



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

Manejo Integral de Ecosistemas

Caracterización temporal y espacial de la fisicoquímica, clorofila y del estado trófico del sistema acuático urbano Reserva Ecológica Cantera

Oriente

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ANGEL DANIEL CEBALLOS RAMÍREZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. GUADALUPE JUDITH DE LA LANZA ESPINO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM

DRA. ELIZABETH ORTEGA MAYAGOITIA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. , AGOSTO

2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

Manejo Integral de Ecosistemas

Caracterización temporal y espacial de la fisicoquímica, clorofila y del estado trófico del sistema acuático urbano Reserva Ecológica Cantera

Oriente

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

ANGEL DANIEL CEBALLOS RAMÍREZ

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. GUADALUPE JUDITH DE LA LANZA ESPINO
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM

DRA. ELIZABETH ORTEGA MAYAGOITIA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

2020

COORDINACIÓN DEL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGIA

OFICIO CPCB/424/2020

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología, Manejo Integral de Ecosistemas, Biología Evolutiva y Sistemática del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 23 de marzo de 2020, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS** del alumno **CEBALLOS RAMÍREZ ANGEL DANIEL** con número de cuenta **307110756** con la tesis titulada **"Caracterización temporal y espacial de la fisicoquímica, clorofila y del estado trófico del sistema acuático urbano Reserva Ecológica Cantera Oriente"**, realizada bajo la dirección de la **DRA. GUADALUPE JUDITH DE LA LANZA ESPINO**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente: DR. JOSÉ ROMÁN LATOURNERIE CERVERA
Vocal: DRA. MARÍA EDITH PONCE MÁRQUEZ
Secretario: DR. ALFONSO LUGO VÁZQUEZ
Suplente: DR. JUSTO SALVADOR HERNÁNDEZ AVILÉS
Suplente: DR. GERMÁN BUITRÓN MÉNDEZ

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 05 de agosto de 2020

COORDINADOR DEL PROGRAMA



DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA



Agradecimientos institucionales

Al Posgrado en Ciencias Biológicas y a la UNAM: por la oportunidad de continuar mis estudios en esta prestigiosa institución y de formarme como profesional en la máxima casa de estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: por la beca otorgada durante el desarrollo de mis estudios de Posgrado con número 478098, CVU 855281.

A mi tutora principal, la Dra. Guadalupe De la Lanza Espino: por su guía, confianza y apoyo durante todo este posgrado.

Al comité tutorial, compuesto por la Dra. Elizabeth Ortega y el Dr. Alfonso Lugo: por su tenaz seguimiento, todas sus palabras de aliento y valiosas contribuciones a la mejoría de este documento.

Agradecimientos personales

A la Dra. De la Lanza: por enseñarme todo lo bueno y todo lo malo de la ciencia en México, qué ser y qué no ser, cómo hacer y qué no hacer en la vida profesional. Por sus duras palabras llenas de sabiduría, que me forjaron como profesional y persona todo el tiempo que estuve con ella; y por su tenaz apoyo durante los tres años que estuve sentado a su lado.

Al Biól. Salvador Hernández: por ayudarme como nadie en la recolección y procesamiento de los datos de mi tesis y enseñarme cómo llevar mi día y día en el legendario Laboratorio de Hidrobiología del Instituto de Biología de la UNAM.

A mi comité tutorial, el Dr. Lugo y la Dra. Ortega por siempre apoyarme, comprender y respaldarme ante todas las adversidades que enfrenté durante esta etapa de mi vida.

A mis sinodales, el Dr. José Latournerie, el Dr. Germán Buitrón y el Dr. Salvador Hernández: por contribuir enormemente al mejoramiento de este escrito.

A la Dra. Edith Ponce: por siempre ser una figura materna en mi vida profesional y por ser un modelo ejemplar de la ciencia en nuestro país.

Al Biólogo Francisco Martínez Pérez, Secretario Auxiliar de la Cantera Oriente: por todos los años que dedicó al servicio de la REPSA y de la Cantera; en memoria a todo su trabajo.

A mi madre, Josefina: por inculcarme los valores que necesitaré durante toda mi vida, tanto personal como profesional, y por jamás desampararme en los momentos más oscuros.

A mi padre, Juan Angel: por ser un ejemplo de fortaleza, dedicación y tenacidad; por mostrarme cómo se puede perseguir la grandeza sin abandonar la virtud del ser y la honestidad

A mi hermano, Iván Alejandro: por ser mi mejor espejo y aliado en todos los años que llevamos durmiendo bajo el mismo techo

A todos mis amigos, Jaime González, Aron Chávez, Dante García, Rafael Sánchez y Adolfo Cortés, a los primeros cuatro por siempre recordarme lo difícil que es titularse y estar presentes en momentos inolvidables y difíciles durante mi posgrado y al siguiente por continuar apoyándome después de 13 años de amistad.

Dedico estas últimas líneas a esas personas que se cruzaron en mi camino, como estrellas fugaces, que me iluminaron el camino y me ayudaron a encontrar la determinación de perseguir hasta el final mi sueño: **Salvar el mundo**. Gracias.

Este sólo es una parte de la leyenda que forjaré a mi paso y una pizca de las grandes cosas que me esperan a lo largo de mi camino, ya lo verán.

***Something's telling me I never could have ruined everything you want in life
Because you never put in effort, and the truth is: you were never doing it
right.***

State Champs, Secrets, 2015

***No matter how hard things get, you can't give in, OK? You've got to cut a
path to the future you wish for, no matter what.***



Dimitri Alexandre Blaidydy, 2019



Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Objetivos.....	4
Antecedentes.....	5
Método.....	7
Resultados.....	10
Discusión.....	34
Conclusiones.....	44
Referencias Bibliográficas.....	45

Resumen

Existen escasos estudios acerca de la variación de parámetros fisicoquímicos conservativos y no conservativos, y del estado trófico en cuerpos de agua artificiales en el altiplano mexicano. Frecuentemente, se publica información de parámetros ambientales de contenidos puntuales o promedios que no reflejan la amplia variación temporal y espacial, ni los diversos factores que regulan su variación. El sistema acuático de la Cantera Oriente, ubicado al Sur de la ciudad de México y que forma parte de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, es importante por su ubicación dentro de la Ciudad de México y como refugio de aves. Estudios previos en la Cantera se centran en caracterizaciones fundamentalmente biológicas, abordando escasamente la variación de parámetros fisicoquímicos, la zonación y los factores geomorfológicos y antropogénicos que pueden determinar cambios. Por lo anterior, en el presente estudio se determinó mediante un muestreo bimestral la fluctuación temporal y espacial en las secciones en que fue dividida la Cantera, con base en los siguientes intervalos de parámetros fisicoquímicos, entre los que destacaron la temperatura (12.3 a 19.9 °C), la conductividad (390 a 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$), el oxígeno disuelto (3 a 12 mg/L), el fósforo total (37.1 a 141.9 μM), el nitrógeno total (257.1 a 835.4 μM) y la clorofila a (de lo indetectable a 543.9 $\mu\text{g}/\text{L}$). Los análisis de los resultados indicaron a través de la concentración de fósforo total una condición eutrófica en el Manantial a hipereutrófica en el resto del sistema acuático, corroborado con el índice de estado trófico de Carlson. Asimismo, análisis multivariados y una prueba de correlación canónica encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la fisicoquímica de las secciones Norte, Centro, Sur y el Manantial, y las estaciones del año, consecuencia de su complejidad geomorfológica e influencia antropogénica.

Abstract

There are few studies regarding the variation of the trophic state, non-conservative and conservative physicochemical parameters in the Mexican highlands. Frequently, information is published regarding environmental parameters, however, they are punctual or averaged data and it does not reflect the ample temporal and spatial variation, nor the diverse factors that regulate this variation. The aquatic system known as Cantera Oriente is located south of Mexico City and is part of the REPSA (Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel), important for its location within the city and as a bird sanctuary. Previous studies in la Cantera focus primarily on biological characterizations, barely mentioning the variation of physicochemical parameters, their zoning and the geomorphological/anthropogenic factors that could determine changes. Therefore, the present study determined by means of a bimonthly sampling the temporal and spatial variation in four section of la Cantera various physicochemical parameters, amongst whom stood out the temperature (12.3 to 19.9 °C), conductivity (390 to 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dissolved oxygen (3 to 12 mg/L), total phosphorus (37.1 to 141.9 μM), total nitrogen (257.1 to 835.4 μM) and chlorophyll a (Indetectable to 543.9 $\mu\text{g}/\text{L}$), indicating an eutrophic condition throughout the whole system, confirmed by Carlson's trophic state Index. Besides this, three multivariate tests and a canonical correspondence analysis found statistically significant differences between the sections and the seasons, consequence of its environmental complexity and anthropogenic influence

Introducción

En la zona Centro de la república mexicana existen aproximadamente 40 cuerpos de agua de origen artificial, con diferentes características ambientales, manejo y dimensiones. En general, este tipo de cuerpos de agua suelen ubicarse cercanos a comunidades urbanas, lo que los hace vulnerables a su composición fisicoquímica consecuencia de escurrimientos adyacentes a la cuenca y al mal tratamiento del agua que se vierte en ellos (Alcocer y Bernal-Brooks, 2010). En el valle de México se pueden señalar algunos cuerpos de agua artificiales como el del bosque de Aragón, el de Tezozómoc, el de Chapultepec y las presas o embalses de Guadalupe, la de Madín, la de Nabor Carrillo, el de la Cantera Oriente, entre otros, cada uno con características geomorfológicas y fisicoquímicas distintivas.

En particular, la Cantera Oriente es un embalse artificial que forma parte de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, con características distintivas paisajísticas del ambiente lacustre (Lot, 2007). En este ambiente acuático, la mayoría de los estudios realizados se han enfocado en parte a su geomorfología; al respecto, Ortiz-Pérez et al (2007) señalan que es un embalse artificial que anteriormente era explotado por una industria asfáltica, que cubre una superficie de 11,906.45 m² con una profundidad entre 20 a 40 metros considerando desde el desnivel de la periferia hasta los actuales cuerpos de agua y sus lechos de inundación (paisaje lacustre y de humedales), área de jardinería con pastos, setos y árboles acompañado de terrazas arboladas (paisajes de jardines) arbustos (paisajes de bosque y arbustos) y espacios construidos como infraestructura del predio como edificaciones, caminos, depósitos de residuos vegetales, talud de escombros basálticos por explotación (paisajes construidos), cuyo mantenimiento ha modificado dichos rasgos. Además de aspectos biológicos con inventarios de algas, ciliados, insectos, crustáceos, parásitos, peces, anfibios y aves (Lot, 2007). En estos trabajos se refiere a la fisicoquímica y al estado trófico de este cuerpo de agua en forma puntual, sin destacar la variación espacial y temporal de los

factores internos y externos como el clima que determinan fluctuaciones en la fisicoquímica del agua.

Por la importancia que reviste la variación temporal y espacial y de las características fisicoquímicas de parámetros conservativos (que no reaccionan química o biológicamente como la temperatura con intervalos de escasa variación, además la conductividad) y no conservativos (que reaccionan química y biológicamente como los compuestos del nitrógeno y del fósforo, asimismo la clorofila a de una amplia variación), en el presente estudio se considera explicar que no es recomendable generalizar las fluctuaciones de las características citadas a través de promedios, pues no reflejan la zonación dada por la configuración del paisaje y sus cambios estacionales, lo que resulta en una distribución diversa asociada a la complejidad geomorfológica, factores eólicos incluso de la influencia antropogénica adyacente por escurrimientos o infiltraciones y mala disposición de basura que incluye toda clase de residuos sólidos como materiales de desperdicio de obra (cascajo, madera, metal, papel, cartón, láminas, cable, etc.) así como los desperdicios de comida, envases de plástico y residuos sanitarios del personal de obra (Lot et al, 2012), que se traducen en una distribución heterogénea o en parches de las características fisicoquímicas del agua (Lara-Lara y Álvarez-Borrego, 1975)

Objetivo General

Determinar la variación temporal y espacial de parámetros fisicoquímicos conservativos (temperatura, conductividad), no conservativos (oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y nutrientes) y biológicos (clorofila a), con base en esto, estimar el estado trófico de la Cantera Oriente, así como otros parámetros de calidad del agua como la DQO y la dureza del agua.

Objetivos Particulares

Definir una zonación en la Cantera Oriente de acuerdo con la geomorfología e influencia antropogénica con base en el análisis de los resultados de los parámetros físicoquímicos y biológicos y su distribución espacio temporal.

Estimar la tendencia al cambio de los parámetros físicoquímicos debido a factores: estacionales, geomorfológicos, de manejo en el sistema acuático en la Cantera Oriente que afectan su distribución, así como los antropogénicos del área adyacente.

Calcular el estado trófico por zonas y estaciones (primavera, verano, otoño e invierno), con base en el índice de Carlson (1977)

Con base en los resultados obtenidos del análisis de la dinámica de variación espacio-temporal de las características físicoquímicas del agua, corroborarlo a través del empleo de herramientas multivariadas y análisis canónico.

