



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**FITOPLANCTON LIMNÉTICO DE LOS
CUERPOS DE AGUA DE LA CANTERA
ORIENTE, CIUDAD DE
MÉXICO EN EL PERIODO DEL 2014-
2015.**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
P R E S E N T A :
M Ó N I C A M E J Í A F A R F Á N**

DIRECTOR DE TESIS

**M. EN C. MARÍA GUADALUPE OLIVA
MARTÍNEZ**



LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por darme la oportunidad de estar dentro de esta comunidad y estudiar esta maravillosa carrera, en la cual me permitió conocer las maravillas de la vida.

De corazón a la Maestra María Guadalupe Olíva Martínez por todo lo que me ha brindado y más allá de ser mi directora de tesis, es una persona especial en vida de estar conmigo unos años dándome la confianza, apoyo, mucha paciencia y su valioso tiempo, no solo en lo académico con sus enseñanzas sino en la parte personal con su enorme amistad y con nuestro desarrollo personal. Gracias, la quiero mucho como no imagina por su apoyo en momentos duros y en los felices, me siento mucho afortunada de conocerla.

A mis sinodales, por la confianza en mí en continuar este camino de la vida, su tiempo, sus enseñanzas, amistad y su paciencia: a los Doctores Alfonso Lugo Vázquez y María del Rosario Rodríguez, por su amabilidad y sencillez en su persona para transmitir sus conocimientos. A la M. en C. Laura Peralta Soriano, por compartir conocimientos y seguirme para concluir este camino. Al Profesor Marco Antonio Escobar Olíva, por el apoyo para el seguimiento de este proyecto y concluirlo. Muchas Gracias a todos los quiero mucho.

A mis padres y familia por el apoyo incondicional para terminar esta etapa para seguir con este camino y no dejarme en ningún momento de mi vida, a pesar de las dificultades que sean presentadas en el camino, los quiero mucho.



A mis amigos Bere, Malí y Argenís por ese apoyo desde que nos conocemos los quiero muchísimo de todo este tiempo desde la preparatoria, y no dejar que me rinda y ayudarme a levantarme en muchos momentos difíciles y en esos momentos alegres en los cuales estamos para disfrutarlos juntos.

A mis compañeras del laboratorio de la UMF por los momentos de convivencia.

A mis compañeros de carrera y amigas Ana, Claudia y Mitzí por esos años de convivencia en la carrera y de vida.

A David por ese apoyo incondicional todo este tiempo, a pesar de los altibajos y dificultades y que vamos a superarlos juntos, los momentos de gran alegría han sido de mayor importancia por todo en la vida, y construir este camino juntos y seguir nuestros sueños y conseguirlos.

A las nuevas amistades que ahora forman parte de mi vida.

Por último pero no menos importantes, a pesar que los llevo conociendo poco tiempo al término de este trabajo a los chicos GAN y USANA la visión de Dr. Wentz, al mentor Eduardo Barrero y todo el equipo, en especial a Andrés, Blanquita, Gaby, Fer, Sergio, Ing. Gabriel González y Ing. Martín Burgos, por ese apoyo a nivel de desarrollo personal y empresarial, y encontrar ese camino que aún me falta por recorrer y encontrarme a mí misma para descubrir lo maravillosa que es la vida y disfrutarla al máximo con ellos como familia y brindarles también ese apoyo como lo han hecho conmigo, los quiero y aprecio mucho. ¡Somos Diamantes!

Al proyecto DGAPA-PAPIIT-UNAM IN22115 "Factores de control del estado trófico en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente (REPSA, CU) por el apoyo financiero para la investigación y por la beca otorgada para la realización de mi tesis.



Dedicatorias

A Dios por todo lo que me ha dado en la vida.

A mis padres: Mamá, Papi y Mamí.

Mi mamá por darme la vida y estar conmigo todo el tiempo, mis abuelos (Papi y Mamí) que los considero mis padres por cuidarme siempre, les debo todo lo que soy y lo que puedo ser junto con otras personas que me guían junto con ustedes y ayudarme todo mi vida. Por todo su paciencia que me han tenido y sobre todo por mi carácter. No se cómo puedo pagarles y agradecerles todo lo que han hecho por mí que no me alcanzaría la vida para hacerlo. Por enseñarme de la vida, amor, cariño, respeto, responsabilidad y trabajo, a pesar de todas las adversidades y las nuevas enseñanzas y que formaran parte esencial en mi vida, mis pilares. Es para ustedes este enorme logro. Los amo mucho.

A mi tío Jaime

Por ese enorme apoyo en mi vida, formas parte de mi vida, por ser guía a elegir en este camino maravilloso de la Biología y ayudarme en el mismo. Por tu enseñanza a realizar todo me puedo proponer, tu cariño. No se cómo agradecerte por todo lo que has hecho por mí. Te quiero mucho.

A Leonardo como promesa que terminaría este proyecto y agradecerle en donde esté por haber formado parte de mi vida.



Índice

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Antecedentes	5
Justificación.....	8
Objetivo general:.....	8
Objetivos particulares:	8
Área de estudio.....	9
Materiales y Métodos.....	11
Trabajo de campo.....	11
Trabajo de laboratorio	13
Análisis Estadísticos.....	14
Resultados y discusión.....	16
Riqueza específica y abundancia.....	16
Dominancia de las especies.....	20
Abundancia de especies.....	27
Variación espacial del fitoplancton en los lagos	28
Variación temporal de las especies.....	31
Variación espacio-temporal de los parametros fisicoquímicos	36
Análisis de Correspondencias canónicas (ACC).....	57
Conclusiones.....	63
Literatura citada	64
Anexo 1	70
Listado de especies.....	70



Anexo 2.....	77
Imágenes digitalizadas	77

Índice de Figuras

Figura 1. Vista de la REPSA con los cuerpos de agua	10
Figura 2. Cuerpos de agua de la Cantera Oriente	12
Figura 3. Contribución Porcentual de cada grupo algal	17
Figura 4. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Lago Norte	20
Figura 5. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Lago Centro	21
Figura 6. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Lago Sur	22
Figura 7. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Vaso Regulador.....	23
Figura 8. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Manantial.....	24
Figura 9. Gráfica de variación de las especies dominantes del Lago Norte	31
Figura 10. Gráfica de variación de las especies dominantes del Lago Centro	32
Figura 11. Gráfica de variación de las especies dominantes del Lago Sur	33
Figura 12. Gráfica de variación de las especies dominantes del Vaso Regulador	34
Figura 13. Gráfica de variación de las especies dominantes del Manantial	35
Figura 14. Gráfica de la variación espacio temporal de la temperatura	28
Figura 15. Gráfica de la variación espacio temporal de la conductividad	39
Figura 16. Gráfica de la variación espacio temporal del Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto.....	16



Figura 17. Gráfica de la variación espacio temporal del pH.....	44
Figura 18. Gráfica de la variación espacio temporal del Disco de Secchi	46
Figura 19. Gráfica de la variación espacio temporal del Nitrogeno Inorgánico Disuelto	48
Figura 20. Gráfica de la variación espacio temporal del Fósforo Reactivo Disuelto	50
Figura 21. Gráfica de la variación espacio temporal del Fósforo total.....	52
Figura 22. Gráfica de la variación espacio temporal de la Clorofila <i>a</i>	54
Figura 23. Dendrograma del agrupamiento de los lagos basado en la abundancia de la especies.....	56
Figura 24. Diagrama de las Correlaciones canónicas de las densidades de las especies fitoplanctónicas	62

Índice de Tablas

Tabla 1. Listado de las especies de fitoplancton de la Cantera Oriente.....	18
Tabla 2. Resultados del análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) entre los lagos	29
Tabla 3. Valores de F y probabilidad del análisis de PERMANOVA para la comparación de la condiciones ambientales.....	8
Resumen.....	1
Introducción	2
Antecedentes	5
Justificación	8
Objetivo general:.....	8
Objetivos particulares:	8
Área de estudio.....	9
Materiales y Métodos.....	11
Trabajo de campo.....	11



Trabajo de laboratorio	13
Análisis Estadísticos.....	14
Resultados y discusión	16
Riqueza específica y abundancia.....	16
Dominancia de las especies.....	20
Abundancia de especies	27
Variación espacial del fitoplancton en los lagos	28
Variación temporal de las especies.....	31
Variación espacio-temporal de los parametros fisicoquímicos	36
Análisis de Correspondencias canónicas (ACC).....	57
Conclusiones.....	63
Literatura citada	64
Anexo 1	70
Listado de especies.....	70
Anexo 2.....	77
Imágenes digitalizadas	77



Resumen

En la actualidad los lagos urbanos han llegado ser importantes debido a que en ellos se desarrollan actividades recreativas, estéticas y culturales que benefician la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. Por lo que es necesario la realización de estudios de su dinámica y funcionamientos de este cuerpo de agua, y la influencia de la acción de hombre en ellos. Como es el caso la Cantera Oriente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria (UNAM). En este trabajo se estudiaron 5 cuerpos de agua con diferentes características cada uno llamados Lago Norte, Centro, Sur, Vaso Regulador y Manantial donde se encontraron 55 especies distribuidas en 7 phyla: Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanobacteria, Cryptophyta, Euglenophyta, Miozoa y Ochrophyta. Con predominancia de las Chlorophyta. En estos cuerpos de agua no se encontraron diferencias estacionales entre la época de lluvias y de secas en las condiciones ambientales. Las especies y parámetros ambientales encontrados indicaron una tendencia hacia un estado eutrófico y la composición fitoplanctónica entre los lagos difiere entre sí. Las especies dominantes en los cinco cuerpos de agua fueron: *Actinastrum hantzschii*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Komma caudata*, *Aphanocapsa sp.*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella sp.*, *Pteromonas aculeata*, *Desmodesmus communis*, *Desmodesmus maximus*, *Desmodesmus opoliensis*, *Cryptomonas ovata*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis novacekii*, *Pseudanabaena limnetica* y *Scenedesmus quadricauda*.



Introducción

Los hábitats de agua dulce ocupan una porción, relativamente pequeña de la superficie de la Tierra; esto en comparación con los hábitats marinos y terrestres, pero su importancia para los humanos es mayor que su área (Odum, 1972)

Se pueden distinguir dos tipos de cuerpos de agua continentales, pueden ser lóticos y lénticos: los primeros corresponden a los ríos, arroyos, rápidos, cascadas o manantiales. Los lénticos naturales como lagos, charcos, pantanos o cenotes y artificiales como las presas, embalses, jagüeyes, entre otros (Ortega *et al.*, 1995). Las condiciones ambientales en los lagos y ríos varían por su tamaño, profundidad, temperatura, luz, transparencia, oxígeno, nutrientes, pH y salinidad. (Oliva *et al.*, 2014).

Entre los ambientes lénticos están los lagos urbanos, difieren de los naturales porque son someros, de origen artificial, de tamaño pequeño, comúnmente hipertróficos (caracterizados por elevadas concentraciones de nutrientes, así como de clorofila *a*, generalmente de origen fitoplanctónico) (Oliva *et al.*, 2008; Quiroz, 2007).

Los lagos urbanos son definidos con cinco diferentes criterios según Schueler & Simpson (2003):

- Tamaño: tienden a ser bastante pequeños, y generalmente tienen una superficie de 26 km² o menos (esto excluye lagos más grandes).
- Profundidad: tienden a ser someros, con una profundidad media de 6 m o menos.
- La cuenca del lago debe contener al menos un 5% de cobertura impermeable como índice general de desarrollo.
- Ya sean naturales o artificiales, estos lagos deben ser manejados para recreación, suministro de agua, control de inundaciones u otro uso humano directo.

Actualmente los lagos urbanos han despertado el interés para su estudio debido a que se les ha considerado un importante elemento atractivo estético, recreativo y cultural en las ciudades, Almanza *et al.* (2016) mencionan que estos lagos incrementan la calidad de vida de los habitantes y prestan diferentes servicios ecosistémicos como regular el clima urbano, servir de sumideros de agua de lluvia, zonas de pesca y acuicultura, así como fuentes de



agua potable y hábitat para una variedad de especies de flora y fauna; presentando un desafío en su manejo ambiental sustentable y para la salud de las ciudades.

Debido a que los lagos urbanos forman parte de las ciudades, los problemas ambientales de las áreas metropolitanas los afectan y los hacen vulnerables, principalmente la calidad del agua, a causa de que estos lagos son afectados por el proceso de eutrofización, la cual se incrementa como resultado de la acumulación de nutrientes y otros contaminantes (aguas residuales, domésticas e industriales), siendo un problema, ya que en su mayoría se encuentran eutrofizados, promoviendo un incremento excesivo de fitoplancton, turbidez y la disminución del valor recreativo y estético del lago en su entorno (Schueler y Simpson 2003); también existe el agotamiento del oxígeno en estos sistemas y un aumento de la materia orgánica que trae como consecuencia los malos olores. Esto puede llegar a convertirse en un riesgo para la salud humana por la presencia de floraciones tóxicas, altas concentraciones de bacterias y metales pesados. Este enriquecimiento es generalmente de origen antrópico, aunque también puede depender del ciclo anual; las condiciones en un lago se modifican siguiendo un patrón regular, lo cual propicia que las comunidades algales estén sometidas a una sucesión estacional. Por otra parte, el origen, el tamaño, forma y superficie del espejo de agua, profundidad, radiación solar, estado trófico, así como también otras variables ambientales, son factores que influyen sobre el crecimiento y desarrollo de distintas especies algales y sus variaciones temporales. En los lagos situados en las regiones tropicales se ha observado que la periodicidad del fitoplancton no es regular y se asocia en mayor medida con las fluctuaciones en las condiciones ambientales locales, la cual influye sobre la dinámica temporal de los organismos (Margalef, 1995; Quiroz, 2007; Novoa, 2011 Almanza *et al.*, 2016).

En los lagos urbanos destinados para recreación y diversos fines, es necesario e importante tener un conocimiento más profundo de la composición biológica que los habita y que permita proveer datos para el manejo de estos recursos, como la comunidad fitoplanctónica o algal mencionada, y despertar el interés de conocer su dinámica y estructura poblacional a fin de dar respuesta a diversas situaciones de estos ambientes. (Novoa *et al.*, 2011 y García-Rodríguez *et al.*, 2015).

El fitoplancton de aguas continentales está formado por organismos microscópicos fotosintetizadores, unicelulares, filamentosos que forman cadenas, colonias o cenobios (Margalef, 1995), cuya distribución está sujeta a los movimientos del agua, con capacidad



de locomoción restringida o nula, aunque algunos tienden a moverse mediante flagelos y otros mecanismos que cambian su distribución (Wetzel, 1981).

El conocimiento del fitoplancton en ambientes continentales ha sido limitado, pero su interés ha ido en aumento debido a su importancia por ser el primer eslabón en la cadena trófica, ya que regulan el paso de nutrientes entre el sustrato, los sedimentos y el agua, con su capacidad de remover y asimilar cantidades apreciables de nitrógeno y fósforo para su desarrollo, y los liberan al sustrato, de este modo otros organismos dependen del fitoplancton para la obtención de nutrientes; como productor de oxígeno, depurador de sustancias contaminantes y como bioindicador, ya que son los primeros en reflejar cambios en el ecosistema al ser sensibles a las fluctuaciones internas del cuerpo de agua y a las condiciones ambientales que prevalecen (Margalef, 1995 ; Schueler & Simpson, 2003; Mora-Navarro *et al.*, 2004; Ortega, 2010).

Los lagos de la Cantera Oriente resultan un excelente modelo para estudiar el fitoplancton, en diferentes condiciones ambientales. Debido a que son llenados por la misma fuente de agua (manantiales) y a que se encuentran adyacentes, resulta interesante conocer el porqué, a simple vista, muestran condiciones diferentes en relación a la densidad del fitoplancton. Por eso en el presente trabajo se planteó realizar un estudio comparado de la composición y densidad de fitoplancton en cada uno de ellos y de cómo las condiciones ambientales pueden estar relacionadas con estas diferencias.



Antecedentes

Los estudios sobre la dinámica del fitoplancton en lagos urbanos aún son escasos, entre los cuales podemos mencionar a: Zalocar *et al.* (1998) quienes realizaron un estudio sobre la variación espacial y temporal del fitoplancton en un lago urbano eutrófico subtropical de Argentina, encontrando que el grupo dominante fue Cyanophyta abarcando el 25 % y 83% del total de la biomasa.

Novoa *et al.*, (2006) realizaron un estudio ficológico de los lagos urbanos artificiales del sur de la Provincia de Córdoba, Argentina donde determinaron 275 taxa: 178 Bacillariophyceae, 60 Chlorophyceae, 21 Cyanophyceae, 13 Euglenophyceae, 2 Dinophyceae y 1 Chrysophyceae. De las cuales, 53 fueron nuevas citas para la provincia de Córdoba y 8 para Argentina. Y se evidenciaron dos florecimientos en el lago Villa Dalcar: estival de *Aphanizomenon flosaquae* y primaveral de *Peridinium pusillum*.

Novoa *et al.* (2011) analizaron la densidad y distribución temporal del fitoplancton en el lago Parque Sarmiento, durante el año 2003. Determinaron 109 Bacillariophyceae, 41 Chlorophyceae, 16 Cyanophyceae, 11 Euglenophyceae, 1 Chrysophyceae y 2 Dinophyceae. Evidenciaron las diferencias temporales en la abundancia de algunas especies algales.

Rodríguez (2012) realizó un estudio para determinar la composición y organización de las comunidades fitoplanctónicas en tres ecosistemas lénticos de la Sabana de Bogotá. Observó que los sistemas estudiados presentaron condiciones físicas y químicas diferentes que propiciaron la presencia o ausencia de ciertos grupos de algas como *Elakatothrix gelatinosa* y *Closteriopsis sp.* indicadoras de aguas oligotróficas y eutróficas respectivamente.

Almanza *et al.* (2016) estudiaron las características morfológicas y las variables físicas y químicas de cuatro lagos urbanos de Concepción, Chile, durante un periodo de tres años (2011-2013). Mostraron que los lagos se encuentran en un proceso de eutrofización avanzada por la excesiva carga de nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno), además de presentar altas concentraciones de coliformes fecales y totales en la columna de agua y metales pesados en los sedimentos.



Existen trabajos realizados en México sobre lagos urbanos con diversos temas relacionados con el fitoplancton como los de: Cruz *et al.* (1999) que realizaron experimentos con fitoplancton menor a 20 μm en los lagos urbanos de Chapultepec y Xochimilco en los que estudiaron la producción primaria, teniendo como resultado que la mayor producción fotosintética observada, coincidió con la dominancia de Cianobacterias de los géneros *Microcystis sp.* y *Oscillatoria sp.* en ambos lagos, *Merismopedia sp.* y *Anabaenopsis sp.* en el Lago de Xochimilco.

Escobar *et al.* (2002) describió la estructura de un estanque local tropical en la Ciudad de México, donde reconocieron 14 taxones de fitoplancton, *Microcystis* fue la más común seguido de *Scenedesmus* y *Chlamydomonas* contribuyeron con más del 50% de la densidad de algas. *Cyclotella* se encontró en áreas más profundas y sombreadas asociadas con el fondo.

Por otra parte están los trabajos hacia la dinámica del fitoplancton como son los de: Oliva *et al.* (2005) quienes realizaron la caracterización taxonómica y ambiental de las diatomeas de tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México (enero-octubre de 2001). Se identificaron 45 especies y 3 variedades de diatomeas distribuidas en 32 géneros. *Aulacoseira granulata*, *Cymbella affinis*, *Gomphonema acuminatum*, *G. angustatum*, *Pinnularia microstauron*, *Synedra ulna* y *Stephanodiscus niagarae* fueron especies dominantes. *Epithemia turgida*, *Eunotia curvata* y *Rhopalodia sp.* *Achnanthes pinnata*, *Cyclostephanos dubius*, *Eunotia faba* y *Planothidium ellipticum* fueron nuevos registros para la Faja Volcánica Transmexicana.

García-Rodríguez *et al.* (2015) realizaron un trabajo en el lago del Parque Alameda de la Solidaridad en el municipio de Cuernavaca, Morelos, México, para determinar la variación y abundancia del fitoplancton durante las cuatro estaciones del año. Reconocieron 30 especies donde las Chlorophyceae fueron las más abundantes con el mayor número de especies. La variación de la ficoflora del lago presentó una sucesión temporal. La abundancia, riqueza específica y los valores obtenidos de los nutrientes, señalan al lago como un sistema hipertrófico.

Verver y Vargas (2005) estudio la dinámica espacio-temporal de la clorofila *a* durante la temporada de lluvias de mayo a octubre del 2004 en el lago del Parque Tezozómoc, Ciudad de México, como conclusiones tuvo que las concentraciones elevadas de clorofila *a* están



relacionadas con los nutrientes y con los parámetros fisicoquímicos característicos de los sistemas acuáticos hipertróficos.

Oliva *et al.* (2008) realizaron un estudio de la composición y dinámica del fitoplancton del lago urbano hipertrófico Tezozómoc, registrando 50 especies de las cuales, las Chlorophyta fueron el grupo más abundante y con mayor número de especies. Las especies dominantes fueron *Monoraphidium caribeum*, *Chlorogonium minimum* y el picoplancton.

Morlán (2010) realizó una evaluación de la producción primaria del fitoplancton en la época de sequía en el lago Tezozómoc, Ciudad de México, donde confirmo que las condiciones fisicoquímicas son propias de sistemas hipertróficos y que las tasas de producción primaria neta o bruta tuvieron un correlación positiva con la radiación solar y la clorofila *a*, que alcanzaron valores elevados.

Mejía (2013) realizó un estudio en el Lago urbano Tezozómoc en condiciones de mesocosmos y el efecto del pez *Poecilia reticulata* (guppy) sobre el fitoplancton, en donde no se observaron diferencias significativas en las densidades; la clase Chlorophyceae fue la más abundante, dominante y con mayor número de especies.

Hernández (2014) evaluó en el lago Tezozómoc a la comunidad fitoplanctónica en presencia de *P. reticulata* bajo condiciones de mesocosmos durante la temporada de lluvias del 2010, donde concluyó que *P. reticulata* no tuvo impacto negativo sobre la comunidad fitoplanctónica.

En cuanto a los cuerpos de agua de la Cantera Oriente se han realizado trabajos sobre el fitoplancton como los de Novelo *et al.* (2007) quienes registraron 118 especies. En 2009 estos mismos autores presentaron 24 nuevos taxa.

En 2010 Ponce y Ramírez realizaron un nuevo estudio en la Cantera Oriente durante los meses de agosto, septiembre y octubre. Donde registraron nuevos géneros como: *Actinastrum sp.*, *Trichocoleus sp.*, *Amphora pediculus*, *Diatoma moniliformis*, *Diadismis contenta*, *Eolimna subminuscula* y *Fistulifera saprophila*. En 2011 los mismos autores realizaron un nuevo estudio tomando muestras de fitoplancton, filamentos y perifiton, los resultados obtenidos evidenciaron condiciones eutróficas.



Justificación

Dado a que aún es escasa la información que se tiene sobre la dinámica del fitoplancton de los ambientes acuáticos del Valle de México, específicamente en la zona metropolitana, donde no se han hecho suficientes investigaciones relacionados con estos organismos, en particular en los cuerpos de agua de la Reserva Ecológica del Pedregal del San Ángel, no se han hecho estudios para conocer su dinámica, el presente trabajo pretende contribuir con la caracterización limnológica y la variación espacio-temporal del fitoplancton en el periodo de junio del 2014 a mayo del 2015.

Objetivo general:

Determinar la variación espacio-temporal del fitoplancton en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad de México, de junio del 2014 a mayo del 2015.

Objetivos particulares:

- Determinación taxonómica y riqueza de especies del fitoplancton de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente durante el periodo de estudio.
- Determinar y comparar la composición, abundancia y distribución del fitoplancton entre los cuerpos de agua de la Cantera Oriente y su variación espacio-temporal durante el periodo de estudio.
- Determinar las variables físico-químicas (Visibilidad del disco de Secchi, temperatura, pH, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, conductividad (k25), nutrientes (nitrógeno y fósforo) y clorofila *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$)) de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, durante el periodo de estudio y su relación con el fitoplancton.



Área de estudio

La Cantera Oriente se localiza a un costado de la estación del Metro Universidad (Fig.1), es una de las 13 zonas de amortiguamiento de la REPSA: (Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel) sus coordenadas son 19° 19' 08" N, 99° 10' 24", forma parte del derrame lávico del volcán Xitle cuya fase eruptiva se desprende de la Sierra del Chichinautzin al originarse hace aproximadamente 2000 años. El origen de la Cantera Oriente es artificial, por medio de la explotación de material basáltico para la Ciudad de México lo cual provocó un alto impacto ambiental; posteriormente fue integrada a la REPSA bajo la supervisión de la UNAM, en donde realizaron una restauración para la conservación de la Biodiversidad mediante proyectos para contribución del conocimiento de la riqueza de la flora y fauna posterior al impacto y el manejo del sitio (Ortiz, 2007). Su uso está restringido para reducir el efecto de los disturbios antropogénicos sobre las zonas núcleo y se convierte en un magnífico laboratorio natural para la enseñanza (Lot, 2007 y Novelo, 2007).

