



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**"ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD Y DINÁMICA
POBLACIONAL DEL ZOOPLANCTON EN EL LAGO
NABOR CARRILLO, TEXCOCO ESTADO DE
MÉXICO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

José Alberto Carmona Ruiz



**DIRECTORA DE TESIS:
Nandini Sarma**

**Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado
de México, 2015.**



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.



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

El mundo está lleno de adversidades y retos por cumplir, y uno de estos en nuestra sociedad actual es el tener una formación profesional, ya sea por el interés de mejorar tu calidad de vida o por el simple hecho de tener gusto por el conocimiento, que en mi caso siempre ha sido así, yo creo que si uno quiere prosperar materialmente no hay como ser un emprendedor, sin embargo a pesar de tener siempre en cuenta esto, mi gusto por el estudio me forjó la meta de terminar una carrera, y por fin lo he conseguido.

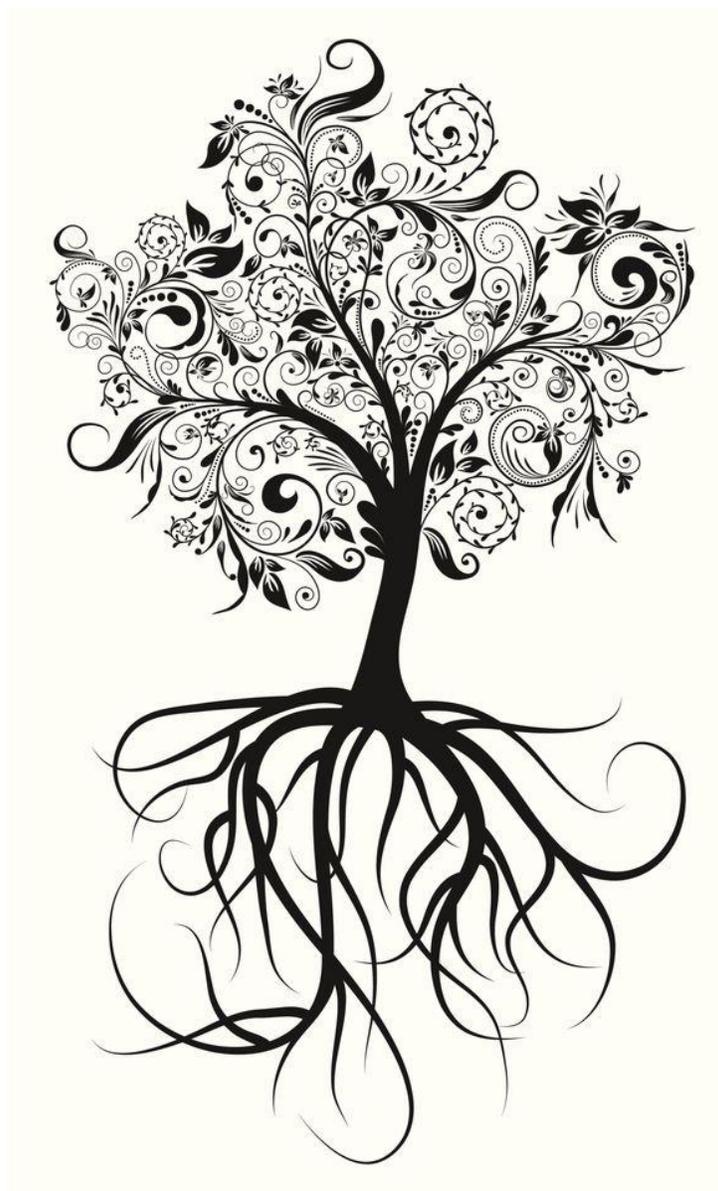
Agradezco a Dios por la maravillosa familia que me dio, principalmente a mis padres, que no solo me dieron la vida, sino también amor, apoyo y comprensión, sé que no he sido el mejor hijo, ni he cumplido con todas sus altas expectativas que tienen sobre mí, pero no desesperen, pronto verán grandes cosas. Ustedes son mi motivación, al ver que son gente de bien y que nunca se rinde, gracias por creer siempre en mis planes y metas, este primer logro es gracias a ustedes. También agradezco a mis hermanos Cristian, Paul y Jesús que son una parte muy importante en mi vida y que siempre me incitan a seguir adelante.

A mis amigos y colegas biólogos que siempre me han brindado su apoyo y consejos durante estos cuatro maravillosos años de carrera.

A mis sinodales, la Dra. Elvia Gallegos, a la Dra. María del Rosario, al Dr. Sarma y al Dr. Pedro por su disposición y tiempo para revisar mi trabajo, así como por sus observaciones y sugerencias, haciendo un especial agradecimiento a la Dra. Elvia y a la Dra. María del Rosario por sus consejos personales y su amistad, la cual aprecio mucho. Un gran agradecimiento a mi mamá académica, la Dra. Nandini Sarma, no hay palabras para decir cuán agradecido estoy por todo lo que ha hecho por mí, por su apoyo, comprensión y enorme paciencia con mis defectos escolares, por su amistad y su incondicional confianza. Finalmente agradezco el apoyo económico proporcionado para este proyecto mediante el programa PAPIIT UNAM 213413.

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional amor y apoyo perfectamente mantenidos a través del tiempo.



Toda acción racional es en primer lugar, una acción individual. Sólo el individuo piensa.

- *Ludwig Von Mises*

La tarea de la ciencia natural no consiste en aceptar simplemente cosas relatadas, sino investigar las causas de los sucesos naturales.

- *San Alberto Magno*

CONTENIDO

I. RESUMEN.....	7
II. INTRODUCCIÓN.....	8
2 Las aguas epicontinentales.....	8
2.1.1 Los lagos sódicos (generalidades).....	9
2.1.2 Génesis de los lagos sódicos.....	9
2.1.3 Distribución de los lagos sódicos.....	10
2.2 La Cuenca del Valle de México.....	10
2.2.1 El lago de Texcoco y el Lago Nabor Carrillo.....	12
2.3 Ecología de las aguas epicontinentales (Limnología).....	12
2.3.1 Factores que influyen en los medios acuáticos.....	13
2.3.2 Clasificación ecológica de los organismos de aguas epicontinentales.....	14
2.3.3 El plancton de aguas epicontinentales.....	14
2.3.4 Ecología de los lagos sódicos.....	15
2.4 La diversidad biológica.....	16
2.4.1 Tipos de diversidad.....	17
2.4.2 Factores que determinan la diversidad.....	17
2.4.3 Importancia y retos en el estudio de la diversidad.....	17
III. ANTECEDENTES.....	20
3 Estudios en lagos sódicos alrededor del mundo.....	20
3.1 Estudios de caso en la zona federal lago de Texcoco y Nabor Carrillo.....	22
3.1.1 Estudios sobre suelo.....	22
3.1.2 Estudios sobre agricultura.....	23
3.1.3 Estudios sobre vegetación.....	23
3.1.4 Estudios sobre fauna.....	24
3.1.4.1 Estudios sobre Fauna acuática.....	24
IV. JUSTIFICACIÓN.....	26
V. OBJETIVOS.....	28

VI. ÁREA DE ESTUDIO.....	29
6 Zona federal lago de Texcoco.....	29
6.1 Lago Nabor Carrillo.....	30
VII. MATERIALES Y MÉTODO.....	32
7 Trabajo en campo.....	32
7.1 Estaciones de muestreo.....	32
7.1.1 Colecta y transporte de las muestras.....	32
7.1.2 Registro de los parámetros físico-químicos de las muestras “ <i>in situ</i> ”.....	33
7.2 Trabajo en laboratorio.....	33
7.2.1 Otras determinaciones (espectrofotometría y colorimetría).....	33
7.2.2 Cuantificación e Identificación morfológica del zooplancton.....	33
7.2.3 Análisis y manejo de datos.....	34
VIII. RESULTADOS.....	35
8 Riqueza de especies.....	35
8.1 Abundancias y dinámica poblacional.....	36
8.1.1 Rotíferos.....	36
8.1.2 Cladóceros, ostrácodos y copépodos.....	38
8.2 Diversidad.....	40
8.3 Variables físico-químicas.....	42
IX. DISCUSIÓN.....	48
X. CONCLUSIONES.....	58
XI. LITERATURA CITADA.....	60

I. RESUMEN

El Lago de Texcoco pertenecía a un cuerpo de agua que originalmente cubría el Valle de México. En el año de 1970 se extinguió por las obras de drenaje y desagüe de la Ciudad de México, sin embargo para el año de 1971 se llevó a cabo un plan de restauración, llenando los lechos del ex-lago con aguas residuales parcialmente tratadas, posteriormente se estructuró un lago artificial bajo el nombre de Nabor Carrillo. Esta masa de agua se caracteriza por su salinidad con altos niveles de carbonatos, bicarbonatos y cloruros principalmente sódicos.

En este estudio se presentarán datos sobre los cambios estacionales de la diversidad del zooplancton en el Lago Nabor Carrillo; para ello se analizó la riqueza específica y densidad de rotíferos monogonontos, cladóceros, ostrácodos y copépodos recolectados en estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 hasta agosto de 2013. Los parámetros físicos y químicos analizados fueron: pH, conductividad, nitratos, fosfatos, salinidad, transparencia, dureza, alcalinidad, clorofila a y oxígeno disuelto. Los rotíferos, cladóceros y copépodos fueron identificados a nivel especie y se cuantificaron utilizando una cámara de Sedgwick-Rafter.

Se encontró una diversidad de rotíferos entre 0.36 y 1.79 bits por individuo, la especie de rotífero dominante fue *Brachionus dimidiatus* que presentó densidades de hasta 178,400 ind/L, otras especies representativas fueron *Brachionus angularis* y *Asplanchna sieboldii*. Para cladóceros y copépodos no se obtuvo el índice de diversidad, ambos fueron representados por una especie. Referente a los parámetros fisicoquímicos se presentaron valores elevados en pH (10.35), salinidad (6 gr/L) y nitratos (1 mg/L).

II. INTRODUCCIÓN

2. Las aguas epicontinentales

Las aguas epicontinentales se encuentran distribuidas por todo el mundo, siendo los más importantes ríos, lagos y humedales. Su presencia está condicionada estrechamente al clima y a la topografía, ya que esto repercute directamente en las capacidades de retención o de flujo de sus aguas. Su importancia se puede apreciar tanto socio-económicamente como por su rol ecológico al constituir un hábitat para las comunidades bénticas, nécticas y pláncticas (Grant, 2006).

Los hábitats acuáticos pueden dividirse principalmente en dos categorías; según la movilidad de sus aguas y por su naturaleza iónica. De la primera clasificación nos encontramos con dos subcategorías, en primer lugar están los sistemas lénticos, que son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir. Comprenden todas las aguas interiores que no presentan corriente continua; es decir, aguas estancadas sin ningún flujo de corriente, como los lagos, las lagunas, los esteros y los pantanos. Estos ambientes cambian con el tiempo, disminuyendo su profundidad y aumentando su vegetación hasta la desaparición total del cuerpo de agua. Por lo general, tienen poca profundidad y menor variación de la temperatura. En estos ambientes se distinguen zonas bien definidas: la litoral, la limnética y la profunda. En segunda instancia encontramos al sistema lótico que es aquel en el que sus aguas son corrientes con flujo unidireccional, como lo son los ríos, arroyos o manantiales. Las aguas lólicas pueden tener diversas formas, del venero con unos cuantos centímetros a los grandes ríos con un cauce de varios kilómetros de ancho (Allan, 1995).

Dentro de la clasificación iónica se distinguen las aguas “dulces” que son aquellas que típicamente contienen menos de 3 g/L de sales disueltas, la mayoría de los cuerpos de agua epicontinentales corresponden a esta categoría. Por su parte las aguas salinas contienen más de 3 g/L y los cuerpos de agua que pertenecen a

esta categoría son escasos en comparación a los de agua dulce. Dentro de las aguas salinas epicontinentales distinguen dos subcategorías considerando la predominancia de ciertos iones. Las aguas salinas por cloruros y por carbonatos/sulfatos, las primeras están representadas principalmente por mares y océanos, sin embargo también se encuentran tierra adentro como las lagunas costeras y los manglares. Las aguas con predominancia iónica por carbonatos son los menos representados alrededor el mundo, esto se debe a las especiales condiciones geográficas, geológicas y climáticas necesarias para su formación, son conocidos comúnmente bajo el nombre de lagos sódicos (Grant, 2006). Nuestra área de estudio pertenece a este tipo de hábitat acuático.

2.1.1 Los lagos sódicos (Generalidades)

Los lagos sódicos son ecosistemas que típicamente poseen un pH entre 9 y 12 por lo cual son entornos altamente alcalinos, concurrentemente presentan hipersalinidad, ya que su formación está estrictamente restringida a cuencas endorreicas expuestas a altas tasas de evaporación (Grant, 2006), cabe señalar que son los ecosistemas más productivos del planeta si se comparan con sus homólogos de agua dulce, su producción primaria es 16 veces mayor al promedio global de los lagos y ríos (Melack y Kilham, 1974).

2.1.2 Génesis de los lagos sódicos

Las condiciones necesarias para la formación de un lago sódico tienen como factor limitante la generación de carbonatos y bicarbonatos, que se convierten en los principales aniones en solución, la existencia de ellos en altas concentraciones se debe a la falta de los cationes Mg^{+2} y Ca^{+2} en la topografía circundante, lo cual significa una ausencia de rocas de origen sedimentario que son las que aportan mayormente estos cationes; por lo tanto estos hábitats acuáticos se forman en cuencas poco profundas sin drenaje, pero con la suficiente agua para que sean permanentes, se presentan únicamente en zonas áridas o

semiáridas con altas tasas de desecación cerca de grandes estructuras tectónicas de origen volcánico, la presencia de rocas de origen ígneo son el componente más importante para la formación de carbonatos y bicarbonatos (Grant *et al.*, 1990).

2.1.3 Distribución de los lagos sódicos

Se conoce que para la formación de estos lagos es importante el componente volcánico por lo que son puntuales las zonas en los que podemos localizarlos, en general están distribuidos por todo el mundo, pero el conjunto más importante corresponde a todos los sistemas sódicos que se encuentran en el Gran Valle del Rift, el cual atraviesa la parte oriental del continente africano de norte a sur. Este sistema está compuesto por 23 lagos de los cuales el lago Magadi, Natron, Elmenteita, Nakuru y Bogoria son los más estudiados (Vareschi y Vareschi, 1984). El siguiente conjunto importante corresponde a los lagos que se encuentran en Asia, seguidos por los de América del Norte y finalmente a los que corresponden a Latinoamérica, donde son más escasos. Los estudios referentes a estos hábitats son poco frecuentes en esta zona y sin ningún impacto importante dentro de la comunidad científica (Grant, 2006).

Para el caso concreto de México se tiene conocimiento de la presencia de estos cuerpos de agua, como los son: Lagos-Cráter del Valle de Santiago en Guanajuato y Michoacán (CONABIO), las charcas efímeras en el desierto de Chihuahua (Walsh *et al.*, 2008) y el lago de Texcoco en el Estado de México, que formaba parte de la llamada Cuenca del Valle de México (Grant, 2006).

2.2 La Cuenca del Valle de México

La Cuenca del Valle de México es el nombre dado a la reunión de cuatro valles en la parte central del territorio mexicano, ubicada dentro de la región hidrológica No. 26 llamada Pánuco y la región XIII llamada “Valle de México y Sistema Cutzamala”, con elevaciones mínimas entre los 2150 a 2390 m.s.n.m. en sus

valles y de 5800 m.s.n.m. en los volcanes que la rodean, y está formada por cinco sistemas lacustres, Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco (García y De la Lanza 2002). El origen y evolución de la cuenca México es una serie de acontecimientos naturales de origen volcánico y tectónico en conjunto a los procesos de intemperismo y erosión, la base de la cuenca fueron los sedimentos marinos plegados del Plioceno, así como los materiales arrastrados por la erosión, provenientes principalmente de las elevaciones volcánicas circundantes como; materia orgánica, gravas, sales en disolución, entre otros (Mazari *et al.*, 2007).