Antecedentes

En los últimos años ha aumentado el interés en el estudio de cuerpos de agua tanto naturales como artificiales en el Valle de México, principalmente en aquellos dedicados al abastecimiento de agua potable en las zonas urbanas (Alcocer y Bernal-Brooks, 2010). De los primeros trabajos realizados en este tipo de ambientes, está el estudio de Castro (1992) acerca de la calidad del agua en el ramal Tláhuac, encontrando altas concentraciones de compuestos nitrogenados procedentes de aguas negras en aquellos sitios destinados a tanto para consumo humano como para descargas. Por su parte, Bravo-Inclán (1995) analizó la morfología y calidad del agua de la presa Madín, señalando “los altos contenidos de fósforo, de nitrógeno, y de clorofila a, que indicaron que el embalse era eutrófico”. , Bravo-Inclán et al. 2006 estudiaron el estado trófico de la presa Madín junto con otros tres embalses del Valle de México: Guadalupe, Nabor Carrillo y

Zimapán, encontrando en todas condiciones hipereutróficas según el índice del estado trófico propuesto por Carlson (1977).

Estudios en cuerpos de agua artificiales de la ciudad de México se remontan a 1988, con el trabajo de Alcocer et al. en el lago viejo de Chapultepec, quienes midieron el efecto de un dragado en el estado trófico, sin consecuencias de eutrofización. Namihira-Santillán (2002) en el lago Huayamilpas caracterizó la cantidad de bacterias coliformes totales y fecales, cuyo resultado fue que el agua “no era apta para la protección de vida acuática”. Montaña-Salazar (2007) determinó los parámetros fisicoquímicos y del fitoplancton de dos esclusas del lago artificial de la Alameda Oriente del Distrito Federal, con promedios altos de nutrientes y clorofila a. Luna-Pabello y Aburto-Castañeda (2014) construyeron un humedal artificial en el lago del bosque de San Juan de Aragón con el objetivo de controlar las concentraciones altas de nitrógeno y de fósforo en el agua tratada que se ha vertido al lago, con una reducción de hasta el 80% en el contenido de nutrientes.

Particularmente en la Cantera Oriente, los primeros estudios fueron realizados y publicados como una Guía Ilustrada coordinada por Lot (2007), que incluye una caracterización ambiental y un inventario biológico de algas, protozoos, artrópodos, peces, anfibios, reptiles y aves. Cabe destacar que, en los capítulos de paisaje lacustre y algas, se incluyeron algunos parámetros fisicoquímicos, registrando que: “los niveles de fósforo y nitrógeno totales indicaban que el agua mostraba una significativa hipereutrofización” (Hernández-Martínez et al. 2007). Con base en el trabajo de Novelo et al. (2007) de las algas de la Cantera, Ceballos-Ramírez (2016) realizó un catálogo del fitoplancton del 2006 al 2010, incluyendo algunos registros de parámetros conservativos y no conservativos. Otros estudios realizados en la Cantera fueron los de González-Gutiérrez (2015) y Santiago-Lima (2016), enfocados a la variación estacional de varios grupos de zooplancton y su relación con el estado trófico; ambos estudios definieron la condición de la Cantera como eutrófica. Posteriormente, Lugo-Vázquez et al. (2017) reporta condiciones eutróficas para la Cantera Oriente, de acuerdo con las

concentraciones de fósforo total y Finalmente, Ponce-Márquez et al. (2019) reportan algunos parámetros fisicoquímicos en su guía de algas de la Cantera Oriente.

Método

Trabajo de campo

Se realizaron seis salidas bimestrales a la Cantera Oriente, en agosto (verano), octubre (otoño) y diciembre (invierno) del 2017, febrero (invierno), abril (primavera) y junio (verano) del 2018. Con base en la geomorfología se eligieron ocho sitios de muestreo: tres en las secciones Norte (descarga del canal), cuatro que incluyó tres en el Centro y una en el Sur (cercana a la influencia de las descargas de las actividades deportivas), además de una en el Manantial cerca de la pared poniente (Figura 1)

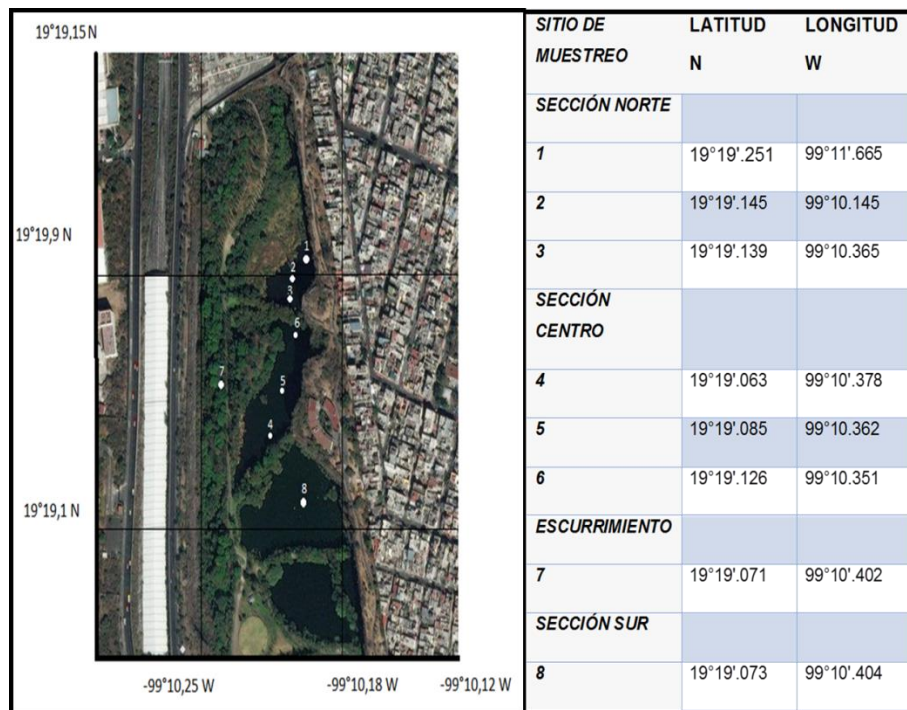


Figura 1: Mapa aéreo de la Cantera Oriente con las estaciones marcadas y coordenadas correspondientes. Sección Norte= Sitios 1 a 3. Sección Centro = Sitios 4 a 6. Sección Sur = Sitio 8. Manantial = Sitio 7.

Se midieron *in situ* temperatura (°C), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxígeno disuelto (mg/L), porcentaje de saturación (% OD) y pH, utilizando la sonda multiparamétrica YSI 556 MPS a media columna de agua.

Se tomaron muestras de agua con una botella Van Dorn a media columna de agua, y se transfirieron a botellas de un litro debidamente rotuladas para la determinación de nutrientes, las cuales fueron congeladas después de su colecta.

Para la determinación de la clorofila a, se filtraron 250 mL de agua a través de un filtro Milipore de $0.45\mu\text{m}$ utilizando una bomba de vacío manual.

Trabajo de Laboratorio

En el laboratorio de Hidrobiología del Instituto de Biología de la UNAM con ayuda del personal de laboratorio, se descongelaron las muestras de agua para determinar los nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos, fósforo total y nitrógeno total utilizando técnicas espectrofotométricas con el equipo Hach DR 890 según las técnicas de APHA (1998); la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a través de titulometría y finalmente la clorofila a fue mediante una extracción con acetona y su cuantificación espectrofotométrica (Tabla 1).

Tabla 1: Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro		Técnica	Fundamento	Instrumental
Nitratos		Espectrofotométrica	Formación de un compuesto azoderivado	Espectrofotómetro Hach DR890
Nitritos		Espectrofotométrica	Formación de un compuesto azoderivado	Espectrofotómetro Hach DR890
Amonio		Espectrofotométrica	Formación de un compuesto colorido amarillo	Espectrofotómetro Hach DR890

Ortofosfatos		Espectrofotométrica	Formación de un complejo colorido	Espectrofotómetro Hach DR890
Nitrógeno total		Digestión de Kjeldhal	Digestión acida con H ₂ SO ₄ y K ₂ SO ₄	Macro-Kjeldhal
Fósforo Total		Oxidación con ácido perclórico	Digestión ácida con HClO ₄	Macro-Kjeldhal
Demanda Química de Oxígeno		Titulometría	Óxido-reducción	Titulometría
Clorofila a		Espectrofotometría	Extracción con acetona	Espectrofotómetro Hach DR890

Trabajo de gabinete

Para estimar el estado trófico de la Cantera Oriente se utilizaron las fórmulas propuestas por Carlson (1977), que se basa en la concentración de fósforo total (µg/L) y clorofila a (µg/L).

Carlson (1977)

$$IET (Cl-a) = 10(6 - (2.04 - 0.68 \ln Cl-a/Ln 2))$$

Donde Cl-a = Concentración de clorofila a en µg/LL

$$IET (FT) = 14.42 \ln FT + 4.15$$

Donde FT = Concentración de fósforo total en µg/L

Análisis estadísticos

La evaluación espacio – temporal de la dinámica ambiental en el sitio de estudio, se abordó como un diseño factorial de efectos fijos: épocas y secciones. Asimismo, se realizaron análisis multivariados y un análisis de correlación

canónica para determinar diferencias entre los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, nutrientes y clorofila) dadas las fluctuaciones estacionales tomando como base las épocas de lluvias y secas, esto es durante el verano (agosto), otoño (octubre), invierno (diciembre y febrero) y primavera (abril y junio) y las diferentes secciones (Norte, Centro, Sur y manantial) de la Cantera Oriente utilizando el programa SPSS 20.0. y Past 30.2 (Hammer et al. 2001).

Resultados: Parámetros fisicoquímicos

Temperatura

Este parámetro mostró una variación estacional. Las temperaturas máximas se registraron en el muestreo de junio y las mínimas en diciembre. El intervalo más amplio de 15.9 a 19.4 °C se determinó en abril y el más estrecho de 16.3 a 17.6 °C en agosto. Especialmente, el sitio denominado Manantial (número siete) fue el que mostró mayor homogeneidad durante todo el estudio con una variación térmica de 0.8 °C. (Tabla 2 y figura 2).

Tabla 2: Temperaturas en °C en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	17.4	16.5	12.3	13.9	16.3	17.7
2 Sección Norte	17.4	16.0	12.4	13.9	16.0	17.6
3 Sección Norte	16.9	16.2	12.6	13.7	15.9	17.6
4 Sección Centro	17.6	16.3	13.6	14.8	17.1	18.6
5 Sección Centro	17.2	16.5	13.3	15.0	17.3	18.6
6 Sección Centro	17.4	17.0	13.2	15.1	17.8	18.4
7 Manantial	16.3	16.4	15.5	15.9	16.1	16.2
8 Sección Sur	na	17.6	14.3	16.8	19.4	19.9

Conductividad

La conductividad registró amplia variación tanto temporal como espacialmente, con un intervalo semejante entre 404 a 528 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante todos los muestreos, a excepción del Manantial donde varió de 395 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabla 3 y figura 3).

Tabla 3: Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	450	528	493	425	433	433
2 Sección Norte	451	492	499	423	439	433
3 Sección Norte	459	489	499	424	439	445
4 Sección Centro	465	485	494	425	431	433
5 Sección Centro	453	483	494	422	429	432
6 Sección Centro	454	520	489	420	421	433
7 Manantial	482	496	509	-	500	427
8 Sección Sur	Na	431	462	395	404	419

Dureza total CaCO_3

Según la clasificación propuesta por De la Lanza (2014) las concentraciones de dureza caracterizaron al agua de la Cantera Oriente como moderadamente dura (68.2 – 136.4 mg/L) en octubre y febrero con excepción de la sección Norte (85.3 mg/L). Cabe mencionar la semejanza de las concentraciones en esta última sección caracterizada como moderadamente dura con un caso puntual calificado

como aguas duras. En el resto de los muestreos los sitios se clasificaron de aguas duras (153.5 – 170.5 mg/L) (Tabla 4 y figura 4).

Tabla 4: Concentraciones de Dureza total al CaCO₃ en mg/L en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	170.5	85.3	153.5	136.4	170.5	136.4
2 Sección Norte	136.4	136.4	136.4	136.4	170.5	136.4
3 Sección Norte	119.4	102.3	153.5	102.3	170.5	136.4
4 Sección Centro	119.4	68.2	136.4	85.3	136.4	136.4
5 Sección Centro	119.4	68.2	119.4	102.3	153.5	136.4
6 Sección Centro	136.4	136.4	136.4	119.4	136.4	136.4
7 Manantial	136.4	136.4	136.4	102.3	136.4	119.4
8 Sección Sur		119.4	119.4	102.3	170.5	136.4

pH

El intervalo de pH mostró escasa variación temporal y espacial, con niveles en su mayoría tendientes a lo neutro y algunos registros ligeramente ácidos. Destaca junio por presentar el intervalo de variación más amplio de 5.5 a 7.1 en junio, probablemente por errores en el equipo de registro (Tabla 5).

