



**COORDINACIÓN DE DESARROLLO
PROFESIONAL E INSTITUCIONAL**

SUBCOORDINACIÓN DE POSGRADO

T E S I S

**“CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL
AGUA DEL PARQUE ESTATAL URBANO BARRANCA DE
CHAPULTEPEC, MORELOS”**

que para obtener el grado de

**MAESTRA EN
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA**

p r e s e n t a

Biol. Mayra Carolina Reyes Santillán

Tutora: Dra. María del Pilar Saldaña Fabela

Cotutora: Dra. Nandini Sarma

Jiutepec, Morelos. Abril 2019



INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
MAESTRIA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA
SISTEMAS AMBIENTALES

**“CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE CALIDAD DEL AGUA DEL PARQUE
ESTATAL URBANO BARRANCA DE CHAPULTEPEC, MORELOS”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

MAESTRA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA

PRESENTA

Biol. REYES-SANTILLÁN MAYRA CAROLINA

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARIA DEL PILAR SALDAÑA FABELA

CODIRECTORA DE TESIS: DRA. NANDINI SARMA

SINODALES

M. EN C. YOLANDA PICA GRANADOS

DRA. SOFÍA ESPERANZA GARRIDO HOYOS

DRA. MARÍA ANTONIETA GÓMEZ BALANDRA

Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada "Caracterización y diagnóstico de calidad de agua del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos", otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

Biol. Reyes Santillán Mayra Carolina

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Reyes Santillán', is written over a horizontal line.

Jiutepec, Morelos. Abril 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en ciencias dentro de su institución. Al personal administrativo de las oficinas de posgrado por la atención y orientación personalizada para cumplir cabalmente con los trámites desde el inicio del proceso de selección, hasta la presentación de este trabajo.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala y al Laboratorio de Zoología Acuática I y II por darme la oportunidad de concluir mis estudios y contribuir a mi formación como maestra en ciencias, gracias a los cursos, talleres y conferencias que continuamente organizan en el laboratorio.

Agradezco a la Administración del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec y a la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Morelos por las facilidades prestadas para la realización de este proyecto de investigación.

Agradezco a la Dra. María del Pilar Saldaña Fabela por su aportación en conocimiento y experiencia hacía mí y hacía el trabajo de investigación, por el apoyo, la paciencia y la atención en mí transcurrir por el instituto. Gracias por confiar en mi y en este proyecto.

Agradezco a la Dra. Nandini Sarma quien siempre ha estado pendiente de mi crecimiento, tanto profesional como personal desde el momento en que entré al laboratorio de Zoología acuática, gracias por el aporte en conocimientos y por sus sabios consejos, que sin duda alguna siempre me fueron útiles. Gracias por confiar en mi.

Agradezco al Dr. Sarma, por su apoyo en la identificación de los organismos, por su paciencia en la enseñanza de la taxonomía.

Agradezco a mi comité de sinodales, a la M. en C. Yolanda Pica Granados, a la Dra. Sofía Esperanza Garrido Hoyos y a la Dra. María Antonieta Gómez Balandra, quienes, además, de su gran aporte en conocimientos y consejos para realizar este trabajo, son un gran ejemplo de mujeres de éxito en la ciencia.

Agradezco a los compañeros del área del laboratorio de calidad del agua del IMTA, M. en C. Camilo, Erik y Fernando, por su apoyo durante los muestreos y la toma de datos.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

Agradezco a mis compañeros de generación, tanto de la UNAM como del IMTA, porque compartimos momentos que para mi son inolvidables, desde el proceso de selección, hasta el proceso de titulación de cada uno, gracias a todos ellos me sentí en familia a pesar de estar lejos de la mía, conocí personas que son invaluable e irremplazables que sin duda dejan huella en mi. Paola, Jesús, Hugo, Lalo Issaias, Erika, Chapitas, George, Angie, Álvaro, Orlando, Yadira, Irene, Aldo, Sama, Joma, Rachel, Quique, Nayelli, Pedro, Oscar, Paquito, Rene, Braulio y Franco.

Agradezco a mis compañeros de laboratorio de Zoología Acuática de la FES Iztacala, quienes nunca me han negado la ayuda y siempre me han ofrecido una sonrisa y un consejo fraternal. Rosa, Cesar, Meetztli, Brenda, Toño, Michael, Alma y Gerardo.

Agradezco de manera especial a mis amigos Lety y Uriel, quienes siempre estuvieron dispuestos a darme un consejo y una opinión sincera, con quienes compartí día a día mi estancia en el laboratorio, muchas veces desde el desayuno hasta la cena y quienes permitieron que jamás me sintiera ajena a ese lugar. A Diego y Noelia, quienes desde el principio me apoyaron y estuvieron pendientes de mi y me alentaron a tomar esta decisión. A Luis, porque desde que tuve la fortuna de conocerlo, me apoyó completamente y siempre estuvo dispuesto a escucharme y darme un consejo.

A Rocío, mi mejor amiga, por estar siempre a mi lado, porque siempre estuvo dispuesta a escucharme, darme un buen consejo y a recibirme en su casa sin importar las circunstancias, quien a la distancia siempre estuvo pendiente de mi y de mi crecimiento personal, así como de mi formación académica. No tengo como pagarte tanto.

Y por supuesto, agradezco a mis amigos tanto de la prepa como de la universidad, quienes a pesar de la distancia y de las distintas labores que cada uno despeña siempre tuvimos la oportunidad de vernos, hablar y estar al pendiente de nuestras vidas. Tania, Karina, Raúl, Brenda, Aline, Kika y Jose Luis.

DEDICATORIA

A mi familia:

Quienes siempre han estado y estarán a mi lado pase lo que pase

Especialmente a mi madre, Ángeles, quien me ha enseñado tantas cosas de la vida que no tengo como agradecerle, porque siempre me apoyó y me enseñó a seguir adelante en toda ocasión y porque nunca dejó de creer en mí, de quien aprendí el amor incondicional.

A mi padre, Víctor, de quien aprendí a ser fuerte y constante ante cualquier situación.

A mis hermanos, Víctor y Cristian, por estar siempre molestando, provocándome risas y enojos.

A mis tías, Paty, Alejandra, Alba y María, y a mi abuelita Maura, quienes son un gran ejemplo de mujeres incansables llenas de sabiduría y amor incondicional, siempre al pendiente de mi crecimiento y formación.

A mis primos, que más que primos, para mí, son hermanos. Ruth, Omar, Andrés, Mauro, Adrián, Jessica, Miriam, Oscar, Luis, Erika, Rodrigo, Mónica y Ángel.

CONTENIDO

<i>RESUMEN</i>	1
<i>1. INTRODUCCIÓN</i>	3
1.1 DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN MÉXICO	3
1.2 CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO	7
1.3 ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA.....	9
1.4 SITIOS DE REFERENCIA	15
<i>2. ANTECEDENTES</i>	17
2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	17
2.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	19
2.3 ANTECEDENTES EN EL ESTADO DE MORELOS.....	20
<i>3. JUSTIFICACIÓN</i>	23
<i>4. HIPÓTESIS</i>	26
<i>5. OBJETIVOS</i>	26
5.1 OBJETIVO GENERAL	26
5.2 OBJETIVOS PARTICULARES	26
<i>6. ÁREA DE ESTUDIO</i>	27
<i>7. MATERIALES Y MÉTODOS</i>	31
7.1 SITIOS DE MUESTREO.....	31
7.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS	38
7.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	45
<i>8. RESULTADOS</i>	52
8.1 COMUNIDAD BIOLÓGICA	52
8.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	91
<i>9. DISCUSIÓN</i>	111
<i>10. CONCLUSIONES</i>	124
<i>11. LITERATURA CITADA</i>	127

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del agua simplificado. Filtración de agua al subsuelo (Gómez, 2011)	4
Figura 2. Área de estudio, manantial Chapultepec, Morelos.	28
Figura 3. Área de estudio. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	31
Figura 4. Sitio 1, Inicio del Parque. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	32
Figura 5. Sitio 2, Área de Guacamayas. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	34
Figura 6. Área de actividades recreativas en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	34
Figura 7. Sitio 3, Salida de la Presa. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	35
Figura 8. Sitio 4, Entrada del Lago. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	36
Figura 9. Sitio 5, Salida del Lago. Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos.	37
Figura 10. Riqueza de especies de zooplancton (rotíferos, cladóceros y copépodos) del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	62
Figura 11. Diversidad de especies de zooplancton (rotíferos, copépodos y cladóceros) Shannon-Wiener del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	63
Figura 12. Diversidad de especies de fitoplancton Shannon-Wiener del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	64
Figura 13. Índice Saprobico de Pantle y Buck del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	66
Figura 14. Índice Trófico de Diatomeas del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	67
Figura 15. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 1; Inicio del Parque de agosto a enero del 2017-2018.	69
Figura 16. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 1; Inicio del Parque de agosto a enero del 2017-2018.	70
Figura 17. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 2; Área de guacamayas, de agosto a enero del 2017-2018.	71
Figura 18. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 2; Área de guacamayas de agosto a enero del 2017-2018.	72

Figura 19. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 3; Salida de la presa, de agosto a enero del 2017-2018.	73
Figura 20. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 3; Salida de la presa de agosto a enero del 2017-2018.	74
Figura 21. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 4; Entrada del Lago, de agosto a enero del 2017-2018.	75
Figura 22. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 4; Entrada del Lago de agosto a enero del 2017-2018.	76
Figura 23. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 5; Salida del Lago, de agosto a enero del 2017-2018.	77
Figura 24. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 5; Salida del Lago de agosto a enero del 2017-2018.	78
Figura 25. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos, de agosto a enero del 2017-2018.	79
Figura 26. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos, de agosto a enero del 2017-2018.	80
Figura 27. Dendrograma de similitud basado en el zooplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018.	81
Figura 28. Dendrograma de similitud basado en el fitoplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018.	82
Figura 29. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 1, Inicio del Parque en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	85
Figura 30. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 2, Área de Guacamayas en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	86
Figura 31. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 3, Salida de la Presa en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	87
Figura 32. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 4, Entrada del Lago en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	88

Figura 33. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 5, Salida del Lago en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	89
Figura 34. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	90
Figura 35. Parámetros de campo de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018.....	98
Figura 36. Parámetros de laboratorio de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018.....	99
Figura 37. Dendrograma de similitud entre los sitios de muestreo del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018.....	110
Figura 38. Mapa del Parque Estatal Barranca de Chapultepec con los resultados de la evaluación integral de la calidad del agua por sitio.....	123

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de clasificación de calidad del agua de acuerdo a los valores del Índice de Shannon-Wiener según Wilhm y Dorris (1968) en Segnini, 2003.....	42
Tabla 2. Categorías de clasificación del Índice Saprobio propuesto por Pantle y Buck (Sladeczek, 1983).....	44
Tabla 3. Parámetros analizados y método de análisis basado en la Norma Mexicana en materia de Análisis de Agua.	49
Tabla 4. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua 1989 (CECA-CCA-001/89), en materia Protección a la vida Acuática específicamente Agua Dulce.	91
Tabla 5. Indicadores de calidad del agua y rangos de consideración de acuerdo a la CONAGUA, en mg L ⁻¹ a excepción de Coliformes Fecales que es NMP/100 mL.	92
Tabla 6. Parámetros utilizados para la evaluación de calidad del agua de acuerdo al Índice NFS (EU)	92
Tabla 7. Criterios de evaluación de calidad del agua de acuerdo al Índice NSF (EU).....	92
Tabla 8. Parámetros utilizados para la evaluación de calidad del agua de acuerdo con el Índice de calidad del agua CCME-WQI (Canadá).	93
Tabla 9. Criterios de evaluación de calidad del agua de acuerdo al Índice CCME-WQI (Canadá).....	93
Tabla 10. Parámetros utilizados para la evaluación de calidad del agua de acuerdo al Índice de calidad del agua ISQA (España).....	94
Tabla 11. Criterios de evaluación de calidad del agua de acuerdo al Índice ISQA (España).	94
Tabla 12. Listado taxonómico de las especies que conforman la vegetación ribereña de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	52
Tabla 13. Listado taxonómico de las especies que conforman la vegetación acuática de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	53
Tabla 14. Listado taxonómico de las especies de fauna que se encuentran en los cinco sitios muestreados del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a mayo del 2017-2018.....	53

Tabla 15. Listado taxonómico de especies de Rotíferos que forman parte del zooplancton de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Urbanos Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	55
Tabla 16. Listado taxonómico de especies que forman parte del zooplancton de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	55
Tabla 17. Listado taxonómico de especies de fitoplancton que se encuentran en los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.	57
Tabla 18. Presencia y ausencia de las especies que forman parte del zooplancton en los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018	59
Tabla 19. Presencia y ausencia de las especies que forman parte del fitoplancton en los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018	60
Tabla 20. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 1; Inicio del Parque, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.	102
Tabla 21. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 2; Área de Guacamayas, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.	102
Tabla 22. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 3; Salida de la Presa, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89	103
Tabla 23. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 4; Entrada del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89. (*) Valor establecido de acuerdo a lo reportado con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Acuacultura.	103
Tabla 24. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 5; Salida del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.	104
Tabla 25. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 1; Inicio del Parque, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	107

Tabla 26. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 2; Área de Guacamayas, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	107
Tabla 27. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 3; Salida de la Presa, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	108
Tabla 28. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 4; Entrada del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.....	108
Tabla 29. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 5; Salida del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.....	109
Tabla 30. Valores obtenidos del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener y del Índice de Equitatividad aplicado a los datos de abundancia de zooplancton y Fitoplancton colectado en los cinco sitios de muestreo durante seis meses dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.	135
Tabla 31. Rotíferos como indicadores de saprobiedad.....	136
Tabla 32. Especies consideradas indicadoras para el Índice Trófico de Diatomeas.	137
Tabla 33. Valores de los parámetros evaluados por sitio y por mes del cuerpo de agua dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.....	138

RESUMEN

El agua es base de la vida y de innumerables actividades; este desarrollo ha implicado intervenciones en los cuerpos de agua provocando diversas modificaciones en las características físicas, químicas y biológicas. Estos atributos pueden ser evaluados y monitoreados para tener un diagnóstico de calidad del agua basado en índices, indicadores y bioindicadores, con el fin de dar una gestión sustentable, proteger los sistemas y/o en caso de tener una presión nula de alteración, que estos sistemas puedan ser establecidos como sitios de referencia. El área natural protegida; Barranca de Chapultepec, fue declarada bajo la categoría de región prioritaria por tener alta diversidad, tanto de flora como de fauna y la presencia de especies endémicas como, *Notropis boucardi* (Carpita Morelense) y *Pseudothelphusa dugesi* (Cangrejito barranqueño) asociadas al cuerpo de agua. El manantial y el arroyo que se encuentran en el Parque son utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable y de riego, sin embargo, el Parque está envuelto en una zona totalmente urbanizada, por lo que es más vulnerable a la contaminación antropogénica. Para el estudio integral de calidad del agua se colectaron muestras mensuales para el análisis biológico de zooplancton, fitoplancton y macrófitas, adicionalmente, se tomaron muestras de agua para análisis fisicoquímicos de cinco sitios en el cuerpo de agua entre agosto y enero del 2017-2018. En los resultados de los análisis de la flora y la fauna se puede observar que la mayoría son especies invasoras o no nativas del área de las barrancas, como es el caso de *Eucalyptus calmadulensis*, *Hydrilla verticillata* y *Oncorhyncus mykiss*. Dentro de las comunidades de zooplancton, los rotíferos fueron los organismos más abundantes, principalmente de la familia Lepadellidae y Brachionidae, mientras que en el fitoplancton los organismos más abundantes fueron las diatomeas de la familia Naviculaceae. El Parque tiene una diversidad de zooplancton y fitoplancton de 3.68 y 3.60 bits/ind respectivamente,

siendo el sitio 1 el más diverso en cuanto al zooplancton y el sitio 2 en cuanto al fitoplancton. El índice saprobico categoriza el cuerpo de agua del Parque como “ β -mesosaprobico”, ya que los valores promedio de cada sitio están entre 1.6 y 2.5, mientras que el índice trófico de diatomeas lo categoriza como un sitio que va de “Oligotrófico” a “Mesotrófico” con valores que van de las 60 a las 75 unidades. De acuerdo con los índices, e indicadores se concluyó que la calidad del agua del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, es de “Aceptable” a “Buena” con algunos problemas de contaminación de tipo biológica por la presencia de coliformes fecales provenientes de fuentes difusas como escurrimientos de la zona urbana contigua a la barranca y de los animales que se encuentran el área recreativa del Parque. Finalmente, después de realizar un análisis integral de las variables biológicas y fisicoquímicas se concluyó que este cuerpo de agua puede ser propuesto como un sitio de referencia de calidad del agua dentro de la cuenca del río Apatlaco.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN MÉXICO

Por su formación orográfica, México cuenta con una amplia diversidad de cuerpos de agua epicontinentales, es decir, cuerpos de agua que se encuentran confinados dentro de la superficie terrestre, ya sean, superficiales o subsuperficiales. Hasta el 2016 se han registrado 757 cuencas de aguas superficiales y 653 acuíferos (DOF, 2016a).

Los depósitos de agua subterránea son tan comunes que la mayor parte del agua que se utiliza para abastecimiento de agua potable se obtiene de estos sitios (SEMARNAT, 2007, 2015). El agua subterránea tiene lugar a partir del agua que cae en la superficie, posteriormente es permeada a través de la porosidad del suelo, tal como se puede observar en la Figura 1. El agua confinada bajo la superficie se caracteriza por tener un movimiento lento y un tiempo de residencia prolongado en comparación al agua superficial (Chapman, 1996).

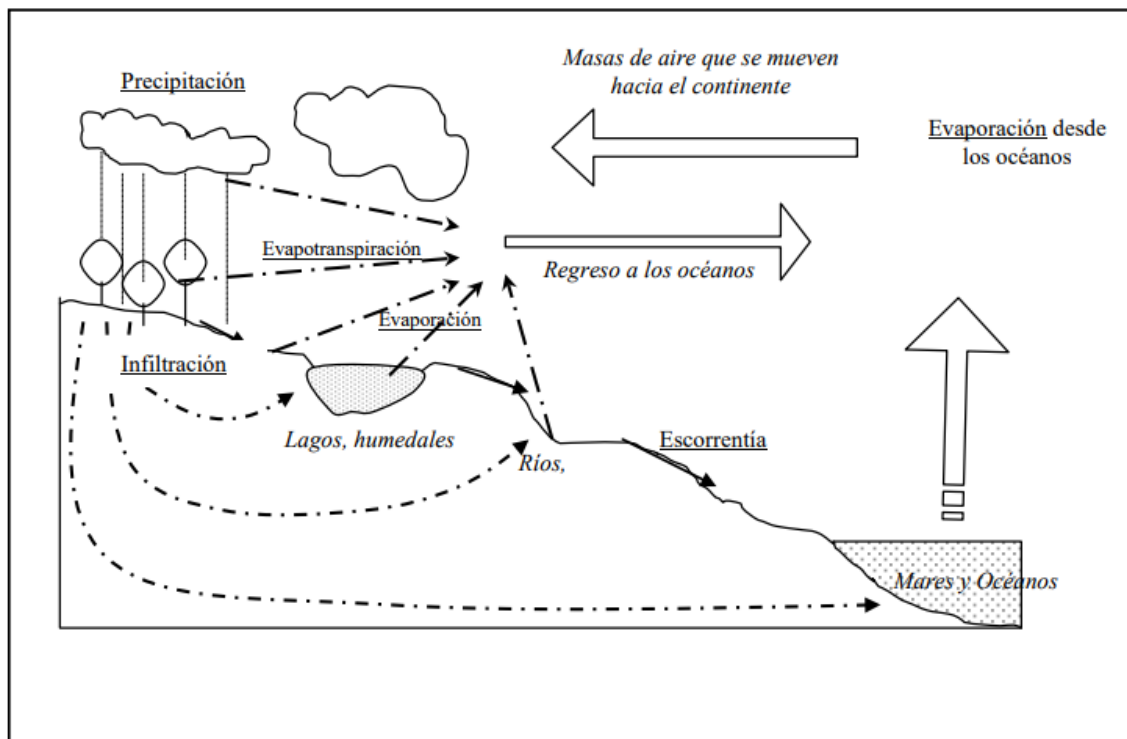


Figura 1. Ciclo del agua simplificado. Filtración de agua al subsuelo (Gómez, 2011)

El agua subterránea es el componente más importante del agua dulce, debido a que conforma dos tercios del total del agua dulce en el mundo (Chapman, 1996), las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de toda la población mundial, y representa el 43% de toda el agua utilizada para riego (Piqueras & Lidón, 2015). Las extracciones de este recurso suelen ser superiores a los niveles de recarga natural, lo que provoca la sobreexplotación de los acuíferos, es decir, de los depósitos de agua subterránea.

Las características que definen la calidad del agua subterránea se basan en parámetros físicos como las tasas de infiltración y el movimiento del agua; químicos como las sales que se encuentran disueltas y biológicos como las consorcios bacterianos y algunos otros organismos que pueden estar bajo estas condiciones (Chapman, 1996).

La contaminación de los acuíferos, es común y no solo depende de las partículas que quedan diluidas en el agua y que se filtran por entre la tierra, la contaminación también puede ser por la misma conformación geológica de los acuíferos (Barquín, 2007).

Recientemente se ha hecho hincapié en el estudio de las aguas subterráneas debido a que la amenaza de contaminación ha crecido a causa del desarrollo industrial, las actividades agrícolas y mineras mal gestionadas, además de la urbanización de la mayoría de las zonas de infiltración, entre otras (Piqueras & Lidón, 2015).

Comúnmente estos depósitos de agua subterránea alcanzan la superficie y terminan emergiendo, constituyendo así, los manantiales, arroyos, lagos o afloramientos (Gómez, 2011).

Históricamente se asocia el agua de manantial con una buena calidad, confiando que en el proceso de filtración por distintas capas freáticas se eliminan sustancias no deseadas, por esta razón, es muy común encontrar manantiales como fuente de abastecimiento de agua potable (Rodríguez, Martínez, Hernandez, Lucas, & Acevedo de Pedro, 2003).

Los manantiales se definen como puntos de descarga de las aguas subterráneas a una tasa tal que permita mantener una corriente en la parte superficial, formando así un efluente natural subterráneo (Barquín, 2007; Piqueras & Lidón, 2015), el agua puede comenzar a brotar de alguna grieta, falla o fractura, generalmente en laderas o llanuras (Rodríguez *et al.*, 2003).

Existen diferentes criterios para clasificarlos, por ejemplo, por su origen, por la cantidad de agua que emerge de la grieta, incluso, por la calidad del agua que emerge y por la forma de surgimiento (Albert, Corominas & París, 1979).

Cuando se excede la capacidad de almacenamiento el agua comienza a correr por la superficie dirigiéndose a favor de la pendiente del terreno, formando así, algunos cuerpos de agua superficial como arroyos, ríos y lagos, ya sean temporales o permanentes (Chapman, 1996).

La diversidad de cuerpos de agua superficial es muy elevada, pueden ser; fuentes, manantiales, arroyos, ríos, lagos, lagunas y humedales (Bellinger & Sigee, 2010), así como los sistemas acuáticos creados por el hombre como embalses, canales de riego, lagunas artificiales etc. (Rodríguez et al., 2003). Para su estudio se han agrupado en dos grandes grupos; a) sistemas loticos, aquellos donde el agua fluye a favor de un gradiente latitudinal y b) sistemas lénticos, aquellos donde no existe corriente de agua (Bellinger & Sigee, 2010; Wetzel, 2001).

Los ríos y lagos son los recursos más importantes de agua dulce para el hombre, el desarrollo social, económico y político siempre ha estado asociado a los cuerpos de agua superficiales debido a que nos brindan diferentes servicios ecosistémicos (Chapman, 1996). En el estado de Morelos los principales cuerpos de agua se encuentran localizados en la región sur y oriente (de la Lanza Espino, 2007), los cuerpos de agua más importantes en el estado son los lagos de Tequesquitengo y de Coatetelco y nueve presas de almacenamiento (CONABIO & UAEM, 2004).

El estado de Morelos cuenta con cuatro acuíferos bien delimitados; Cuernavaca, Cuautla, Zacatepec y Tepalcingo con un registro de poco más de 50 manantiales (CONABIO & UAEM, 2004), aunque de acuerdo con CONAGUA (2015), existen alrededor de 160, los cuales tienen una gran importancia para el Estado debido a que a partir de estos sistemas se abastece de agua potable a la población y los sistemas de riego para las áreas de agricultura,

así como las zonas industriales. Por lo tanto, no es coincidencia que la mayoría de los grandes asentamientos de mancha urbana se encuentran rodeando los cuerpos de agua del Estado.

1.2 CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

En México el 76.7% de agua dulce está destinada a la agricultura, el 14.2% al abastecimiento público, el 4.2% a la industria y el 4.9% en las termoeléctricas (SEMARNAT, 2015). El uso consuntivo del agua dulce ha traído consecuencias para la calidad de ésta, es decir, el uso indiscriminado, la explotación, la industrialización y el crecimiento demográfico han deteriorado la calidad del agua, lo cual, además de deteriorar la belleza escénica de los cuerpos de agua, puede llegar a provocar conflictos en la salud de la población.

El origen de la contaminación es muy variado, entre los más destacados están los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de las minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas, los efluentes de plantas de tratamiento, los residuos domésticos, entre otros, es decir, el alto grado de contaminación acuática se debe a sustancias que en su mayoría no se degradan fácilmente o no se pueden degradar (Sánchez & Rico, 2012).

Los compuestos que se encuentran presentes en el agua se clasifican de la siguiente manera.

1. Físicos: alteraciones de las propiedades físicas del agua como color, temperatura entre otras, producto de desechos sólidos que se vierten, así como plástico y tierra.

2. Químicos: compuestos que producen efectos diversos, pueden ser de origen natural o sintético, algunos son desechados directamente, otros se forman por la reacción con el agua o durante el procesamiento del agua, por ejemplo; metales pesados, detergentes, fertilizantes y plaguicidas.

3. Biológicos: son seres vivos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies como bacterias, virus y protozoarios, muchas veces estos entran en el sistema a través de las heces fecales de humanos o animales.

Durante los últimos años, el tema de la calidad del agua en México y en el mundo ha ido ganando adeptos públicos, políticos y de la academia, ésta situación se debe en gran medida a la escasez del recurso y a la desconfianza de los usuarios del agua potable que llega a sus hogares, así como la calidad del agua en lugares de recreación como parques y playas (Academia Mexicana de Ciencias, 2010).

El concepto de calidad se puede determinar en función del uso que se le quiera dar y al número de parámetros con los que se quiera comparar, por lo tanto, no tiene índices absolutos (Academia Mexicana de Ciencias, 2010; Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1986).

Por ejemplo, un sistema alto en contenido de materia orgánica y nutrientes no podría ser utilizado como fuente de abastecimiento de agua potable por los problemas que podría generar, tanto en el proceso de potabilización como en la salud pública, sin embargo, para la agricultura este tipo de agua con alto contenido de materia orgánica resulta excelente (García et al., 2010).

Podríamos definir la calidad del agua como un atributo que mide las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido (Petrie et al., 2014; Peters et al., 2009), este atributo se

determina mediante la comparación de las propiedades antes mencionadas con criterios o normas establecidas para ciertos fines (García et al., 2010). La evaluación de calidad del agua, ya sea, superficial o subterránea, nos permite tomar acciones de control y mitigación en caso de que exista algún problema en el cuerpo de agua (Aguilar, 2010).

1.3 ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua puede ser caracterizada por análisis fisicoquímicos y biológicos, que a su vez, son comparados con estándares, guías o normas dependiendo del uso al que se destine, puede ser; fuente de abastecimiento, riego agrícola, recreación, industrial y protección de la vida acuática (Segnini, 2003).

Los índices de calidad del agua (ICA) y los índices de contaminación (ICO) surgen como una herramienta para la evaluación del recurso hídrico, es una expresión simple de una relación compleja entre parámetros que nos habla de la calidad del agua, o el grado de contaminación enunciada por lo general con números (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

- ÍNDICES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL AGUA.

Los primeros índices fisicoquímicos fueron pioneros en el establecimiento de metodologías para estimar patrones de contaminación acuática basándose en el método Delphi para definir los parámetros y pesos ponderados (González, Caicedo, & Aguirre, 2013; Torres et al., 2009)

Algunos de los métodos fisicoquímicos más utilizados alrededor del mundo por su fácil adaptación y por la validación de los parámetros que utilizan son; NSF (EU), ISQA (España), DINIUS, DWQI y CCME (Canadá) (González et al., 2013).

En México la CONAGUA es el organismo encargado de todo asunto en materia de agua, por lo cual, los expertos comenzaron a buscar la mejor manera de evaluar la calidad del agua del país con parámetros fisicoquímicos que pudieran ser fáciles de obtener y que dieran un panorama general de la situación del sistema.

Para la evaluación de la calidad del agua la CONAGUA utiliza tres indicadores principales:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La CONAGUA (2015) declaró que la minoría de los cuerpos de agua en el país pertenecen a la categoría de “Contaminados” o “Fuertemente contaminados”. De acuerdo con la DQO, DBO y SST solo el 8.4%, 32.4% y 6.6%, respectivamente, pertenecen al porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran por debajo de una “Buena Calidad”, sin embargo, esta cifra no es estática, cada vez va incrementando el número de sistemas con una calidad inaceptable, lo cual, debe mantenernos en alerta para generar acciones que prevengan el incremento de la contaminación del agua dulce.

- INDICES BIOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA

Además de los ICA, existen índices biológicos, los cuales, son útiles en la determinación de la calidad del agua y se basan en los organismos que se encuentran en el sistema.

La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (Comisión Europea, 2014), considera de gran importancia realizar estudios con organismos para valorar el estado ecológico de los sistemas acuáticos, debido a que son considerados un buen indicador, no solo de los acontecimientos que afectan el sistema, si no, de los cambios que se han presentado en ese lugar.

Usualmente la respuesta de los organismos puede dilucidar muchas dudas acerca del comportamiento del cuerpo de agua y del impacto que ha tenido. Los organismos más recomendados para estos análisis son; el fitoplancton, zooplancton, algunos insectos o larvas de insectos en sus etapas acuáticas y algunos peces (Comisión Europea, 2014; Wallace, 2002). Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, por lo que los impactos inducen cambios en la estructura de las comunidades, en la función trófica que desempeñan las especies e incluso en el propio organismo (Vázquez, Castro, Gonzáles, Pérez, & Castro, 2006)

La determinación de la calidad ecológica de un sistema acuático está basada en el estudio de los efectos de la contaminación sobre el conjunto de organismos que viven en las aguas dulces (García *et al.*, 2010) los cuales, se ven directamente influenciados por las características abióticas del cuerpo de agua (Vázquez *et al.*, 2006).

Los métodos biológicos presentan algunas ventajas sobre los análisis de parámetros fisicoquímicos, de acuerdo con Bellinger y Sigee (2010) algunas de las ventajas son:

- Reflejan la calidad global del agua integrando los efectos de diferentes factores de estrés a lo largo del tiempo; mientras que las mediciones fisicoquímicas, solo proporcionan información sobre el punto muestreado, específicamente en el momento que fue tomada la muestra.
- Nos ayudan a tener una medida del impacto ecológico de los parámetros ambientales reflejado en los organismos acuáticos
- Nos brindan una manera rápida, confiable y relativamente barata de conocer las condiciones ambientales a través de varios sitios.

En los últimos años el estudio con organismos indicadores ha aumentado, ya que, constituyen una herramienta útil y sencilla para determinar la calidad el agua (Dahms, Hagiwara, & Jae-Seong, 2011; Snell & Joaquim-Justo, 2007).

De acuerdo con el análisis de la estructura de las comunidades y la composición taxonómica, principalmente de grupos del zooplancton y fitoplancton, se puede llegar a determinar el grado de afectación por varios estresores antropogénicos (Roldán-Pérez, 2016), pues son un reflejo de los cambios que generan las actividades humanas.

Los indicadores biológicos se podrían definir como especies en particular o ciertas comunidades que su presencia nos provee de información de su alrededor, ya sea de variables físicas y/o químicas de un sitio en particular (Bellinger & Sigee, 2010). Los organismos, por otra parte, cumplen con atributos como su amplia distribución y su gran diversidad, lo que les permite adaptarse a características del ambiente en el que se desenvuelven, afectando su ciclo de vida, crecimiento y reproducción en respuesta a diferentes perturbaciones (Vázquez *et al.*, 2006), incluso se ha documentado la relación entre

el ensamblaje de las distintas comunidades biológicas y la degradación de los sistemas acuáticos (Carvacho, 2012).

Las especies que pueden ser utilizadas como un indicador biológico deben contar con características como (Bellinger & Sigee, 2010):

- A) Espectro estrecho de tolerancia
- B) Respuesta rápida a cambios en el ambiente
- C) Taxonomía bien definida
- D) La identificación de organismos debe ser sencilla y se debe utilizar equipo común de laboratorio
- E) Tener una amplia distribución

Comúnmente la diversidad biológica se ha utilizado como un índice de calidad del agua, en general, los sistemas más estables suelen tener más diversidad, ya que bajo condiciones desfavorables las especies intolerantes desaparecen y las tolerantes aumentan (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1986), es decir, hay dominancia de ciertas especies, lo que implica que haya una menor diversidad.

Los índices que tienen enfoques de diversidad se basan en tres componentes de la estructura de las comunidades; riqueza, uniformidad y abundancia, una comunidad natural se caracteriza por tener una alta diversidad o riqueza y un bajo número de individuos por especie, mientras que una comunidad bajo presión de contaminación se caracteriza por baja diversidad de especies, pero alta abundancia de individuos por especie (Araujo, 1978).

Los índices de diversidad y similitud de la comunidad abarcan los más conocidos como el índice de riqueza de especies de Margalef (1957), Simpson (1949) y el índice de diversidad de Shannon & Wiener (1948), siendo este último el más conocido y usado.

Existen algunos otros índices bióticos que son de gran importancia como; el índice sapróbico. Este término se refiere a la capacidad que tienen ciertos organismos de vivir en determinados niveles de contaminación, relacionados con aspectos físicos y químicos como DBO₅, Amonio y Oxígeno disuelto (Gómez-Márquez, Peña-Mendoza, Guzmán-Santiago, & Gallardo-Pineda, 2013). Sládecek en 1973 define la saprobiedad como la situación biológica de cualquier agua en relación a la cantidad e intensidad de descomposición de materia orgánica, los niveles de saprobios se relacionan con la concentración de oxígeno y la cantidad de organismos descomponedores y otros factores (García Díaz, 2010; Roldán-Pérez, 2016; Sladecek, 1978), usualmente este índice es utilizado con organismos como protozoos, sin embargo, también se han hecho adaptaciones para poder usarlo con algunos otros organismos que formen parte del zooplancton en las comunidades acuáticas, como los rotíferos, los cuales, por su gran diversidad pueden ser un organismo de alta confiabilidad para aplicar este índice (Sladecek, 1978).

Una alternativa más para analizar el impacto humano en términos generales son los índices con diatomeas, las cuales reflejan cambios ambientales particulares resultantes de actividades humanas (Bellinger & Sigee, 2010). Los bioindicadores pueden reflejar el impacto de ciertos parámetros específicos como el fósforo total (Trophic Diatom Index-TDI) o reflejar aspectos más generales de calidad del agua como la combinación de nutrientes orgánicos e inorgánicos (IPS: Index of Pollution Sensitivity, GDI: Generic Diatom Index) (Van Dam, Mertens, & Sinkeldam, 1994).

Los ICA's tanto de parámetros fisicoquímicos como biológicos necesitan estar relacionados con un monitoreo constante de las condiciones de los cuerpos de agua que se quieran evaluar, esto con el fin de poder relacionar los datos con el tiempo (Rubio *et al.*, 2014). El monitoreo de sistemas acuáticos en relación a la calidad del agua es muy útil, ya que provee información de la dinámica temporal; la dinámica de nutrientes; entrada de contaminantes y la vía de acceso (puntual o difusa); el impacto humano al que es sometido el cuerpo de agua; el uso como un recurso para consumo humano y como evaluación para saber el grado de conservación de un sistema (Bellinger & Sigee, 2010; Chapman, 1996; Comisión Europea, 2014; Meybeck, 2006).

1.4 SITIOS DE REFERENCIA

El análisis de los parámetros del monitoreo deben ser comparados con sitios de referencia que cumplan con condiciones ambientales similares a las del cuerpo de agua a evaluar y que mantenga parámetros de calidad de nula o baja presión de alteración (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014).

El establecimiento de un sitio de referencia en cada región es de suma importancia para evaluar la calidad del agua, ya que es el marco de comparación que se va utilizar para determinar el estado en el que se encuentra un sistema (Carvacho, 2012).

Para establecer condiciones de referencia es necesaria la caracterización biológica del sitio en cuestión, así como, de las condiciones fisicoquímicas, específicas de cada tipo de cuerpo de agua, siendo estas últimas elementos claves para la determinación y el diagnóstico del estado ecológico del ecosistema acuático (Meybeck, 2006; Paéz & Rivas, 2011).

Idealmente, las condiciones de referencia representan las condiciones biológicas más conservadas encontradas en los cuerpos de agua sin tener perturbaciones de estresores antropogénicos (Chapman, 1996; Meybeck, 2006), estas pueden ser derivadas de los sitios de referencia, donde también se deben incluir conocimiento de las condiciones históricas y una evaluación y diagnóstico del sitio en cuestión (WHO, 2017).

La mayoría de los sitios prístinos de agua continental se encuentran en regiones desérticas, algunas regiones de Siberia o en cuencas del Congo y del Amazonas (Meybeck, 2006). En otras partes del mundo existen sitios con niveles bajos de contaminación, de influencia antropogénica y baja presión de cambio como los depósitos de agua subterránea o los manantiales, los cuales pueden establecerse como zonas de referencia (Saldarriaga et al., 2014) debido a que normalmente se encuentran bajo una categoría de monitoreo constante conservación y/o protección.

2. ANTECEDENTES

En 1992 se llevó a cabo la conferencia “Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro”, la cual se enfocaba en el medio ambiente y el desarrollo sostenible.

La reducción de la diversidad en los ecosistemas tropicales fue uno de los temas que causó más preocupación entre la academia, así mismo, sensibilizó la opinión mundial y marcó el inicio de la toma de decisiones en función de remediar o prevenir la situación de algunos sistemas, entre ellos, los cuerpos de agua dulce loticos y lénticos.

Con respecto a lo anterior, se han venido haciendo diversos estudios alrededor del mundo en materia de agua dulce, principalmente enfocados en la calidad del recurso hídrico y los efectos de la contaminación en las comunidades acuáticas, lo cual asegura el uso sostenible por la población y la permanencia de los organismos en el sistema.

2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En el año 2003 Rodríguez et al., realizaron un estudio de los factores de riesgo de contaminantes en manantiales y determinaron la capacidad de uso como agua potable en Sigüenza, Guadalajara. Se tomaron muestras de aproximadamente 38 sitios diferentes y se hicieron pruebas tanto fisicoquímicas como biológicas. Los resultados obtenidos en porcentaje de riesgo de contaminación fueron; para áreas urbanas: pastoreo 53%, maleza 53% y cruce con aguas residuales 53%. Para áreas rurales: pastoreo 72%, maleza 32%, escorrentías 32%. Muestra que la contaminación biológica apareció en el 44.7% de

manantiales y 13.1% para las fisicoquímicas. Siendo potables solo el 53% de aguas urbanas y 60% de aguas rústicas.

