



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA (LIMNOLOGÍA)
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**VARIACIÓN DE PATRONES EN LA HISTORIA DE VIDA DE LOS
ROTÍFEROS *Brachionus dimidiatus* Y *Hexarthra jenkiniae*
PROVENIENTES DE CUERPOS DE AGUA SÓDICOS EFÍMEROS Y
PERMANENTES DEL EX-LAGO DE TEXCOCO**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

BIÓL. JOSÉ ALBERTO CARMONA RUIZ

TUTOR PRINCIPAL:

DRA. NANDINI SARMA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA (UNAM)

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DRA. ELVIA MANUELA GALLEGOS NEYRA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA (UNAM)

DRA. MARÍA DEL ROSARIO SÁNCHEZ RODRÍGUEZ
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA (UNAM)

DR. ALEJANDRO MANUEL MAEDA MARTÍNEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE (CIBNOR)

DR. GOPAL MURUGAN
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE (CIBNOR)

MÉXICO, CDMX, ENERO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México

**VARIACIÓN DE PATRONES EN LA HISTORIA DE VIDA DE LOS
ROTÍFEROS *Brachionus dimidiatus* Y *Hexarthra jenkiniae*
PROVENIENTES DE CUERPOS DE AGUA SÓDICOS EFÍMEROS Y
PERMANENTES DEL EXLAGO DE TEXCOCO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Maestro en Ciencias (Limnología)

PRESENTA:

Biólogo José Alberto Carmona Ruiz

Directora de Tesis:

Dra. Nandini Sarma

Comité tutorial:

Dra. Elvia Manuela Gallegos Neyra

Dra. María Del Rosario Sánchez Rodríguez

Dr. Alejandro Manuel Maeda Martínez

Dr. Gopal Murugan

MÉXICO, CDMX, ENERO, 2018

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico a esas personas que siempre han estado ahí para mí en todo momento, mi familia.

El apoyo que he tenido siempre me dio fortaleza para cumplir con cada una de mis metas, y seguir hacia adelante.



Agradecimientos

A mi familia, principalmente a mis queridos padres por todo lo que me han dado en el transcurso de mi vida, educación, sustento y un hogar. También a estimados hermanos, que han ayudado a forjar mi carácter.

A mis profesores de la FES Iztacala y del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología que me permitieron obtener los conocimientos necesarios para llegar a este nuevo nivel académico.

A mis sinodales, a la Dra. Elvia Gallegos, a la Dra. Rosario Sánchez, al Dr. Alejandro Maeda y al Dr. Gopal Murugan. Gracias por todos sus consejos y experiencia compartida. El conjunto de sus saberes ayudó a enriquecer el presente trabajo. Aprecio de corazón todo lo que hicieron por mí.

A mis amigos y compañeros del laboratorio, por su apoyo tanto académico como personal. Primeramente, agradezco a Cesar, Michael, Cristian, Brenda y Uriel por compartir su conocimiento que sirvió para manejar mis experimentos y en el análisis de los datos obtenidos. A Saida, Carlos profe, a los nauplis Carlos, Brenda y Antonio por las pláticas amenas y apoyo moral. Finalmente agradezco a todos los que de algún modo hicieron más llevadera mi estancia en el laboratorio.

A mis grandes amigos, Salomón, HB, Mirian y Majo, ¡gracias por todo!, por sus consejos/regaños, por los momentos inolvidables que compartimos juntos y por estar ahí siempre cuando los necesito.

A mi querida mentora la Dra. Nandini, que a pesar de mi inexperiencia y rebeldía ha decidido confiar en mí y tener una enorme paciencia para poder hacerme un mejor investigador, y no solo eso, sino también me ha guiado para ser una mejor persona y así poder afrontar mejor las adversidades de la vida.

Finalmente, agradezco al Conacyt y al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por la aprobación y trámite de la beca 713345.