Según García y De la Lanza, (2002) la Cuenca del Valle de México se ha caracterizado por los cambios en el nivel de los lagos, condicionados principalmente por las variaciones climáticas, con una gravante por la intervención humana en los últimos 700 años. Los registros que se tienen permiten afirmar que hace 100000 años el lago tenía entre 30 y 35 metros de profundidad con aguas dulces y frías, al que sucedió una época de poca profundidad por la desecación, la cual culminó con un periodo húmedo. Se cree que aproximadamente desde hace 10000 años entramos en un nuevo periodo de desecación, por lo cual el sistema de lagos ha sufrido una disminución desde entonces tanto en su profundidad como en sus litorales de forma natural. La presencia de sedimentos lacustres, junto con los procesos de salinización caracterizó la zona este que corresponde a Texcoco, esto se dio por elevadas temperaturas y escasas precipitaciones pluviales que impusieron condiciones de aridez reduciendo el nivel y la extensión del lago, perdiendo así el balance precipitación/evaporación, lo cual se tradujo en aumentos paulatinos en la salinidad. La historia que ha llevado a la desecación antropomórfica del sistema se dio en la época prehispánica. Por aquella etapa de la historia de México, los indígenas construyeron islas artificiales, con el propósito de ganar tierras para el cultivo, o en el caso de Tenochtitlan, para construir poblados. En un principio los asentamientos humanos solo aprovechaban los recursos de los lagos para sus necesidades alimentarias, pero conforme la población fue creciendo se intentó ganar tierras al sistema de lagos, y así fue como empezó la desecación de la Cuenca del Valle de México. Los residentes de

la zona centro (los mexicas) empezaron con el proceso de desecación, con la posterior llegada de los españoles se continuo, y fue cuando en los años de 1960 con la urbanización de la zona oriente (Chimalhuacan, Nezahualcóyotl y Ecatepec) se culminó a la muerte la última porción de la cuenca no intervenida por el hombre, el lago de Texcoco (Hernández, 2013).

2.2.1 El lago de Texcoco y el lago Nabor Carrillo

El lago de Texcoco formaba parte de un sistema de lagos, Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco, localizados en la Cuenca del Valle de México, en el centro del Eje Neovolcánico que atraviesa el territorio nacional desde la costa del Pacífico. Este siempre se caracterizó por ser el único del sistema con aguas salinas, la flora y fauna de este lago presentan un alto grado de endemismos por esta razón (García y De la Lanza, 2002). El lago de Texcoco llegó casi a su extinción en 1970, sin embargo parte de la zona correspondiente al antiguo lago fue rescatada y se instauró el proyecto lago de Texcoco, en el cual se consideró la creación de un lago artificial conocido como Nabor Carrillo, este forma parte del proyecto del Gobierno Federal para restaurar y aprovechar los recursos de la zona del antiguo lago, se llena con el agua proveniente de una planta de tratamiento ubicada en el costado suroeste del embalse, en la cual se tratan 700 L/s de aguas negras provenientes del Río Churubusco, y así es como el lago Nabor Carrillo se considera el heredero del ex lago de Texcoco (Rendón y Jiménez, 1998). En este sitio es donde se realizó el presente estudio.

2.3 Ecología de las aguas epicontinentales (Limnología)

La Limnología es la rama de la ecología que se encarga de estudiar los ecosistemas acuáticos epicontinentales (lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas, estuarios y humedales), así como las interacciones entre los organismos acuáticos y su ambiente que determinan su distribución y abundancia en dichos ecosistemas (Margalef, 1958).

Las masas de agua continentales son de gran importancia para el ser humano, ya que muchas son fuente de recursos básicos para la economía (agua potable, alimento entre otros) o desempeñan un papel ecológico como depuración y ciclo del agua. Esto además, se tiene que compatibilizar con la convivencia de especies de flora y fauna que subsisten en el medio, o dependen de él. Por estas razones la Limnología se ha convertido en una ciencia más importante, necesaria para la gestión y conservación de los medios acuáticos (Rodríguez y Anzola, 2001).

2.3.1 Factores que influyen en los medios acuáticos

Existen diversos factores que determinan las condiciones ecológicas del medio acuático, los cuales son; temperatura, determina la densidad, viscosidad y movimiento del agua. La temperatura juega un papel importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos. Iluminación que penetra en las aguas, la cual está determinada por la profundidad, materiales que se encuentren en suspensión y por el ángulo de incidencia de los rayos luminosos. La luz es indispensable para la fotosíntesis que realizan las plantas acuáticas, especialmente el fitoplancton. Gases disueltos, donde el oxígeno y el anhídrido carbónico disueltos en el agua son los dos gases de mayor importancia. Tanto la concentración de oxígeno como la del anhídrido carbónico constituyen con frecuencia factores limitantes. Sales minerales; en las aguas epicontinentales las más abundantes son los carbonatos, los sulfatos y los cloruros. Los cationes de mayor importancia son el calcio (64%), el magnesio (17%), el sodio (16%) y el potasio (3%). pH; que consiste en una disociación de iones H^+ y OH^- , se expresa en la práctica como una escala que va de 1 a 14 y representa el inverso del logaritmo 10^{-14} , su importancia radica en que muchas propiedades, reacciones y procesos dependen del pH. Por ejemplo, la fisiología de los organismos vivos tienen un rango óptimo de pH, un cambio de esta variable puede desencadenar migraciones de diversas especies de animales acuáticos, dañar las estructuras calcáreas de organismos sésiles, dañar el funcionamiento metabólico y tisular de

diversas especies, por lo que es considerado un factor de alto impacto en los sistemas acuáticos (Rodríguez y Anzola, 2001).

2.3.2 Clasificación ecológica de los organismos de aguas epicontinentales

Las condiciones físicas y químicas dominantes en los medios acuáticos determinan el tipo de organismos que viven en ese medio. Se han propuesto varias clasificaciones ecológicas de los organismos acuáticos; la más aceptada hoy día es la que se presentara a continuación, haciendo énfasis en la subdivisión que corresponde a los organismos estudiados para realizar esta tesis.

Plancton, comprende los organismos que viven suspendidos en las aguas y que, por carecer de medios de locomoción o ser estos muy débiles, se mueven o se trasladan a merced de los movimientos de las masas de agua o de las corrientes. Generalmente son organismos pequeños, la mayoría microscópicos. Necton, son organismos capaces de nadar libremente y, por tanto, de trasladarse de un lugar a otro recorriendo a veces grandes distancias. En las aguas epicontinentales, los peces son los principales representantes de esta clase, aunque también encontramos algunas especies de anfibios y otros grupos. Bentos, comprende los organismos que viven en el fondo o fijos a él y por tanto dependen de éste para su existencia. La mayoría de los organismos que forman el bentos son invertebrados. Neuston, a este grupo pertenecen los organismos que nadan o "caminan" sobre la superficie del agua. La mayoría son insectos. Seston es la mezcla heterogénea de organismos vivientes y no vivientes que flotan sobre las aguas. Perifiton, son aquellos organismos vegetales y animales que se adhieren a los tallos y hojas de plantas con raíces fijas en los fondos (Ramírez y Viña, 1998).

2.3.3 El plancton de aguas epicontinentales

La composición de organismos de esta comunidad resulta ser ampliamente diversa incluyendo virtualmente todos los fila que habitan el ambiente acuático, y

aunque las bacterias y los virus se consideran parte de esta comunidad, a grandes rasgos se distinguen principalmente dos componentes: el fitoplancton que incluye organismos que obtienen su energía por la energía de la luz y los nutrientes por el proceso de fotosíntesis (microalgas) y el zooplancton que son los organismos que obtienen su energía ingiriendo otros organismos es decir el componente heterotrófico (Rodríguez y Anzola, 2001).

Fitoplancton. Son las microalgas, productores primarios del plancton con diferentes formas de organización celular: células solitarias, en cadena, formando filamentos etc. Los principales grupos de microalgas que conforman el fitoplancton son: diatomeas, dinoflagelados, clorofitas, cianofitas, euglenoideos entre otras más. La presencia de estos grupos está determinada por las variables ambientales las cuales influirán en su abundancia y diversidad. Puesto que es el componente fotosintético, constituyen el primer eslabón de la trama alimenticia en los sistemas acuáticos junto con los productores primarios que habitan los fondos de los cuerpos de agua (Ramírez y Viña, 1998).

Zooplancton. Conformado por todos los consumidores que constituyen en su gran mayoría a productores secundarios y terciarios. Este grupo está compuesto por organismos generalmente microscópicos adultos y sus fases larvarias así como también fases larvarias de otros organismos que en su forma adulta ya no pertenecen al plancton. Algunos de los grupos de organismos más abundantes y característicos del zooplancton de aguas epicontinentales son los copépodos, cladóceros, rotíferos y las larvas de los peces (Ramírez y Viña, 1998).

2.3.4 Ecología de los lagos sódicos

Los sistemas sódicos al presentar peculiaridades como altos niveles de salinidad y pH son considerados uno de los ambientes acuáticos más extremos del planeta, por lo que presentan bajos niveles de diversidad biológica con endemismos muy marcados por sus condiciones poco favorables para el desarrollo de seres vivos.

Los estudios realizados sobre los organismos en estos ambientes se enfocan básicamente a los extremófilos, representados principalmente por las cianobacterias y las arqueas, las cuales típicamente les dan la coloración a sus aguas que puede ser variar entre los tonos verdes a rojos. Esta coloración es un reflejo de las altas productividades primarias asociadas a estos lagos. La oferta limitada de CO₂ combinado con alta temperaturas del ambiente y elevadas intensidades de la luz durante el día contribuyen a que sean de los medios acuáticos más productivos del planeta (Melack y Kilham, 1974). Los lagos sódicos no son propicios para las formas de vida zooplanctónicas, reduciendo el número de especies que se pueden hallar en estos sitios; sin embargo se pueden encontrar, rotíferos, cladóceros y copépodos (Vareschi y Vareschi, 1984).

2.4 La Diversidad biológica

El concepto de diversidad biológica es el resultado de dos aspectos íntimamente relacionados a una determinada área ocupada por seres vivos; el primero se refiere al número de especies que habitan esa área, equivalente al concepto de riqueza utilizado en los trabajos ecológicos; el segundo expresa la relación que existe entre el número de especies y el número de individuos; o bien, la manera en la cual las especies se distribuyen entre los individuos de esa área, conocida como la abundancia relativa de las especies. La relación individuo-especie observada en la naturaleza, mantiene cierta regularidad: si las especies son ordenadas de acuerdo con su abundancia (número de individuos), podrá observarse que la cantidad de especies con un gran número de individuos es mínimo, y que la proporción de aquellas más escasamente representadas se incrementa en forma gradual (Margalef, 1958). De esta manera, el máximo de diversidad resulta cuando los individuos se encuentran equitativamente distribuidos entre las especies, y la concentración cuantitativa en pocas especies disminuye la diversidad, la cual llega a su mínimo si todos los individuos pertenecen a la misma especie (McIntosh, 1967).

2.4.1 Tipos de diversidad

Se conocen tres tipos de diversidad: la diversidad alfa o primaria, la cual tiene lugar dentro de una comunidad o asociación; la diversidad beta o secundaria, referida a los cambios que sufre una comunidad a través de una variable ambiental y la diversidad gamma o terciaria, que equivale a la diversidad total o a gran escala de un grupo taxonómico determinado (Whittaker, 1960).

2.4.2 Factores que determinan la diversidad

Se sabe que la diversidad dentro de un hábitat se encuentra determinada por un límite de saturación de las especies. Este límite que varía según el hábitat, puede ser explicado en términos de la similitud de los recursos, es decir, que existe un límite en la similitud de recursos utilizados por las especies coexistentes en el hábitat. Los factores teóricos que pueden superar ese límite de saturación y por lo tanto aumentar la diversidad son: una mayor complejidad estructural del hábitat, mayor especialización de las especies, ausencia en la estacionalidad de los recursos, el incremento en la productividad primaria y la reducción de los recursos utilizados por las especies; de estos, el factor estructural parece ser el que más impacto tiene (MacArthur, 1965). Es importante señalar que todos estos factores se incrementan hacia los trópicos, en donde se conoce que la diversidad es mayor, corroborando en cierta medida las premisas antes mencionadas.

2.4.3 Importancia y retos en el estudio de la diversidad

El hecho de que los seres vivos no se distribuyan al azar, ni de una manera uniforme en todo el globo, sino que, por el contrario, condicionen su distribución a ciertos patrones observables, ha llevado a que numerosos investigadores realicen estudios sobre la diversidad de las especies, innovando con una enorme cantidad de ideas, teorías e hipótesis, muchas veces contraponiéndolas con ideas muy fuertes y casi dogmáticas como lo es la teoría de la evolución provocando

confusión y nuevos paradigmas por responder, donde los conceptos básicos utilizados para el estudio de la diversidad como hábitat, comunidad, asociación, nicho etc., son aún muy discutibles y su utilización más bien obedece a revisar los diferentes enfoques de la diversidad dentro de cierto orden (MacArthur, 1965).

Existen aspectos interesantes dentro del estudio de la diversidad y las hipótesis y teorías que de ella surgen para intentar explicarla, por ejemplo, queriendo acoplarse a los estándares actuales de las ciencias biológicas, es imposible ignorar que en última instancia la distribución de las especies no es más que el resultado de un proceso evolutivo, dejando como respuesta un simple, así es porque sí, sin embargo observando este problema se puede decir que los tres grandes tipos de diversidad (Alfa, Beta y Gamma) tienen dos posibles enfoques, uno es la diversidad dentro del hábitat, el cual corresponde a aquella diversidad en un espacio mínimo, constituye el llamado enfoque ecológico de la diversidad de especies, la cual es la más comúnmente estudiada, esta corresponde también al tipo de enfoque del presente estudio; es manifestada por el análisis detallado de las causas que controlan esa diversidad en torno a los factores actuales (Variables físico-químicas por ejemplo). Dentro de este enfoque ecológico de la diversidad de especies es de suma importancia la rigurosidad en la metodología utilizada así como la concepción estática o siendo más exactos en la instantaneidad de la distribución de las especies en dicho momento en la cual fue observada. El segundo enfoque corresponde a la diversidad total, es decir la de grandes espacios, constituye el enfoque biogeográfico de la diversidad, por lo que las causas que determinan este tipo de diversidad no se encuentran en los factores actuales, sino en los históricos, es decir, en los mecanismos de evolución, que es la relación organismos-medio ambiente que han tenido lugar a través del tiempo. Por lo anterior se puede decir, que en tanto aumenta el área de estudio de la diversidad, aumenta la probabilidad de que los factores históricos (evolutivos) sean la explicación de esa diversidad, lo cual implica, como se mencionó anteriormente, a explicaciones menos fundamentadas en lo empírico y experimental, dando cabida a grandes ambigüedades en la interpretación de los

datos, por eso mismo los estudios ecológicos se centran más en el primer tipo de enfoque. Ambos puntos de vista son también enfoques a diferentes escalas de tiempo, lo cual es un buen ejemplo de una de las grandes problemáticas de las ciencias biológicas en la actualidad, por lo que es de suma importancia que el investigador sepa delimitar el enfoque de su estudio (Margalef, 1958).

III. ANTECEDENTES

Los estudios realizados en los hábitats sódicos son variados alrededor del mundo, principalmente estos se enfocan a la caracterización físico-química de sus aguas, seguido por los análisis de suelo. En lo que respecta a la ecología, el tópico más investigado hace referencia a las cianobacterias y arqueas que son los organismos predominantes en los lagos sódicos, el siguiente tema de interés es la avifauna, la cual es abundante debido a la producción primaria (cianobacterias principalmente), estas aves son filtradoras por lo cual estos sistemas son propicios para su alimentación. Finalmente el grupo menos estudiado corresponde al zooplancton en general (Grant *et al.*,1990). Los antecedentes serán clasificados en generales alrededor del mundo y en estudios de caso en Nabor Carrillo para conocer qué tipos de trabajos se han realizado y de qué forma se relacionan con el presente estudio.

3. Estudios en lagos sódicos alrededor del mundo

Melack y Kilham en 1974 realizaron un estudio en el sistema de lagos del Gran Valle del Rift, los lagos corresponden a los países de Etiopia, Sudan, Kenia, Tanzania y Uganda; se encontró que la producción primaria es 16 veces mayor en lagos sódicos que en sus homólogos de agua dulce, mientras que la fijación de carbono en aguas dulces es en promedio 0.6 kg por metro cuadrado al día, en los sistemas sódicos llega hasta 10 kg. El principal aporte en la producción primaria es debido a las cianobacterias, así lo señalan en su estudio.

En 1990 Grant y colaboradores realizaron una revisión sobre la ecología, diversidad y aplicaciones de los ambientes alcalinos/sódicos, en el exponen respecto a la ecología, la estrecha relación que existe entre los organismos procariontes con este tipo de ambientes, también se explica el origen de la alcalinidad y sales sódicas presentes en estos medios acuáticos. Respecto a la diversidad mencionan que la mayor riqueza pertenece a las cianobacterias,

seguidas de las Arqueas y protozoos, otros filos como Crustacéa y Rotífera están pobremente representados.