La Cantera Oriente cuenta con un terreno de 206 000 m² rodeados por una pared de 30 m de altura formando un oasis dentro de la Ciudad de México; existen unidades ambientales que caracterizan a este lugar: paisajes lacustres y humedales, jardines, bosques, arbustos, y paisajes construidos (Fig. 1) (Lugo-Vazquez *et al.*, 2017).

Dentro de los paisajes lacustres y humedales, los cuerpos de agua se ubican en las porciones más bajas de la Cantera hacia el sur y al este, debido a la forma topográfica del lugar, estos suman una superficie total de 11,906.45 m² que representan el 14.36% del área total de la reserva (Ortiz, 2007).



Figura 1. Vista de la A) REPSA y la B) Cantera Oriente con los cuerpos de agua estudiados 1) Lago Norte, 2) Lago Centro, 3) Lago Sur, 4) Vaso Regulador y 5) Manantial.

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/@19.3171854,-99.1735417,964m/data=!3m1!1e3>



Materiales y Métodos

Trabajo de campo

El estudio se llevó a cabo en cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente, con muestreos mensuales en el periodo de junio del 2014 a mayo del 2015. Se establecieron 5 sitios de muestreo, los cuales se nombraron por su ubicación geográfica como: Lago Norte (1), Lago Centro (2), Lago Sur (3), Vaso Regulador (4) y Manantial (5) (Fig. 1 y 2).

Se obtuvieron muestras integradas de la columna de agua con un tubo muestreador de acrílico (26 mm de diámetro) en la parte central de cada lago; una porción de la muestra se colocó en frascos de plástico, para la determinación de nutrientes y clorofila *a*, conservándose en refrigeración para su procesamiento en el laboratorio. Otra porción se dividió en tres submuestras de 50 ml fijadas: en formol al 4%, en solución de Lugol y la tercera se conservó *in vivo* (Wetzel & Likens, 2000). Como apoyo para la identificación taxonómica se hizo un arrastre en cada lago, usando una red de fitoplancton de 25 μm de abertura de malla para su observación *in vivo*.

Se midieron *in situ* las variables ambientales: temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), conductividad K_{25} ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) y concentración y porcentaje de Saturación de Oxígeno (%) con una sonda multisensor YSI modelo 85; el pH con un potenciómetro Conductronic pH 10 y la visibilidad del disco de Secchi con un disco de 20 cm de diámetro.



Figura 2. Cuerpos de agua de la Cantera Oriente. A) Lago Norte. B) Lago Centro. C) Lago Sur. D) Vaso Regulador. E) Manantial.



Trabajo de laboratorio

En el laboratorio se determinaron las concentraciones de Fósforo Reactivo Disuelto (P-PO₄), por medio del método del ácido ascórbico; Fósforo total (PO₄⁻³ + P Orgánico) y Nitrógeno Total se realizaron mediante una digestión previa de la muestra utilizando persulfato de potasio en condiciones básicas (Valderrama, 1981). Posteriormente se midió el fósforo (como P-PO₄⁺³) y el nitrógeno (N-NO₃⁻¹) por los métodos del ácido ascórbico y de reducción de cadmio utilizando un laboratorio portátil de análisis de agua marca HACH modelo DREL/2000. El Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID) se calculó a partir de la suma de las concentraciones de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺¹ y N-NO₂⁻¹. Para la clorofila *a* se utilizó el método de extracción en frío (4°C) con acetona al 90% y la lectura de la concentración se realizó con un fluorómetro modelo 10-AU marca Turner Desings, según el método de Arar y Collins (1997).

Las muestras biológicas se revisaron con un microscopio Labomed. La identificación del fitoplancton se realizó utilizando las obras especializadas: John *et al.* (2011), Novelo (2012, fascículos 90, 94 y 102), Parra *et al.* (1983), Rivera *et al.* (1982), Wehr y Sheath (2003); para el sistema de clasificación y la actualización nomenclatural de los organismos se utilizó la base de datos de AlgaeBase (Guiry & Guiry, 1996-2017).

Se realizó la digitalización de imágenes de los organismos fitoplanctónicos con un microscopio Nikon eclipse E200 con el programa NIS-Elements BRTM de Nikon.

La cuantificación de los organismos se llevó a cabo por medio del método de Uthermöl (Wetzel y Likens, 2000) utilizando una cámara de sedimentación de 10 ml, un lapso de 24 h de sedimentación y un microscopio invertido marca Leica, modelo DMILL a un aumento de 20x. El número de células ml⁻¹ se obtuvo con la fórmula tomada de APHA (1985) contando un mínimo de 400 organismos de la especie más abundante, por lo que el intervalo de confianza para la estimación de la media fue de ± 10% (Wetzel y Likens, 2000). Solo se tomaron en cuenta células con contenido celular, omitiendo las células vacías y se realizó una base de datos utilizando la hoja de cálculo Excel 2010.

$$No. de organismos/ml = \frac{C \times At}{Af \times F \times V}$$



Dónde:

C= No. De Organismos contados

At= Área total de la base de la cámara de sedimentación, mm²

Af= Área de un campo

F= No. De campos contados

V= Volumen de la muestra sedimentada (ml)

Para el caso de los organismos coloniales y filamentosos se contaron las células de varias colonias y filamentos iguales para hacer el promedio de células en cada caso.

Análisis Estadísticos

Para la determinación de las especies más importantes, se realizaron las gráficas de frecuencia vs abundancia, homogenizando los datos con la fórmula $\log_{10}(n)$: donde las especies dominantes son de alta frecuencia y alta abundancia, las temporales de baja frecuencia y alta abundancia, las constantes de alta frecuencia y baja abundancia, y las raras de baja frecuencia y baja abundancia, durante el periodo de estudio. En estas gráficas se considera el porcentaje de frecuencia contra el logaritmo de la abundancia total de cada especie. Las líneas divisorias son las medias de los porcentajes de la frecuencia y del logaritmo del promedio de la abundancia total de las especies (García de León, 1988). También se realizó una lista de presencia-ausencia de las especies en cada lago.

Para la comparación de la composición de la comunidad de fitoplancton de cada lago se aplicó una prueba de análisis de similitud (ANOSIM) empleando el índice de Bray-Curtis y un nivel de probabilidad de 0.05. Los datos de abundancia de las especies fueron transformados al valor de su raíz cuadrada. Para establecer si había diferencias entre los datos por épocas en cada cuerpo de agua se usó la misma prueba de ANOSIM, pero en este caso los datos fueron divididos en dos grupos: época cálida lluviosa (junio a octubre de 2014 y mayo de 2015) y época seca-fría (noviembre de 2014 hasta abril de 2015). Para



establecer las épocas climáticas se usó la información de la precipitación pluvial mensual en el Distrito Federal para los años 2014 y 2015 (CONAGUA 2014, 2015).

Se realizó un Análisis de Correlaciones Canónicas (ACC) con los datos de abundancia de las especies y los valores de los parámetros físico-químicos, para buscar las relaciones directas de todos los datos entre sí con las variables ambientales y las especies. Para realizar estos dos últimos análisis se utilizó el paquete estadístico PAST ver. 3.11 (Hammer *et al.* 2001).



Resultados y discusión

Riqueza específica y abundancia

En los cinco cuerpos de agua se encontraron un total de 55 especies (Apéndice 1), distribuidas en 7 Phyla (Fig. 3): Chlorophyta con 17 géneros y 28 especies (50.9%), Bacillariophyta con 13 géneros y 17 especies (30.9%) , Cyanobacteria con 3 géneros y 4 especies (7.27%), Cryptophyta con 2 géneros y 2 especies (3.63%), Euglenophyta con 2 géneros y 2 especies (3.63%), Miozoa con un género y 1 especie (1.81%) y Ochrophyta con 1 género y 1 especies (1.81 %). El número de especies en cada lago varió ampliamente: el Norte presentó 52 especies, el Centro 35 especies, el Sur tuvo el valor mínimo con 34 especies y el Vaso Regulador y el Manantial presentaron valores intermedios con 38 y 41 especies, respectivamente.

Con base en la presencia-ausencia de las especies en los lagos, se calculó el índice de similitud de Jaccard (IJ). El valor más elevado (0.75) se encontró entre el lago Norte y el Manantial, mientras que la segunda mayor similitud fue entre el Manantial y el Vaso Regulador (0.72). Esta similitud se explicaría porque precisamente los lagos Norte y Vaso Regulador reciben directamente los aportes de agua que provienen de los manantiales, y es probable que varias especies de fitoplancton provengan precisamente de los canales que conducen el agua desde los manantiales hasta los lagos Norte y Vaso Regulador. Los valores más bajos de similitud se obtuvieron para el Manantial y el lago Sur (0.42) seguido del Manantial y el lago Centro (0.52). Esta diferencia puede atribuirse a la gran distancia que existe entre las condiciones ambientales de estos dos lagos -los más productivos- y el Manantial (agua con muy poco fitoplancton).

Para la Cantera Oriente, Novelo (2007-2009) y Ponce *et al.* (2010-2011) encontraron un total de 149 especies en la zona litoral y limnética de los lagos. En este trabajo se encontraron 31 especies que coincidieron con los anteriormente mencionados y 24 son nuevos registros considerando que se encontraron en la columna de agua, de las cuales *Amphora ovalis*, *Cyclotella sp*, *Navicula decussis*, *Pinnularia major* y *Stephanodiscus sp* son de ambientes de oligotróficos a mesotróficos y las 13 restantes son de ambientes mesotróficos a eutróficos (John *et al.* 2011; Novelo, 2012 fasc. 90, 94, 102), *Chlamydomonas reinhardtii*, *Coelastrum astroideum*, *Cryptomonas ovata*, *Desmodesmus*



bicaudatus, *Komma caudata*, *Mallomonas sp*, *Microcystis aeruginosa*, *Monomorphina nordstedtii*, *Monoraphidium griffithii*, *Monoraphidium sp*, *Peridinium sp*, *Pseudanabaena limnetica*, *Scenedesmus bijuga*, *Scenedesmus longispina*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus quadrispina*, *Scenedesmus sp 1* y *Scenedesmus sp 2*.

La riqueza del fitoplancton de los lagos estudiados es comparada con otros lagos urbanos donde coincidieron en que el grupo de las Chlorophytas fueron abundantes y diversas (Novoa, 2006; Oliva *et al.*, 2008; Mejía, 2013; Hernández, 2014 y García-Rodríguez, 2015).

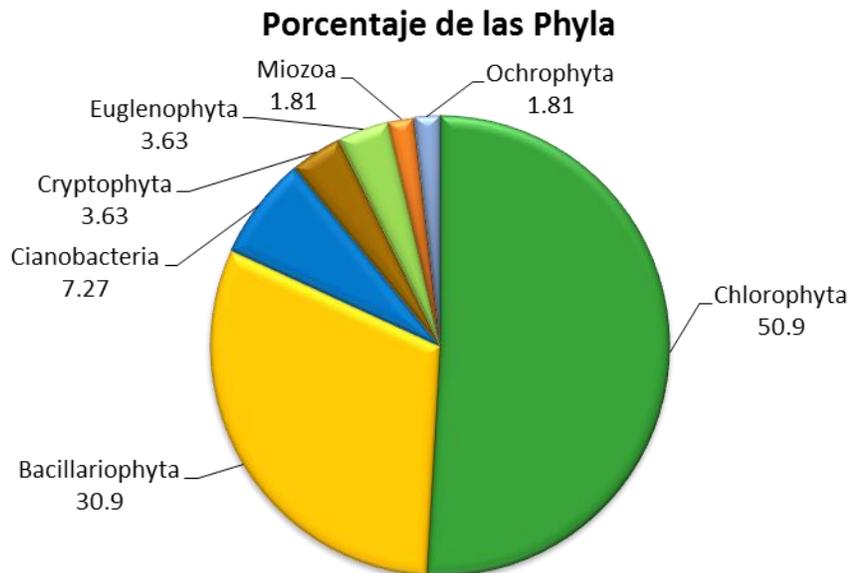


Figura 3. Contribución Porcentual de cada grupo algal al número total de especies encontradas en los cinco cuerpos de agua de la Cantera Oriente.



	Especies	Norte	Centro	Sur	V.R.	Manantial
1	<i>Achnanthes inflata</i>	R	R	-	-	R
2	<i>Actinastrum hantzschii</i>	D	D	R	R	R
3	<i>Acutodesmus acuminatus</i>	C	C	C	R	C
4	<i>Amphora ovalis</i>	R	-	-	C	R
5	<i>Aphanocapsa sp</i>	T	T	D	R	R
6	<i>Aulacoseira granulata</i>	C	C	-	C	R
7	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	D	D	C	C	D
8	<i>Cocconeis placentula</i>	R	-	-	-	C
9	<i>Coelastrum astroideum</i>	R	C	R	R	R
10	<i>Coelastrum microporum</i>	R	R	-	-	R
11	<i>Cryptomonas ovata</i>	C	D	C	C	C
12	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	D	D	R	D	D
13	<i>Cyclotella sp</i>	T	T	-	R	D
14	<i>Cymbella mexicana</i>	R	-	-	R	R
15	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	-	-	R	-	-
16	<i>Desmodesmus bicaudatus</i>	R	-	R	-	-
17	<i>Desmodesmus communis</i>	C	D	C	C	C
18	<i>Desmodesmus maximus</i>	C	C	C	D	C
19	<i>Desmodesmus opoliensis</i>	C	D	C	C	R
20	<i>Euglena sp</i>	C	-	-	-	R
21	<i>Fragilaria sp</i>	R				R
22	<i>Golenkinia radiata</i>	R	-	R	R	R
23	<i>Gomphonema acuminatum</i>	-	-	-	-	R
24	<i>Gomphonema clavatum</i>	R	-	-	R	C
25	<i>Gomphonema truncatum</i>	R	-	-	R	C
26	<i>Komma caudata</i>	D	C	C	C	C
27	<i>Lagerheimia longiseta</i>	R	R	R	-	-
28	<i>Mallomonas sp</i>	R	-	-	-	-
29	<i>Melosira varians</i>	R	-	-	R	C
30	<i>Micractinium pusillum</i>	R	R	R	-	-
31	<i>Microcystis aeruginosa</i>	T	T	D	T	T



32	<i>Microcystis novacekii</i>	T	T	D	T	-
33	<i>Monactinus simplex</i>	-	-	R	R	-
34	<i>Monomorphina nordstedtii</i>	R	R	-	-	-
35	<i>Monoraphidium spp</i>	C	C		R	R
36	<i>Monoraphidium griffithii</i>	C	C	R	R	-
37	<i>Navicula cf. decussis</i>	R	-	-	-	C
38	<i>Navicula sp</i>	R	-	-	R	R
39	<i>Oocystis marssonii</i>	R	R	R	R	-
40	<i>Pandorina morum</i>	R	R	R	C	R
41	<i>Peridinium sp.</i>	C	C	C	R	-
42	<i>Pinnularia major</i>	R	-	-	-	R
43	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	T	-	D	D	D
44	<i>Pseudopediastrum boryanum</i>	C	C	C	C	R
45	<i>Pteromonas aculeata</i>	C	C	R	R	R
46	<i>Scenedesmus bijuga</i>	R	R	R	R	R
47	<i>Scenedesmus longispina</i>	R	R	R	R	R
48	<i>Scenedesmus obliquus</i>	R	R	R	-	-
49	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	C	C	C	D	C
50	<i>Scenedesmus quadrispina</i>	R	R	R	-	-
51	<i>Scenedesmus sp 1</i>	C	C	C	R	R
52	<i>Scenedesmus sp 2</i>	R	-	R	-	-
53	<i>Stephanodiscus sp</i>	R	R	-	C	R
54	<i>Synedra acus</i>	C	C	-	R	R
55	<i>Ulothrix sp.</i>	R	-	R	D	D

Tabla 1. Listado de las especies de fitoplancton encontradas en los lagos de la Cantera Oriente. Las letras señalan su presencia y estatus en cada cuerpo de agua. D= dominante; C= constante; T= temporal; R= rara. - ausente



Dominancia de las especies

El análisis de los diagramas de frecuencia vs abundancia para cada lago mostró que en el Lago Norte (Fig. 4) se presentaron un total de 52 especies: 4 dominantes *Cyclotella meneghiniana*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Komma caudata* y *Actinastrum hantzschii*; 15 constantes, 5 temporales y 28 raras. Entre las temporales estuvieron *Aphanocapsa* sp, *Cyclotella* sp, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis novacekii* y *Pseudanabaena limnetica* (Tabla 1)

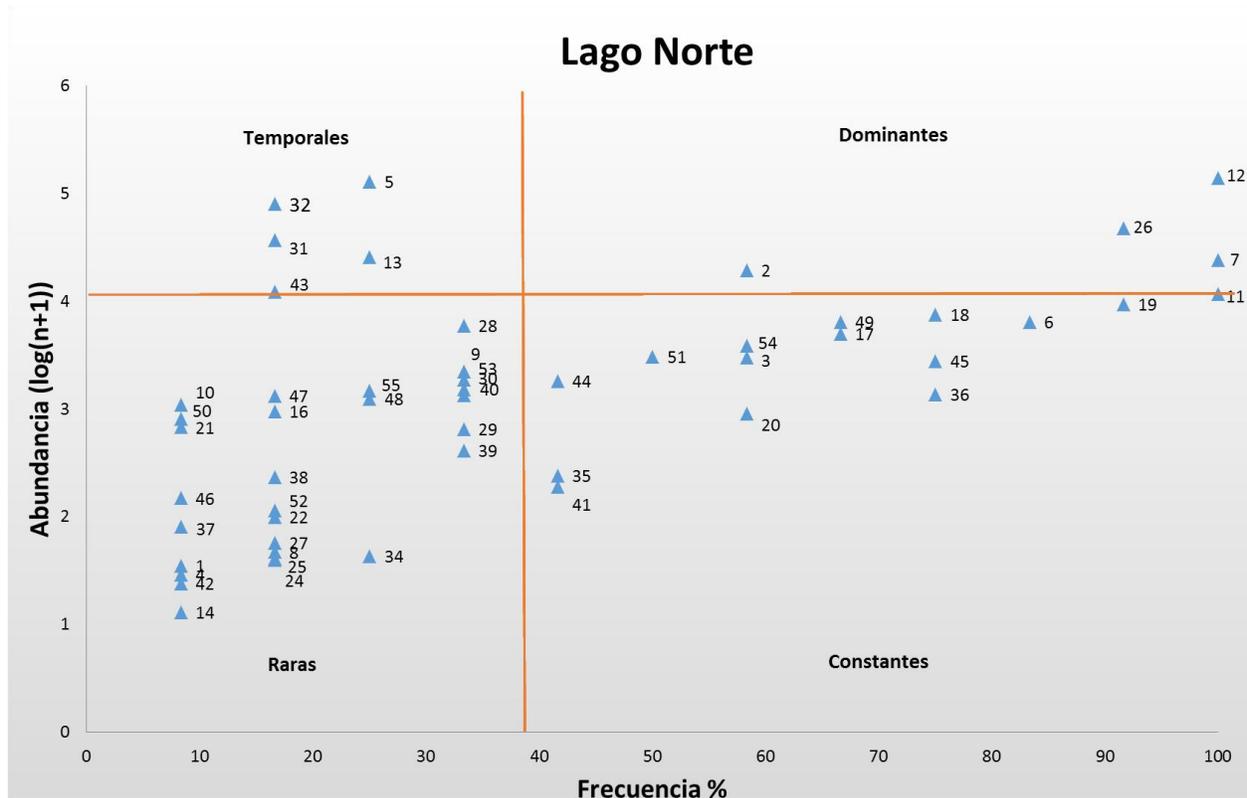


Figura 4. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Lago Norte. El número de la especie corresponde al de la tabla 1.



En el Lago Centro (Fig. 5) se encontró un total de 35 especies; 6 dominantes que fueron *Actinastrum hantzschii*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Cryptomonas ovata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Desmodesmus communis* y *Desmodesmus opoliensis*; 12 constantes; 4 temporales (*Aphanocapsa sp*, *Cyclotella sp*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis novacekii*) y 13 raras

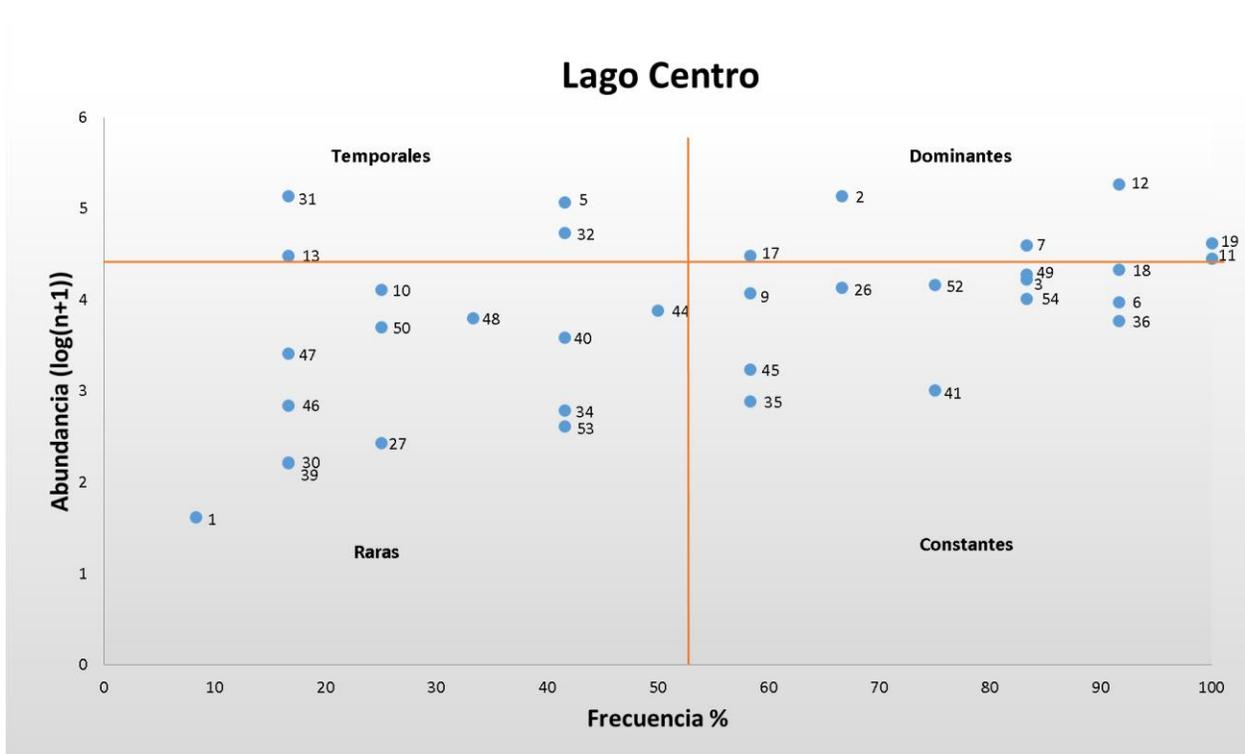


Figura 5. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Lago Centro.



En cuanto al Lago Sur (Fig. 6) se encontró un total de 34 especies con: 4 dominantes *Aphanocapsa* sp, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis novacekii*, y *Pseudanabaena limnetica*; 11 constantes y 19 raras. En este lago no se encontraron especies temporales (Tabla 1).

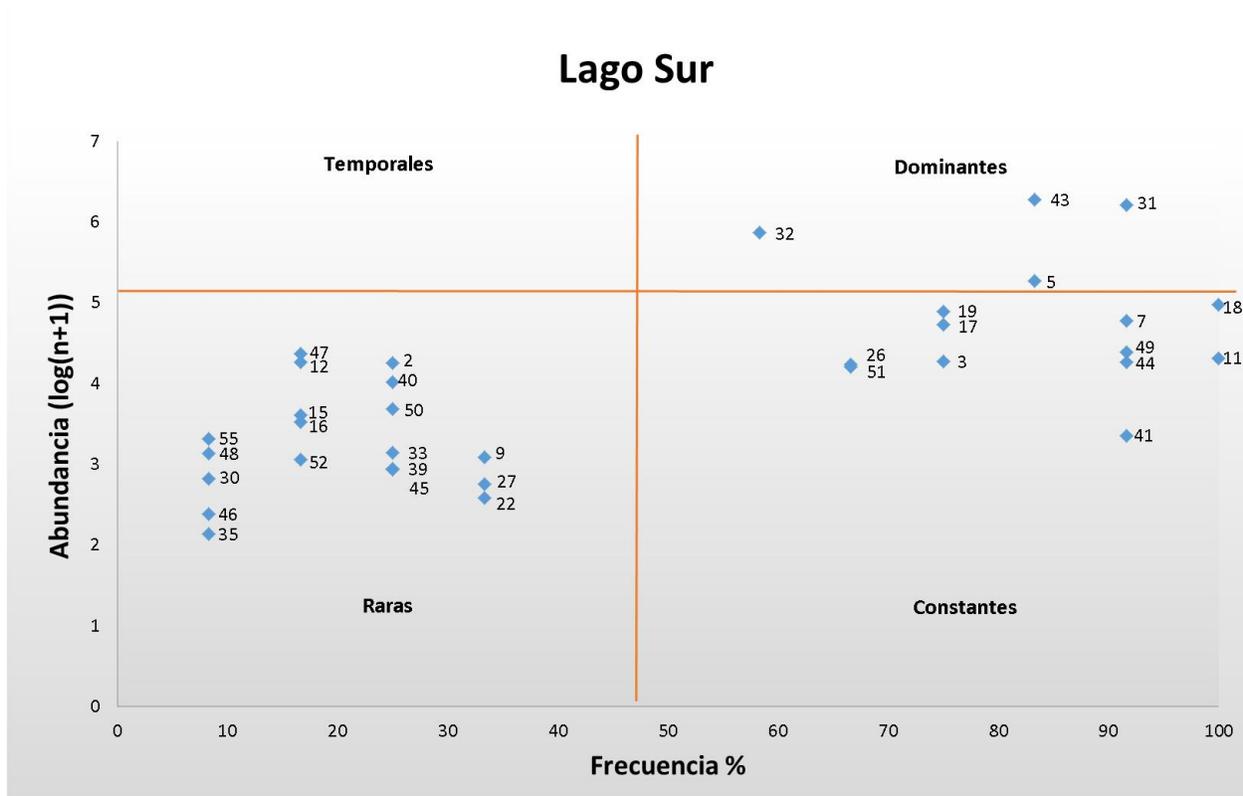


Figura 6. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Lago Sur.