En 2012 Caroline Carvacho y colaboradores realizaron un estudio de las comunidades de macroinvertebrados para evaluar el estado ecológico de algunos ríos en Chile. Establecieron 20 puntos de monitoreo, en donde además de hacer análisis de calidad del agua, se hizo el diagnóstico por medio de bioindicadores. Los resultados que se obtuvieron muestran que la distribución y composición de las comunidades está determinada por el gradiente de conductividad y la temperatura, teniendo a la agricultura y las zonas urbanas como áreas de mayor impacto.

Julio R. Coello y colaboradores en 2013 establecieron la calidad del agua utilizando el índice de la National Sanitation Foundation de Estados Unidos (NSF) en los ríos de Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho de Ecuador para evidenciar el cambio generado por actividades antrópicas. Establecieron 6 puntos de monitoreo en el río Ozogoché, 8 en el río Pichahuiña y 4 en el Pomacocho durante un año. Se demostró que las microcuencas tienen una buena calidad, sin embargo, hay parámetros que tienen una mayor variación como sólidos totales (ST), sulfatos y conductividad (Cnd) cuyos picos máximos se encontraron en meses de menor precipitación.

En el 2015 Piqueras Urban y Lidón Cerezuela realizaron un estudio de calidad del agua en algunos manantiales en España. Con los resultados del estudio comparativo de varios manantiales se llegó a la conclusión de que la mayoría son aptos para abastecimiento de agua potable, sin embargo, los valores de análisis temporal arrojan que los parámetros químicos son muy variables, lo cual, incrementa la vulnerabilidad a la contaminación por

nitratos y cloruros principalmente. Se hace la recomendación de incluir un programa de monitoreos mensuales para prevención y protección del cuerpo de agua.

2.2 ANTECEDENTES NACIONALES

García-García y colaboradores en el 2012 realizaron un monitoreo de dos sitios contaminados con aluminio (Al) y cromo (Cr) con niveles por arriba de los límites máximos permisibles en la laguna de Chimaliapan, Estado de México durante un año. Como resultado obtuvieron un índice de Shannon-Wiener, en rangos que van de los 4.2 a los 5.5, mientras que el índice saprobico fue de 3.2 para ambos sitios dando como resultado que el sistema se encuentra en la categoría de mesotrófico a eutrófico.

En el 2013 Esperanza S. Robles y colaboradores midieron la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero de Tepalcingo-Axochiapan en el estado de México. Tomaron muestras de ocho pozos de agua potable y en un manantial durante seis meses, efectuaron los parámetros bacteriológicos y once fisicoquímicos, obteniendo como resultado que el manantial y uno de los pozos muestreados no son adecuados como fuente de suministro de agua potable comparado con la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994). En general se aprecia una tendencia al incremento en la concentración de los sólidos disueltos y concentraciones de coliformes totales y fecales en todos los pozos durante todos los muestreos, siendo el manantial el que destacó con concentraciones de 1.83×10^5 UFC/100 mL y 6.02×10^4 UFC/100 mL respectivamente. Lo anterior descrito podría deberse a la falta de servicios sanitarios y de drenaje en algunas zonas, lo que provoca un efecto en los acuíferos.

En el 2014, Vázquez-Sánchez et al., describieron la diversidad y abundancia de rotíferos en la presa Valerio Trujano en el estado de Guerrero. Colectaron muestras de 10 sitios diferentes durante un año, obtuvieron valores de diversidad de rotíferos de 1.3 a 3.2, mientras que el índice sapróbico, tuvo valores de 1.2 a 2 en la zona pelágica y de 1.3 a 3.2 es la zona litoral, entrando en la categoría de un sistema beta-meso-saprobico, lo que equivale a un cuerpo de agua con condiciones eutróficas.

Salinas Camarillo y Carmona Jiménez realizaron en 2018 una evaluación de la calidad ecológica de 11 ríos de la cuenca de México a partir de la caracterización de diatomeas, en conjunto con el análisis fisicoquímico e hidromorfológico de las áreas de estudio. Según lo observado en los estudios obtuvieron como resultado 450 especies de diatomeas distribuidas en 80 géneros, estas especies variaron con base en dos variables ambientales; el incremento de nutrientes y la alteración de la hidromorfología. De acuerdo con lo anterior, ellos proponen el Índice de la Calidad del Ecosistema, el cual se basa en la morfología de las especies para determinar la calidad ecológica del sistema.

2.3 ANTECEDENTES EN EL ESTADO DE MORELOS

En 2009 Ramírez y colaboradores midieron la calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos. Durante un año tomaron muestras de trece pozos del mismo acuífero, midieron parámetros fisicoquímicos y realizaron análisis bacteriológicos. El resultado de la investigación fue que todos los pozos muestreados tienen contaminación por coliformes totales y fecales y las cifras más altas se presentaron en los meses de abril y julio con una media de 107 UFC/ 100 mL, mientras que en diciembre y enero fueron los más bajos. Por su parte, los parámetros fisicoquímicos no presentaron mucha variación, concluyendo que no es

ideal para el abastecimiento de agua potable a la población sin antes un tratamiento adecuado.

En el 2010 Guadalupe de la Lanza compiló una serie de datos y estudios de caso de cuerpos de agua superficiales de gran importancia de toda la república mexicana, uno de ellos fue las Lagunas de Zempoala, ubicadas en el estado de Morelos. En donde a partir de varios estudios concluyeron que el Parque presentaba un serio deterioro ecológico propiciado por el aporte de sedimentos, así como detergentes y grasas provenientes de las áreas recreativas, así como la extracción excesiva de agua. El Fosforo total tuvo una variación de 0.038 a 2.95 mg L⁻¹, los cuales sobrepasan los niveles referidos por la normatividad mexicana y lo mencionado por otros autores.

Ruiz-Picos y colaboradores en el 2016 analizaron la relación entre los parámetros fisicoquímicos con los invertebrados acuáticos y los diferentes usos de suelo de la región de los ríos Apatlaco y Chalma-Tembembe, para lo cual tomaron muestras de agua y de invertebrados en 20 sitios durante cuatro temporadas. Realizaron análisis de correlación de Pearson, de ordenación y similitud relacionando las tres variables que analizaban. Después de estos análisis encontraron que el río Apatlaco tiene mayor perturbación debido a la combinación de usos de suelo con un alto porcentaje de urbanización y por su parte el río Chalma-Tembembe mostró características físicas y biológicas más homogéneas. Los sitios impactados por actividades agrícolas se correlacionaron con abundancias moderadas y baja diversidad de invertebrados.

En el 2017 los mismos autores presentaron el desarrollo de la calibración y validación de un índice usando datos fisicoquímicos y biológicos del río Apatlaco y Chalma-Tembembe en Morelos. La calidad del agua y los macroinvertebrados fueron monitoreados en cuatro puntos

durante un año. Primero, se identificó el índice de calidad a partir de parámetros fisicoquímicos, después, se identificaron las familias más abundantes para cada clase de macroinvertebrados, se incorporaron las abundancias en los intervalos del índice y se determinaron los valores de indicador para cada familia de macroinvertebrados. La calibración de este índice se validó con pruebas estadísticas, dando como resultado diferentes grados de evaluación de acuerdo con el uso de suelo.

Ricardo Gutiérrez y colaboradores realizaron un estudio en 2018 de tres puntos de monitoreo en el río Amacuzac, en el estado de Morelos para determinar la calidad del agua a partir de un índice basado en diatomeas. Como resultados obtuvo la identificación de 25 especies de diatomeas, siendo *Nitzschia amphibia* como el organismo más abundante. Al aplicar el índice obtuvieron valores que van de 2.9 a 4.5, siendo el número más alto el representante de un menor grado de contaminación.

3. JUSTIFICACIÓN

Las fuentes de agua superficial son eje del desarrollo de los seres humanos, ya que permite el abastecimiento de distintas actividades; no obstante, y de manera paradójica, muchas de estas actividades causan alteración y deterioro a la misma (Torres et al., 2009), el descontrolado crecimiento de la población, así como el vertiginoso ritmo de la industrialización a nivel mundial, han derivado en una mayor demanda de agua dulce en el mundo (Rubio et al., 2014), esta situación ha venido demandando el desarrollo de sistemas y metodologías que permitan conocer el grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas (Vázquez et al., 2006).

La contaminación de cuerpos de agua cada vez es más frecuente por diferentes motivos y diferentes fuentes, lo cual atenta contra la calidad ecológica del sistema, así como, la salud humana, ya que muchas veces es fuente de abastecimiento de agua potable (Bravo-Inclán, Sánchez-Chávez, & Saldaña-Fabela, 2006), esta alteración incide directamente sobre el nivel de riesgo sanitario (Torres et al., 2009).

Morelos es uno de los estados de la república que cuenta con cuerpos de agua reconocidos ampliamente por su actividad turística, así mismo, es uno de los estados con mayor contaminación acuática y es reconocido como un estado con alto grado de urbanización e industrialización teniendo grandes Parques industriales cerca de sistemas acuáticos, por ejemplo; CIVAC, en el municipio de Jiutepec.

El área de estudio está comprendida entre los municipios de Cuernavaca y Jiutepec. El manantial de Chapultepec destaca por ser un sistema permanente, cuenta con un caudal abundante durante todo el año y es parte del corredor biológico del Chichinautzin. Este

manantial alimenta al río Apatlaco, abastece a la población de agua potable, a la ganadería y a la agricultura.

El manantial de Chapultepec se encuentra dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, el cual ha sido declarado Área Natural Protegida bajo la categoría de Parque Estatal Urbano. A su vez converge con la Región Hidrológica Prioritaria Río Amacuzac – Lagunas de Zempoala, declarada así bajo el propósito de conservación de ecosistemas, además de su belleza escénica, por su alta diversidad, por las especies endémicas y las especies amenazadas que allí habitan, las cuales se encuentran registradas bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010).

El Parque Estatal Urbano cuenta con un plan de manejo ambiental publicado en el Periódico Oficial “Tierra y Libertad” (DOF, 2016b), sin embargo, el Parque no cuenta con un programa de manejo en materia de agua, incluso no hay registros de monitoreo de la calidad del agua a pesar de formar parte de un área tan importante para la conservación.

En algunas áreas, los recursos de agua para uso público urbano están en tan mal estado que la salud humana se encuentra comprometida, al igual que la salud propia del ecosistema acuático y el área de ribera (Bravo-Inclán et al., 2006). Como sucede en la mayor parte de México, hay pocos estudios de la calidad ecológica de ríos pese a que es importante estudiar la relación que guardan los organismos con la condición de contaminación para poder propiciar la protección y el monitoreo continuo de dichos sistemas. En Morelos debe ser prioridad para el estado, ya que están estrechamente relacionados con el uso del agua para abastecimiento de agua potable a las poblaciones. Así mismo se puede propiciar la protección a la vida acuática y disminuir el deterioro ecológico de estos sistemas.

Por lo anterior el análisis integral de calidad del agua y ecológico del arroyo Chapultepec contribuirá al conocimiento de las condiciones que prevalecen en el Parque Chapultepec, de tal manera que derive en la protección del ecosistema y en acciones para el control de posibles fuentes de contaminación.

4. HIPÓTESIS

Debido a los aportes antropogénicos de la mancha urbana que rodea al Parque de Chapultepec, así como los aportes de la fauna que se encuentra dentro como parte del atractivo visual, la calidad del agua tanto fisicoquímica como biológica disminuirá conforme se aleja del manantial.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la calidad del agua del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec con base en Índices fisicoquímicos e Índices biológicos

5.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Caracterizar la vegetación acuática y ribereña del manantial y del arroyo de Chapultepec, así como la fauna asociada al cuerpo de agua
- Determinar la composición de zooplancton y fitoplancton
- Evaluar la calidad del agua a partir de parámetros fisicoquímicos y a partir de los organismos registrados

6. ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Morelos, es uno de los más pequeños de la República Mexicana, representa el 0.3% de la superficie total del país. Limita al norte con el Estado de México y la Ciudad de México; al sureste con Puebla y al sur con Guerrero. Este estado debe sus características a la ubicación geográfica, ya que recibe influencia del Eje Volcánico Transversal y de la cuenca del Balsas.

De acuerdo con la CONABIO y la UAEM en el 2004 Morelos tiene una gran diversidad de climas, según la clasificación de Köppen existen los siguientes tipos de clima según la región del estado;

- Zona muy fría, con una temperatura media anual menor a 2°C, esta región se ubica en la parte más alta del Popocatepetl y tiene una altitud por arriba de los 5000 msnm.
- Zona fría, con una temperatura media anual de entre -2 y 5°C; se encuentra en las laderas más altas del Popocatepetl, entre 4000 y 5000 msnm.
- Zona semifría, la cual presenta una temperatura media de entre 5 y 12°C en las laderas altas de la zona norte del estado con una altitud de 2800 y 4000 msnm.
- Zona templada tiene temperaturas medias anuales de entre 12 y 18°C en zonas de las laderas medias con altitud de entre 2000 y 2800 msnm
- Zona semicálida, con una altitud de 1400 a 2000 msnm con temperaturas medias de entre 18 y 22°C.
- Zona cálida, usualmente en regiones con altitudes menores a 1400 msnm y con temperaturas medias anuales mayores a 22°C.

La precipitación ocurre principalmente en verano a mediados de mayo y termina en la primera quincena de octubre. En el 70% de la entidad el mes más lluvioso es junio seguido del mes de julio, septiembre y agosto.

Los manantiales del Estado de Morelos que destacan por su caudal son; Las Estacas, Fundición, Chapultepec y El Salto, los cuales forman parte del Corredor Biológico del Chichinautzin y están alimentados por la cuenca del Valle de Cuernavaca, el cual tiene una superficie de 80 915.5 ha. (CONABIO & UAEM, 2004).

El municipio de Cuernavaca alberga el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec (Figura 2), el cual contiene, el manantial bajo el mismo nombre. Las coordenadas del manantial son 18°55'11.5" latitud norte y 99°12' 32.2" longitud oeste, y se encuentra a una altitud de 1530 msnm. Este manantial alimenta el río Apatlaco, y forma parte de la Región Hidrológica Administrativa No. 18.

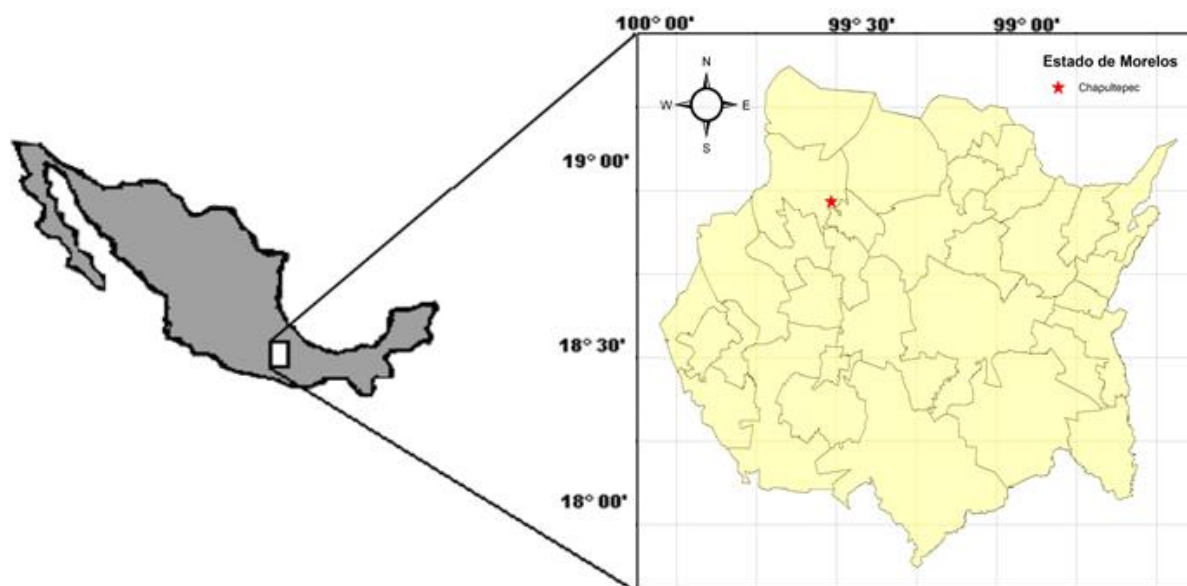


Figura 2. Área de estudio, manantial Chapultepec, Morelos.

Presenta una temporada de lluvias desde mediados de Mayo hasta fines de octubre, con fuertes chubascos y tormentas principalmente por la noche, presentando un régimen de lluvias de 1,200 mm anuales en promedio y una temperatura de 20.9°C. Los meses más cálidos son abril y mayo con una temperatura de hasta 34°C, mientras que diciembre y enero la temperatura esta debajo de los 18° C.

La mayoría del uso de suelo y vegetación de la zona es de tipo agrícola, pecuaria y forestal.

El Área Natural Protegida Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec ocupa una extensión de 12.844 ha. y un recorrido de 1.5 km desde el manantial hasta la salida del lago (DOF, 2016b), el Parque se ubica en la región hidrológica prioritaria Río Amacuzac-Lagunas de Zempoala, declarada bajo esta categoría por ser una región de alta biodiversidad y por el grado de amenaza en el que se encuentran algunos de sus componentes.

El 6 de enero de 1965 se decreta “Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec”, quedando el Estado de Morelos obligado a conservar todos los recursos naturales que correspondan al territorio (DOF, 2016b). El Parque se encuentra rodeado de la mancha urbana, lo cual lo hace más vulnerable a la contaminación de tipo antropogénica .

El cuerpo de agua que se encuentra dentro del Parque está alimentado por el manantial de Chapultepec, el cual conforma un arroyo que desemboca en un lago artificial en la parte más baja del Parque. La salida del agua del lago forma parte del río Apatlaco y de un canal de riego para agricultura (CONAGUA, 2008), en época de precipitaciones el flujo alcanza los 1,800 l/s y en estiaje 900 l/s.

Contiene un bosque de galería donde habitan árboles de más de 250 años, es de gran relevancia por su belleza escénica, su valor histórico y por ser hábitat de flora y fauna silvestres nativas y sujetas a protección.

Es el hábitat de especies de gran relevancia para la conservación como el Cangrejito Barranqueño (*Pseudothelphusa dugesi*) y la Carpita Morelense (*Notropis boucardi*), las cuales son endémicas del complejo de barrancas del Estado de Morelos y se encuentran dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de especies endémicas en peligro de extinción (DOF, 2010).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describe brevemente la metodología que se siguió durante toda la investigación, tanto en la etapa de campo, como en la etapa de laboratorio.

Para una mejor comprensión se dividió la metodología en tres categorías;

- 7.1 Sitios de monitoreo
- 7.2 Comunidades biológicas
- 7.3 Parámetros fisicoquímicos.

7.1 SITIOS DE MUESTREO

Se realizó una visita prospectiva al Parque para establecer los puntos de monitoreo más convenientes, los cuales se eligieron de acuerdo a la longitud del Parque, priorizando que fueran sitios representativos de todo el cauce, así como zonas en las que se hayan observado posibles fuentes de contaminación.

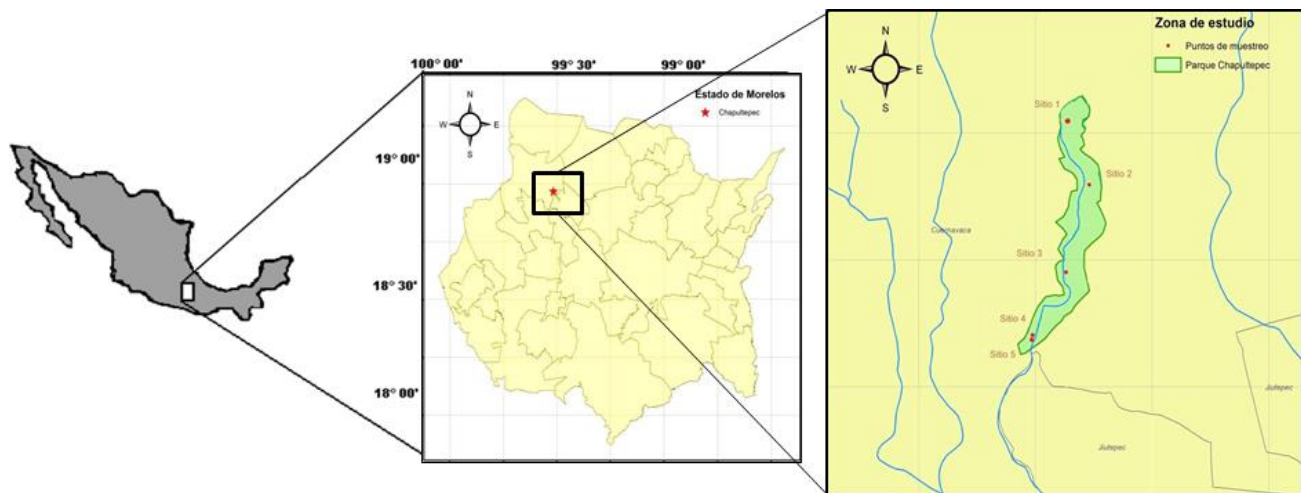


Figura 3. Área de estudio. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

- SITIO 1. INICIO DEL PARQUE

Coordenadas: 18° 55' 8" 99° 12' 33.8"

Altitud: 1519

Se encuentra en la parte más alta del terreno y esta alimentado directamente por el manantial. Es una zona de estancamiento donde se divide el caudal en dos flujos; a) el que se dirige al canal de riego que se utiliza aguas abajo en los sembradíos de alfalfa principalmente y b) el que forma el arroyo de Chapultepec que aguas abajo forma parte del lago artificial y que posteriormente desemboca en el río Apatlaco, siendo este el principal aporte de agua que tiene.

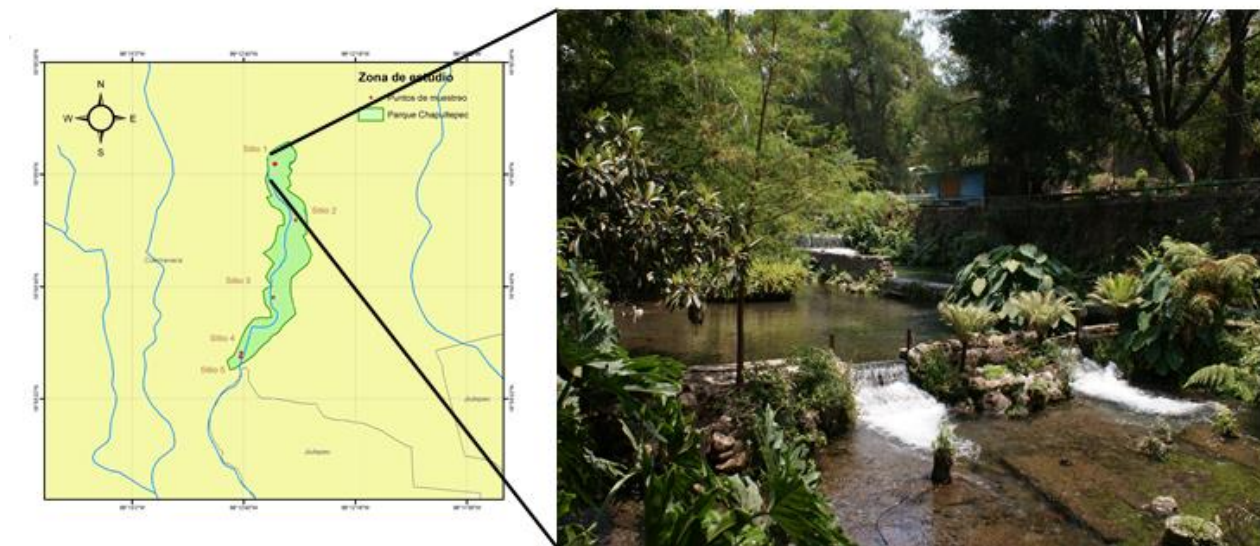


Figura 4. Sitio 1, Inicio del Parque. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

- SITIO 2. ÁREA DE GUACAMAYAS

Coordenadas: 18° 54' 48.2'' 99° 12' 32.8''

Altitud: 1488

Esta área anteriormente se utilizaba para dar espectáculos con la fauna del Parque, sin embargo, esta actividad se ha descontinuado.

La importancia de este punto de muestreo es que el sitio está ubicado antes del aviario que se encuentra instalado dentro del Parque, donde tenemos la presencia de organismos que van desde los patos hasta los pavo reales, cabe resaltar que el arroyo transcurre justo en medio de esta área, por lo cual los animales ahí dentro se encuentran en contacto directo con el arroyo, eso incluye el arrastre de plumas, heces fecales y algunos otros residuos de la fauna que se encuentra ahí confinada.

Continuando con el recorrido dentro del Parque, hay un área de recreación para los visitantes del Parque, donde se encuentran animales de granja, conejos, cerdos, cabras y demás animales de granja con los cuales los visitantes, principalmente los niños, pueden tener contacto con ellos, de igual manera que en el caso del aviario, los animales, así como los desechos que estos puedan generar, están en contacto con el agua que transcurre en el arroyo y que posteriormente se almacenan en el estanque y en el lago.

Más adelante, continuando por el mismo sendero del Parque nos encontramos con un cocodrilario, un área confinada por rejas y mallas donde al menos hay dos cocodrilos que tienen contacto directo con el agua que transcurre por el arroyo, así como los desechos que pueden ser generados por estos reptiles.

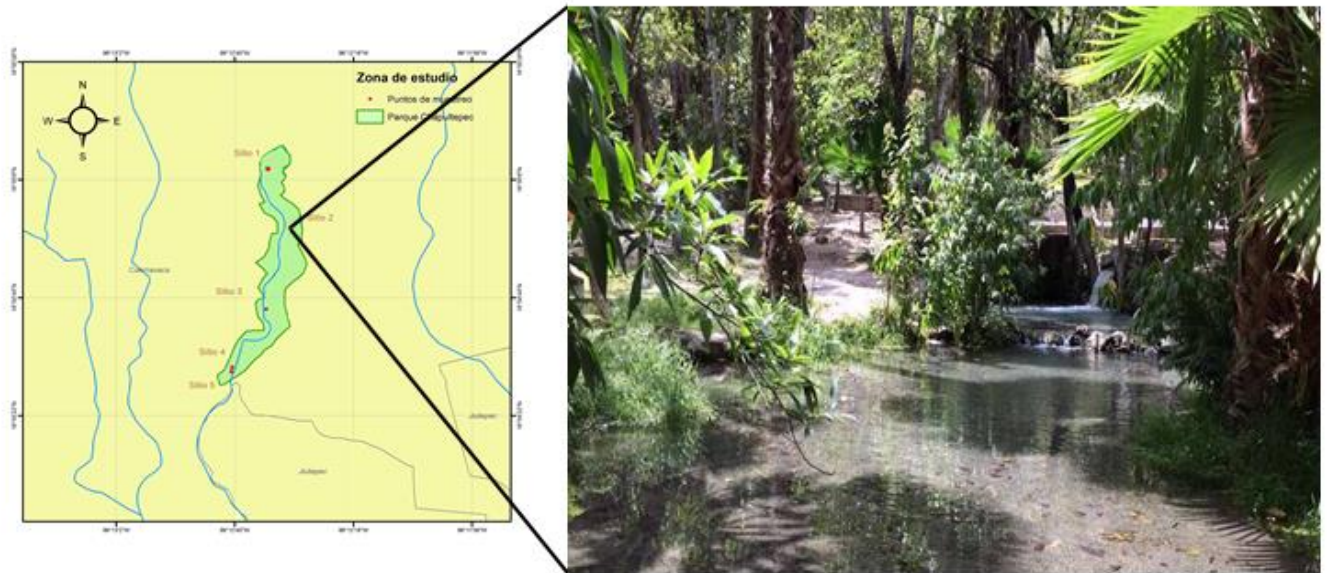


Figura 5. Sitio 2, Área de Guacamayas. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.



Figura 6. Área de actividades recreativas en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

- SITIO 3. SALIDA DE LA PRESA

Coordenadas: 18° 54' 41.9" 99° 12' 34.2"

Altitud: 1477

Este sitio está ubicado aguas abajo de las áreas antes mencionadas, por lo cual su monitoreo es importante ya que contiene todos los contaminantes que pueden ser aportados por los organismos que se encuentran aguas arriba.

Instalaron una cortina pequeña en el Parque para retener algo del flujo de agua y generar una caída de agua atractiva visualmente, la cual se concentra en un estanque, donde se encuentran algunos de los peces más grandes que habitan en el arroyo.

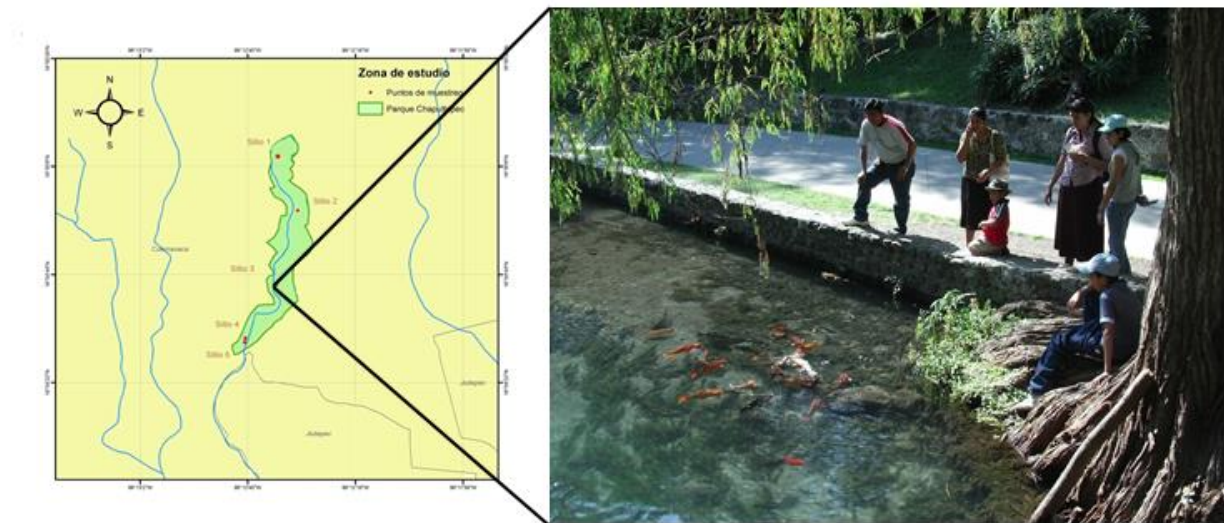


Figura 7. Sitio 3, Salida de la Presa. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

- SITIO 4. ENTRADA DEL LAGO

Coordenadas: 18° 54' 31.01'' 99° 12' 40.5''

Altitud: 1412

Este sitio es de gran relevancia debido a que toda el agua que ha venido corriendo desde aguas arriba por los 1.5 kilómetros de recorrido del Parque y por lo tanto, ha venido arrastrando toda la materia orgánica e inorgánica que tiene contacto con el arroyo se junta en la parte de la entrada al lago.

Es un área pequeña y se encuentra muy cerca de un colector de agua pluvial que viene de la Carretera Federal 95D México-Chilpancingo. Es un área donde el agua se estanca, pierde velocidad de corriente y por lo tanto el tiempo de retención es mayor que en cualquiera de los puntos anteriores.

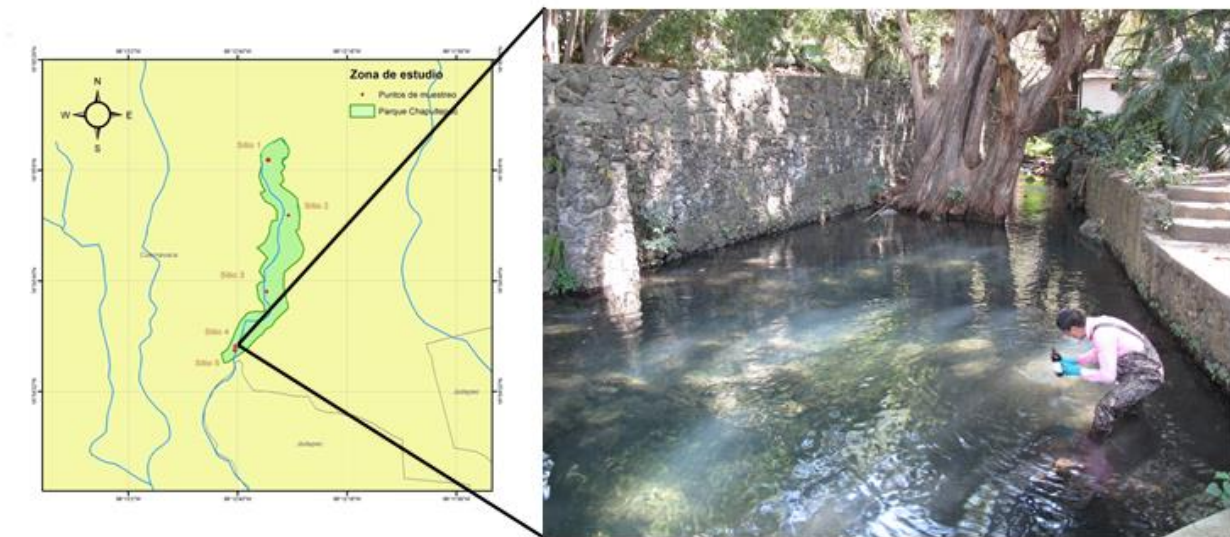


Figura 8. Sitio 4, Entrada del Lago. Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

- SITIO 5. SALIDA DEL LAGO

Coordenadas: 18° 54' 31.01'' 99° 12' 40.5''

Altitud: 1412

Finalmente, el sitio 5 se ubica en el lago de Chapultepec, el cual es un lago artificial formado por una cortina, tiene aproximadamente 8 m de profundidad y el flujo del agua que se deja salir del lago es regulado por el personal del Parque. El lago es usualmente utilizado para actividades de tipo recreativas como paseos en lancha principalmente los fines de semana y los días que hay actividades especiales.

El sitio se ubica exactamente en la parte de la cortina que permite la salida del agua hacia el río Apatlaco, por las condiciones el agua tiene poca corriente y un mayor tiempo de residencia, mayor profundidad e incidencia solar.

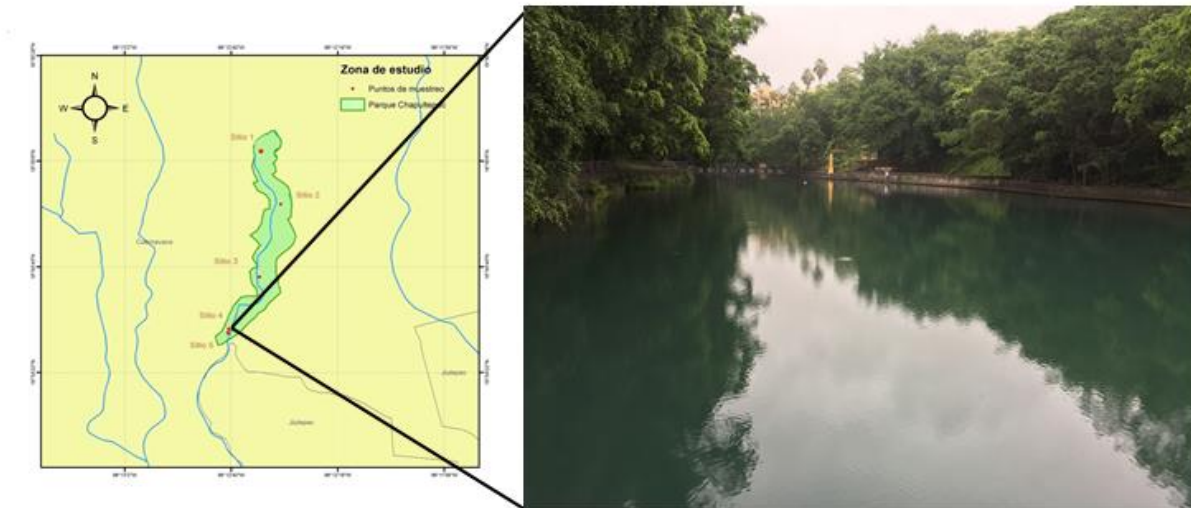


Figura 9. Sitio 5, Salida del Lago. Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS

La caracterización de los diferentes taxones asociados al cuerpo de agua se realizó mensualmente durante seis meses (agosto 2017 – enero 2018), tres meses correspondientes a época de lluvias (agosto, septiembre y octubre) y tres meses correspondientes a época de estiaje (noviembre, diciembre y enero) en los cinco puntos de monitoreo anteriormente descritos.

- VEGETACIÓN ACUÁTICA

Para la caracterización de la vegetación acuática se tomaron diferentes ejemplares de las algas acuáticas más abundantes de los cinco sitios de muestreo. En algunos casos la toma de los organismos era difícil ya que la raíz era muy profunda o estaban en un lugar inaccesible. Los ejemplares se colectaron tratando de no dañar los ápices y el área foliar, así como el área de la raíz, en los casos en los que se pudo extraer raíz, esto con el fin de hacer más fácil la preservación y la identificación de los organismos.

Las muestras colectadas se preservaron y transportaron en recipientes de plástico transparente de 500 mL de capacidad y en bolsas bacteriológicas al laboratorio para su identificación por medio de las claves taxonómicas de la Guía de campo ilustrada de algas de la UNAM, las claves de Schmidt-Mumm (1998) y un microscopio estereoscópico.

- VEGETACIÓN RIBEREÑA

Para la caracterización de la vegetación ribereña, se tomaron muestras de hojas, tallos y flores de algunos arbustos y árboles arbustivos para su identificación con ayuda de las claves taxonómicas del grupo (Rzedowski & Rzedowski, 1985).

Además se identificaron algunas especies comunes y mejor representadas dentro del Parque, al ser vegetación de tipo perenne es muy común que no haya una rotación de especies como se espera en algunos otros tipos de vegetación, esta es una característica común de la vegetación de galería o bosque de galería, que es el que representa el área del Parque de Chapultepec, comparando con las especies previamente identificadas por la administración del Parque.

- FAUNA

La caracterización de la fauna asociada al cuerpo de agua, se realizó por medio de registro de avistamientos durante media hora en cada punto de muestreo, teniendo cuidado de no contar el mismo individuo, se eligió este tipo de muestreo debido a que la colecta de organismos está prohibida en la mayoría de las subzonificaciones del Parque.

Este dato fue corroborado y basado en las listas de especies previamente identificadas por la administración del Parque y las posibles especies que se han descrito en las barrancas y el catálogo de Peces de agua dulce en México (Miller, 2009).

- ZOOPLANKTON

Para la determinación de la composición de zooplancton del cuerpo de agua se tomaron muestras mensuales de los organismos en los cinco sitios de monitoreo filtrando 80L de agua por medio de una red de 50µm de apertura de malla.

Posteriormente se concentraron en 250 mL y se preservaron con formol al 10% para su posterior identificación en el laboratorio.

La identificación de los organismos se realizó con las claves taxonómicas del grupo Rotífera (Koste, 1978) y el libro de Rotíferos Mexicanos (Rotífera) (S. S. S. Sarma & S. Nandini, 2017) con ayuda de un microscopio estereoscópico, un microscopio óptico y un microscopio invertido.

Los conteos de abundancias se realizaron bajo el método establecido en el APHA (APHA, 1998) con una cámara de Sedgewick-Rafter para zooplancton, se contaron 3 mL de la muestra previamente agitada, de la misma manera que se agitaron todas las muestras para estandarizar la técnica de conteo. Con ayuda de una pipeta Pasteur con bulbo previamente abierta bajo la técnica de calor y medida con una micropipeta se tomó un mililitro de la muestra y se colocó en la cámara de conteo, la cual, no debe tener ninguna burbuja que provoque la subestimación o sobreestimación de la muestra. Con la muestra colocada en el microscopio invertido se hacen movimientos de zigzag para el barrido del campo y el conteo de los organismos.