En 1998 Jones y colaboradores realizaron un trabajo sobre la diversidad microbiológica de los lagos sódicos, haciendo énfasis en que son cuerpos de agua poco estudiados y que esas investigaciones solo se remiten a la diversidad bacteriana y a las características físico-químicas, mencionan que los lagos sódicos más estudiados son los del Gran Valle del Rift en África Oriental, seguidos por los de Asia Central. Hace referencia a que los lagos sódicos no siempre son hipersalinos, la concentración iónica puede variar entre 5 a 30 g/L. Respecto a la diversidad bacteriana se sabe que estos organismos son extremófilos, como las archeas y las cianobacterias, de estas últimas los géneros más comunes son *Spirulina* sp. y *Arthrospira* sp., siendo estos organismos los que predominan en estos ambientes.

Un estudio de caso en Kenia (Gran Valle del Rift) indica que la tasa fotosintética de las cianobacterias se mantiene alta a pesar de no tener una elevada incidencia de luz, esto se debe a la gran cantidad de materia orgánica acumulada. En los lagos estudiados (Bogoria, Nakuru y Elmenteita) se determinó que esto es posible gracias a las altas cantidades de carbonatos y bicarbonatos disueltos en sus aguas, así lo indica el estudio de Oudor y Schagerl en 2005.

Grant en 2006 realizó una revisión sobre el origen y la formación de los lagos sódicos, en donde se expone que para su formación deben converger varios factores, como un clima semiárido o árido, una cuenca endorreica, un terreno de origen volcánico así como bajas concentraciones o la ausencia de los cationes Mg^{+2} y Ca^{+2} lo cual propicia que se acumulen los carbonatos y bicarbonatos no se precipiten al fondo, quedando en constante disolución. Estas sales son las que le dan su peculiaridad a estos cuerpos de agua.

En 2012, Burian y colaboradores investigaron el comportamiento alimenticio del zooplancton en lagos salinos del Gran Valle del Rift en África, y encontraron que *Brachionus dimidiatus* y *Brachionus plicatilis* consumen en altas tasas a la cianobacteria *Arthrospira fusiformis*.

En América se han realizado estudios en lagos salinos, como es el caso de Battauz y colaboradores en 2013, donde presentaron un estudio del zooplancton de los lagos salinos de las pampas argentinas y sus relaciones con la distribución temporal y espacial de flamencos (*Phoenicopterus chilensis* y *Phoenicoparrus andinus*), se encontró que los copépodos y cladóceros fueron dominantes cuando la salinidad disminuyó, también se realizó una caracterización de las especies de rotíferos encontrados en el lugar, en total se reportaron 12 especies de rotíferos, 11 especies de cladóceros y 3 de copépodos.

3.1 Estudios de caso en la zona federal lago de Texcoco y Nabor Carrillo

Se han realizado diversos trabajos en la zona de estudio, generalmente enfocados a la hidráulica de los suelos del antiguo lecho para aprovecharlos como recursos hídricos o para construcción debido al proyecto federal lago de Texcoco (SARH, 1983). Estos trabajos se pueden clasificar en diferentes sentidos; estudios sobre el suelo, estudios sobre agricultura, estudios sobre la vegetación, estudios sobre fauna y otros, se hará una pequeña subdivisión en la categoría fauna para darle énfasis a los trabajos de fauna acuática. Estos antecedentes se mencionaran de manera puntual para que se tenga conocimiento de las labores de investigación realizadas, excepto por aquellas estrechamente relacionadas con la fauna acuática.

3.1.1 Estudios sobre suelo

Compendio recopilado por Iturbide en 1988 nos muestra la evolución en los trabajos realizados en la zona, se mencionaran los más importantes.

Vogt en 1950 propone que para erradicar las tolvaneras se deben regenerar los lagos o urbanizar la superficie. En 1957 Macías propone la creación de un lago artificial para desarrollar actividades deportivas y recreativas, así como para amainar las tolvaneras. Fernández y Munguía en 1962 indican que los trabajos de recuperación del suelo del ex lago de Texcoco son factibles con la aplicación de mejoradores químicos como el yeso, ácido sulfúrico y azufre. En 1965 Bistrain propone a la zona federal lago de Texcoco como receptor de aguas para prevenir inundaciones en la Ciudad de México. Fernández y Rodríguez en 1965 caracterizaron los suelos en función al contenido de sus sales y sodio intercambiables. Para 1974 Barocio propone utilizar la especie *Distichlis spicata* (pasto salado) para evitar la degradación de los suelos y la proliferación de las tolvaneras a su vez Prada en 1975 recomienda sembrar romerito al inicio de las lluvias.

3.1.2 Estudios sobre agricultura

Macías en 1972 efectuó un estudio sobre las posibilidades de uso agropecuario en los terrenos del ex lago de Texcoco, en el cual se tiene como finalidad el caracterizar los suelos, así como cartografiar y clasificar a la vegetación que en forma natural crece en el mismo. Ese mismo año Rodríguez plantea las posibilidades de uso agropecuario en los terrenos del vaso de Texcoco (citado en Cruz, 1982). Briseño de la Hoz en 1982 explica el origen y hace una caracterización del uso actual del ex lago de Texcoco.

3.1.3 Estudios sobre vegetación

Cervantes en 1957 describe la vegetación halófila y sus adaptaciones en la zona del ex lago de Texcoco. Prada en 1975 realizó un trabajo sobre la capacidad de adaptación de tres especies vegetales a diferentes condiciones de ensalitramiento en los suelos del ex lago de Texcoco. Para 1978 Evans hace un trabajo de

investigación sobre los factores ambientales limitantes para *Distichlis spicata*, *Suaeda nigra* y *Typha angustifolia*. Cervantes en 1987 hace otro estudio acerca de las adaptaciones a condiciones salinas en plantas del lago de Texcoco.

3.1.4 Estudios sobre fauna

Mendoza en 1992 hace una recopilación sobre estudios de fauna los cuales se presentan a continuación. Arellano y Rojas en 1956 describen el hábitat de las aves acuáticas del lago de Texcoco. Hernández en 1972 realizó un estudio general de las aves acuáticas aportando datos del número de especies y su abundancia en el complejo cercano de Atenco. Estrada en 1976 investigó los hábitos alimenticios y los parásitos de las aves acuáticas en áreas aledañas a la zona federal del lago de Texcoco (Citados en Huerta, 1985). Chávez y Huerta en 1985 hacen un estudio ecológico de la comunidad de anátidos en el ex lago de Texcoco. También se han realizado secundariamente trabajos sobre mamíferos, reptiles y peces, muchas de estas descripciones concuerdan con el listado general de la Cuenca del Valle de México.

3.1.4.1 Estudios sobre Fauna acuática

En los hábitats artificiales formados con aguas tratadas a nivel secundario como lo es el caso del lago Nabor Carrillo, se ha observado una alta producción de invertebrados; sin embargo se ha comprobado que la fauna presente es poco diversa a diferencia de aquellos sistemas que contienen agua de lluvia o de escurrimientos (Lack, 1966; en Chávez, 1986).

El Centro de Investigación y Entretenimiento y Control de la Calidad del Agua (CIECCA), llevó a cabo diversos estudios de la calidad del agua del Lago Nabor Carrillo enfocando sus actividades a bioensayos, biomonitoreos, tratamientos de aguas residuales en indicadores biológicos (Díaz, 1984).

En un estudio realizado por Ojendis en 1985, en la zona llamada “El Caracol”, describió las características de las poblaciones bentónicas las cuales forman parte significativa de los hábitos alimenticios del godeido *Girardinichthys viviparus*, también conocido como “mexclapique”; entre las especies reportadas destacan las larvas de díptero (quironómidos), podócopos y de la clase Crustácea Ciclopoideos y efipios.

En 1987 Díaz realizó un trabajo sobre los parámetros físico-químicos del lago Nabor Carrillo y destaca que son de mala calidad sobre todo por los altos niveles en la carga de materia orgánica, nutrientes como el nitrógeno y el fósforo se encuentran en sus diferentes formas de tal manera que clasifica al embalse como aguas mezcladas en un estado avanzado de eutrofización, también menciona que la calidad del agua se puede mejorar con una recirculación, una entrada y salida constante disminuiría la carga de materia orgánica, así como también un tratamiento terciario a la masa de agua antes de entrar a Nabor Carrillo.

Para el año de 1993 Tamayo realizó un trabajo sobre la comunidad bentónica del lago Nabor Carrillo, encontró que los grupos de organismos más abundantes corresponden a larvas de díptero *Chironomus* sp. Oligoquetos (tubificidos) y del ostrácodo *Cypris occidentalis*. Así mismo calculó el índice de Shannon-Wiener, el cual reflejó valores de 0.117 bits/Ind para la zona central del lago y 0.654 para los alrededores.

En 1998 Rendón y Jiménez realizaron una caracterización microbiológica para el control y calidad del agua, tomando como referencia las coliformes termotolerantes y estreptococos fecales como *Salmonella typhi* y *Vibrio cholerae* además de una estimación de parámetros físico-químicos de los efluentes secundarios del lago Nabor Carrillo.

IV. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, los problemas ambientales en el Valle de México son el resultado de la alteración de los ecosistemas y de la explotación irracional de sus recursos naturales, principalmente los forestales y los hídricos. El crecimiento de la población y la expansión de la mancha urbana en el valle rebasaron los límites para un desarrollo ordenado y equilibrado; para satisfacer esta demanda, los acuíferos fueron sobreexplotados, por lo tanto el lago de Texcoco siendo el cuerpo más importante del Valle de México, así como una parte fundamental del sistema hidrológico de la cuenca sufrió graves alteraciones ambientales que resultaron en su desecación, provocando un serio deterioro ecológico; el lecho quedó expuesto y se desertificaron los terrenos circundantes, lo que provocó un foco de insalubridad que afectó a toda la Ciudad de México, como consecuencia de estos problemas ambientales en 1971 se formó la comisión “lago de Texcoco” en la cual se establecieron programas, acciones, proyectos y obras de rescate de la región, por tanto el proyecto lago de Texcoco resulta viable para el aprovechamiento, conservación, restauración y explotación racional de los recursos del área. La superficie total de la zona federal es de 11 600 hectáreas, se sabe que de forma rustica se extraen recursos por personas de edad avanzada, estos son usados desde la época prehispánica, principalmente como alimento o para elaborar algunas artesanías. Los más importantes son: tequezquite, el cual es la acumulación de las sales sódicas en el suelo que forman una densa capa en forma de costras, las cuales son utilizadas para preparar el nixtamal y cocer elotes, el llamado “mosco” un grupo de insectos que pertenecen a la familia *Corixidae*, este es utilizado para realizar guisos exóticos así como para alimentar a las aves, el zacate usado para prender los fogones, los quelites (*Amaranthus hybridus*), las verdolagas (*Portulaca oleracea*) utilizadas para elaborar alimentos y el mexclapique (*Girardinichthys viviparus*), el pez originario del lago de Texcoco el cual está casi extinto, tanto en la zona Federal lago de Texcoco, como en sus alrededores.

Una peculiaridad de la zona es la presencia de cuerpos de agua, siendo el más importante por su capacidad de almacenamiento el lago artificial Nabor Carrillo, con una superficie de 920 hectáreas. El conocer la diversidad del zooplancton existente en este hábitat acuático nos ayudaría a entender su estado biológico, ya que varios de estos organismos pueden servir como indicador de la calidad del agua, además de aumentar el conocimiento del lugar. El tener estos conocimientos base ayudará a generar nuevas ideas y propuestas para el manejo sustentable del lugar, así como plantear proyectos a futuro para el rescate y conservación del mismo.

V. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la diversidad y dinámica poblacional de la comunidad del zooplancton en el lago Nabor Carrillo y efluentes secundarios en Texcoco, Estado de México durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

Objetivos particulares

- Conocer la riqueza específica de los organismos zooplanctónicos en el lago Nabor Carrillo y efluentes secundarios.
- Especificar la abundancia de cada una de las especies de zooplancton encontradas.
- Describir la dinámica poblacional de las especies en función del tiempo.
- Determinar la diversidad del zooplancton en bits por individuo.
- Determinar las variables físico-químicas de los sitios muestreados y correlacionarlos con los organismos encontrados.

VI. ÁREA DE ESTUDIO

6. Zona federal lago de Texcoco

El área federal del lago de Texcoco comprende una extensión de 11 600 hectáreas las cuales ocupan la porción oeste de la mesa central del Valle de México. El ex vaso se encuentra a una elevación de 2 236 m.s.n.m. y presenta un clima semi seco con verano cálido y lluvioso; la temperatura de la zona oscila entre los 12 y 18°C con valores máximos de 25 a 32°C y mínimos de 5 a 8°C, su precipitación anual varía entre los 500 y 600 mm con una evaporación entre los 1800 y 2200 mm (Chávez y Huerta, 1985; Díaz, 1987). Los vientos dominantes corren en dirección NE y NW, con velocidades que van desde los 10 y 20 Km/h y que en ocasiones llegan a los 80 Km/h (Rzedowski, 1957; Jauregui, 1975).



Figura 1. Mapa satelital de la zona oriental del Valle de México; con amarillo se muestra los límites de la zona federal lago de Texcoco.

Los suelos son del tipo alcalino sódicos con altas concentraciones en carbonatos y bicarbonatos de sodio, razón por la cual la vegetación se reduce a pastizales bajos y densos del tipo halófito (Mata, 1986); la capa del suelo está formada por sedimentos lacustres arcillosos blandos y altamente plásticos e impermeables, cuyo espesor va de los 18 m de profundidad en la zona del Caracol, hasta los 40 m en el bordo de Xochiaca (Castillo, 1985).

El manto freático se encuentra a 1.5 m de profundidad, razón por la cual existen vastos depósitos de agua salobre rica en carbonatos y bicarbonatos de sodio, debido principalmente al proceso natural del lavado de suelo, intemperización y altas tasas de desecación (Tirado, 1970; Tarín, 1986). Hasta la profundidad de 60 m el agua es igualmente salina, presentando una concentración de sales de 54 g/L de las cuales el 50% son por carbonatos y bicarbonatos de sodio con cantidades menores de cloruro de sodio y otros compuestos (Castillo 1985; Ladislao, 1985).

6.1 Lago Nabor Carrillo

Este se ubica dentro de la zona federal lago de Texcoco, entre las coordenadas 19° 28' 00'' de latitud norte y 98° 58' 00'' de latitud oeste, ocupando una extensión de 920 hectáreas (SARH, 1983). Fue construido extrayendo agua de las arcillas del subsuelo mediante bombeo ininterrumpido de 180 pozos someros, dispuestos en una superficie de 3000 x 1200 m provocando con ello el hundimiento y consolidación del terreno alcanzando así un máximo de 4 m de profundidad y una capacidad de 12 millones de m³ (Ladislao, 1985). Posteriormente alrededor del embalse se construyó un bordo perimetral tipo presa de baja altura, aumentando así su capacidad de almacenamiento a 21 millones de m³, con una profundidad media de 2.29 m; además también se construyó una isleta en la parte central con fines recreativos (Ladislao, 1985; Díaz, 1987).

El principal aporte de agua que llena al embalse en cuestión proviene de una planta de tratamiento que se localiza allí, la cual tiene un promedio de producción

de agua de $1 \text{ m}^3/\text{s}$; las aguas que sirven de materia prima para la planta provienen de un ramal del río Churubusco, el sistema con el que son tratadas estas aguas es llamado “lodos activados” a nivel secundario convencional con aeración mecánica superficial. Durante el proceso descrito anteriormente se remueve teóricamente el 80% de la materia orgánica contenida en el agua mediante mecanismos mecánicos y biológicos (Ladislao, 1985).



Figura 2. Lago Nabor Carrillo, los números 1, 2 y 3 corresponden a las estaciones de muestreo (Nabor 1, Nabor 2 y Canal).

VII. MATERIALES Y MÉTODO

7. Trabajo en campo

7.1 Estaciones de muestreo

El presente estudio se realizó en el lago Nabor Carrillo y en un efluente secundario a un costado de sus bordes perimetrales, donde se efectuaron los muestreos durante el periodo de septiembre del 2012 a agosto del 2013, con una periodicidad mensual. Las estaciones de muestreo se establecieron tomando en cuenta su fisiografía, cuya forma rectangular y batimetría permiten una distribución aparentemente uniforme entre las zonas, y como determinante se acoplaron a las zonas en las que se nos permitió el paso por parte de la administración del proyecto lago de Texcoco. En el siguiente cuadro se muestra la descripción de las estaciones de muestreo (número, clave, localización y profundidad a la que se tomó la muestra, todas las muestras corresponden a la zona litoral).

Cuadro 1. Descripción de las estaciones de muestreo en el lago Nabor Carrillo.