Tabla 5: Niveles de pH en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	6.8	6.8	6.9	6.8	6.8	5.7
2 Sección Norte	7.0	6.7	7.0	6.9	6.9	5.5
3 Sección Norte	7.1	6.7	7.0	6.8	6.9	5.6
4 Sección Centro	7.3	6.9	7.0	7.0	6.9	6.8
5 Sección Centro	7.3	6.9	7.3	7.0	6.9	7.1
6 Sección Centro	7.3	6.7	7.2	7.0	6.9	7.1
7 Manantial	7.3	6.7	7.0	7.0	6.9	5.5
8Sección Sur	Na	7.4	6.9	7.3	7.0	6.7

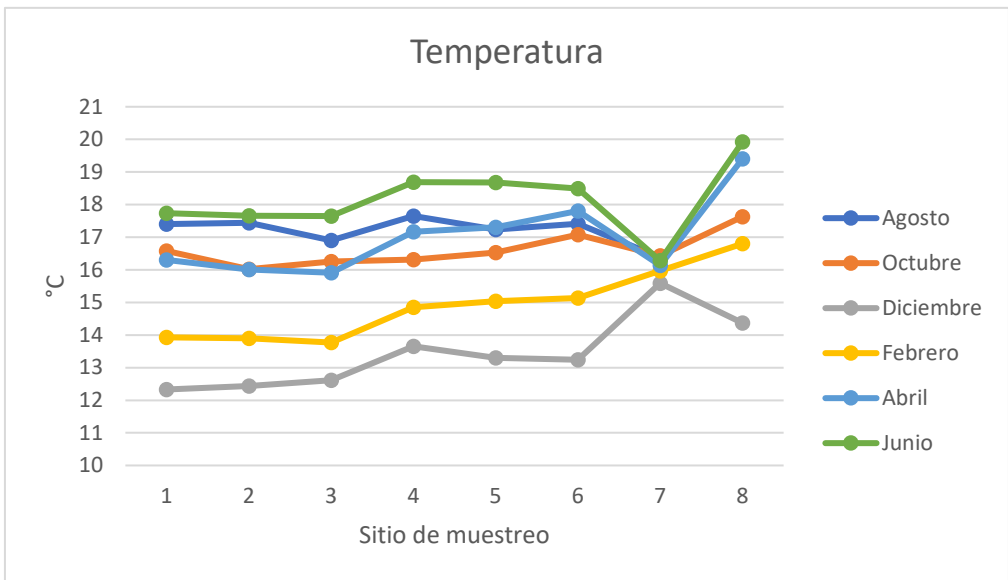


Figura 2: Variación espacial y temporal de la Temperatura en la Cantera Oriente

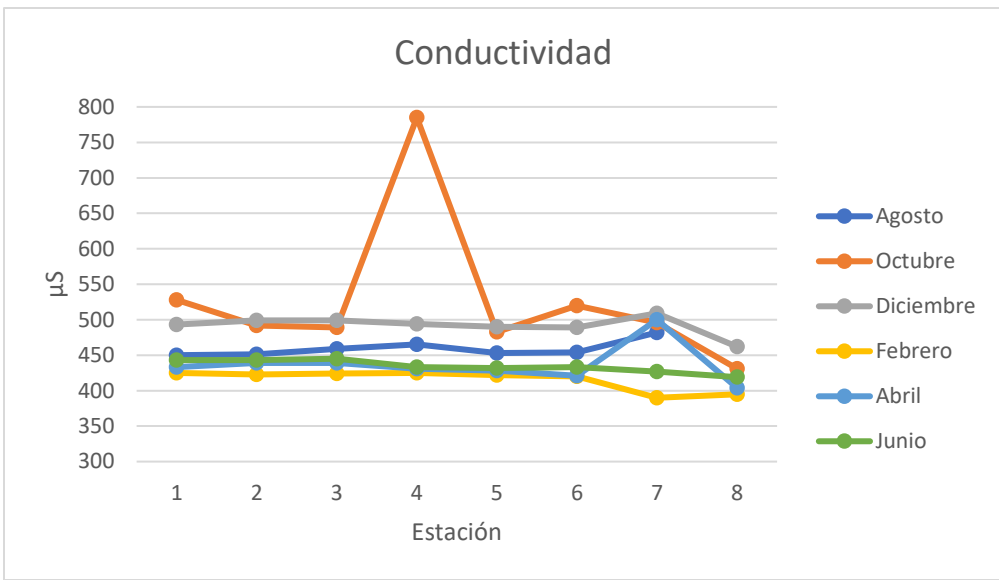


Figura 3: Variación espacial y temporal de la Conductividad en la Cantera Oriente

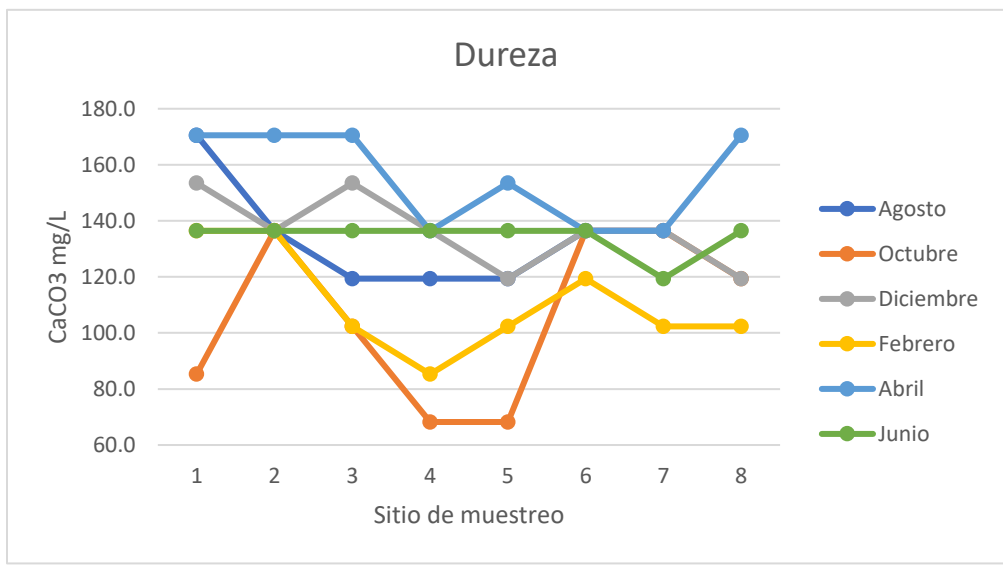


Figura 4: Variación espacial y temporal de la Dureza al CaCO₃ en la Cantera Oriente

Oxígeno Disuelto y Saturación

La concentración de oxígeno mostró una amplia variación tanto temporal como espacial. La oscilación más amplia de 5.5 a 13.9 mg/L se determinó en agosto donde se registraron los intervalos porcentuales de saturación más altos de 81.3 a 177.7%; altos porcentajes de saturación se registraron también en junio con un intervalo de 92.4 a 112% resultado de la actividad fotosintética; coincidiendo ambos muestreos con la época de lluvias. En el Manantial se estimó 60 a 97% de saturación, sitio alimentado por aguas provenientes del Ajusco (Tablas 6 y 7; figura 5)

Tabla 6: Oxígeno disuelto en mg/L en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	13.9	3.0	6.3	6.7	6.5	9.6
2 Sección Norte	9.4	4.0	6.8	5.6	6.7	10.7
3 Sección Norte	7.5	4.8	6.5	5.2	6.5	9.3
4 Sección Centro	10.9	6.0	8.9	6.3	6.5	9.6
5 Sección Centro	7.3	4.8	8.6	7.2	6.9	8.8
6 Sección Centro	8.9	4.5	8.2	7.3	6.9	8.5
7 Manantial	5.5	5.3	9.3	6.2	6.6	6.4
8 Sección Sur	Na	5.6	8.0	7.3	6.6	8.4

Tabla 7: Porcentaje de saturación de oxígeno %SatOD en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	177.7	31.2	61.1	67.0	68.4	102.0
2 Sección Norte	102.3	41.6	61.1	56.0	70.5	112.0
3 Sección Norte	81.3	50.0	61.6	52.8	68.5	98.0
4 Sección Centro	115.9	62.5	88.1	64.3	70.6	103.0
5 Sección Centro	80.3	51.6	85.1	73.5	74.2	98.0
6 Sección Centro	96.7	47.9	81.1	74.5	74.2	92.8
7 Manantial	60.0	55.6	97.8	66.7	70.7	65.4
8 Sección Sur	Na	60.2	80.0	79.3	74.6	92.4

Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno mostró un intervalo de variación amplio, con los mayores valores en febrero y abril; la sección Sur presentó un incremento en los tres últimos muestreos, alcanzando niveles máximos de hasta 92 mg/L en abril. En agosto, se determinaron los niveles más bajos que oscilaron entre 27 y 41 mg/L y en abril los más altos de 45 a 92 mg/L. El anterior comportamiento se pudiera asociar con la época de lluvias y secas (Tabla 8 y figura 6).

Tabla 8: Concentraciones de DQO en mg/L en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	Jun-18
1 Sección Norte	35	27	27	42	62	42
2 Sección Norte	32	33	33	44	64	44
3 Sección Norte	37	29	29	54	74	54
4 Sección Centro	31	32	32	52	72	52
5 Sección Centro	36	35	35	59	79	59
6 Sección Centro	41	46	46	61	81	61
7 Manantial	27	25	25	25	45	25
8Sección Sur	Na	42	42	72	92	72

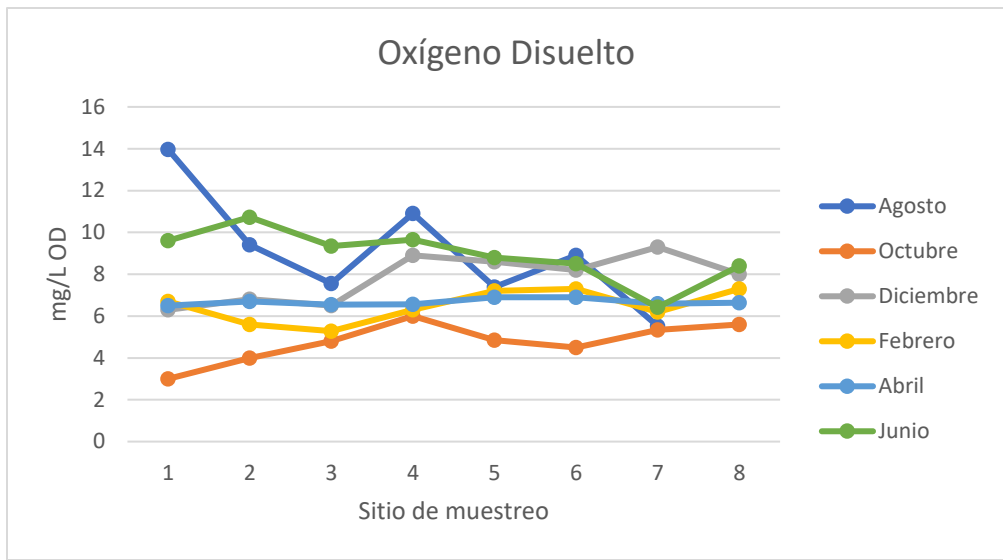


Figura 5: Variación espacial y temporal del Oxígeno disuelto en la Cantera Oriente

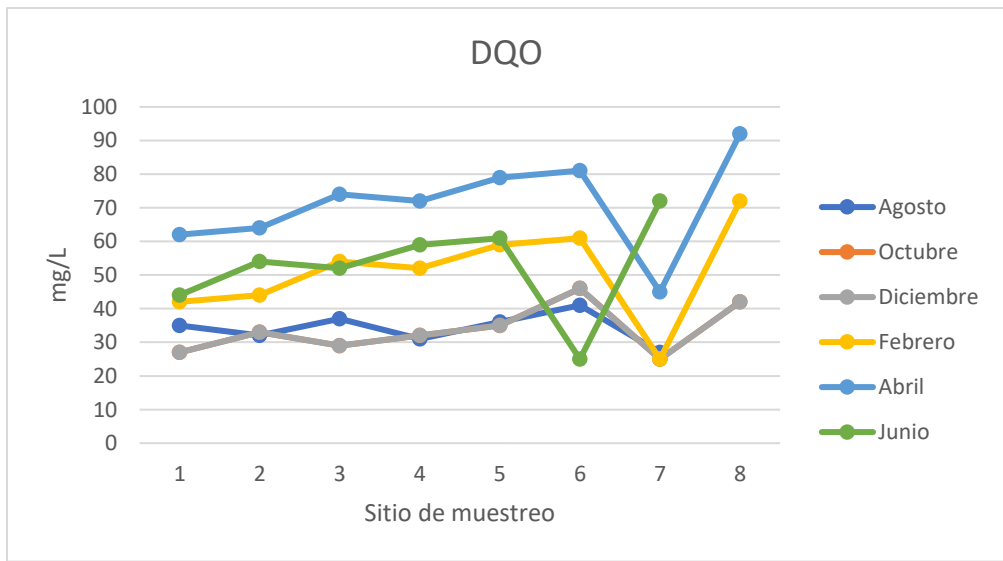


Figura 6: Variación espacial y temporal de la DQO en la Cantera Oriente

Nutrientes

Ortofosfatos

Las concentraciones de ortofosfatos fueron heterogéneas sin patrón alguno en el tiempo y en el espacio, siendo agosto el del intervalo más estrecho de 21.2 a 38.7 μM y junio con el intervalo más amplio de 24.5 a 83.8 μM en el Manantial. Los niveles más bajos entre 10.3 y 12.5 μM se determinaron en octubre, diciembre y febrero en la sección Sur frente al llamado “lago Club” sitio donde aparentemente existe una influencia de las descargas de los baños utilizados por los deportistas del club Universidad. Sin embargo, aumentaron en toda la Cantera, alcanzando valores de hasta 83.5 en el Manantial durante junio de 2018, que pudiera ser resultado del incremento en los entrenamientos deportivos y de la precipitación estacional (CONAGUA, 2019) (Tabla 9 y figura 7).