CONTENIDO

I.	RESUMEN.....	6
II.	INTRODUCCIÓN.....	7
III.	ANTECEDENTES.....	15
IV.	JUSTIFICACIÓN.....	20
V.	HIPÓTESIS	21
VI.	OBJETIVOS	21
VII.	ÁREA DE ESTUDIO.....	22
VIII.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
IX.	RESULTADOS.....	32
X.	DISCUSIÓN.....	64
XI.	CONCLUSIONES.....	70
XII.	ANEXOS.....	71
XIII.	REFERENCIAS.....	76



RESUMEN

Todos los organismos cumplen con un ciclo vital a lo largo de su existencia, las características principales de este son la maduración sexual, la reproducción y la mortalidad. Cuando en una población varía el tiempo en el que se desarrollan estas características podemos hablar de cambios en la historia de vida, que de permanecer pueden resultar en adaptaciones y posteriormente a la evolución de la población. Estas adaptaciones se pueden observar en especies que viven en ambientes altamente cambiantes, como el caso de los lagos sódicos, los cuales están condicionados a cambios constantes en la salinidad, temperatura y disponibilidad de alimento, entre otros, creando necesidades y compromisos en los organismos que habitan en ellos para su supervivencia. En el presente estudio se realizaron ensayos de dinámica poblacional y demografía en dos especies de rotíferos (*Brachionus dimidiatus* y *Hexarthra jenkiniae*) provenientes de ambientes sódicos localizados en las reminiscencias del Lago de Texcoco, de un sistema permanente y efímero. La dinámica poblacional y demografía se vio afectada por la concentración de alimento y el aumento en la salinidad. Las mayores abundancias se observaron en las dos especies del sistema efímero y a la menor concentración de sal (10 g/L), siendo la más significativa en la especie *B. dimidiatus* con una densidad de hasta 720 ind/mL. Por su parte *H. jenkiniae* tuvo una abundancia máxima de 70 ind/mL. En ambas especies se observó mixis, siendo más frecuente en la población del sistema efímero de *B. dimidiatus*. La supervivencia se vio reducida entre dos y seis días en ambas especies conforme aumento el gradiente salino. La fecundidad igualmente se vio disminuida en ambas especies al aumentar la salinidad. Las tasas incremento “r” se situaron entre 0.11 y 0.38 en *B. dimidiatus* y para *H. jenkiniae* entre 0.15 y 0.55.



INTRODUCCIÓN

1. Historia de vida

Los entes vivos tienen características que los distinguen de toda la demás materia inerte que compone al Universo; nacen, crecen y se reproducen, al conjunto de estas cualidades se conoce como “ciclo vital”. Si quisiéramos determinar las particularidades que acontecen a través del tiempo durante un “ciclo vital” se necesita cuantificar una serie de rasgos tales como edad, tamaño, tiempo de maduración reproductiva, la cantidad de ciclos reproductivos y su frecuencia (semelparidad e iteroparidad), cómo “invierte” la energía adquirida ya sea en reproducción, crecimiento o mantenimiento corporal y a su vez cómo distribuye estos recursos entre sus descendientes, así como el número, el tamaño que alcanzan, la calidad de los nuevos organismos. Al conjunto de estos atributos específicos y cuantificables del ciclo vital se le conoce como “Historia de Vida” (Stearns 1992).

La Historia de Vida de un individuo es una sucesión de patrones bien definidos que acontecen a lo largo de su vida, tal como la supervivencia (conservación de sí mismo) y su reproducción, lo que conlleva a que el organismo optimice los recursos disponibles consiguiendo un equilibrio en la inversión de energía necesaria para continuar su propia existencia y legar una determinada cantidad de vástagos que asegure la perpetuación de su especie (Stearns, 1992).

Los atributos específicos de un ciclo vital (primera reproducción, tiempo generacional, crecimiento poblacional etc.) pueden ser analizadas mediante técnicas estadísticas bien definidas como la demografía, la cual nos indica objetivamente la eficacia biológica que obtienen los organismos (ya sea positiva o negativa) respecto al entorno en el que se encuentran. El estudio de la demografía

ayuda a comprender las variaciones entre individuos y diferentes poblaciones, así como los procesos de adaptación y selección natural que permiten la supervivencia y proliferación de aquellos que tienen una mejor capacidad para desarrollarse en su medio. Estas diferencias pueden ser evaluadas a distintos niveles, desde enfoques genéticos y moleculares, hasta ecología de poblaciones (Stelzer, 2005).

