunidades de diatomeas y macroalgas, así como condiciones de calidad media respecto a los macroinvertebrados. Este tipo de sistemas tienden a tener estas condiciones debido a que son sistemas cerrados y poco comunicados con el mar, por lo que concentran los materiales y sustancias que son arrastrados por el río o por las lluvias. Esto los hace particularmente frágiles, pues las actividades humanas, como el dragado de sedimentos en los canales y las aperturas o cierres de las bocanarras pueden afectar considerablemente la dinámica natural de los ciclos biogeoquímicos, poniendo en riesgo la liberación de sustancias que pudieran ser tóxicas para la vida acuática.

Recomendaciones

- A partir de la generación de información de esta línea base de información ambiental y ecológica, se recomienda continuar con los esfuerzos de monitoreo involucrando a la comunidad de los municipios en la cuenca.
- En la época de lluvias se incluyeron los sitios Hondura del Metate y Cerro del Aire esperando encontrar mejores condiciones ecológicas que permitieran establecer las condiciones de referencia, sin embargo, se registraron como sitios perturbados. Por lo anterior, es adecuado continuar la exploración en la parte alta de la cuenca para encontrar sitios con poca o nula intervención humana.
- Si bien el análisis de bacterias coliformes totales fue positivo en todos los sitios, para conocer el potencial impacto en la salud ambiental y de las personas se requiere conocer la densidad bacteriana, por tal, se propone incluir métodos de cuantificación de coliformes fecales y particularmente de *E.coli*.

- Aunque los índices de diatomeas y macroinvertebrados no son herramientas generadas para el país, representan una buena aproximación para conocer las perturbaciones en la cuenca. Sin embargo, se propone continuar con los esfuerzos de monitoreo para generar este tipo de herramientas regionales y contar con interpretaciones más precisas.
- Los sitios de monitoreo analizados se concentraron en la parte alta y media de la cuenca, por lo que en futuros esfuerzos será adecuado incluir más sitios en la parte baja, así como en la entrada del río a la Laguna de Manialtepec. De igual manera, se recomienda contemplar un mayor número de sitios de monitoreo dentro de la Laguna de Manialtepec para explorar las condiciones ambientales y ecológicas del sistema ante baja o nula perturbación.
- Uno de los principales retos para el monitoreo fue la dificultad para realizarlos monitoreos en temporada de lluvias, por lo que se sugiere llevar a cabo los esfuerzos a partir del mes de octubre, una vez que las lluvias más fuertes hayan transcurrido.

Referencias

- Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (2004). Caracterització, regionalització i elaboració d'èdificis d'establiment de l'estat ecològic de les zones humides de Catalunya. Institut d'Ecologia Aquàtica, Universitat de Girona, 86 pp.
- Álvarez-Arango, L.F. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.*
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F. y Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17:333-347.
- Bellinger, E. G., y Sigeo, D. C. (2015). *Freshwater algae: identification, enumeration and use as bioindicators.* John Wiley & Sons.
- Bouchard, Jr, Raymond. (2004). Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper midwest waters. *Limnology in Brazil*. 365-371.

- Bueno-Soria, J. (2010). Guía de identificación ilustrada de los géneros de larvas de insectos del orden Trichoptera de México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cantonati, M., Kelly, M.G. y Lange-Bertalot, H. (2017). Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe. Koeltz Botanical Books.
- Carmona-Jiménez, J., Caro-Borrero, A.P., Salinas-Camarillo, V.H., & Caro-Borrero, E.M. (2021). *Calidad ecológica en ríos de la Cuenca de México. Protocolos de evaluación y monitoreo biológico e hidromorfológico*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Ciudad de México, México.
- Carmona-Jiménez, J. y Beltrán-Magos, Y. (2007). Las algas rojas de aguas continentales en la región central de México. Las prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dillard, G.E. (1999). Common freshwater algae of the United States. An illustrated key to genera (excluding diatoms). J.Cramer.
- Encinos Ingeniería. (2021a). Informe de muestreo y análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos de muestras líquidas, realizado en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca. Campaña 1-2021.
- Encinos Ingeniería. (2021b). Informe de muestreo y análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos de muestras líquidas, realizado en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca. Campaña 2-2021.
- Encinos Ingeniería. (2022). Informe de muestreo y análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos de muestras líquidas, realizado en la cuenca del río Manialtepec, Oaxaca. Campaña 1-2022.
- European Commission (EC). (2000). Directive 2000/60/ EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities L 327, 22/12/2000, 1–73.
- Flowers, R. W., y De la Rosa, C. (2010). Capítulo 4: Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58, 63-93.
- Forero, L.C., Longo, M., Ramírez, J.J. y Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62: 233-247.
- García, E.-CONABIO. (1998). Climas, escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Hanson, P., Springer, M., y Ramírez, A. (2010). Introducción a los grupos de Macroinvertebrados Acuáticos. (Vol. 1). *Rev. Biol. Trop.* 58 (4): 3-37.