Número de estación	Clave	Localización		Profundidad (cm)
		Latitud (N)	Longitud (O)	
1	Nabor 1	19° 28' 30.4''	98° 58' 12''	20 cm
2	Nabor 2	19° 28' 30.3''	98° 58' 11.9''	30 cm
3	Canal	19° 27' 58.5''	98° 59' 27.2''	30 cm

7.1.1 Colecta y transporte de las muestras

La toma de muestras se realizó filtrando 50 L de agua a través de una malla para zooplancton con una apertura de 50 μm y se almacenaron en recipientes plásticos de 250 mL. Para cada estación se colectaron dos muestras, una se fijó con formol al 4% para realizar los análisis del presente trabajo, la otra se mantuvo viva para observar el comportamiento de los organismos y la forma de algunos de ellos que pudiesen modificarse por la adición del formol. Posteriormente fueron

transportadas al Laboratorio de Zoología Acuática de la Unidad de Morfofisiología Animal de la FES-Iztacala, UNAM.

7.1.2 Registro de los parámetros físico-químicos de las muestras “*in situ*”

Se determinaron los siguientes parámetros: temperatura del agua (°C), pH, conductividad (mS/cm), oxígeno disuelto (mg/L), salinidad (gr/L) y transparencia (cm). Los parámetros que fueron medidos con un tester digital son: temperatura y pH (HANNA), la conductividad (Conductronic), oxígeno disuelto (YSI 55). La salinidad se determinó con un refractómetro mecánico (Atago). La transparencia se estimó con un disco de Secchi.

7.2 Trabajo en laboratorio

7.2.1 Otras determinaciones (espectrofotometría y colorimetría)

Se realizó la medición de los siguientes factores: nitratos (mg/L), fosfatos (mg/L), clorofila a (mg/m³), alcalinidad (mg/L CaCO₃) y dureza (mg/L CaCO₃). Los parámetros que fueron medidos con un espectrofotómetro (YSI 9100) son: nitratos y fosfatos. La clorofila-a se procesó conforme al método espectrofotométrico tricromático establecido por APHA en 1994. La alcalinidad y dureza se determinaron mediante la técnica de titulación colorimétrica (APHA, 1994).

7.2.2 Cuantificación e Identificación morfológica del zooplancton

Para realizar el análisis cuantitativo del zooplancton se utilizó la cámara de Sedgwick Rafter. La identificación del zooplancton se realizó utilizando claves especializadas (Koste, 1978; Thorp y Covich, 2010). Los rotíferos, cladóceros y copépodos fueron determinados a nivel de especie, los ostrácodos fueron considerados sólo como grupo. Para el caso de copépodos se estimaron sus estadíos; larvas nauplio, copepodito y adultos (macho y hembra). La densidad del zooplancton se expresó en número de individuos por litro (ind/L).

7.2.3 Análisis y manejo de datos

La riqueza específica se representó en un cuadro taxonómico ordenando sistemáticamente de mayor a menor denominación (de phylum a especie). Las abundancias fueron graficadas; para rotíferos sólo se graficó a las especies dominantes y en el caso de los copépodos se plasmó sus estadios (nauplio, copopodito y adulto (macho/hembra)).

Se obtuvo el índice de diversidad de Shannon-Wiener (bits/Ind) utilizando el programa informático Divers incluido en el libro Ecological Methodology de Krebs (1999). La fórmula utilizada para calcular la diversidad fue:

$H' =$ Índice de diversidad de especies (bits/individuo)

Los parámetros físico-químicos fueron debidamente ordenados, clasificados y graficados, posteriormente se correlacionaron con las especies encontradas en base a estudios anteriores.

VIII. RESULTADOS

8. Riqueza de especies

De los cuatro grupos de zooplancton encontrados (rotíferos, cladóceros, copépodos y ostrácodos) se registraron 11 especies de rotíferos de los cuales el 45% pertenece a la familia Brachionidae, respecto a los micro crustáceos se reportó una especie de cladóceros (*Moina macrocopa*) y una de copépodo (*Acanthocyclops robustus*), respecto a los ostrácodos solo se contabilizaron y se reportaron a nivel de clase (Cuadro 2).

Cuadro 2. Riqueza de especies (rotíferos, cladóceros, copépodos y ostrácodos) encontrados entre septiembre de 2012 y agosto de 2013.

Rotíferos

Orden Ploimida

Familia Brachionidae

Brachionus plicatilis (Müller, 1786)

Brachionus calyciflorus Pallas, 1766

Brachionus dimidiatus Bryce, 1931

Brachionus angularis (Gosse, 1851)

Plationus patulus (Müller, 1786)

Familia Synchaetidae

Polyarthra vulgaris Carlin, 1943

Familia Asplanchnidae

Asplanchna sieboldii (Leydig, 1854)

Asplanchna silvestrii (Daday, 1902)

Familia Hexarthridae

Hexarthra jenkiniae (De Beauchamp, 1932)

Orden Gnesiotrocha

Familia Filiniidae

Filinia longiseta (Ehrenberg, 1834)

Filinia terminalis (Plate, 1886)

Cladóceros

Orden Diplostraca**Familia Moinidae**

Moina macrocopa (Straus, 1819)

Copépodos

Orden Cyclopoida**Familia Cyclopidae**

Acanthocyclops robustus Sars, 1863

Ostrácodos

8.1 Abundancias y dinámica poblacional

8.1.1 Rotíferos

La comunidad de rotíferos estuvo representada por tres especies la mayor parte del año, la primera de ellas es *Brachionus dimidiatus*, alcanzando densidades de hasta 178,400 ind/L durante el mes de marzo en la estación del Canal, este organismo no solo se encontró en densidades muy altas en este sitio, también lo fue para Nabor 1 con 76,700 ind/L y Nabor 2 con 117,500 ind/L , por otro lado el organismo no estuvo presente en el mes de marzo para la estación Nabor 1 y en junio para Nabor 2 (Figura 3).

La segunda especie que presentó altas densidades y estuvo presente durante todo el año fue *Brachionus angularis* con densidades de entre los 11,300 ind/L en la estación Nabor 2 esto para el mes de octubre; la densidad más baja se reporta para el mes de septiembre con 50 ind/L en Nabor 1 y el Canal (Figura 4).

Otra especie que fue constante durante los muestreos fue *Asplanchna sieboldii* la cual se encontró con densidades máximas de 212 ind/L, como se puede observar para mayo en Nabor 2. En algunas ocasiones no estuvo presente, principalmente en el Canal, donde no se registró ningún individuo durante los meses de septiembre, enero, febrero, abril y mayo (Figura 5).

Brachionus dimidiatus

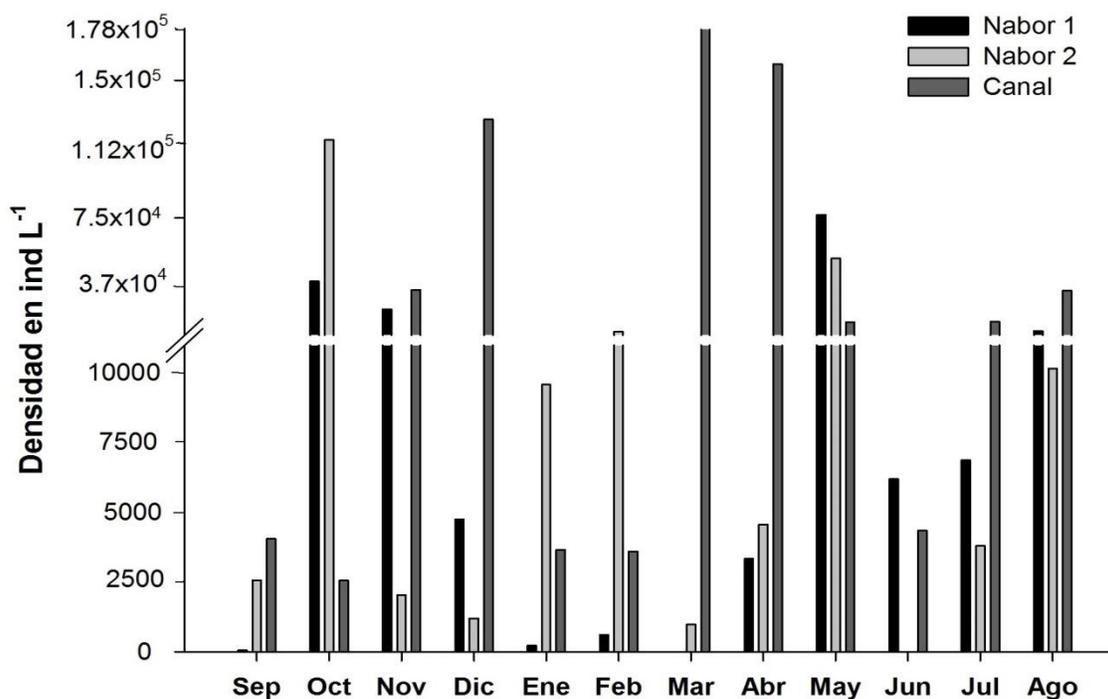


Figura 3. Densidad del rotífero *Brachionus dimidiatus* en las tres estaciones de muestreo, entre septiembre de 2012 y agosto de 2013.

Brachionus angularis

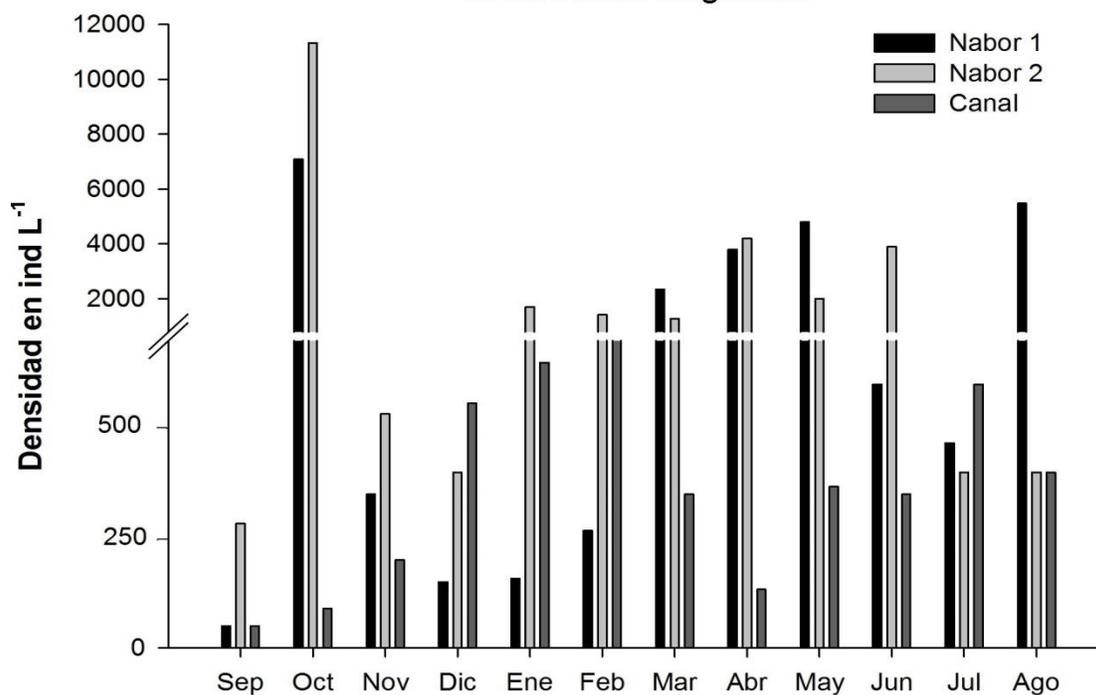


Figura 4. Densidad del rotífero *Brachionus angularis* en las tres estaciones de muestreo, entre septiembre de 2012 y agosto de 2013.

Asplanchna sieboldii

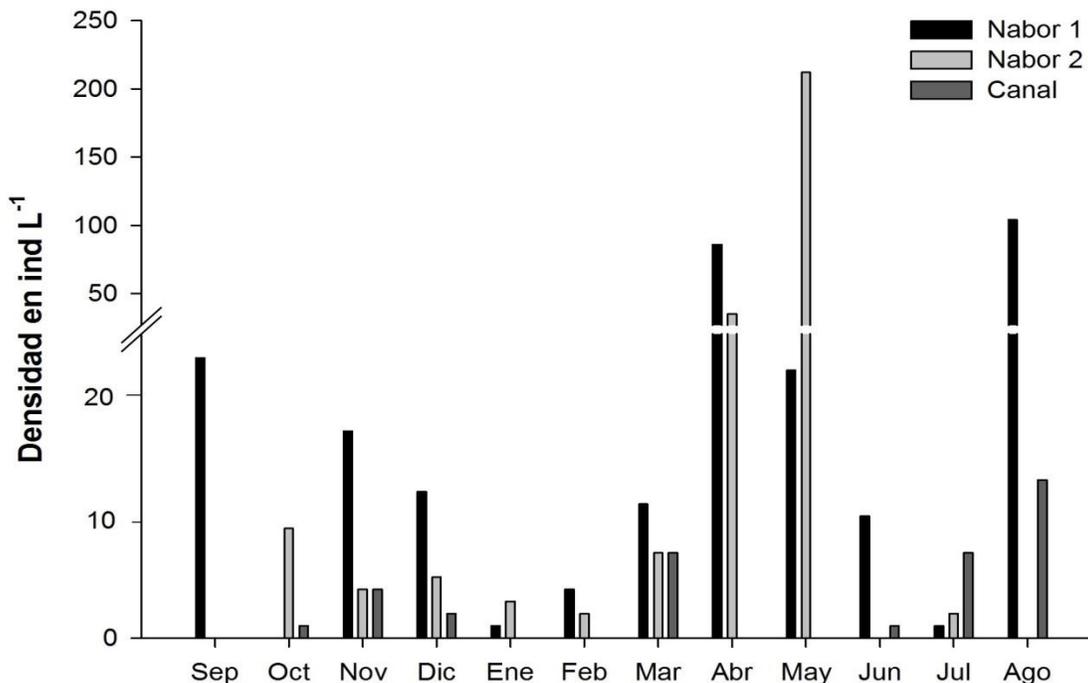


Figura 5. Densidad del rotífero *Brachionus angularis* en las tres estaciones de muestreo, entre septiembre de 2012 y agosto de 2013.

8.1.2 Cladóceros, ostrácodos y copépodos

Los cladóceros estuvieron representados solo por una especie (*Moina macrocopa*). Se observó que la densidad poblacional fue baja durante todo el año en el que se realizó el muestreo. En la estación Nabor 1 estuvo presente sólo en el mes de abril con una densidad promedio de 1.2 ind/L, esta misma densidad se observó para la estación 3 (canal) en el mes de mayo, finalmente el sitio que presento mayor abundancia corresponde a Nabor 2 durante el mes de mayo con una densidad de 11 ind/L (Figura 6).

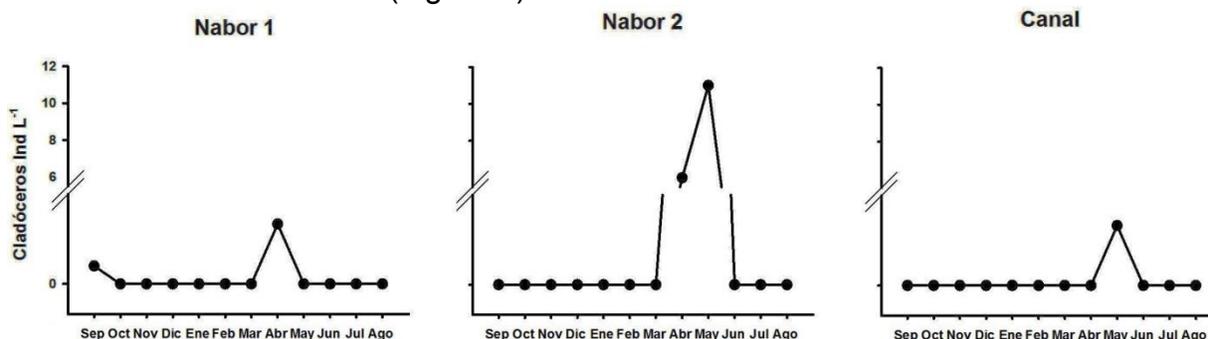


Figura 6. Densidades de cladóceros en las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

En lo que se refiere a los ostrácodos, solo se contabilizó la densidad total del clado. Entre los tres sitios de muestreo se observó que la estación 3 correspondiente al Canal presentó la densidad promedio más baja, siendo que durante los meses de septiembre, noviembre, diciembre, marzo, abril y junio no se registró ningún organismo, mientras que la densidad más alta se observó en Nabor 1 hasta con 258 ind/L, también es apreciable que la mayor parte del tiempo las densidades no sobrepasaron los 50 ind/L (Figura 7).