En el Lago Vaso Regulador (Fig.7) se encontró un total de 38 especies: 5 dominantes *Cyclotella meneghiniana*, *Desmodesmus maximus*, *Pseudanabaena limnetica*, *Scenedesmus quadricauda* , *Ulothrix sp* ; 10 constantes; 2 temporales (*Microcystis aeruginosa* y *Microcystis novacekii*) y 21 raras (ver Tabla 1).

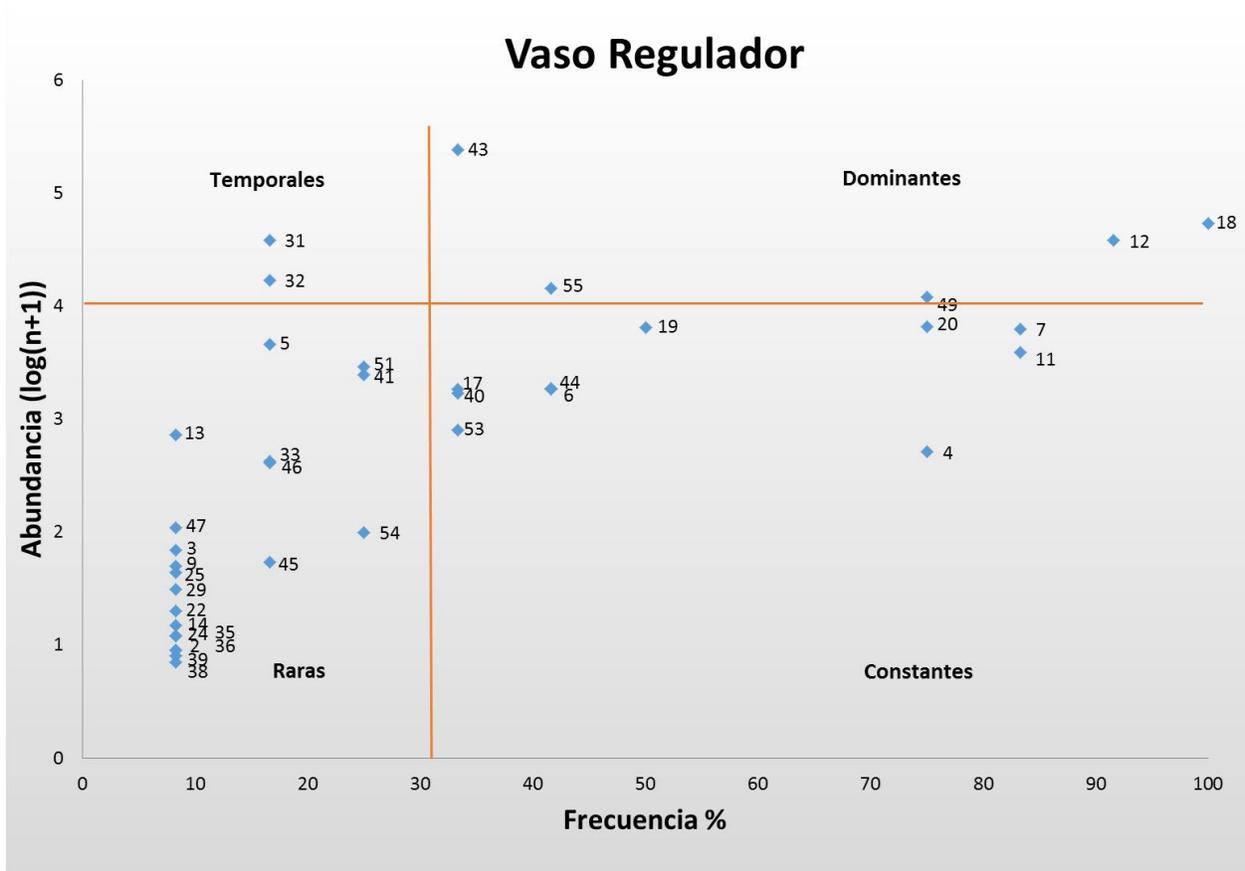


Figura 7. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Vaso Regulador.



Finalmente, en el Manantial (Fig. 8) se encontró un total de 41 especies, de las cuales 5 fueron dominantes *Chlamydomonas reinhardtii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella sp*, *Pseudanabaena limnetica* y *Ulothrix sp* ; 11 constantes; una temporal (*Microcystis aeruginosa*) y 24 raras (Tabla 1)

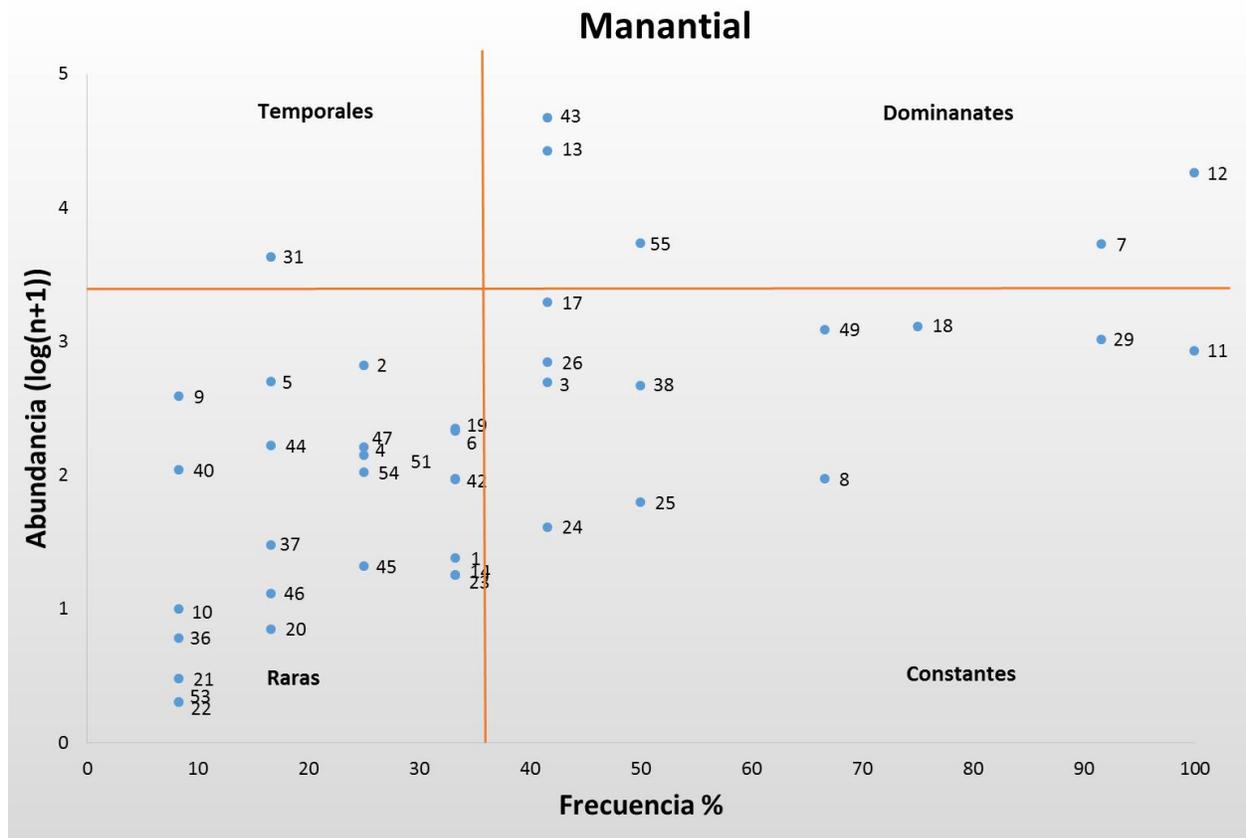


Figura 8. Diagrama de frecuencia vs abundancia de las especies de fitoplancton del Manantial.



La especie más importante en los lagos de la Cantera Oriente fue *C. meneghiniana* que estuvo presente en todos ellos y fue dominante en todos con excepción del Sur, donde resultó rara. *C. reinhardtii* dominó en los lagos Norte, Centro y Manantial y fue constante en el Sur y el Vaso Regulador. *P. limnetica* dominó en el Sur, Vaso y Manantial y fue temporal en el lago Norte; no se observó en el Centro. *Ulothrix* sp. dominó en el Vaso Regulador y en el Manantial, fue rara en el Sur y Norte y tampoco estuvo en el Centro. *A. hantzchii* resultó dominante en los lagos Norte y Centro, pero fue rara en los otros tres.

Un total de 19 especies se presentaron en los cinco cuerpos de agua. Entre ellas destacan, además de *C. meneghiniana*, *C. reinhardtii* y *A. hantzchii*, ya mencionadas, *A. acuminatus* que fue constante en todos y rara en Vaso Regulador, *Aphanocapsa* sp. que dominó en el Sur, fue temporal en el Norte y Centro y rara en el Vaso Regulador y Manantial; *M. aeruginosa* fue temporal en cuatro lagos y dominante en el Sur; *D. comunis* y *D. opoliensis* dominaron en el lago Centro y fueron constantes en el resto, mientras que *D. maximus* resultó dominante en el Vaso Regulador y constante en todos los demás. *K. caudata* dominó en el Norte y fue constante en los demás.

Doce especies fueron comunes a cuatro lagos. Destaca la diatomea *Cyclotella* sp. que dominó en el Manantial, fue temporal en el Norte y Centro y rara en el Vaso Regulador. *M. novacekii* que dominó en el Sur y fue temporal en el Norte, Centro y Vaso Regulador; *Peridinium* sp. que fue constante en Norte, Centro y Sur y rara en el Vaso. Otras 12 especies se presentaron en tres lagos y nueve especies se presentaron en únicamente dos lagos. Las especies que fueron exclusivas de un lago son: *D. pulchellum* (Sur), *G. acuminatum* (Manantial) y *Mallomonas* sp. (Norte)

García-Rodríguez *et al.* (2015) mencionan para el Lago urbano del Parque Alameda de la Solidaridad, Cuernaavaca, Morelos, que las abundancias más altas las registraron en el invierno y primavera. *Oocystis solitaria* y *Leptolyngbya* sp. fueron las especies dominantes. La variación de la ficoflora del lago presentó una sucesión temporal, presentándose especies frecuentes, temporales y raras o esporádicas. Y la abundancia, riqueza específica y las especies del fitoplancton, así como los valores obtenidos de los nutrientes, señalan al lago como un sistema hipertrófico.

Novelo *et al.* (2009) mencionan que en la Cantera Oriente 73 especies son cosmopolitas, 20 exclusivamente de la zona templada, 4 exclusivamente tropicales, 20 principalmente templadas con distribución restringida. *Pteromonas aculeata* es una especie raramente



registrada en las floras de casi todo mundo; en el presente estudio se presentó en todos los cuerpos de agua y resultó de presencia constante en los lagos Norte y Centro, y rara en los restantes.



Abundancia de especies

De las 55 especies de fitoplancton encontradas en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente las especies más abundantes e importantes fueron: *Cyclotella meneghiniana*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Komma caudata*, *Actinastrum hantzschii*, *Cryptomonas ovata*, *Desmodesmus communis*, *Desmodesmus opoliensis*, *Aphanocapsa sp.*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis novacekii*, *Pseudanabaena limnetica*, *Desmodesmus maximus*, *Scenedesmus quadricauda* y *Ulothrix sp.*

C. meneghiniana se presentó en los cinco cuerpos de agua durante todo el periodo de muestreo, con una abundancia de 102554 cel ml⁻¹ en el lago Centro en el mes de enero. *Chlamydomonas reinhardtii* se presentó en 3 de los sitios estudiados con abundancia de 13312 cel ml⁻¹ en el lago Centro en el mes de mayo. *Pseudanabaena limnetica* se presentó en 3 de los sitios estudiados con abundancia de 611247 cel ml⁻¹ en el lago Sur en el mes de enero. *Actinastrum hantzschii* se presentó en 2 de los sitios estudiados con abundancia de 104319 cel ml⁻¹ en el lago Centro en el mes de abril. *Scenedesmus quadricauda* se presentó en 2 de los sitios estudiados con abundancia de 3871 cel ml⁻¹ en el Vaso Regulador en el mes de junio. *Ulothrix* se presentó en 2 de los sitios estudiados con abundancia de 10761 cel ml⁻¹ en el Vaso Regulador en el mes de septiembre. *Komma caudata* se presentó en el lago Norte con abundancia de 31254 cel ml⁻¹ en el mes de abril. *Cryptomonas ovata* se presentó en el lago Centro con abundancia de 11070 cel ml⁻¹ en el mes de marzo. *Desmodesmus communis* se presentó en el lago Centro con abundancia de 6112 cel ml⁻¹ en el mes de febrero. *Desmodesmus opoliensis* se presentó en el lago Centro con abundancia de 11795 cel ml⁻¹ en el mes de diciembre. *Aphanocapsa* se presentó en el lago Sur con abundancia de 61125 cel ml⁻¹ en el mes de mayo. *Microcystis aeruginosa* se presentó en el lago Sur con abundancia de 374510 cel ml⁻¹ en el mes de septiembre. *M. novacekii* se presentó en el lago Sur con abundancia de 285249 cel ml⁻¹ en el mes de agosto. *Desmodesmus maximus* se presentó en el Vaso Regulador con abundancia de 8625 cel ml⁻¹ en el mes de diciembre.



Variación espacial del fitoplancton en los lagos

Para conocer si había diferencias significativas entre la composición (y densidad) de las comunidades de fitoplancton de los lagos, se aplicó un análisis de similitud (ANOSIM) usando el índice de comparación de comunidades de Bray-Curtis. El resultado fue que sí existieron diferencias significativas entre los lagos ($R= 0.6466$ $P= 0.0001$). Un análisis post-hoc indicó que todos los lagos tienen diferencias significativas entre ellos, es decir la composición y abundancia del fitoplancton en cada uno de ellos fue estadísticamente diferente.

Un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) permitió conocer las especies que en mayor medida causan las diferencias entre los lagos (Tabla 2). Un total de 12 especies resultaron cruciales para las diferencias. Entre ellas destacan las cianobacterias *P. limnetica*, *M. aeruginosa* y *M. novacekii*, que fueron especialmente abundantes en el lago Sur y que explican el mayor porcentaje de las diferencias con el resto de los cuerpos de agua. También la cianobacteria *Aphanocapsa* sp. dominó en el Sur y lo hizo diferente, especialmente del Vaso Regulador y Manantial. Otra especie que diferenció de forma importante fue la diatomea *C. meneghiniana*, que fue muy escasa en el lago Sur, pero abundante en el Norte, Vaso Regulador y Manantial. Las clorofitas también fueron abundantes y resultaron factores relevantes de diferencia: *A. hanzschii*, *D. maximus* y la crisofita *K. caudata*. La primera especie separó al lago Centro del Vaso Regulador y del Manantial. *D. maximus*, abundante en el Vaso Regulador, lo separó del Manantial, y *K. caudata* diferenció al lago Norte del Manantial. *D. opoliensis*, dominante en el Centro, contribuyó a hacerlo diferente del Manantial. *Cyclotella* sp., abundante en el Manantial, lo diferenció del lago Norte. Finalmente, la clorofita filamentosa *Ulothrix* sp. fue abundante en el Manantial y menos abundante en el Vaso Regulador.



Lago	Norte	Centro	Sur	Vaso
Norte				
Centro	79.5%			
Sur	91.7% <i>M. aeruginosa</i> <i>P. limnetica</i> <i>M. novacekii</i> <i>C. meneghiniana</i> 87.1%	87.3% <i>M. aeruginosa</i> <i>P. limnetica</i> <i>M. novacekii</i> <i>Aphanocapsa sp</i> 80.4%		
Vaso	84.5% <i>P. limnetica</i> <i>C. meneghiniana</i> <i>M. novacekii</i> <i>Aphanocapsa sp.</i> <i>D. maximus</i> 60.7%	86.2% <i>P. limnetica</i> <i>C. meneghiniana</i> <i>Aphanocapsa sp.</i> <i>M. aeruginosa</i> <i>A. hantzschii</i> <i>M. novacekii</i> 61.1%	90% <i>M. aeruginosa</i> <i>P. limnetica</i> <i>M. novacekii</i> <i>Aphanocapsa</i> 87.9%	
Manantial	87.7% <i>C. meneghiniana</i> <i>M. novacekii</i> <i>Aphanocapsa sp.</i> <i>K. caudata</i> <i>P. limnetica</i> <i>Cyclotella sp.</i> 60.7%	93.4% <i>C. meneghiniana</i> <i>Aphanocapsa sp</i> <i>Ac. hantzschii</i> <i>M. novacekii</i> <i>M. aeruginosa</i> <i>D. opoliensis</i> <i>C. reinhardtii</i> 61%	97.6% <i>M. aeruginosa</i> <i>P. limnetica</i> <i>M. novacekii</i> <i>Aphanocapsa</i> 86.7%	87.1 <i>P. limnetica</i> <i>D. maximus</i> <i>C. meneghiniana</i> <i>M. aeruginosa</i> <i>Ulothrix sp.</i> 73.1%

Tabla 2. Resultados del análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) entre los lagos. El valor superior de cada cuadro es el porcentaje total de la diferencia entre los cuerpos de agua. Las especies de cada cuadro son las que contribuyen en mayor medida a la diferencia (orden descendente de importancia). El porcentaje inferior es la suma de la diferencia porcentual acumulada aportada por las especies del cuadro.



Para establecer si había diferencias en las comunidades de fitoplancton entre la época de lluvias (junio a octubre de 2014 y mayo de 2015) y la de secas (noviembre a abril de 2015) se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) utilizando el índice de similitud de comunidades de Bray-Curtis. El análisis arrojó que sí hay diferencias significativas entre las épocas ($R=0.5615$ $p= 0.0001$) cuando se comparan los diferentes lagos, pero un análisis post-hoc mostró que al comparar las épocas en un mismo lago no existieron diferencias significativas en ningún caso (Norte $R=0.137$ $P=0.09$; Centro $R= 0.0537$ $P= 0.2829$; Sur $R= -0.042$ $P= 0.5316$; Vaso $R= -0.081$ $P=0.7319$ y Manantial $R=0.1019$ $P= 0.1652$). Lo anterior señala que la composición de la comunidad de fitoplancton en cada lago no presentó un cambio significativo entre las dos épocas climáticas a lo largo del estudio.



Variación temporal de las especies

A pesar de la falta de significancia de la variación temporal de la comunidad de fitoplancton de cada lago, la variación de algunas especies fue notable. Para el análisis de la variación temporal de cada lago, se tomaron en cuenta las especies dominantes y temporales; en el caso del Lago Norte se presentaron 4 especies dominantes y 5 temporales. Las especies dominantes se comportaron de la siguiente forma (Fig. 9): *A. hantzschii* tuvo mayor abundancia en el mes de abril; *C. reinhardtii* fue una especie constante aunque con picos ligeros en el mes de febrero y mayo; *C. meneghiniana* tuvo un comportamiento muy variable con picos en junio, agosto, enero, febrero y abril; *K. caudata* con su mayor pico en abril; entre las constantes, *Aphanocapsa sp* fue más abundante en septiembre; *Cyclotella sp* tuvo dos picos en enero y abril; *M. aeruginosa* tuvo picos en junio y enero; *M. novacekii* tuvo dos picos en agosto y mayo; *P. limnetica* con mayor abundancia en abril.

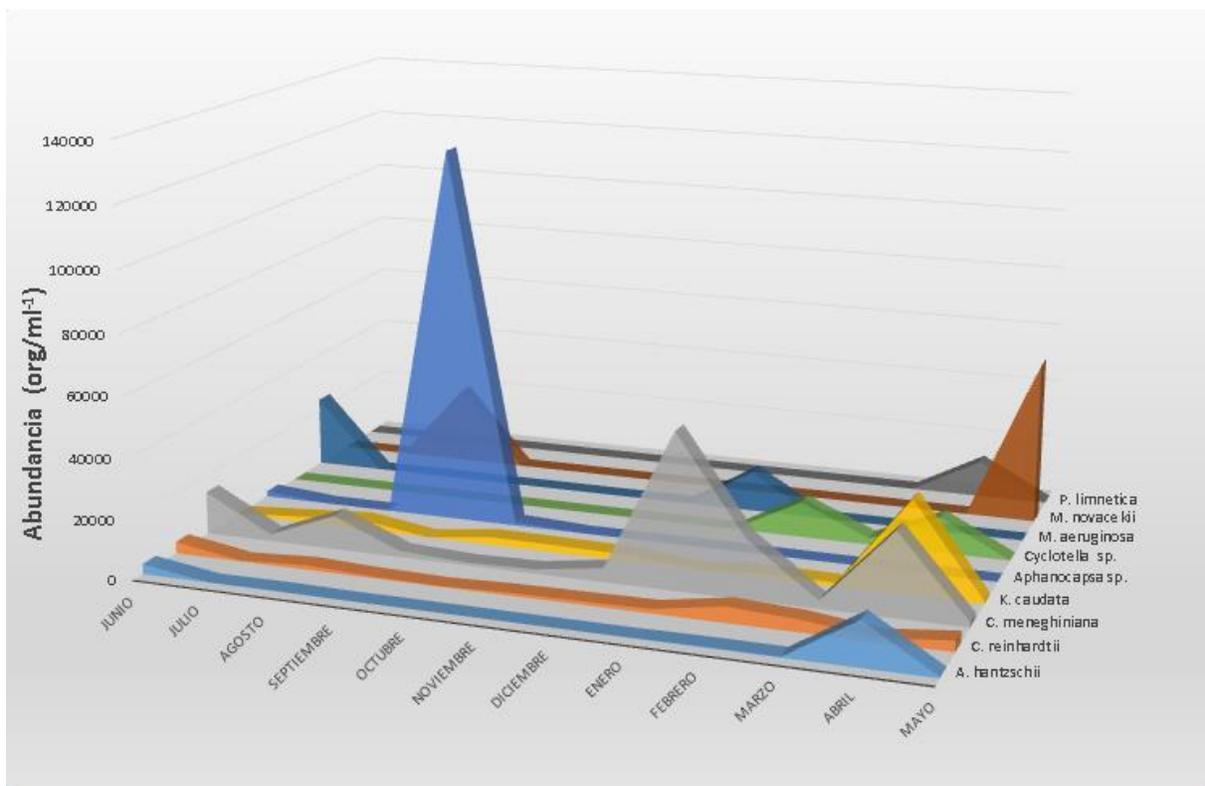


Figura 9. Gráfica de la Variación temporal de las especies dominantes y temporales de fitoplancton del Lago Norte.



En el Lago Centro (Fig.10) dominaron *A. hantzschii*, que tuvo las mayores abundancias en marzo, abril y mayo, *C. reinhardtii* fue una especie siempre presente, con mayor abundancia en mayo; *C. ovata* fue más abundante en marzo y mayo; *C. meneghiniana* tuvo mayores abundancia en agosto, septiembre, enero, febrero y abril; *D. communis* fue más constante con mayores abundancias en febrero, marzo y mayo; *D. opoliensis* tuvo un pico en diciembre Entre las temporales se observa que *Aphanocapsa sp.* tuvo mayor abundancia en septiembre y octubre; *Cyclotella sp.* tuvo mayor abundancia en enero y abril; *M. aeruginosa* fue más abundante en agosto; *M. novacekii* fue más abundante en junio y marzo.