Se tomaron fotos de los organismos observados que posteriormente se identificaron. En caso de necesitar sacar los organismos de la cámara para poder tener una mejor identificación o para poder observar más a detalle estructuras de importancia para la identificación como estructuras de alimentación, como los trophi o estructuras de fijación como las uñas o los dedos, se sustrajeron los organismos de la cámara con ayuda de una pipeta Pasteur con bulbo previamente afinada bajo la técnica de calor y se colocaron en portaobjetos para ser observados bajo el microscopio óptico o estereoscópico, según fuera el caso.

- FITOPLANCTON

Para la determinación de la composición del fitoplancton se tomaron muestras mensuales de los organismos en los cinco sitios de monitoreo filtrando 80L de agua por medio de una red de 50µm de apertura de malla.

Posteriormente se concentraron en 250 mL y se preservaron con formol al 10% para su posterior identificación en el laboratorio.

La identificación de los organismos se realizó con las claves taxonómicas de Ortega (1984) y las claves del libro Freshwater Algae (Bellinger & Sigee, 2010) para fitoplancton, también se utilizó un microscopio óptico de la marca Nikon.

La abundancia de las especies más representativas de las algas se cuantificó bajo el método de gota para conteo de fitoplancton (Lackey drop method) (APHA, 1998), este es un método de microtransectos. Inicialmente se agitaron las muestras de una manera uniforme, recordando que todas las muestras a tratar deben tener el mismo tratamiento con el fin de estandarizar la técnica de conteo. Posteriormente se tomó la muestra con ayuda de una pipeta Pasteur con bulbo y se puso en un portaobjetos, se colocó el cubreobjetos, el conteo se hizo siguiendo líneas trazadas en el cubreobjetos para formar los microtransectos, en forma de zig-zag. Se registraron todas las especies encontradas y el número de organismos de cada una.

Los resultados obtenidos de la composición de zooplancton y fitoplancton fueron evaluados por medio de índices propuestos para determinar la calidad del agua basada en la diversidad, abundancia y proporción de organismos, el Índice de Shannon y Wiener, Índice Saprobio y el Índice de Diatomeas.

La diversidad-alfa representa la diversidad de especies a lo largo de todos los hábitats y por definición abarca dos variables importantes: 1) la riqueza de la especie y 2) la abundancia relativa de especies, como el de Shannon-Wiener

- Índice de Shannon – Wiener

$$H' = -1 \sum_{i=1}^s p_i * \log_2 (p_i)$$

Dónde:

H' = es el valor de la diversidad

“pi” = representa la proporción de la abundancia relativa de la especie “i” en relación con la abundancia de todas las especies detectadas en un muestreo.

Los valores de la diversidad (H') menores a 1 indican que el agua está altamente contaminada y mayores de 3, es de buena calidad, en la Tabla 1 se presenta la clasificación (Segnini, 2003).

Tabla 1. Esquema de clasificación de calidad del agua de acuerdo con los valores del Índice de Shannon-Wiener según Wilhm y Dorris (1968) en Segnini, 2003

Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H')	Clasificación
> 3	Agua limpia
1, - 3	Contaminación moderada
< 1	Contaminación severa

- Índice Saprobio de Pantle y Buck (ISPB)

Vladimir Sldeceek en 1983 propone el uso del Índice de saprobios con rotíferos para determinar la calidad del agua basándose en la relación entre los organismos y los valores de DBO₅. Asigna un valor dependiendo de la especie de rotífero que se encuentre en el medio y finalmente con los valores ponderados, categoriza la calidad del agua de dicho sistema dependiendo de su nivel de saprobiedad; x: xenosaprobio, o: oligosaprobio, b: beta-mesosapróbico, a: alfa-mesosapróbico y p: polisaprobio (Tabla 2).

$$ISPB: \frac{\sum(N * IS)}{\sum N}$$

Dónde:

ISPB: Índice Saprobio de Pantle y Buck

N: Número de organismos de cada especie, frecuencia relativa

IS: Índice saprobio

Tabla 2. Categorías de clasificación del Índice Saprobio propuesto por Pantle y Buck (Sladeczek, 1983).

Categoría	Valor	Clasificación	Descripción
Xenosaprobico	0 - 1,0	Aguas no contaminadas. Sistemas oligotróficos	Zona de mineralización de materia orgánica. Agua saturada de oxígeno.
Oligosaprobico	1,0 - 1,5	Aguas poco contaminadas. Sistemas oligotróficos	Zona donde la mineralización de materia orgánica es completada y el agua esta saturada con oxígeno, hay una gran variedad de plantas y animales aunque son poco frecuentes. Los protistas son escasos en esta zona.
β-mesosaprobico	1,6 - 2,5	Aguas medianamente contaminadas. Sistemas mesotróficos	Zona donde los productos de descomposición se acercan a la mineralización y el deficit de oxígeno es bajo. Una gran cantidad de protistas, plantas y animales se encuentran en numeros considerables.
α-masosaprobico	2,6 - 3,5	Aguas muy contaminadas. Sistemas eutróficos	Zona donde hay poco oxígeno y se inicia la mineralización . Se presentan mas especies que en la zona polisaprobica. Las bacterias y protistas aún tienden a dominar el sistema.
Polisaprobica	3,6 - 5,0	Aguas fuertemente contaminadas, Sistemas eutróficos.	Zona de gran contaminación con materia orgánica, muy poco o nada de oxígeno disuelto. Pocas especies, generalmente bacterias y protistas heterótrofos, gran abundancia de individuos.

- Índice de Diatomeas TDI (Trophic Diatom Index).

En 1995 Kelly M.G. y Whitton B.A propusieron un índice basado en diatomeas para poder monitorear el estado trófico de la calidad del agua de los ríos. Se basa en la composición de diatomeas y cuenta con 86 taxa diferentes a los cuales se les asigna un valor dependiendo de la sensibilidad de la especie y posteriormente se ponderan los valores para poder asignar una categoría para describir el grado de eutrofización del cuerpo de agua.

$$TDI = (WMS \times 25) - 25$$

Dónde:

TDI: Trophic Diatom Index

WMS: Sensibilidad media ponderada obtenida del valor de sensibilidad (S_j) que va del 1 – 5, y el indicador del valor (V_j) del 1 – 3.

$$WMS = \frac{\sum_{j=1}^n a_j s_j v_j}{\sum_{j=1}^n a_j v_j}$$

Dónde: a_j = a la abundancia (proporción) de la especie j en la muestra

v_j es el valor del indicador (1-3)

s_j = es la especie j sensible a la contaminación (1 – 5)

Los valores resultantes van del 0 (baja concentración de nutrientes) al 100 (alta concentración de nutrientes)

7.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

- CALIDAD DEL AGUA

Los muestreos de parámetros fisicoquímicos fueron trimestrales, es decir, se realizaron cada tres meses abarcando meses de lluvias y meses de secas (agosto 2017-enero 2018) en los cinco sitios de muestreo previamente establecidos para medir diferentes parámetros de calidad del agua *in situ* y tomar muestras de agua para el análisis en laboratorio. Todo lo

anterior con el fin de determinar la calidad del agua del sistema por medio de índices e indicadores.

En cada sitio de muestreo se tomaron datos *in situ* por medio del equipo multiparamétrico YSI para calidad del agua.

- Temperatura
- pH
- Oxígeno disuelto
- Sólidos disueltos totales
- Conductividad

Adicionalmente se tomaron muestras de agua en recipientes de plástico y de vidrio, limpios y secos para evitar interferencia por factores externos y con etiquetas adecuadas de acuerdo a lo establecido por la NMX-AA-014-1980 que establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos de aguas superficiales, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas que se describe a continuación:

- **RECIPIENTES PARA TRANSPORTE Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS**

Se utilizaron materiales inertes, resistentes a presiones y temperaturas requeridas para la esterilización. Teniendo cuidado en que las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes.

Antes de usarse, los recipientes se esterilizaron para eliminar cualquier sustancia que altere los resultados de los análisis. Los recipientes tienen una capacidad mínima de 2 L. En el

caso de las bolsas estériles para análisis bacteriológicos la capacidad debe ser no mayor de 250 mL.

- Etiquetas de las muestras

Se utilizaron etiquetas plastificadas y pegables antes impresas con los datos comunes, la información complementaria viene en hojas de registro, las etiquetas y la tinta debe ser de tal calidad que no sufra alteraciones al tener contacto con el agua.

Las etiquetas contenían la siguiente información:

Número y nombre del sitio de muestreo

Número de la muestra

Fecha y hora de muestreo

Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo

Análisis a efectuar

- Hojas de registro

La hoja de registro se llenó con información que permitió identificar el origen de la muestra y todos los datos pertinentes al sitio de muestreo y contiene como mínimo la siguiente información:

Cuerpo de agua superficial en estudio

Número y nombre del sitio de muestreo

Número de la muestra

Fecha y hora de muestreo

Nombre y firma de la persona que efectúa el muestreo

Análisis a efectuar

Resultados de pruebas de campo practicadas en la zona estudiada, sobre diferentes planos de la misma.

Temperatura ambiental

Temperatura del agua

pH

Gasto

Localización de las estaciones de muestreo

Descripción detallada de las estaciones de muestreo, de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.

Las especificaciones antes descritas fueron necesarias para poder analizar las muestras en el laboratorio de calidad del agua del IMTA, el cual está acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación, A. C. (EMA), para 38 pruebas, indicadas en el documento de acreditación No. AG-177-032/09 y aprobado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Esto significa que los datos obtenidos se realizaron bajo las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes y son datos confiables. A continuación en la tabla 3, se indica el método de análisis y las Normas Mexicanas en las que están basadas.

Tabla 3. Parámetros analizados y método de análisis basado en la Norma Mexicana en materia de Análisis de Agua.

Método de Análisis	Parámetro (mg L⁻¹)
NMX-AA-051-SCFI-2001	Arsénico (As)
NMX-AA-077-SCFI-2001	Fluoruros
NMX-AA-029-SCFI-2001	Fosforo Total (PT)
NMX-AA-051-SCFI-2001	Mercurio (Hg)
NMX-AA-026-SCFI-2010	Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)
NMX-AA-036-SCFI-2001	Alcalinidad
NMX-AA-028-SCFI-2001	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
NMX-AA-042-1987	Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)

Los parámetros medidos se analizaron de acuerdo a algunos índices de calidad del agua como el ICA NSF (EU), CCME-WQI (Canadá), ISQA (España) bajo las ecuaciones a continuación descritas.

- ICA NSF (EU)

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$$

Dónde:

Se utiliza el promedio geométrico ponderado

W_i: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro

I_i: subíndice de i-ésimo parámetro

- CCME-WQI (Canadá)

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

El índice incorpora tres elementos

Alcance (F1): porcentaje de parámetros que exceden el criterio de Protección de Vida Acuática (PVA)

Frecuencia (F2): porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede el criterio PVA

Amplitud (F3): magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple con el criterio PVA

- ISQA (España)

$$ISQA = T (DQO + SS + OD + Cond)$$

Dónde:

T: Temperatura

DQO: Demanda Química de Oxígeno

O.D: Oxígeno Disuelto

Cond: Conductividad

SS: Sólidos Suspendidos

Nota: A partir de 2003 el ISQA se empezó a calcular reemplazando la DQO por el Carbono Orgánico Total (COT) en mg L^{-1} ; por lo tanto, los resultados de éste ICA se calcularon con COT.

Los datos biológicos y fisicoquímicos fueron evaluados con análisis estadísticos para poder comparar entre puntos de muestreo y en general con otros cuerpos de agua.

Se realizó un análisis entre las variables ambientales y la densidad de organismos tanto de zooplancton como de fitoplancton. Se utilizó el programa XLSTAT para el análisis de agrupamiento o clúster de los parámetros fisicoquímicos y biológicos (zooplancton y fitoplancton), con el fin de observar patrones presentes en el arroyo.

Adicionalmente se aplicó un Análisis de Correspondencia Canónica con ayuda del programa SPS versión 19 para integrar los resultados bióticos y abióticos de cada sitio.

A través de estos métodos matemáticos se pudieron hacer estimaciones e interpretaciones de los datos encontrados en campo y laboratorio.

8. RESULTADOS

8.1 COMUNIDAD BIOLÓGICA

Durante el periodo de estudio de seis meses para las comunidades biológicas, desde agosto a enero del 2017-2018 en las estaciones de monitoreo del Parque, se obtuvieron distintos listados taxonómicos de las especies que forman parte del arreglo de las comunidades, tanto acuáticas como terrestres y que están mejor representadas en el Parque.

La vegetación ribereña asociada al arroyo y al manantial de Chapultepec está representada en su mayoría por especies pertenecientes a la familia *Moraceae*. En total se registran nueve especies, de la cuales, cuatro se encuentran catalogadas como especies exóticas de la región de las barrancas y solo una como especie nativa (Tabla 4).

Tabla 4. Listado taxonómico de las especies que conforman la vegetación ribereña del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.

Division	Clase	Orden	Familia	Genero y especie
Embriophyta	Pinopsida	Pinales	Cupressaceae	<i>Taxodium mucronatum</i> Ten. *
	Magnoliopsida	Lamiales	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh
			Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don **
		Malvales	Malvaceae	<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten y Baker F.
		Myrtales	Myrtaceae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh **
		Rosales	Moraceae	<i>Ficus benjamina</i> L. **
				<i>Ficus cotinifolia</i> Kunth
				<i>Ficus elastica</i> Roxb. ex Hornem **
				<i>Ficus petiolaris</i> Kunth

(*) Especies nativas de la región de las barrancas de Morelos

(**) Especies exóticas.

La vegetación acuática está dominada por cinco especies, las cuales fueron registradas en los seis meses de muestreo. Cuatro de las cinco especies son catalogadas como especies exóticas invasoras de acuerdo con lo descrito por la CONABIO en 2014 (Bonilla-Barbosa & Santamaria, 2014) (Tabla 5).

Tabla 5. Listado taxonómico de las especies que conforman la vegetación del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.

Division	Clase	Orden	Familia	Genero y especie
Embriophyta	Magnoliopsida	Alismatales	Hydrocharitaceae	<i>Hydrilla verticillata</i> (L. F.) Royle **
				<i>Egeria densa</i> Planch. **
				<i>Elodea canadensis</i> Michx **
			Potamogetonaceae	<i>Potamogeton crispus</i> L. **
		Nymphaeales	Nymphaeaceae	<i>Nymphaea elegans</i> Hook

(**) Especies exóticas.

La siguiente tabla (Tabla 6), es un listado taxonómico de la fauna asociada al arroyo y al lago de Chapultepec, los organismos más abundantes y mejor representados son los peces, con seis especies registradas, de las cuales, al menos tres están catalogadas como especies exóticas invasoras y solo una (*Notropis boucardi*) está bajo protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010 por ser una especie endémica de las barrancas de Morelos.

En cuanto al orden decápoda se registró el encuentro del cangrejito barranqueño (*Pseudothelphusa dugesi*) en al menos cinco ocasiones de los seis muestreos, esta especie, al igual que la carpita de Morelos, está bajo la protección de la NOM-059-SEMARNAT-2010 por ser una especie endémica de las barrancas de Morelos.

Tabla 6. Listado taxonómico de las especies de fauna del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a mayo del 2017-2018.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Genero y especie
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Pseudothelphusidae	<i>Pseudothelphusa dugesi</i> Rathbun, 1893 *
Chordata	Teleostei	Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Notropis boucardi</i> (Günther, 1868) *
				<i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758) **
		Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Poeciliopsis gracilis</i> (Heckel, 1848)
				<i>Heterandria bimaculata</i> (Heckel, 1848) **
		Siluriformes	Ictaluridae	<i>Ictalurus balsanus</i> (Jordan and Snyder, 1899)
		Salmoniformes	Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792) **

(*) Especies dentro de la categoría de Especies Amenazadas (NOM-059-SEMARNAT-2010)

(**) Especies exóticas.

Las tablas 7 y 8 muestran el listado de la comunidad del zooplancton que se registró en los cinco sitios de muestreo durante los seis meses de monitoreo.

Las familias mejor representadas de los rotíferos son Notommatidae Lepadellidae y Brachionidae, cada una con 7, 5 y 5 especies de rotíferos respectivamente, mientras que las menos representadas fueron las familias Trichotriidae, Trichocercidae y Dicranophoridae con 2, 1 y 1 especies respectivamente (Tabla 7).

En cuanto a los cladóceros, la familia Daphniidae fue la mejor representada con dos géneros, por su parte, los copépodos que se registraron fueron pertenecientes al orden Harpacticoida y Cyclopoida (Tabla 8).

Tabla 7. Listado taxonómico de especies de Rotíferos que forman parte del zooplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.

Phylum	Clase	Subclase	Orden	Familia	Genero y especie
Rotifera Cuvier, 1817	Eurotatoria De Ridder, 1957	Digononta Plate, 1889	Bdelloida		
		Monogononta Plate, 1889	Ploimida	Trichotriidae	<i>Trichotria tetractis</i> (Ehrenberg, 1830)
				Trichocercidae	<i>Trichocerca</i> sp. Lamarck, 1801
				Dicranophoridae	<i>Aspelta</i> sp. Harring and Myers, 1928
					<i>Dicranophorus forcipatus</i> (Müller, 1786)
				Lepadellidae	<i>Lepadella</i> sp. Bory de St. Vincent, 1826
					<i>Lepadella acuminata</i> (Ehrenberg, 1834)
					<i>Lepadella triba</i> Myers, 1934
					<i>Lepadella ovalis</i> (O. F. Müller, 1896)
					<i>Colurella adriatica</i> (Ehrenberg, 1831)
				Euchlanidae	<i>Euchlanis pyriiformis</i> Gosse, 1851
					<i>Euchlanis lyra</i> Hudson, 1886
					<i>Euchlanis</i> sp. Ehrenberg, 1832
				Lecanidae	<i>Lecane inermis</i> (Bryce, 1892)
					<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)
					<i>Lecane hamata</i> (Stokes, 1896)
					<i>Lecane closteroerca</i> (Schmarda, 1859)
				Brachionidae	<i>Plationus patulus</i> (Müller, 1786)
					<i>Brachionus havanaensis</i> Rousselet, 1913
					<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)
					<i>Keratella americana</i> Carlin, 1943
					<i>Keratella tropica</i> (Apstein, 1907)
				Notommatidae	<i>Cephalodella</i> sp. Bory de St. Vincent, 1826
					<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1832)
					<i>Cephalodella catellina</i> (O. F. Müller, 1786)
					<i>Cephalodella ventripes</i> (Dixon-Nuttall, 1901)
					<i>Monommata</i> sp. Bartsch, 1870
					<i>Monommata diaphora</i> Myers, 1930
					<i>Proales daphnicola</i> Thompson, 1892

Tabla 8. Listado taxonómico de especies que forman parte del zooplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.

Phylum	Clase	Subclase	Orden	Familia	Genero y especie
Arthropoda	Branchiopoda Latreille, 1817	Phyllopoda Preuss, 1951	Diplostraca	Daphniidae	<i>Simocephalus</i> sp. Shoedler, 1958
					<i>Ceriodaphnia</i> sp. Dana, 1853
				Chydoridae	<i>Chydorus</i> sp. Leach, 1816
	Maxillopoda Dahl, 1956	Copepoda Milne-Edwards, 1840	Cyclopoidia Burmeister, 1834		
			Harparticoida G. O. Sars, 1903		

En la tabla 9 se observa el listado taxonómico de las especies de fitoplancton identificadas en los cinco sitios de muestreo durante los seis meses muestreados. Las Diatomeas son las que cuentan con más diversidad de especies, siendo la familia Naviculacea la mejor representada en las muestras observadas, mientras que las familias Amphipleuraceae y Stephanodiscaceae son las menos representadas.

Tabla 9. Listado taxonómico de especies de fitoplancton que se encuentra el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Genero y especie
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Amphipleura pellucida</i> Kütz. 1844
			Naviculaceae	<i>Caloneis amphisbaena</i> Cleve 1894
				<i>Gyrosigma attenuatum</i> Rabenhorst 1853
				<i>Navicula oblonga</i> Kützing 1844
				<i>Navicula amphioxys</i> Kützing 1844
				<i>Navicula gastrum</i> Kützing 1844
				<i>Navicula neglecta</i> Kützing 1844
				<i>Navicula subtilissima</i> Cleve 1891
				<i>Navicula platealea</i> Ehrenberg 1842
				<i>Navicula viridula</i> Ehrenberg 1836
				<i>Navicula sp.</i> Bory 1822
			Pinnulariaceae	<i>Pinnularia parva</i> W.Gregory 1854
				<i>Pinnularia sp.</i> Ehrenberg, 1843
		Cocconeidales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis oblonga</i> Kützing 1844
				<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838
		Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella mexicana</i> Cleve 194
				<i>Cymbella sp.</i> Agardh 1830
				<i>Cymbella turgida</i> Hassall 1845
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia zebra</i> Kützing 1844
				<i>Rhopalodia gibba</i> Müller 1895
		Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow 1885
				<i>Fragilaria construens</i> Grunow, 1862
				<i>Fragilaria pinnata</i> Ehrenberg 1843
				<i>Synedra parasitica</i> Hustedt 1930
				<i>Synedra ulna</i> Ehrenberg 1832
		Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg 1832
				<i>Gomphonema attenuatum</i> Ehrenberg 1832
				<i>Gomphonema brasiliense</i> Grunow 1878
				<i>Gomphonema sp.</i> Ehrenberg 1832
				<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg 1832
		Bacillariales	Rhoicospheniaceae	<i>Rhoicosphenia curvata</i> Grunow, 1860
				<i>Nitzschia entomon</i> Hassall, 1845
		Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella campylodiscus</i> Ehrenberg, 1843
				<i>Surirella flexuosa</i> Ehrenberg, 1843
				<i>Surirella elegans</i> Ehrenberg, 1843
				<i>Surirella spiralis</i> Kützing, 1844
				<i>Surirella microcora</i> Ehrenberg, 1843
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira granulata</i> Ralfs 1861
				<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827
	Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing 1844
				<i>Stephanodiscus niagarae</i> , Ehrenberg 1845
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiiales	Desmidiaceae	<i>Cosmarium obtusa</i> Schmidle 1898
				<i>Sphaerosoma filiforme</i> Ralfs, 1848
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia sp.</i> Meyen, 1839
		Chroococcales	Spirulinaceae	<i>Spirulina sp.</i> Gomont, 1892
		Oscillatoriales	Oscillatoraceae	<i>Oscillatoria sp.</i> Gomont, 1822
				<i>Phormidium sp.</i> Gomont, 1892
Ochrophyta	Xanthophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	<i>Tribonema sp.</i> Derbès & Solier, 1851

En cuanto a la presencia y ausencia de las especies de zooplancton antes listadas, podemos observar que el orden Bdelloide estuvo presente en todos los sitios durante los meses analizados, mientras que algunas especies como *Proales daphnicola* y *Monommata diaphora* son especies que se encontraron una o dos veces en los meses de muestreo analizado tal y como se puede ver en la Tabla 10. En cuanto a los copépodos, los estadios nauplio estuvieron presentes en la mayoría de los meses muestreados en todos los sitios analizados.

En cuanto al fitoplancton, la Tabla 11 nos muestra que las especies de las familias Flagellareaceae y Cocconeidaceae son las que están presentes en la mayoría de los sitios muestreados durante los seis meses, mientras que las más ausentes son de la familia Gomphonemataceae, Amphipleuraceae y Cymbellaceae.

Tabla 10. Presencia y ausencia de las especies que forman parte del zooplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018

|--|

Tabla 11. Presencia y ausencia de las especies que forman parte del fitoplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018

	AGOSTO					SEPTIEMBRE					OCTUBRE					NOVIEMBRE					DICIEMBRE					ENERO					
	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	
Familia Amphipleuraceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Amphipleura pellucida Kütz. 1844	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Familia Naviculaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Caloneis amphisbaena Cleve 1894	X	X	X	X	-	X	X	-	-	-	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	-	X	-	
Gyrosigma attenuatum Rabenhorst 1853	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Navicula oblonga Kützing 1844	-	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-	-	X	X	-	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	
Navicula amphioxix Kützing 1844	X	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	X	X	X	-	X	X	-	X	X	-	-	X	X	-	-	-	X	
Navicula gastrum Kützing 1844	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Navicula neglecta Kützing 1844	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Navicula subtilissima Cleve 1891	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	
Navicula plateale Ehrenberg 1842	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	
Navicula viridula Ehrenberg 1836	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Navicula sp. Bory 1822	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
Familia Pinnulariaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pinnularia parva W.Gregory 1854	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pinnularia sp. Ehrenberg, 1843	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	
Familia Cocconeidaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cocconeis oblonga Kützing 1844	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X
Cocconeis placentula Ehrenberg 1838	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Familia Cymbellaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cymbella mexicana Cleve 194	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cymbella sp. Agardh 1830	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cymbella turgida Hassall 1845	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Familia Rhopalodiaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Epithemia zebra Kützing 1844	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Rhopalodia gibba Müller 1895	X	-	-	X	-	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-	X	X	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	
Familia Fragilariaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fragilaria brevistriata Grunow 1885	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	
Fragilaria construens Grunow, 1862	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fragilaria pinnata Ehrenberg 1843	X	X	-	-	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X	-	
Synedra parasitica Hustedt 1930	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-	X	-	X	
Synedra ulna Ehrenberg 1832	X	X	X	-	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	
Familia Gomphonemataceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gomphonema acuminatum Ehrenberg 1832	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	
Gomphonema attenuatum Ehrenberg 1832	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
Gomphonema brasiliense Grunow 1878	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	
Gomphonema sp. Ehrenberg 1832	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gomphonema truncatum Ehrenberg 1832	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Familia Rhoicospheniaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Rhoicosphenia curvata Grunow, 1860	X	-	-	X	-	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	-
Familia Bacillariaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitzschia entonmon Hassall, 1845	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Familia Surirellaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Surirella campylodiscus Ehrenberg, 1843	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Surirella flexuosa Ehrenberg, 1843	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Surirella elegans Ehrenberg, 1843	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
Surirella spiralis Kützing, 1844	X	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	
Surirella microcora Ehrenberg, 1843	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Familia Melosiraceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Melosira granulata Ralfs 1861	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	
Melosira varians C.Agardh 1827	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	X	-	-	X	
Familia Stephanodiscaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cyclotella meneghiniana Kützing 1844	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	
Stephanodiscus niagarae, Ehrenberg 1845	X	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	X	-	-	
Familia Desmidiaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cosmarium obtusum Schmidle 1898	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	
Sphaerzosma filiforme Ralfs, 1848	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Familia Merismopediaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Merismopedia sp. Meyen, 1839	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Familia Spirulinaceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Spirulina sp. Gomont, 1892	X	X	X	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
Familia Oscillatoraceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oscillatoria sp. Gomont, 1822	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Phormidium sp. Gomont, 1892	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	
Familia Tribonemataceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tribonema sp. Derbès & Solier, 1851	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

La riqueza de especies tanto del Parque como de cada uno de los sitios se vio mayormente representada por rotíferos con alrededor del 60% en todos los sitios y en menor medida por los cladóceros. Específicamente en el sitio tres hubo un menor porcentaje de copépodos (2%), mientras que en los demás sitios estuvieron bien representados con alrededor del 30% (Figura 10).

La Figura 11, que representa la diversidad de especies de zooplancton nos permite observar que el sitio que cuenta con una mayor diversidad es el sitio 1 con 3.55 Bits / ind., mientras que el sitio 2 es el que registra una diversidad más baja con 2.41 Bits / ind., siendo el mes de Agosto el que registro la diversidad más baja para este sitio (1.29 Bits / ind.) (Figura 11)

Por su parte, la diversidad de fitoplancton fue más alta en el sitio 2 con 3.54 Bits / ind., mientras que la más baja fue en el sitio 1 y 3 con 3.28 y 3.31 bits / ind. respectivamente durante los meses de enero (2.25 Bits / ind.) para el sitio 1 y noviembre (2.4 Bits / ind) para el sitio 3 (Fig. 12) (Véase Tabla 30 en Anexos).

De acuerdo a la tabla de comparacion prouesta por Wilhm y Dorris (1968) en (Segnini, 2003) basándonos en el Índice de diversidad de Shanon - Wiener para zooplancton, los sitios 2 y 3 entrarían en la categoría de “Agua con contaminación moderada”, específicamente en el sitio 3, el mes de septiembre, la calidad del agua se puede clasificar como, “Agua con contaminación severa” (Figura 11). En cuanto al fitoplancton, utilizando los mismos criterios de evaluación, la calidad del agua con base en la diversidad siempre se mantuvo de “Agua con contaminación moderada” a “Agua limpia” en todos los sitios de muestreo (Figura 12).

**Riqueza de especies Parque Estatal Urbano
Barranca de Chapultepec, Morelos**

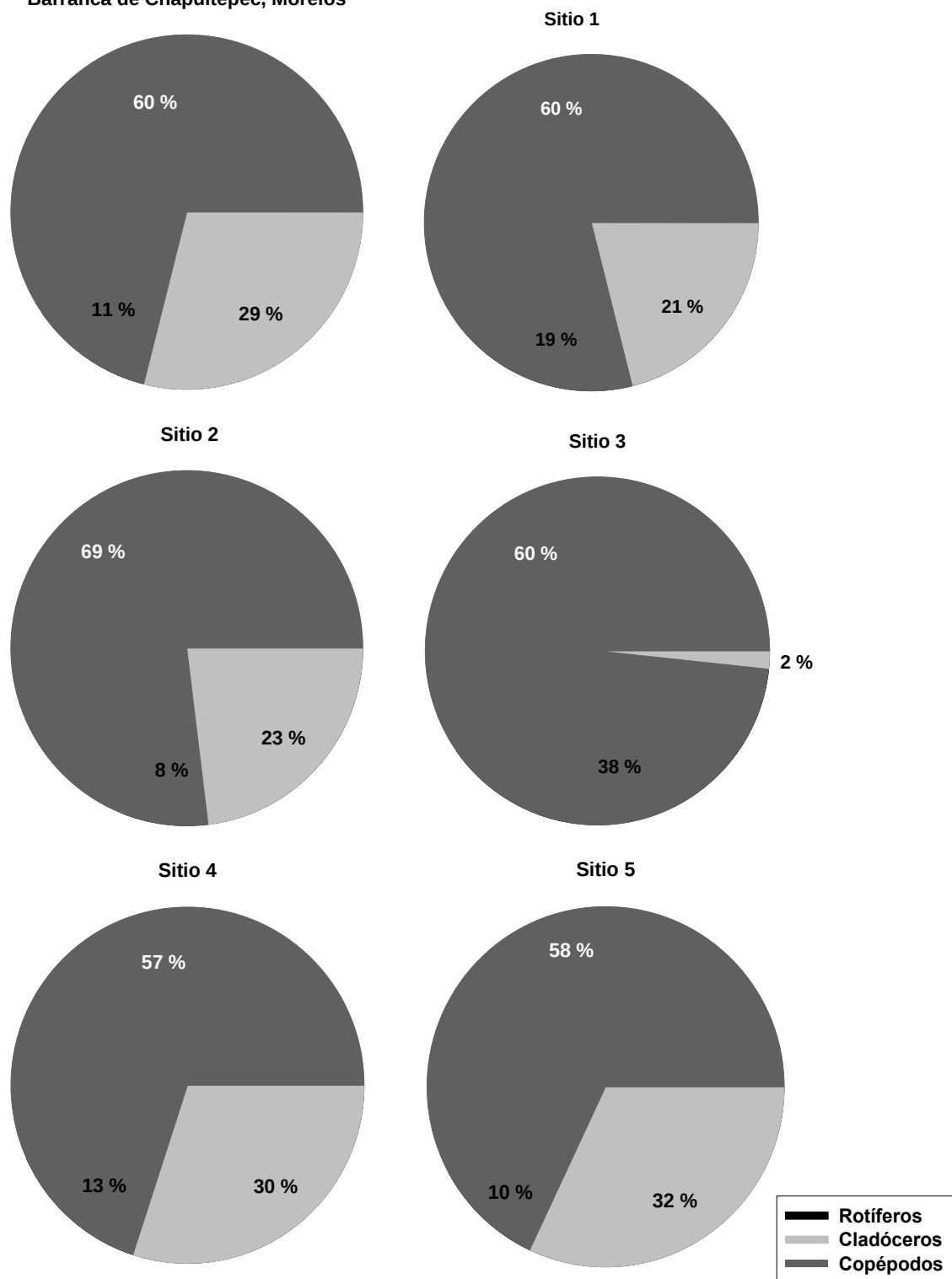
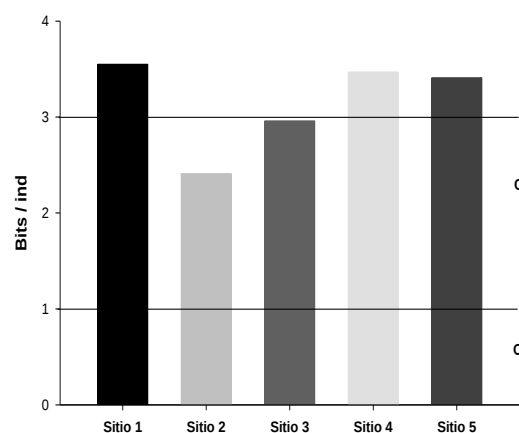
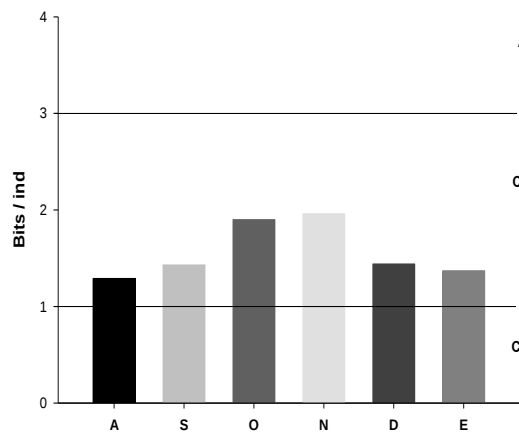


Figura 10. Riqueza de especies de zooplancton (rotíferos, cladóceros y copépodos) del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018.

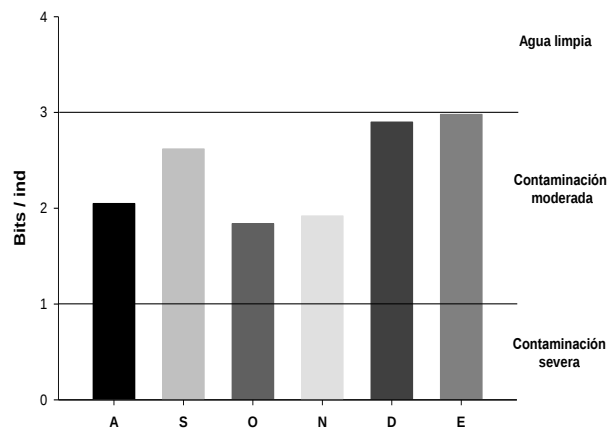
Diversidad de especies de Zooplankton del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos



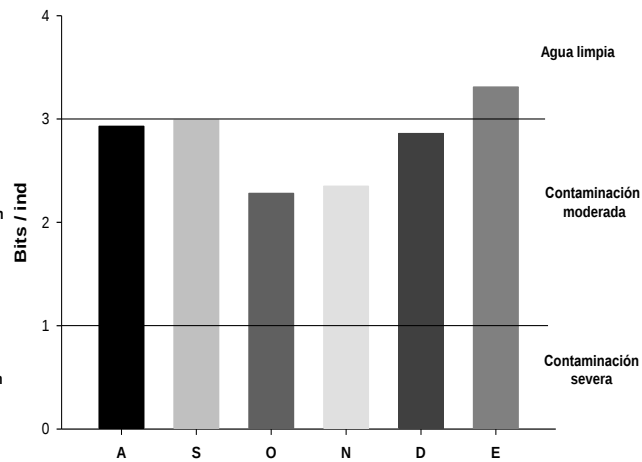
Sitio 2



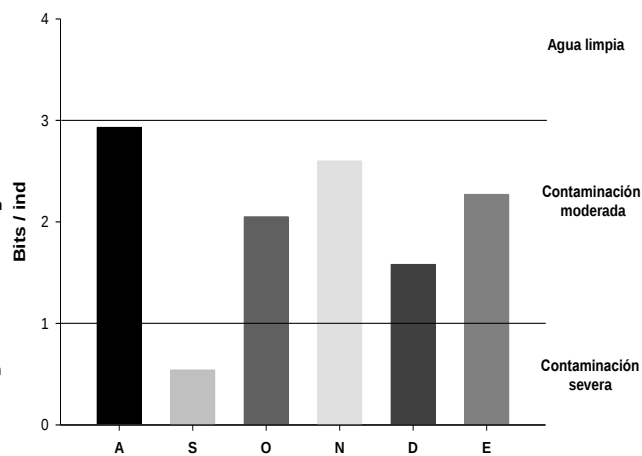
Sitio 4



Sitio 1



Sitio 3



Sitio 5

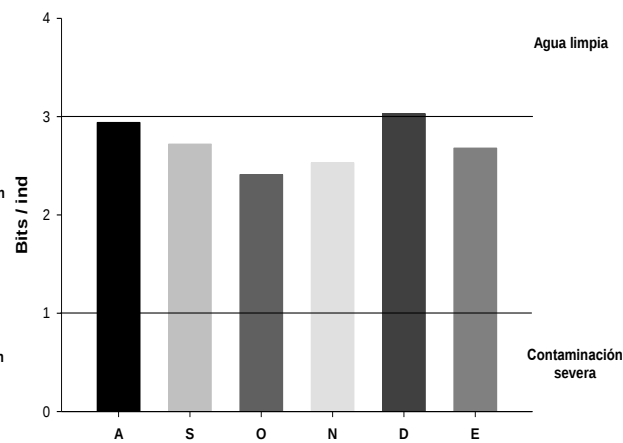


Figura 11. Diversidad de especies de zooplankton (rotíferos, copépodos y cladóceros) Shannon-Wiener del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. (A; agosto, S; septiembre, O; octubre, N; noviembre, D; diciembre y E; enero).