Cuando se refiere a Historias de Vida en ecología, hablamos de las características demográficas esenciales de una población, estas son analizadas mediante una tabla de vida, la cual representa un compendio de las tasas de natalidad y mortalidad de los individuos de cierta población en las diferentes etapas de su vida. La información específica que se puede de dicha tabla de vida es: el primer evento reproductivo, cantidad descendientes en cada ciclo, las veces que procrea a lo largo de su vida y la cantidad de supervivientes entre cada etapa de su vida. La información obtenida tiene dos propósitos, el primero consiste en saber cómo se comporta una población, generando conocimiento básico que sirve para establecer hipótesis y teorías, el segundo es crear modelos de predicción, los cuales son normalmente aplicados en poblaciones de especies amenazadas (Stearns 1992).

Los patrones del ciclo vital que entran en el mecanismo de la selección natural y perduran como rasgos distintivos de una población se les denominan adaptaciones de Historia de Vida (Allan, 1976).

2. Adaptaciones en la Historia de Vida

Al observar cualquier comunidad de organismos se descubre un problema intrínseco e inmutable de la naturaleza y este es la asignación óptima de los recursos, este inconveniente es el principal factor que provoca las variaciones en la Historia de Vida y está íntimamente relacionado a la oferta y demanda de estos (Allan, 1976). Aunado a lo anterior la competitividad por ellos ya sea de forma directa (uso del mismo recurso) e indirecta como la depredación, crea “compromisos” en los individuos, los cuales responden con cambios en las interacciones entre sus demandas metabólicas y los factores abióticos del medio ambiente, conduciendo

así a diferencias en la eficacia para utilizar los recursos disponibles, si la selección natural es positiva para el organismo al satisfacer sus necesidades biológicas frente a las limitaciones, nos encontramos con una adaptación de la Historia de Vida (Walz, 1995).

Los ambientes no son constantes por lo cual todo organismo debe adaptarse a las variaciones que se presenten. Durante los periodos adversos la supervivencia y continuidad de las poblaciones se ve amenazada, por lo que evolutivamente los seres vivos han desarrollado diferentes adaptaciones en su Historia de Vida (Lande, 1982).

Como ya se conoce los recursos son limitados en la naturaleza, lo que provoca que los organismos tengan que competir entre ellos, dando como resultado que cada individuo solo tendrá una parte de esos recursos que deberá dividir o “administrar” entre varias funciones, como lo es el crecimiento somático, mantenimiento de su estructura (cuerpo) y reproducción (Allan, 1976).

La óptima asignación de recursos se logra gracias a la selección natural, desde el punto de vista evolutivo significa que los recursos se reparten de forma potencial, de tal forma que se maximice la probabilidad de legar descendencia viable para un tiempo y circunstancia específica. Aquellos seres vivos con peculiaridades que les permiten distribuir de manera más eficiente la energía adquirida son propensos a dejar una mayor cantidad de prole que aquellos que carecen de ellas y que con el paso del tiempo estos rasgos distintivos del ciclo vital se vuelven más frecuentes en determinada población con el paso de las generaciones. Cuando estas singularidades se mantienen en prolongados lapsos se transforman en adaptaciones de la Historia de Vida, un conjunto de rasgos particulares como: número de descendientes, primer evento reproductivo, calidad de las crías, presencia o ausencia de cuidados parentales, temporada de apareamiento, migración etc. Estas representan el punto óptimo que le permite a la población estar bien adaptada a su medio y aprovechar al máximo los recursos presentes. Las adaptaciones son puntuales para cada especie respecto a un entorno específico (Stearns, 1992).