Tabla 9. Contenido de Ortofosfatos en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	38.7	19.6	25.8	40.9	20.6	24.5
2 Sección Norte	21.2	32.9	21.2	38.0	21.6	32.5
3 Sección Norte	23.5	16.4	34.8	36.4	20.6	33.8
4 Sección Centro	25.4	14.5	17.7	44.5	19.6	28.3
5 Sección Centro	23.2	33.8	36.7	27.4	21.6	32.5
6 Sección Centro	22.5	26.7	17.1	24.8	22.2	39.0
7 Manantial	24.1	25.1	21.2	30.9	41.2	83.8
8 Sección Sur	Na	10.9	10.3	12.5	20.3	35.8

Fósforo Total

Las concentraciones de fósforo total fueron heterogéneas temporal y espacialmente; a pesar de lo anterior, se observó una tendencia a disminuir de agosto a diciembre y un incremento en abril en todos los sitios muestreados. El intervalo más amplio de 65.1 a 141.9 μM se registró en agosto y el más estrecho de 110.9 a 133.5 μM en abril, en contraste a los ortofosfatos que registraron intervalos estrechos en abril; sin embargo, fue en este mes cuando todos los sitios muestreados registraron niveles elevados de fósforo total, con contenidos de más de 110 μM (Tabla 10 y figura 8).

Tabla 10: Concentraciones de Fósforo total en μM en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	74.8	41.9	50.0	79.3	122.5	56.4
2 Sección Norte	65.1	72.5	44.1	80.6	110.9	52.5
3 Sección Norte	77.4	43.2	60.9	77.4	116.1	52.2
4 Sección Centro	69.3	40.0	48.0	79.0	118.7	62.2
5 Sección Centro	90.6	59.0	35.8	73.8	126.4	49.6
6 Sección Centro	81.9	69.6	61.2	56.4	123.2	49.0
7 Manantial	141.9	65.4	37.1	64.5	133.5	93.8
8Sección Sur		43.5	60.9	65.4	120.6	52.9

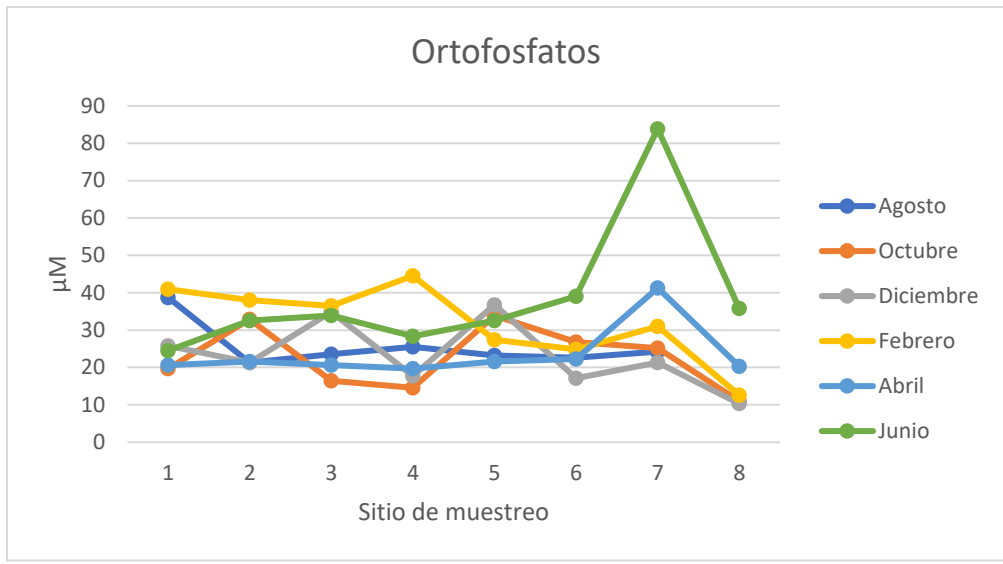


Figura 7: Variación espacial y temporal de los ortofosfatos en la Cantera Oriente

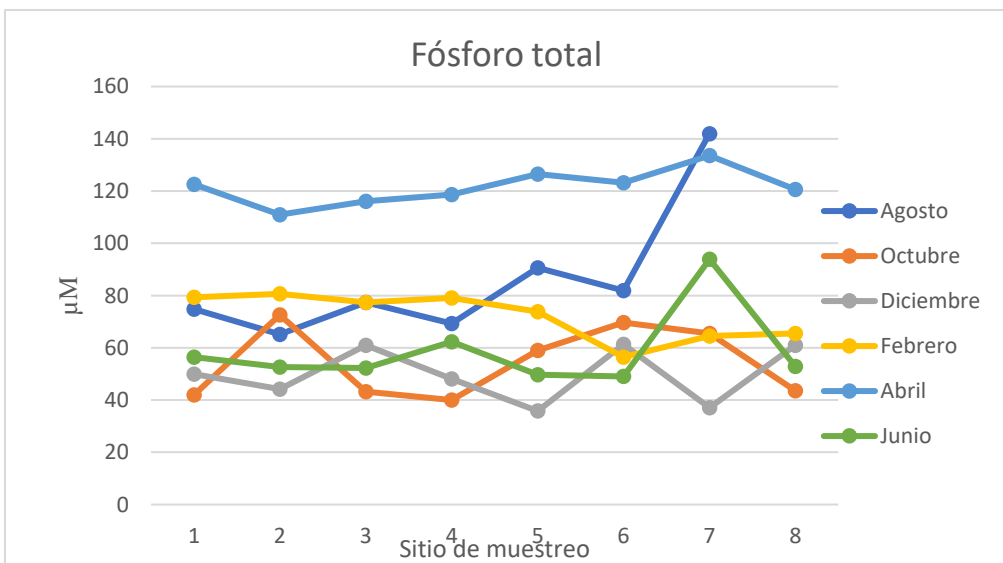


Figura 8: Variación espacial y temporal del fósforo total en la Cantera Oriente

Amonio

Los niveles de amonio fueron heterogéneos temporal y espacialmente, registrándose el intervalo más amplio de 6.4 a 24.2 μM en febrero y el más estrecho de 22.1 a 26.4 μM en junio; cabe destacar que contenidos cercanos al máximo fueron determinados en toda la Cantera en ese mes y en octubre (Tabla 11 y figura 9).

Tabla 11. Contenido de Amonio en μM en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	15.7	22.1	17.8	15.7	23.5	25.0
2 Sección Norte	22.1	25.0	17.8	12.8	23.5	25.0
3 Sección Norte	15.0	26.4	24.2	14.2	22.8	26.4
4 Sección Centro	15.0	23.5	20.7	12.1	19.2	25.0
5 Sección Centro	16.4	21.4	19.2	17.8	20.7	24.2
6 Sección Centro	16.4	27.8	18.5	24.2	22.8	25.0
7 Manantial	19.2	25.0	19.2	6.4	17.8	22.1
8 Sección Sur	Na	25.0	20.7	12.1	20.7	23.5

Nitratos

Los nitratos mostraron concentraciones heterogéneas y una tendencia a incrementar a través del tiempo, con el intervalo más estrecho de 37.8 a 39.2 μM registrándose en abril y el más amplio de 17.1 a 57.1 μM en junio, coincidiendo con los intervalos más amplios de amonio, donde se alcanzaron las concentraciones más altas (57.1 μM) para cuatro de las ocho estaciones. Asimismo, destacó la estación cuatro, al Sur de la sección dos, por mantener contenidos entre los 24.2 y 39.2 μM en todo el estudio (Tabla 12 y figura 10).

Tabla 12. Contenido de Nitratos en μM en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	20.0	10.7	14.2	39.2	39.2	57.1
2 Sección Norte	13.5	20.0	39.2	39.2	38.5	57.1
3 Sección Norte	36.4	13.5	39.2	39.2	37.8	17.1
4 Sección Centro	39.2	24.2	39.2	39.2	38.5	25.7
5 Sección Centro	39.2	39.2	22.1	12.1	37.8	57.1
6 Sección Centro	29.2	32.8	24.2	22.1	39.2	57.1
7 Manantial	18.5	28.5	12.8	27.8	39.2	23.7
8 Sección Sur		11.4	22.1	35.0	39.2	36.4

Nitritos

La concentración de nitritos fue heterogénea temporal y espacialmente. El contenido más alto y el intervalo más amplio de 0.7 a 9.0 μM se registraron en febrero, y el intervalo más estrecho de 1.1 a 1.5 μM en agosto. Destacó el sitio uno en la boca del canal y el sitio dos en el Centro de la misma sección que se mantuvieron relativamente constantes de entre 0.43 a 1.71 μM en todos los muestreos según el intervalo de variación y comparado con los nitratos y amonio (Tabla 13 y figura 11).

Tabla 13. Contenido de Nitritos en μM en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
1 Sección Norte	1.5	0.4	1.5	1.7	1.5	1.4
2 Sección Norte	1.5	1.7	0.8	1.2	1.6	1.7
3 Sección Norte	1.5	0.7	1.8	0.8	2.2	2.2
4 Sección Centro	1.0	0.8	0.6	3.3	2.9	4.3
5 Sección Centro	1.2	0.4	0.8	1.2	3.2	4.0
6 Sección Centro	2.4	0.2	1.1	2.2	3.6	4.1
7 Manantial	1.5	2.6	0.1	0.7	0.3	0.2
8 Sección Sur		1.7	1.8	---	---	7.3

Nitrógeno Total

La concentración del nitrógeno total mostró una variación temporal y espacial amplia, de 300 μM a 500 μM . A pesar de lo anterior, se observó una tendencia a incrementar de agosto a abril, con el intervalo más estrecho de 257.1 a 457.1 μM en agosto y el más amplio de 364.1 a 805.0 μM en junio. El contenido mínimo de 278.5 μM se registró en la estación cuatro durante octubre, y el máximo de 835.7 μM en ese mismo sitio en febrero (Tabla 14 y figura 12).

Tabla 14: Concentraciones de Nitrógeno Total en μM en los meses muestreados

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	Jun-18
1 Sección Norte	435.7	500.0	507.1	628.5	728.5	519.2
2 Sección Norte	335.7	635.7	535.7	585.7	621.4	364.1
3 Sección Norte	314.2	364.2	514.2	514.2	592.8	397.8
4 Sección Centro	257.1	278.5	614.2	835.7	607.1	612.1
5 Sección Centro	321.4	371.4	542.8	592.8	557.1	569.2
6 Sección Centro	457.1	385.7	642.8	650.0	564.2	405.0
7 Manantial	357.1	607.1	585.7	585.7	735.7	805.0
8 Sección Sur	NA	557.1	635.7	642.8	650.0	662.1