Diversidad de especies de Fitoplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos

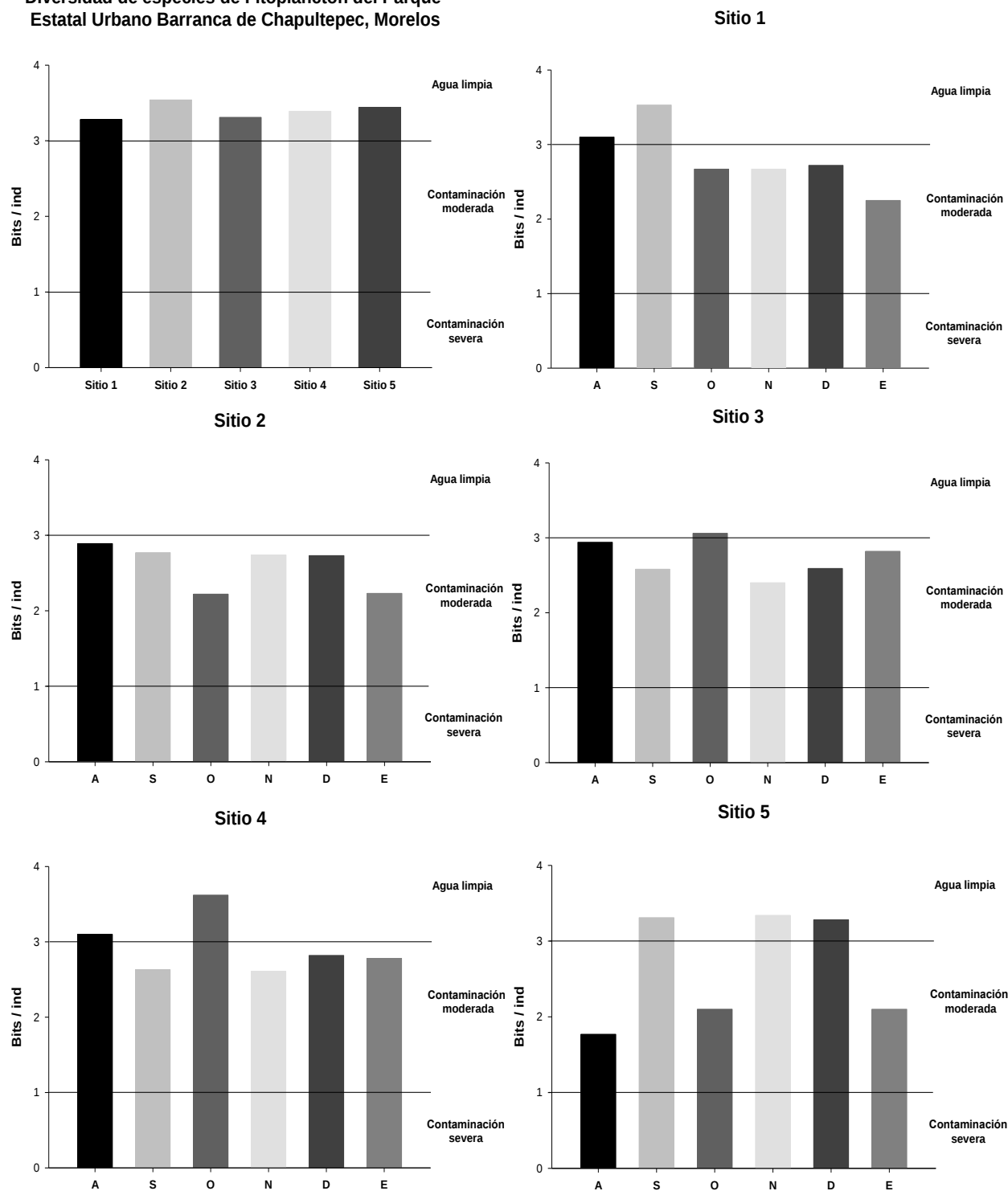


Figura 12. Diversidad de especies de fitoplancton Shannon-Wiener del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. (A; agosto, S; septiembre, O; octubre, N; noviembre, D; diciembre y E; enero).

La Figura 13 es una representación de la evaluación de calidad del agua a partir de rotíferos. De acuerdo con la clasificación del Índice Saprobico de Pantle y Buck de 1983, el cuerpo de agua del Parque se encuentra en la categoría de β -mesosaprobico ya que los valores promedio de cada sitio están entre 1.6 y 2.5, lo que nos indica una contaminación moderada (Figura 13) (Véase Tabla 31 en Anexos).

La Figura 14, es una representación de la evaluación de calidad del agua a partir de organismos fitoplanctónicos, específicamente de diatomeas. De acuerdo con la clasificación del Índice Trófico de Diatomeas de Kelly y Witton de 1995, el cuerpo de agua del Parque se encuentra en la categoría de 60 a 75 unidades, lo que corresponde a un sistema con contaminación moderada, lo que podría ser un sistema que va de oligotrófico a mesotrófico (Figura 14) (Véase Tabla 32 en Anexos).

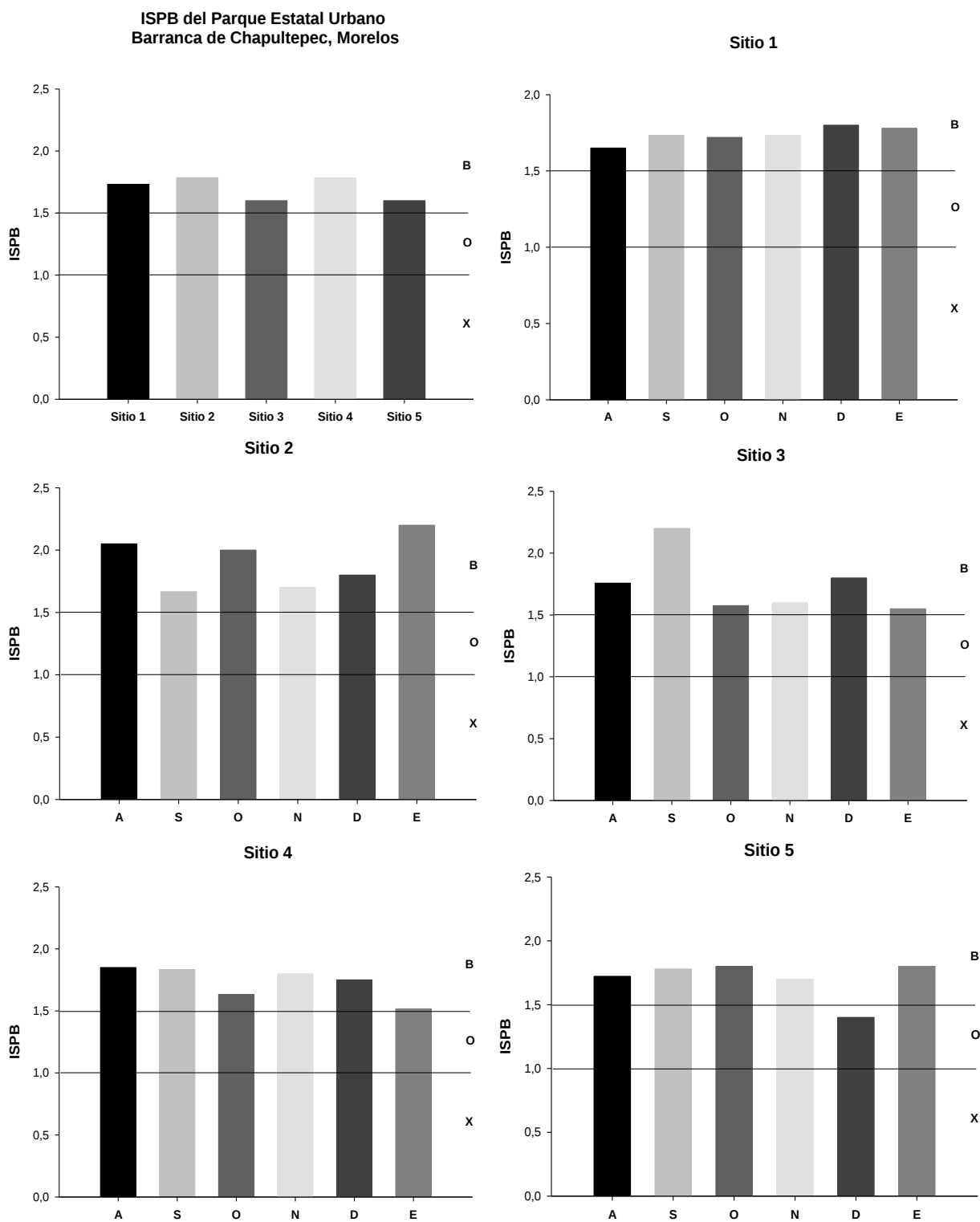


Figura 13. Índice Saprobio de Pantle y Buck del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. (A; agosto, S; septiembre, O; octubre, N; noviembre, D; diciembre y E; enero) (X; xenosapróbico, aguas no contaminadas. O; oligosapróbico, aguas poco contaminadas. B; β-mesosapróbico, aguas medianamente contaminadas.).

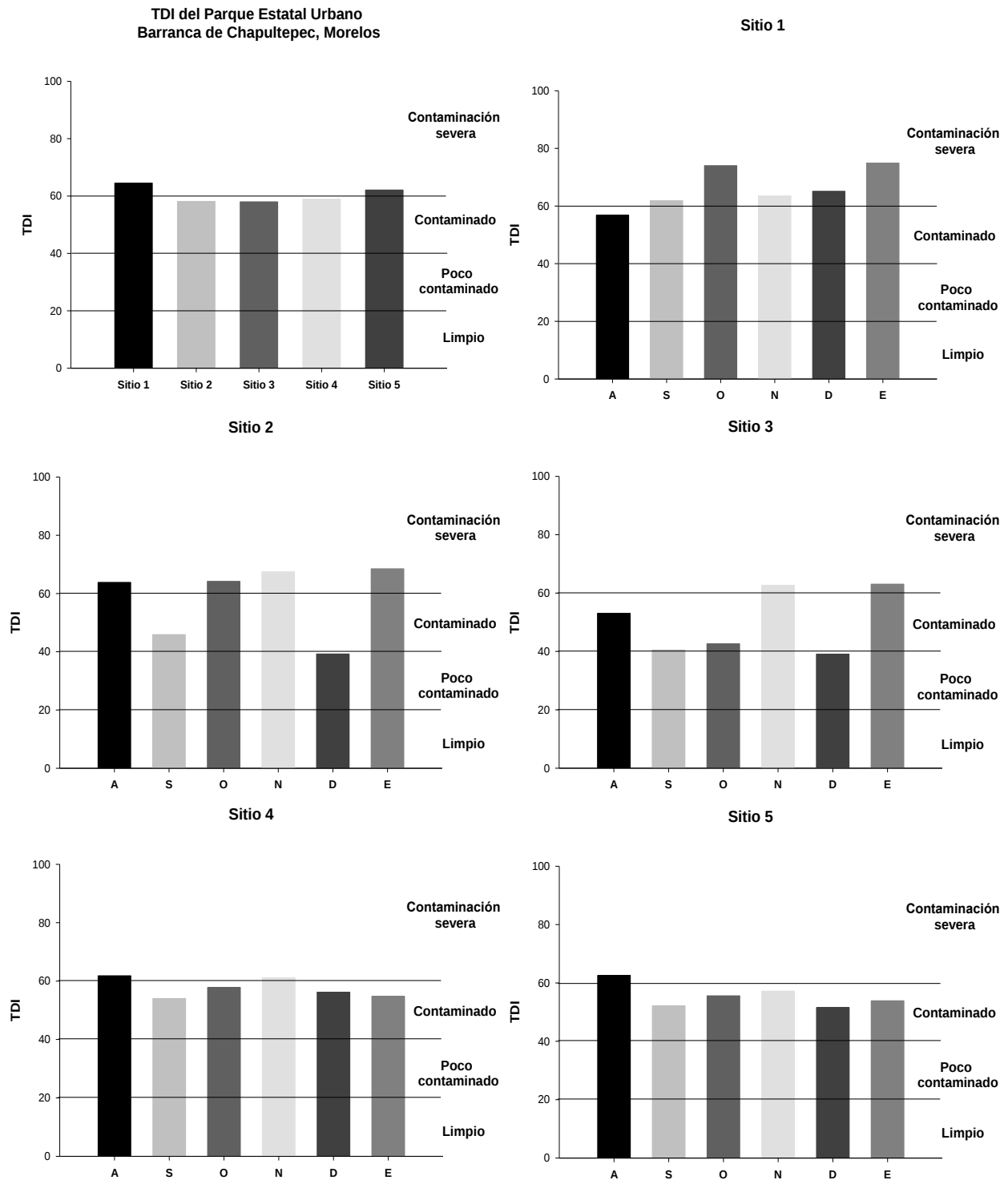


Figura 14. Índice Tráfico de Diatomeas del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. (A; agosto, S; septiembre, O; octubre, N; noviembre, D; diciembre y E; enero).

En general, las especies de zooplancton encontradas en los cinco sitios de muestreo durante los seis meses analizados, estuvieron restringidas en su mayoría en la sección de especie rara y dominante, lo cual se puede apreciar más claramente en los diagramas de Omstead Tukey (Figura 15 a Figura 26).

El sitio 2 (Figura 17 y Figura 18) y el sitio 3 (Figura 19 y Figura 20) tienen un comportamiento similar. Las especies de zooplancton, aunque son muy pocas, la mayoría queda en el rubro de especies raras, mientras que para el fitoplancton no se puede observar alguna tendencia, ya que las especies están distribuidas por las cuatro categorías.

En cuanto al zooplancton del sitio 4 (Figura 21), se puede observar que la mayoría de las especies están bajo la categoría de especies raras, mientras que el fitoplancton (Figura 22), tiene una distribución muy variada, sin embargo, la mayoría de las especies está dentro de la categoría de especies raras.

El sitio 5 tiene un comportamiento muy similar tanto para el zooplancton como para el fitoplancton, teniendo el mayor número de especies en los rangos de especies dominantes y especies raras (Figura 23 y Figura 24).

Para el Parque en general, las especies de zooplancton y fitoplancton tuvieron un arreglo bastante similar a lo anteriormente descrito, siendo las áreas de especies dominantes y especies raras en donde se concentra la mayoría de las especies (Figura 25 y Figura 26).

Sitio 1

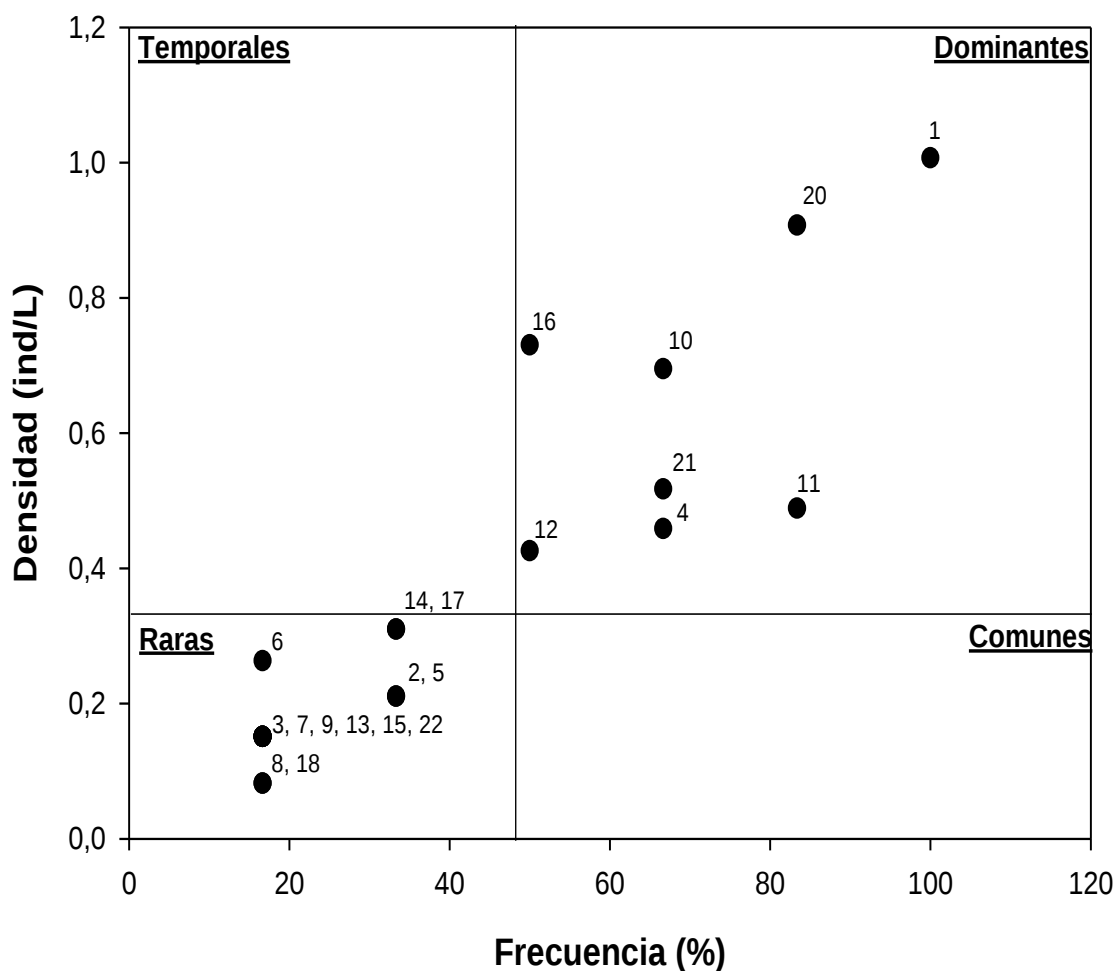


Figura 15. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 1; Inicio del Parque de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia *Bdelloidea* (1), *Brachionus havanaensis* (2), *Cephalodella catellina* (3), *Cephalodella gibba* (4), *Cephalodella ventripes* (5), *Euchlanis lyra* (6), *Euchlanis pyriformis* (7), *Euchlanis* sp. (8), *Keratella cochlearis* (9), *Keratella tropica* (10), *Lecane hamata* (11), *Lepadella ovalis* (12), *Lepadella triba* (13), *Trichotria tetractis* (14), *Ceriodaphnia* sp. (15), *Chydorus* sp. (16), copépodos del orden Cyclopoide (17), copépodos del orden Harpacticoide (18), estadios Nauplio de copépodos (20), *Simocephalus* sp. (22).

Sitio 1

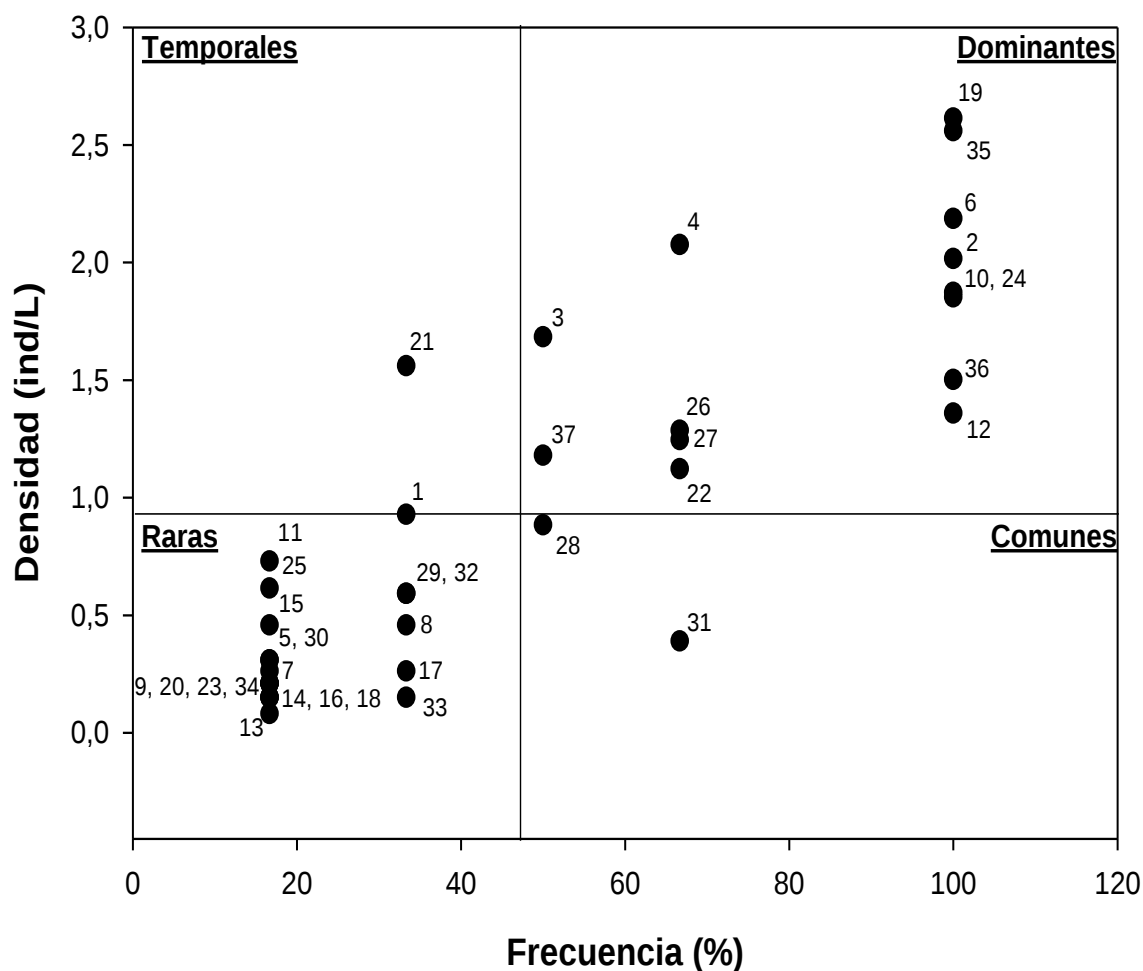


Figura 16. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 1; Inicio del Parque de agosto a enero del 2017-2018. *Amphipleura pelucida* (1), *Caloneis apmphisbaena* (2), *Cocconeis ablonga* (3), *Cocconeis placentula* (4), *Cosmarium obtusa* (5), *Cyclotella meneghiniana* (6), *Cymbella mexicana* (7), *Cymbella* sp. (8), *Cymbella turgida* (9), *Fragilaria brevistriata* (10), *Fragilaria construens* (11), *Fragilaria pinnata* (12), *Gomphonema acuminatum* (13), *Gomphonema attenuatum* (14), *Gomphonema* sp. (15), *Gomphonema truncatum* (16), *Gyrosigma attenuatum* (17), *Melosira granulata* (18), *Melosira varians* (19), *Merismopedia* sp. (20), *Navicula ablonga* (21), *Navicula amphioxys* (22), *Navicula neglecta* (23), *Navicula subtilissima* (24), *Pinnularia parva* (25), *Pinnularia* sp. (26), *Rhoicosphenia curvata* (27), *Rhopalodia gibba* (28), *Sphaerosoma filiforme* (29), *Spirulina* sp. (30), *Stephanodiscus niagrae* (31), *Surirella campylodiscus* (32), *Surirella elegans* (33), *Surirella spiralis* (34), *Synedra parasítica* (35), *Synedra ulna* (36), *Tribonema* sp. (37).

Sitio 2

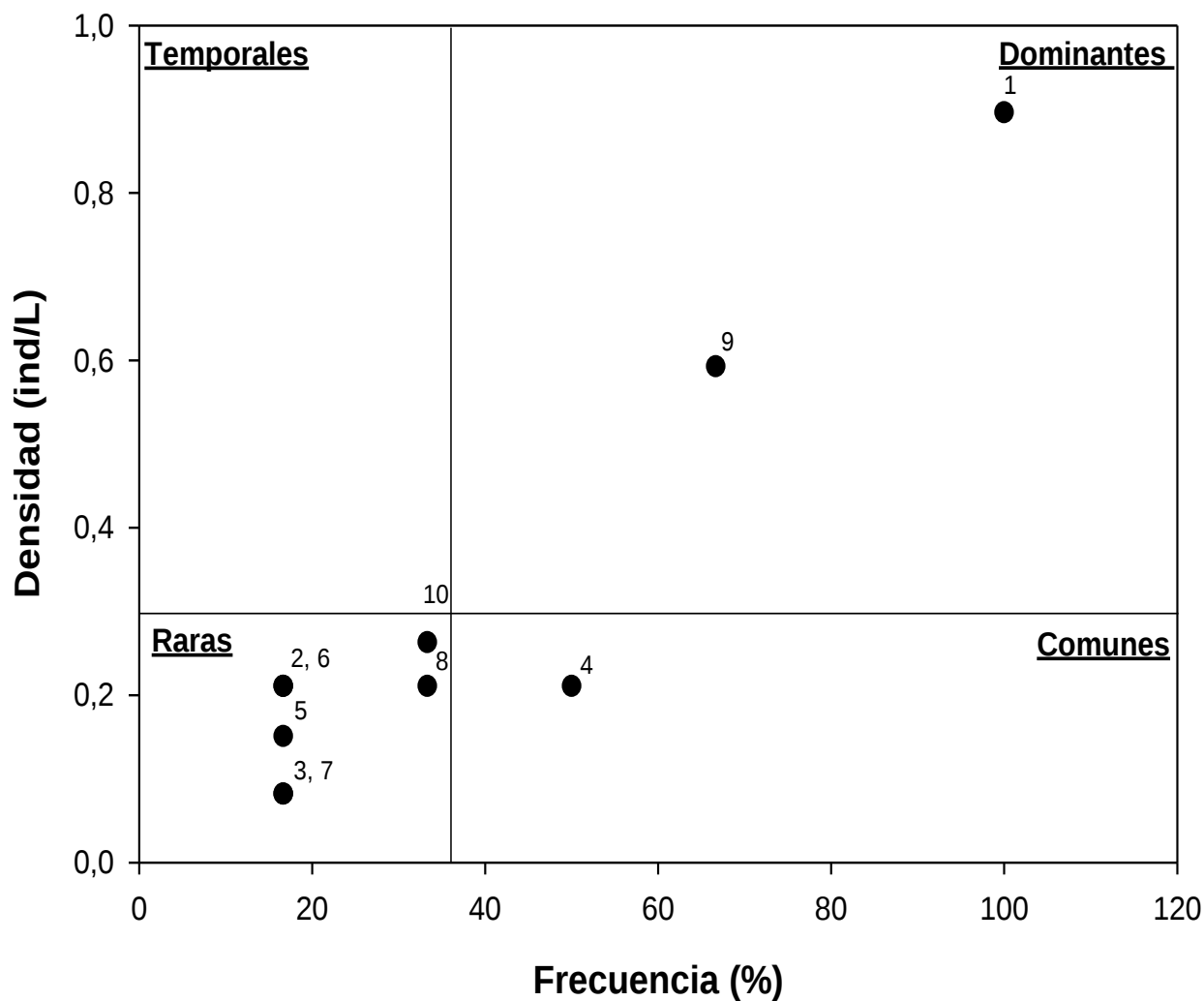


Figura 17. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 2; Área de guacamayas, de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia *Bdelloidea* (1), *Dicranophorus forcipatus* (2), *Keratella tropica* (3), *Lecane hamata* (4), *Lecane inermis* (5), *Lecane luna* (6), *Monommata diaphora* (7), copépodos del orden Harpacticóide (8), estadios Nauplio de copépodos (9), *Simocephalus* sp. (10).

Sitio 2

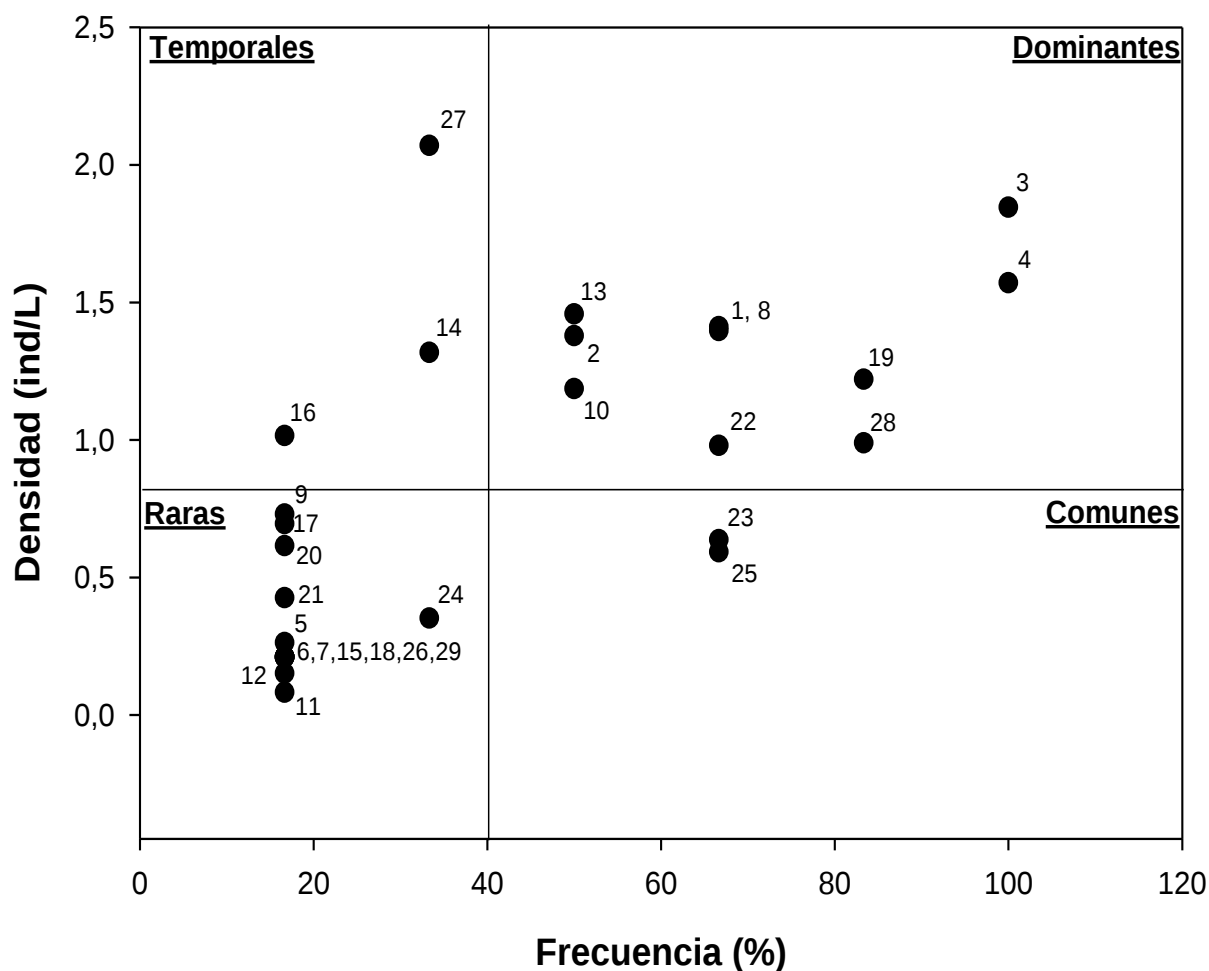


Figura 18. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 2; Área de guacamayas de agosto a enero del 2017-2018. *Caloneis apmphisbaena* (1), *Cocconeis ablonga* (2), *Cocconeis placentula* (3), *Cyclotella meneghiniana* (4), *Cymbella mexicana* (5), *Cymbella turgida* (6), *Ephitemia zebra* (7), *Fragilaria brevistriata* (8), *Fragilaria construens* (9), *Fragilaria pinnata* (10), *Gomphonema acuminatum* (11), *Gomphonema truncatum* (12), *Melosira granulata* (13), *Melosira varians* (14), *Merismopedia* sp. (15), *Navicula ablonga* (16), *Navicula amphioxys* (17), *Navicula neglecta* (18), *Navicula subtilisima* (19), *Pinnularia parva* (20), *Pinnularia* sp. (21), *Rhoicosphenia curvata* (22), *Rhopalodia gibba* (23), *Stephanodiscus niagrae* (25), *Surirella spiralis* (26), *Synedra parasítica* (27), *Synedra ulna* (28), *Tribonema* sp. (29).

Sitio 3

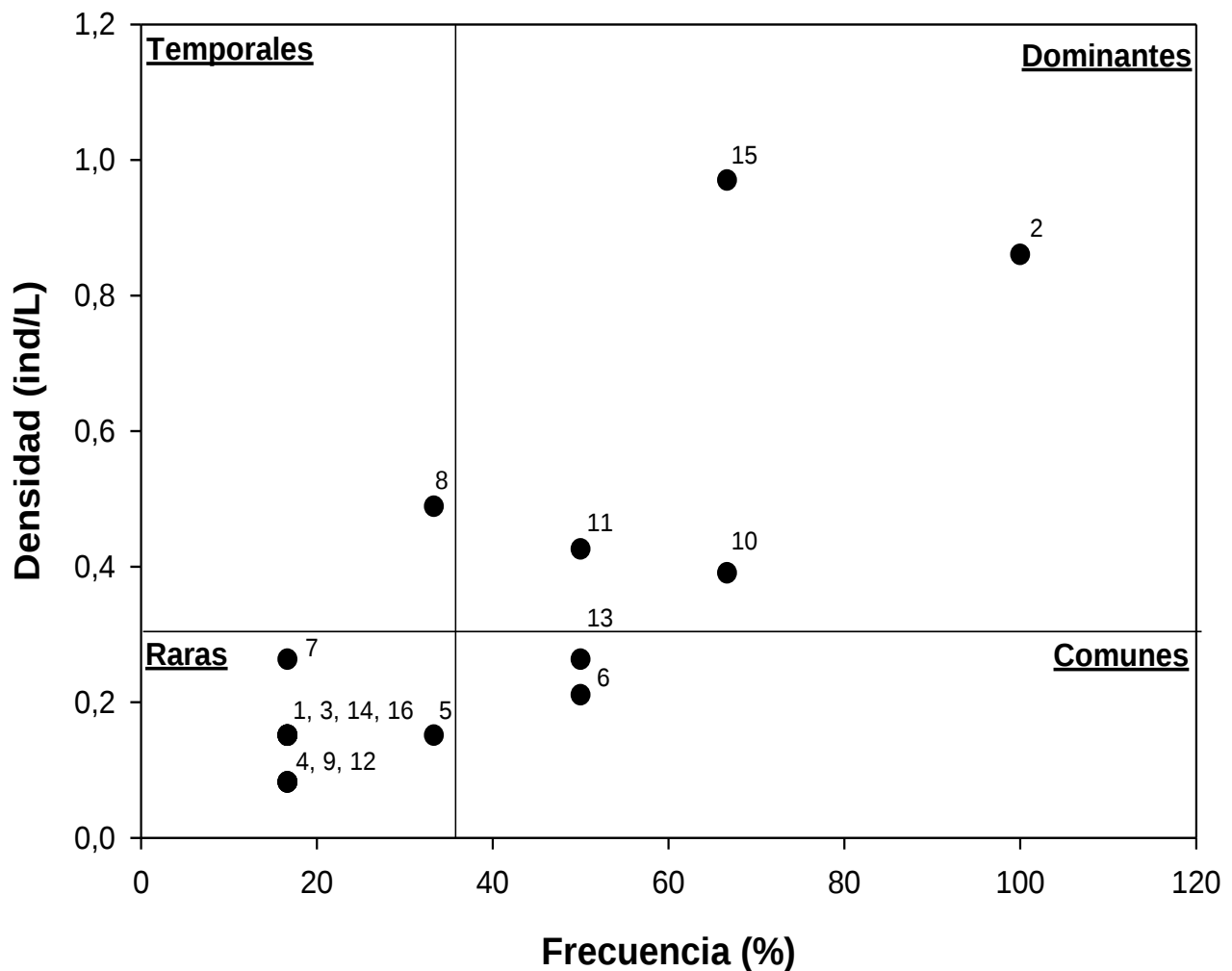


Figura 19. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 3; Salida de la presa, de agosto a enero del 2017-2018. *Aspelta* sp. (1), rotíferos de la familia *Bdelloidea* (2), *Cephalodella gibba* (3), *Trichocerca* sp. (4), *Colurella adriática* (5), *Euchlanis pyriformis* (6), *Euchlanis* sp. (7), *Keratella tropica* (8), *Lecane closteroerca* (9), *Lecane hamata* (10), *Lepadella ovalis* (11), 16 *Monommata* sp. (12), copépodo del orden Cyclopoide (13), copépodos del orden Harpacticoide (14), estadios Nauplio de copépodos (15), *Simocephalus* sp. (16).

Sitio 3

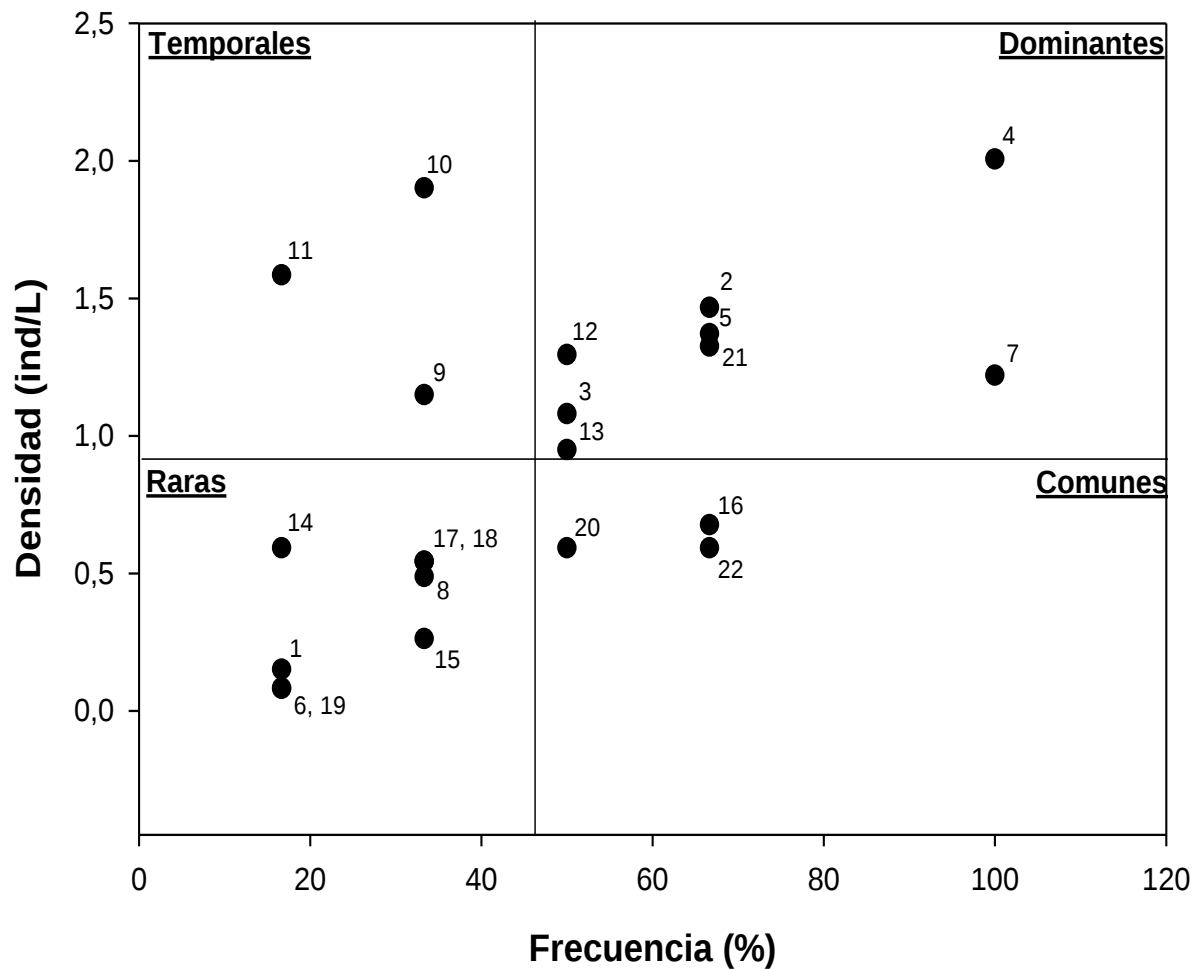


Figura 20.Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 3; Salida de la presa de agosto a enero del 2017-2018. *Amphipleura pelucida* (1), *Caloneis apmphisbaena* (2), *Cocconeis ablona* (3), *Cocconeis placentula* (4), *Cyclotella meneghiniana* (5), *Cymbella mexicana* (6), *Fragilaria brevistriata* (7), *Fragilaria pinnata* (8), *Melosira granulata* (9), *Melosira varians* (10), *Merismopedia* sp. (11), *Navicula ablona* (12), *Navicula subtilissima* (13), *Oscillatoria* sp. (14), *Phormidium* sp. (15), *Pinnularia* sp. (16), *Rhoicosphenia curvata* (17), *Rhopalodia gibba* (18), *Spirulina* sp. (19), *Surirella spiralis* (20), *Synedra parasítica* (21), *Synedra ulna* (22).