3. Los rotíferos y su importancia ecológica

Los rotíferos son un filo de animales pseudocelomados microscópicos que miden entre 100 y 500 μm (Hickman *et al.*, 1997), el rasgo que los caracteriza es la corona o disco trocal que es un órgano "rotador" y del cual proviene su nombre (Rotifera), del latín rota, "rueda" y fera, "los que llevan" (Clément y Wurdak, 1991) (Fig. 1). Son un filo de organismos cosmopolitas que están representados aproximadamente por 2000 especies ampliamente distribuidas en diversos espacios biogeográficos o que contengan un estibo de agua, por lo que se encuentran en casi todos los tipos de ambientes acuáticos. La mayoría de los rotíferos (80%) pertenecen a la clase Monogononta (Koste, 1978), las otras clases (Seisonoidea y Bdelloidea) son poco recurrentes y menos estudiadas.

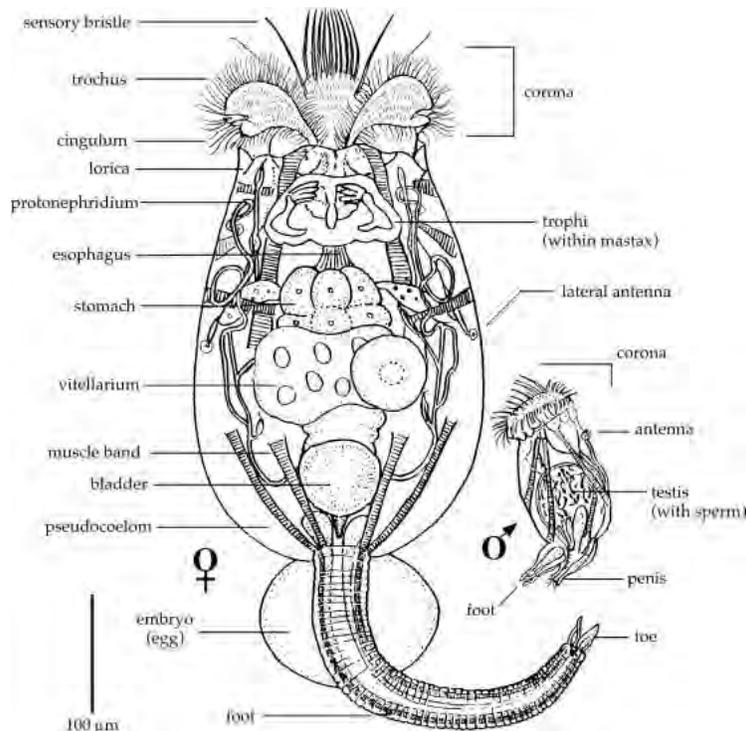


Figura 1. Partes en la que se divide el cuerpo de un rotífero (♀) (♂). Imagen modificada a partir de Pejler *et al.*, 1983).

integrantes predominantes de estos hábitats (Pourriot, 1975), por lo tanto, su presencia toma un rol ecológico importante, principalmente como intermediarios en el flujo de energía entre niveles tróficos (Dumont, 1977). Típicamente se encuentran establecidos en hábitats de constante cambio por ejemplo, lagos pequeños y

charcas, comprometiendo así la permanencia de sus poblaciones, dando como resultado la formación de huevos de resistencia (clase Monogononta) o la suspensión de sus funciones vitales mediante diapausa (clase Bdelloidea) (Gilbert, 1974; Ricci, 2001).

El ciclo de vida de los rotíferos se caracteriza por la reproducción partenogenética cíclica, sin embargo, no es el único grupo de organismos que la posee, los áfidos (insectos) y cladóceros (crustáceos), también presentan este tipo de reproducción. Estos tres grupos de animales combinan las ventajas de la partenogénesis con una eventual alternancia sexual (Young, 1983; Aparici *et al.*, 2002). El ciclo vital de los rotíferos inicia con la eclosión de huevos de resistencia que se encuentran en el sedimento, liberando hembras amícticas (asexuales), las cuales son diploides y se reproducen por partenogénesis cíclica, resultando en hijas genéticamente idénticas a la progenitora (exceptuando las mutaciones), esta fase es de propagación clonal con una tasa alta de crecimiento, los machos están ausentes por varias generaciones hasta que determinadas condiciones ambientales tienden a ser desfavorables, desencadenando el proceso méctico (sexual) (Gilbert, 1977; Pourriot y Snell, 1983). Posteriormente estas hembras amícticas producirán huevos haploides como resultado de ciertas interacciones con su medio (temperatura, dieta, fotoperiodo, salinidad) (Carmona 1992), si estos huevos no son fecundados darán como producto machos haploides, así pues, después de la presencia de machos en la población, los huevos haploides que sean fecundados resultaran en huevos diploides que entraran inmediatamente en estado de diapausa, un proceso esencial para la supervivencia de las poblaciones durante periodos adversos (Gilbert, 1974; Schröder, 2005) (Fig. 2).