- Hauer, F.R., Lamberti, G.A. y Gilbert, O.L. (1996). Methods in stream ecology. *Biological Journal of the Linnean Society* 59(4): 471.
- Joska, M. y Bolton, J. (1993). Guide to common filamentous freshwater macroalgae in South Africa. University of Cape Town.
- Kelly, M.G., Adams, C., Graves, A.C., Jamieson, J., Krokowski, J., Lycett, E.B., Murray-Bligh, J., Pritchard, S. & Wilkins, C. (2001). *The Trophic Diatom Index: A User's Manual*. Revised edition. Environmental Agency, Bristol, UK.
- Kelly, M.G. y Whitton, B.A. (1995). The Trophic Diatom Index: a new index for biomonitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7: 433-444.
- Krammer, K., y Lange-Bertalot, H. (1988a). Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. En: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1. Gustav Fischer.
- Krammer, K., y Lange-Bertalot, H. (1988b). Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. Gustav Fischer.
- Krammer, K., y Lange-Bertalot, H. (1991a). Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3. Gustav Fischer.
- Krammer, K., y Lange-Bertalot, H. (1991b). Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. En: H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4. Gustav Fischer.
- Lange-Bertalot, H. (2001). *Diatoms of Europe Volume 2. Navicula sensu stricto 10 genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Ley de Aguas Nacionales (LAN), Reformada, Diario Oficial de la Federación (D.O.F.), 08 de mayo de 2023, (México).
- Lobo, E. A., Weber-Freitas, N., y Salinas, V. H. (2019). Diatoms as bioindicators: Ecological aspects of the algae response to eutrophication in Latin America. *Mexican Journal of Biotechnology*, 4(1), 1-24.
- López-Fuerte, O., Siqueiros-Beltrones, D. A. y Navarro, J. N. (2010). Benthic diatoms associated with mangrove environments in the Northwest region of Mexico. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO)
- Merrit, R. W., Cummins, K. W., y Berg, M. B. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America, 4 ed. Kendall Hant.

- Metzeltin, D. y Lange-Bertalot, H. (1998). Tropical diatoms of South America I: About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica* Volume 5. Diversity-Taxonomy-Geobotany. Koeltz Scientific Books.
- Metzeltin, D., Lange-Bertalot, H. y García-Rodríguez, F. (2005). Diatoms of Uruguay compared with other taxa from South America and elsewhere. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica* Volume 15. Annotated Diatom Micrographs. A.R.G. Ganter.
- Metzeltin, D. y Lange-Bertalot, H., (2007). Tropical Diatoms of South America II. Special remarks on biogeographic disjunction. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica* Volume 18. Annotated Diatom Micrographs. A.R.G. Ganter.
- Ministerio Nacional de Ambiente y Energía (MINAE). (2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. La Uruca, San José: La Gaceta Diario Oficial 178. Decreto No 33903-MINAE-S.
- Munné, A., Solà, C., & Prat, N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua* 175: 20-37.
- Necchi Jr, O. (Ed.). (2016). *River algae*. Springer.
- Necchi, O., Branco, J.L.Z., & Branco, C.C.Z. (1995). Comparison of three techniques for estimating periphyton abundance in bedrock streams. *Arch. Hydrobiol.* 134(3): 393-402.
- Novelo-Gutiérrez, R. (2023). Clave actualizada para la separación de familias y géneros de las larvas de Zygoptera de México (Insecta: Odonata). *Dugesiana*, 30(1).
- O'Callaghan, P. & Kelly-Quinn, M. (2013). Performance of selected macroinvertebrate-based biotic indices for rivers draining the Merendon Mountains region of Honduras. *UNED Research Journal*, 5(1), 45-54.
- Oliva-Martínez, M.G. y Garduño-Solórzano, G. (2017). *Cianobacterias. Cyanobacteria, Cyanoprokaryota*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramírez, A., (2010). Capítulo 5. Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 97-136.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H. y Rumrich, M. (2000). Diatoms of the Andes. From Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego. And two additional contributions. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica* Volume 9. Annotated Diatom Micrographs. A.R.G. Ganter.
- Salinas-Camarillo, V.H., Carmona-Jiménez, J., & Lobo, E.A. (2020). Development of the Diatom Ecological Quality Index (DEQI) for peri-urban mountain streams in the Basin of Mexico. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 14555-14575.

- Spaulding, S.A., Potapova, M.G., Bishop, I.W., Lee, S.S., Gasperak, T.S., Jovanovska, E. y Edlund, M.B. (2021). Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research* 36(4): 291-304.
- Taylor, J.C., Harding, W.R. y Archibald, C.G.M. (2007). An illustrated guide to some common diatom species from South Africa. Water Research.
- Tennessen, K. J. (2019). Dragonfly nymphs of North America: an identification guide. Springer.
- Thorp, J. H., y Rogers, D. C. (Eds.). (2015). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Keys to Nearctic Fauna. Elsevier.
- Torres-Ariño, A., Pérez-Pérez, L.A., Rito-Ruíz, C.E., Luna-Hernández, A., Velasco-Hernández, M.D., Ramos-Espejel, L.I, y Herrera-Galindo, J.E. (2020). Análisis de la coloración rosa en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, XXIV (70): 31-45.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (1985e). *Ambient water quality criteria for ammonia — 1984*. Criteria and Standards Division, US Environmental Protection Agency, Washington DC. EPA-441/5-85-001.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (1986). Quality criteria for water 1986: Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency Report 440/5-86-001, Office of Water, variously paged.
- Voshell, J. R. (2002). *A guide to common freshwater invertebrates of North America*. McDonald and Woodward Publishing Company.
- Wehr, J. D., Sheath, R. G. y Kociolek, J. P. (Eds.). (2015). Freshwater algae of North America: ecology and classification. Elsevier.