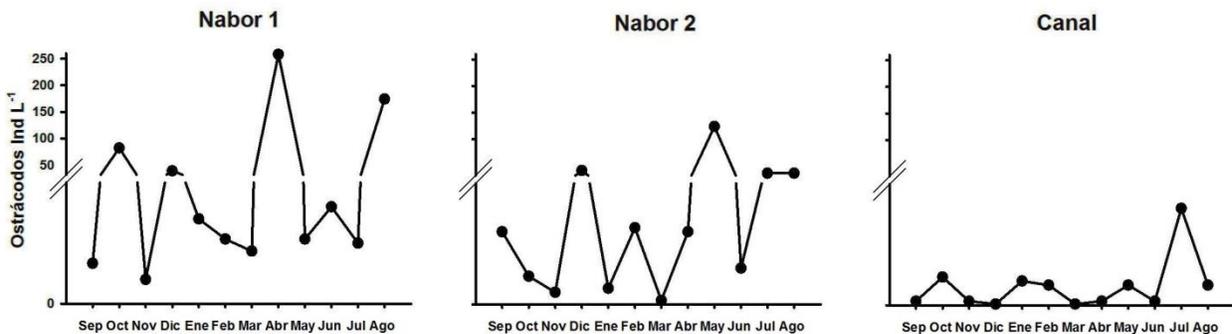


Figura 7. Densidades de ostrácodos en las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

En cuanto a los copépodos se encontró un organismo del phylum Ciclopoides del cual se identificó una especie: *Acanthocyclops robustus*, además se realizó la cuantificación de sus estadios, siendo el más abundante el copepodito y el menos abundante la etapa de adulto. De las abundancias de larvas nauplio la densidad más alta se localizó en Nabor 2 con 64 ind/L durante el mes de marzo, y la más baja con 0.8 ind/L se observó en el mes de diciembre para la estación del canal. En cuanto a los copepoditos se registraron densidades de hasta 262 ind/L, como se observa en Nabor 1 durante el mes de octubre, las más bajas corresponden a la estación 3 (Canal), en el cual durante 8 meses no se encontró ningún organismo. Respecto a los adultos se nota una tendencia a mayores densidades para los machos hasta con 39 ind/L, mientras que para las hembras no superaron los 8 ind/L (Figura 8).

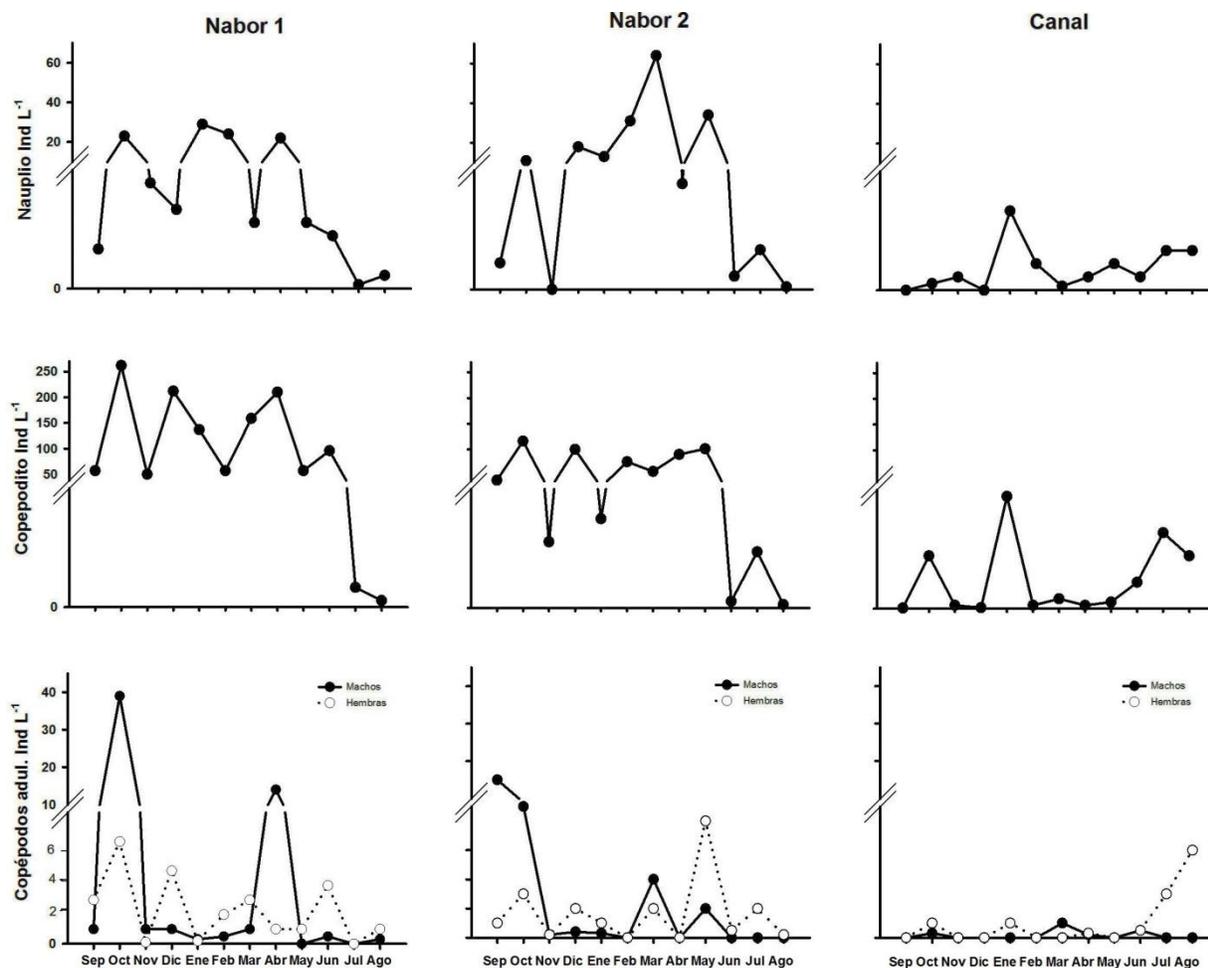


Figura 8. Densidades de copépodos en sus diferentes estadios, en las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

8.2 Diversidad

La diversidad se evaluó solamente para el phylum rotífera por ser el único grupo con suficientes datos para ello, el cálculo se realizó mediante el índice de Shannon- Wiener (1949). Para la estación Nabor 1 se puede observar que durante el mes de febrero la diversidad alcanzó su punto más alto con 1.79 bits por individuo, seguido por marzo y abril (1.76 y 1.66 bits por individuo). Para el mes de mayo se presentó el nivel más bajo de diversidad con 0.36 bits por individuo, seguido por el mes de noviembre (0.41 bits/Ind) y junio (0.44 bits/Ind), lo cual indica que durante estos meses hubo una dominancia de especies (Figura 9).

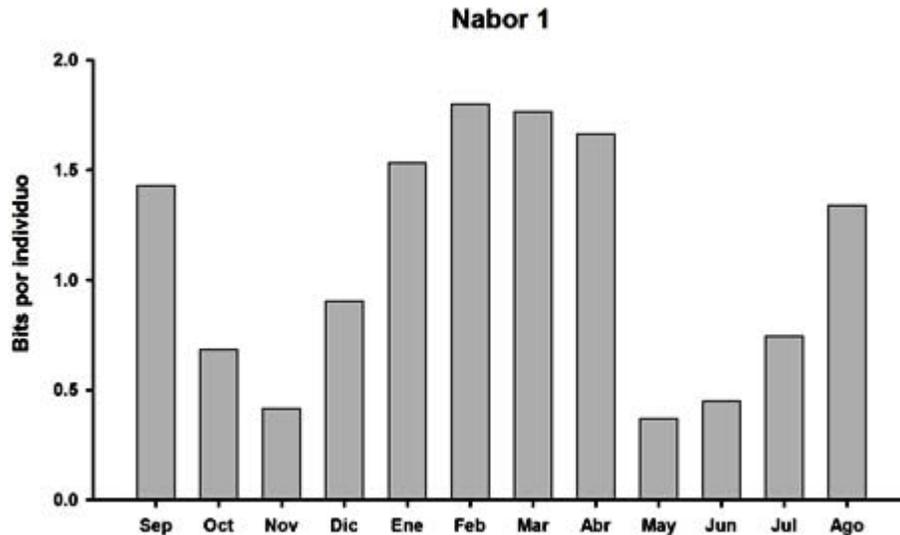


Figura 9. Diversidad de rotíferos en bits por individuo para la estación Nabor 1 entre septiembre de 2012 y agosto del 2013.

En la estación Nabor 2 la diversidad más alta se registró para el mes de marzo con 1.97 bits por individuo seguido por abril (1.62 bits/Ind) y noviembre (1.48 bits/Ind). El mes de junio registró el valor más bajo de diversidad con 0.2 bits por individuo lo cual indica la dominancia de una especie, los meses consecutivos a junio son octubre con 0.5 bits/Ind y agosto con 0.55 bits/Ind (Figura 10).

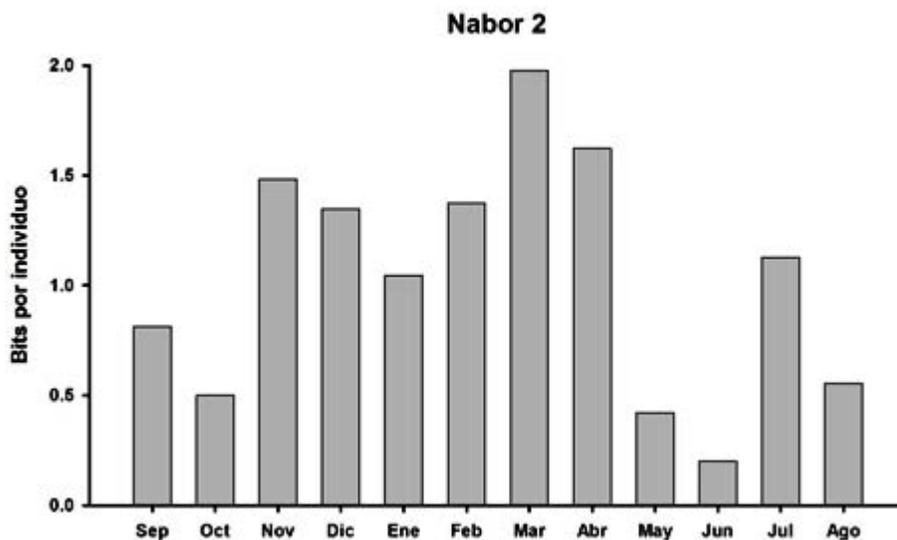


Figura 10. Diversidad de rotíferos en bits por individuo para la estación Nabor 2 entre septiembre de 2012 y agosto del 2013.

De entre las tres estaciones de muestreo la que presentó los niveles de menor diversidad fue el Canal, durante once meses no se superó la unidad en bits por individuo, por lo que la equitatividad entre las especies seguramente estuvo cercana a 1, esto se puede afirmar al ver que durante el mes de diciembre la diversidad tuvo un valor de 0.05 bits por individuo, seguido por el mes de abril con 0.1 bits/Ind y noviembre con 0.13 bits/Ind. El mes que presentó mayor diversidad fue octubre con 1.53 bits por individuo.

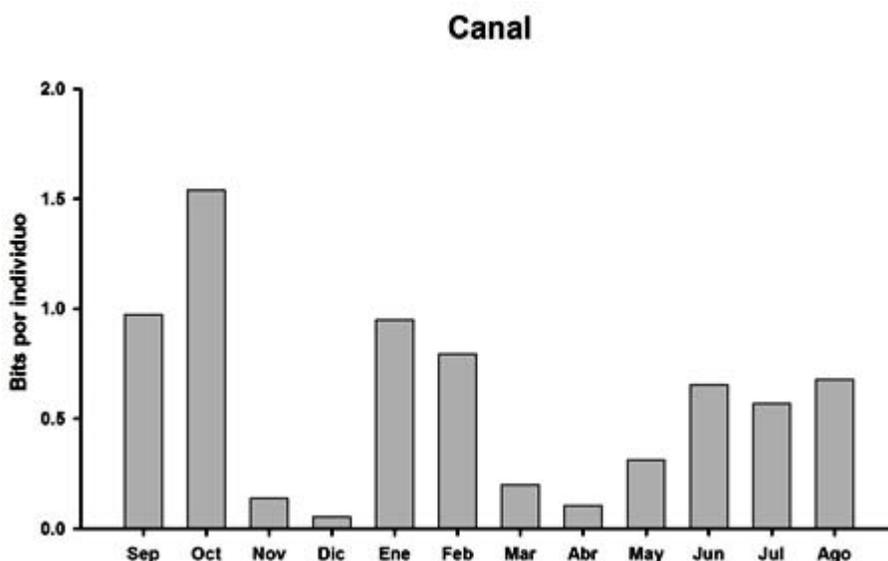


Figura 10. Diversidad de rotíferos en bits por individuo para la estación Nabor 2 entre septiembre de 2012 y agosto del 2013.

8.3 Variables físico-químicas

Durante el periodo de estudio las unidades de pH presentaron valores entre 8.3 y 10.88 para las tres estaciones de muestreo. Para Nabor 1 el valor más bajo se registró en abril con 8.3, mientras que el valor máximo corresponde al mes de septiembre con 10.35. Nabor 2 registró su valor mínimo para abril con 8.64 y el más alto corresponde a enero con 10.63. Finalmente el canal registró valores entre 8.75 para mayo y 10.13 para diciembre (Figura11).

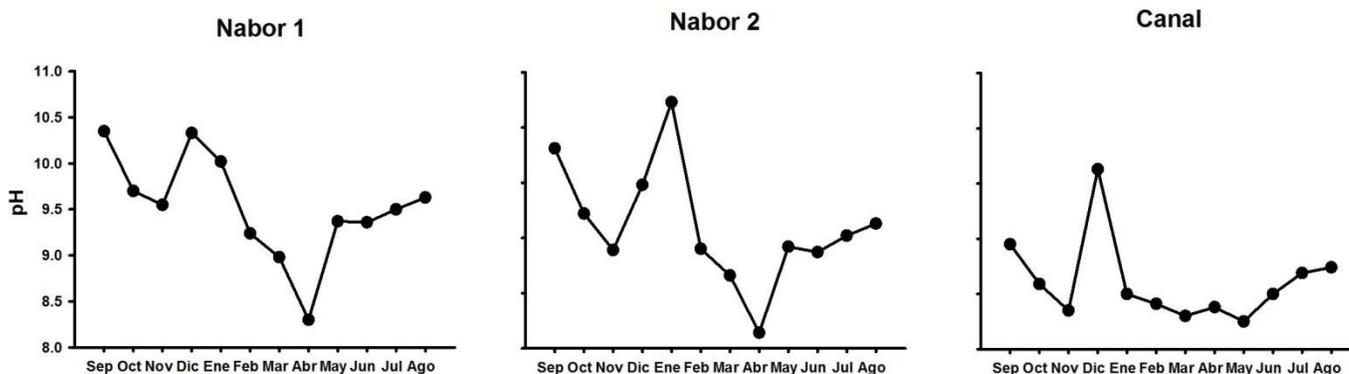


Figura 11. Valores de pH registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

La conductividad tuvo un amplio rango, el cual vario entre 4.02 hasta 9.17 mS/cm³. En Nabor 1 el valor mínimo se registró con 4.1 mS/cm³ en el mes de febrero, mientras que el valor máximo corresponde a diciembre con 6.69 mS/cm³. Para Nabor 2 se encontraron valores entre 2.75 (junio) y 6.97 mS/cm³ (diciembre). El Canal presentó su nivel más bajo en agosto con 2.72 mS/cm³ y el más alto en diciembre con 9.17 mS/cm³ (Figura 12).