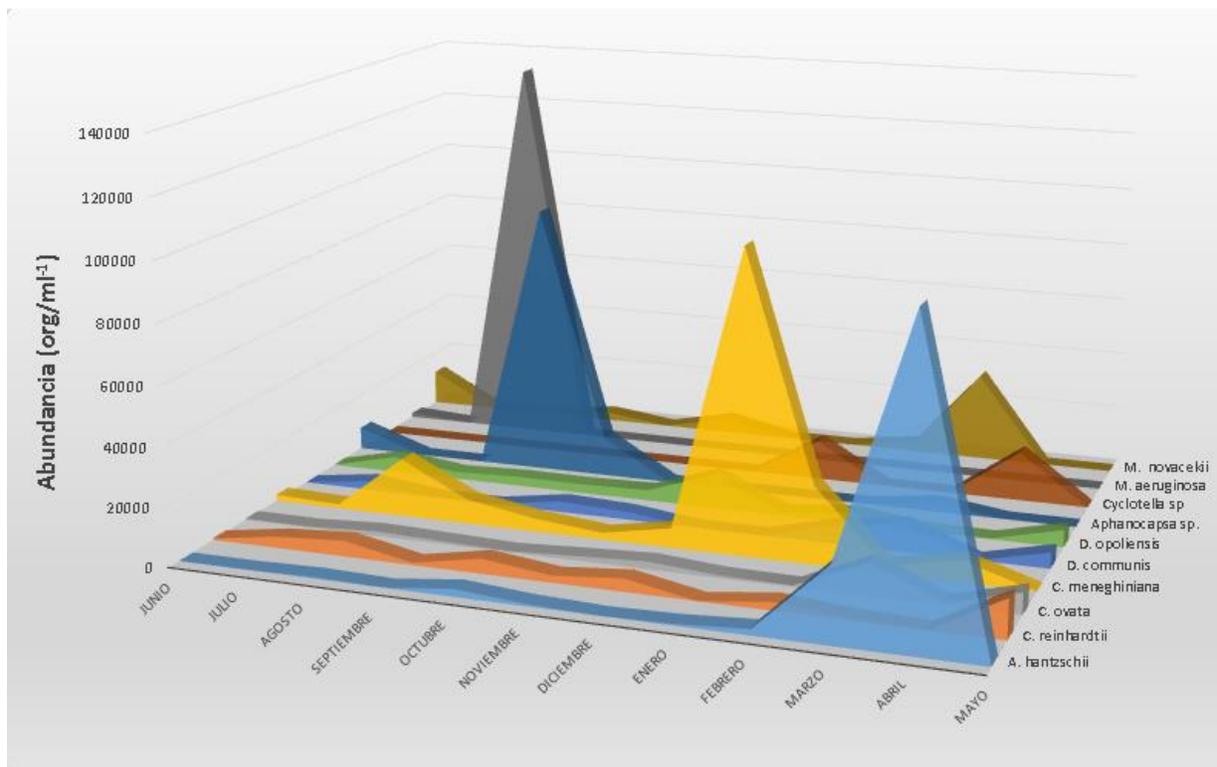


Figura 10. Gráfica de la Variación temporal de las especies dominantes y temporales de fitoplancton del Lago Centro.



En el Lago Sur no se presentaron especies temporales, en la Fig. 11 se muestran las especies dominantes, que fueron: *Aphanocapsa sp* fue más abundante en julio, noviembre y mayo; *M. aeruginosa*, presentó su mayor abundancia en agosto y septiembre, un descenso en octubre y un crecimiento continuo hasta llegar alcanzar un pico de mayor abundancia en mayo; *M. novacekii* presentó mayores picos en junio, agosto, octubre, diciembre, febrero y abril; *P. limnetica* tuvo mayores abundancias en julio, enero y abril.

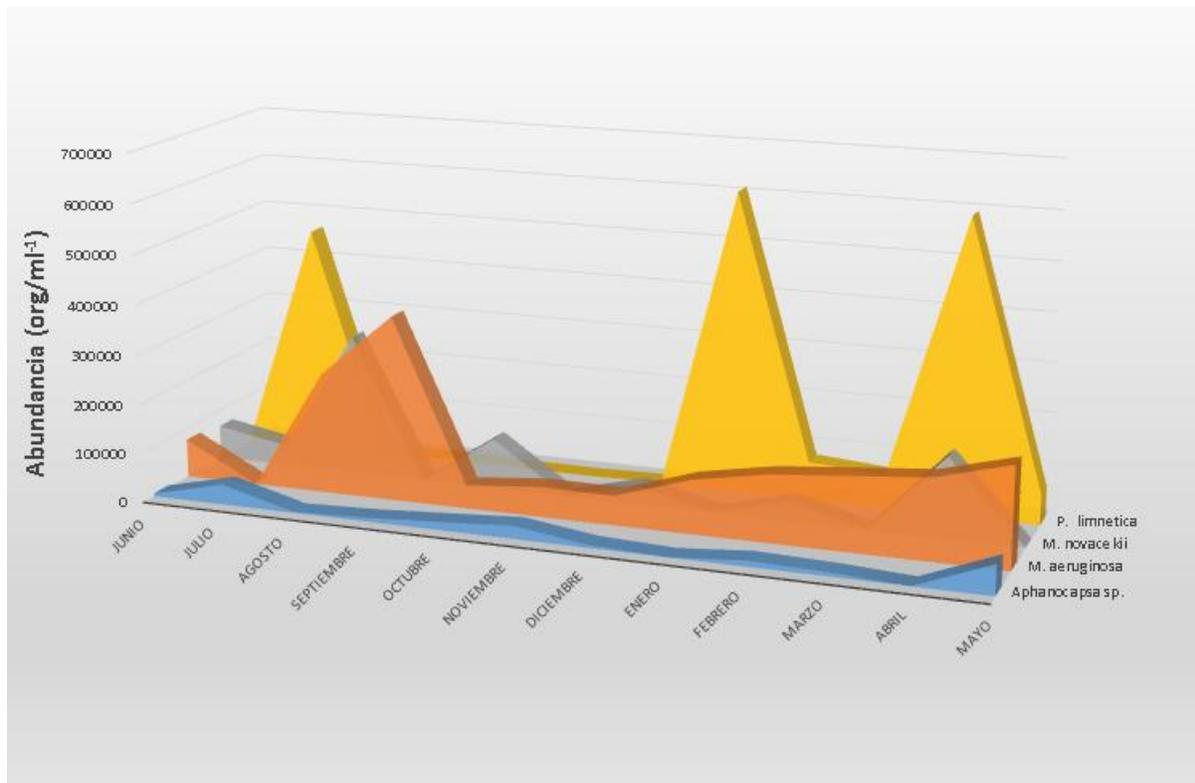


Figura 11. Gráfica de la Variación temporal de las especies dominantes y temporales de fitoplancton del Lago Sur.



En el Vaso Regulador (Fig. 12) *C. meneghiniana* fue abundante en junio, agosto y diciembre; *D. maximus* fue una especie dominante, presentado sus picos de abundancia en julio y diciembre; *P. limnetica* fue más abundante en enero, febrero, abril y mayo; *S. quadricauda* fue un especie constante con sus picos de abundancia en junio y septiembre; *Ulothrix sp.* fue más abundante en septiembre; de las especies temporales, *M. aeruginosa* tuvo mayor abundancia en diciembre y *M. novacekii* fue más abundante en febrero.

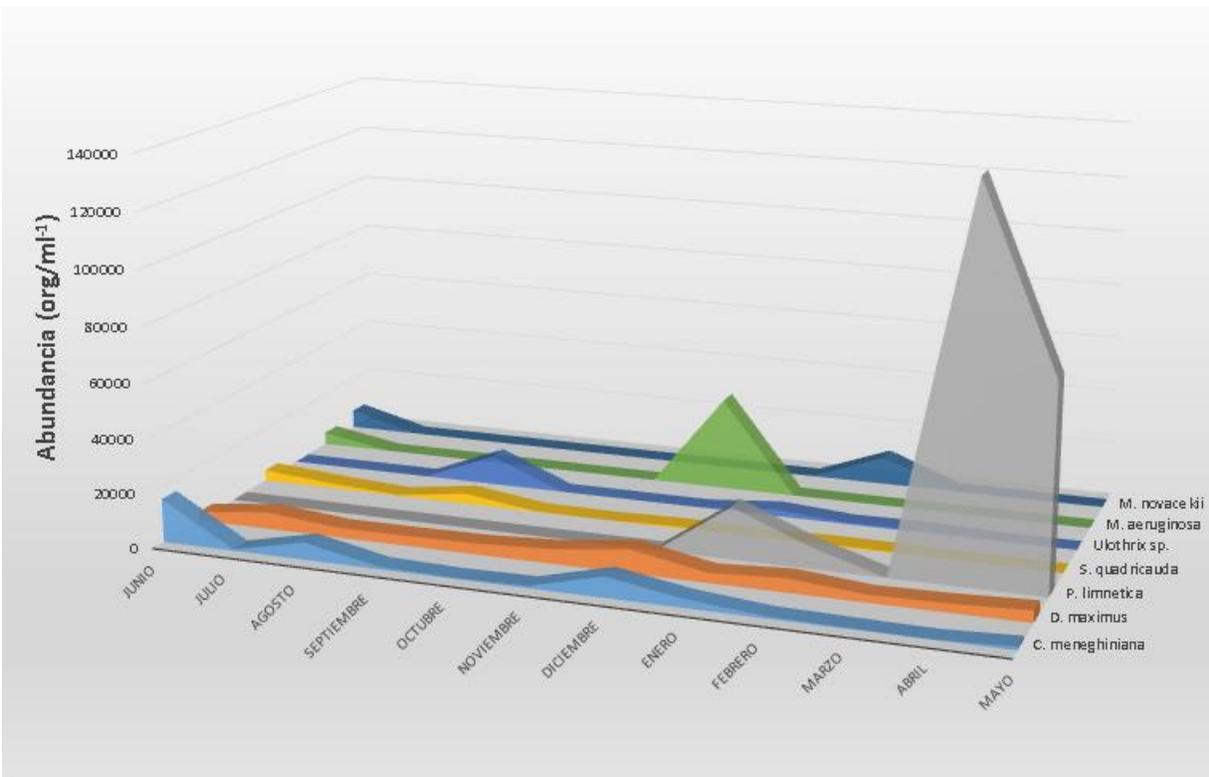


Figura 12. Gráfica de la Variación temporal de las especies dominantes y temporales de fitoplancton del Vaso Regulador.



En el Manantial (Fig. 13) *C. reinhardtii* fue una especie dominante con sus picos en diciembre y febrero; *C. meneghiniana* fue más abundante en junio, enero, abril y mayo; *Cyclotella* sp. tuvo mayor abundancia en marzo y mayo; *P. limnetica* fue más abundante en febrero y mayo; *Ulothrix* sp. fue más abundante en marzo y mayo; *M. aeruginosa*, fue más abundante en enero.

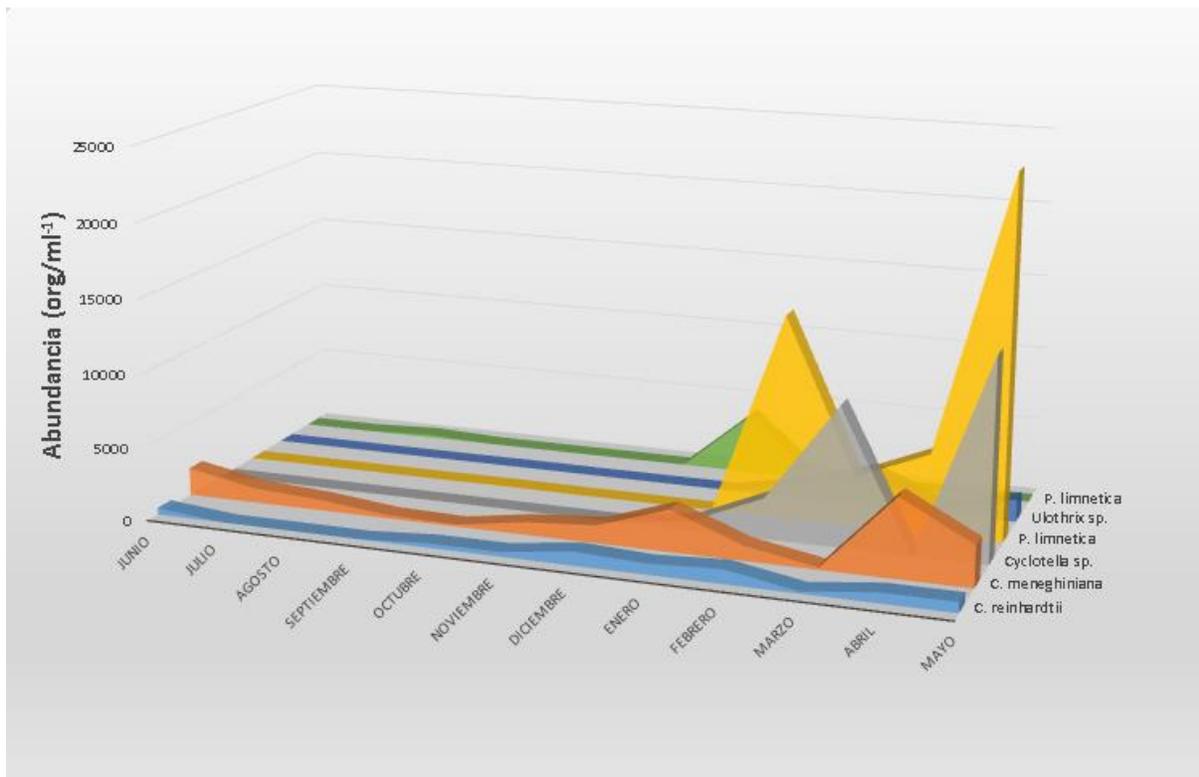


Figura 13. Gráfica de la Variación espacio-temporal de las especies dominantes y temporales de fitoplancton del Manantial.



Variación espacio-temporal de los parametros fisicoquímicos

Para comparar las condiciones ambientales entre los lagos se aplicó un análisis no paramétrico de PERMANOVA empleando la distancia Euclidiana. El resultado fue que existieron diferencias significativas en las condiciones ambientales de todos los lagos ($F=63.63$ $P= 0.0001$). Mediante una prueba post-hoc se determinó que las condiciones ambientales entre todos los lagos fueron diferentes, como se muestra en la Tabla 3.

Lagos	Norte	Centro	Sur	Vaso Reg.
Norte				
Centro	$F=30.11$ $P=0.0001$			
Sur	$F=61.22$ $P=0.0001$	$F=12.21$ $P=0.0002$		
Vaso Reg.	$F=7.381$ $P=0.0034$	$F=49.35$ $P=0.0001$	87.49 0.0001	
Manantial	$F=32.46$ $P=0.0001$	$F=207.4$ $P=0.0001$	310.1 0.0001	$F=26.2$ $P= 0.0001$

Tabla 3. Valores de F y probabilidad del análisis de PERMANOVA con distancias euclidianas para la comparación de las condiciones ambientales (datos transformados logarítmicamente) entre los lagos de la Cantera Oriente

Un análisis similar, pero ahora dividiendo los datos de cada lago por épocas (cálida-lluviosa y fría seca) mostró que también hubo diferencias significativas entre las épocas cuando se compararon entre los lagos ($F=29.2$ $P=0.0001$); pero la comparación de las épocas para cada uno de los lagos no presentó diferencias significativas en ningún caso: Norte $F=0.5018$ $P= 0.5519$; Centro $F= 0.4739$ $P= 0.6609$; Sur $F= 0.6055$ $P=0.5656$; Vaso Regulador $F= 2.274$ $P= 0.1389$ y Manantial $F= 2.013$ $P= 0.1481$. Lo anterior significa que las épocas del año no tuvieron una influencia significativa sobre las condiciones ambientales de cada cuerpo de agua, por lo que no existieron diferencias significativas entre las variables ambientales de las dos épocas.



Temperatura

Los valores de la temperatura de la columna de agua de los cinco cuerpos de agua, se comportaron de manera similar a lo largo del tiempo mostrando una ligera diferencia entre la época de lluvias y de secas con intervalos de 13.3 °C a 20.9 °C pero con diferencia no significativa, con variaciones constantes entre los cuerpos de agua en los meses de junio a septiembre marcando la temporada de lluvias, seguido de un descenso en el mes de octubre hasta diciembre y enero marcando la temporada de secas, y comenzando el ciclo en el mes de marzo con el aumento de temperatura en el mes de mayo. El Lago Norte con un máximo de 18.5°C (junio) y un mínimo de 13.3°C (enero); el Lago Centro con 19.7°C (mayo) y 14.7°C (enero); en el Lago Sur con 20.9°C (mayo) y 16.1 (diciembre); el Vaso Regulador con 19.5°C (mayo) y 16.5°C (enero) y en el Manantial con 17.8°C (septiembre) y 16.2°C (diciembre) (Fig. 14).

Novelo *et al.* (2007) reportaron para el Lago Centro un intervalo de 14.6-20.0°C, Ponce *et al.* (2011) en este mismo lago registraron una temperatura de 22.9°C. En este estudio en el Lago Centro se registraron intervalos similares a los anteriormente mencionados. En el Manantial Novelo *et al.* (2007) registraron una temperatura (puntual) de 10.9°C. Ponce *et al.* (2010 y 2011) en Manantial registraron mayores temperaturas de 16.8°C a 17°C respectivamente, por lo que puede observar que la temperatura ha ido en aumento con intervalos de 16.2 a 17.8°C registrados en el presente trabajo.

En cuanto al Lago Norte se presentaron temperaturas de 13.3°C en el mes de enero y 18.5°C en junio, Ponce *et al.* (2010) registraron 18.7°C en el mes de agosto y en el 2011 una temperatura de 22.9°C; probablemente el hecho de que estos autores obtuvieron sus muestras de la zona litoral es la explicación de la diferencia.

En el Lago Sur el intervalo de temperatura fue de 16.1°C en febrero y 20.9°C en mayo, Ponce *et al.* (2011) registraron valores similares.

Por su ubicación latitudinal, los cuerpos de agua de la Cantera Oriente pueden considerarse templados, aunque por su altitud y por los valores de temperatura registrados, realmente se comportan como subtropicales como presentan también medias poco elevadas también se considerarían subtropicales por presentar intervalos de temperatura de 13.3 °C a 20.9 °C, se menciona que estos tipos de cuerpos de agua representan ligeros cambios no tan



evidentes pero uniformes en la temperatura a los largo de todo el año que puede favorecer o no al crecimiento algal (Bermúdez, 2010; Mórían, 2010)

Casas (2012) menciona que la temperatura puede ser influenciada por: la profundidad, como en estos cuerpos de agua que son someros en donde a menor profundidad mayor será la temperatura; el color de fondo es de gran importancia en lagos someros, en este caso los fondos oscuros, por lo que pueden absorber mayor de cantidad de radiación solar incidente, lo cual hace que se eleve la temperatura del agua. Las corrientes, que facilitan la mezcla de las capas superficiales del agua con el fondo, lo cual permite la homogenización de la temperatura. La concentración de materia orgánica y su descomposición genera calor provocando un incremento de la temperatura. Otro factor que puede influir en la temperatura del agua es la vegetación circundante, ya que puede producir sombras evitando que los rayos solares lleguen directamente a los cuerpos de agua provocando una disminución de la temperatura, los lagos de la Cantera se encuentran rodeados principalmente de árboles y arbustos. Debido a que los lagos de la Cantera Oriente son poco profundos no se puede observar gradientes verticales marcados de la temperatura (Morlán, 2014).

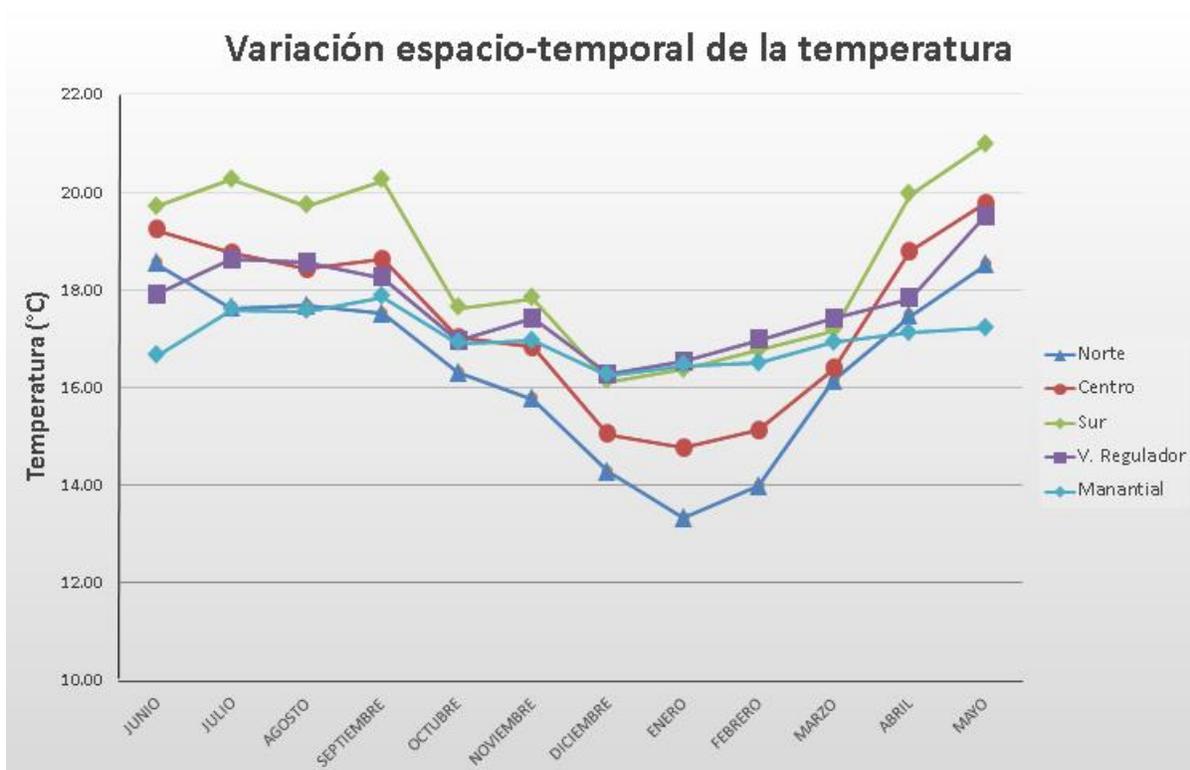


Figura 14. Gráfica de la Variación espacio-temporal de la temperatura de todos los cuerpos de agua.



Conductividad

La conductividad de la columna de agua de los cinco cuerpos de agua, se comportó de la misma manera a lo largo del tiempo, de junio a agosto descendieron, para septiembre se presentaron variaciones entre los lagos, de noviembre a febrero se registró un aumento constante, en el mes de marzo los lagos Norte y Centro y Manantial siguieron aumentando, en cuanto a los lagos Sur y Vaso Regulador tuvieron un descenso para abril, para el mes de mayo todos los cuerpos de agua volvieron a tener un aumento. El Lago Norte presentó una mayor conductividad de $480 \mu\text{S cm}^{-1}$ (marzo) y una menor de $374 \mu\text{S cm}^{-1}$ (agosto), en el Lago Centro con $472 \mu\text{S cm}^{-1}$ (marzo) y $331 \mu\text{S cm}^{-1}$ (septiembre) siendo el valor más bajo de los cuerpos de agua, en el Lago Sur con $421 \mu\text{S cm}^{-1}$ (marzo) y $340 \mu\text{S cm}^{-1}$ (octubre), en el Vaso Regulador con $433 \mu\text{S cm}^{-1}$ (mayo) y $364 \mu\text{S cm}^{-1}$ (agosto) y en Manantial con $491 \mu\text{S cm}^{-1}$ (mayo) el cual fue el valor más alto de los cuerpos de agua y $371 \mu\text{S cm}^{-1}$ (octubre) (Fig. 15). Se observa la disminución de la conductividad en la época de lluvias, debido a la disminución de la concentración de las sales por el incremento de la precipitación, dando como resultado valores menores de la conductividad. Por el contrario,

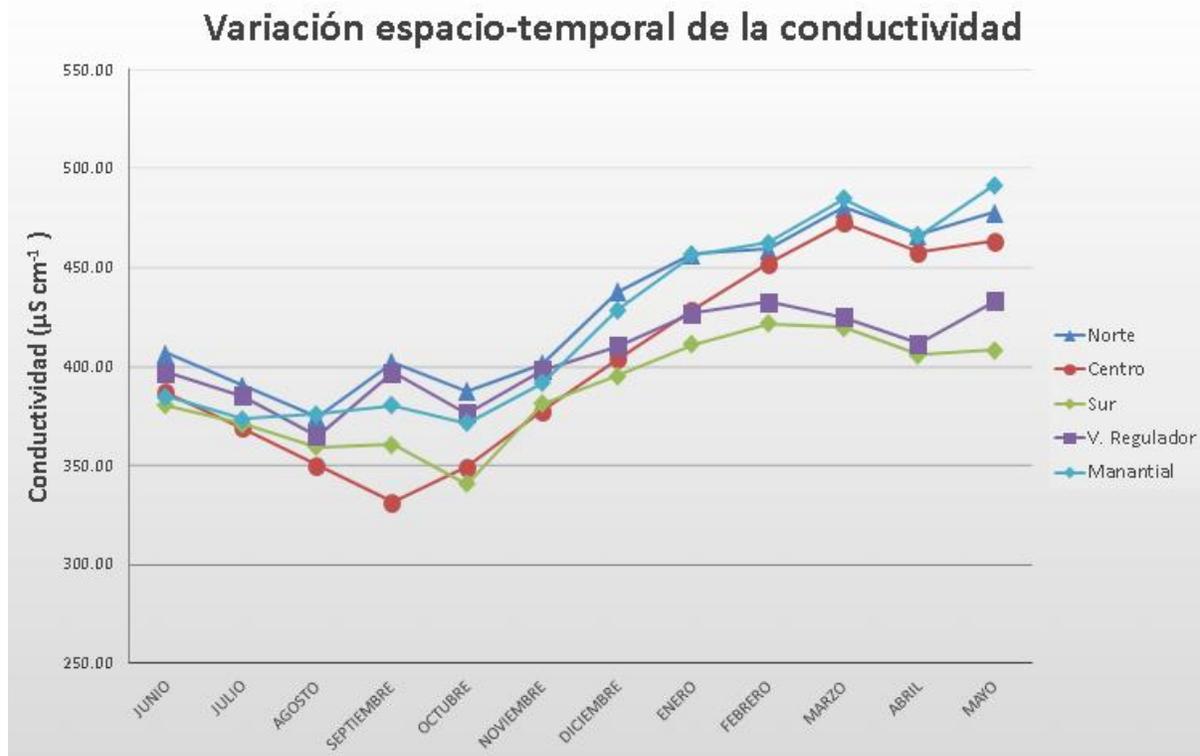


Figura 15. Gráfica de la Variación espacio-temporal de la conductividad de todos los cuerpos de agua.



en la época de secas, al disminuir el nivel del agua de los lagos por la baja precipitación y el aumento de la evaporación, se provoca que la concentración de las sales aumente y se registren valores mayores de la conductividad (Morlán, 2014).