Sitio 4

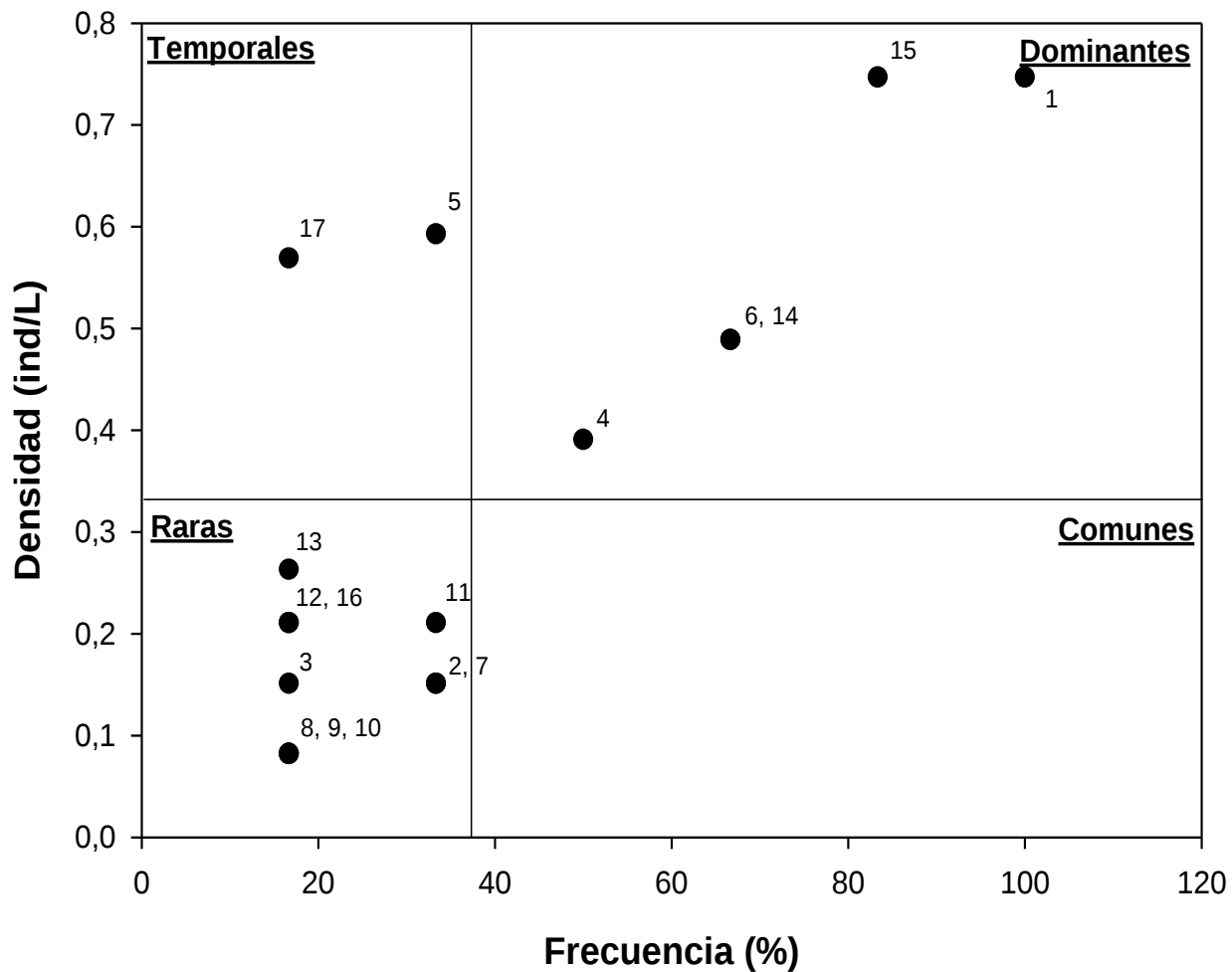


Figura 21. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 4; Entrada del Lago, de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia *Bdelloidea* (1), *Dicranophorus forcipatus* (2), *Euchlanis pyriformis* (3), *Keratella tropica* (5), *Lecane hamata* (6), *Lecane inermis* (7), *Lecane luna* (8), *Lepadella ovalis* (9), *Lepadella* sp. (10), *Trichocerca* sp. (11), *Trichotria tetactris* (12), copépodos del orden Cyclopoide (13), copépodos del orden Harpacticoida (14), estadios Nauplio de copépodos (15), *Simocephalus* sp. (17).

Sitio 4

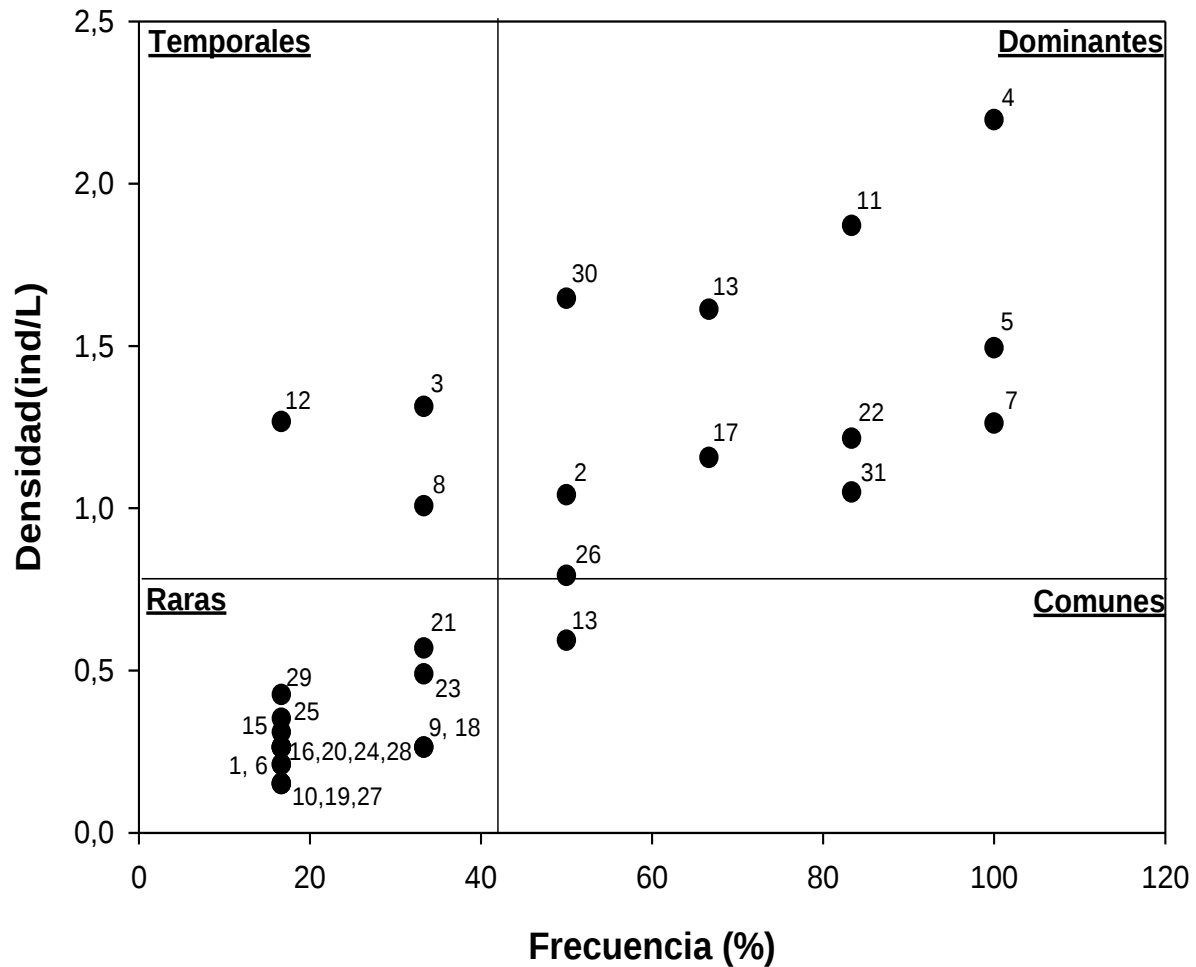


Figura 22.Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 4; Entrada del Lago de agosto a enero del 2017-2018. *Amphipleura pelucida* (1), *Caloneis apmphisbaena* (2), *Cocconeis ablonga* (3), *Cocconeis placentula* (4), *Cyclotella meneghiniana* (5), *Ephitemia zebra* (6), *Fragilaria brevistriata* (7), *Fragilaria pinnata* (8), *Gomphonema brasiliense* (9), *Gyrosigma attenuatum* (10), *Melosira varians* (11), *Merismopedia* sp. (12), *Navicula ablonga* (13), *Navicula gastrum* (15), *Navicula neglecta* (16), *Navicula subtilisima* (17), *Navicula platalea* (18), *Navicula viridula* (19), *Nitzschia entomon* (20), *Pinnularia* sp. (21), *Rhoicosphenia curvata* (22), *Rhopalodia gibba* (23), *Sphaerosoma filiforme* (24), *Spirulina* sp. (25), *Stephanodiscus niagrae* (26), *Surirella flexuosa* (27), *Surirella spiralis* (28), *Surirella microcora* (29), *Synedra parasítica* (30), *Synedra ulna* (31).

Sitio 5

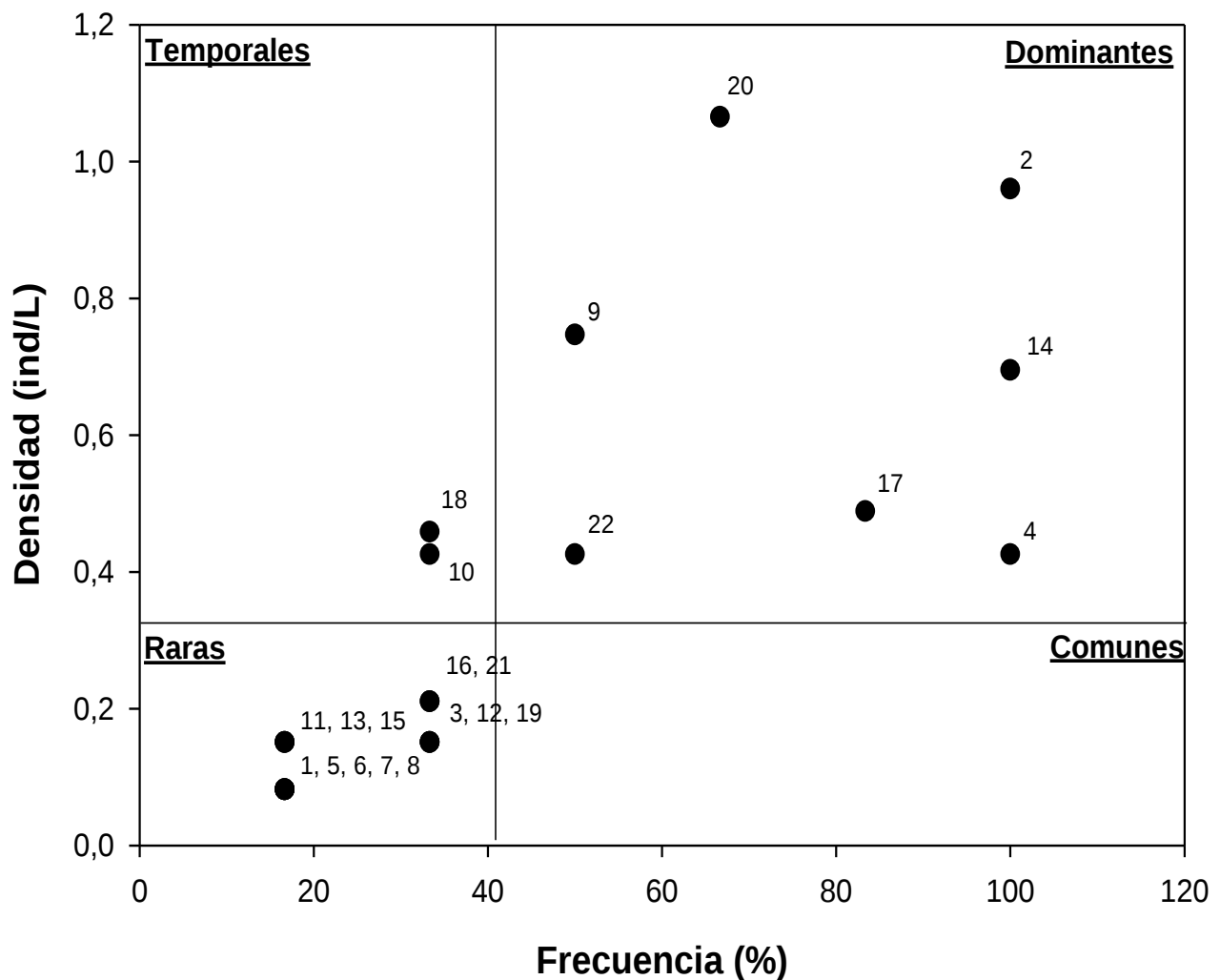


Figura 23. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Sitio 5; Salida del Lago, de agosto a enero del 2017-2018. *Aspelta* sp. (1), rotíferos de la familia *Bdelloidea* (2), *Brachionus havanaensis* (3), *Cephalodella gibba* (4), *Cephalodella* sp. (5), *Cephalodella ventripes* (6), *Dicranophorus forcipatus* (7), *Euchlanis pyriiformis* (8), *Keratella tropica* (9), *Lecane hamata* (10), *Lecane inermis* (11), *Lecane luna* (12), *Lepadella acuminata* (13), *Lepadella ovalis* (14), *Plationus patulus* (15), *Proales daphnicola* (16), copépodos del orden Cyclopoide (17), *Ceriodaphnia* sp. (18), copépodos del orden Harpacticoide (19), estadios Nauplio de copépodos (20), *Simocephalus* sp. (22).

Sitio 5

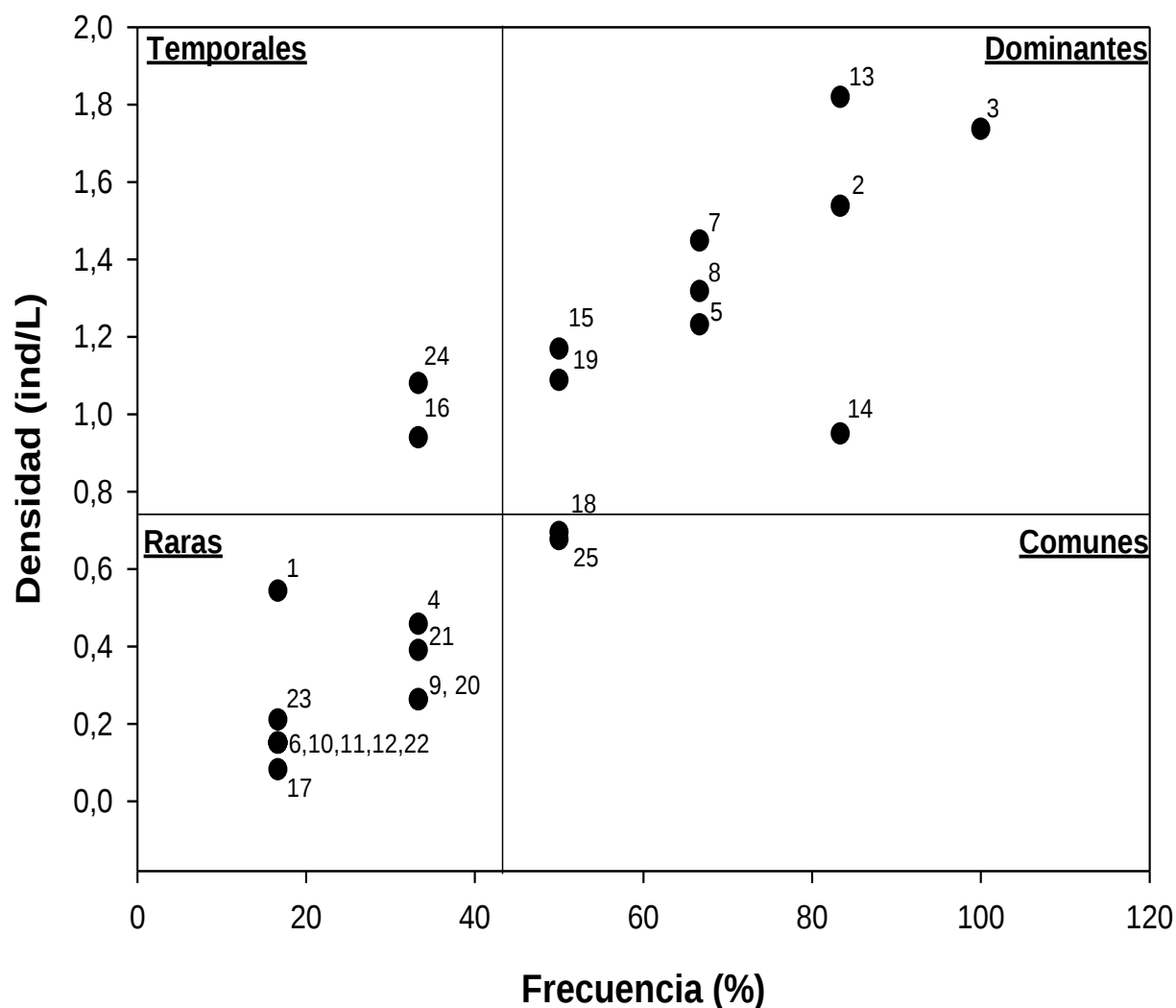


Figura 24. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Sitio 5; Salida del Lago de agosto a enero del 2017-2018. *Caloneis apmphisbaena*, (1), *Cocconeis ablonga* (2), *Cocconeis placentula* (3), *Cosmarium obtusa* (4), *Cyclotella meneghiniana* (5), *Cymbella* sp. (6), *Fragilaria brevistriata* (7), *Fragilaria pinnata* (8), *Gomphonema acuminatum* (9), *Gomphonema attenuatum* (10), *Gomphonema truncatum* (11), *Melosira granulata* (12), *Melosira Varians* (13), *Navicula amphioxys* (14), *Navicula subtilissima* (15), *Navicula* sp. (16), *Pinnularia parva* (17), *Pinnularia* sp. (18), *Rhoicosphenia curvata* (19), *Rhopalodia gibba* (20), *Spirulina* sp. (21), *Stephanodiscus niagrae* (22), *Surirella spiralis* (23), *Synedra parasítica* (24), *Synedra ulna* (25).

Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos

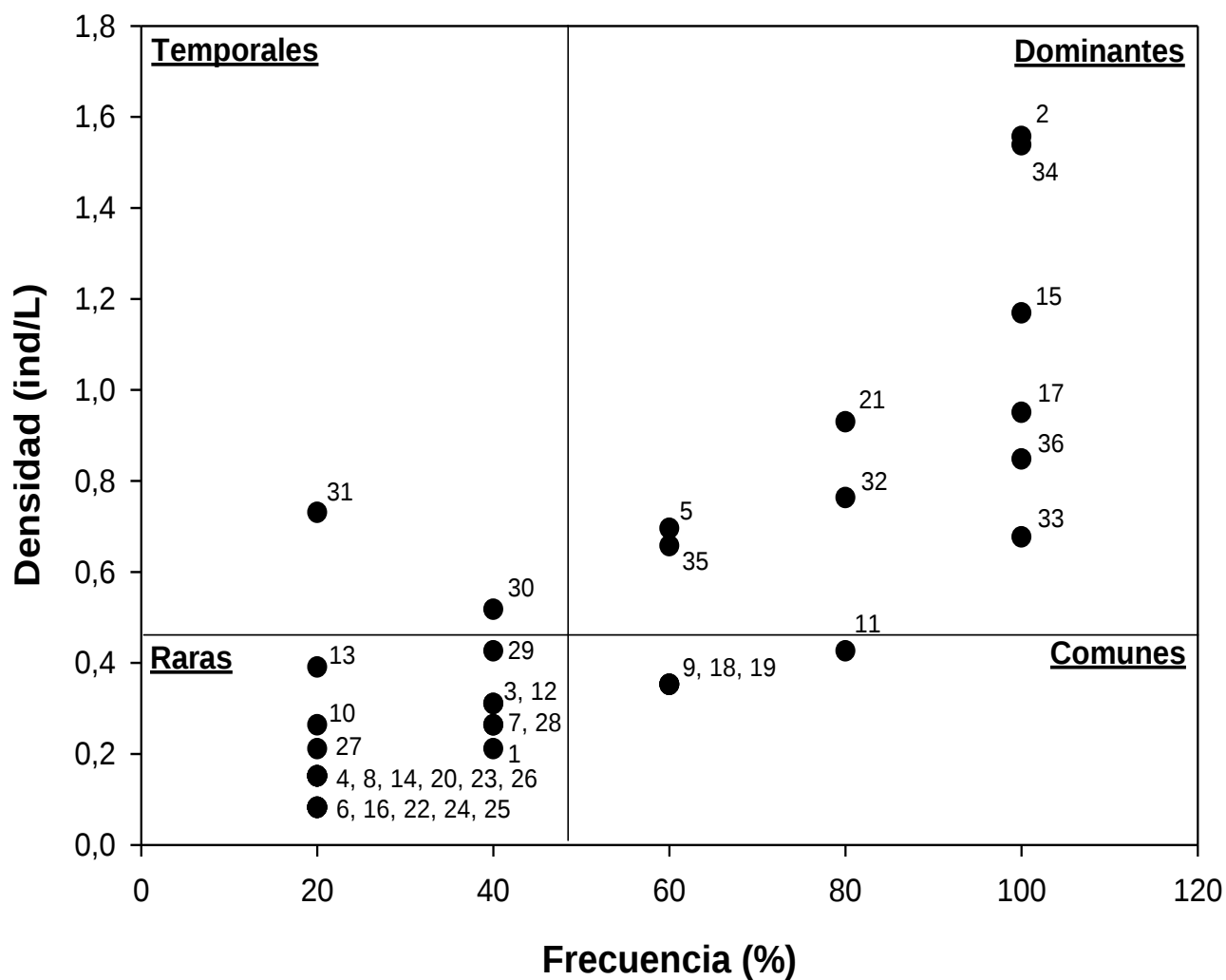


Figura 25. Diagrama de Olmstead-Tukey del zooplancton en el Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos, de agosto a enero del 2017-2018. *Aspelta* sp. (1), rotíferos de la familia Bdelloidea (2), *Brachionus havanaensis* (3), *Cephalodella catellina* (4), *Cephalodella gibba* (5), *Cephalodella* sp. (6), *Cephalodella ventripes* (7), *Colurella adriática* (8), *Dicranophorus forcipatus* (9), *Euchlanis lyra* (10), *Euchlanis pyriformis* (11), *Euchlanis* sp. (12), *Keratella americana* (13), *Keratella cochlearis* (14), *Keratella tropica* (15), *Lecane closterocerca* (16), *Lecane hamata* (17), *Lecane inermis* (18), *Lecane luna* (19), *Lepadella acuminata* (20), *Lepadella ovalis* (21), *Lepadella* sp. (22), *Lepadella triba* (23), *Monommata diaphora* (24), *Monommata* sp. (25), *Plationus patulus* (26), *Proales daphnicola* (27), *Trichocerca* sp. (28), *Trichotria tetractis* (29), *Ceriodaphnia* (30), *Chydorus* sp. (31), copépodos del orden Ciclopoide (32), copépodos del orden Harpacticoida (33), estadios Nauplio de copépodos (34), *Simocephalus* sp. (36).

Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos

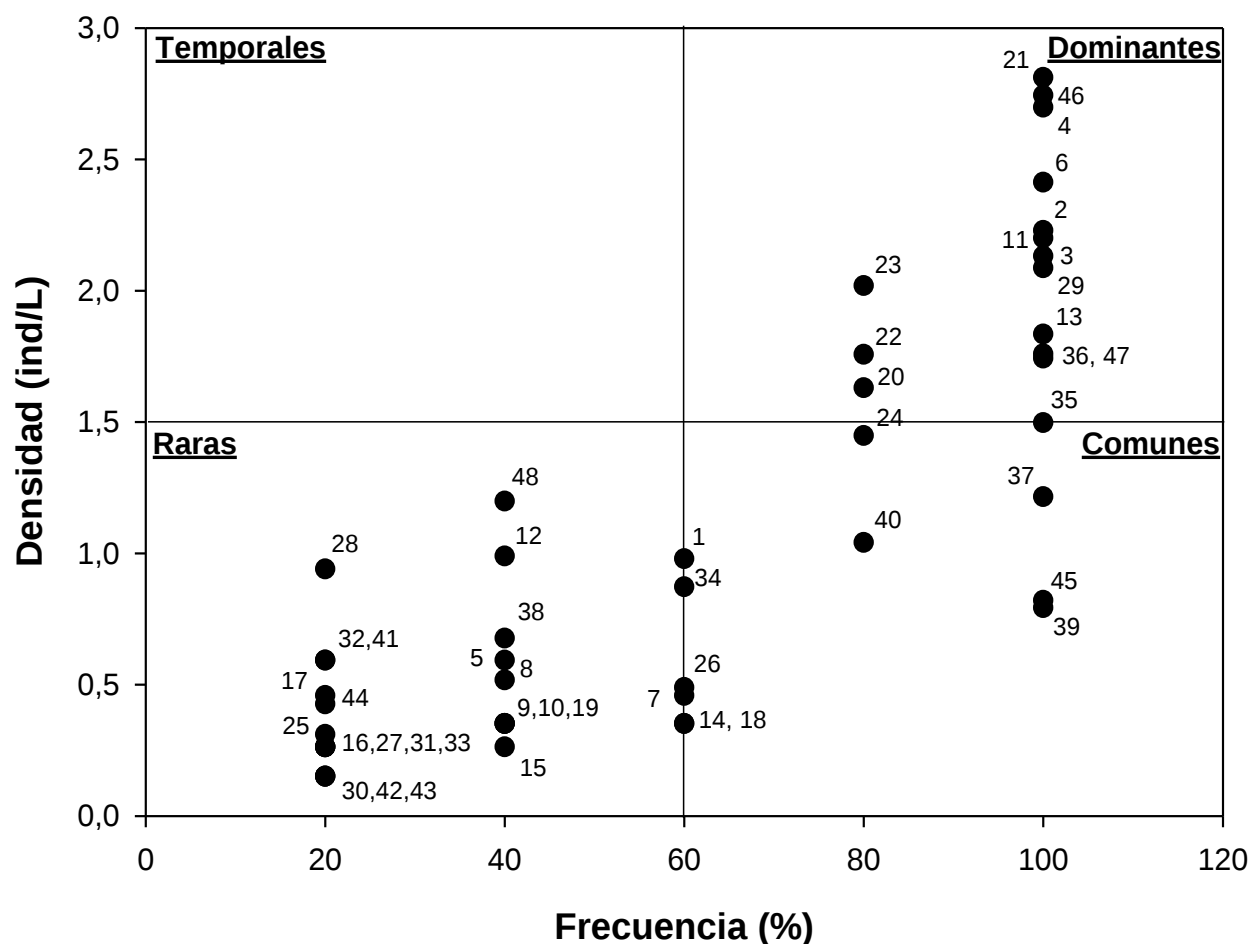


Figura 26. Diagrama de Olmstead-Tukey del fitoplancton en el Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos, de agosto a enero del 2017-2018. *Amphipleura pelucida* (1), *Caloneis amphisbaena* (2), *Cocconeis ablonga* (3), *Cocconeis placentula* (4), *Cosmarium obtusa* (5), *Cyclotella meneghiniana* (6), *Cymbella mexicana* (7), *Cymbella* sp. (8), *Cymbella turgida* (9), *Ephitemia zebra* (10), *Fragilaria brevistriata* (11), *Fragilaria construens* (12), *Fragilaria pinnata* (13), *Gomphonema acumminatum* (14), *Gomphonema brasiliense* (16), *Gomphonema* sp. (17), *Gomphonema truncatum* (18), *Gyrosigma attenuatum* (19), *Melosira granulata* (20), *Melosira varians* (21), *Merismopedia* sp. (22), *Navicula ablonga* (23), *Navicula amphioxys* (24), *Navicula gastrum* (25), *Navicula neglecta* (26), *Navicula platalea* (27), *Tribonema* sp. (28), *Navicula subtilisima* (29), *Navicula viridula* (30), *Nitzschia entomon* (31), *Oscillatoria* sp. (32), *Phormidium* sp. (33), *Pinnularia parva* (34), *Pinnularia* sp. (35), *Rhoincosphenia curvata* (36), *Rhopalodia gibba* (37), *Spirulina* sp. (39), *Stephanodiscus niagrae* (40), *Surirella campylodiscus* (41), *Surirella elegans* (42), *Surirella flexuosa* (43), *Surirella microcora* (44), *Surirella spiralis* (45), *Synedra parasítica* (46), *Synedra ulna* (47) *Tribonema* sp. (48).

En la Figura 27 se observa que para el zooplancton los sitios 2 y 4 son similares en su composición, seguido por el sitio 5; mientras que el sitio 3 y el 1 son los que presentan una menor similitud.

Por lo que respecta a la comunidad fitoplanctónica en la Figura 28 se representa la similitud entre sitios del arroyo Chapultepec. Los sitios 2 y 3 seguidos del 4 son los más similares en cuanto a su composición; mientras que los sitios 1 y 5 son los menos similares como se observa en el dendrograma.

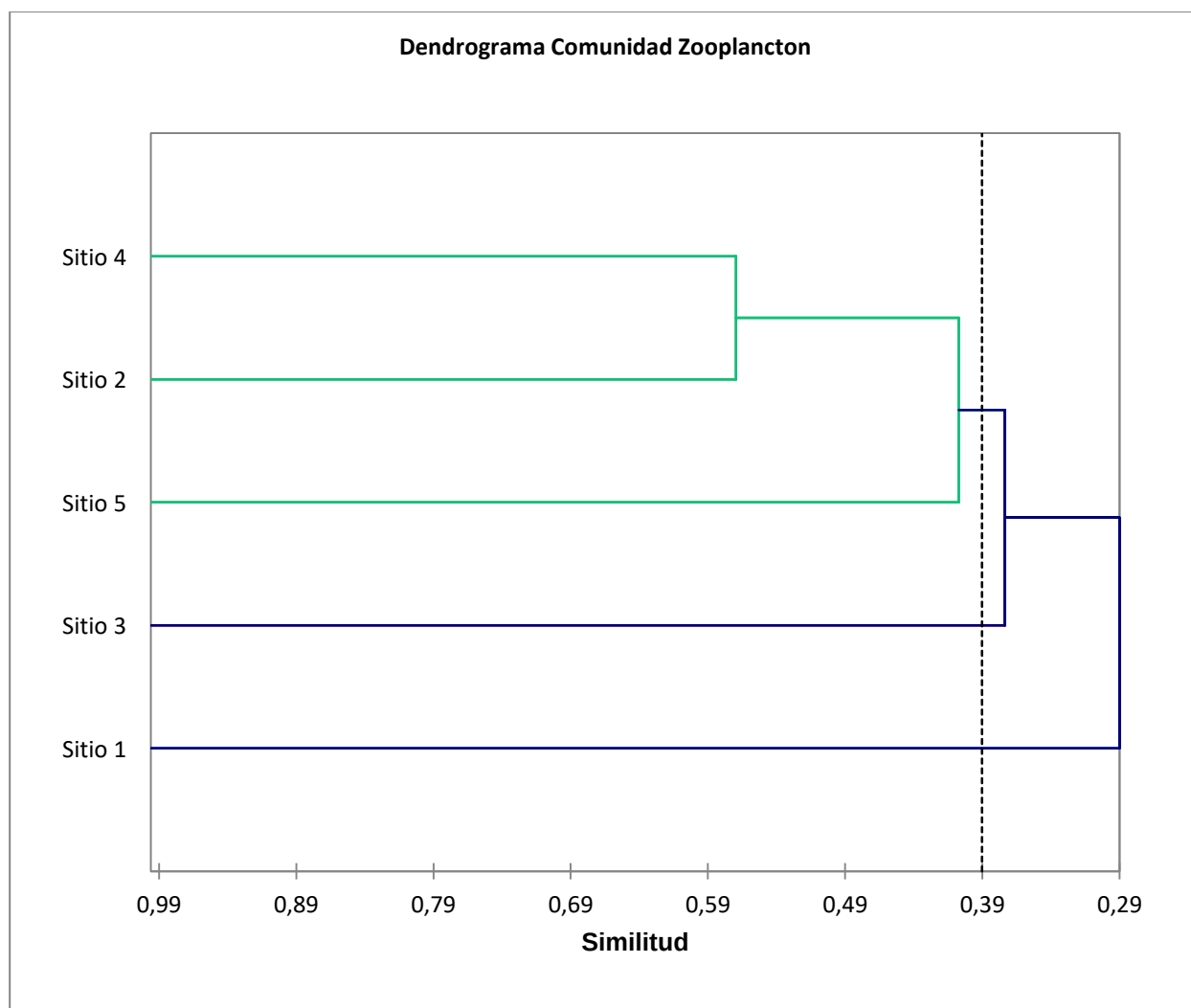


Figura 27. Dendrograma de similitud basado en el zooplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018.

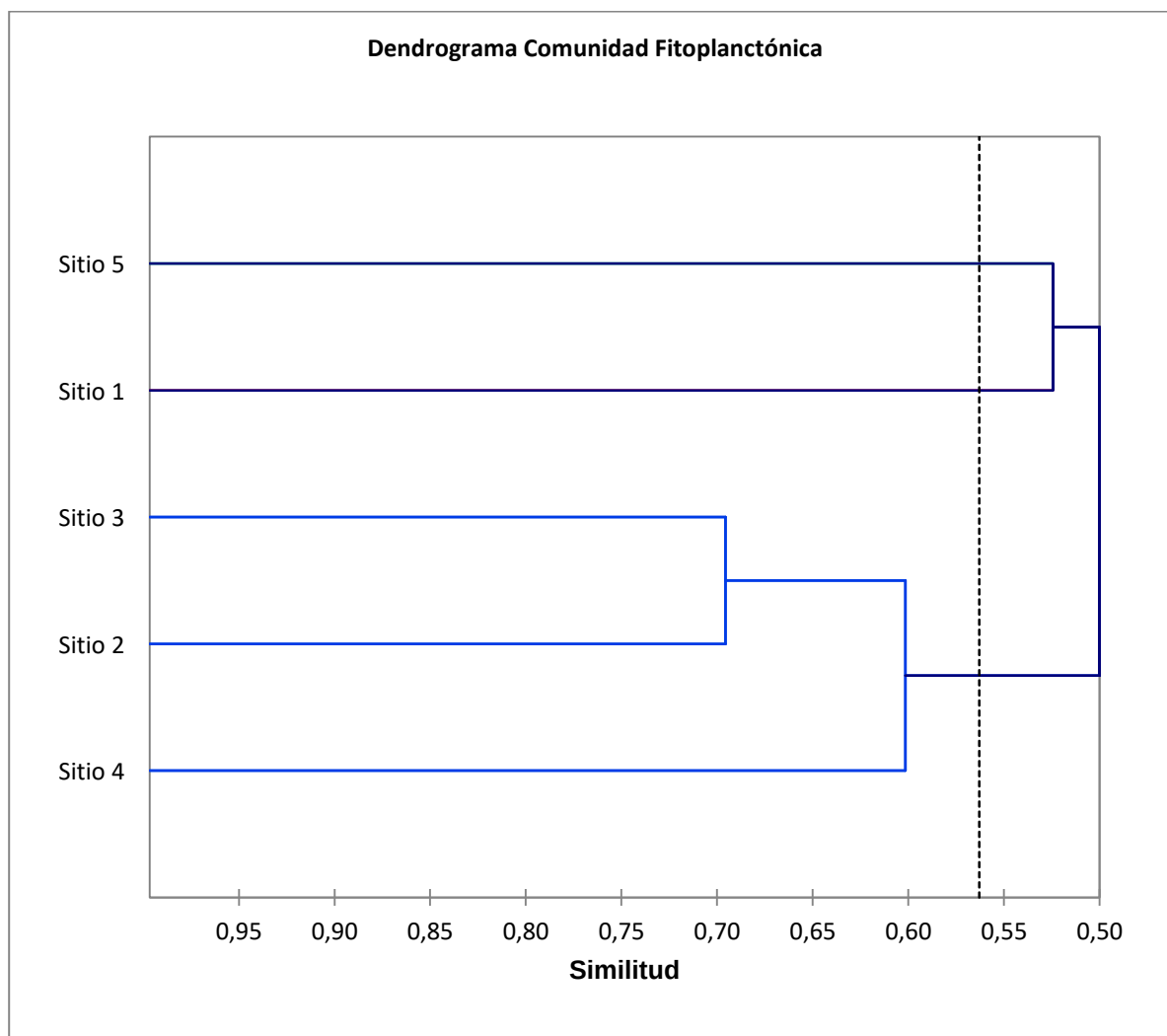


Figura 28. Dendrograma de similitud basado en el fitoplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018.

El análisis de correspondencia canónica de las especies dominantes presentes en el sitio 1 y los parámetros fisicoquímicos de campo se muestra en la Figura 29, en la cual se pueden observar como las especies, tanto de fitoplancton como de zooplancton, se relacionan principalmente con la conductividad y el oxígeno disuelto. Las especies relacionadas con estos dos parámetros en su mayoría son parte del fitoplancton, solamente seis especies forman parte del zooplancton; rotíferos de la familia Bdelloidea (2), *Keratella tropica* (15), *Lecane hamata* (17), *Lepadella ovalis* (21), Chironomidae (31), estadios Nauplio de copépodo (34) (Figura 29).

En el sitio 2, que corresponde al Área de Guacamayas, se puede observar una distribución más uniforme, al igual que el sitio 1, las especies presentes son en su mayoría parte del fitoplancton y a su vez se encuentran más relacionadas con la conductividad y el oxígeno disuelto. Los rotíferos de la familia Bdelloidea (2) y los estadios Nauplio de copépodo (34) siguen estando presentes en esta relación, siendo los únicos representantes del zooplancton en la gráfica (Figura 30).

La Figura 31 nos muestra la representación gráfica de la correlación de las especies encontradas en el sitio 3, donde se puede observar que las especies representantes del zooplancton siguen teniendo una relación positiva con la conductividad a excepción de los rotíferos de la familia Bdelloidea (2). Por su parte las especies de fitoplancton en este sitio tienen una relación más estrecha con la conductividad y el pH (Figura 31).

El sitio 4, presenta un mayor número de especies dominantes, las cuales, en su mayoría, se relacionan con el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad. En este caso, las especies más relacionadas con la temperatura son; *Keratella americana* (13), copépodos del orden

Harpacticoide (33), *Fragilaria brevistriata* (46), *Rhoicosphenia curvata* (71) y *Synedra ulna* (82) (Figura 32).

El sitio 5, correspondiente a la salida del lago, nos muestra que la única especie relacionada con la temperatura son los cladóceros *Simocephalus* (35), mientras que los copépodos del orden Ciclopoide (32) se encuentran más relacionados con el pH, al igual que *Cocconeis ablonga* (38), *Navicula subtilisima* (62) y *Rhoicosphenia curvata* (71) las cuales forman parte del fitoplancton (Figura 33).

La Figura 34, que representa el análisis de correspondencia canónica de las especies dominante presente en los cinco sitios muestreados en relación con las variables fisicoquímicas de los tres meses analizados (mayo, agosto y noviembre) nos muestra que las especies están influenciadas en gran medida por estas cuatro variables, al menos en el cuerpo de agua del parque, sin embargo se puede ver una mayor acumulación de especies cerca de los ejes de la temperatura y el pH, siendo en su mayoría especies pertenecientes al fitoplancton (Figura 34).