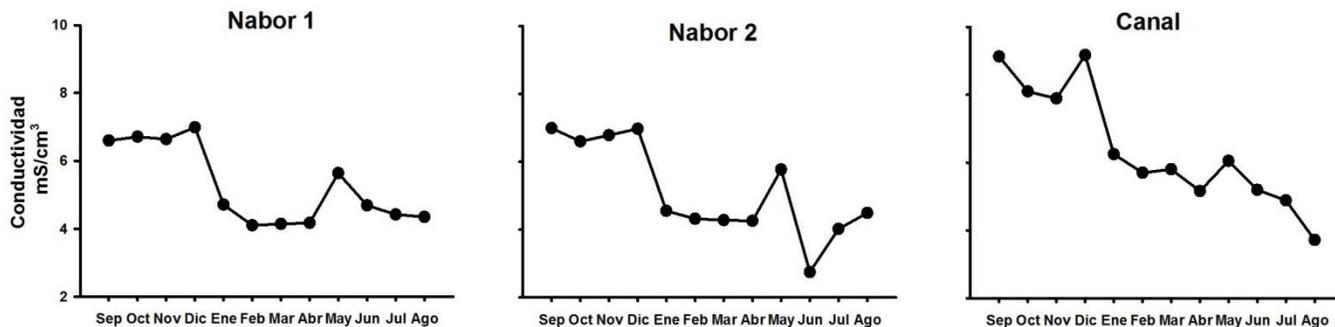


Figura 12. Valores de conductividad registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

La salinidad registró una variación de 4 g/L hasta 8 g/L en los tres sitios de muestreo, en las estaciones de muestreo correspondientes al embalse de Nabor Carillo se mantuvo más o menos homogéneo el registró, en cambio para el canal la fluctuación fue mayor. En Nabor 1 se encontraron salinidades entre los 4 y los 6 g/L, mientras que en Nabor 2 la variación fue de 4 a 7 g/L. En el Canal se registraron salinidades desde los 3 g/L para el mes de agosto hasta 8 g/L para el mes de febrero (Figura 13).

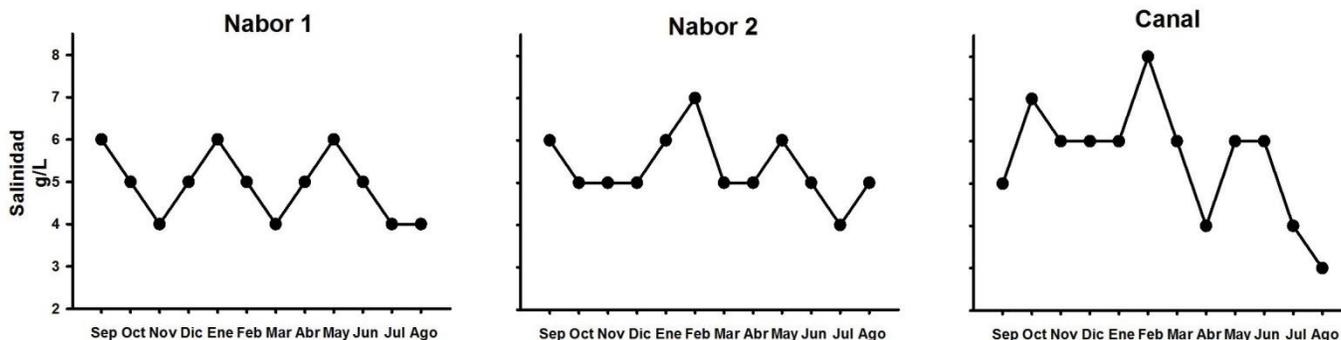


Figura 13. Valores de salinidad registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

La alcalinidad presentó valores entre 160 y 320 mg de CaCO_3/L durante el periodo de estudio. Para el caso de Nabor 1 mostró un máximo de 280 mg de CaCO_3/L en el mes de julio y un mínimo de 180 mg de CaCO_3/L durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. Los valores encontrados en Nabor 2 fluctuaron entre 160 (septiembre) y 280 mg de CaCO_3/L en junio. El Canal registró un mínimo de 200 mg de CaCO_3/L en septiembre y dos máximos de 320 mg de CaCO_3/L durante los meses de marzo y julio (Figura 14).

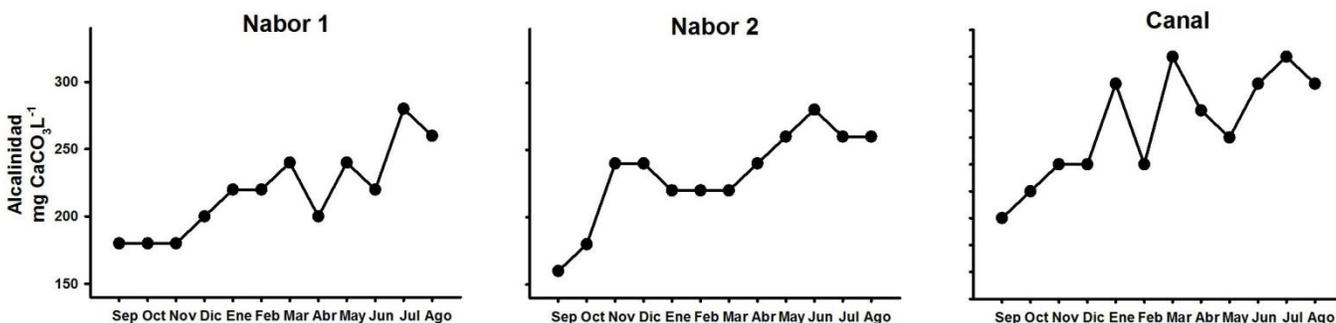


Figura 14. Valores de alcalinidad registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

La dureza registrada arrojó valores que van desde los 180 hasta los 360 mg de CaCO_3/L . Conforme transcurre el tiempo los valores fueron aumentando en correspondencia entre los tres sitios. En el caso de Nabor 1 la estimación más baja corresponde a 220 mg de CaCO_3/L , esto se observó en cinco meses, mientras que la valoración máxima corresponde para julio con 360 mg de CaCO_3/L . En Nabor 2 el valor mínimo fue de 180 mg de CaCO_3/L para el mes de septiembre y el más alto en julio con 360 mg de CaCO_3/L . El Canal mostró en

promedio los valores más altos, con un máximo de 360 mg de CaCO_3/L en el mes de junio y un mínimo en septiembre con 220 mg de CaCO_3/L (Figura 15).

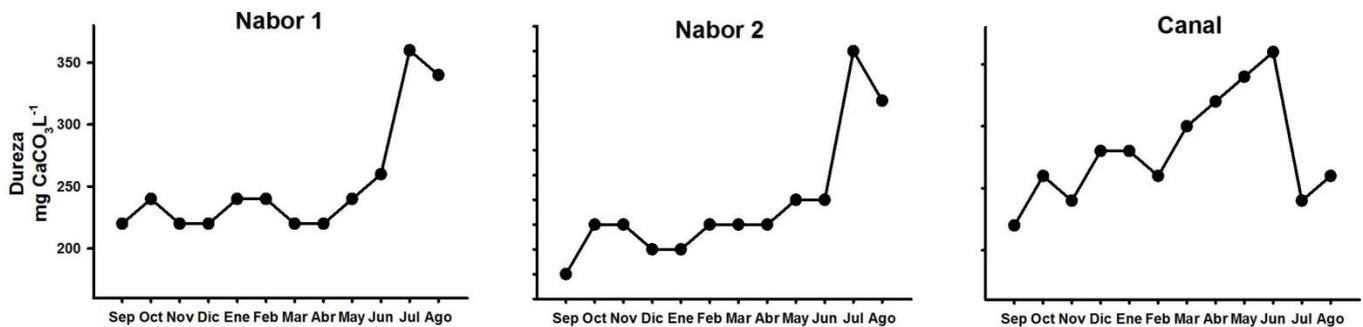


Figura 15. Valores de dureza registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

El oxígeno disuelto (OD) fue uno de los parámetros que más varió en los datos registrados, se distinguen dos grupos, el embalse (Nabor 1 y Nabor 2) y el canal, el primero mostró niveles promedio superiores al canal el cual por el contrario registró los niveles más bajos. Nabor 1 tuvo su máximo con 16.32 mg/L durante el mes de noviembre, mientras que su valor mínimo corresponde a 6.68 mg/L en el mes de marzo. Nabor 2 por su lado nos mostró 17.6 mg/L como la estimación más alta para el mes de febrero y la más baja para mayo con 4.65 mg/L. Para el caso del Canal 9.01 mg/L fue la estimación más alta, esta corresponde al mes de diciembre, la más baja fue para mayo con 1.55 mg/L (Figura 16).

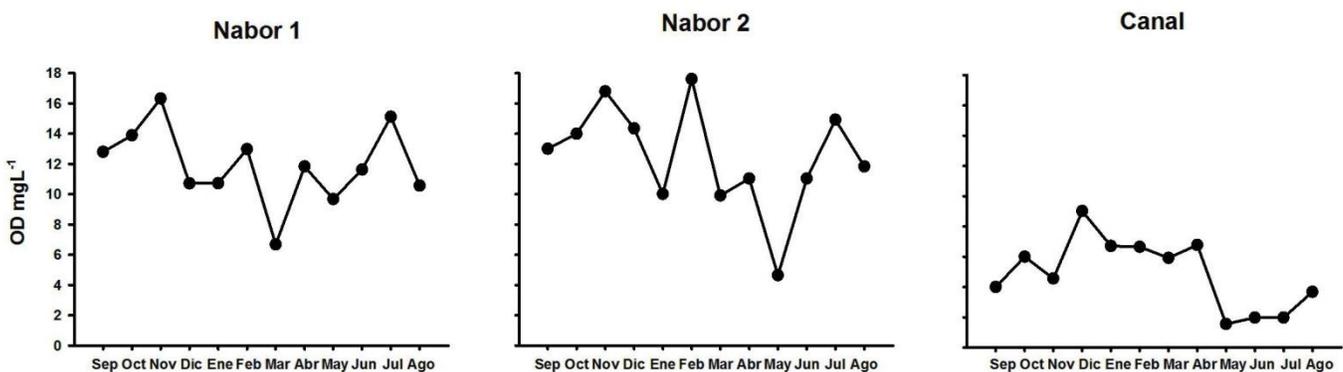


Figura 16. Valores de oxígeno disuelto registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

Los fosfatos fueron muy variantes, se pudieron registrar valores desde 5.1 mg/L hasta 57.3 mg/L. La estación Nabor 1 presentó un máximo en el mes de abril con 41.7 mg/L, y un mínimo en julio con 6.4 mg/L. Nabor 2 por su parte registró un máximo de 37.8 mg/L para el mes de abril, y un mínimo para el mes de julio con 5.1 mg/L. En el canal se observó el valor más alto de las tres estaciones, con 57.3 mg/L para el mes de marzo y el más bajo para el mes de julio con 5 mg/L (Figura 17).

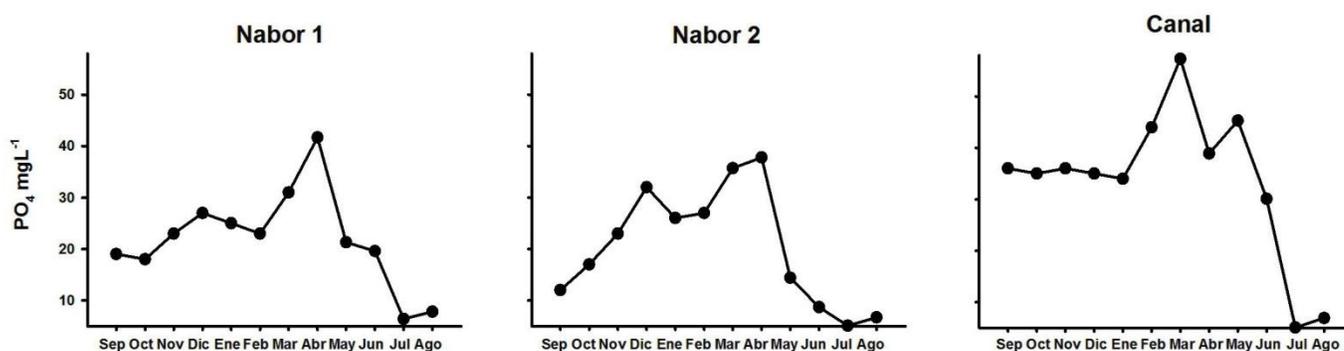


Figura 17. Valores de fosfatos registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

En cuanto a los nitratos se observaron valores desde 0.1 mg/L hasta 1.4 mg/L. Nabor 1 registró su nivel más alto durante el mes de enero con 1.3 mg/L, el más bajo corresponde a mayo con 0.17 mg/L. En la estación Nabor 2 se cuantificó el máximo para el mes de abril con 1.2 mg/L y el mínimo en mayo con 0.19 mg/L. El Canal presentó el nivel más alto con relación a las otras estaciones de muestreo con 1.4 mg/L, esto para el mes de noviembre, y también el más bajo con 0.1 mg/L durante el mes de mayo (Figura 18).

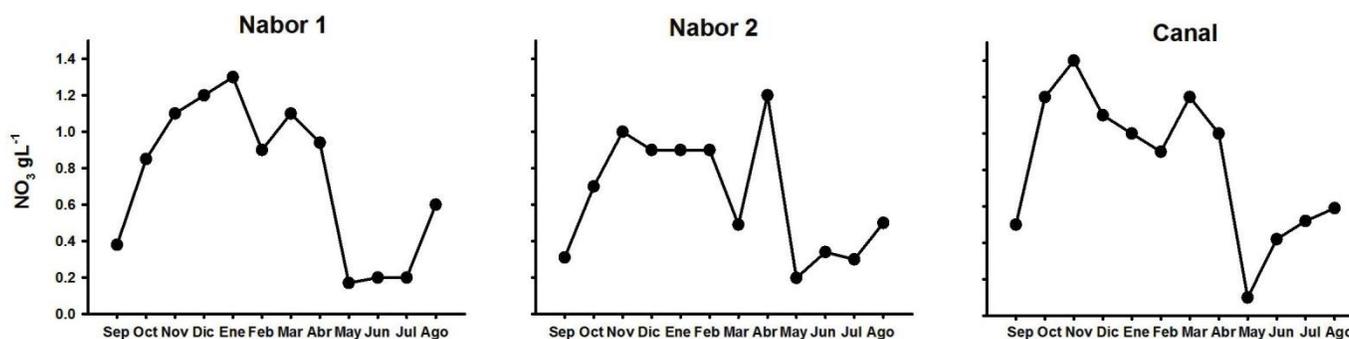


Figura 18. Valores de nitratos registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

La transparencia, como se puede apreciar en las gráficas, fue casi nula dentro de los cuerpos de agua, la profundidad a la que se podía ver el disco no rebasó los 11 cm, en algunas ocasiones la visibilidad fue de 0. En el caso de Nabor 1 la visibilidad máxima fue de 10.3 cm, esto corresponde para el mes de septiembre, y la mínima de 0 cm para agosto. Nabor 2 tuvo una visibilidad de 10.73 cm en el mes de enero, y de 0 cm en el mes de agosto. El canal por su parte mantuvo homogénea su transparencia la cual osciló entre 10.13 cm para el mes de diciembre y de 7 cm para el mes de junio (Figura 19).

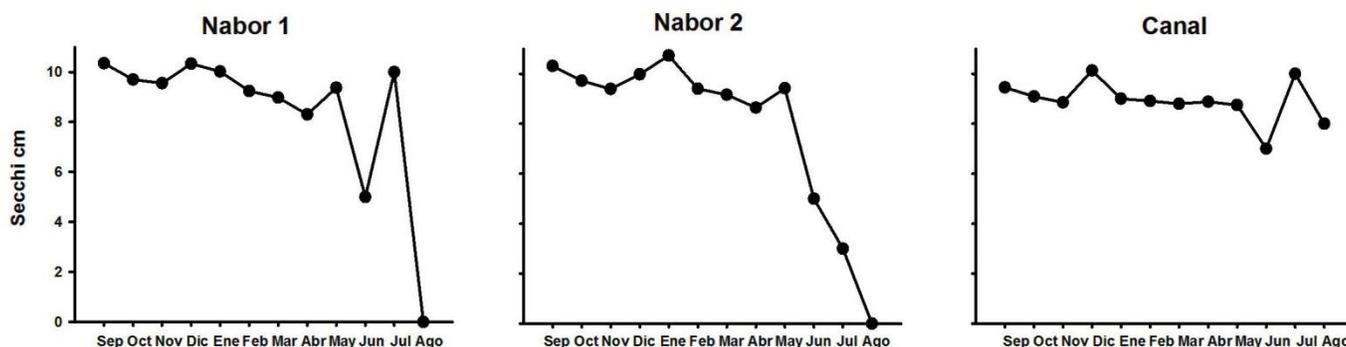


Figura 19. Valores de transparencia registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

Finalmente la clorofila a fue el parámetro que más variación mostró, los valores fluctuaron entre 72.7 y 2627 mg/m³. Nabor 1 registró su estimación más alta con 2627 mg/m³, en marzo y el más bajo en noviembre con 292.4 mg/m³. En Nabor 2 su máximo corresponde a junio con 1397 mg/m³ y el mínimo a enero con 277.4 mg/m³. El Canal presentó la valoración más alta en abril con 552.4 mg/m³ y la más baja a noviembre con 72.7 mg/m³ (Figura 20). Se sabe que el principal aporte de clorofila se debe a la cianobacteria que caracteriza la zona del ex lago de Texcoco, *Arthrospira máxima* (Tomaselli, 1997).