Aunque las diferencias entre los cuerpos de agua son aproximadamente de $100 \mu\text{S cm}^{-1}$, no se considera que existan diferencias importantes entre los cinco cuerpos de agua. En el lago urbano Tezozómoc, llenado con aguas residuales tratadas, se han registrado valores más altos de este parámetro tales como Cortés (2017) con $748 \mu\text{S cm}^{-1}$ a $1029 \mu\text{S cm}^{-1}$, Mejía (2013) con valores promedio de $1222 \mu\text{S cm}^{-1}$, Morlán (2010) $1300\text{-}1914 \mu\text{S cm}^{-1}$, Verver y Vargas (2005) $600\text{-}1000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Las bajas concentraciones de la conductividad en los lagos de la Cantera pueden deberse al tipo de suelo y rocas en donde se ubican estos cuerpos de agua ya que en su mayoría son de origen volcánico y no fácilmente mineralizables.



Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto

El porcentaje de saturación de oxígeno en la columna de agua se comportó muy variable en cada uno de los lagos a lo largo del tiempo, sin marcar una temporalidad aparente, observando un comportamiento particular para cada uno. En el mes de octubre la mayoría de los cuerpos de agua presentaron sus menores valores, excepto en el Manantial que se mantuvo más constante a lo largo del tiempo (100 % en mayo y 74.5% en junio), esto puede deberse a que el agua proviene de un manantial natural que brota de las paredes de material volcánico de la Cantera Oriente, por lo cual, no hay mucho contacto con el oxígeno del ambiente, y no hay mucha actividad biológica, ya que no le da tiempo de producirse debido a que no permanece mucho tiempo en el sitio, porque abastece a algunos cuerpos de agua de la Cantera (Fig. 16). Sin embargo, el hecho de que exista una buena saturación de oxígeno en el Manantial indica que el agua que brota por él debe tener contacto con la atmósfera antes de salir desde la roca.

El Lago Norte presentó un descenso de junio a octubre con un valor menor de 67 % y un aumento hasta febrero con 223 %; posteriormente un descenso hasta mayo. En el Lago Centro sus valores no variaron muy intensamente, teniendo el menor valor en octubre (156 %) seguido de un aumento hasta febrero de 223 % y con un descenso hasta abril y aumentando en mayo. En el Lago Sur tuvo menor variación de junio a agosto con un aumento y un descenso hasta octubre con el menor valor de 179 %, seguido de un aumento en noviembre, un descenso hasta enero y un aumento en febrero con el mayor valor de 237.1% y volviendo a descender en marzo y aumentando hasta mayo. En el Vaso Regulador tuvo mayor variación en el tiempo con un valor mayor de 237.0% en mayo y un valor menor de 107.5% en octubre. La variación en los datos está asociada a la cantidad de organismos fitoplanctónicos y a la actividad fotosintética en cada cuerpo de agua, en particular en los lagos Centro y Sur que presentan mayor cantidad de estos organismos y una fotosíntesis más intensa (Fig. 16).

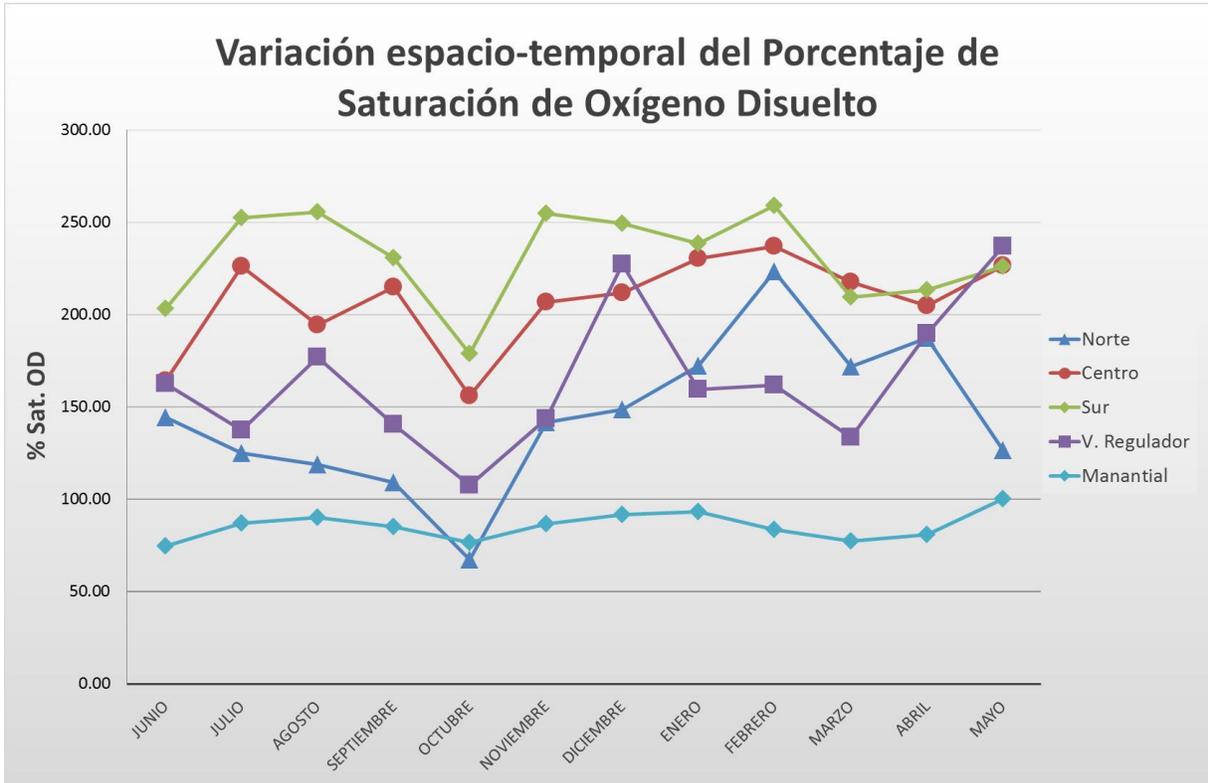


Figura 16. Gráfica de la Variación espacio-temporal del Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto de todos los cuerpos de agua.



pH

Los valores de pH de la columna de agua de los 5 cuerpos de agua fueron de ligeramente ácidos a básicos, con variaciones particulares en cada lago; esto puede ser debido a la actividad fotosintética del fitoplancton, que al consumir altas cantidades de CO₂ disminuye su concentración en el agua y genera iones hidróxido, estas condiciones se presentan en lagos muy productivos (Margalef, 1995; Wetzel, 2000; Verver y Vargas, 2005; Rodríguez, 2006; Morlán, 2010; Jaramillo, 2012 y Mejía, 2013).

Como en el caso de los lagos Centro y Sur que presentaron valores de 8.2 (junio) y 9.09 (septiembre), y 8.68 (mayo) y 9.74 (julio) respectivamente, fueron los valores más altos de los 5 cuerpos de agua y también mostraron las mayores abundancias de fitoplancton. Para los lagos que mostraron más variación, como el Norte, que presentó valores de 6.6 (octubre) y 8.2 (abril), y en el Vaso Regulador con un comportamiento similar al Norte con valores de 7.2 (octubre) y 8.7 (diciembre) los cuales pueden estar relacionados con la entrada directa de las aguas de los manantiales a estos cuerpos de agua, pues como se presenta a continuación, el pH del Manantial fue menor (Fig.17).

El Manantial presentó valores entre 6.8 (junio) y 7.6 (abril), su comportamiento puede deberse a las bajas abundancias del fitoplancton, con la alta circulación del agua o a su origen a partir de las rocas volcánicas y a la poca oxigenación. Debe mencionarse que las aguas subterráneas generalmente presentan elevadas concentraciones de CO₂, las cuales disminuyen el pH (Fig. 17).

Otros autores mencionan condiciones básicas asociadas a elevadas concentraciones de fitoplancton, siendo lagos someros y de eutróficos a hipertróficos: Verver y Vargas (2005) en el Lago Urbano Tezozómoc 6.57-10.27, Rodríguez (2006) en el Lago Urbano Tezozómoc 6.57-10.27, en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente de la REPSA Novelo (2007) con 7-8, Ponce *et al.* (2010) 7.9-9.1 y Bermúdez (2010) 7.8-8.4; Novoa *et al.* (2011) en los lagos urbanos de la Provincia de Córdoba, Argentina 7-9, Ponce *et al.* (2011) en la Cantera Oriente 5.87-9.15, Mejía (2013) en el Lago Urbano Tezozómoc 9.2-9.5, Hernández (2014) en el Lago Urbano Tezozómoc 7-9.8, García-Rodríguez (2015) en el lago del Parque Alameda de la Solidaridad en el municipio de Cuernavaca, Morelos 8-10 y Cortés (2017) en el Lago Urbano Tezozómoc 8-10.

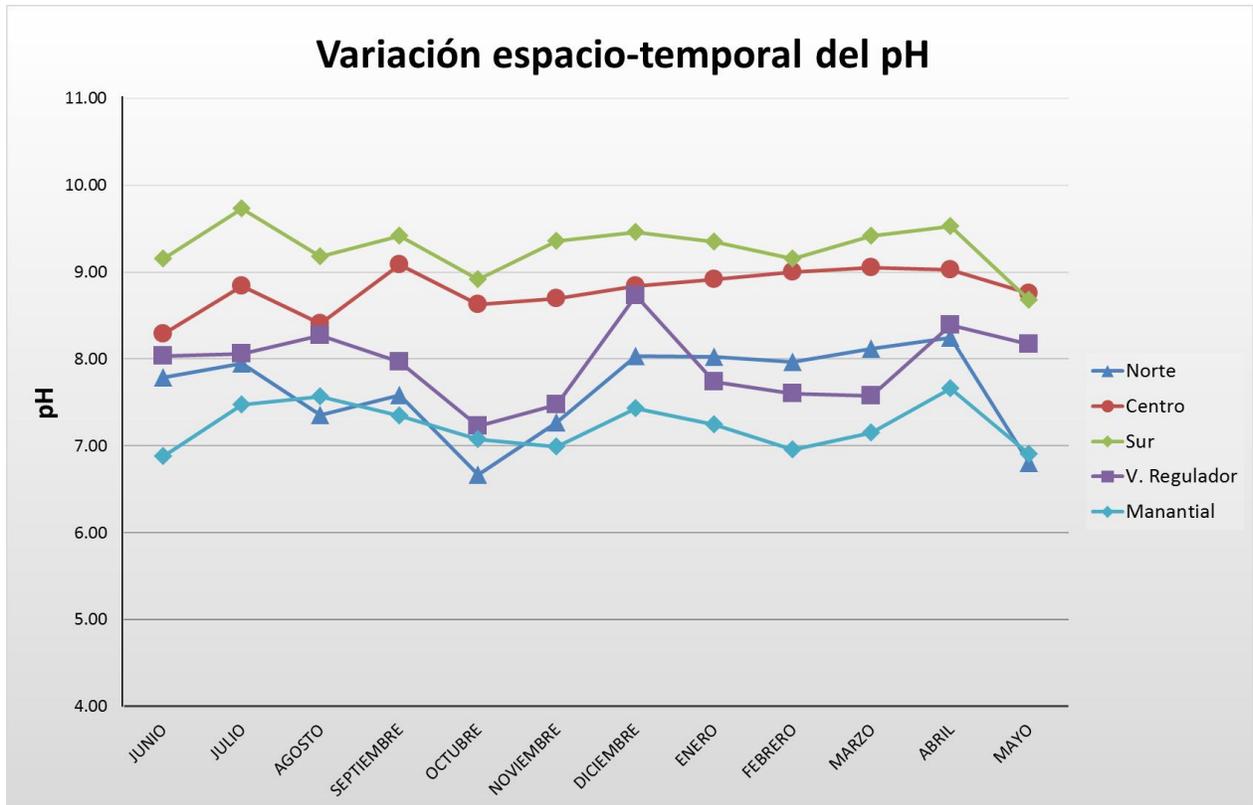


Figura 17. Gráfica de la Variación espacio-temporal del pH de todos los cuerpos de agua.



Visibilidad del Disco de Secchi

La visibilidad del disco de Secchi fue característica de cada lago, debido a su profundidad y condiciones biológicas; el lago Sur y el Manantial mostraron menor variación; el Sur se mantuvo entre los 17 cm (julio) y 45 cm (noviembre) de visibilidad, valores generalmente bajos, lo cual es debido a la elevada cantidad de fitoplancton suspendido en la zona fótica, el cual no permite el paso de luz más allá de este intervalo. En cuanto al Manantial su transparencia es total, debido a que el fitoplancton es muy escaso; en este caso los valores no resultaron altos debido a que la poza es muy somera, con una profundidad entre 50 cm (noviembre y marzo) y 80 cm (junio, agosto y diciembre); el aumento de la profundidad es debido a la época de lluvias (Fig. 18).

Por otro lado, se encuentran los lagos Norte (45 cm en febrero y 120 cm en septiembre), Centro (25 cm en julio y 80 cm en agosto) y el Vaso Regulador (100 cm en abril y 140 cm en noviembre), estos llegan a tener un comportamiento estacional no muy marcado y con algunas variaciones; se observó que de junio a noviembre hay mayores transparencias y de diciembre a mayo se presentaron valores menores. La primera corresponde a la temporada de lluvias y la segunda, a la de secas como lo mencionan Oliva *et al.* (2014) y Cortés (2017) quienes registraron mayores transparencias en el verano, que corresponde a la época de lluvias (Fig. 18).

Jaramillo (2012) y Cortés (2017) mencionan que la transparencia es más alta durante la época de lluvias por la dilución de las densidades del fitoplancton y su incremento en la época de secas por la disminución de los volúmenes de los cuerpos de agua; esto influye en el patrón de la abundancia, variación espacial y temporal del fitoplancton.

La visibilidad del disco de Secchi en los lagos urbanos someros típicamente es menor que en los lagos naturales, lo cual puede ser causado por las altas concentraciones de fitoplancton, plancton en general, detritos orgánicos, por la resuspensión de los sedimentos y el efecto de la acción del viento sobre el espejo de agua, que genera una zona de mezcla que puede llegar a alcanzar toda la columna de agua. Esta situación tiende a aumentar el grado de eutrofización (Simon & Hindrev, 1998; Litchman, 2000 en Novoa *et al.*, 2006; Schueler & SimpSon, 2001; Novoa *et al.*, 2011 y Jaramillo, 2012).

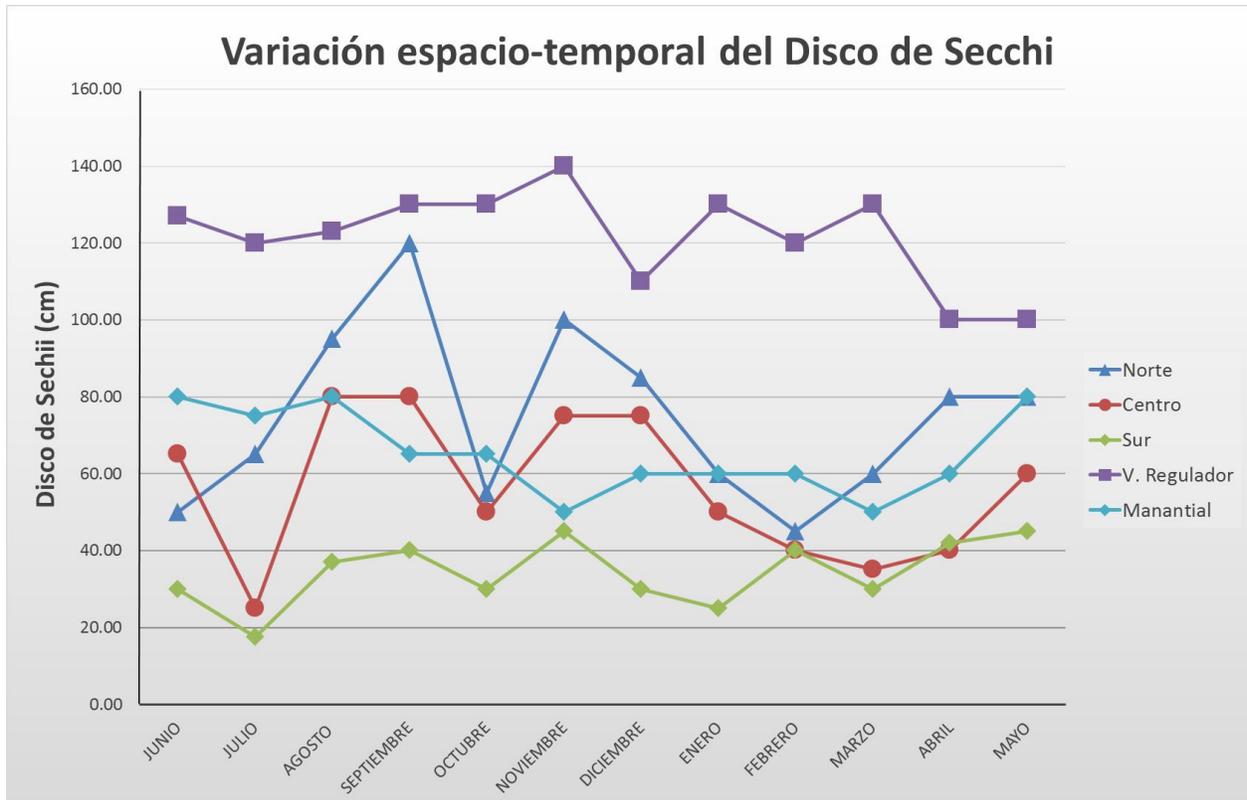


Figura 18. Gráfica de la Variación espacio-temporal del Disco de Secchi de todos los cuerpos de agua.



Nutrientes

Nitrógeno Inorgánico Disuelto NID (mg L^{-1} ; $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_3^- + \text{N-NO}_2^-$)

El Nitrógeno Inorgánico Disuelto tuvo un comportamiento particular para cada cuerpo de agua. En la figura 30 el Vaso Regulador y el Manantial tuvieron las mayores concentraciones de NID (5.7 mg L^{-1} (marzo)- 8.71 mg L^{-1} (mayo) y 6.1 mg L^{-1} (agosto)- 9.4 mg L^{-1} (mayo) respectivamente). Estas mayores concentraciones se deben a que el agua subterránea suele estar contaminada con nitrato, hecho que ocurre en los manantiales de la Cantera Oriente que tienen concentraciones de nitrato elevadas (Montiel-Palma *et al.* 2014). Esto se refleja en las concentraciones del Manantial y también en el Vaso Regulador ya que este cuerpo de agua es el principal receptor directo de las aguas que fluyen de los manantiales del lugar.

En los lagos Norte, Centro y Sur se registraron menores concentraciones de nitrógeno siendo sus intervalos de 2.9 mg L^{-1} (febrero)- 6.5 mg L^{-1} (mayo), 3.2 mg L^{-1} (abril)- 6.3 mg L^{-1} (agosto) y (3.2 mg L^{-1} (abril)- 6.0 mg L^{-1} (febrero) respectivamente. Esto puede deberse a que el fitoplancton consume este nutriente para su crecimiento. Lo anterior se confirma con el hecho de que en el lago Sur, donde el fitoplancton es más abundante, se registraron concentraciones bajas de NID (Fig. 19).

Cortés (2017) menciona que hay una relación del fitoplancton con el nitrógeno, usualmente el N-NH_3^- (amonio) se presenta en abundancia en las aguas superficiales de los lagos y mares, el amonio es tomado preferentemente cuando los valores exceden de 2.1 a $7 \mu\text{m L}^{-1}$, ya que durante el proceso de asimilación intracelular, el sustrato es aparentemente amonio; en este estudio se registraron valores de 2.9 mg L^{-1} a 9.4 mg L^{-1} , lo cual supera el intervalo mencionado, por lo que confirma la relación entre el fitoplancton y el nitrógeno. Cortés (2017) reporta en el lago urbano Tezozómoc valores de 4.3 mg L^{-1} a 16 mg L^{-1} , Hernández (2014) 3.0 mg L^{-1} a 10.7 mg L^{-1} , Mejía (2013) 4.2 mg L^{-1} a 6.2 mg L^{-1} y Oliva *et al.* (2008) 0.20 mg L^{-1} a 10.7 mg L^{-1} ; García-Rodríguez (2015) 3.7 mg L^{-1} a 17.8 mg L^{-1} en un lago urbano de Cuernavaca.

Para la Cantera Oriente, Ponce *et al.* (2010) reportaron valores de nitrógeno en el lago Norte de 1.58 mg L^{-1} a 10.51 mg L^{-1} , Centro 5.68 mg L^{-1} a 34.91 mg L^{-1} , Vaso Regulador



5.60 mg L⁻¹ a 7.24 y Manantial 5.43 mg L⁻¹ a 20.89 mg L⁻¹. Lo cual indica que los valores de nitrógeno son generalmente elevados a consecuencia del aporte de los manantiales.

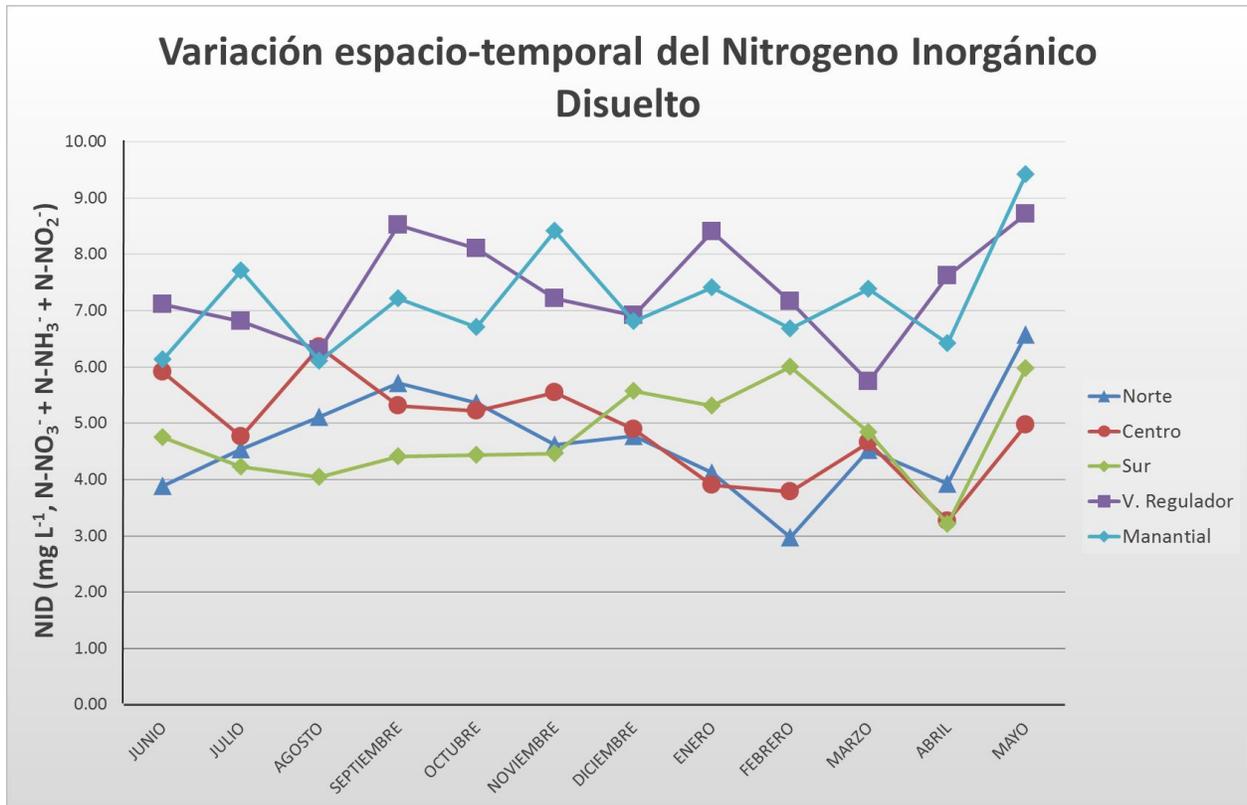


Figura 19. Gráfica de la Variación espacio-temporal del Nitrogeno Inorgánico Disuelto e todos los cuerpos de agua.