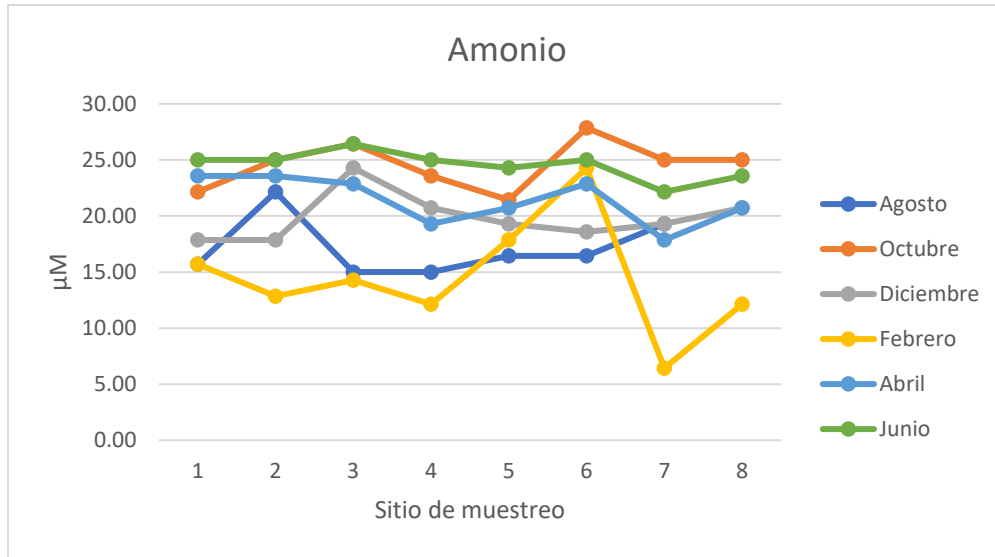


Figura 9: Variación espacial y temporal del amonio en la Cantera Oriente

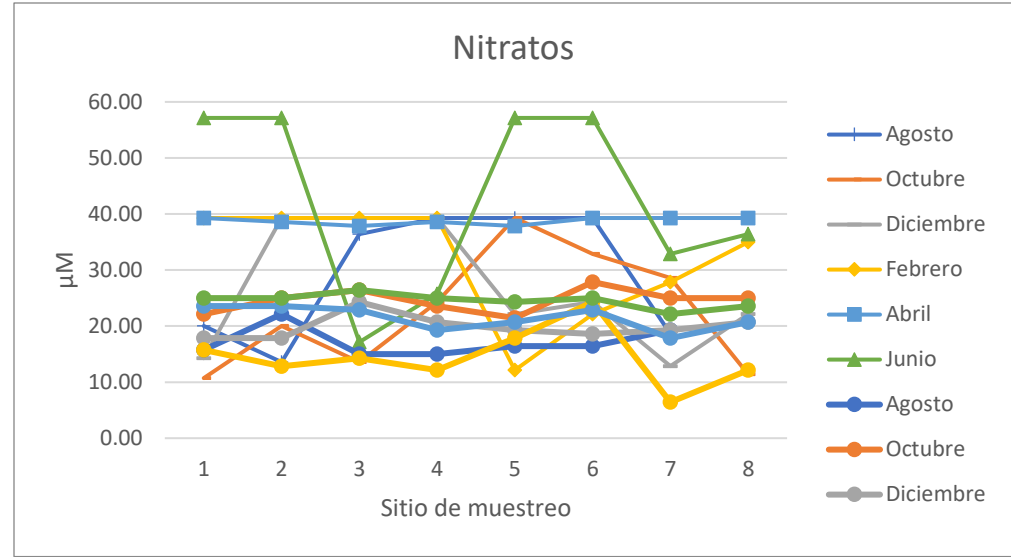


Figura 10: Variación espacial y temporal de los nitratos en la Cantera Oriente

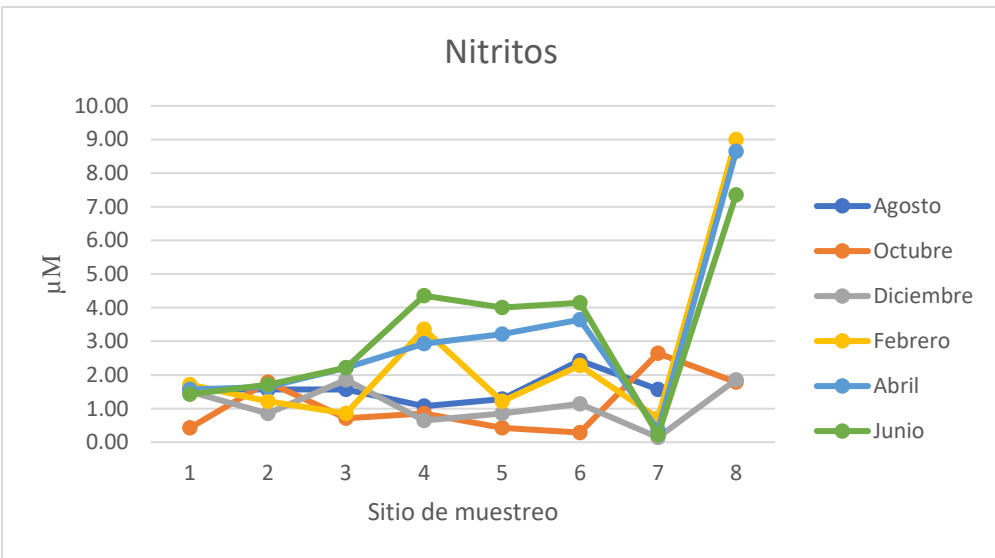


Figura 11: Variación espacial y temporal de los nitritos en la Cantera Oriente

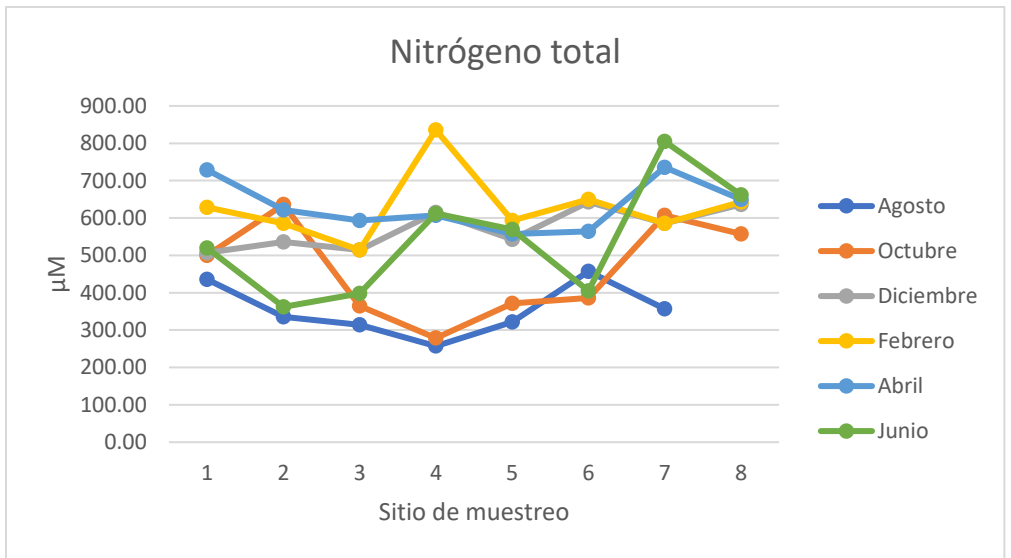


Figura 12: Variación espacial y temporal del nitrógeno total en la Cantera Oriente

Clorofila a

La concentración de clorofila a varió temporal y espacialmente con un amplio intervalo en todos los muestreos. La variación mínima de 39.4 a 95.2 µg/L se registró en octubre, y la máxima de 57.0 a 543.9 µg/L en agosto; asimismo, el máximo de clorofila fue en el sitio tres de la sección Norte. Destacó el sitio Manantial por mantener concentraciones inferiores a estos intervalos en todos los muestreos, con una oscilación desde lo indetectable en junio a 12.3 µg/L en diciembre. (Tabla 15 y figura 13).

Tabla 15: Concentraciones de clorofila a en µg/L a lo largo del estudio en las ocho estaciones de muestreo

Estación	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	Jun-18
1 Sección Norte	74.0	42.9	39.4	512.1	214.6	89.3
2 Sección Norte	85.2	39.4	92.9	131.7	230.5	68.8
3 Sección Norte	543.9	46.4	83.3	88.7	321.0	94.0
4 Sección Centro	57.0	44.1	30.5	122.8	385.7	171.1
5 Sección Centro	110.5	62.9	108.1	145.8	388.6	246.3
6 Sección Centro	122.3	95.2	73.5	150.5	346.3	185.8
7 Manantial	2.9	4.1	12.3	5.8	3.5	N/D
8 Sección Sur	Na	56.4	132.8	75.8	358.0	145.2

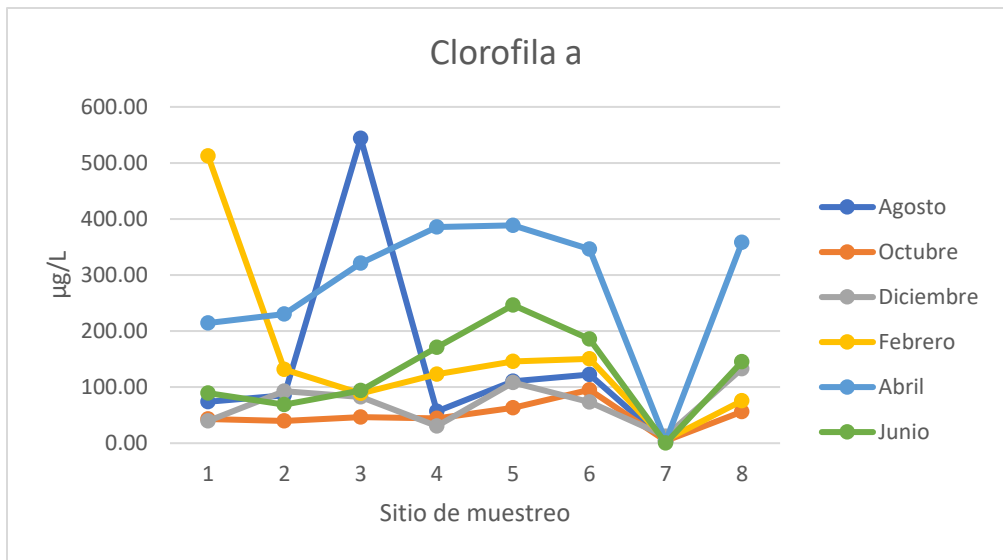


Figura 13: Variación espacial y temporal de la clorofila a en la Cantera Oriente

Estimación de estado trófico

Índice de Carlson

Siguiendo las fórmulas propuestas por Carlson (1977) se estimó el estado trófico de las diferentes secciones de la Cantera Oriente, utilizando los valores de fósforo total y clorofila a. Las estimaciones variaron entre 63 y 105 unidades, ubicando a la mayoría de las secciones entre el estado eutrófico e hipereutrófico. En abril los sitios uno, dos, tres, cuatro, cinco, seis y ocho presentaron valores por encima de las 80 unidades, señalando un estado de hipereutrofía en todos los muestreos, con valores por encima del límite del índice ($IET > 100$), a excepción de la estación dos uno de los sitios de muestreo cercano a los asentamientos urbanos. Destacó el Manantial por presentar valores inferiores en comparación a los demás sitios muestreados, fluctuando entre las 63 y 83 unidades lo cual lo caracterizó como eutrófico.

Tabla 16. Índice Carlson calculado utilizando la fórmula propuesta por Carlson (1977).

Índice Carlson						
	ago-17	oct-17	dic-17	feb-18	abr-18	jun-18
Estación 1	94.36	87.51	88.35	104.27	103.14	93.24
Estación 2	93.98	91.15	91.67	97.72	83.96	91.45
Estación 3	104.38	88.11	93.39	95.49	104.72	92.94
Estación 4	92.52	87.41	86.83	97.23	105.77	97.14
Estación 5	97.7	91.85	90.91	97.58	106.27	96.76
Estación 6	97.35	95.08	92.88	95.79	105.52	95.82
Estación 7	83.14	79.22	80.51	77.36	83.60	63.58
Estación 8		89.12	95.74	93.49	105.53	95.16

Análisis estadísticos

Se realizaron análisis multivariados PERMANOVA con el objetivo de determinar diferencias significativas entre las distintas secciones de la Cantera Oriente y entre estaciones del año, así como un consecuente análisis de correlación canónica para medir la influencia de los meses, las épocas y los sitios en la variación de los parámetros medidos.

Variación espacial y temporal

La prueba multivariada PERMANOVA encontró diferencias significativas entre las distintas secciones de la Cantera con una $p < 0.0001$. El análisis post-hoc mostró diferencias estadísticamente significativas entre el Manantial y todas las secciones de la Cantera, y entre la sección Norte y la sección Sur. El análisis no encontró diferencias entre la sección Norte y la sección Centro, y entre la sección Centro y la sección Sur.

Tabla 17: Resultados del análisis post-hoc de la prueba multiparamétrica PERMANOVA entre las diferentes secciones de la Cantera Oriente, los valores representan el valor de p calculado entre cada sección.

	Sección Norte	Sección Centro	Manantial	Sección Sur
Sección Norte				
Sección Centro	0.5293			
Manantial	0.0001	0.0001		
Sección Sur	0.025	0.071	0.002	

También se realizó otra prueba PERMANOVA que mostró diferencias significativas entre las distintas épocas del año, según la variación climática anual señalada por García (2004), con una $p = 0.0025$. La prueba post-hoc arrojó diferencias significativas entre la primavera y el otoño, el otoño y el invierno y el

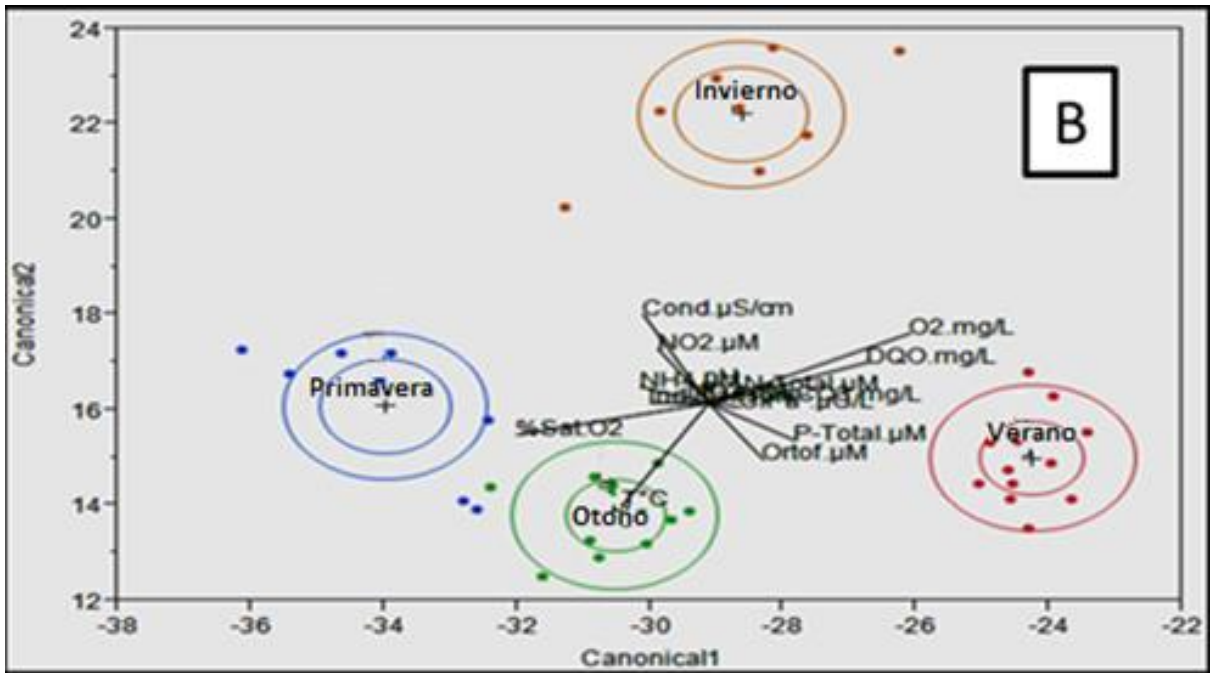
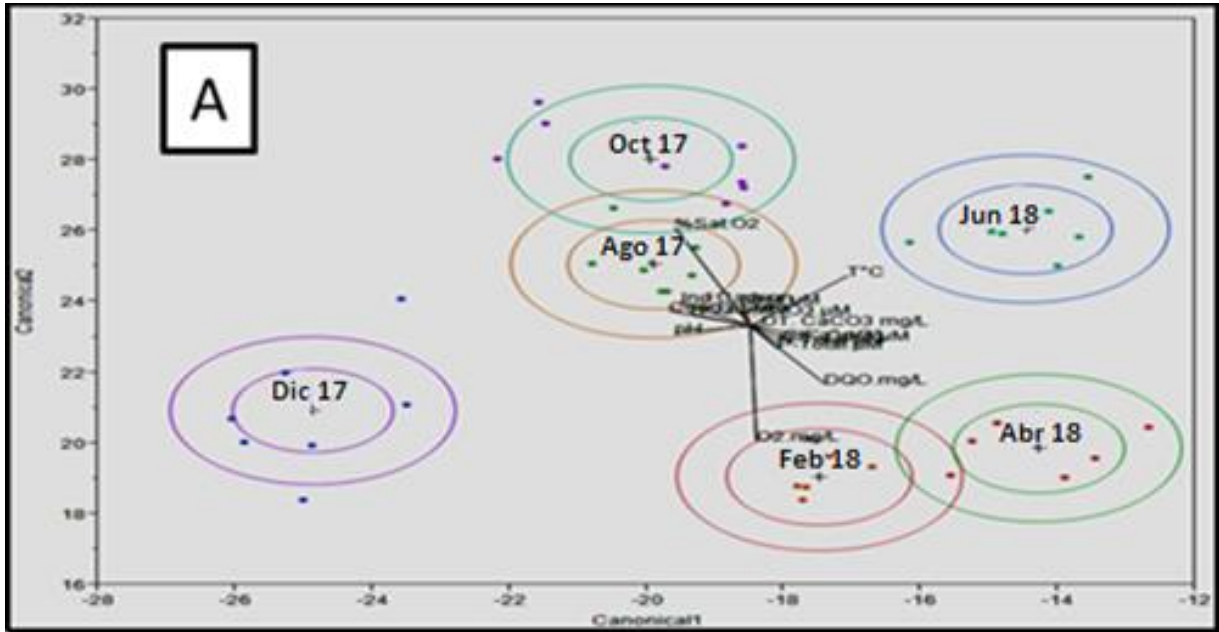
otoño con el verano. El análisis no determinó diferencias entre el invierno y el verano y la primavera y el invierno.