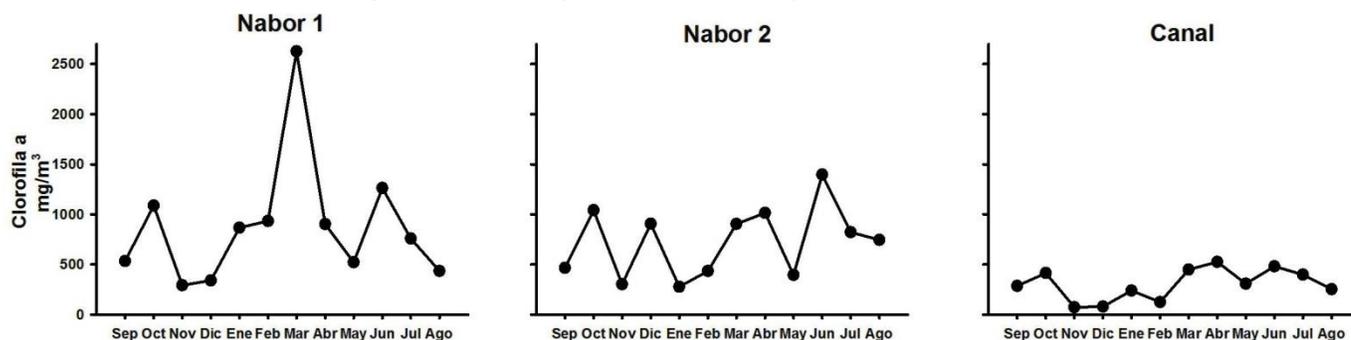


Figura 20. Valores de clorofila a registrados para las tres estaciones de muestreo durante el periodo de septiembre de 2012 a agosto de 2013.

IX. DISCUSIÓN

Nabor Carrillo está catalogado como un lago sódico por su composición iónica, donde los carbonatos y bicarbonatos de sodio son predominantes, esta característica hace que estos hábitats acuáticos sean poco comunes, tanto para el territorio nacional como en el mundo. Las especiales características que los determinan; pH mayor a 9, salinidad, altas tasas de evaporación y una predominancia fitoplanctónica por cianobacterias, resulta en un hábitat inhóspito para toda forma de vida zooplanctónica, lo cual se traduce en una baja riqueza de especies y de diversidad, dando lugar a la proliferación masiva de las especies mejor adaptadas y una dominancia absoluta de alguna de ellas, así se ha registrado en los estudios realizados para estos cuerpos de agua sódicos (Grant, 2006). Durante el periodo de estudio la riqueza zooplanctónica que se encontró corresponde a 11 especies de rotíferos, una de cladóceros y una de copépodos; estos resultados se pueden contrastar con lo obtenido por Hanife y Sabri en 2008, donde ellos encontraron una riqueza similar en el lago sódico Aktas, la riqueza de aquel lugar está representada por 10 especies de rotíferos, 7 de cladóceros y 2 géneros de copépodos, ellos consideran que la riqueza es moderada, y que intrínsecamente se relaciona al fitoplancton presente, el cual está representado mayoritariamente por cianobacterias (99%), y que dependiendo su toxicidad y su calidad como alimento, condicionará la presencia de ciertas especies. Lo que se pudo observar para el caso de Nabor Carrillo es que de igual forma el fitoplancton está compuesto en general por cianobacterias, por lo cual se cree que esta variable es una de las limitantes que determinan la riqueza específica en la zona, aunque no es la única; está documentado que la salinidad también repercute de manera importante, se registró en nuestro lago una oscilación entre los 4 y 8 g/L, probablemente estos cambios determinaron de cierta forma la estacionalidad de algunas de las especies, las cuales no se hallaron en determinados meses, esto se puede inferir en base al estudio realizado en los lagos sódicos de las Pampas argentinas, en donde presentan datos para 12 especies de rotíferos, 3 de copépodos y 11 de cladóceros, donde se encontró una relación entre la salinidad y

el zooplancton, cuando esta aumentaba, disminuían las poblaciones de organismos, principalmente la de cladóceros, tomando en cuenta que estos son sensibles a los cambios de salinidad, podemos deducir él porque la comunidad de este phylum no se encontró de manera regular en el embalse Nabor Carrillo. En cuanto a los rotíferos también se conoce la interacción entre salinidad y riqueza de especies, así lo demuestra un estudio realizado en charcas efímeras en el desierto de Chihuahua, donde conforme la salinidad era mayor, la riqueza disminuía y las charcas con aguas dulces presentaron más especies, por otro lado, los cuerpos de agua sódicos llegaron a registrar solo tres especies, así lo indica el trabajo de Walsh y colaboradores en 2008. Cabe mencionar que los estudios en lagos sódicos con el tópico “zooplancton” no son habituales, principalmente porque estos organismos no son los más abundantes, estos hábitats por lo general están saturados por cianobacterias, lo que sesga el interés de los investigadores a realizar trabajos sobre ellas (Jones *et al.*, 1994). Los trabajos más comunes realizados en los lagos sódicos corresponden a la diversidad bacteriana y a sus características físico-químicas, la relación que existe entre un medio hostil y la comunidad de bacterias es muy atractiva, puesto que las bacterias suelen ser extremófilas a diversas variables (pH, salinidad, alcalinidad, dureza entre otras), además la mayor parte de estos trabajos se han realizado en la región del Gran Valle del Rift (Jones *et al.*, 1998). El zooplancton no suele ser diverso en estos hábitats, y además tiende a mostrar frecuentemente dominancias casi absolutas en una sola especie (Grant *et al.*, 1990), por lo cual sería importante la realización de más estudios como este, y no solo referirse a la riqueza y diversidad, sino también la interacción existente entre organismos y su medio físico (variables físico-químicas y ambientales).

La abundancia y la dinámica poblacional en el lago Nabor Carrillo resultan sumamente interesantes. Las densidades presentadas en los resultados se pueden observar extremos, que van desde unos cuantos individuos hasta centenas de miles, así como una dinámica estacional muy marcada, pasando por poblaciones bien representadas para ciertos meses, y su total ausencia en otros.

Esto puede ser atribuido a los ciclos de vida de cada especie y a los factores ambientales óptimos para su desarrollo. Comúnmente los lagos sódicos son dominados por organismos capaces de soportar el estrés osmótico generado por los altos niveles de solutos diluidos en el agua, por tanto al ser pocos los aptos para vivir en estos entornos con características tan particulares, tienden a crecer grandes poblaciones de los mismos, esto se debe a la poca competencia por los recursos (Grant, 2004). De las tres especies de rotíferos más abundantes en el presente estudio *Brachionus dimidiatus* es identificado como el organismo del phylum Rotífera mejor adaptado a los lagos sódicos, esto se debe a que su principal alimento, las cianobacterias, se encuentran en abundancia, esto se puede constatar al observar una de las características distintivas de estos cuerpos de agua; su color, que va desde tonos verdes, cafés, amarillos y rojos, esto se debe a las floraciones masivas de microorganismos fotosintéticos, lo cual refleja una alta productividad primaria (Jones *et al.*, 1998). Para el caso particular de Nabor Carrillo quedó comprobada está gran productividad, a simple vista el color del embalse es de un verde intenso, y además por las estimaciones de clorofila realizadas, podemos verificar que los niveles están muy por encima del promedio (Melack y Kilham 1974). Aunque no se realizó una identificación de las especies fitoplanctónicas, la literatura nos asevera dos géneros principales, *Planktothrix* y *Arthrospira* (Tomaselli, 1997), siendo el segundo género el preferido por *Brachionus dimidiatus*, aunque cabe mencionar que no es la única de la cual se puede alimentar, pero al encontrarse en abundancia su alimento provoca una explosión demográfica (Burian *et al.*, 2012). Este fenómeno de dominancia se ha observado en otros sitios, por ejemplo, en el lago Nakuru donde tres especies de rotíferos (*Brachionus dimidiatus*, *Brachionus plicatilis* y *Hexarthra jenkiniae*) saturaron el nicho ecológico, el cual presenta características similares con Nabor Carrillo, como un pH entre 9 y 10.5 y elevada salinidad, hasta 25 g/L, por lo cual se puede afirmar que dichas características extremas son las óptimas para el desarrollo de estos organismos (Vareschi y Vareschi, 1984). En la cuantificación que se realizó para el presente estudio, las mayores abundancias corresponden para el rotífero *Brachionus dimidiatus*, con poblaciones de hasta 178,400 ind/L,

esta explosión demográfica no es fácil de observar en los ambientes naturales, y esto se debe a los factores limitantes (similitud de recursos utilizados por las especies coexistentes en el hábitat, la estacionalidad de los mismo y la productividad primaria), por lo que resulta muy interesante el comportamiento de esta especie, en estudios futuros sería atractivo analizar cuales con los factores que delimitan su crecimiento, puesto que estos niveles de abundancia solo son observables en cultivos de laboratorio, donde todas las variables son controladas además con la ausencia de competencia por parte de otras especies, este tipo de cultivos se han realizado con la finalidad de tener grandes poblaciones de este organismo para utilizarlo como alimento (Burian *et al.*, 2012). En 1983 Nogrady realizó un estudio en el Gran Valle del Rift, en seis cuerpos de agua, los primero tres era ligeramente alcalinos y con bajas salinidades, ellos mostraron una rica y típica asociación de rotíferos dominada por los géneros *Brachionus* y *Filinia*, en cambio para los otros tres cuerpos de agua, que fueron más alcalinos y con altos niveles de sales sódicas estuvieron dominados por varias poblaciones de *Brachionus dimidiatus*, que alcanzaron enorme abundancias, en base a los que se observó en el embalse Nabor Carrillo y las evidencias que se han presentado de otros sitios podemos afirmar que los lagos sódicos con altas salinidades serán dominados por esta especie en particular. Además de *Brachionus dimidiatus* se han reportado otras especies de rotíferos que son capaces de soportar las singulares características de los lagos sódicos. Arora y Mehra en 2009 realizaron un trabajo en el lago Old Fort, un pequeño cuerpo de agua sódico en la India, donde se encontró que la estructura de la comunidad zooplanctónica fue dominada por los rotíferos con un total de 52 especies, de las cuales la mayoría perteneció al género *Brachionus*, respecto a lo que encontramos en Nabor Carrillo concuerda en que el mismo género fue el predominante, sin embargo la riqueza de especies fue mayor. El parámetro que ellos identifican como limitante es la salinidad, la cual fue de 1.7 g/L en promedio, siendo inferior a la salinidad de Nabor Carrillo, probablemente es lo que hace que su comunidad zooplanctónica sea más diversa y provoca por lo tanto que su especie dominante sea *Brachionus plicatilis*, que según los mismo autores es sensible a los cambios en la salinidad, y

a esta razón le atribuimos su poca abundancia en Nabor Carrillo, otra de las especies dominantes en el lago Old Fort fue *Brachionus angularis* y si bien esta especie no presento altas densidades en nuestro estudio, sí fue recurrente a lo largo del año. En un lago sódico de Nevada también se encontró que *B. plicatilis* se hallaba en elevadas abundancias, principalmente por debajo de la oxiclina, y esto se debe a que en ese sitio se encontraban los picos de productividad de las cianobacterias (Bozek, 1989). Con todos los registros sobre las abundancias del phylum Rotífera presentados anteriormente se puede deducir que los hábitats sódicos son propicios para mantener una elevada abundancia de rotíferos del género *Brachionus* y en particular para la especie *B. dimidiatus*. Respecto a las abundancias de los microcrustáceos (cladóceros, copépodos y ostrácodos) se puede decir que fueron bajas para los primeros dos grupos, y altas para los ostrácodos, esto se puede explicar en base a la capacidad de homeostasis para cada grupo, mientras que el los cladóceros y copépodos son muy sensibles a los cambios de salinidad, para los ostrácodos no lo es así, son organismos muy resistentes. En estudios realizados en lagos sódicos se aprecia que al aumentar los niveles de salinidad la abundancia de cladóceros y copépodos es inversamente proporcional, así lo demuestra el trabajo de Battauz y colaboradores en 2013. Otro factor que afecta la abundancia de los microcrustáceos es la presencia de las cianobacterias con altos niveles de toxinas, estas procariotas son comunes en los sistemas sódicos, y en la competencia entre ellas pueden llegar a producir cianotoxinas en grandes cantidades que afectan directamente a cladóceros y copépodos, se sabe que estos compuestos afectan directamente su sistema nervioso, por lo que pierden total o parcialmente su movilidad, afectando su alimentación y convirtiéndolos en presas fáciles por su depredadores (Kilham, 1981). Lo que se observó en el lago Nabor Carrillo fue la predominancia de dos géneros de cianobacteria *Planktothrix* y *Arthrospira*, pero con una estacionalidad marcada, para el primer género la predominancia fue en época de secas, y para la segunda, en temporada de lluvias (Tomaselli, 1997), ahora ya haciendo esta distinción cabe mencionar que de estos géneros el más tóxico corresponde a *Planktothrix* (Kilham, 1981), y precisamente cuando este era predominante, las

poblaciones de microcrustáceos fueron bajas, en cambio en época de lluvias cuando *Arthrospira* preponderaba en las abundancias de la comunidad cianobacteriana, se observaron picos de crecimiento para las poblaciones de cladóceros y copépodos principalmente, en el caso de los ostrácodos también hubo puntos de crecimiento, pero no tan evidentes como para los otros dos grupos. Un punto importante a resaltar es hacer énfasis en la relación de microcrustáceos y sus densidades poblacionales respecto a las cianobacterias de sistemas sódicos, haciendo la recomendación de realizar futuros trabajos sobre este tópico.

Los estudios sobre la diversidad de zooplancton en lagos sódicos son escasos, primeramente porque los mismos sistemas en sí no son muy estudiados, a excepción del Gran Valle del Rift, y en segunda instancia porque es conocido que pocos organismos zooplanctónicos pueden sobrevivir en tales nichos, el querer hacer un estudio con dos o tres especies parece no interesarle a la comunidad científica (Jones *et al.*, 1998). Entre los factores que limitan la diversidad en cuerpos de agua sódicos podemos mencionar la salinidad, un pH elevado, la dureza, la alcalinidad y la presencia de cianobacterias, todos estos factores contribuyen a que el número de especies zooplanctónicas se vea disminuido considerablemente (Bouvy *et al.*, 2001). A pesar de que nuestro sistema tuvo todos estos factores limitantes se observó que en varias ocasiones superó la unidad de bits/Ind con el índice de Shannon-Wiener. Se conoce que los valores de diversidad para el zooplancton suelen ser menores a 1 bit/Ind (Grant, 1993), lo cual es importante de considerar y hacer especulaciones y preguntas sobre las especies presentes, principalmente, ¿Cómo es que pueden sobrevivir en un sistema sódico, cuando muchas de ellas no están catalogadas como habitantes de estos medios? Los valores de diversidad encontrados en Nabor Carrillo oscilaron entre 0.05 y 1.97 bits/Ind, en muchas ocasiones los valores estuvieron por debajo de uno, esto concuerda con la generalidad para los sistemas sódicos, donde el valor de la diversidad siempre es menor a uno, pero en el presente estudio se superó repetidamente, lo que nos habla de una gama más amplia de organismos

adaptados a estos sitios; esta observación no es única, puesto que un fenómeno similar se presentó en Turquía en un lago llamado Aktas, donde el índice de diversidad se encontró entre los 0.86 y 1.69 bits/Ind (Hanife y Sabri, 2008), esto abre cuestiones sobre los organismos ajenos a los sistemas sódicos, ¿Cómo es que se adaptaron?, ¿Son una divergencia de un ancestro común? ¿Podríamos de hablar de especies crípticas? Son preguntas sumamente interesantes que sin lugar a dudas deben ser puestas en tela de juicio para futuros trabajos.