Sitio 1

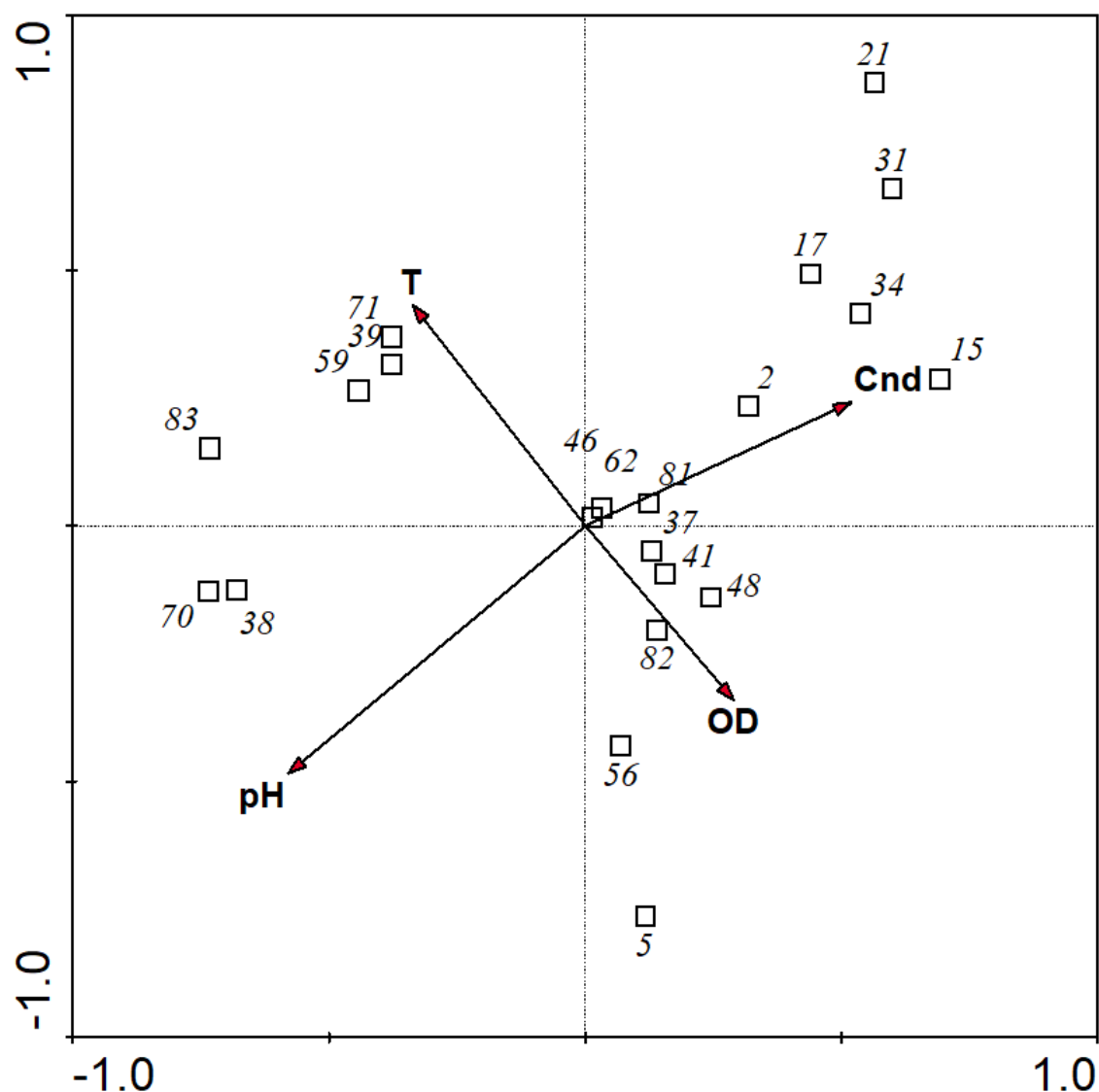


Figura 29. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio1, Inicio del Parque en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. rotíferos de la familia Bdelloidea (2), *Cephalodella gibba* (5), *Keratella tropica* (15), *Lecane hamata* (17), *Lepadella ovalis* (21), Chironomidae (31), estadios Nauplio de copépodos (34), *Caloneis amphisbaena* (37), *Cocconeis ablonga* (38), *Cocconeis placentula* (39), *Cyclotella meneghiniana* (41), *Fragilaria brevistriata* (46), *Fragilaria pinnata* (48), *Melosira varians* (56), *Navicula amphioxys* (59), *Navicula subtilissima* (62), *Pinnularia* sp. (70), *Rhoicosphenia curvata* (71), *Synedra parasítica* (81), *Synedra ulna* (82), *Tribonema* sp. (83).

Sitio 2

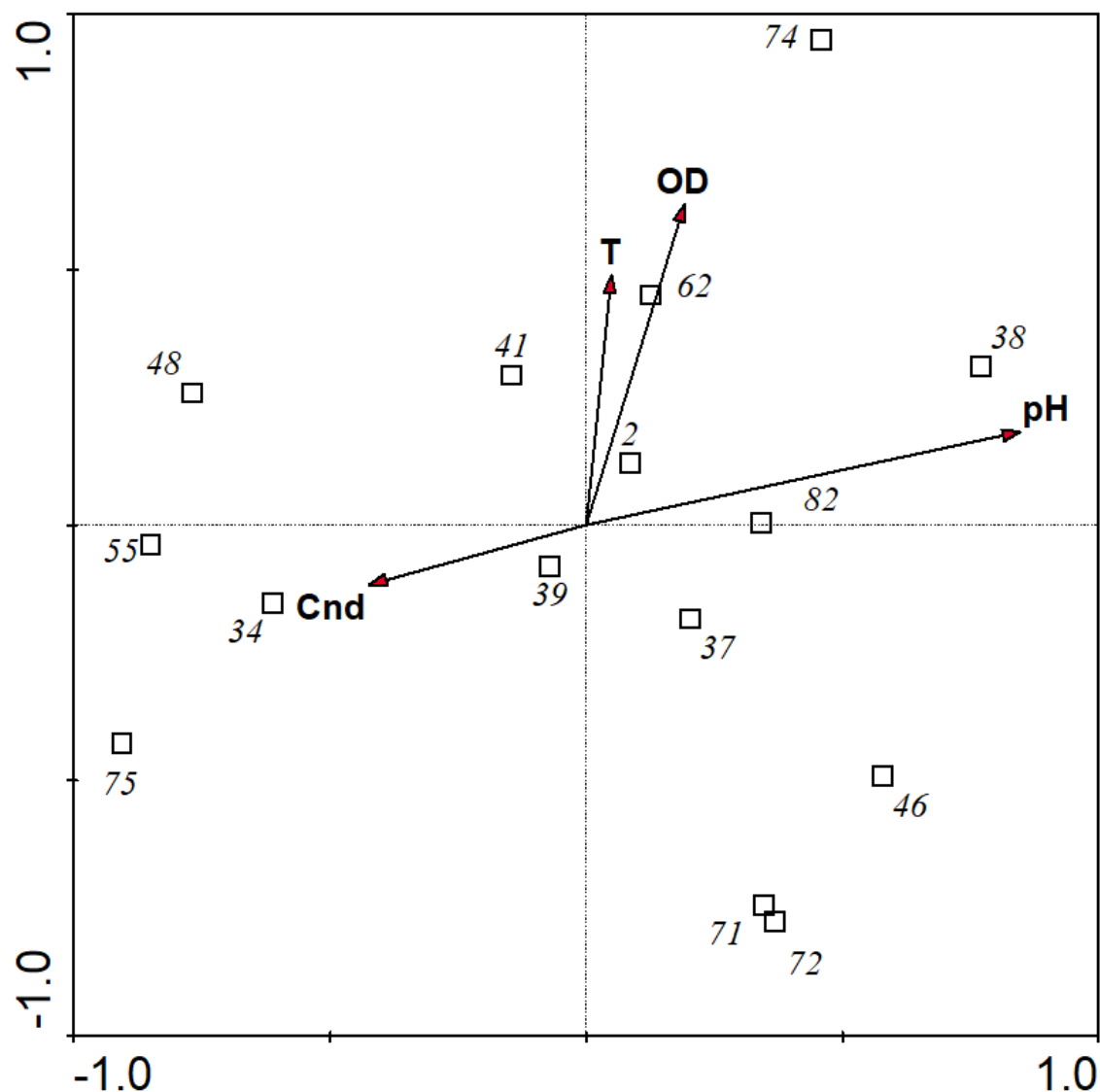


Figura 30. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 2, Área de Guacamayas en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia Bdelloidea (2), estadios Nauplio de copépodos (34), *Caloneis amphisbaena* (37), *Cocconeis ablonga* (38), *Cocconeis placentula* (39), *Cyclotella meneghiniana* (41), *Fragilaria brevistriata* (46), *Fragilaria pinnata* (48), *Melosira granulata* (55), *Navicula subtilisima* (62), *Rhoicosphenia curvata* (71), *Rhopalodia gibba* (72), *Spirulina* sp. (74), *Stephanodiscus niagrae* (75), *Synedra ulna* (82).

Sitio 3

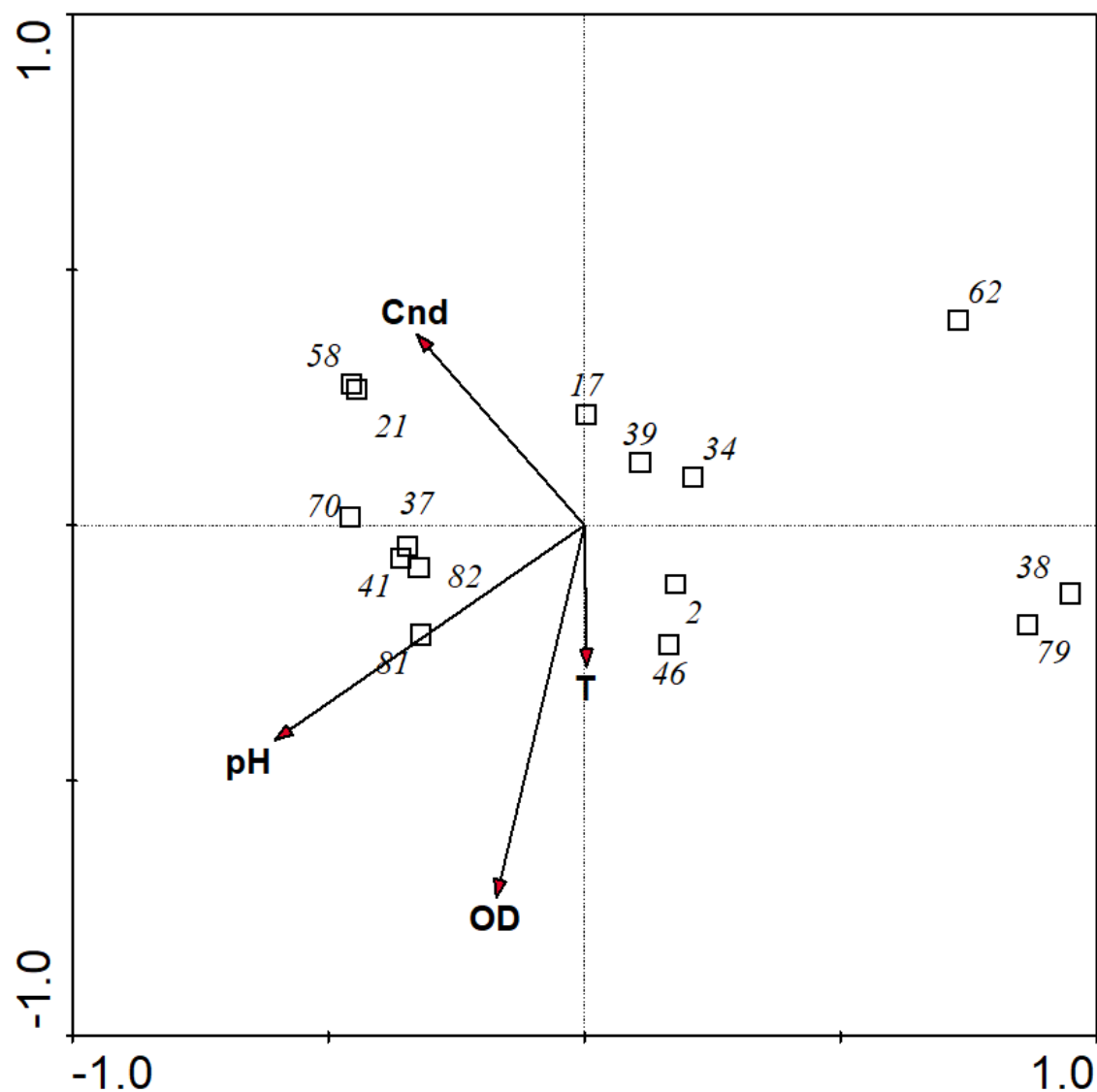


Figura 31. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 3, Salida de la Presa en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia Bdelloidea (2), *Lecane hamata* (17), *Lepadella ovalis* (21), estadios Nauplio de copépodos (34), *Caloneis amphisbaena* (37), *Cocconeis ablonga* (38), *Cocconeis placentula* (39), *Cyclotella meneghiniana* (41), *Fragilaria brevistriata* (46), *Navicula ablonga* (58), *Navicula subtilissima* (62), *Pinnularia sp.* (70), *Surirella spiralis* (79), *Synedra parasítica* (81), *Synedra ulna* (82).

Sitio 4

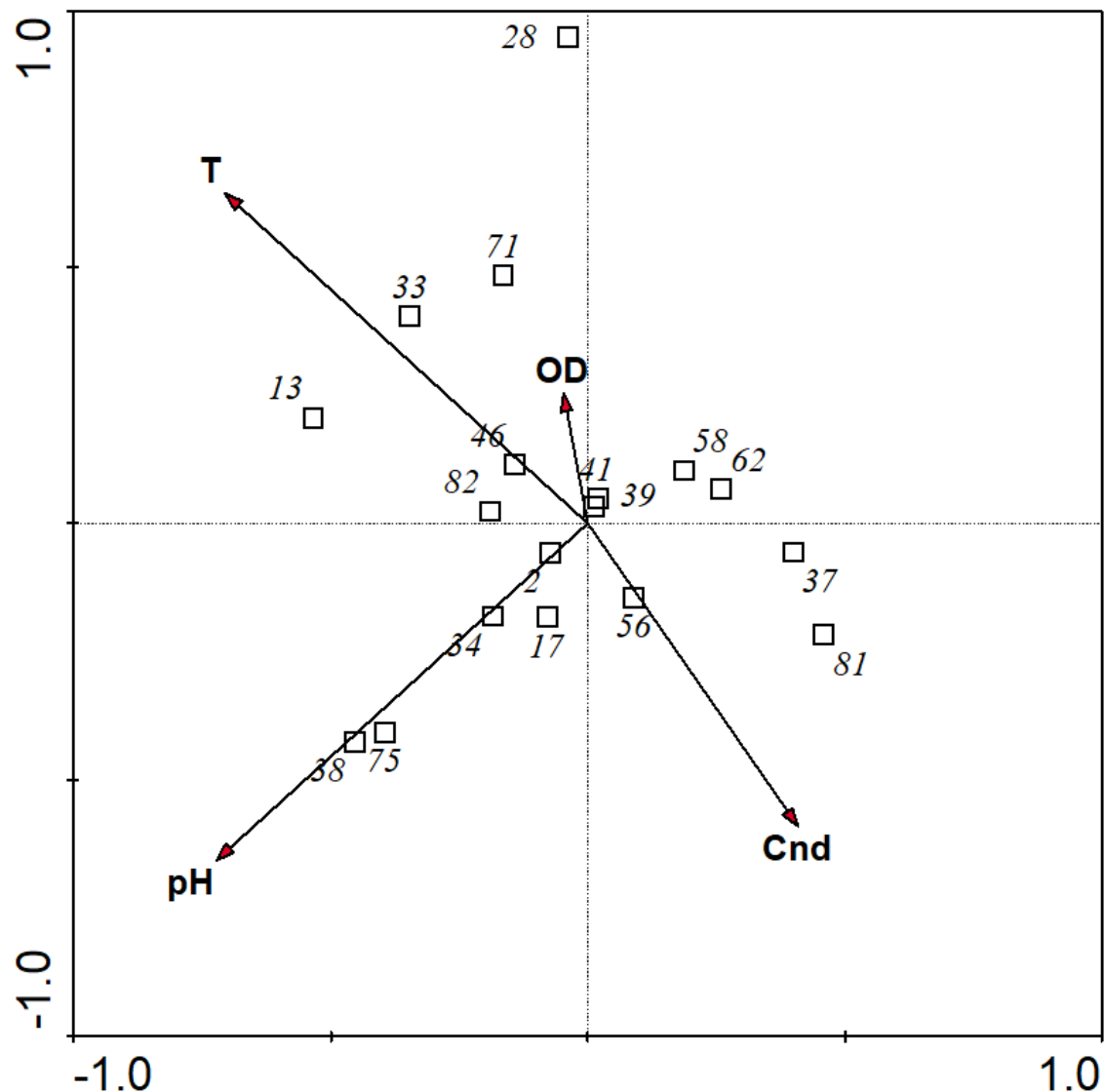


Figura 32. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 4, Entrada del Lago en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia Bdelloidea (2), *Keratella americana* (13), *Lecane hamata* (17), *Trichocerca sp.* (28), Harpacticoide (33), estadios Nauplio de copépodo (34), *Caloneis amphisbaena* (37), *Cocconeis ablonga* (38), *Cocconeis placentula* (39), *Cyclotella meneghiniana* (41), *Fragilaria brevistriata* (46), *Melosira varians* (56), *Navicula ablonga* (58), *Navicula subtilissima* (62), *Rhoicosphenia curvata* (71), *Stephanodiscus niagrae* (75), *Synedra parasítica* (81), *Synedra ulna* (82).

Sitio 5

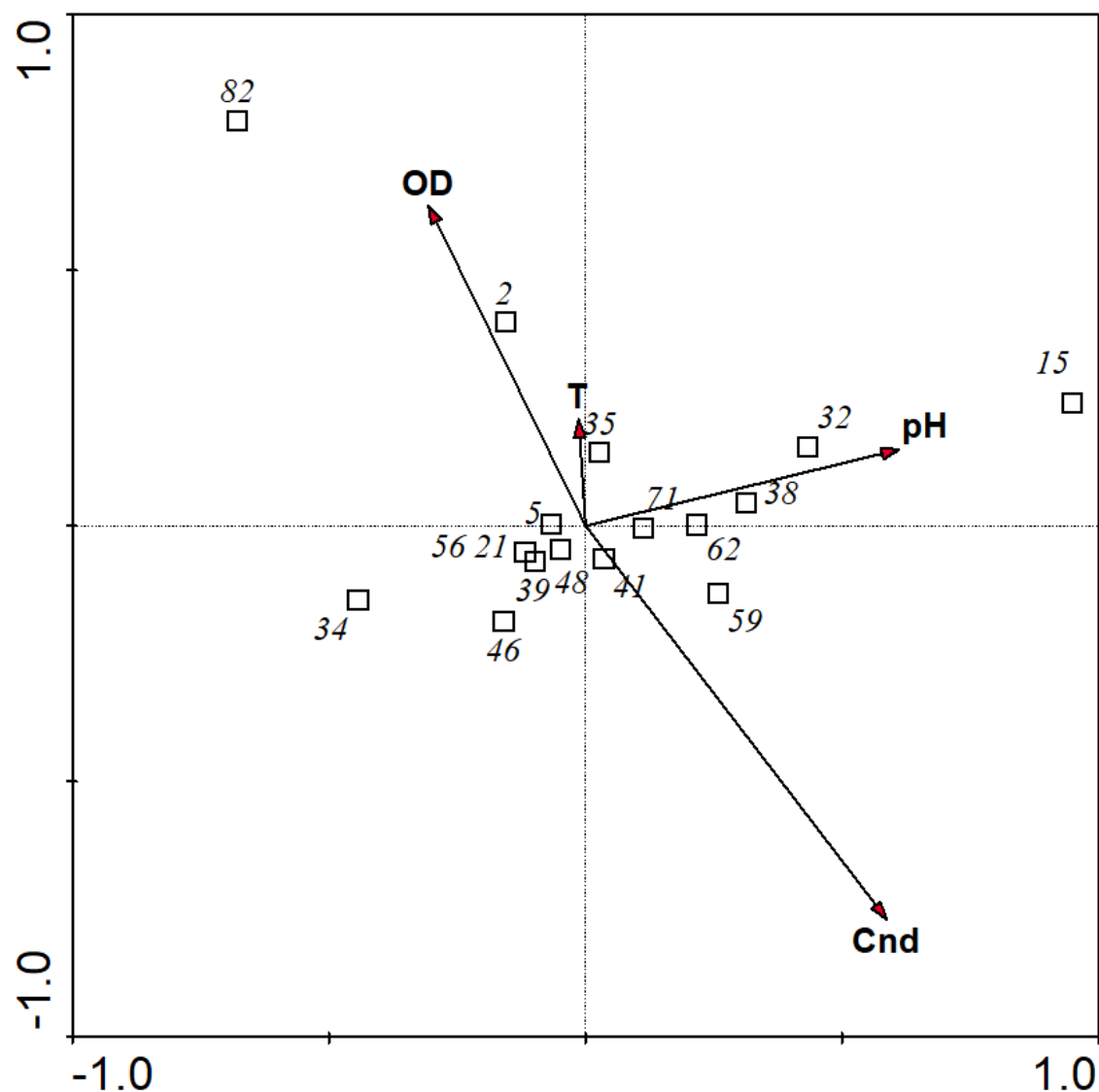


Figura 33. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Sitio 5, Salida del Lago en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia Bdelloidea (2), *Cephalodella gibba* (5), *Keratella tropica* (15), *Lepadella ovalis* (21), Ciclopoide (32), estadios Nauplio de copépodos (34), *Simocephalus* (35), *Cocconeis ablonga* (38), *Cocconeis placentula* (39), *Cyclotella meneghiniana* (41), *Fragilaria brevistriata* (46), *Fragilaria pinnata* (48), *Melosira varians* (56), *Navicula amphioxys* (59), *Navicula subtilissima* (62), *Rhoicosphenia curvata* (71), *Synedra ulna* (82).

Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos

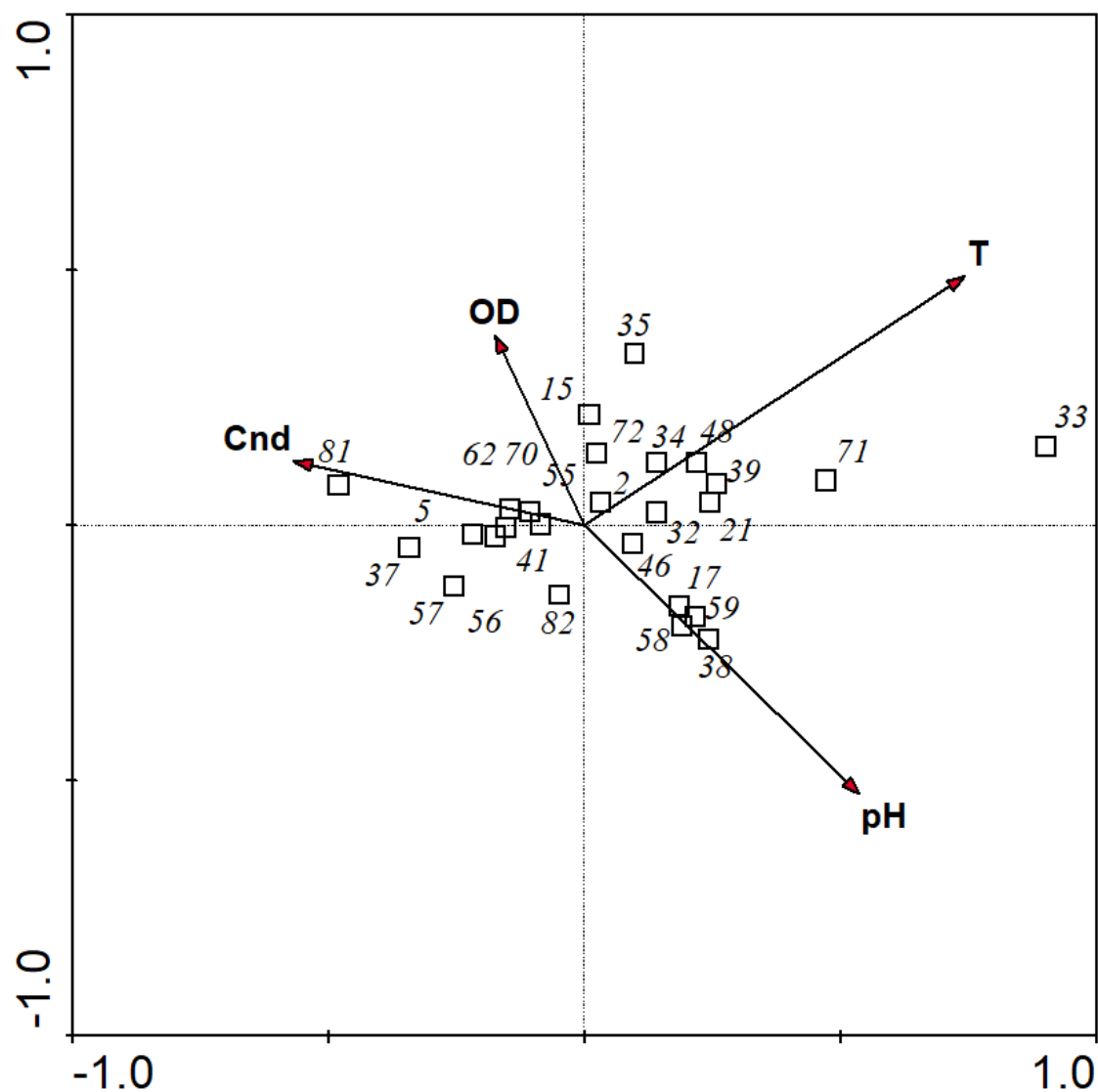


Figura 34. Análisis de Correspondencia Canónica entre las especies de zooplancton y fitoplancton dominantes y las variables fisicoquímicas del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos de agosto a enero del 2017-2018. Rotíferos de la familia Bdelloidea (2), *Cephalodella gibba* (5), *Keratella tropica* (15), *Lecane hamata* (17), *Lepadella ovalis* (21), Ciclopoides (32), Harpacticoides (33), estadios Nauplio de copépodos (34), *Simocephalus* (35), *Caloneis amphisbaena* (37), *Cocconeis ablona* (38), *Cocconeis placentula* (39), *Cyclotella meneghiniana* (41), *Fragilaria brevistriata* (46), *Fragilaria pinnata* (48), *Melosira granulata* (55), *Melosira varians* (56), *Merismopedia* sp. (57), *Navicula ablona* (58), *Navicula amphioxys* (59), *Navicula subtilissima* (62), *Pinnularia* sp. (70), *Rhoincosphenia curvata* (71), *Rhopalodia gibba* (72), *Synedra ulna* (81), *Synedra ulna* (82).

8.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos se compararon con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua 1989 (CECA-CCA-001/89), (DOF, 1989). Los criterios de evaluación considerados para recomendar el cuerpo de agua como un sitio apto para la protección a la vida acuática (agua dulce) se muestran en la tabla 4.

Tabla 12. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua 1989 (CECA-CCA-001/89), en materia de Protección a la vida Acuática (Agua Dulce).

Parámetro (mg L⁻¹)	CECA/89 Protección a la vida acuática
Arsénico (As)	0,2
Fluoruros	1
Fosforo (PT)	0,1
Mercurio (Hg)	0,00001
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	0,06
Alcalinidad *	20 - 200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) **	< 6
Oxígeno Disuelto (O. D.)	> 5
pH (Unidades de pH)	6,5 - 8
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	200

(*) Valor establecido de acuerdo con lo reportado con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Acuicultura.

(**) Valor establecido con base en lo reportado por la CONAGUA como indicador de calidad del agua.

Así mismo, se realizó la evaluación de la calidad del agua con base en los indicadores de calidad del agua que la CONAGUA ha establecido para dar un diagnóstico de la calidad del agua de acuerdo a los intervalos establecidos según la DBO, DQO, SST y CF (Coliformes Fecales) (Tabla 5).

Tabla 13. Indicadores de calidad del agua y rangos de consideración de acuerdo con la CONAGUA, en mg L^{-1} a excepción de Coliformes Fecales que es NMP/100 mL.

Indicador	Excelente	Buena	Aceptable	Contaminada	Fuertemente contaminada
DBO	< 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	> 120
DQO	< 10	10 a 20	20 a 40	40 a 200	> 200
SST	< 25	25 a 75	75 a 150	150 a 400	> 400
C.F.	< 100	100 a 200	200 a 1000	1000 a 10000	> 10000

Los parámetros que se utilizaron en cada sitio de muestreo para aplicar el Índice de calidad del agua NSF, así como el peso asignado a cada parámetro se presentan en la tabla 6, mientras que en la tabla 7 se presentan los criterios de evaluación (<https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>).

Tabla 14. Parámetros utilizados para la evaluación de calidad del agua de acuerdo con el Índice NFS (EU)

Parámetros del Índice NFS (EU)	Unidad	Peso
Porcentaje de Saturación de O. D.	%	0.17
Coliformes Fecales (CF)	NMP / 100 ml	0.16
pH	Unidades de pH	0.11
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg L^{-1}	0.11
Cambio de Temperatura (T°)	$^\circ \text{C}$	0.1
Fósforo Total (PT)	mg L^{-1}	0.1
Nitratos	mg L^{-1}	0.1
Turbidez	UNT	0.08
Sólidos Totales (ST)	mg L^{-1}	0.07

Tabla 15. Criterios de evaluación de calidad del agua de acuerdo con el Índice NSF (EU)

Calidad	Excelente	Buena	Media	Mala	Muy mala
Rango	90 - 100	70 - 90	50 - 70	25 - 50	0 - 25

En la tabla 8, se muestran los criterios de evaluación y los parámetros utilizados para calcular el índice CCME, mientras que en la tabla 9, se muestran las categorías de evaluación de acuerdo con el resultado de los índices.

Tabla 16. Parámetros utilizados para la evaluación de calidad del agua de acuerdo con el Índice de calidad del agua CCME-WQI (Canadá).

Parámetros del Índice CCME-WQI (Canadá)	Unidad	Criterios evaluados
Arsénico	mg L ⁻¹	0.2
Fluoruros	mg L ⁻¹	1
Fósforo	mg L ⁻¹	0.1
Mercurio	mg L ⁻¹	0.00001
Nitrógeno Amoniacal	mg L ⁻¹	0.06
Alcalinidad	mg L ⁻¹	20 - 200
DBO	mg L ⁻¹	6
OD	mg L ⁻¹	5
pH	Unidades de pH	6,5 - 8
CF	NMP / 100 ml	200

Tabla 17. Criterios de evaluación de calidad del agua de acuerdo con el Índice CCME-WQI (Canadá)

Calidad	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Muy mala
Rango	95 - 100	80 - 94	65 - 79	45 - 64	0 - 44

En las tablas 10 y 11, se presentan los parámetros utilizados y la clasificación que resulta del Índice ISQA.

Tabla 18. Parámetros utilizados para la evaluación de calidad del agua de acuerdo con el Índice de calidad del agua ISQA (España).

Parámetros del Índice ISQA (España)	Unidad
Temperatura	° C
Demanda Química de Oxígeno	mg L ⁻¹
Oxígeno Disuelto	mg L ⁻¹
Conductividad	µS cm ⁻¹
Sólidos Suspendidos	mg L ⁻¹
Cabono Orgánico Total	mg L ⁻¹

Tabla 19. Criterios de evaluación de calidad del agua de acuerdo con el Índice ISQA (España).

Característica	Aguas claras sin aparente contaminación	Ligero color del agua, con espumas y ligera turbidez del agua, no natural	Apariencia de aguas contaminadas y de fuerte olor	Aguas negras, con procesos de fermentación y olor
Rango	76 - 100	51 - 75	26 - 50	0 - 25

La Figura 35 (a) muestra que el mes en el que se registraron las temperaturas más altas fue agosto con un promedio de 17°C, las temperaturas más bajas corresponden al mes de mayo con un promedio de 16.54°C y noviembre con 16.58°C. El sitio 1, que corresponde al inicio del Parque durante los tres meses analizados mantuvo la temperatura más baja en comparación con los otros cuatro sitios con un rango de 16.2°C como mínimo y 16.8°C como máximo, mientras que las temperaturas más elevadas estuvieron en el sitio 5, el cual corresponde a la salida del lago con un rango de temperatura que va de los 16.8°C como mínimo y 17.2°C como temperatura máxima (Figura. 35 (a)).

La Figura 35 (b) nos muestra los patrones de pH registrados en los cinco sitios muestreado durante los tres meses analizados donde se puede observar que el promedio de pH más alto registrado corresponde al mes de mayo con 7.72 unidades de pH, mientras que los otros dos

meses mostraron el mismo valor promedio para los cinco sitios muestreados con 7.56 unidades de pH. En cuanto al pH por sitio, es muy notable que este parámetro tuvo un rango más amplio en el sitio cinco con un mínimo de 7.2 y un máximo de 8.4, mientras que los valores más bajos fueron registrados en el sitio 1 con valores que van de 7 a 7.7 unidades de pH (Figura 35 (b)).

La conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales (SDT) que se muestran en la Figura 35 (c) y (d), respectivamente, tienen un comportamiento similar, el mes con los valores más altos para ambos parámetros es noviembre con un promedio de $307.6 \mu\text{S cm}^{-1}$ para conductividad y 181.8 mg L^{-1} para los SDT, mientras que los valores más bajos se presentaron en el mes de mayo con un promedio de $112.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ y 86.8 mg L^{-1} respectivamente. En ambos parámetros el sitio que presentó los valores más bajos fue el sitio 1 con un mínimo y máximo de conductividad de $109.2 \mu\text{S cm}^{-1}$ y de $293 \mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente, mientras que los SDT presentaron un mínimo de 85 mg L^{-1} y un máximo de 173 mg L^{-1} . Por lo que respecta a los valores más altos de ambos parámetros fueron registrados en el sitio 5 con un rango de 113.9 a $314 \mu\text{S cm}^{-1}$ de conductividad y un rango de 88 a 186 mg L^{-1} de SDT (Figura. 35 (c) y Figura 35 (d)).

Al igual que los parámetros anteriores, el oxígeno disuelto (O. D.) y el porcentaje de saturación mantuvieron un comportamiento similar durante los tres meses analizados en los cinco sitios de muestreo. En la Figura 35 (e) y (f) se puede observar que el mes en el que se registraron los valores más altos para ambos parámetros fue el mes de agosto con un promedio de 10.78 mg L^{-1} para el O. D. y 108.6 para el % de saturación, mientras que los valores más bajos se registraron en el mes de noviembre con 5.64 mg L^{-1} y 58.64 respectivamente. Los valores del sitio 1 en cuanto al O. D. tuvieron un mínimo de 4.6 mg L^{-1}

y un máximo de 11.7 mg L^{-1} , mientras que los del sitio 5 tuvieron un mínimo de 6.5 mg L^{-1} y un máximo de 10.4 mg L^{-1} , con respecto a los valores de % de saturación para el sitio 1 estuvieron entre 49.6 y 120.2 y entre 59.5 y 100.3 para el sitio 5 (Figura 35 (e) y Figura 35 (f)).

La Figura 36 nos muestra algunos de los parámetros analizado a partir de las muestras tomadas en los cinco sitios del Parque durante los tres meses muestreados.

La gráfica de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) (Figura 36 (a)) nos muestra que los valores más altos se presentaron en el mes de mayo con un promedio de 5.7 mg L^{-1} mientras que los más bajos fueron en noviembre con 1.1 mg L^{-1} . Por su parte el sitio 3 presentó el rango con menos variación con valores que van de los 0.33 mg L^{-1} a los 2.7 mg L^{-1} , mientras que el sitio 4 fue el que tuvo un mayor rango de variación con 0.61 mg L^{-1} y 12.3 mg L^{-1} (Figura 36 (a)).

En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Figura 36 (b) nos muestra que los valores más altos se registraron en el mes de agosto con un promedio de 15.6 mg L^{-1} mientras que los más bajos fueron los del mes de mayo con un valor promedio de 13 mg L^{-1} . Por su parte los rangos de variación más altos fueron en el sitio 3 con valores que van de los 10 a los 30 mg L^{-1} , mientras que el rango de menor variación estuvo en el sitio 1 con valores de 7.81 a 15 mg L^{-1} .

En cuanto a la alcalinidad (Figura 36 (c)), el mes en el que los valores fueron más bajos fue el mes de mayo con un promedio de 52.8 mg L^{-1} , mientras que los valores más altos se registraron en el mes de agosto con 84.2 mg L^{-1} . El sitio 5 fue el que presentó una mayor variación con el valor mínimo de 56 mg L^{-1} y un máximo de 162 mg L^{-1} , mientras que el sitio 4 fue el que presentó un menor rango de variación con el valor mínimo de 53 mg L^{-1} y un máximo de 63.1 mg L^{-1} (Figura 36 (c)).

En cuanto al Nitrógeno Total (NT) (Figura 36 (d)), los valores más altos se presentaron en el mes de agosto con un promedio de 4.3 mg L^{-1} , mientras que los más bajos fueron en el mes de mayo con 2.1 mg L^{-1} . En cuanto a la comparación entre sitios, el sitio 5 fue el que presentó una menor variación entre los meses analizados con valores que van de 2.61 a 3.93 mg L^{-1} , mientras que la variación más alta fue en el sitio 3 con un valor mínimo de 0.209 mg L^{-1} y un máximo de 4.82 mg L^{-1} (Figura 36 (d)).

Para el Fosforo Total (PT) se observó que los valores más altos corresponden al mes de agosto con un promedio de 0.15 mg L^{-1} , mientras que el valor más bajo se presentó en el mes de noviembre con 0.12 mg L^{-1} . En cuanto a la comparación entre sitios, el sitio 1 presentó mínimas variaciones con 0.12 mg L^{-1} como valor mínimo y 0.13 mg L^{-1} como valor máximo, mientras que la mayor variación se presentó en el sitio 4 con un rango que va de los 0.12 mg L^{-1} a los 0.17 mg L^{-1} (Fig. 36 (f)).

La Figura 36 (e) muestra que la mayor cantidad de coliformes fecales se registró en el mes de noviembre con 11,684 NMP/100 mL, mientras que la menor cantidad se registró en el mes de mayo con un promedio de 848 NMP/100 mL. El sitio que presentó más variación entre meses fue el sitio 4 con valores que van de los 2,300 a 43,000 NMP/100 mL, mientras que el sitio 1 fue el que presentó menos variación con 3 NMP/100 mL como valor mínimo y 23 NMP/100 mL como valor máximo (Figura 36 (e)) (Véase Tabla 33 en Anexos).