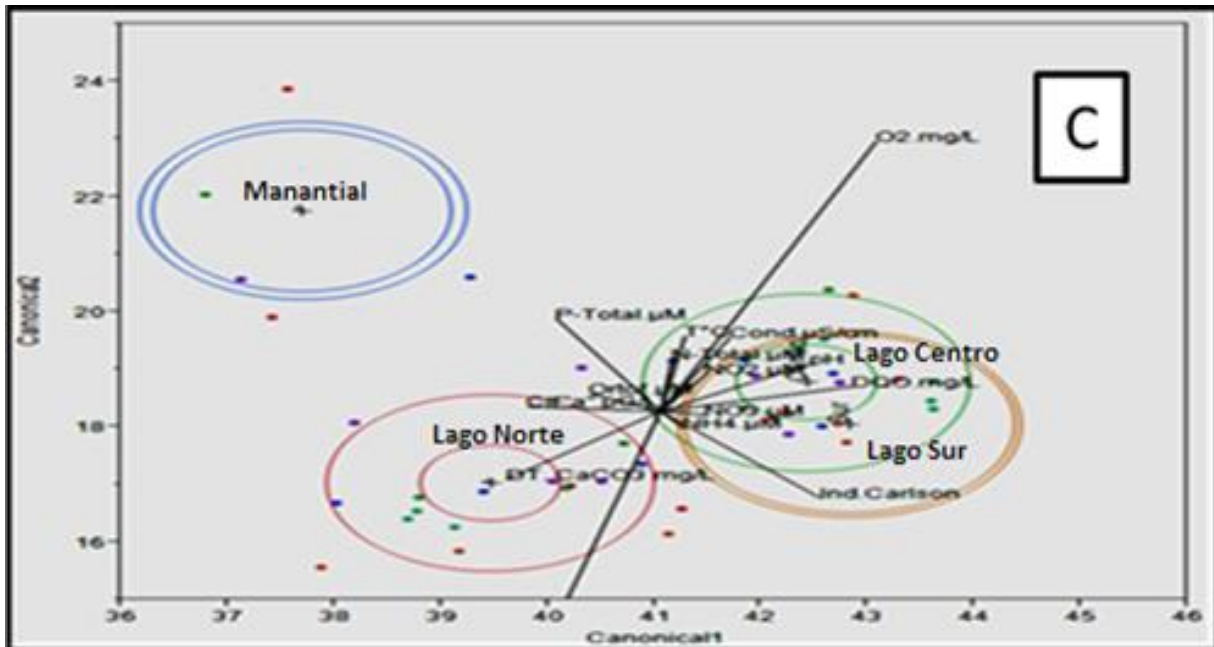
Tabla 18: Resultados del análisis post-hoc de la prueba multiparamétrica PERMANOVA entre las diferentes temporadas del año según la variación climática anual referida por García (2004). Los valores representan el valor de p obtenido en el análisis, del contraste entre cada estación del año.

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Verano				
Otoño	0.0444			
Invierno	0.3612	0.0075		
Primavera	0.0592	0.0004	0.1515	

Análisis multivariado y de correlación canónica

Se realizaron tres análisis multivariados en la modalidad discriminante, con el objetivo de contrastar la posible influencia del sitio y el mes de muestreo, así como la estación del año sobre los parámetros medidos. En la figura 14 se presentan las medias multivariadas de estos análisis, donde se observa una separación temporal clara entre los meses de muestreo (siendo los más divergentes junio y diciembre, fig. 14 A), estos al ser reagrupados como épocas: Primavera, Verano, Otoño e Invierno, muestran una discriminación completa, indicando su separación temporal, (fig. 14 B) y para el caso del componente espacial, la sección Norte y el Manantial, se comportaron de forma distinta y las otras, secciones comparten afinidad (figs 14 C). La figura 14 también presenta los vectores de las variables que fueron estadísticamente significativas en cada análisis, la dimensión del vector señala la magnitud de su efecto.





Figuras 14A, B y C: Medias multivariadas (canónicas) de la comparación temporal: meses-épocas (A, B) y la variación espacial (C) con base en indicadores fisicoquímicos y sus correspondientes estados tróficos del sistema acuático de la Cantera Oriente., CU.

Por otra parte, en la tabla 20 se muestran los valores de la prueba de “F” y el nivel de significancia (p) de las variables medidas, en relación a las comparaciones entre meses, secciones y épocas, entre los que destacan la conductividad, el oxígeno disuelto, la DQO y el fósforo total por ser variables que presentan una influencia altamente significativa en la dinámica espacio – temporal de la cantera oriente.

Tabla 19. Indicadores físico – químicos y bióticos que resultaron significativos en los análisis multivariados discriminantes (meses – épocas y secciones) del sistema acuático de la Cantera Oriente, Ciudad Universitaria. Resaltan en color rojo aquellas variables con diferencias estadísticamente significativas según los meses, las secciones o épocas. En negritas se destacan las variables estadísticamente significativas en dos o más contrastes

Contraste	MESES		SECCIONES		EPOCAS	
	F	Valor p	F	Valor p	F	Valor p
T °C	21.439	0.00000	0.164	0.91	16.147	0.00000
Conductividad	11.64	0.00000	2.588	0.07	13.395	0.0000
Dureza Total	1.025	0.42	7.453	0.000	0.413	0.74
pH	6.859	0.000	6.195	0.001	0.388	0.76
O₂	5.081	0.001	4.600	0.008	6.116	0.002
% satur. O₂	2.906	0.03	0.422	0.73	3.285	0.03
DQO	8.978	0.0000	4.886	0.006	11.857	0.0000
Ortofosfatos	6.594	0.0000	2.103	0.12	4.833	0.008
P – Total	21.837	0.00000	7.007	0.000	5.237	0.006
NH₄	1.799	0.14	0.569	0.63	1.630	0.20
NO₂	3.213	0.02	2.254	0.10	4.018	0.01
NO₃	1.062	0.40	0.874	0.46	0.341	0.79
N – Total	4.142	0.006	1.091	0.36	2.863	0.05
Clorofila	0.721	0.61	1.463	0.24	0.452	0.71
Indice Carlson	1.755	0.15	7.480	0.000	1.292	0.29

Discusión

Caracterización fisicoquímica

El comportamiento térmico de las aguas de la Cantera señaló una escasa variación estacional (como lo refiere García, 2008 para el ámbito atmosférico); es decir que fluctuó dentro de un intervalo de este parámetro, en primavera varió de 16 a 19 °C, verano de 16 a 20 °C y otoño de 16 a 18 °C con excepción del invierno de 12 a 17 °C. De la misma manera, Bermúdez (2010) en 2008 registró una estacionalidad anual semejante al presente estudio; González-Gutiérrez (2015) determinó un comportamiento estacional con máximos en agosto de 23.5 °C que correspondería a verano y mínimos en noviembre de 15.5 °C, época considerada como disminución de la temperatura; la falta de semejanza entre los autores en la precisión térmica pudo deberse a diversos factores: diferencias interanuales, la hora y sitios de muestreo. En cambio, Novelo et al. (2007) en un solo muestreo estimó en agosto una temperatura mínima de 9°C y máxima de 27°C, diferencias posiblemente resultantes del sitio y hora de muestreo. Con el objeto de comparar con otros cuerpos de agua artificiales como el del lago de Chapultepec, Muro (1994) estimó una variación espacial de 17.2 a 18.9 °C con una diferencia de 1.7

°C; por su parte Guzmán (2010) en el lago artificial de Tezozómoc determinó una variación temporal de 15.5 (invierno) a 24.2 °C (primavera). En lo que respecta a este parámetro y su intervalo de variación, los resultados obtenidos en el presente estudio pueden considerarse que son parecidos en su marcha anual, resultado de su ubicación a la misma latitud.

El intervalo de conductividad en la Cantera Oriente fue de 400 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pudiéndose asociar con los cambios climáticos estacionales, a los aportes provenientes de los Manantiales y al incremento externo de descargas supuestamente antropogénicas de diferentes sales que pueden o no disociarse en un campo eléctrico caracterizándose entre aguas semi duras a duras; tomando en cuenta que dependen de su grado de disociación y solubilidad, como sulfatos (menor solubilidad) y carbonatos (mayor solubilidad). Este parámetro a pesar de ser conservativo ha mostrado incrementos que no solamente puede incluir a la diferencia entre los sitios de muestreo sino también a la precisión del equipo utilizado. Al respecto Hernández-Martínez et al. (2007) en un solo muestreo en el 2006 determinaron un intervalo menor entre 322 y 336 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ocho años después González-Gutiérrez (2015), refirió un intervalo entre 325 y 456 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque Lugo-Vázquez et al (2017) señalaron una fluctuación parecida de entre 377 y 491 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pero con diferencias entre 131 y 114 o 17 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resultado de la sensibilidad en los equipos usados. Comparativamente en el lago Tezozómoc Guzmán (2012) refirió una amplia variación de entre 194 y 2142 $\mu\text{S cm}^{-1}$, consecuencia de las descargas de aguas tratadas y a la velocidad que son producidas; Jiménez-Contreras (2007) estimó en algunos canales del lago de Xochimilco niveles que fluctuaron entre 300 y 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre 2005 y 2006 cuyo resultado puede ser la intensidad del uso del suelo y la lixiviación de los materiales orgánicos e inorgánicos usados en los cultivos como lo refiere el autos Esteves (1998), señaló que las fluctuaciones en la conductividad como parámetro conservativo son resultado de las variaciones climáticas entre las épocas de lluvias y secas, sumadas a los aportes antropogénicos y su inadecuado tratamiento.

La dureza se puede clasificar como permanente, en donde predomina los sulfatos y la temporal caracterizada por los carbonatos (Margalef, 1983) que en ambos casos puede variar la concentración según la temporada; puede expresarse como dureza al CaCO_3 . Se ha clasificado el grado de dureza con base en las siguientes concentraciones según Sawyer y McCarthy, (1967): 0-75 mg/L aguas suaves, 75-150 mg/L moderadamente dura, de 150 a 300 mg/L aguas duras y >300 mg/L aguas muy duras. En el caso de la Cantera Oriente y según los registros obtenidos se considera al agua como moderadamente dura a dura, incluyendo las aguas que se aportan en el Manantial, de acuerdo con registros de de la Lanza (2014). Lo anterior señala que la Cantera no solamente tiene una escasa variación espacial sino temporal debido a efectos de concentración o dilución debido a la época de secas y de lluvias. En una estimación puntual, Hernández-Martínez et al. (2007) determinaron en la Cantera niveles inferiores a los 75 mg/L lo que se clasifican como aguas suaves a moderadamente duras.