Uno de los aspectos más destacables de los sistemas sódicos es su composición físico-química, ya que gracias a esta estructura tan peculiar son considerados como los ambientes acuáticos más extremos del planeta (Grant, 2006). El pH es uno de los factores distintivos de estos sitios, en los diversos estudios que se han realizado se ha registrado que los valores oscilan entre los 8.5 y 11 unidades, esto se debe a su composición iónica, es importante mencionar que estos hábitats siempre presentaran un pH básico (Grant, 2006). Nabor Carrillo tuvo un promedio de 9.5 unidades de pH, con lo cual está dentro de lo esperado si es comprado con similares, el lago Nakuru tiene un pH de 10.5 (Vareschi, 1982), el lago Bogoria 10.5 (Renaut y Tiercelin 1993) y el lago Turkana 8.5 (Yuretich y Cerling, 1983), se sabe que su pH es un reflejo de las sales disueltas, que para estos cuerpos de agua son los carbonatos y bicarbonatos, y que dependiendo de la concentración de ellos el pH aumenta o disminuye (Grant *et al.*, 1990), sin embargo en base a esta generalidad no podemos explicar los cambios observados en Nabor Carrillo y esto se debe a que principalmente las concentraciones de los solutos están íntimamente relacionados con la evaporación, pero al ser un embalse artificial la entrada y salida de agua es controlada (SARH, 1983), por lo que se cree que podría deberse a turbulencias de fondo como factor que aumente la concentración de solutos en el agua y por tanto haga variar el pH. Los minerales en suspensión de los lagos sódicos les dan su particularidad que los distinguen del resto de cuerpos de agua, entre todos los que se pueden encontrar el más importante corresponde a los carbonatos en sus diferentes formas, comúnmente los carbonatos se precipitan y nunca están en suspendidos en la columna de agua,

pero en los sistemas sódicos no sucede así, y es debido a la falta de cationes de Mg^{2+} y Ca^{2+} (Grant, 2006) esto, además de aumentar el pH, también desemboca en el aumento de salinidad, aunque no siempre se registren valores altos (hipersalinidad), las estimaciones encontradas se observan entre los 5 y 30 g/L generalmente (Jones *et al.*, 1994), Nabor Carrillo tiene un promedio de 6 g/L, pero para las charchas efímeras de la zona federal se registraron valores de más de 50 g/L (SARH, 1983), esto se debe a la evaporación que sufren dichos cuerpos de agua; para otros sitios como Naruku la salinidad es de hasta 25 g/L (Vareschi, 1982), en cambio para el lago Turkana es de 0.25 g/L (Yuretich y Cerling, 1983), ambos a pesar de estar en cuencas con altas tasas de evaporación uno de ellos no presentó salinidad, con esto podemos decir que si bien es una característica distintiva de estos sistemas no se puede explicar a cabalidad con una teoría unificadora por qué un lago sódico no siempre es salino a pesar de la gran cantidad de solutos disueltos que pueda tener (Grant, 2006), aunque se conoce que la dinámica del fitoplancton influye de manera importante (Melack y Kilham, 1974), para conocer si las variaciones de salinidad en Nabor Carrillo son consecuencia de la actividad fitoplanctónica sería conveniente un trabajo sobre la relación de las cianobacterias y su impacto en el uso de los carbonatos para sus funciones vitales. Al hablar de salinidad también podemos hacer referencia a la conductividad, con la cual está estrechamente relacionada, al aumentar la salinidad lo hace también la conductividad, y aunque no es un reflejo directo de la salinidad en sí, nos da un panorama más completo de todos los solutos disueltos en el agua; para Nabor Carrillo se observó esta correspondencia casi siempre, en la que al aumentar la salinidad también lo hacía la conductividad, esto nos dice que la mayoría de los solutos disueltos son sales, esto también se observó en el lago Bogoria, en donde la salinidad (35 g/L) y la conductividad que fue de hasta 40 $mScm^{-1}$ (Harper *et al.*, 2003) corroborando una correspondencia directa, aunque como ya se mencionó no siempre es así. Otra consecuencia de la presencia de carbonatos en estos sistemas es una alcalinidad y dureza de moderada a muy altas, tal como podemos referir el caso del Gran Valle del Rift, en donde a través de sus diversos sistemas se obtuvieron registros que van desde los 100 hasta

1500 mg de CaCO_3 /L, en nuestro sistema se observaron valores a partir de los 160 mg de CaCO_3 /L y un máximo de 360 mg de CaCO_3 /L, lo cual nos indica una elevada presencia de sales carbonatadas en el sistema, y que probablemente sean las responsables de la gran abundancia de cianobacterias del embalse (Grant *et al.*, 1990). El oxígeno disuelto en los sistemas de agua puede tener muchos orígenes, que van desde el movimiento mecánico hasta la respiración y fotosíntesis, para nuestro estudio los valores elevados nos hablan de una gran productividad primaria ocasionada por la cianobacterias, esto lo podemos afirmar al comparar las gráficas de OD con las de clorofila a, las estaciones en las que la cuantificación de clorofila a fue mayor también lo fue para el OD, esto se puede corroborar con el estudio realizado por Melack y Kilham en 1974, donde hablan de la relación con las cianobacterias y el OD del agua, también mencionan que esto solo sucede durante el día, puesto que en la noche se invierte el proceso y el sistema se vuelve anóxico. La abundante comunidad cianobacteriana en estos sistemas provoca un fenómeno característico de los lagos sódicos, y es el color intenso que presentan sus aguas, lo que de manera directa influyen en su transparencia, es conocido que estos sistemas tiene la menor transparencia de todos, puede ser desde cero cm tomando como referencia un disco de Secchi, hasta menos de un metro (Grant, 2006), Nabor Carrillo no fue diferente, cuando la población de cianobacterias fue muy abundante la transparencia no fue mayor a unos cuantos milímetros. Finalmente los micro nutrientes (PO_4 y NO_3) suelen presentarse en elevadas cantidades y esto se debe principalmente al reciclaje de nutrientes mediante la fotosíntesis microbiana aerobia y anaerobia (Jones *et al.*, 1998), sin embargo en Nabor Carrillo no se puede aplicar nada más esta aseveración para explicar los altos niveles en los micro nutrientes, y esto debe a que las aguas con las que se llena el embalse provienen de una planta de tratamiento, y aunque se retira la mayor parte de materia orgánica, no se hace totalmente (Díaz, 1987), por lo cual podemos decir que estas lecturas elevadas son atribuibles principalmente a la falta de un tratamiento completo en las aguas que se meten al embalse.

Aún queda mucho por conocer sobre estos sistemas, tanto por su composición física como por la estructura de la comunidad ecológica, la cual en muchas ocasiones está muy especializada para sobrevivir en estos medios, conocer por qué y cómo soportan estos ambientes tan hostiles nos pueden dar pistas sobre el desarrollo de la vida misma, así como encontrar aplicaciones prácticas de estas adaptaciones, por lo cual es de suma importancia seguir realizando estudios sobre los lagos sódicos, sobre todo para temas concretos, los cuales son casi inexistentes en la literatura científica.

X. CONCLUSIONES

Con lo observado en este estudio de caso, después de haberlo comprado con trabajos similares y recreando teorizaciones al respecto para intentar explicar los fenómenos encontrados podemos concluir:

- El territorio nacional a pesar de contar con una orografía muy accidentada no cuenta con las características idóneas para la formación de lagos sódicos, haciendo una excepción para la zona oriente del Valle de México (Texcoco) y el Valle de Santiago.
- La riqueza de especies zooplanctónicas y su diversidad en los lagos sódicos está determinada por cuatro factores físico-químicos: salinidad, pH, dureza y alcalinidad, siendo el componente más importante la salinidad. En Nabor Carrillo se encontraron las cuatro por lo que la riqueza específica y los índices de diversidad fueron bajos.
- La estación de muestreo que presentó la diversidad más alta corresponde a Nabor 1, mientras que la estación menos diversa fue la del Canal.
- El phylum del zooplancton mejor representado en Nabor Carrillo corresponde a los rotíferos.
- La especie de zooplancton mejor adaptada a los hábitats sódicos es *Brachionus dimidiatus*, el cual suele ser la especie dominante, así se pudo observar también para el presente estudio.
- La comunidad fitoplanctónica será dominada por las cianobacterias, principalmente por los géneros *Spirulina* y *Arthrospira*.

- Los lagos sódicos son propicios para las explotaciones demográficas de aquellas especies mejor adaptadas, esto se debe a la alta disponibilidad de alimentos y a la poca de competencia entre especies, para Nabor Carrillo esta aseveración se confirmó con los resultados obtenidos.
- De los microcrustáceos el más resistente a las características de Nabor Carrillo corresponde al phylum Ostrácoda.
- Respecto a los copépodos el estadio más abundante fue el copepodito y en la dinámica poblacional macho/hembra las mayores abundancias corresponden para los machos.

Finalmente queda decir que las peculiaridades para la formación de estos sistemas acuáticos propician marcadas diferencias entre ellos pese a las características compartidas, por lo que se recomienda un proseguimiento de estudios similares que den más información sobre la relación del ambiente y los organismos presentes.

XI. LITERATURA CITADA

- Allan, J.D. 1995. Stream Ecology: structure and function of running waters. Chapman and Hall, London. 388.
- Arora, J. & M. Mehra. 2009. Seasonal dynamics of zooplankton in a shallow eutrophic, man-made hyposaline lake in Delhi (India): role of environmental factors. *Hydrobiologia*. 626:27-40.
- Battauz, S. Y., José de Paggi. S. B., Paggi J. C., Romano M., Barberis. I, 2013. Zooplankton characterisation of Pampean saline shallow lakes, habitat of the Andean flamingoes. *Journal of Limnology*. 72: 531-542.
- Bozek, M. A. 1989. Orientation of zooplankton to the oxycline in big soda lake, Nevada. *Western North American Naturalist*. 49: 535-539.
- Bouvy M., M. Pagano & M. Troussellier. 2001. Effects of a cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) on bacteria and zooplankton communities in Ingazeira reservoir (northeast Brazil). *Aquatic Microbial Ecology*. 25: 215–227.
- Burian A., Schagerl M. Yasindi A. 2012. Microzooplankton feeding behaviour: grazing on the microbial and the classical food web of African soda lakes. *Hydrobiologia* 710: 61-72.
- Castillo, C. 1985. Experiencias sobre la operación de un relleno sanitario en el ex vaso de Texcoco. *Biosfera*. 5: 13-17.
- Chávez, A. 1986. Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo, Edo. Mex. Tesis. UNAM, México.

- Chávez, C. y Huerta, L. 1985. Estudios ecológicos previos a la creación de un refugio de vida silvestre en el ex lago de Texcoco. Memorias IV Nal. De ingeniería sanitaria ambiental. SMIA. 641- 647.

- CONABIO. Lagos-Cráter del Valle de Santiago. Consultado el 15 de octubre de 2014 en www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_061.html.

- Díaz, Z. 1984. Los indicadores biológicos de la contaminación y su posible uso en México. CIECCA. 7-14.

- Díaz, Z. 1987. Informe final del proyecto: Control de malezas acuáticas. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA). SARH. 81.

- García Calderon, J. y De la Lanza Espino, G. (2002). La cuenca de México. En: G. De la Lanza Espino. Lagos y presas de México. 4th. AGT editor. 35-63.

- Grant, W. D., Mwatha W. E. & Jones B. E. 1990. Alkaliphiles: ecology, diversity and applications. *Microbiology Reviews*. 75: 255-270.

- Grant, W. D. 1993. Hypersaline environments. *Physiological Ecology*. 1: 13-18.

- Grant, W. D. 2004. Life of low water activity. *The Royal Society*. 359: 1249- 1267.

- Grant W.D. 2006. Alkaline environments and biodiversity, in Extremophiles, [Eds. Charles Gerday, and Nicolas Glansdorff], in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK.

- Hanife, O. & Sabri, K. 2008. Limnological studies on the transboundary Turkish soda lake: lake Akta. *Fresenius Environmental Bulletin*. 17: 722- 731

- Harper, D. M., Childress, R. B., Harper, M. M., Boar, R. R., Hickley, P., Mills, S. C., Otieno, N., Drane, T., Vareschi, E., Nasirwa, O., Mwatha W. E., Darlington, J. P. E. C. & Escuté-Gasulla, X. 2003. Aquatic biodiversity and saline lakes: Lake Bogoria National Reserve, Kenya. *Hydrobiology*. 171: 259-276.

- Hernández M. G. 2013. Hidrología de los ríos del Valle de México y funcionamiento hidráulico en conjunto con el lago de Texcoco. Tesina. Facultad de Ingeniería de la UNAM, México.

- Iturbide, C. E. 1988. Evaluación de la desertificación de las tierras en el ex lago de Texcoco. Tesis. Universidad Autónoma Chapingo, México.

- Jauregui, O. 1975. Las zonas climatológicas de la Ciudad de México. Boletín del Instituto de Geofísica. Vol. 6. UNAM, México.

- Jones, B. E., Grant, W. E., Collins, N. D. & Mwatha W. E. 1994. Alkaphiles: Diversity and identification. *Bacterial Diversity and Systematics*. 75: 195-230.

- Jones, B. E., Grant, W. E., Duckworkh, A. W. & Owenson, G. G. 1998. Microbial diversity of soda lakes. *Extremophiles*. 2: 1991-200.

- Kilham, P. 1981. Pelagic bacteria-extreme abundances in African Saline Lakes. *Naturwissenschaften*. 68: 380-381.

- Ladislao, U. 1985. Los hijos adoptivos de Texcoco, lagos artificiales. Información Científica y Tecnológica. 7: 21-23.

- MacArthur, R. H. 1965. Patterns of species diversity. *Biological review*. 40: 510-533.

- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. Reprinted from *General systems*. 3: 36-71.

- Mata, G. M. 1986. Condiciones hidrológicas y perspectivas de utilización de las aguas subterráneas en el área del ex lago de Texcoco México. Tesis licenciatura. IPN, México.

- Mazari Hirart, M., Maari Menzer, M. y Ramirez Sama, C. 2007. La cuenca de México en el siglo XX y su perspectiva a futuro. En: G. De la Lanza Espino. *Las aguas interiores de México: conceptos y casos*, 4th ed. AGT editor. 75-92.

- McIntosh, R. P. 1967. An index of diversity and the relation of certain concept to diversity. *Ecology*. 48: 392-404.

- Melack, J. M. & Kilham, P. 1974. Photosynthetic rates of phytoplankton in East African alkaline, saline lakes. *Limnology Oceanografy* 19: 743-755.

- Mendoza, O. 1992. Ecología y contaminación de la región noreste del lago de Texcoco, ejidos de Chiconautla y Tepexpan, Estado de México. Tesis de Maestría. UNAM, México.

- Nogrady, T. 1983. Some new and rare warmwater rotifers. *Hydrobiologia*. 106: 107-114.

- Ojendis, G. 1985. Contribución al conocimiento de la biología de mexclapique “*Girardinichthys viviparus*”; con algunos aspectos ecológicos de la parte norte del ex lago de Texcoco. Tesis licenciatura. UNAM, México.

- Oduor, S. O. & M. Schagerl. 2007b. Temporal trends of ion contents and nutrients in three Kenyan Rift Valley saline- alkaline lakes and their influence on phytoplankton bio- mass. *Hydrobiologia* 584: 59-68.

- Ramírez G. A and Viña V. G.1998. Limnología colombiana. BP Exploration Company, Universidad Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

- Renaut, R. W. and Tiercelin, J. J. 1983. Lake Bogoria, Kenya: soda, hot springs and about a million flamingoes. *Geology Today*. 9: 56-61.

- Rendón M. C. & C. B. Jiménez, 1998. Calidad fisicoquímica y microbiológica en efluentes secundarios por el lago artificial "Nabor Carrillo". *Boletín Instituto de Ingeniería, UNAM*.

- Rodríguez H. and Anzola E., 2001. Capítulo III La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura In: Rodríguez, Victoria, Carrillo (eds). *Fundamentos de acuicultura continental*. Inpa. p.43-73. Colombia.

- Rzedowski, J. 1957. Algunas asociaciones vegetales de los terrenos del lago de Texcoco. *BSBM*. 21: 19-33.

- S.A.R.H. 1983. Comisión del lago de Texcoco. Proyecto Texcoco. Ed. Esp. México. 1-16.

- Tamayo, V. M. 1993. Contribución al conocimiento de la comunidad bentónica del lago "Nabor Carrillo" Texcoco, Mex. Tesis licenciatura. UNAM, México.

- Tarin, V. 1986. Lavado de suelos en el ex lago de Texcoco. *Rev Ingeniería Hidráulica. IIEPOCA*. 3: 30-49.

- Tomaselli, L.1997. Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of *Arthrospira* (*Spirulina*) *maxima* and *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. En *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): physiology, cell-biology and biotechnology. Taylor & Francis. Londres, RU. pp. 1-15.

-Vareschi, E. & A. Vareschi, 1984. The ecology of Lake Nakuru (Kenya). 4. Biomass and distribution of consumer organisms. *Oecologia* 61: 70–82.

-Walsh J. E., Schröder T., Wallace R. L., Ríos-Arana J. V., Rico-Martínez R. 2008. Rotifers from selected inland saline waters in the Chihuahuan Desert of México. *BiomedCentral* 4: 45-56.

- Yuretich, R. F., And T. E. Cerling. 1983. Hydrogeochemistry of Lake Turkana, Kenya: Mass balance and mineral reactions in an alkaline lake. *Geochim Cosmochim.* 47: 1099-1109.