Fósforo Reactivo Disuelto (P-PO₄)

El Fósforo Reactivo Disuelto tuvo un comportamiento variable entre los cuerpos de agua estudiados, en el caso de los lagos Norte (0.05 mg L⁻¹ en junio a 0.14 mg L⁻¹ en octubre) y Centro (0.03 mg L⁻¹ en julio a 0.13 mg L⁻¹ en octubre) tuvieron valores similares, seguidos del Sur con los valores más bajos (0.01 mg L⁻¹ en julio, enero y febrero a 0.09 mg L⁻¹ en noviembre) y con valores similares y más elevados el Vaso Regulador (0.09 mg L⁻¹ en junio a 0.15 mg L⁻¹ en mayo) y el Manantial (0.012 mg L⁻¹ en noviembre a 0.15 mg L⁻¹ en marzo).

En el lago Sur, con valores de, donde se presentaron los menores valores, lo cual puede deberse a la mayor abundancia del fitoplancton en el cuerpo de agua, ya que el fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de estos organismos (APHA, 1985; Rodríguez, 2006).

El Vaso Regulador y Manantial presentaron los mayores valores de fósforo, lo cual puede ser debido a que el agua que brota en el Manantial tiene un camino de lavado de minerales de las rocas volcánicas de zona de la Cantera, que le aportan fósforo. Para el caso del Vaso Regulador, como ya se mencionó, es el cuerpo de agua que recibe directamente el mayor volumen de agua desde los manantiales y por tanto, tiene también un aporte importante de fósforo el cual, además, no es aprovechado ampliamente por el fitoplancton debido al bajo tiempo de residencia que tiene el agua en él, pues debido al continuo aporte, la renovación es muy rápida y no permite un crecimiento notable del fitoplancton (Fig. 20).

Otras posibles fuentes de fósforo hacia los cuerpos de agua de la Cantera puede ser el arrastre de la lluvia desde el suelo del mismo lugar, además de aportes por la lluvia al arrastrar desechos desde las zonas de la parte superior de las paredes. Especialmente en la parte oriente, existe una zona habitacional fuertemente poblada que podría aportar desechos a través de la lluvia. Otros posibles aportes serían por los excrementos de las aves acuáticas, aunque generalmente éstas no son muy abundantes, así como la resuspensión del fósforo desde los sedimentos causada por la acción de las carpas (*Cyprinus carpio*), peces que son muy numerosos en estos cuerpos de agua (Zambrano, 2001)

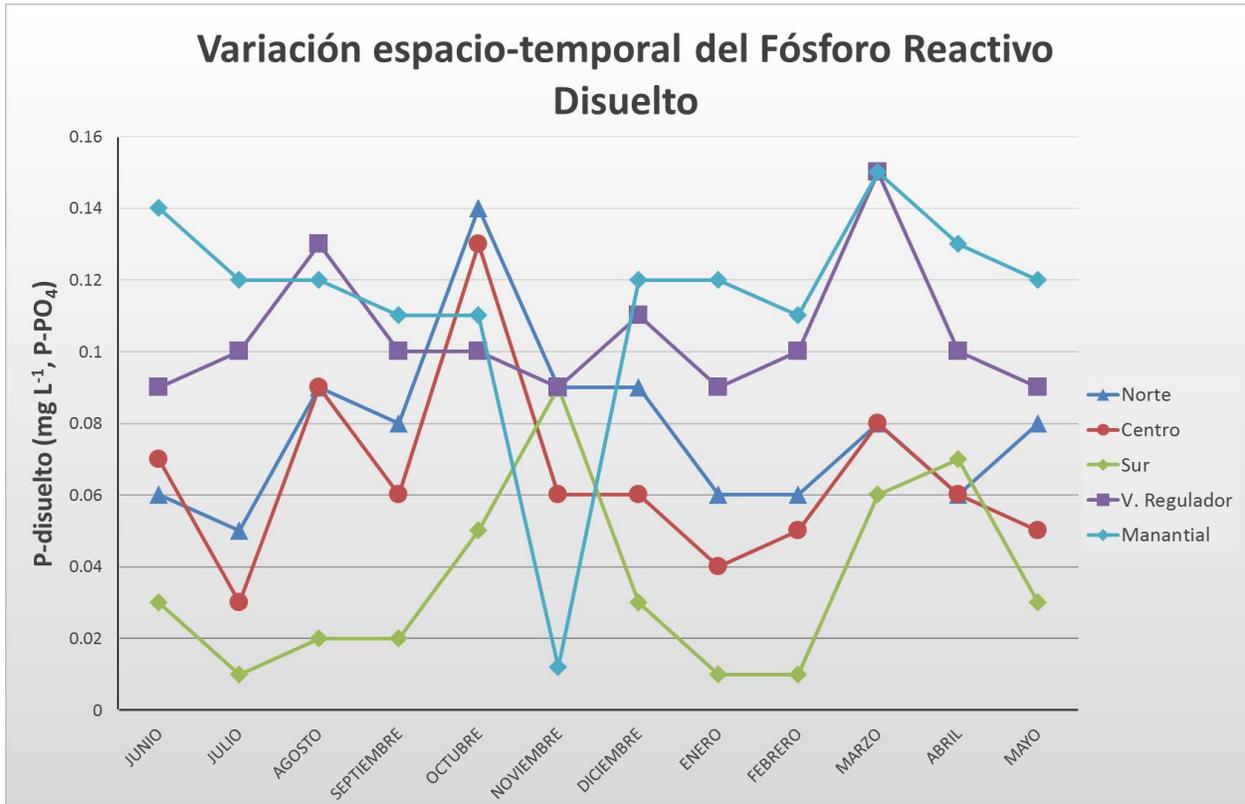


Figura 20. Gráfica de la Variación espacio-temporal del Fósforo Reactivo Disuelto de todos los cuerpos de agua.



Fósforo total ($\text{PO}_4^{-3} + \text{P Orgánico}$)

En esta variable se conjuntan los datos del Fósforo Inorgánico Disuelto y el Fósforo Orgánico proveniente de los organismos y materia orgánica disuelta y particulada. Se observaron dos grupos con relación al fósforo total; el primer grupo corresponde a los lagos Norte (0.08 mg L^{-1} (mayo) - 0.52 mg L^{-1} (junio)), el Vaso Regulador (0.11 mg L^{-1} (julio, septiembre, noviembre) - 0.23 mg L^{-1} (junio)) y el Manantial (0.05 mg L^{-1} (noviembre) - 0.17 mg L^{-1} (junio) , presentando las concentraciones más bajas. En el Vaso Regulador y Manantial se observan aparentemente valores bajos, comparados con el Fósforo Inorgánico Disuelto, debido que presentan bajas abundancias de fitoplancton (Fig. 21).

En los lagos Centro (0.24 mg L^{-1} (diciembre) - 1.24 mg L^{-1} (enero)) y Sur (0.19 mg L^{-1} (mayo) - 0.60 mg L^{-1} (abril)), se encuentran las mayores concentraciones de fósforo total en comparación con los de Fósforo Reactivo Disuelto debido a las altas concentraciones de organismos fitoplanctónicos presentes en estos cuerpos de agua (Fig.32). García-Rodríguez *et al.* (2015) registraron altas concentraciones de esta forma de fósforo (1.08 mg L^{-1} a 8 mg L^{-1}) en un lago urbano de Cuernavaca también fuertemente eutrófico.

Cortés (2017) menciona que el estado trófico del lago urbano Tezozómoc se ha caracterizado como hipertrófico con concentraciones de 0.67 mg L^{-1} a 2.5 mg L^{-1} . En los cuerpos de agua de la Cantera Oriente el valor mínimo fue de 0.05 mg L^{-1} en Manantial y el máximo de 1.24 mg L^{-1} en el lago Centro.

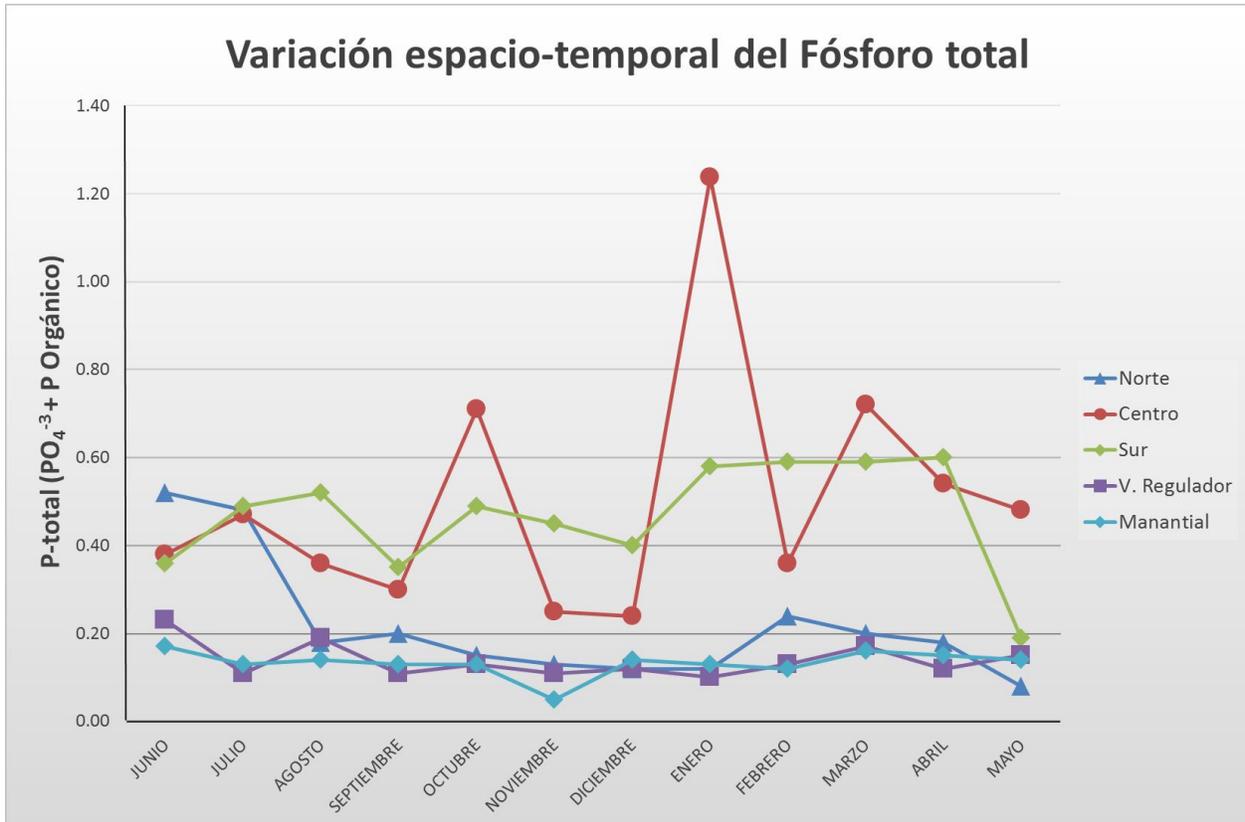


Figura 21. Gráfica de la Variación espacio-temporal del Fósforo total de todos los cuerpos de agua.



Clorofila “a”

La clorofila *a* tuvo un comportamiento variable en cada cuerpo de agua, donde se pueden observar 3 grupos; el primero corresponde a los Lagos Centro y Sur, los cuales presentaron las más altas concentraciones de fitoplancton, hay diferencias entre sí, el lago Sur $82 \mu\text{g L}^{-1}$ (mayo) - $205 \mu\text{g L}^{-1}$ (febrero) tiene la mayor abundancia de organismos, dominando las Cianobacterias y las Clorofitas. El lago Centro $65 \mu\text{g L}^{-1}$ (noviembre) - $273 \mu\text{g L}^{-1}$ (marzo) esta principalmente representado por el grupo de las Clorofitas. Santiago (2016) menciona que las variaciones de la clorofila puedan deberse a la ubicación de los cuerpos de agua, ya que estos encuentran más expuestos a la radiación solar, por lo tanto tuvo las mayores concentraciones de fitoplancton, dándole un color verdoso en relación a los demás cuerpos de agua.

El Lago Norte presentó valores de $7 \mu\text{g L}^{-1}$ (octubre) a $146 \mu\text{g L}^{-1}$ (junio); Morlán (2010) y Hernández (2014) mencionan que la clorofila tiende a disminuir en la temporada de lluvias debido a la dilución y aumenta en la temporada de secas similar a los valores obtenidos en este estudio.

En Vaso Regulador los valores registrados fueron de: $5.74 \mu\text{g L}^{-1}$ (marzo) - $50 \mu\text{g L}^{-1}$ (diciembre) y en Manantial de $1 \mu\text{g L}^{-1}$ (agosto y septiembre) - $7.31 \mu\text{g L}^{-1}$ (enero), estos valores fueron los más bajos, debido al origen del agua y a la vegetación circundante, que no permite que la radiación solar sea directa (Fig. 22).

Los valores de Clorofila *a* obtenidos en este trabajo y los mencionados por Rodríguez (2006), los cuerpos de la de agua Cantera Oriente se encuentran en el intervalo de los hipertróficos ya que rebasa los $100 \mu\text{g L}^{-1}$. Santiago (2016) indica para Cantera Oriente condiciones eutróficas con los valores de visibilidad del disco de Secchi y la concentración de clorofila *a* y para condiciones mesotróficas.

Los trabajos que se realizaron en el Lago urbano Tezozómoc en el cual se encontraron condiciones similares a los de este estudio y valores más altos con resultados de estado eutrófico a hipertróficos son: Verver y Vargas (2005) con $81 \mu\text{g L}^{-1}$ – $954 \mu\text{g L}^{-1}$, Rodríguez (2006) con $108 \mu\text{g L}^{-1}$ – $1321 \mu\text{g L}^{-1}$, Morlán (2010) $43 \mu\text{g L}^{-1}$ – $364.8 \mu\text{g L}^{-1}$, Mejía (2013) con $102 \mu\text{g L}^{-1}$ – $116.8 \mu\text{g L}^{-1}$, Hernández (2014) con $5.18 \mu\text{g L}^{-1}$ – $155.13 \mu\text{g L}^{-1}$, Santiago (2016) con $3.2 \mu\text{g L}^{-1}$ – $165.5 \mu\text{g L}^{-1}$, Cortes (2017) con $46 \mu\text{g L}^{-1}$ – $352 \mu\text{g L}^{-1}$. Verver y



Vargas (2005) menciona que clorofila *a* durante la temporada de lluvias tuvo las concentraciones elevadas de clorofila *a* y están relacionadas con los nutrientes y con los parámetros fisicoquímicos característicos de los sistemas acuáticos hipertróficos.

Morlán (2010) menciona que las condiciones fisicoquímicas son propias de sistemas hipertróficos y que las tasas de producción primaria neta y bruta tuvieron un correlación positiva con la radiación solar y la clorofila *a*, que alcanzaron valores elevados.

Para comparar la similitud de la comunidad de fitoplancton (composición y abundancia) de cada uno de los lagos con los demás, se realizó un análisis jerárquico de agrupamiento, usando el índice de similitud de comunidades de Bray Curtis (Fig. 23). Se puede observar que se forman tres grupos: en el primer grupo se encuentran el Vaso Regulador y Manantial que están unidos aunque con una similitud media. Entre las especies importantes en ambos cuerpos de agua se encuentran *Cyclotella meneghiniana*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Desmodesmus communis*, *Desmodesmus maximus*, *Scenedesmus quadricauda*, *Ulothrix*, *Cryptomonas ovata* y *Komma caudata*, además de las cianobacterias *Microcystis aeruginosa* y *Pseudanabaena limnetica*;

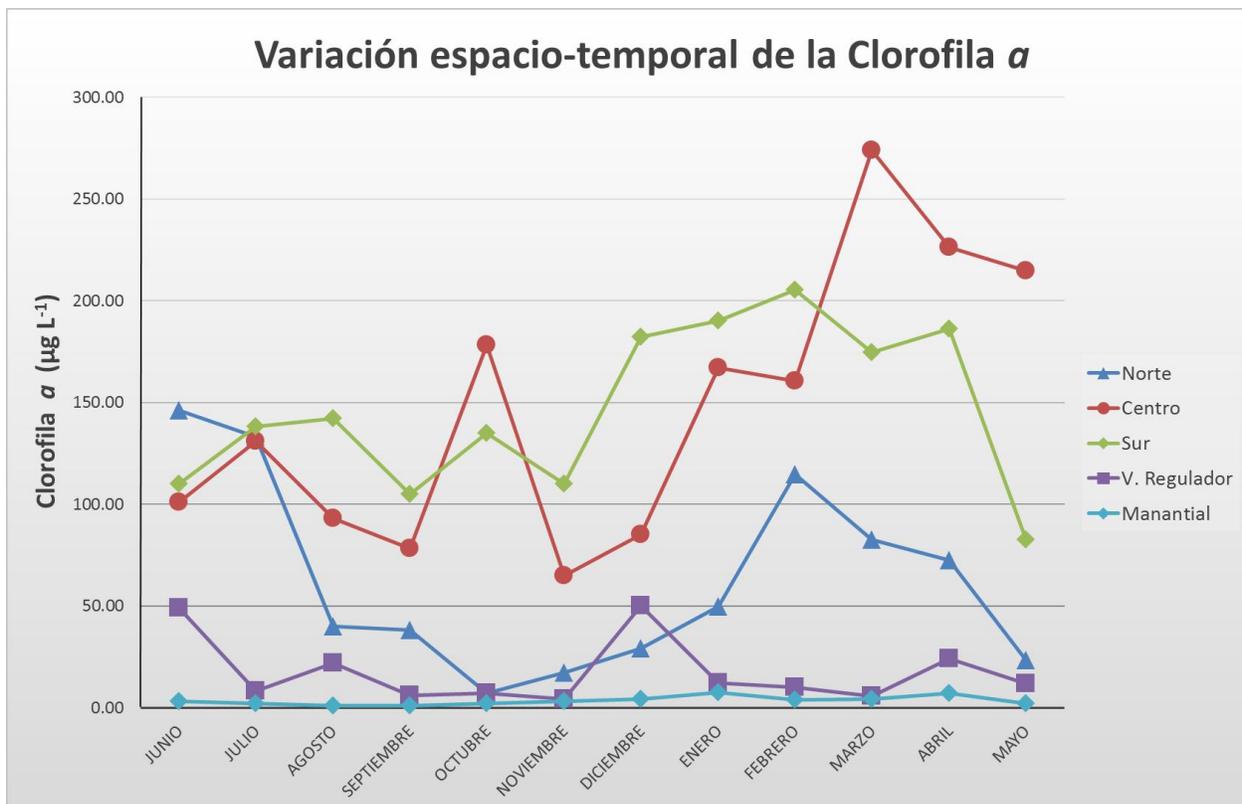


Figura 22. Gráfica de la Variación espacio-temporal de la Clorofila *a* de todos los cuerpos de agua.



El segundo grupo lo conforman los lagos Norte y Centro, en los que las especies dominantes fueron *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella sp.* y *Synedra acus*, además de las Chlorophyta *Actinastrum hantzschii*, *Acutodesmus acuminatus*, *Chlamydomonas reinhardtii* *Desmodesmus communis* , *Desmodesmus maximus*, *Desmodesmus opoliensis*, *Monoraphidium griffithii*, *Monoraphidium spp*, *Pseudopediastrum boryanum*, *Pteromonas aculeata*, *Scenedesmus quadricauda* y *Scenedesmus* Cyanobacteria de las cuales todas fueron relevantes *Aphanocapsa sp.* 118397 cel ml⁻¹ y 128627 cel ml⁻¹, *Microcystis aeruginosa* 137191 cel ml⁻¹ y 37250 cel ml⁻¹ , y *Microcystis novacekii* 54098 cel ml⁻¹ y 79802 cel ml⁻¹, 2 Cryptophyta que fueron relevantes *Cryptomonas ovata* 28299 cel ml⁻¹ y 11673 cel ml⁻¹ y *Komma caudata* 13656 cel ml⁻¹ y 47922 cel ml⁻¹, y 1 Miozoa (*Peridinium sp.* 1026 cel ml⁻¹ y 189 cel ml⁻¹ .

El lago Sur fue el que tuvo la composición más diferente al presentar mayor abundancia del grupo de las cianobacterias como *Microcystis aeruginosa* , *Microcystis novacekii*, *Aphanocapsa sp.*, y *Pseudanabaena limnetica*,

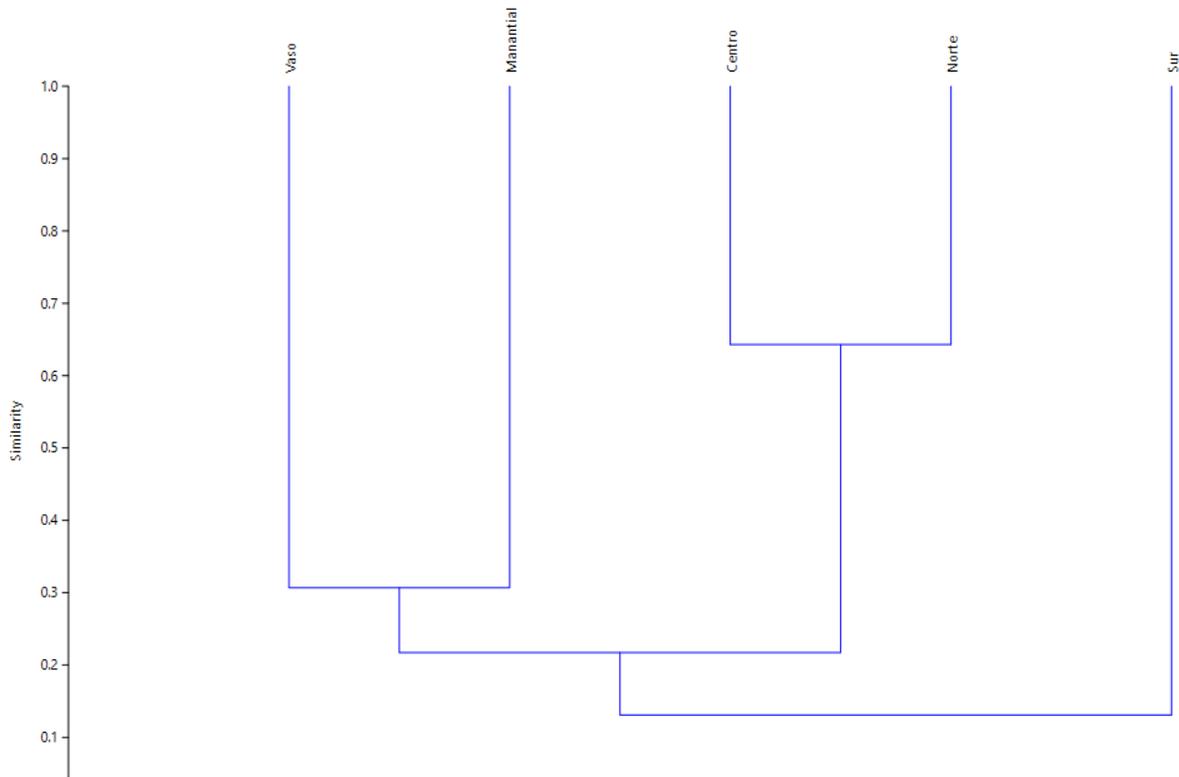


Figura 23. Dendrograma de agrupamiento de los lagos basado en la composición y abundancia de la comunidad de fitoplancton (Índice de similitud de Bray Curtis). Método de agrupamiento: UPGMA



Análisis de Correspondencias canónicas (ACC)

Con este Análisis multivariado se busca determinar las relaciones que hay entre dos grupos de variables y su validez.