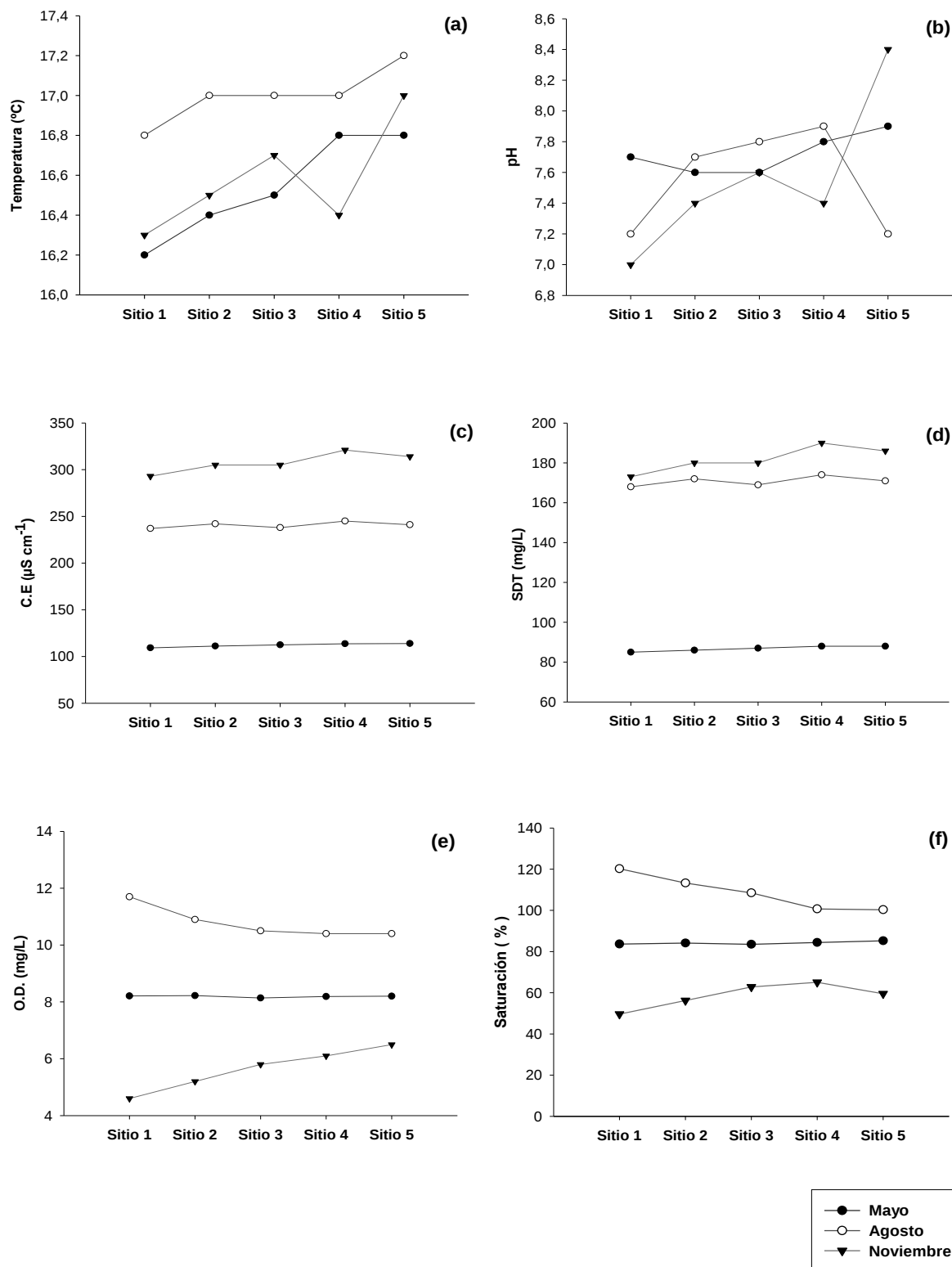


Figura 35. Parámetros de campo de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018. Temperatura en °C; pH en unidades de pH; C. E. Conductividad en $\mu\text{S cm}^{-1}$; SDT, Solidos Disueltos Totales en mg/L; O. D., Oxígeno Disuelto en mg/L y Porcentaje de saturación de Oxígeno %.

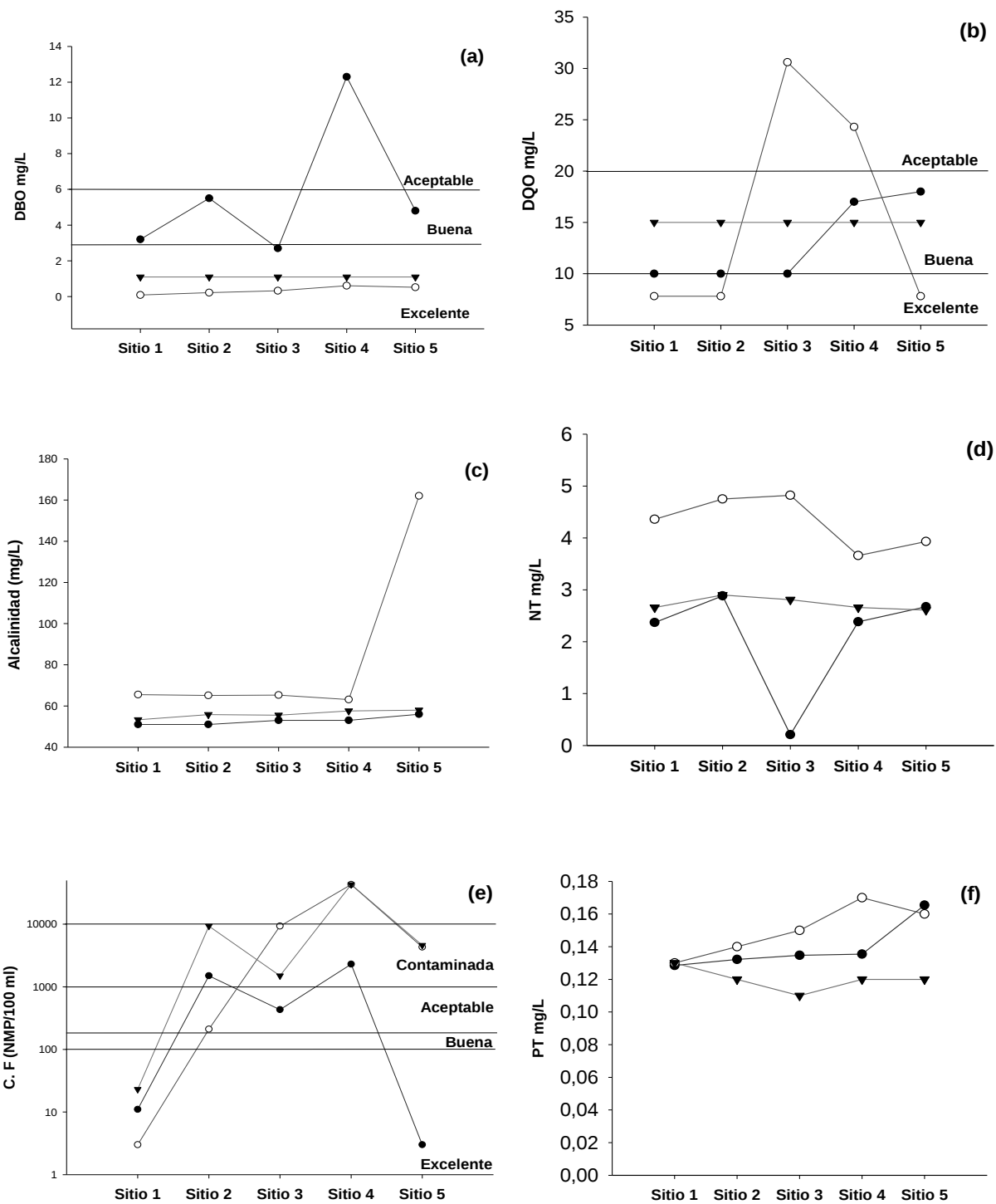


Figura 36. Parámetros de laboratorio de los cinco sitios muestreados dentro del Parque Estatal Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018. DBO, Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/L; DQO, Demanda Química de Oxígeno en mg/L; Alcalinidad en mg/L; CF, Coliformes Fecales; PT, Fosforo Total en mg/L; NT, Nitrógeno Total en mg/L.

Los resultados de los parámetros analizados fueron comparados con los valores sugeridos por los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CECA-CCA-001/89) en materia de Protección a la Vida Acuática para agua dulce. Los parámetros que sobrepasaban las concentraciones recomendadas por los criterios fueron identificados con color rojo (Tabla 20 - Tabla 24).

De los cinco sitios analizados, el sitio 2, (Tabla 21), es el que tiene más parámetros por arriba de lo recomendado, mientras que el sitio 1 es el que más se acerca a las sugerencias de los CECA (Tabla 20).

El Fósforo Total excede lo sugerido por los CECA en los cinco sitios muestreados, durante los tres meses analizados, con al menos 0.1 mg L^{-1} , mientras que, el Oxígeno Disuelto estuvo por debajo de lo recomendado con concentraciones $> 5 \text{ mg L}^{-1}$ específicamente en el sitio 1 durante el mes de noviembre.

Durante los tres meses monitoreados el sitio 1 mantuvo niveles elevados de fósforo y mercurio, con un promedio de 0.12 mg L^{-1} y $0.00060 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente, además, el nitrógeno amoniacal tuvo un valor mayor a lo sugerido con 0.2 mg L^{-1} (Tabla. 20).

La Tabla 21, que corresponde a los resultados del monitoreo del sitio 2, muestra que el fósforo y el mercurio también estuvieron por arriba de los sugerido durante los tres meses evaluados, con un promedio de 0.13 y $0.000417 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, al igual que el sitio 1, el nitrógeno amoniacal estuvo por arriba de lo sugerido durante el mes de agosto y noviembre, mientras que las coliformes fecales tuvieron un promedio de 3670 NMP/100 mL, 18.3 veces más alto que el valor recomendado (200 NMP/100 mL) (Tabla 21).

El sitio 3, al igual que los demás sitios, tiene 0.03 mg L^{-1} de fósforo más de la concentración propuesta por los CECA. El mercurio y las coliformes fecales también se mantuvieron con concentraciones más elevadas que lo sugerido, el promedio de coliformes fecales para los tres meses monitoreados fue de 3, 743 NMP/100 mL (Tabla 22).

En el sitio 4 las coliformes fecales, el fósforo, el nitrógeno amoniacal y el mercurio permanecieron por arriba de las concentraciones sugeridas. Durante los tres meses monitoreados se registró un promedio de 0.14 mg L^{-1} de fósforo y de 29,433 NMP/100 mL de coliformes fecales (Tabla 23).

De acuerdo con lo obtenido en el sitio 5, el fósforo estuvo por arriba de lo recomendado con un promedio de 0.14 mg L^{-1} , mientras que el mercurio y las coliformes fecales estuvieron por arriba de lo sugerido en dos de los tres meses evaluados, específicamente, agosto y noviembre, para ambos casos. Por otra parte, el pH se vio afectado en el mes de noviembre con un valor de 8.4, mientras que los criterios sugieren que este parámetro debe estar entre 6.5 y 8 unidades (Tabla 24).

Tabla 20. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 1; Inicio del Parque, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.

Parámetro (mg L ⁻¹)	CECA/89	Sitio 1		
	Protección a la vida acuática	Mayo	Agosto	Noviembre
Arsénico (As)	0,2	0,00139	0,001	0,001
Fluoruros	1	0,2326	0,245	0,2
Fosforo (PT)	0,1	0,1285	0,13	0,13
Mercurio (Hg)	0,00001	0,000608	0,0007	0,0005
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	0,06	0,041	0,017	0,2
Alcalinidad *	20 - 200	51	65,6	53,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) **	< 6	3,2	0,09	1,1
Oxígeno Disuelto (O. D.)	> 5	8,21	11,7	4,6
pH (Unidades de pH)	6,5 - 8	7,7	7,2	7
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	200	11	3	23

(*) Valor establecido de acuerdo con lo reportado con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Acuicultura.

(**) Valor establecido con base en lo reportado por la CONAGUA como indicador de calidad del agua. En color rojo se resaltan los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el mismo documento.

Tabla 21. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 2; Área de Guacamayas, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.

Parámetro (mg L ⁻¹)	CECA/89	Sitio 2		
	Protección a la vida acuática	Mayo	Agosto	Noviembre
Arsénico (As)	0,2	0,00139	0,001	0,0011
Fluoruros	1	0,226	0,202	0,2
Fosforo (PT)	0,1	0,1322	0,14	0,12
Mercurio (Hg)	0,00001	0,000151	0,0006	0,0005
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	0,06	0,0259	0,063	0,2
Alcalinidad *	20 - 200	51	65,1	55,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) **	< 6	5,5	0,22	1,1
Oxígeno Disuelto (O. D.)	> 5	8,22	10,9	5,2
pH (Unidades de pH)	6,5 - 8	7,6	7,7	7,4
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	200	1500	210	9300

(*) Valor establecido de acuerdo con lo reportado con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Acuicultura.

(**) Valor establecido con base en lo reportado por la CONAGUA como indicador de calidad del agua. En color rojo se resaltan los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el mismo documento.

Tabla 22. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 3; Salida de la Presa, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.

Parámetro (mg L ⁻¹)	CECA/89 Protección a la vida acuática	Sitio 3		
		Mayo	Agosto	Noviembre
Arsénico (As)	0,2	0,00139	0,001	0,0012
Fluoruros	1	0,2263	0,212	0,2
Fosforo (PT)	0,1	0,1347	0,15	0,11
Mercurio (Hg)	0,00001	0,000055	0,0007	0,0005
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	0,06	0,0372	0,038	0,2
Alcalinidad *	20 - 200	53	65,3	55,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) **	< 6	2,7	0,33	1,1
Oxígeno Disuelto (O. D.)	> 5	8,14	10,5	5,8
pH (Unidades de pH)	6,5 - 8	7,6	7,8	7,6
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	200	430	9300	1500

(*) Valor establecido de acuerdo con lo reportado con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Acuicultura.

(**) Valor establecido con base en lo reportado por la CONAGUA como indicador de calidad del agua. En color rojo se resaltan los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el mismo documento.

Tabla 23. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 4; Entrada del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.

Parámetro (mg L ⁻¹)	CECA/89 Protección a la vida acuática	Sitio 4		
		Mayo	Agosto	Noviembre
Arsénico (As)	0,2	0,00139	0,001	0,001
Fluoruros	1	0,2186	0,2	0,2
Fosforo (PT)	0,1	0,1354	0,17	0,12
Mercurio (Hg)	0,00001	0,000056	0,0006	0,0005
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	0,06	0,0232	0,075	0,2
Alcalinidad *	20 - 200	53	63,1	57,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) **	< 6	12,3	0,61	1,1
Oxígeno Disuelto (O. D.)	> 5	8,19	10,4	6,1
pH (Unidades de pH)	6,5 - 8	7,8	7,9	7,4
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	200	2300	43000	43000

(*) Valor establecido de acuerdo con lo reportado con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Acuicultura.

(**) Valor establecido con base en lo reportado por la CONAGUA como indicador de calidad del agua. En color rojo se resaltan los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el mismo documento.

Tabla 24. Parámetros de calidad del agua evaluados en el Sitio 5; Salida del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos considerados en los CECA-CCA-001/89.

Parámetro (mg L ⁻¹)	CECA/89 Protección a la vida acuática	Sitio 5		
		Mayo	Agosto	Noviembre
Arsénico (As)	0,2	0,00139	0,001	0,001
Fluoruros	1	0,2114	0,24	0,2
Fosforo (PT)	0,1	0,1471	0,16	0,12
Mercurio (Hg)	0,00001	0,00003	0,0006	0,0005
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	0,06	0,0402	0,057	0,2
Alcalinidad *	20 - 200	56	162	58
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) **	< 6	4,8	0,52	1,1
Oxígeno Disuelto (O. D.)	> 5	8,2	10,4	6,5
pH (Unidades de pH)	6,5 - 8	7,9	7,2	8,4
Coliformes Fecales (CF) (NMP/100 ml)	200	3	4300	4600

(*) Valor establecido de acuerdo con lo reportado con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para Acuicultura.

(**) Valor establecido con base en lo reportado por la CONAGUA como indicador de calidad del agua. En color rojo se resaltan los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el mismo documento.

Los resultados de los tres índices de calidad del agua se presentan en las Tablas 25, 26, 27, 28 y 29, así como los indicadores que la CONAGUA utiliza para realizar la evaluación de la calidad del agua.

La categoría de calidad del agua que asigna cada índice depende del número de parámetros evaluados, así como del valor que se le asigna a cada uno, por lo tanto, el resultado de la aplicación de los índices puede diferir dependiendo del índice que se utilizó.

En los cinco sitios de muestreo se observó una mala calidad del agua de acuerdo con lo evaluado por el índice de Canadá (ICA CCME), debido a que los coliformes fecales, el fósforo, el nitrógeno amoniacal y el mercurio excedieron las concentraciones sugeridas. Por el contrario, de acuerdo con los indicadores de la CONAGUA (DBO y DQO) los cinco sitios tienen una Buena o Excelente calidad del agua.

La Tabla 25, muestra la calidad del agua del sitio 1. De acuerdo con dos de los indicadores de la CONAGUA (DBO y DQO) el sitio se considera, en general, con buena calidad para los tres meses evaluados. Con base en los SST la calidad del agua va de aceptable a contaminada, específicamente en los meses de agosto y noviembre, debido a que los valores están por arriba de 150, por su parte las coliformes fecales se mantienen por debajo de 100 (NMP/100 mL) lo que significa que el agua es de excelente calidad.

Por su parte, el índice NFS asigna una calidad que va de buena a mediana, ya que los valores están en un rango de entre 50 y 90. El índice CCME utilizado en Canadá nos indica que la calidad del agua del sitio 1 corresponde a mala o muy mala, debido a que los valores están en los rangos del 45 al 64 y del 0 al 44 respectivamente, siendo noviembre el mes que se ve más afectado. Finalmente, de acuerdo con el índice ISQA, la calidad del agua va de buena a aceptable.

La Tabla 26, que corresponde al sitio 2, resume la calidad del agua de acuerdo con todos los índices e indicadores con los cuales se evaluó, teniendo como resultado que el mes de mayo registró una mejor calidad del agua, mientras que en agosto y noviembre tuvieron una muy mala calidad y están en la categoría de agua contaminada con base en lo expuesto por el índice CCME y los indicadores de SST y CF de la CONAGUA respectivamente.

El sitio 3, que corresponde a la salida de la presa, registra en general una buena calidad del agua para el mes de mayo, sin embargo, los meses de agosto y noviembre se consideran como agua contaminada y de muy mala calidad de acuerdo con la CONAGUA y el índice CCME, respectivamente. Los indicadores por los cuales se ve afectada la calidad del agua son los SST y las CF, por su parte la DBO nos indica que la calidad del agua es excelente y el índice NFS nos habla de una calidad media.

El sitio 4 muestra una excelente y buena calidad del agua de acuerdo con los indicadores de DBO y DQO en los tres meses monitoreados. Las coliformes fecales tienen un gran incremento en los meses de agosto y noviembre por lo cual, la calidad del agua disminuye considerándose como muy contaminada de acuerdo con los criterios que maneja la CONAGUA, de igual manera, el índice de CCME de Canadá, nos indica que la calidad del agua en agosto y noviembre se considera como muy contaminada, ya que los valores obtenidos de fueron de 35 unidades.

El sitio 5, que corresponde a la salida del lago nos indica que la calidad del agua en el mes de mayo es la mejor, debido a que en todos los indicadores e índices se cataloga como de buena a excelente. Por el contrario, el índice de Canadá muestra que la calidad del agua es muy contaminada en específico, en los meses de agosto y noviembre.

El código de color nos indica la calidad del agua del sitio, de acuerdo con cada uno de los criterios de los diferentes índices; siendo el rojo indicador de una pésima calidad, el amarillo como contaminada, verde para el agua que es de calidad aceptable y el azul como indicador de una buena o excelente calidad

Excelente
Buena
Aceptable
Contaminada
Mala

Tabla 25. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 1; Inicio del Parque, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos

Sitio 1			
Indicador	Mayo	Agosto	Noviembre
DBO (mg L ⁻¹)	3,2	0,09	1,1
DQO (mg L ⁻¹)	10	7,81	15
SST (mg L ⁻¹)	85	168	173
C.F (NMP/100 mL)	11	3	23
ICA NFS (%)	74	75	65
ICA CCME (%)	47	46	41
ICA ISQA (%)	86	78	63

Tabla 26. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 2; Área de Guacamayas, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

Sitio 2			
Indicador	Mayo	Agosto	Noviembre
DBO (mg L ⁻¹)	5,5	0,22	1,1
DQO (mg L ⁻¹)	10	7,81	15
SST (mg L ⁻¹)	86	172	180
C.F (NMP/100 mL)	1500	210	9300
ICA NFS (%)	64	67	58
ICA CCME (%)	53	40	38
ICA ISQA (%)	86	77	64

Tabla 27. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 3; Salida de la Presa, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

Sitio 3			
Indicador	Mayo	Agosto	Noviembre
DBO (mg L ⁻¹)	2,7	0,33	1,1
DQO (mg L ⁻¹)	10	30,6	15
SST (mg L ⁻¹)	87	169	180
C.F (NMP/100 mL)	430	9300	1500
ICA NFS (%)	64	67	58
ICA CCME (%)	67	41	40
ICA ISQA (%)	86	77	65

Tabla 28. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 4; Entrada del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

Sitio 4			
Indicador	Mayo	Agosto	Noviembre
DBO (mg L ⁻¹)	12,3	0,61	1,1
DQO (mg L ⁻¹)	17	24,3	15
SST (mg L ⁻¹)	88	174	190
C.F (NMP/100 mL)	2300	43000	43000
ICA NFS (%)	60	63	60
ICA CCME (%)	51	35	35
ICA ISQA (%)	85	77	65

Tabla 29. Índices e indicadores fisicoquímicos de calidad del agua para el Sitio 5; Salida del Lago, dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

Sitio 5			
Indicador	Mayo	Agosto	Noviembre
DBO (mg L ⁻¹)	4,8	0,52	1,1
DQO (mg L ⁻¹)	18	7,81	15
SST (mg L ⁻¹)	88	171	186
C.F (NMP/100 mL)	3	4300	4600
ICA NFS (%)	74	65	57
ICA CCME (%)	80	43	34
ICA ISQA (%)	85	77	66

El análisis multivariado Clúster aplicado a los parámetros fisicoquímicos es una técnica de agrupamiento del conjunto de datos para clasificar los componentes (variables) e identificar patrones similares, en la Figura 37 se presenta el dendrograma.

En el dendrograma de similitud se observa el agrupamiento o clústers definido por los sitios 2, 3 y 4 que conforman la zona del arroyo Chapultepec en donde el aporte de materia orgánica del área del aviario, cocodrilario, granja y área de comida incrementan las concentraciones de coliformes fecales y nutrientes; mientras que el sitio 5 el cual por las características del lago la temperatura, el pH y la alcalinidad es menos similar, seguido del sitio 1 que representa la salida del manantial.

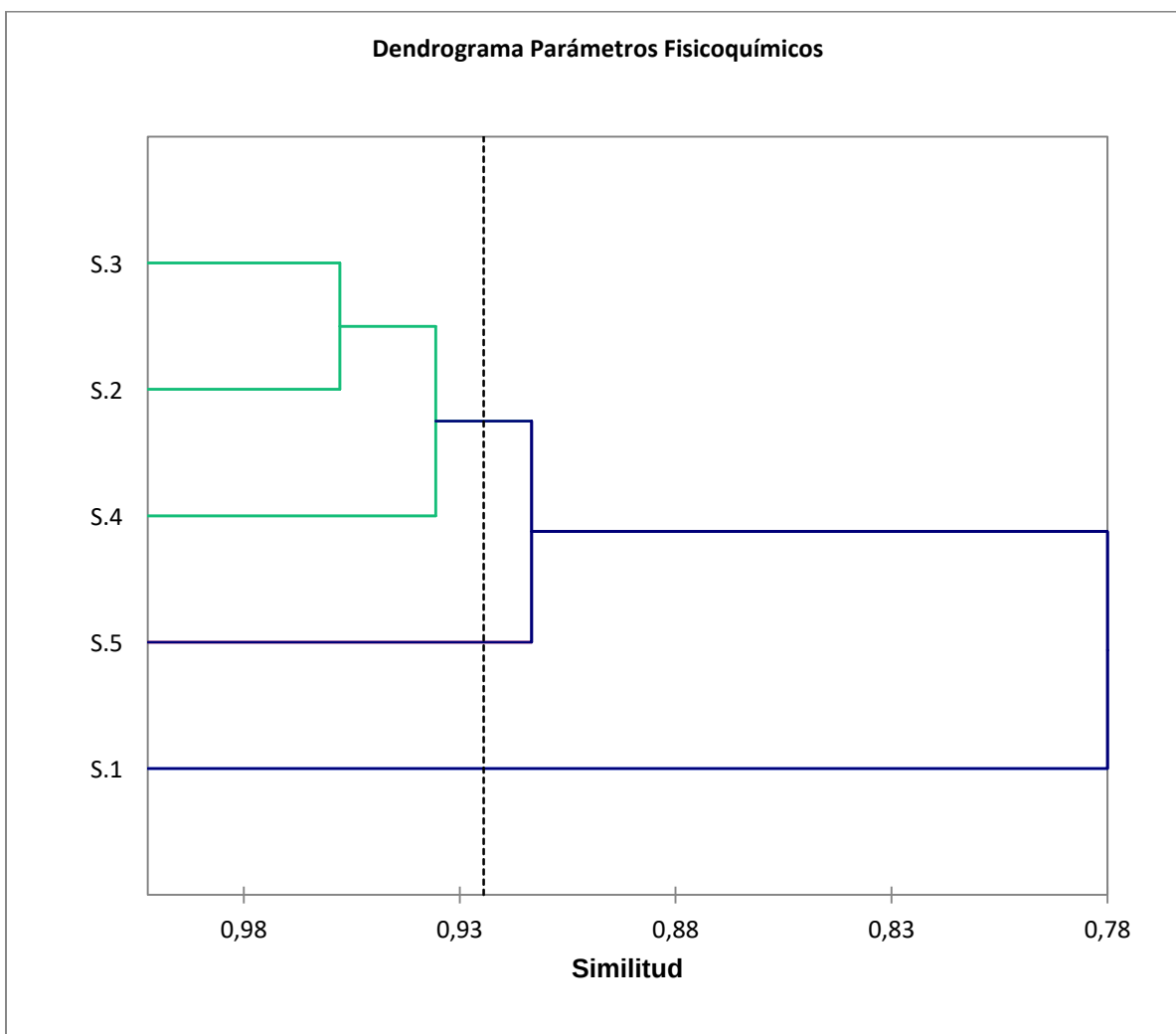


Figura 37. Dendrograma de similitud entre los sitios de muestreo del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos del 2017-2018, basado en los valores promedio.

9. DISCUSIÓN

El Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec forma parte del complejo de barrancas que se encuentra en el estado de Morelos, estas zonas se caracterizan por estar embebidas en el complejo urbano del estado, son el paso de ríos permanentes y temporales, mantienen una gran extensión de bosques riparios y son hábitat de una gran diversidad de especies (García-Barrios, Torres-Gómez, & Jaramillo, 2007; Gobierno de Cuernavaca, 2003).

Debido a sus condiciones fisiográficas, el Parque cuenta con una cubierta vegetal que de acuerdo con lo descrito por Rzedowsky en 1978 se puede identificar como bosque de galería o bosque ripario, las especies arbóreas y arbustivas que caracterizan este tipo de vegetación son árboles de hoja perenne o decidua que pueden tener de 4 a 40 m de altura con copas amplias (Camacho-Rico, Trejo, & Bonfil, 2006), lo que concuerda con las especies presentes en el Parque. Los géneros mejor representados son *Ficus* y *Taxodium*, los cuales, de acuerdo con Enriquez-Peña son algunos de los géneros más característicos para este tipo de vegetación en México (Enriquez-Peña & Suzán-Azpiri, 2008).

Las especies arbóreas registradas en las orillas del arroyo no tienen variaciones significativas durante los meses de agosto del 2017 a enero del 2018, además de caracterizarse por ser de gran altura, tienen raíces profundas que les ayudan a cumplir con funciones ecosistémicas como la estabilización de suelo al margen del arroyo, retención de escorrentía, absorción de nutrientes de escorrentía, retención de sedimentos, entre otras, (Camacho-Rico et al., 2006).

Este tipo de comunidades vegetales establecen un microclima para la barranca ya que con las copas de los árboles forman un dosel que evita los cambios bruscos en temperatura, así

como la incidencia solar directa al cuerpo de agua (García-Barrios et al., 2007), además constituye una zona de transición entre el sistema terrestre y el sistema acuático (Fajardo, Veneklaas, Obregón, & Beaulieu, 2000) lo que concuerda con lo observado en el Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, debido a que la temperatura del sistema tuvo una variación de hasta un grado centígrado desde el Inicio del Parque (Sitio 1), donde se presentaron las temperaturas más bajas, debido a que se presenta una cobertura foliar total, lo que no permite que la energía solar tenga incidencia en el cuerpo de agua, hasta la Salida del Lago (Sitio 5) donde se presentó la temperatura más alta debido a que no hay vegetación ribereña que lo cubra.

Las macrófitas constituyen parte esencial de los sistemas acuáticos debido a que son productores primarios, aportan oxígeno a la columna de agua, estabilizan el sedimento evitando la erosión y sirven como refugio o anidación de diferentes organismos (Rojas-Moreno & Novelo-Retana, 1995). De acuerdo con la descripción de Rzedowski 1978, las especies que se encontraron en el cuerpo de agua son enraizadas emergentes y algunas libres flotadoras por lo que se presentan en aguas poco profundas, con sedimentos de tipo rocoso y a las orillas de sistemas loticos y lénticos, como es el caso del arroyo del Parque, el cual se considera como un cuerpo de agua somero debido a la poca profundidad.

Las especies encontradas en este estudio han sido reportadas como especies comunes de zonas ribereñas (Gómez Rodríguez, Valderrama Valderrama, & Rivera-Rondón, 2016) dado que distintos factores contribuyen a explicar y modificar la estructura de la comunidad de macrófitas en los sistemas (Gómez Rodríguez et al., 2016) éstas se pueden ver afectadas por el incremento de nutrientes procedente de las actividades antropogénicas creando

dominancia de ciertas especies en los ecosistemas acuáticos (Eguía-Lis, Izurieta, Mijangos-Carro, & Gonzáles-Villela, 2015; Rojas-Moreno & Novelo-Retana, 1995).

Este exceso de nutrientes provoca el incremento de la tasa de reproducción de las algas acuáticas, propiciando crecimiento poblacional desmedido que se evidencia en manchones de pocas especies en el sistema, como es el caso del Parque, donde la dominancia de macroalgas está dada por especies invasoras como *Egeria densa* e *Hydrila verticillata*, las cuales se mantuvieron durante los seis meses de muestreo formando grandes tapetes de cubierta vegetal principalmente el sitio 1, el sitio 3 y el sitio 5, cabe mencionar que los niveles de nutrientes como el Fosforo Total mantienen concentraciones más elevadas de lo sugerido con los CECA-CCA-001/89 lo cual, podría estar influyendo en el crecimiento de la biomasa de macroalgas, lo que puede provocar la compactación del sustrato, además de que evita el paso de la luz hacia el lecho del arroyo.

La ictiofauna asociada al cuerpo de agua está conformada de manera tal que también arrojan información acerca del estado ecológico del sistema, se han desarrollado recientemente índices de integridad biótica, en donde se hacen valer de la presencia o ausencia de especies de peces para vigilar la calidad del agua superficial, estos métodos incluso ya son recomendados por las Directivas Europeas ya que son sencillos de utilizar (Espinosa-Pérez, 2014).

Los peces asociados al arroyo suelen ser de tamaño mediano, los organismos van de los 10 a los 30 cm de longitud, se sabe que el tamaño de los organismos se relaciona directamente con el hábitat en el que se desarrollan, es decir, las comunidades de peces cambian desde la cabecera hasta la salida del lago dependiendo de las variaciones con respecto a la hidromorfología, profundidad, velocidad de corriente, tipo de sustrato y caudal (Miller, 2009),

las especies pequeñas están más relacionadas a zonas cercanas a las riberas del arroyo, donde hay una menor velocidad de corriente además de vegetación acuática y ribereña que pueden servir de refugio, así mismo, las especies más grandes se relacionan con áreas de mayor velocidad de corriente, remansos e incluso algunas caídas de agua.

Las especies más grandes dentro del Parque son las truchas arcoíris, estos organismos fueron introducidos a las barrancas y son reconocidos por la CONABIO como especies invasoras ya que han tenido éxito en la adaptación a ese ecosistema por su preferencia y alta tolerancia principalmente a bajas temperaturas como las que se presentan en el cuerpo de agua de la Barranca de Chapultepec, su gran adaptabilidad, así como sus altas tasas de reproducción han provocado el desplazamiento de especies nativas como la Carpita Morelense (*Neotropis boucardi*), la cual se encuentra registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de especie amenazada y en peligro de extinción.

Durante los seis meses que se tomaron las muestras de zooplancton en los cinco sitios de muestreo se pudieron observar cambios en cuanto a las comunidades y la proporción de organismos que se registraban cada mes, cabe resaltar que este es uno de los grupos más abundantes e importantes dentro de las comunidades acuáticas, debido al aporte que tienen en la red trófica, ya que son capaces de transferir la energía a un nivel trófico superior, (Conde-Porcuna, 2004).

La presencia de estos organismos está altamente relacionada con los parámetros fisicoquímicos y las características físicas del cuerpo de agua, por esta razón son recomendados para usarse como especies indicadoras de la calidad del agua (Nandini, Ramírez-García, Sarma, & Gutiérrez-Ochoa, 2018), aunque también se encuentran

relacionados con el tipo de vegetación que les permite tener refugios, así como las especies depredadoras que pueden influir en su abundancia.

De acuerdo con Sarma y colaboradores en el 2009, las familias más comunes de rotíferos en cuerpos de agua mexicanos son Brachionidae y Lecanidae, este estudio concuerda con lo encontrado en el arroyo y en el lago del Parque de Chapultepec, donde éstas mismas dos familias fueron las mejor representadas en las muestras colectadas durante los seis meses. Así mismo, se registraron 28 especies de rotíferos distribuidos en 15 géneros y 8 familias en los cinco sitios de muestreo, a diferencia de las más de 120 especies de rotíferos que reportaron Nandini y colaboradores en 2017 en el río la Antigua, del estado de Veracruz, lo que puede deberse a patrones hidromorfológicos de cada sistema, así como a la química del agua, además, el arroyo de Chapultepec se ubica en la parte alta de la cuenca del río Apatlaco, en donde la colonización de las especies se origina.

La diversidad del zooplancton de acuerdo con el Índice de Shannon-Wiener en el cuerpo de agua estuvo por arriba de los 3.5 bits/ind, y el sitio que presentó una mayor diversidad con respecto a los demás fue el sitio 1 en el mes de enero con 3.3, este índice se acerca mucho a lo reportado en algunos cuerpos de agua mexicanos, por ejemplo, como la presa Valerio Trujano que tiene una diversidad que va de 1.2 a 3.3 (Vázquez-Sánchez, Reyes-Vanegas, Nandini, & Sarma, 2014), incluso en ríos más grandes como es río la Antigua en Veracruz se han registrado valores de diversidad que van de los 2.0 a los 4.0 en muestreos anuales (Nandini, Sarma, & Gulati, 2017) tomando en cuenta que el índice puede variar de 0 a 5 bits/ind., la diversidad del cuerpo de agua en general se mantiene en un nivel medio en comparación con otros cuerpos de agua.

Los datos anteriormente mencionados se pueden clasificar con la tabla propuesta por Wilhm y Dorris en 1968 (Segnini, 2003) en donde hacen una clasificación de la calidad del agua de acuerdo con lo obtenido en el índice, lo que nos lleva a considerar que el agua del Parque tiene en general una buena calidad, es decir, está en el rango de Agua limpia ($H' > 3$), sin embargo, el sitio 2 y el sitio 3, en la evaluación de diversidad por sitio, mantienen niveles de contaminación moderada, ya que los resultados de diversidad obtenidos estuvieron por debajo de los 3 bits/ind. Además de la contaminación podríamos atribuir la disminución en el índice a la presencia de peces planctívoros o detritívoros. Existen autores que mencionan que uno de los factores que determina la densidad y la comunidad del zooplancton es la depredación (Gilbert 1998).

Así mismo, el índice de calidad del agua propuesto por Sladeczek que se basa en la sensibilidad y la especie de los rotíferos presentes en las muestras (Sladeczek, 1978), nos indica que el cuerpo de agua desde el inicio del Parque (sitio 1) hasta la salida del lago (sitio 5) se categoriza como un cuerpo de agua β -mesosapróbico ya que los valores se encuentran entre 1.6 y 2.5 lo cual nos indica una contaminación moderada, estos valores también se han registrado en el lago de Xochimilco y en la presa Madín donde el valor del ISPB va de 1.5 a 2.0 y de 1.25 a 2.5, respectivamente (Moreno-Gutiérrez, Sarma, Sobrino-figueroa, & Nandini, 2018; Nandini, Ramírez Gracia, & Sarma, 2016). Adicionalmente, existe otro indicador propuesto por Sladeczek en 1983, este es un radio que se basa en la proporción de ciertos individuos del genero *Brachionus*/*Trichocerca*, en el caso del Parque, la relación se mantiene 1 a 1, lo que corresponde a un sistema que puede ser artificial bajo la categoría de mesotrófico, lo cual concuerda con el índice ISPB, en general se habla de un sistema con contaminación moderada.

Las especies indicadoras de este tipo de calidad del agua de acuerdo con el índice saprobico son principalmente de la familia Brachionidae debido a que algunas están relacionadas con la presencia de bacterias, alimentándose de ellas, en el Parque se registraron especies como *Keratella tropica* y *Brachionus havananensis* (García Díaz, 2010; Sladeczek, 1978)(Sladeczek, 1978), lo que concuerda con lo registrado en este estudio, ya que en los sitios muestreados durante los meses analizados hubo presencia de Coliformes Fecales, como es el caso de sitio 4, donde se registraron hasta 45,000 NMP/100 mL. Por otro lado algunas especies del género *Cephalodella* (Moreno-Gutiérrez et al., 2018; Sladeczek, 1978) se han relacionado con sitios donde el agua contiene minerales y existe una abundancia en peces y vegetación acuática, como es el caso del arroyo del Parque de Chapultepec, al estar alimentado directamente de agua subterránea la carga de minerales es más alta que en otros cuerpos de agua y se corrobora con las concentraciones de alcalinidad, además, está caracterizado por tener tanto vegetación ribereña como vegetación acuática en los cinco sitios muestreados.

En este estudio también se tomó en cuenta la diversidad de fitoplancton, de las cuales se registraron 48 especies distribuidas en 26 géneros y 18 familias la mayoría de ellas del grupo de las diatomeas, en cuanto a la diversidad de fitoplancton basado en el índice de Shannon-Wiener en general de todo el Parque, va desde 1.77 a los 3.6 bits/ind., mientras que el sitio con mayor diversidad fue el sitio 1 en el mes de septiembre y el sitio 4 en el mes de octubre. De acuerdo con Nandini Sarma y colaboradores (Nandini et al., 2018) entre las algas mejor representadas en cuerpos de agua lóticos del estado de Morelos se encuentran las familias Naviculaceae y Fragilaceae, según lo descrito por Días-Quiroz (2004) estos organismos están relacionados con alta conductividad y nutrientes, lo que explica su presencia en meses de lluvias como agosto y septiembre.

Con base en Índice Trófico de Diatomeas de Kelly y Witton de 1995 las especies de diatomeas dentro del fitoplancton se ven influenciadas por las características fisicoquímicas y morfológicas del cuerpo de agua, lo que también las hace ser propuestas como especies indicadoras (Kelly & Whitton, 1995), las especies se categorizan de acuerdo con su grado de sensibilidad y su nivel de tolerancia (Bellinger & Sigee, 2010), los resultados del TDI nos indican que la calidad del agua del Parque en general va de los 60 a 75 unidades, lo que nos indica que es un cuerpo de agua que va de eutrófico a mesotrófico basado en la presencia de algas como las especies de los géneros *Cocconeis*, *Fragilaria* y *Nitzschia*, las cuales se clasifican como especies muy tolerantes a la contaminación y asociadas a altos niveles de nutrientes, encontrándose en el Parque concentraciones de fósforo por arriba del uso para protección de vida acuática (Gutierrez Ochoa & Ramírez Grarcía, 2018; Kelly, 2002; Kelly & Whitton, 1995).