La concentración y el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto registraron condiciones heterogéneas sin asociación con las épocas del año; sin embargo dado que refiere a un porcentaje de un gas no conservativo que depende de su solubilidad de difusión entre la atmósfera y la superficie del agua (Wetzel, 2001), además de otros factores fisicoquímicos (temperatura y salinidad) y biológicos (fotosíntesis y respiración) que varían según la hora del día y la dinámica de mezcla (viento) cuya distribución puede ser en parches (Lara-Lara y Álvarez-Borrego, 1975) además de depender de la geomorfología; situación compleja observada en la Cantera Oriente. En este cuerpo artificial osciló entre condiciones aireadas, de sobresaturación, hasta la hipoxia, con un intervalo de 3.0 a 13.9 mg/L (31 a 177 % sat. OD); condiciones aproximadamente semejantes a lo registrado por diferentes autores: González-Gutiérrez (2015) determinó un intervalo entre 4.2 hasta 18.7 mg/L (49 a 219 % sat. OD) resultado de los factores arriba señalados; por su parte Santiago-Lima (2015) en 2013 estimó un porcentaje de saturación con intervalos semejantes, que oscilaron entre 89 a 227 % sat. OD; incluso Lugo et al. (2017), calculó entre el 75 al 267 % sat OD. Incluso dichas oscilaciones se han registrado en otros cuerpos de agua artificiales como el Lago de Chapultepec,

Muro (1994) determinó un intervalo de 9.5 a 13.09 mg/L (113 a 156 % sat. OD); el intervalo entre superficie y fondo puede ser amplio, como Domínguez-Pascual (2006) lo determinó en la Laguna de Zumpango con 0.5 a 8 mg/L (15 y 120 % sat. OD), respectivamente. Lo anterior señala que en cuerpos de agua artificiales del altiplano las variaciones de oxígeno pueden ser tanto adecuadas como inapropiadas para la vida acuática (Martínez-Córdoba, 1998) según la época. Incluso la oscilación entre la hipoxia hasta la sobresaturación, se ha observado en cuerpos de agua naturales, como la Ciénega de Tláhuac (De la Lanza-Espino y Hernández-Pulido, 2019) siendo resultado no sólo de factores fisicoquímicos y biológicos que regulan la concentración del oxígeno; pero actualmente también es influido por factores locales, recreativos y antropogénicos

El en la Cantera el pH osciló en general entre un ambiente neutro hasta ligeramente ácido o alcalino, con dos excepciones puntuales en la boca del canal y en el Manantial, donde se registraron condiciones ácidas de 5.5 unidades resultado de la influencia antropogénica y de la posible disolución de la roca volcánica (Varekamp et al, 2000); asimismo se debe de considerar la variación del pH influenciada por la fotosíntesis y respiración; además de posibles errores en el equipo de registro. Este parámetro presenta una variación diaria entre 7.5 y 9.5 en condiciones normales en cuerpos de agua semicerrados de alta producción primaria (De la Lanza-Espino, 2014), esto en conjunto con otros estudios realizados señalan que el intervalo de pH puede oscilar en forma natural entre lo ligeramente ácido a lo alcalino en respuesta a la producción primaria y la respiración; dicha variación pero en diferentes escalas ha sido referida por Hernández-Martínez et al. (2007) quienes estimaron un intervalo de 7.1 a 7.8, además de González-Gutiérrez (2015) como Lugo et al. (2017) registraron entre 6.3 a 9.9. En otros cuerpos de agua artificiales, como el Lago de Chapultepec Muro, (1994) refirió promedios tendientes a la alcalinidad de 9.5 y por su parte Namihira-Santillán (2002) en el Lago del Parque Huayamilpas estimó un intervalo de entre 7.8 a 9.3, atribuyendo esto a la alta fotosíntesis.

La concentración de ortofosfatos varió más en el tiempo y espacio entre 10.3 a 44.5 μM con un promedio de 25 μM ; el contenido más alto es considerado dentro de una condición de eutrofización, asimismo, se registró un nivel máximo puntual en el Manantial de 83.87 μM incluso González-Gutiérrez (2015) determinó entre 2 hasta 56 μM , este último registrado en el Manantial. Hernández-Martínez et al. (2007) estimó niveles de 21.6 a 22.4 μM ; y Lugo et al. (2017) cuantificaron entre 0.6 a 10 μM que puede ser debido al aporte constante por parte de las actividades del Centro deportivo colindante a la sección Sur de la Cantera Oriente. Ponce-Márquez et al. (2019), refiere las altas concentraciones en el agua del Manantial con un amplio intervalo de no detectable hasta >90 μM , probablemente resultado de los escurrimientos urbanos adyacentes. Las diferencias anteriores pueden ser resultado tanto de registros puntuales, de la fotosíntesis fitoplanctónica que no se distribuye homogéneamente, asimismo de la planeación de los muestreos. Los intervalos de concentración son semejantes a los registrados en otros cuerpos de agua artificiales; por ejemplo, la Alameda Oriente, Montaña-Salazar determinó entre 10 a 50 μM o en el sistema acuático natural denominado el Ramal de Tláhuac por Castro (1992); sin embargo, recientemente De la Lanza-Espino y Hernández-Pulido (2019) estimaron un intervalo entre 13 y 258 μM , niveles que clasificaron a Tláhuac como hipereutrífico; en apoyo a lo anterior Lot et al. (2012) registraron descargas antropogénicas de diversa índole que promuevan un enriquecimiento tanto de materia orgánica como de fósforo y nitrógeno totales.

En cuerpos de agua continentales tanto artificiales como naturales, el amonio disuelto proviene del primer paso en la descomposición de proteínas de origen animal y vegetal, conocido como amonificación (Esteves, 1998). Este compuesto nitrogenado fluctúa ampliamente temporal y espacialmente: por asimilación fotosintética y en buena parte por las actividades antropogénicas que inducen a la contaminación por materia orgánica (Reid y Wood, 1976). En la Cantera Oriente, el amonio tuvo un intervalo de 6.4 a 24.5 μM . Existe un solo registro de Novelo et al (2007) con un intervalo más amplio entre 6 y 46 μM , con el máximo en la sección Sur, resultado de una condición fisicoquímica puntual, posiblemente asociada a las actividades deportivas. En comparación con otros cuerpos de agua,

como el Ramal de Tláhuac, Castro (1992) estimó un intervalo de 8 a 93 μM , concluyendo que existe contaminación de origen antrópica; 27 años después De la Lanza-Espino y Hernández-Pulido (2019) cuantificaron niveles 200 veces más a lo registrado en el presente estudio, que según los autores proceden de los asentamientos urbanos y la actividad agrícola adyacentes. Las concentraciones de amonio determinadas en la Cantera Oriente son características de agua con poca contaminación de materia orgánica en degradación ($\text{NH}_4^+ < 50 \mu\text{M}$) de acuerdo con lo señalado por De la Lanza-Espino (2014) para cuerpos de agua lénticos.

El producto de la fase intermedia de la oxidación de los compuestos inorgánicos nitrogenados es el nitrito (NO_2^-) se encuentra en cantidades bajas en sistemas continentales naturales y artificiales (Esteves, 1998). En la Cantera Oriente este nutriente registró una relativa homogeneidad con contenidos que oscilaron entre 0.2 a 2.6 μM , con excepción en todos los sitios muestreados donde se determinaron niveles entre 4 y 7 μM . Hernández-Martínez et al. (2007) y Novelo et al. (2007) refirieron intervalos más amplios comparado con el presente estudio, (7 a 14 μM y de 0.4 a 7 μM respectivamente), diferencias que pudieron ser resultado de las metodologías empleadas, de los planteamientos de dichos autores y de la ubicación de los sitios de muestreo. En otros cuerpos de agua artificiales se han registrado intervalos semejantes a los de la Cantera; Montañó-Salazar (2010) determinó en la Alameda Oriente una variación de entre 0.3 a 3 μM intervalo parecido al determinado en la Cantera. Según Luna-Pabello y Aburto-Castañeda (2014) cuantificaron en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón, un intervalo de entre 0.14 y 44 μM ; cabe señalar que el máximo determinado según estos autores es resultado que dicho lago se mantiene con aguas residuales tratadas con posibilidad de un proceso deficiente de purificación.

La concentración de nitratos varía con los aportes pluviales y fluviales, asimismo por la producción y descomposición de materia orgánica autóctona y alóctona (Martínez-Córdoba, 1998). En la Cantera Oriente se estimó una variación heterogénea entre 10.71 a 57.14 μM ., lo anterior pudo ser resultado de la ubicación de los sitios de muestreo y distribución en parches de este nutriente y

diferencias en las técnicas empleadas en la determinación de este parámetro. Estudios realizados previamente en la Cantera por Hernández-Martínez et al. (2007) y Novelo et al. (2007) refirieron concentraciones entre 22.6 a 41 μM y de 135.3 a 657.1 μM respectivamente, por las razones arriba señaladas. Ocho años después, González-Gutiérrez (2013) registró un incremento que varió entre 171.5 a 871.1 μM . En comparación con otros sistemas acuáticos Enríquez-García et al. (2009) determinaron concentraciones de nitratos de 42 a 73 μM en el Lago Huetzalin (cuerpo de agua considerado dentro de Xochimilco), Domínguez-Pascual (2010) cuantificó en Lago de Zumpango concentraciones entre 10 y 64 μM . No solamente por diferencias de origen y de fechas de cuantificación, el contenido de este nutriente en la Cantera Oriente se clasifica como un sistema oligotrófico a eutrófico con contaminación antropogénica, tomando como base lo referido de la Lanza Espino (2014).

La concentración de fósforo total en los cuerpos de agua es utilizada ampliamente como un indicador directo del estado trófico, dada su importancia como factor limitante para los productores primarios (Esteves, 1998). En la Cantera Oriente, el fósforo total registró un intervalo de variación amplio de 35 a 141.9 μM con una variación heterogénea, destacando en primavera elevadas concentraciones superiores a los 100 μM en todos los sitios de muestreo, resultado de una posible concentración de un mes de muestreo considerado dentro de la sequía anual (CONAGUA, 2019). Hernández-Martínez et al. (2007) estimaron un intervalo entre 40 a 47 μM hace más de una década; recientemente Santiago-Lima (2016) refirió un intervalo de 4 a 18 μM en 2013; posteriormente, Lugo et al. (2017) de 2 a 40 μM . En cuanto a cuerpos de agua epicontinentales de México Bernal-Brooks y Alcocer (2010) mencionan una variación entre 0.25 a 64 μM , semejante al promedio de la Cantera. Alcocer et al. (1989) cuantificaron en el Lago Viejo de Chapultepec entre 18 a 70 μM ; Domínguez (2006) en el lago de Zumpango estimó una variación de 16 a 80 μM . Con base en los intervalos señalados por Moreno-Franco et al. (2010) la Cantera Oriente se categorizó como un cuerpo de agua eutrófico a hipertrófico por sus concentraciones de fósforo total, por arriba de 12 y 24 μM respectivamente.

Otro parámetro empleado en la estimación del estado trófico es el contenido total de nitrógeno, que incluye tanto las formas orgánicas como inorgánicas (Ebina, 1983). Las concentraciones de nitrógeno total en la Cantera Oriente fueron altas y heterogéneas sin regionalización temporal y espacial, con una oscilación entre 257 a 835 μM , concentraciones consideradas dentro de la eutrofización y procedentes de las descargas antropogénicas continuas tanto directas como de escurrimientos (com pers. Biól. Francisco Martínez, responsable de la Cantera). En el 2006 Hernández-Martínez et al (2007) en un solo muestreo cuantificaron niveles más bajos en 2006 con 45.7 a 82.7 μM ., diez años después Santiago-Lima (2016) determinó un intervalo de 445 a 665 μM , parecidos a lo cuantificado en el presente estudio; lo que significó en ambos casos un incremento entre los máximos de nitrógeno en los escurrimientos naturales y antropogénicos entre ocho a diez veces. El nitrógeno total en la Cantera Oriente ha presentado concentraciones indicadoras de una condición hipertrófica (superiores a 140 μM) de acuerdo con Yang et al. (2009). En comparación con otros sistemas acuáticos artificiales, como los canales del Lago de Xochimilco, Jiménez (2007) once años antes del presente, registró un intervalo de 32 a 96 μM ; por los factores arriba señalados, más recientemente, López (2012) estimó en el lago Tezozómoc contenidos entre 279 y 732 μM , cuerpo artificial que recibe aguas tratadas cuya eficiencia se desconoce.

Las concentraciones de clorofila a en la Cantera registraron amplia heterogeneidad, destacando los mínimos y los máximos (2.9 a 543 $\mu\text{g/L}$) en el muestreo de abril, lo cual señala la predominancia de la variación espacial que la temporal a pesar de que la distribución del fitoplancton pueda ser en parches por efecto del viento (Álvarez-Borrego y Nájera-Muñoz, 1979), incluso por factores fisicoquímicos locales y puntuales, en el caso del Manantial mostró en general los niveles más bajos, cuyo resultado puede ser un efecto de sombra que disminuye la incidencia de luz y baja fotosíntesis. El amplio intervalo registrado en la Cantera es semejante a los determinados por otros autores, por ejemplo, González-Gutiérrez (2015) de 1 a 278 $\mu\text{g/L}$ y Lugo et al. (2017) estimaron un intervalo de 2 a 468 $\mu\text{g/L}$ resultado, dentro de los diversos factores que intervienen, a la distribución en parches y que califican a la Cantera en una condición hipertrófica según la clasificación de Carlson (1977).

Comparativamente con otros cuerpos de agua, como el lago Viejo de Chapultepec donde Alcocer et al. (1988) cuantificó un amplio intervalo a 275 a 700 $\mu\text{g/L}$ de clorofila, a semejanza de Enríquez-García (2009) en el lago Huetzalin donde estimó un intervalo de 143 a 696 $\mu\text{g/L}$.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una estimación de la cantidad de materia orgánica disuelta, la cual normalmente es baja en aguas dulces, por debajo de los 20 mg/L (De la Lanza-Espino, 2014). En la Cantera Oriente se determinó un intervalo de variación heterogénea (26~70 mg/L) resultado de la influencia del área terrestre adyacente lo cual se percibió con el máximo de 92 mg/L del área de la influencia en la sección Sur donde se ubican los baños del área deportiva. Asimismo, cabe destacar que la DQO no diferencia entre diferentes tipos de materia orgánica, por lo que es posible que los altos niveles de clorofila, indicadores de alta biomasa de fitoplancton, junto con aportes de materia orgánica ajena sistema, contribuyan a este parámetro, (Esteves, 1998). En el Lago de Chapultepec, Muro (1994) registró concentraciones promedio superiores a los del presente estudio de 81 a 141 mg/L, atribuyendo esto al aporte de materia orgánica alóctona y aguas negras a este sistema. Debido a la dinámica de circulación sujeta a la hora del día en todos los muestreos y la determinación de los parámetros fue en una sola muestra.