Las correspondencias canónicas se realizaron con las densidades de las especies fitoplanctónicas, los sitios de muestreo y las variables fisicoquímicas, en la Fig. 24 se muestra un comportamiento general de los 5 cuerpos de agua de la Cantera Oriente con las especies, donde se observa las agrupaciones de los cuerpos de agua con sus iniciales, hacia el lado derecho del diagrama se encuentra el Manantial en combinación con algunos muestreos del Lago Norte y el Vaso Regulador en los dos cuadrantes como se mencionó que no hay diferencias de algunos parámetros y de las especies entre estos cuerpos de agua. En el centro del diagrama está la combinación de los Lagos Norte, Centro con algunos muestreos dispersos hacia la parte superior del cuadrante derecho, también hay una relación directa con la Conductividad y 19 especies fitoplanctónicas: *Achnanthes inflata* (1), *Actinastrum hantzschii* (2), *Acutodesmus acuminatus* (3), *Chlamydomonas reinhardtii* (7), *Coelastrum astroideum* (9), *Cryptomonas ovata* (11), *Cyclotella sp.* (13), *Dictyosphaerium pulchellum* (15), *Desmodesmus communis* (17), *Euglena sp.* (20), *Gomphonema truncatum* (25), *Monomorphina nordstedtii* (34) *Monoraphidium griffithii* (36), *Navicula cf. decussis* (37), *Navicula sp.* (38), *Pinnularia major* (42), *Pteromonas aculeata* (45), *Scenedesmus obliquus* (48) y *Stephanodiscus sp.* (53), las especies con una relación más directa con la Conductividad son *Chlamydomonas reinhardtii* (7), *Cryptomonas ovata* (11) y *Dictyosphaerium pulchellum* (15) junto con el muestreo del Centro en el mes de mayo; y Vaso Regulador hacia el cuadrante inferior derecho con 18 especies fitoplanctónicas: *Amphora ovalis* (4), *Aulacoseira granulata* (6), *Cocconeis placentula* (8), *Coelastrum microporum* (10), *Cyclotella meneghiniana* (12), *Cymbella mexicana* (14), *Fragilaria sp.* (21), *Gomphonema clavatum* (24), *Komma caudata* (26), *Mallomonas sp.* (28), *Melosira varians* (29), *Micractinium pusillum* (30), *Monoraphidium spp.* (35), *Peridinium sp.* (41), *Pseudopediastrum boryanum* (44), *Scenedesmus sp. 1* (51), *Synedra acus* (54) y *Ulothrix sp.* (55) una relación con el P-Disuelto y una relación directa con las especies *Cocconeis placentula* (8), *Gomphonema clavatum* (24), *Peridinium sp.* (41), *Synedra acus* (54) junto con los muestreos del Lago Norte del mes de octubre y agosto, del Lago Centro del mes de julio, del Vaso Regulador del mes de enero y junio, el Manantial del mes de septiembre,



noviembre y diciembre, y el Disco de Secchi con una relación directa con las especies *Fragilaria sp.* (21), *Micractinium pusillum* (30), *Pseudopediastrum boryanum* (44) y *Ulothrix sp.* (55) junto con los muestreos del Vaso Regulador de mes de julio, septiembre y octubre. Del lado izquierdo del diagrama se encuentra un grupo más concentrado del Lago Sur en ambos cuadrantes con dos muestreos del Lago Norte y Centro en el cuadrante inferior; en el cuadrante superior se encuentran las 3 especies fitoplanctónicas: *Microcystis novacekii* (32), *Pseudanabaena limnetica* (43) y *Scenedesmus bijuga* (46) junto con las variables: P-total, Clorofila *a* con una relación directa con *Pseudanabaena limnetica* (43) y los muestreos del Lago Norte del mes de mayo, el Lago Sur del mes de abril y diciembre, el Vaso Regulador del mes de abril y mayo, el Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto y pH con una relación directa con *Microcystis novacekii* (32) y la Temperatura °C con *Scenedesmus bijuga* (46) junto con los muestreos del Lago Sur el mes de enero y febrero; en el cuadrante inferior se encuentran 15 especies fitoplanctónicas: *Aphanocapsa sp.* (5), *Desmodesmus bicaudatus* (16), *Desmodesmus maximus* (18), *Desmodesmus opoliensis* (19), *Golenkinia radiata* (22), *Gomphonema acuminatum* (23), *Lagerheimia longiseta* (27), *Microcystis aeruginosa* (31), *Monactinus simplex* (33), *Oocystis marssonii* (39), *Pandorina morum* (40), *Scenedesmus longispina* (47), *Scenedesmus quadricauda* (49), *Scenedesmus quadrispina* (50) y *Scenedesmus sp. 2* (52) junto con la variable de Nitrógeno Inorgánico Disuelto con una relación directa con las especies *Desmodesmus maximus* (18), *Desmodesmus opoliensis* (19) y *Scenedesmus quadricauda* (49), y los muestreos del Lago Centro del mes de junio y el Lago Sur del mes de marzo y julio.

La dinámica del fitoplancton de los lagos de Cantera Oriente durante este estudio muestra que su biomasa muestra fluctuaciones estacionales, relacionadas e a su vez con las variables fisicoquímicas (Reynolds, 1998).

C. menenghiniana aparentemente no tiene una relación directa con los parámetros fisicoquímicos, ya que esta especie es cosmopolita y de amplia distribución (Seeligmann, 2001), aunque en este caso se presentó con mayor abundancia en el mes de enero en Norte, Centro y Manantial, en los dos primeros tuvieron semejanza en la Conductividad (450-460 μScm^{-1}), también se muestra que puede tener una preferencia de los 428 μScm^{-1} a los 490 μScm^{-1} . En el pH tiene preferencia de un pH de 6.5 a 9, de los cuerpos de agua Norte, Centro, Sur, Vaso Regulador y Manantial, aunque se presentó más en el Norte 51616 cel ml^{-1} y Centro 102554 cel ml^{-1} con un pH de 8 a 9. Özbay (2016) menciona que *C. menenghiniana* puede presentarse como dominante con altos niveles de Nitrógeno total, en



este caso tuvo preferencia en Norte y Centro de 4 mgL^{-1} hasta los 8.5 mgL^{-1} en Vaso Regulado y Manantial, aunque para enero el Sur presentó 6 mgL^{-1} no se presentó esta especie puede deber a la presencia de otras especies en este cuerpo de agua las cuales pueden competir por espacio y nutrientes con esta especie.

Microcystis auroginosa tiene una relación (Fig. 24) con la temperatura y con preferencia con ambientes cálidos en este estudio entre las temperaturas de 17° C a 20° C en particular en el Lago Sur en donde fue dominante con una abundancia de $374510 \text{ cel L}^{-1}$ con temperaturas de 19° C a 20.30° C , esta especie se presenta con abundancia en ambientes mesotróficos a eutróficos en meses cálidos (Leyes *et al.*, 2018).

Hernández (2016) menciona que *M. auroginosa* tiene limitación nutricional por el fósforo, aunque también hay estudios que demuestran que la limitación es estacional, ya que en el periodo de secas el sistema se encuentra limitado por el nitrógeno, mientras en lluvias por el fósforo y favorece la presencia de cianobacterias tóxicas. En la Cantera Oriente se presenta con mayor abundancia en septiembre en Norte, Centro y Sur; con relación al P-disuelto se presenta más cuando este nutriente es bajo, lo cual puede deberse a que se está consumiendo, en el mes de noviembre hubo un nivel alto de P-disuelto y *M. auroginosa* tuvo un descenso debido al descenso de temperatura, lo cual no hay consumo de Fósforo. También se presentó en el Vaso Regulado y Manantial aunque en bajas densidades, ya que puede encontrarse de forma natural en diversos ecosistemas con un amplio nivel trófico, desde ambientes oligotróficos, hasta eutróficos principalmente en los cuales puede desarrollarse en una baja densidad hasta proliferar para conformar floraciones densas. Se estima que más del 50% de dichas floraciones son tóxicas (Hernández, 2016).

En cambio *Microcystis novacekii* se comportó de manera diferente en sus registros tienen una preferencia por el NID en 5.5 y 7 mg L^{-1} , se presentó con mayor abundancia en mayo en el lago Norte, marzo en Centro, agosto y abril en Sur y en febrero en el Vaso Regulado, Aguilera *et al.* (2013) menciona que este grupo presentan vesículas de gas o aerotopos que les permiten regular su posición en la columna de agua, prolongando así su permanencia en la zona eufótica donde se dan las condiciones óptimas de irradiancia. El factor que regula este mecanismo de flotabilidad, es la luz, en este caso en el lago Sur se presentaron con mayor abundancia ya que tiene más extensión y no se cubre con mucha vegetación, y en los demás cuerpo de agua puede que en otras condiciones de radiación de luz se encuentre como en el caso de Norte en el mes de mayo que hay mayores



temperatura que un así le afecta a pesar que está más cubierto por vegetación. Por lo que las temperaturas que se presentaron fueron de entre 16°C y 20 °C.

A. hantzschii se presentó dominante en el mes de abril en Norte y Centro en donde se presentan las mismas concentraciones de P-disuelto (0.06 mgL^{-1} , P- PO_4), aunque se presentó con mayor abundancia en el Centro con $104319 \text{ cel ml}^{-1}$ lo cual indica que hay otro factor que se presente para su comportamiento. Esta especie puede ser indicadora de ambientes de mesotróficos a eutróficos y tiene preferencia de un pH entre 7 y 9, también se llega a encontrar en mayor abundancia en primavera y otoño (Ortega y Rojo, 2000; Botello *et al.* 2005), esto explica porque se presenta en estas épocas y con mayor abundancia en el mes de abril y con pH de 9.

Desmodesmus communis, *maximus*, *opoliensis* *Scenedesmus quadricauda* muestran un comportamiento similar con un pH entre 8 y 9. Comas (2016) menciona que estas especies son de amplia distribución y de amplia tolerancia, estas especies aunque fueron dominantes no tienen factores que aparentemente de terminen su abundancia en estos cuerpos de agua, Özbay (2016) menciona que mientras el cuerpo de agua tenga suficientes nutrientes estos organismos se presentarán y también son regulados por el zooplancton, ya que los prefieren para su alimentación.

Komma caudaa solo fue dominante en el Lago norte en el mes de abril aunque no hay un factor evidente que represente su pico, ya que a lo largo del estudio fue constante para el resto de los cuerpos de agua. En cuanto *Cryptomonas ovata* tuvo mayores abundancias en marzo, abril y mayo. Esta especie se ha registrado en lugares o en meses cálidos en donde las Cryptoficeas toman eficientemente de los recursos debido a la ficoeritrina que le permite aprovechar la luz, esto ocurre en cambios de estación de invierno a primaveral y llegan a ser oportunistas, aunque también se ha registrado en cambios en el otoño (Meichtry *et al.*, 2013 y Morata, 2015).

Aphanocapsa sp se encontró en los lagos Norte y Centro en el mes de septiembre podría deberse a que tienen casi las mismas concentraciones de NID y en cuanto al lago Sur se mantiene su abundancia por las características del mismo cuerpo de agua ya que se presenta en ambientes eutróficos (Meichtry *et al.*, 2013).

Pseudanabaena limnetica se presentó en abril en lago Norte, en julio, enero y abril en el Sur, en enero abril y mayo en el Vaso Regulador y en febrero, marzo, abril y mayo en el



Manantial, para presentarse con esas abundancias en los meses con temperaturas entre 16°C y 18°C, Cortes (2017) menciona que también pueden presentarse a lo largo del año, puede ser de ambientes templados y subtropicales. Esta especie es de lagos hipertróficos poco profundos y su adaptación a una resistencia flexible y extrema al medio ambiente o por el conjunto de especies que pueden vivir o sobrevivir en ese entorno (Nixdorf *et al.*, 2003).

Ulothrix sp. se presentó de manera temporal en el Vaso Regulador en el mes de septiembre y en el Manantial en el mes de marzo, presentándose en los cuerpos de agua con total transparencia aunque en el Manantial estuvo rodeado por vegetación y no con una exposición directa de la luz, lo cual puede deberse a su mayor abundancia en el Vaso Regulador 10761 cel/ml⁻¹ y en Manantial 2459 cel/ml⁻¹ y con temperaturas de 17°C a 18 °C, con un pH de 7.5 a 8 y con P-Disuelto de 0.12 y 0.15 mgL⁻¹. Blum (1982) menciona que esté género es considerado estacional y oportunista y responde rápidamente a los cambios en el nivel del agua.

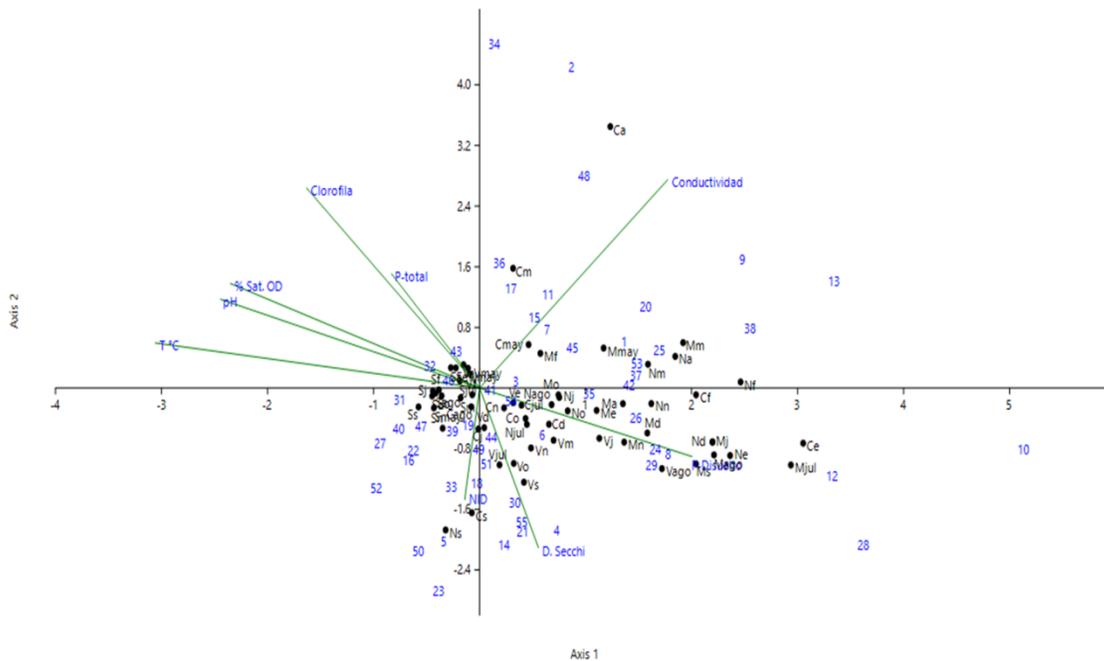


Figura 24. Diagrama de las Correlaciones canónicas con los datos de las densidades de la especies fitoplanctónicas, los sitios de muestreo y las variables fisicoquímicas. El ángulo y la longitud de las flechas indican la dirección y la fuerza de la relación de las variables fisicoquímicas, los puntos muestran la ubicación de los muestreos de cada lago y los números muestran la posición óptima las especies.



Conclusiones

- Se determinaron 55 especies distribuidas en: Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanobacteria, Cryptophyta, Euglenophyta, Miozoa y Ochrophyta.
- La composición taxonómica estuvo dominada por el grupo de las Clorofitas
- La riqueza de especies de fitoplancton en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente fue baja, pero similar a la de otros cuerpos de agua urbanos someros y eutróficos
- La riqueza de especies entre los lagos varió de forma importante, mostrando los valores más elevados en los lagos menos eutróficos y los más bajos en los más productivos.
- Los lagos compartieron especies en proporciones que fueron desde el 75 % (Lago Norte y Manantial) hasta el 42% (Manantial y Lago Sur).
- Las especies que fueron dominantes en los cinco cuerpos de agua: *Actinastrum hantzschii*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Komma caudata*, *Aphanocapsa sp.*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella sp.*, *Pteromonas aculeata*, *Desmodesmus communis*, *Desmodesmus maximus*, *Desmodesmus opoliensis*, *Cryptomonas ovata*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis novacekii*, *Pseudanabaena limnetica* y *Scenedesmus quadricauda*.
- La composición de la comunidad de fitoplancton de los lagos, evaluada a través del índice de Bray Curtis y un análisis de similitud (ANOSIM) mostró que todos los lagos fueron diferentes.
- La comparación de los datos ambientales de los lagos, a través de un análisis de PERMANOVA, indicó que las condiciones ambientales de cada uno de los lagos fueron significativamente diferentes y para los datos de las temporadas seca-fría y lluviosa-cálida mostró que no hubo diferencias en la composición del fitoplancton entre los datos de cada lago, es decir, no hubo diferencias estacionales (temporales) significativas.
- De acuerdo a la composición de la comunidad fitoplanctónica y los valores de nutrientes y los valores de clorofila *a* registrados en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, estos presentan una tendencia de eutróficos a hipertróficos.



Literatura citada

- Alcocer, D.J., E. Kato., Robles E. y Villaclara G. 1998. Estudio del efecto del dragado sobre el estado trófico del lago viejo de Chapultepec. *Contaminación ambiental* 4: 43-56.
- Almanza, V., Figueroa R., Parra, O., Fernández, X., Baeza, C., Yañez, J. & Urrutia, R. 2016. Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44 (2): 313-326.
- Aguilera, A. y Echenique, R. 2013. Cyanobacteria nocivas de ambientes acuáticos continentales: taxonomía y ecología. Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud. Argentina.
- APHA., AWWA. & WPCF. 1985. *Standar methods for the examination of water and waste water*. 16 ed. American Public Health Association (ed.) Washington.
- Arar, J. E. y Collins, B. G. 1997. *In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin a in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence*. National Exposure Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio.
- Birch, S. y McCaskie, J. 1999. Shallow urban lake: a challenge for lake management. *Hibrobiologia* 1: 395-377.
- Bermúdez, R. Y. 2010. *Diversidad del Orden Cladocera (Crustacea: Branchiopoda: Phyllopoda) de las pozas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Ciudad Universitaria, México*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Blum, J. 1982. Colonization and Growth of Attached Algae at the Lake Michigan Water Line. *Journal of Great Lakes Research* 8(1).10-15.
- Botello, A.V., J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández, 2005. *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Comas G. M. 1996. *Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba*. Biblioteca Phicologica. J. Crammer.



- Cortés de Jesús, J. I. 2017. *Variación espacio temporal del fitoplancton posterior al desazolve y llenado del lago urbano Tezozómoc, D.F.* Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Casas, D. N. G. 2012. *Evaluación de la calidad del agua en el lago del parque Alameda Oriente.* Tesis de Maestría (Ingeniería Ambiental-Agua). Facultad de Ingeniería. UNAM. México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2014. *Reporte del Clima en México. Reporte anual 2014.* Coord. Gral. del Servicio Meteorológico Nacional. Gerencia de Meteorología y Climatología. Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. México, D.F.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. *Reporte del Clima en México. Reporte anual 2015.* Coord. Gral. del Servicio Meteorológico Nacional. Gerencia de Meteorología y Climatología. Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. México, D.F.
- Cox E. J. 1996. *Identificación of freshwater diatoms from live material.* Chapman & Hall.
- Cruz, M. R. y Martínez, M. A. 1999. Respuesta fotosíntesis-irradiación del nanoplancton de dos ecosistemas acuáticos urbanos. *Revista de Biología Tropical.*, 47 (Supl. 1): 37-42.
- Escobar E., Cortez, A. M., García, M., Mejía, L. M. y Simms, A. Y. 2002. Structure of a pond community in Central Mexico. *Hidrobiologia* 467: 133-139.
- García de León, A. 1988. *Generalidades del análisis de cúmulos y del análisis de componentes principales.* Divulgación geográfica, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- García-Rodríguez, J., Molina-Astudillo, F. I., Miranda-Espinoza, E., Soriano-Salazar, M. B. y Díaz-Vargas, M. 2015. Variación fitoplanctónica en un lago urbano del municipio de Cuernavaca, Morelos, México. *Acta universitaria*, 25 (1): 3-11.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2017. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., and Ryan, D. D. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica* 4 (1): 9 .
- Hammer, Ø. 2015. PAST Paleontological Statistics. Version 3.11 Reference Manual.
- Hernández, R. A. 2014. *Evaluación de la comunidad fitoplanctónica en presencia de Poecilia reticulata Peters, 1859 (PISCES: POECILIIDAE) bajo condiciones de*



- mesocosmos en un lago hipertrófico*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Hernández, R., Rojo, G., Aguolera, M., Ortega, M. y Gómez, C. 2016. Incidencia de cuadros patológicos asociados al género *Microcystis* en el Lago de Zirahuén. *Biológicas* 18 (2). 40-50.
- Jaramillo-Londoño, J. C. y Aguirre-Ramírez N. J. 2012. Fluctuaciones de los ensamblajes planctónicos en la ciénega de ayapel (cordoba-colombia) durante un ciclo semanal. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 11 (21): 63-76.
- Jonh D. M., Whitton B. A. and Brook A. J. (ed.) 2011. *The Freshwater Algal Floral of the British Isles*. Cambridge University Press.
- Komárek J. 1999. *Cyanoprocarota 1. Teli: Chroococcales*. Gustav Fischer.
- Leyes, C., Falco, C. y Daga, C. 2018. APORTE AL CONOCIMIENTO DE LA FICOFLORES DEL LAGO DEL PARQUE SARMIENTO (CÓDOBA, ARGENTINA). *Revista Facultad de Ciencias exactas, físicas y naturales*, 5 (1). 45-50.
- Lugo-Vázquez, A., Sánchez-Rodríguez, M. R., Morlán-Mejía, J., Peralta-Soriano, L., Arellanos-Jiménez, E. A., Escobar-Oliva, M. A. and Oliva-Martínez, M. G.. 2017. Ciliates and tropic state: a study in five adjacent urban ponds in Mexico City. *Journal of Environmental Biology* 38: 1161-1169.
- Margalef, 1995. *Ecología*. Ediciones Omega.
- Meichtry, N., Volguer, R., Llano, V. y Martens, I. 2013. Fitoplancton de embalse Yacyreta (Argentina-Paraguay) a una década de su llenado. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84. 225-239.
- Montiel-Palma, S., Armienta-Hernández, Ma. A., Rodríguez-Castillo R., y Domínguez-Mariani, E. 2014. Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea en la zona sur de la Cuenca de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30(2): 149-165.
- Mora-Navarro M. R., Vázquez-García J. A. y Vargas-Rodríguez Y. L. 2004. Ordenación de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. *Hidrobiológica* 14 (2): 91-103.
- Morata, F. 2015. *Ecología del fitoplancton de una laguna cárstica estratificada: distribución vertical, estacional y limitación de nutrientes*. Tesis doctoral (Biología). UNAM. México.



- Morlán, M. J. 2010. *Producción primaria del fitoplancton en un lago hipertrófico durante la época de sequía*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Morlán, M. J. 2014. *Variación temporal y espacial de las tasas de material total particulada en un lago urbano somero*. Tesis de Maestría (Limnología). Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México.
- Nixdorf, B., Mischke, U. y Rücker J. 2003. Conjuntos de fitoplancton y estado estable en lagos eutróficos profundos y poco profundos: un enfoque para diferenciar las propiedades del hábitat de Oscillatoriales. *Desarrollos en Hidrobiología* 172. 111-121.
- Novelo, E., Ponce, M. E. y Ramírez, R. 2007. Algas. En: A. Lot (coord.) In *Guía Ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico*. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México.
- Novelo, E., Ponce, M. E. y Ramírez, R. 2009. *Diversidad Biológica e Inventarios*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Novelo, E. y Tavera, R. 2011. Un panorama gráfico de las algas de agua dulce de México. *Hidrobiológicas*, 21 (3): 333-341.
- Novelo, E. 2012. *FLORA DEL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN. Fascículo 90. CYANOPROKARYOTA*. México. Instituto de Biología. UNAM.
- Novelo, E. 2012. *FLORA DEL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN. fascículo 94. Chlorophyta*. México. Instituto de Biología. UNAM.
- Novelo, E. 2012. *FLORA DEL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN. fascículo 102. Bacillariophyta*. México. Instituto de Biología. UNAM.
- Novoa, M., Luque, M. E., Lombardo, D. y Martínez de Fabricus, A. L. 2006. Estudio Ficológico de lagos urbanos artificiales del sur de la provincia de Córdoba. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 41 (3-4): 203 – 231.
- Novoa, M., Lujan A., Luque, M. E. y Lombardo D. M. 2011. Distribución temporal del fitoplancton en un lago urbano del centro de Argentina (Rio Cuarto, Córdoba). *Biológicas*, 13 (2): 1-14.
- Odum, E. 1972. *Ecología*. Interamericana.
- Oliva-Martínez M. G., Ramírez-Martínez J. G., Garduño-Solórzano G., Cañetas-Ortega J. y M-Ortega M. 2005. Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica* 15 (1): 1-26.



- Oliva, M.M.G., Rodríguez, A.R., Lugo, A.V. y Sánchez, M. 2008. Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica* 18 (1 Suplemento): 1-13.
- Oliva-Martínez, M. G., Godínez-Ortega, J.L. y Zuñiga-Ramos, C.A. 2014. Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:S54-S61: 54-61.
- Ortega M. M., Godínez, J. L., Garduño, G., Martínez Oliva, M. G. 1995. *Ficología de México, algas continentales*. AGT editor.
- Ortega, E. y Rojo, C. 2000. FITOPLANCTON DEL PARQUE NACIONAL LAS TABLAS DE DAIMIEL. III. DIATOMIAS Y CLOROFITAS. *Anales Jardín Botánico de Madrid*, 58 (1). 17-37.
- Ortega, M. R., Alvarado, R., Hernández, R. y Sánchez, J. D. 2010. Evolución trófica de un lago tropical hiposalino en México con base al fitoplancton. *Biológicas* 12 (2): 75-81.
- Ortiz, M. A. y Figueroa, J.M. 2007. Unidades Ambientales. En A. Lot (coord.) *Guía Ilustrada Cantera Oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico*. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, México.
- Özbay, H. 2016. Composition and abundance of Phitoplankton in Boggy Freshwater Lake, Turkey: In Relation to Phisical an Chemical Variables. *Ecologia Balkamica* 8: 29-40.
- Parra, O., González, M. y Dellarossa, V. 1983. *MANUAL TAXONOMICO DEL FITOPLANCTON DE AGUAS CONTINENTALES CON ESPECIAL REFERENCIA AL FITOPLANCTON DE CHILE*.
- Ponce- Márquez, M.E. y R. Ramírez- Rodríguez. 2010. *Estudio preliminar de la ficoflora de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ponce- Márquez y H. León-Tejera. 2011. *Listado Florístico de las Algas Presentes en la Cantera Oriente*. Optativa Ficología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Quiroz, R. 2007. *Manejo y recuperación de lagos urbanos*. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Área del Sistema de Producción acuáticas.
- Reynolds, C. S., 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different tropic status. *Hidrobiología* 369/370: 11-26.