Los parámetros fisicoquímicos han sido utilizados ampliamente para describir la calidad del agua, los índices de calidad del agua basándose en estos análisis se han ido transformando con el tiempo teniendo como resultado la integración de diferentes indicadores en un solo número que nos facilite la interpretación de los datos, los índices seleccionados en este estudio son algunos de los más usados en diferentes países.

Los parámetros fisicoquímicos nos dan información extensa del estado trófico de un cuerpo de agua y los indicadores más utilizados se incluyen DBO₅, OD, CF, NO₃, pH, T y SDT (Castro et al., 2014; Torres et al., 2009), de acuerdo con lo anterior se utilizaron diferentes índices e indicadores para evaluar la calidad del agua del Arroyo Chapultepec, teniendo como resultado que de acuerdo con el índice de calidad del agua de Canadá (ICA CCME), el agua del Parque es considerada de mala calidad, esto debido a que el índice contempla la

comparación con los criterios ecológicos, lo cual hace que las puntuaciones que se asigne a cada parámetro están relacionadas con el número de veces que sobrepasen lo sugerido en los criterios. Principalmente, se ve más afectado por los contaminantes biológicos como las coliformes fecales, ya que, estos organismos son usualmente relacionados con contaminación antropogénica (Nandini et al., 2018).

Los criterios sugieren que este parámetro debe tener un valor de 200 NMP/100mL, por el contrario, los meses analizados, el conteo de bacterias coliformes en los diferentes sitios muestreados sobrepaso lo sugerido en los criterios ecológicos de calidad del agua (DOF, 1989). La condición anterior también ha sido observada en algunas otras partes del estado de Morelos, por ejemplo el río Amacuzac o en el lago de Xochimilco, México (Gutierrez Ochoa & Ramírez García, 2018; Nandini et al., 2016).

Por el contrario del índice anterior, en México la CONAGUA cuenta con 4 indicadores para dar un diagnóstico de la calidad del agua, basado en la DBO_5 , en general, la calidad del agua del sistema va de buena a excelente, lo cual se respalda en lo obtenido con base en otros índices como el NFS o el ISQA que son utilizados en Estados Unidos y España, respectivamente. Lo anterior nos da indicios de que el aporte de materia orgánica es mínimo al sistema; comparado con las altas concentraciones de DBO_5 en el río Apatlaco que van de 50 hasta 200 mg/L (Nandini et al., 2016).

Durante el periodo de estudio los parámetros fisicoquímicos de campo no mostraron tanta variación desde el inicio del Parque hasta la salida del lago, sin embargo parámetros como la temperatura podrían afectar el comportamiento total del sistema al aumentar la velocidad de multiplicación bacteriana, dando paso a una mayor velocidad en la degradación de materia orgánica (Chapman, 1996), también juega un papel importante en el nivel de saturación del

oxígeno disuelto y la rapidez de aireación. De acuerdo a los parámetros de campo obtenidos en los meses de monitoreo podemos observar que la temperatura del agua aumenta conforme se aleja de su nacimiento, es decir, las temperaturas en las áreas cerca del manantial oscilan entre los 16 °C, pero en las áreas de menor cobertura de dosel la temperatura aumenta alrededor de 2 °C, la variación no parece ser significativas a gran escala, sin embargo, para las comunidades acuáticas este parámetro puede ser determinante para poder establecerse en ciertas áreas, tal es el caso de algunas especies de peces, los cuales tiene alta sensibilidad a la temperatura.

El pH define las condiciones de acidez y alcalinidad que se encuentra en un cuerpo de agua (Meybeck, 2006), lo que a su vez determina la presencia o ausencia de especies. En los puntos de muestreo el pH presenta valores entre 7.6 y 7.9 para el mes de mayo, de 7.2 a 7.9 y de 7 a 8.4 para los meses de agosto y noviembre, respectivamente, por lo que se encuentran dentro del óptimo para el establecimiento de las comunidades acuáticas en el cuerpo de agua.

Tanto el pH como la temperatura tuvieron un comportamiento uniforme en cuatro de los cinco sitios durante los meses evaluados, con excepción del sitio 5, el cual tuvo un pH de 7.1 a 8.5 y las temperaturas más altas, esto debido a que el lago no está protegido por el dosel de los árboles y el agua tiene poca corriente como en la parte del arroyo, lo que facilita la elevación de la temperatura a nivel superficial, estos factores han sido relacionados con la diversidad y densidad del zooplancton (Jimenez Santos, 2017).

El oxígeno disuelto es importante ya que interviene en el procesos de descomposición de la materia orgánica y es necesario para la supervivencia de organismos acuáticos, cuando disminuye o se agota en el agua predomina un proceso anaeróbico y se produce la reducción

de materia orgánica en ácido sulfhídrico (H_2S), compuesto tóxico que provoca mal olor (Meybeck, 2006), específicamente en el Arroyo Chapultepec, predomina el proceso aeróbico al presentarse concentraciones de oxígeno disuelto adecuadas para degradar la materia orgánica.

Los sitios de muestreo tienen un rango entre 7 y 12 mg L^{-1} para los meses muestreados, solo tuvo una variación de al menos 1 mg L^{-1} entre el sitio 1 y el sitio 5, teniendo el mínimo en el mes de noviembre y el máximo en el mes de agosto con 7 y 12 mg L^{-1} , respectivamente, lo que nos indica que son aguas bien oxigenadas gracias al constante movimiento y turbulencia, ya que, es un cuerpo de agua que tiene remansos y rápidos, además de la presencia de grandes tapetes de macrófitas y vegetación ribereña, lo que favorece el contenido de oxígeno.

La conductividad está relacionada con los sólidos disueltos, los valores en los cuerpos de agua varían de 10 hasta $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$, valores por arriba de este intervalo se presentan en aguas contaminadas o en aguas residuales (Chapman, 1996), aunque, también se puede atribuir a lixiviados o una excesiva salinización del agua. Los resultados más bajos de conductividad fluctúan de 109 a $113 \mu\text{Scm}^{-1}$, mientras que los más altos van de 238 a $262 \mu\text{Scm}^{-1}$, para el mes de mayo y agosto respectivamente. Los valores anteriormente resaltados revelan bajas concentraciones de sales disueltas.

La DQO y DBO son dos parámetros que nos permiten saber la cantidad de materia orgánica que está presente, tanto la biodegradable como no biodegradable. En particular, la DBO es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar totalmente la materia orgánica biodegradable que se encuentre en el sistema, mientras que la DQO es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar químicamente toda la materia orgánica que se puede

encontrar. De acuerdo a lo anterior existe una proporción general que se puede cumplir o no, dependiendo de cada sistema, la DQO siempre es mayor o igual que la DBO. Los valores mínimos y máximos registrados de DBO van de 4.8 a 12.3 mgL⁻¹ mientras que de DQO fueron de entre 10 y 18 mgL⁻¹ para el mes de mayo y agosto.

En los tres meses analizados se encontró presencia de coliformes fecales para todos los sitios de muestreo, lo cual nos da la pauta para considerar una contaminación constante, la cual puede ser de los animales que residen en el Parque o incluso se pueden considerar fuentes de contaminación puntuales por parte de las viviendas vecinales y el aporte que puede tener en forma de escurrimiento proveniente de la carretera federal México – Chilpancingo que pasa por un costado del ANP.

El análisis integral, tanto biótico como abiótico, se presenta en la Figura 39, la cual, representa la calidad del agua de cada sitio monitoreado del Arroyo de Chapultepec. En general, la calidad del agua va de buena a excelente, sin embargo, el sitio 2 y el sitio 4 son los que reciben contaminación de tipo microbiológica, la cual afecta el resultado de los índices, principalmente del índice CCME, el cual, considera los criterios ecológicos para su determinación.

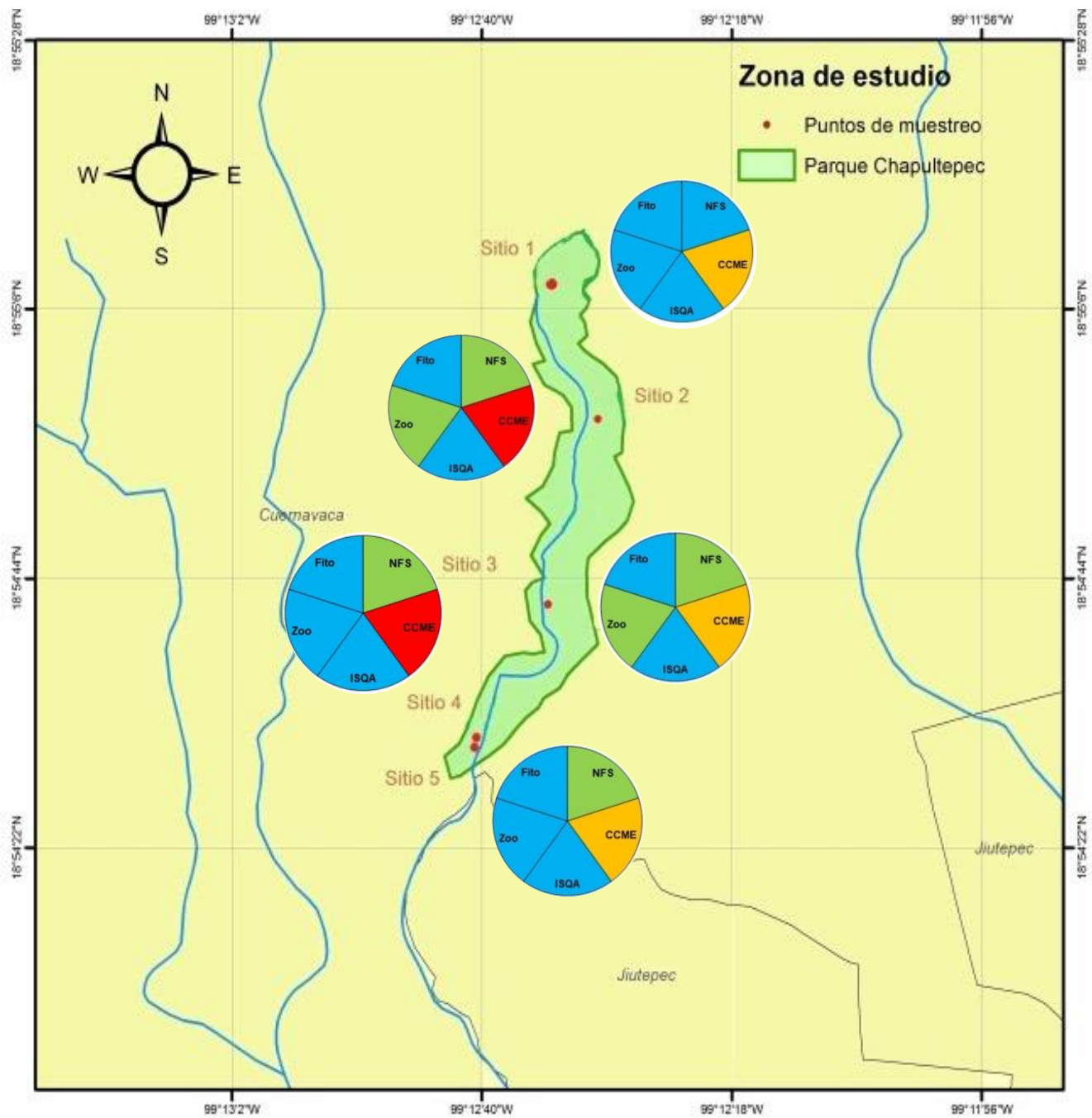


Figura 38. Mapa del Parque Estatal Barranca de Chapultepec con los resultados de la evaluación integral de la calidad del agua por sitio. Fito, índice basado en fitoplancton (TDI); Zoo, índice basado en zooplancton (índice saprobio); NFS, índice EU; ISQA, índice de España; CCME, índice de Canadá.

10. CONCLUSIONES

- La zona de la Barranca de Chapultepec cuenta con una homogeneidad en cuanto a vegetación raparúa, por lo tanto, no hay cambios temporales significativos, lo cual contribuye a la estabilidad del sistema, tanto acuático como terrestre, sin embargo, la mayoría de las especies descritas no son nativas de las zonas de barranca.
- La vegetación acuática se caracteriza por formar tapetes en las partes donde el agua tiene un mayor tiempo de retención hidráulica, lo que contribuye al establecimiento de refugios tanto para la macrofauna como para la microfauna, sin embargo, la mayoría de las comunidades de macrófitas se conforman por especies no nativas, lo que contribuye a un crecimiento descontrolado de algas acuáticas y que posteriormente son removidas por personal del Parque para controlar su crecimiento.
- La fauna que se desarrolla en el sistema es característica de las barrancas de Cuernavaca, peces de talla pequeña y mediana, con presencia de especies endémicas de estas áreas, como el cangrejito barranqueño y la carpita morelense.
- El grupo de los rotíferos fue el más abundante entre la comunidad del zooplancton, los cuales responden diferencialmente tanto a la estructura física del sistema como a la vegetación asociada, así como a la presencia de fauna íctica, debido a que la comunidad tiene variaciones en cuanto a riqueza entre sitios.

- Los rotíferos más abundantes corresponden a especies sensibles como la familia Brachionidae, los cuales pueden ser buenos indicadores de la calidad del agua del sistema, tanto de alteraciones en el balance químico, como de contaminación de otro tipo como metales pesados o algunos otros aportes antropogénicos, por lo que se recomienda su monitoreo constante.
- Las diatomeas fueron los organismos más abundantes de las muestras de fitoplancton, en su mayoría de la familia Naviculaceae, las cuales son reconocidas como un buen organismo indicador de calidad del agua, tanto de alteraciones en el balance químico, como de contaminación de tipo antropogénica, por lo cual, se recomienda también su monitoreo constante.
- Los parámetros fisicoquímicos como pH, T, CE, entre otros, pueden asociarse con la riqueza de especies, ya que las condiciones naturales del sistema y los aportes antropogénicos pueden afectar de manera directa la riqueza de las especies, debido a su sensibilidad o poca tolerancia ante los cambios.
- La calidad del agua del Parque desde el manantial, hasta la salida del lago tiene una buena calidad con base en los Índices de Calidad del Agua como: NFS, ISQA y en los Índices Biológicos como los que se basan en Zooplancton y Fitoplancton.
- Los sitios 2 y 3 fueron categorizados como contaminados con base en índices como CCME específicamente contaminación acuática de tipo biológica por la presencia de bacterias coliformes fecales, usualmente asociadas a heces fecales de mamíferos.

- En general la calidad del agua del Parque va de aceptable a buena, sin embargo podría mejorar si se tomaran ciertas medidas para evitar la entrada de contaminantes, que principalmente se debe a escurrimientos provenientes de la Carretera Federal 059 México - Chilpancingo, así como de los aportes domésticos de las zonas aledañas a la barranca y de ciertas actividades recreativas que se llevan a cabo dentro del parque.
- El análisis integral realizado en el Parque Estatal Chapultepec, así como el nuevo conocimiento del sistema, permite establecer con base en la caracterización biológica y fisicoquímica que el Arroyo Chapultepec, que puede ser seleccionado como un cuerpo de agua de referencia, ya que las funciones y la diversidad de las comunidades biológicas evaluadas presentan condiciones de Buena a Aceptables calidad del agua, por lo que su conservación es indispensable.
- El Arroyo Chapultepec puede ser considerado como un sitio de conservación y/o comparación con respecto a otros sitios con características semejantes dentro de la cuenca del río Apatlaco

11. LITERATURA CITADA

- Academia Mexicana de Ciencias. (2010). *El Agua en México: Cauces y Encauces*. (B. Jiménez Cisneros, M. L. Torregrosa y Armentia, & L. Aboites Aguilar, Eds.).
- Aguilar, I. A. (2010). *Calidad del agua: Un enfoque multidisciplinario*. Instituto de Investigaciones Económicas UNAM. Retrieved from <http://ru.iiec.unam.mx/id/eprint/65>
- Alba-Tercedor, J., & Sánchez-Ortega, A. (1986). Un Método Rápido Y Simple Para Evaluar La Calidad Biológica De Las Aguas Corrientes Basado En El De Hellawell (1978). *Limnetica*, 4(1978), 51–56. <https://doi.org/10.3145/epi.2008.mar.18>
- Albert, J. F., Corominas, J., & París, C. (1979). Estudio hidrogeológico de los manantiales y su aplicación geológica: caso de las aguas termales, carbónicas y sulfhídricas de Cataluña. *Acta Geológica Hispánica*, 14(1), 391–394. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/actageologica/article/view/148695/200564>
- APHA. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Barquín, O. J. (2007). Patrones de biodiversidad en manantiales: implicaciones para la gestión de las aguas subterráneas. *Locustella*, 4, 37–49. Retrieved from <http://www.edicionestantin.com/index.php/tienda/comic-y-revistas-34/revista-locustella-nº-4-anuario-de-la-naturaleza-de-cantabria-detail>
- Bellinger, E. G., & Sigeo, D. C. (2010). *Freshwater Algae. Identification and Use as Bioindicators*.
- Bonilla-Barbosa, J. R., & Santamaria, A. B. (2014). Plantas Acuáticas Exóticas y Traslocadas Invasoras. In A. R. E. Mendoza & O. P. Koleff (Eds.), *Especies Acuáticas Invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. (pp. 223–247).
- Bravo-Inclán, L. A., Sánchez-Chávez, J., & Saldaña-Fabela, P. (2006). Evaluación del estado trófico y perspectivas de rehabilitación en cuatro embalses del centro de México. In *XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales*.

- Camacho-Rico, F., Trejo, I., & Bonfil, C. (2006). Estructura y Composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 78, 17–31.
- Carvacho, A. C. (2012). *Estudio de las Comunidades de Macroinvertebrados Bentónicos y Desarrollo de un Índice multimétrico para Evaluar el Estado Ecológico de los Ríos de la cuenca de Limari en Chile*. Universitat de Barcelona.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Ambiental*, 10(17), 111–124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments - A guide to use of biota , sediments and water in environmental monitoring*. (Segunda ed). Universidad Cambridge.
- Comisión Europea. (2014). La Directiva Marco del Agua en UE, (1998).
- CONABIO, & UAEM. (2004). *La Diversidad Biológica en Morelos Estudio del Estado*. (T. Contreras-macbeath, J. C. Boyás, & M. F. Jaramillo, Eds.). Retrieved from http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EE_Morelos_2006.pdf
- CONAGUA. (2008). La cuenca del Río Balsas. Recuperemos el patrimonio ambiental de los morelenses, 9–111.
- Dahms, H. U., Hagiwara, A., & Jae-Seong, L. (2011). Ecotoxicology, ecophysiology, and mechanistic studies with rotifers. *Aquatic Toxicology*, 101(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.09.006>
- De la Lanza Espino, G. (2007). *Las aguas interiores de México: conceptos y casos* (Primera ed). México City: AGT EDITOR, S.A.
- DOF. (1989). CECA-CCA-001/89. Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua. *Diario Oficial de La Federacion*. 13 de Diciembre de 1989.
- DOF. (1994). NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. *Diario Oficial de La Federacion*. 15 de Agosto de 1994.

- DOF. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo., Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre 2010 § (2010).
- DOF. Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos.al de la Federación., Diario Oficial de la Federación. 27 de mayo del 2016 § (2016).
- DOF. (2016b). Acuerdo por el que se publica el resumen del Programa de Manejo del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec. Morelos. *Diario Oficial de La Federación*. 10 de Agosto de 2016.
- Eguía-Lis, P. A., Izurieta, J., Mijangos-Carro, M., & Gonzáles-Villela, R. (2015). *Indicadores de integridad ecológica y salud ambiental para las cuencas de los ríos Yautepec y Cuautla, Morelos. 1ra Etapa*.
- Enriquez-Peña, E. G., & Suzán-Azpiri, H. (2008). Estructura poblacional de *Taxodium mucronatum* en condiciones contrastantes de perturbación en el estado de Querétaro, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2008, 94–95.
- Espinosa-Pérez, H. (2014). *Protocolo de muestreo de peces en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012)*. (S. A. Salinas-Rodríguez, Ed.). México.
- Fajardo, A., Veneklaas, E., Obregón, S., & Beaulieu, N. (2000). Los bosques de Galería. Guía para su apreciación y su conservación. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*.
- García-Barrios, Torres-Gómez, & Jaramillo. (2007). Las barrancas de cuernavaca.
- García-García, G., S. Nandini, Martínez-Jerónimo, F., & Jiménez-Contreras, J. (2012). Impact of chromium and aluminium pollution on the diversity of zooplankton : A case study in the Chimaliapan wetland (Ramsar site) (Lerma basin , Mexico). *Journal of Environmental Science and Health*, 47, 534–547. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.650554>

- García Díaz, Y. Y. (2010). *Sistema de saprobios para la evaluación biológica de la calidad del agua*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala.
- Gobierno de Cuernavaca, M. (2003). *Programa de manejo y educación ambiental del área bajo conservación denominada; Barrancas Urbanas de Cuernavaca*.
- Gómez-Márquez, J. L., Peña-Mendoza, B., Guzmán-Santiago, J. L., & Gallardo-Pineda, V. (2013). Composición, abundancia del zooplankton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de morelos. *Hidrobiologica*, 23(2), 227–240.
- Gómez, C. R. (2011). *LA ECOLOGIA ANTE EL SIGLO XXI LOS ECOSISTEMAS DE LAS AGUAS EPICONTINENTALES EN LA REGION DE MURCIA: RAMBLAS, RIOS y HUMEDALES*.
- Gómez Rodríguez, M. A., Valderrama Valderrama, L. T., & Rivera-Rondón, C. A. (2016). Comunidades de macrófitas en ríos andinos: composición y relación con factores ambientales. *Acta Biológica Colombiana*, 22(1), 45–58.
- González, M. V., Caicedo, Q. O., & Aguirre, R. N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NFS, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(1), 97–108.
- Gutierrez Ochoa, R. A., & Ramírez Grarcía, P. (2018). *Presencia de diatomeas y su relación con aspectos fisicoquimicos y bacteriológicos como indicadores de la calidad del agua en tres zonas del Río Amacuzac, Morelos, México*. FES Iztacala, UNAM.
- Jimenez Santos, M. A. (2017). *Variación estacional de rotíferos sésiles monogonontos (Rotifera) en el sitio Ramsar, Lago de Xochimilco, (México) durante un ciclo anual (2015-2016)*. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Kelly, M. G. (2002). Role of benthic diatoms in the implementation of the Urban Wastewater Treatment Directive in the River Wear , North-East England, 9–18.
- Kelly, M. G., & Whitton, B. A. (1995). The Trophic Diatom Index : a new index for monitoring eutrophication in rivers, (1961), 433–444.

- Koste, W. (1978). Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Ein Bestimmungswerk begründet von Max Voigt. Bornträger, Stuttgart. "Textband", "Tafelband," 1, 2, 673, 234.
- Margalef, D. R. (1957). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36–71.
- Meybeck, M. H. (2006). Global Changes in Aquatic Systems and their Interrelations with Human Health.
- Miller, R. R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México* (Primera ed). México.
- Moreno-Gutiérrez, R. M., Sarma, S. S. S., Sobrino-figueroa, A. S., & Nandini, S. (2018). Population growth of rotifers from a high altitude eutrophic waterbody, Madín reservoir (State of México, México): The importance of seasonal sampling. *Journal of Limnology*. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2018>.
- Nandini, S., Ramírez-García, P., Sarma, S. S. S., & Gutiérrez-Ochoa, R. A. (2018). Planktonic indicators of water quality: A case study in the Amacuzac River Basin (State of Morelos, Mexico). *River Research and Applications*.
- Nandini, S., Ramírez Gracia, P., & Sarma, S. S. S. (2016). Water quality indicators in Lake Xochimilco, Mexico: zooplankton and *Vibrio cholerae*, 75(1), 91–100. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2015.1213>
- Nandini, S., Sarma, S. S. S., & Gulati, R. D. (2017). A Seasonal Study Reveals the Occurrence of Exotic Rotifers, the River Antigua, Veracruz, Close to the Gulf of Mexico. *River Research and Applications*, 33(6), 970–982. <https://doi.org/10.1002/rra.3140>
- Paéz, B. R., & Rivas, S. H. (2011). Guía de campo para el monitoreo comunitario de la calidad de agua. *Centro de Investigaciones En Geografía Ambiental. UNAM*, 30.
- Petrie, B., Barden, R., & Kasprzyk-Hordern, B. (2014). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, 72, 3–27. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.053>
- Piqueras, U. V., & Lidón, C. A. L. (2015). *Calidad físico-química del agua en los manantiales de los términos municipales de Benafer, Caudiel y Viver (Castellón)*. Universitat

Politécnica de València, Escola Tècnica Superior D'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural.

- Ramírez, E., Robles, E., Sainz, M. G., Ayala, R., & Campoy, E. (2009). CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE ZACATEPEC, MORELOS , MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(4), 247–255.
- Rodriguez, G. R., Martínez, M. C., Hernandez, V. D., Lucas, V. J., & Acevedo de Pedro, M. L. (2003). Calidad del Agua de Fuentes de Manantial en la Zona Básica de Salud de Sigüenza. *Revista Española de Salud Pública*, 77, 423–432.
- Rojas-Moreno, J., & Novelo-Retana, A. (1995). Flora y vegetación acuáticas del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*, (31), 1–17.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 40(155), 254–274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Rubio, A. H. O., Ortiz, D. C. R., Quintana, M. R. M., Saucedo, T. A., Ochoa, R. J. M., & Rey, B. N. I. (2014). Índice De Calidad De Agua (Ica) En La Presa La Boquilla En Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 139–150.
- Ruiz-Picos, R. A., Kohlmann, B., Sedeño-Díaz, J. E., & López-López, E. (2017). Assessing ecological impairments in Neotropical rivers of Mexico: calibration and validation of the Biomonitoring Working Party Index. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1299-x>
- Rzedowski, J., & Rzedowski, G. C. (1985). Flora Fanerogámica del valle de México. *ENCB. IPN. E Instituto de Ecología. México, D.F.*, 2, 429–641.
- S. S. S. Sarma, & S. Nandini. (2017). *Rotíferos Mexicanos (Rotifera)*. Estado de México. *Manual de Enseñanza*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. (Vol. 91).
- Saldarriaga, J. G., Hernández, M. X., Prieto, C., Jurado, M., Gacharná, S., & Páez, D. (2014).

Localización de puntos de monitoreo de calidad de agua en sistema de distribución. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, V(2), 39–53.

Salinas, C. V. H., & Carmona, J. J. (2018). *Las diatomeas indicadoras de la calidad ecológica en ríos de la cuenca de México*.

Sánchez, P. A., & Rico, M. R. (2012). Pruebas toxicológicas del plaguicida paratión metílico en rotíferos acuáticos. *Verano de La Ciencia*, 1–9.

Segnini, S. (2003). El uso de macroinvertebrados béntonicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*, 16(2), 45–63. <https://doi.org/0370-3908>

SEMARNAT. (2007). *¿Y el medio ambiente?*

SEMARNAT. (2015). *Estadísticas del agua en México. Edición 2015*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Shannon, C. E. (1948). A Mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(4), 623–656. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x>

Simpson, E. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688–688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>

Sladeczek, V. (1978). Rotifers as indicators of water quality, (1953).

Snell, T. W., & Joaquim-Justo, C. (2007). Workshop on rotifers in ecotoxicology. *Hydrobiologia*, 593(1), 227–232. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9045-x>

Torres, P., Cruz, H. C., & Patiño, P. J. (2009). Índices De Calidad De Agua En Fuentes Superficiales Utilizadas En La Producción De Agua Para Consumo Humano. Una Revisión Crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.ifcd>

Van Dam, H., Mertens, A., & Sinkeldam, J. (1994). A CODED CHECKLIST AND ECOLOGICAL INDICATOR VALUES OF FRESHWATER DIATOMS FROM THE NETHERLANDS, 28, 117–133.

- Vázquez-Sánchez, A., Ryes-Vanegas, G., Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (2014). Diversity and abundance of rotifers during an annual cycle in the reservoir Valerio Trujano (Tepecoacuilco , Guerrero , Mexico), 293–302. <https://doi.org/10.5268/IW-4.3.564>
- Vázquez, S. G., Castro, M. G., Gonzáles, M. I., Pérez, R. R., & Castro, B. T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos*, 60, 41–48. Retrieved from <http://www.izt.uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>
- Wallace, R. L. (2002). Rotifers: exquisite metazoans. *Integrative and Comparative Biology*, 42, 660–667. <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.660>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*. Academic Press Elsevier (Tercera ed). San Diego, California. <https://doi.org/10.1063/1.3224729>
- WHO. (2017). World Health Organization.

ANEXOS

Tabla 30. Valores obtenidos del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener y del Índice de Equitatividad aplicado a los datos de abundancia de zooplancton y fitoplancton del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

Indice	Zooplancton		Fitoplancton	
	Shannon (base 2)	Sitio 1 Equitatividad	Shannon (base 2)	Equitatividad
Agosto	2,93	0,92	3,1	0,66
Septiembre	2,99	0,94	3,53	0,77
Octubre	2,28	0,88	2,67	0,8
Noviembre	2,35	0,83	2,67	0,65
Diciembre	2,86	0,95	2,72	0,66
Enero	3,31	0,92	2,25	0,68
Sitio 2				
Agosto	1,29	0,81	2,89	0,76
Septiembre	1,43	0,7	2,77	0,83
Octubre	1,9	0,95	2,22	0,79
Noviembre	1,96	0,84	2,74	0,79
Diciembre	1,44	0,91	2,73	0,86
Enero	1,37	0,86	2,23	0,79
Sitio 3				
Agosto	2,93	0,92	2,94	0,82
Septiembre	0,54	0,54	2,58	0,86
Octubre	2,05	0,88	3,06	0,92
Noviembre	2,6	0,86	2,4	0,65
Diciembre	1,58	0,68	2,59	0,86
Enero	2,27	0,81	2,82	0,85
Sitio 4				
Agosto	2,05	0,88	3,1	0,89
Septiembre	2,62	0,93	2,63	0,79
Octubre	1,84	0,92	3,62	0,78
Noviembre	1,92	0,96	2,61	0,73
Diciembre	2,9	0,91	2,82	0,85
Enero	2,98	0,94	2,78	0,83
Sitio 5				
Agosto	2,94	0,82	1,77	0,68
Septiembre	2,72	0,82	3,31	0,87
Octubre	2,41	0,93	2,1	0,81
Noviembre	2,53	0,79	3,34	0,81
Diciembre	3,03	0,87	3,28	0,84
Enero	2,68	0,95	2,1	0,81
Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos				
Sitio 1	3,55	0,8	3,28	0,63
Sitio 2	2,41	0,72	3,54	0,82
Sitio 3	2,96	0,74	3,31	0,74
Sitio 4	3,47	0,84	3,39	0,68
Sitio 5	3,41	0,76	3,44	0,75
General	3,68	0,71	3,6	0,64

Tabla 31. Rotíferos como indicadores de saprobiedad. s = abreviación del grado de saprobiedad, x, o, b, a, p = categoría propuesta por el índice sapróbico, xenosaprobio, oligosapróbico, beta-mesosapróbico, alfa-mesosapróbico, polisapróbico, I = peso indicativo de la especie, S = índice sapróbico individual.

Especie	s	x	o	b	a	p	I	IS
<i>Aspelta</i> sp. Haring & Myers, 1928	o	-	10	-	-	-	5	1
<i>Bdelloidea</i>	b	-	1	6	3	-	3	2,2
<i>Cephalodella catellina</i> (Müller, 1786)	b - o	-	4	5	1	-	2	1,7
<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1830)	b	-	3	4	3	-	2	2
<i>Cephalodella ventripes</i> (Dixon-Nuttall, 1901)	o - b	-	5	5	-	-	3	1,5
<i>Colurella adriatica</i> Ehrenberg, 1831	b - o	1	3	4	2	-	1	1,8
<i>Dicranophorus forcipatus</i> (Müller, 1786)	o	-	6	3	1	-	3	1,4
<i>Euchlanis pyriiformis</i> Gosse, 1851	o - b	-	5	5	-	-	3	1,5
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	b - o	1	3	5	1	-	1	1,7
<i>Keratella tropica</i> (Apstein, 1907)	b	-	2	8	-	-	4	1,8
<i>Lecane closteroerca</i> (Schmarda, 1859)	b	-	2	5	3	-	2	2,1
<i>Lecane hamata</i> (Stokes, 1896)	o	-	6	3	1	-	3	1,4
<i>Lecane inermis</i> (Bryce, 1892)	b	-	3	5	2	-	2	1,9
<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)	o - b	1	4	4	1	-	1	1,5
<i>Lepadella acuminata</i> (Ehrenberg, 1834)	o	-	7	3	-	-	4	1,3
<i>Lepadella ovalis</i> (Müller, 1786)	o	1	6	3	-	-	3	1,2
<i>Proales daphnicola</i> Thompson, 1892	b	-	2	5	3	-	2	2,1
<i>Trichocerca</i> sp. Lamarck, 1801	o - b	-	7	3	-	-	4	1,3
<i>Trichotria tetractis</i> (Ehrenberg, 1830)	b - o	-	4	6	-	-	3	1,6

Tabla 32. Especies consideradas indicadoras para el Índice Trófico de Diatomeas. s = sensibilidad de la especie, v = valor indicador de la especie.

Especie	s	v
<i>Amphipleura pellucida</i> Kütz. 1844	1	3
<i>Cocconeis oblonga</i> Kützing 1844	2	2
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838	3	2
<i>Cyclotella menenghiniana</i> Kützing 1844	5	1
<i>Cymbella mexicana</i> Ehrenberg 1894	2	1
<i>Cymbella</i> sp. Agardh 1830	2	1
<i>Cymbella turgida</i> Hassall 1845	2	1
<i>Epithemia zebra</i> Kützing 1844	1	2
<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow 1885	2	2
<i>Fragilaria construens</i> Grunow, 1862	2	1
<i>Fragilaria pinnata</i> Ehrenberg 1843	4	1
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg 1832	3	1
<i>Gomphonema attenuatum</i> Ehrenberg 1832	3	1
<i>Gomphonema brasiliense</i> Grunow 1878	3	1
<i>Gomphonema</i> sp. Ehrenberg 1832	3	1
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg 1832	3	1
<i>Melosira varians</i> C. Agardh 1827	4	2
<i>Navicula oblonga</i> Kützing 1844	4	1
<i>Navicula amphioxys</i> Kützing 1844	4	1
<i>Navicula gastrum</i> Kützing 1844	4	1
<i>Navicula neglecta</i> Kützing 1844	4	1
<i>Navicula subtilissima</i> Cleve 1891	4	1
<i>Navicula</i> sp. Bory 1822	4	1
<i>Navicula platalea</i> Ehrenberg 1842	4	1
<i>Navicula viridula</i> Ehrenberg 1836	4	1
<i>Nitzschia entomon</i> Hassall, 1845	4	1
<i>Pinnularia parva</i> W.Gregory 1854	1	3
<i>Pinnularia</i> sp. Ehrenberg, 1843	1	3
<i>Stephanodiscus niagarae</i> , Ehrenberg 1845	5	3
<i>Surirella campylodiscus</i> Ehrenberg, 1843	3	1
<i>Surirella flexuosa</i> Ehrenberg, 1843	3	1
<i>Surirella elegans</i> Ehrenberg, 1843	3	1
<i>Surirella spiralis</i> Kützing, 1844	3	1
<i>Surirella microcora</i> Ehrenberg, 1843	3	1
<i>Synedra parasitica</i> Hustedt 1930	4	1
<i>Synedra ulna</i> Ehrenberg 1832	3	1

Tabla 33. Valores de los parámetros evaluados por sitio y por mes del cuerpo de agua dentro del Parque Estatal Urbano Barranca de Chapultepec, Morelos.

	T	pH	Cnd	SST	OD	% Saturación	COT	DBO	DQO	Alcalinidad	NT	PT	C.F
Sitio 1													
Mayo	16.2	7.7	109.2	85	8.21	83.6	0.07	3.2	10	51	2.369	0.1285	11
Agosto	16.8	7.2	237	168	11.7	120.2	0.83	0.09	7.81	65.5	4.36	0.13	3
Noviembre	16.3	7	293	173	4.6	49.6	0.58	1.1	15	53.3	2.66	0.13	23
Promedio	16.43333	7.3	213.0667	142	8.17	84.4666667	0.493333	1.463333	10.93667	56.6	3.129667	0.1295	12.33333
Mínimo	16.2	7	109.2	85	4.6	49.6	0.07	0.09	7.81	51	2.369	0.1285	3
Máximo	16.8	7.7	293	173	11.7	120.2	0.83	3.2	15	65.5	4.36	0.13	23
Sitio 2													
Mayo	16.4	7.6	111.2	86	8.22	84.1	0.12	5.5	10	51	2.883	0.1322	1500
Agosto	17	7.7	242	172	10.9	113.3	0.93	0.22	7.81	65.1	4.75	0.14	210
Noviembre	16.5	7.4	305	180	5.2	56.2	0.58	1.1	15	55.8	2.9	0.12	9300
Promedio	16.63333	7.566667	219.4	146	8.106667	84.53333333	0.543333	2.273333	10.93667	57.3	3.511	0.130733	3670
Mínimo	16.4	7.4	111.2	86	5.2	56.2	0.12	0.22	7.81	51	2.883	0.12	210
Máximo	17	7.7	305	180	10.9	113.3	0.93	5.5	15	65.1	4.75	0.14	9300
Sitio 3													
Mayo	16.5	7.6	112.5	87	8.14	83.5	0.06	2.7	10	53	0.209	0.1347	430
Agosto	17	7.8	238	169	10.5	108.5	1.02	0.33	30.6	65.3	4.82	0.15	9300
Noviembre	16.7	7.6	305	180	5.8	62.8	0.58	1.1	15	55.5	2.81	0.11	1500
Promedio	16.73333	7.666667	218.5	145.3333	8.146667	84.93333333	0.553333	1.376667	18.53333	57.93333333	2.613	0.131567	3743.333
Mínimo	16.5	7.6	112.5	87	5.8	62.8	0.06	0.33	10	53	0.209	0.11	430
Máximo	17	7.8	305	180	10.5	108.5	1.02	2.7	30.6	65.3	4.82	0.15	9300
Sitio 4													
Mayo	16.8	7.8	113.7	88	8.19	84.4	0.42	12.3	17	53	2.383	0.1354	2300
Agosto	17	7.9	245	174	10.4	100.7	0.98	0.61	24.3	63.1	3.66	0.17	43000
Noviembre	16.4	7.4	321	190	6.1	65.1	0.58	1.1	15	57.6	2.66	0.12	43000
Promedio	16.73333	7.7	226.5667	150.6667	8.23	83.4	0.66	4.67	18.76667	57.9	2.901	0.1418	29433.33
Mínimo	16.4	7.4	113.7	88	6.1	65.1	0.42	0.61	15	53	2.383	0.12	2300
Máximo	17	7.9	321	190	10.4	100.7	0.98	12.3	24.3	63.1	3.66	0.17	43000
Sitio 5													
Mayo	16.8	7.9	113.9	88	8.2	85.2	0.38	4.8	18	56	2.674	0.1654	3
Agosto	17.2	7.2	241	171	10.4	100.3	1.21	0.52	7.81	162	3.93	0.16	4300
Noviembre	17	8.4	314	186	6.5	59.5	0.6	1.1	15	58	2.61	0.12	4600
Promedio	17	7.833333	222.9667	148.3333	8.366667	81.66666667	0.73	2.14	13.60333	92	3.071333	0.148467	2967.667
Mínimo	16.8	7.2	113.9	88	6.5	59.5	0.38	0.52	7.81	56	2.61	0.12	3
Máximo	17.2	8.4	314	186	10.4	100.3	1.21	4.8	18	162	3.93	0.1654	4600