Estimaciones de estado trófico

El estado trófico de un sistema acuático resulta de la interacción de factores externos y de diversos procesos internos que involucran factores bióticos y abióticos (Carpenter y Pace, 1997). Con base en las concentraciones de fósforo total, nitrógeno total y clorofila a de la Cantera Oriente definen una condición generalizada hipertrófica (>90 unidades) a excepción del Manantial donde se estimó un intervalo entre 80 a 87 unidades que corresponden a una condición eutrófica. Dicha condición fue corroborada a través de uno de los índices utilizados para estimar el estado trófico según lo propuesto por Carlson (1977), cuyos valores calculados menores a 30 corresponden a un estado oligotrófico, entre 30 y 60 a un estado mesotrófico, de 60 a 90 eutrófico y más de 90 hipereutrófico. El

sistema acuático de la Cantera es hipereutrófico. Santiago-Lima (2016) estimó el estado trófico usando el mismo método y en las mismas secciones, pero determinó un estado eutrófico y en el Manantial un estado mesotrófico. La diferencia con el presente estudio se debió al incremento en más del 20% en la cantidad de clorofila a.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos son una herramienta que permite inferir la existencia de patrones en todo tipo de datos, sin embargo, su uso e interpretación en estudios limnológicos debe estar sustentado en una base química, física y biológica (Margalef, 1983). Las pruebas estadísticas no paramétricas (PERMANOVA) se utilizan para comparar grupos de datos y determinar diferencias estadísticamente significativas entre la dispersión de los valores medidos (Anderson, 2001). De acuerdo con los resultados de esta prueba existen diferencias estadísticamente significativas entre el Manantial y el resto de la Cantera, posiblemente debido a las diferencias en las concentraciones de clorofila a, fósforo total y ortofosfatos determinadas en este sitio de estudio; asimismo, se encontró que existen diferencias significativas entre la Sección Norte y la Sección Sur, pero no entre las Secciones Norte y Centro, y Centro y Sur; sin embargo, en la figura 14 (A, B, C) se precisan las diferencias entre las secciones Norte, Centro, Sur y Manantial a través del análisis multivariado y de correlación canónica.

Los resultados de la prueba señalan una regionalización espacial en la Cantera que puede atribuirse tanto a diferencias como similitudes geomorfológicas, como su tamaño, interacciones y cercanía con factores antropogénicos y conectividad entre cada una de las secciones, según sea el caso, siendo el Manantial el sitio con mayores diferencias en comparación con lagos adyacentes entre sí. Un patrón semejante al del presente estudio fue determinado por Santiago-Lima (2016) comparando el grado de similitud entre la composición taxonómica del zooplancton de los diferentes cuerpos de agua de la Cantera Oriente, siendo el

Manantial aquel más con mayor grado de diferencia en comparación al resto de la Cantera.

La prueba multivariada PERMANOVA (tablas 17 y 18) realizada para medir la variación temporal entre estaciones del año determinó diferencias significativas entre el otoño (octubre) y todas las demás estaciones, lo cual puede atribuirse a las diferencias en precipitación durante estas épocas del año, como se muestra en la figura 14 a través del análisis de correlación canónica

Según el análisis multivariado y un análisis de correlación canónica mostró que los parámetros no conservativos tienden a variar de manera tanto espacial como temporal, dada su alta reactividad química y biológica; asimismo la conductividad (parámetro conservativo) mostró que su fluctuación en el espacio y tiempo fue más amplia fundamentalmente dependiente de la época de lluvias y sequías (Tabla 16).

Cabe destacar que la variabilidad espacial y temporal de los parámetros fisicoquímicos, tanto conservativos como no conservativos es amplia y sujeta a condiciones particulares presentes durante el muestreo en el sitio particular. Los resultados de las pruebas estadísticas presentados deben ser considerados como un apoyo en la determinación de patrones y no como evidencia de estos (Margalef, 1983).

Conclusiones

La Cantera Oriente mostró una variación espacial representada por una geomorfología compleja y la temporal que definieron cambios en ciertos parámetros como la conductividad y la dureza que definieron a un tipo de aguas desde duras a semi-duras; y la demanda química de oxígeno con niveles altos pero que no definieron su origen; sin embargo, se especula que pudo ser por la alta cantidad de fitoplancton que aportó contenidos elevados de materia orgánica muerta. El resto de los parámetros señalaron consistentemente elevadas concentraciones en forma generalizada tendientes a manifestar un estado de eutrofización. Asimismo, se estimó un factor externo que definió la influencia

antropogénica, como por fue el caso de la parte Norte denominada el Canal, además de ciertas actividades como las desarrolladas en el área deportiva, cuya influencia fue observada a través de condiciones tanto óxicas como hipóxicas. Lo anterior contrastó por sus menores variaciones dadas por la posible influencia de los escurrimientos del Cerro del Ajusco, cuya calidad física y química fueron resultado de las infiltraciones generadas en la parte poniente de la Cantera.

En lo correspondiente al nivel trófico, la Cantera fue considerada de eutrofizada a hipereutrofizada, según el índice de Carlson (1976), referida especialmente por las altas concentraciones de fósforo y nitrógeno totales. Dicha condición fue corroborada a través del análisis PERMANOVA, multivariado y análisis canónico que señalaron tanto una diferencia espacial como se observó en la separación de la influencia de las infiltraciones del Cerro del Ajusco frente al resto de los sitios estudiados, como la temporal que marcó diferencias estacionales.

En cuanto a los parámetros que evaluaron la condición trófica, la condición anual varió de la hipereutrofización en las secciones Norte, Centro, Sur a la eutrofización del Manantial, corroborado a través del índice de Carlson; asimismo, el análisis estadístico respaldó la existencia al menos dos secciones diferenciadas por la fisicoquímica de los parámetros conservativos y no conservativos, así como la biología: el Manantial y el resto de la Cantera, resultado de sus diferencias geomorfológicas

Referencias Bibliográficas:

Alcocer, J., E. Kato, E. Robles y G. Vilaclara. 1988. *Estudio preliminar del efecto del dragado sobre el estado trófico del lago viejo de Chapultepec*. Contaminación Ambiental. 4: 43-56 pp.,

Alcocer, J. y F. W. Bernal-Brooks. 2010 *Limnology in Mexico*. Hidrobiología. 644: 15-68.

Álvarez-Borrego S. y S. Nájera-Muñoz. 1979. Series de tiempo de fitoplancton en dos lagunas costeras de Baja California. Ciencias Marinas, 6:1. 75-88.

Anderson, M.J. 2005. *PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance*. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand.

APHA, AWWA, WPCF. 1998. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20a ed. American Public Health Association, Washington, D. C. 1103 pp.

Bermúdez-Reyes, Y. 2010. *Diversidad del Orden Cladocera (Crustacea: Branchiopoda; Phyllophoda) de las pozas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel, Ciudad Universitaria, México*. Tesis profesional, Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bravo-Inclán, L. 1995. *Estudio Limnológico de la presa Madin, Mex. Con énfasis en su estado trófico y en el manejo de cuenca*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM.

Bravo-Inclán, L., J. Sánchez-Chávez y P. Saldaña-Fabela. 2006. *Evaluación del estado trófico y perspectivas de rehabilitación en cuatro embalses del Centro de México*. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. 1-11.

Carlson, R.E. 1977. *Trophic state index for lakes*. *Limnol. Oceanogr.* 22: 361-369

Carpenter, S. R. y M. L. Pace. 1977. *Dystrophy and eutrophy in lake ecosystems: implications of fluctuating inputs*. *Oikos*. 78: 3-14.

Castro-Juárez, M. 2000. *Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua Ramal Tláhuac 1991-1992*. Tesis profesional, Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ceballos-Ramírez, A. D., 2016. *Estudio florístico ficológico anual de la Cantera Oriente de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA)*. Tesis profesional, Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

CONAGUA. 2019. Resúmenes mensuales de temperatura y lluvia en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>. Consultado en 4/09/2019.

De la Lanza-Espino, G. 2014. *Protocolo para el muestreo de calidad del agua en ríos endorreicos y exorreicos, y en humedales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012)*. Versión 1.0. Junio 2014. Programa Nacional de reservas de agua.

De la Lanza Espino, G. y Hernández Pulido, S. (2019). *Variación de la calidad del agua de La Ciénega de Tláhuac*, CIENCIA ergo-sum, 26(3). México

Domínguez-Pascual, I. E. 2006. *Estudio de la diversidad de zooplancton y fitoplancton de la laguna de Zumpango (estado de México) para su uso en la biomanipulación*. Tesis profesional, Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ebina, J., Tsutsui, T. and Shirai, T., 1983. *Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation*. *Water research*, 17(12), pp.1721-1726.

Enríquez-García, E., S. Nandini., S.S.S. Sarma. 2009. *Seasonal dynamics of zooplankton in Lake Huetzalin, Xochimilco (Mexico city, Mexico)*. *Limnológica*39. 283-291.

Esteves, F.A. 1998. *Fundamentos de Limnología*. Interciência. 2ª edición. Brasil. 226pp.

García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 5ª Edición. Instituto de Geografía, UNAM.

González-Gutierrez, S. 2010. *Variación estacional de rotíferos monogontos (Rotífera) en la zona litoral de los cuerpos de agua de la Cantera Oriente (México,*

D.F.) durante 2013-2014. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Guzmán-Trejo, O. 2012. *Efecto de los nutrientes sobre el crecimiento y composición de los rotíferos planctónicos del lago Tezozómoc, México D.F.* Tesis profesional, Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: *Paleontological statistics software package for education and data analysis*. *Paleontología electrónica*, 4(1), 9.

Jiménez-Contreras, C. J. 2007. *Diversidad y densidades de rotíferos Monogontos en algunos canales del Lago de Xochimilco*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lara-Lara, J.R. y S. Álvarez-Borrego. 1975. *Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B.C.* *Ciencias Marinas* 2(1): 77-97

López, S. G. 2012. *Estudio experimental del impacto de Poecilia reticulata (Guppy) y de las condiciones ambientales sobre el ensamblado de rotíferos en el Lago Urbano Tezozomoc*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lot, A. 2007 *Guía ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico*. Coordinación de la Investigación Científica, Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lugo-Vázquez, A., M. R. Sánchez-Rodríguez., J. Morlán-Mejía, L. Peralta-Solano, E.A. Arellanes-Jiménez, M. A. Escobar-Oliva., M. G. Oliva-Martínez. 2017. *Ciliates and trophic state: A study of five adjacent urban ponds in Mexico City*. *Journal of Environmental Biology*. 38. 1161-1169.

- Luna-Pabello, V.M. y S. Aburto-Castañeda. 2014. *Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del bosque de san juan de Aragón*. Revista especializada en ciencias químico-biológicas. 17(1): 32-55
- Margalef, L. R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010p.
- Martínez-Córdoba, L. R. 1998. *Ecología de los sistemas acuícolas*. 2ª Edición. AGT Editorial, México.
- Montaño-Salazar, I. 2010. *Aspectos hidrobiológicos en dos esclusas del lago artificial del parque de la alameda oriente*. Tesis profesional, Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Muro-Cruz, G. 1994. *Contribución al conocimiento de la distribución y abundancia de los cladóceros en los tres lagos de Chapultepec*. Tesis profesional, Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Namihira-Santillan, P. E. 2002. *Evaluación de la calidad sanitaria del Lago Huayamilpas, D.F.* Tesis profesional, Hidrobiología. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Novelo, E., E. Ponce, R. Ramírez y M. Ramírez. 2007. *Algas*. En: Lot. A. (coord.). Guía Ilustrada de la 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, 15-44pp.
- Ortiz-Pérez, M.A., J. M Figuroa-Mah Eng, M. P. Salazar-Enciso, G. Parada Colín, y L. Castillo-Téllez. 2007. *Unidades Ambientales*. En Lot. A. (coord.). 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, 15-44pp.

Ponce-Marquez, M. E., R. Ramírez-Rodríguez y M. Ramírez Vázquez. 2019. *Algas de la Cantera Oriente. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Guía de campo y laboratorio*. 1ª edición. Las prensas de ciencias. México. 152 p.

Reid, G.K y R. D. Wood. 1976. *Ecology of inland waters and estuaries*. 2a edición. D. Van Nostrand Company, Nueva York.

Santiago-Lima, 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 profesional, Biología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Pp. 60.

Sawyer, C. and McCarthy, P., 1967. *Chemical and sanitary engineering*. McGraw Hill. Nueva York.

Varekamp, J. C., G. B. Pasternack y Rowe jr. G. L. 2000. *Volcanic lake systematics II. Chemical constraints*. Journal of volcanology and geothermal research. 97:1-4. 161-179 pp.

Vollenweider, R.A., 1968. *The scientific basis of lake eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors* Tech. Rep. DAS/DSI/68.27, OECD, Paris. 159 p.

Wetzel, R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystem*. 3a. Edición. Academic press. Nueva York.

Yang, X., X. Wu., H. Hao., Z., He. 2008. *Mechanisms and assessment of water eutrophication*. J. Zhejiang Univ Sci B, 9(3):197-209.