- Rivera, P., Parra, O. O., González, M., Dellarossa, V. y Orellana, M. 1982. *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. IV.- BACILLARIOPHYCEAE*. Universidad de Concepción.
- Rodríguez, A. 2006. *Variación espacio-temporal de fitoplancton en el lago Tezozómoc, Azcapotzalco, Distrito Federal*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Rodríguez, L. 2012. *Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la Sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes*. Tesis (Biología). Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ciencias Básicas Pregrado en Biología Aplicada. Bogotá, Colombia.
- Santiago, L. A. M. 2016. *Estudio comparativo del zooplancton (rotíferos y cladóceros) en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente, D.F. y su relación con el estado trófico*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Schueler, T. & Simpson J. 2003. Why urban lakes are different. *Watershed Protection Techniques 1 (2): 747-750*.
- Seeligmann, C., Tracanna, B., Martínez, S. y Isasmend, S. 2001. ALGAS FITOPLANTÓNICAS EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE SISTEMAS LÓTICOS EN EL NOROESTE ARGENTINO. *Limnética 12 (1)*. 123-133.
- Verver y Vargas, J. 2005. *Dinámica espacio-temporal de los parámetros físico y químicos y su relación con la clorofila a en un lago urbano eutrófico*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México.
- Wehr, J. and Sheath, R. (ed.) 2003. *Freshwater Algae of North America Ecology and Classification*. Academic Press.
- Wetzel. 1981, *Limnología*. Ediciones Omega.
- Wetzel, R. G y G. R. Likens. 2000. *Limnological Analyses*. Springer-Verlag.
- Zalocar, Y., Asselborn, V. Casco, y S. 1998. Variaciones espaciales del fitoplancton en un lago subtropical de Argentina. *Revista Brasileña de Biología, 58(3): 359-382*.
- Zambrano, L. 2001. Los efectos ocultos de la introducción de carpas en lagos. *Ciencia y Desarrollo, 160(27): 20-28*.



Anexo 1

Listado de especies

Phylum Chlorophyta

Subphylum Chlorophytina

Clase Chlorophyceae

Orden Chlamydomonadales

Familia Chlamydomonadaceae

Género *Chlamydomonas* Ehrenberg, 1833

Chlamydomonas reinhardtii P.A.Dangeard, 1888

Familia Phacotaceae

Género *Pteromonas* Seligo, 1887

Pteromonas aculeata Lemmermann, 1900

Familia Volvocaceae

Género *Pandorina* Bory, 1824

Pandorina morum (O.F. Müller) Bory de Saint-Vicent, 1824

Orden Sphaeropleales

Familia Hydrodictyaceae

Género *Pseudopediastrum* E.Hegewald, 2005

Monactinus simplex (Meyen) Corda, 1839 [*Pediastrum simplex* Meyen, 1829]

Pseudopediastrum boryanum (Turpin) E. Hegewald, 2005 [*Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini, 1840]

Familia Neochloridaceae

Género *Golenkinia* Chodat, 1894

Golenkinia radiata Chodat, 1953

Familia Selenastraceae

Género *Monoraphidium* Komárková-Legnerová, 1969

Monoraphidium griffithii (Berkeley) Komárková-Legnerová, 1969

Monoraphidium spp

Familia Scenedesmaceae



Género *Acutodesmus* (Hegewald) Tsarenko, 2001

Acutodesmus acuminatus (Lagerheim) P.M.Tsarenko, 2000

Subfamilia Desmodesmoideae

Género *Desmodesmus* (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald, 1999

Desmodesmus bicaudatus (Dedusenko) P.M.Tsarenko, 2000

Desmodesmus communis (E. Hegewald) E. Hegewald, 2000

Desmodesmus maximus (West & G.S.West) E.H.Hegewald, 2000

Desmodesmus opoliensis (P.G.Richter) E.Hegewald 2000

Subfamilia Coelastroideae

Género *Coelastrum* Nägeli, 1849

Coelastrum astroideum De Notaris, 1867

Coelastrum microporum Nägeli, 1855

Género *Scenedesmus* Meyen, 1829

Scenedesmus bijuga (Turpin) Lagerheim, 1893

Scenedesmus longispina Chodat 1913

Scenedesmus obliquus (Turpin) Kützing, 1833

Scenedesmus quadricauda Chodat, 1926

Scenedesmus quadrispina Chodat 1913

Scenedesmus sp 1

Scenedesmus sp 2

Clase Trebouxiophyceae

Orden Chlorellales

Familia Chlorellaceae

Género *Actinastrum* Lagerheim, 1882

Actinastrum hantzschii Lagerheim, 1882

Género *Dictyosphaerium* Nägeli, 1849

Dictyosphaerium pulchellum H.C.Wood, 1872

Género *Micractinium* Fresenius, 1858

Micractinium pusillum Fresenius, 1858

Familia Oocystaceae



Género *Lagerheimia* R.Chodat, 1895

Lagerheimia longiseta (Lemmermann) Printz, 1914

Género *Oocystis* Nägeli ex Braun, 1855

Oocystis marssonii Lemmermann, 1898

Clase Ulvophyceae

Orden Ulotrichales

Familia Ulotrichaceae

Género *Ulothrix* Kützing, 1833

Ulothrix sp.

Phylum Bacillariophyta

Subphylum Bacillariophytina

Clase Fragilariophyceae

Orden Fragilariales

Familia Fragilariaceae

Género *Fragilaria* Lyngbye, 1819

Fragilaria sp.

Género *Synedra* Ehrenberg, 1830

Synedra acus Kützing, 1844

Clase Bacillariophyceae

Subclase Bacillariophycidae

Orden Cocconeidales

Familia Cocconeidaceae

Género *Cocconeis* Ehrenberg, 1836

Cocconeis placentula Ehrenberg, 1838

Orden Cymbellales

Familia Cymbellaceae

Género *Cymbella* C.Agardh, 1830

Cymbella mexicana (Ehrenberg) Cleve, 1894



Familia Gomphonemataceae

Género *Gomphonema* Ehrenberg, 1832

Gomphonema acuminatum Ehrenberg, 1832

Gomphonema clavatum Ehrenberg, 1832

Gomphonema truncatum Ehrenberg, 1831

Orden Mastogloiales

Familia Achnanthaceae

Género *Achnanthes* Bory de Saint-Vincent, 1822

Achnanthes inflata (Kützing) Grunow, 1867

Orden Naviculales

Suborden Naviculineae

Familia Naviculaceae

Género *Navicula* Bory, 1822

Navicula decussis Østrup, 1910

Navicula sp.

Suborden Sellaphorineae

Familia Pinnulariaceae

Género *Pinnularia* Ehrenberg, 1843

Pinnularia major (Kützing) Rabenhorst, 1853

Orden Thalassiophysales

Familia Catenulaceae

Género *Amphora* C.G.Ehrenberg ex F.T.Kützing, 1844

Amphora ovalis (Kützing) Kützing, 1844

Clase Coscinodiscophyceae

Subclase Melosirophyceidae

Orden Melosirales

Familia Melosiraceae

Género *Melosira* C.Agardh, 1824

Melosira varians C.Agardh, 1827

Orden Aulacoseirales



Familia Aulacoseiraceae

Género *Aulacoseira* Thwaites, 1848

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen, 1979

Clase Mediophyceae

Subclase Thalassiosirophycidae

Orden Stephanodiscales

Familia Stephanodiscaceae

Género *Cyclotella* (Kützing) Brébisson, 1838

Cyclotella meneghiniana Kützing, 1844

Cyclotella sp.

Género *Stephanodiscus* Ehrenberg, 1845

Stephanodiscus sp.

Phylum Cyanobacteria

Clase Cyanophyceae

Subclase Oscillatoriophyceidae

Orden Chroococcales

Familia Microcystaceae

Género *Microcystis* Lemmermann, 1907

Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing, 1846

Microcystis novacekii (Komárek) Compère, 1974

Subclase Synechococcophycidae

Orden Synechococcales

Familia Merismopediaceae

Género *Aphanocapsa* C.Nägeli, 1849

Aphanocapsa sp.

Familia Pseudanabaenaceae

Género *Pseudanabaena* Lauterborn, 1915

Pseudanabaena limnetica (Lemmermann) Komárek, 1974



Phylum Euglenophyta (=Phylum Euglenozoa)

Subphylum Euglenoida

Clase Euglenophyceae

Orden Euglenales

Familia Euglenaceae

Género *Euglena* Ehrenberg, 1830

Euglena sp.

Género *Monomorphina* Mereschkowsky, 1877

Monomorphina nordstedtii (Lemmermann) T.G.Popova 1947

Phylum Cryptophyta

Clase Cryptophyceae

Orden Cryptomonadales

Familia Cryptomonadaceae

Género *Cryptomonas* Ehrenberg, 1831

Cryptomonas ovata Ehrenberg, 1832

Orden Pyrenomonadales

Familia Chromonadaceae

Género *Komma* D.R.A.Hill, 1991

Komma caudata (L.Geitler) D.R.A.Hill, 1991

Phylum Miozoa

Subphylum Myzozoa

Infraphylum Dinozoa

Superclase Dinoflagellata

Clase Dinophyceae

Orden Peridiniales

Familia Peridiniaceae

Género *Peridinium* Ehrenberg, 1830

Peridinium sp.



Phylum Ochrophyta

Clase Synurophyceae

Orden Synurales

Familia Mallomonadaceae

Género *Mallomonas* Perty, 1851

Mallomonas sp.



Anexo 2

Imágenes digitalizadas

LÁMINA I

- Imagen 1 *Achnanthes inflata* (Kützing) Grunow, 1867
- Imagen 2 *Actinastrum hantzschii* Lagerheim, 1882
- Imagen 3 *Acutodesmus acuminatus* (Lagerheim) P.M.Tsarenko, 2000
- Imagen 4 *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing, 1844
- Imagen 5 *Aphanocapsa* sp.
- Imagen 6 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, 1979
- Imagen 7 *Chlamydomonas reinhardtii* P.A.Dangeard, 1888
- Imagen 8 *Cocconeis placentula* Ehrenberg, 1838
- Imagen 9 *Coelastrum astroideum* De Notaris, 1867
- Imagen 10 *Coelastrum microporum* Nägeli, 1855
- Imagen 11 *Cryptomonas ovata* Ehrenberg, 1832
- Imagen 12 *Cyclotella meneghiniana* Kützing, 1844
- Imagen 13 *Cyclotella* sp.
- Imagen 14 *Cymbella mexicana* (Ehrenberg) Cleve, 1894

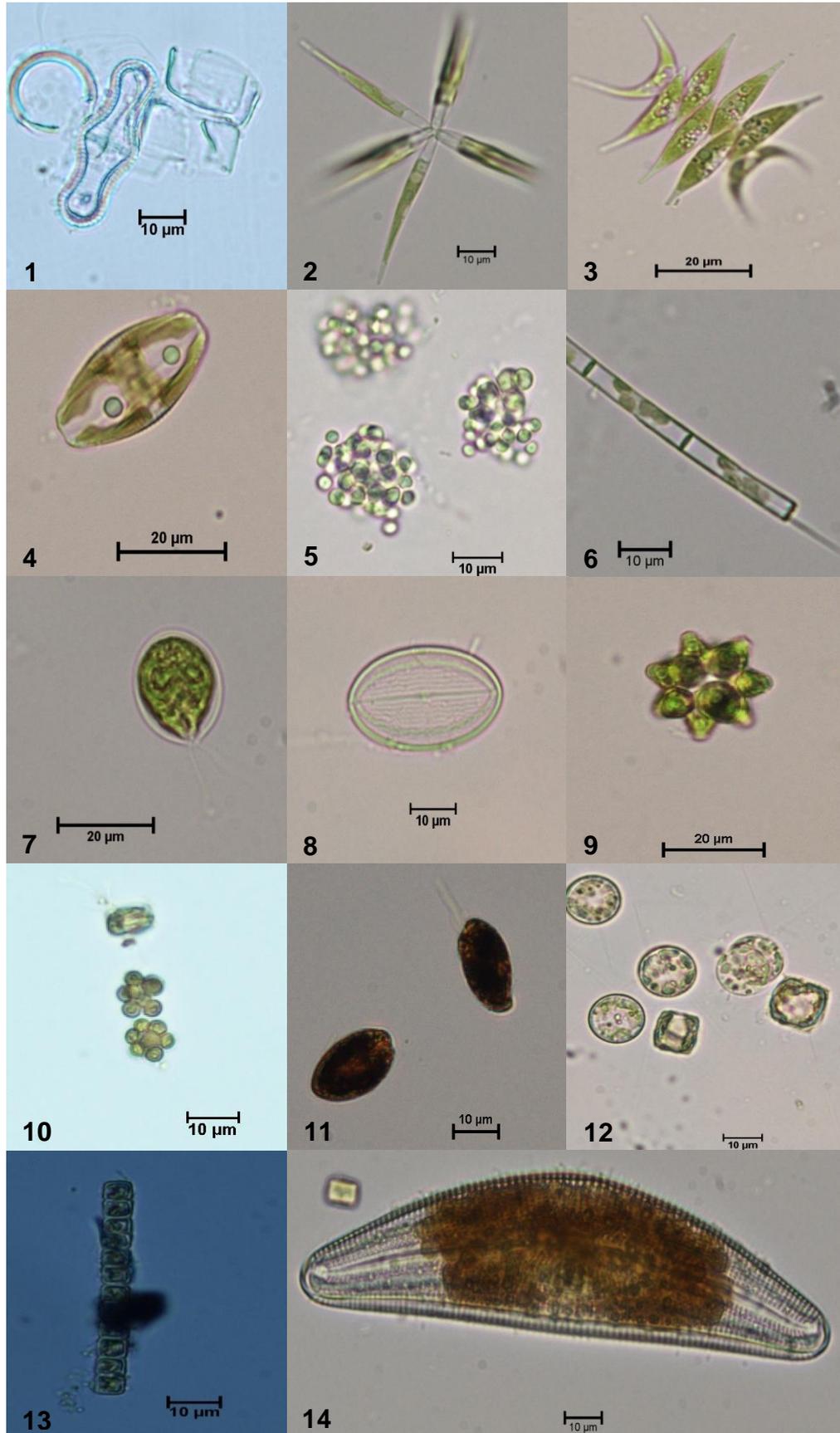




LÁMINA II

Imagen 15 *Dictyosphaerium pulchellum* H.C.Wood, 1872

Imagen 16 *Desmodesmus bicaudatus* (Dedusenko) P.M.Tsarenko, 2000

Imagen 17 *Desmodesmus communis* (E. Hegewald) E. Hegewald, 2000

Imagen 18 *Desmodesmus maximus* (West & G.S.West) E.H.Hegewald, 2000

Imagen 19 *Desmodesmus opoliensis* (P.G.Richter) E.Hegewald 2000

Imagen 20 *Euglena* sp.

Imagen 21 *Fragilaria* sp.

Imagen 22 *Golenkinia radiata* Chodat, 1953

Imagen 23 *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg, 1832

Imagen 24 *Gomphonema clavatum* Ehrenberg, 1832

Imagen 25 *Gomphonema truncatum* Ehrenberg, 1831

Imagen 26 *Komma caudata* (L.Geitler) D.R.A.Hill, 1991

Imagen 27 *Lagerheimia longiseta* (Lemmermann) Printz, 1914

Imagen 28 *Mallomonas* sp.

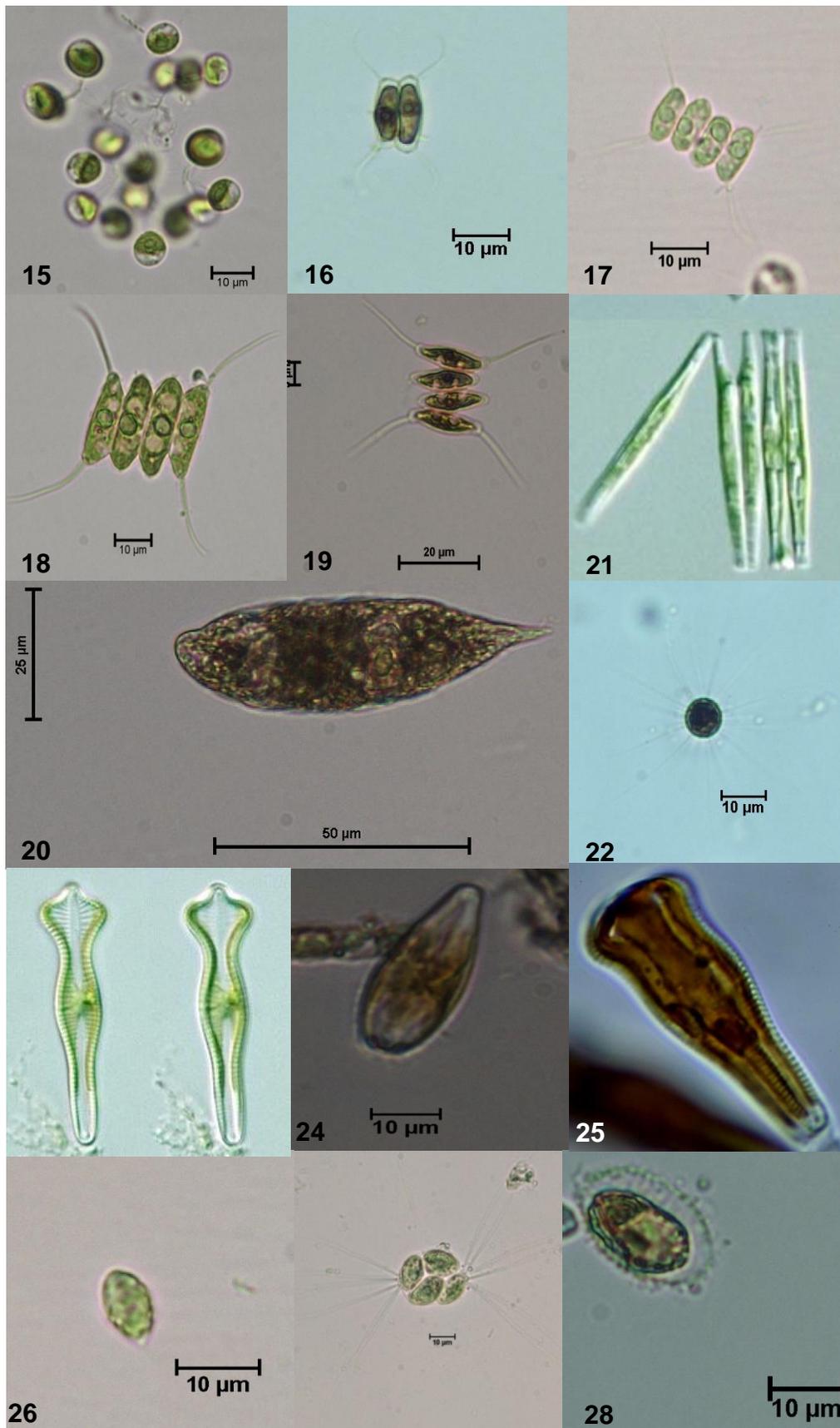




LÁMINA III

- Imagen 29 *Melosira varians* C.Agardh, 1827
- Imagen 30 *Micractinium pusillum* Fresenius, 1858
- Imagen 31 *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, 1846
- Imagen 32 *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère, 1974
- Imagen 33 *Monactinus simplex* (Meyen) Corda, 1839 [*Pediastrum simplex* Meyen, 1829]
- Imagen 34 *Monomorphina nordstedtii* (Lemmermann) T.G.Popova 1947
- Imagen 35 *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová, 1969
- Imagen 36 *Monoraphidium spp* Imagen 37 *Navicula decussis* Østrup, 1910
- Imagen 38 *Navicula sp.*
- Imagen 39 *Oocystis marssonii* Lemmermann, 1898
- Imagen 40 *Pandorina morum* (O.F. Müller) Bory de Saint-Vicent, 1824
- Imagen 41 *Peridinium sp.*
- Imagen 42 *Pinnularia major* (Kützing) Rabenhorst, 1853

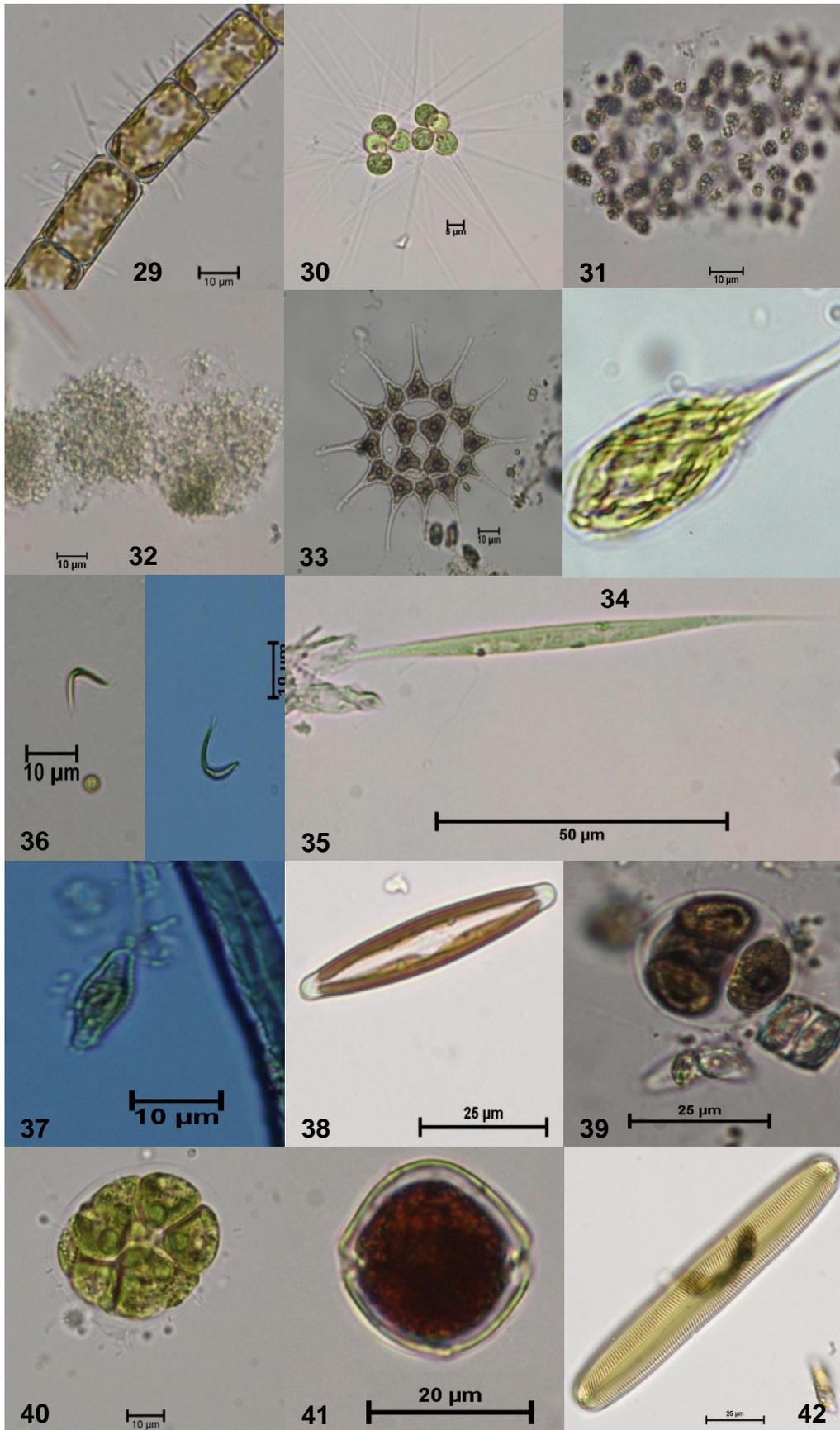




LÁMINA IV

Imagen 43 *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek, 1974

Imagen 44 *Pseudopediastrum boryanum* (Turpin) E. Hegewald, 2005
[*Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini, 1840]

Imagen 45 *Pteromonas aculeata* Lemmermann, 1900

Imagen 46 *Scenedesmus bijuga* (Turpin) Lagerheim, 1893

Imagen 47 *Scenedesmus longispina* Chodat 1913

Imagen 48 *Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing, 1833

Imagen 49 *Scenedesmus quadricauda* Chodat, 1926

Imagen 50 *Scenedesmus quadrispina* Chodat, 1913

Imagen 51 *Scenedesmus sp 1*

Imagen 52 *Scenedesmus sp 2*

Imagen 53 *Stephanodiscus sp.*

Imagen 54 *Synedra acus* Kützing, 1844

Imagen 55 *Ulothrix sp.*