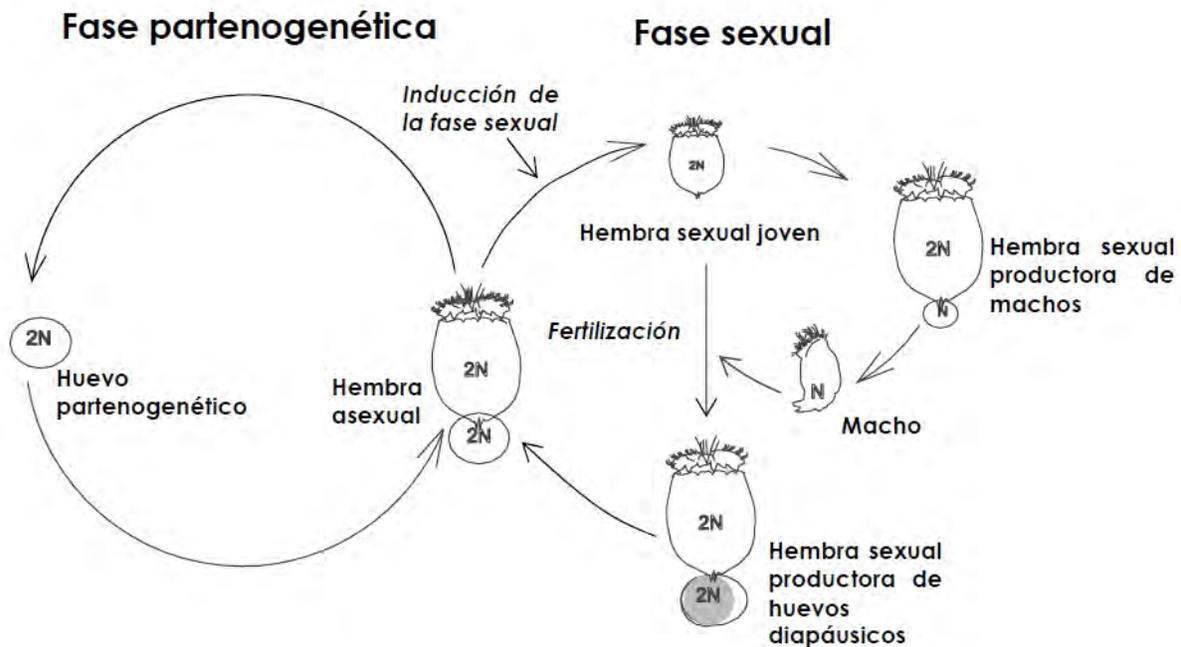


Figura 2. Ciclo vital de rotíferos monogonotes. Imagen de García-Roger (2006).

4. Lagos sódicos generalidades y distribución

Los lagos sódicos son ecosistemas que típicamente poseen un pH entre 9 y 12, por lo tanto son entornos altamente alcalinos, concurrentemente presentan hipersalinidad, ya que su formación está estrictamente restringida a cuencas endorreicas expuestas a altas tasas de evaporación, su principal característica es contener disueltos los iones de carbonatos y bicarbonatos en sus aguas, 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 (Grant 2006). Una orografía adyacente a la cuenca de rocas de origen ígneo es el componente más importante para la formación de carbonatos y bicarbonatos (Grant *et al.*, 1990). Estos ecosistemas son los más productivos del planeta si se les compara 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) (Fig. 3).

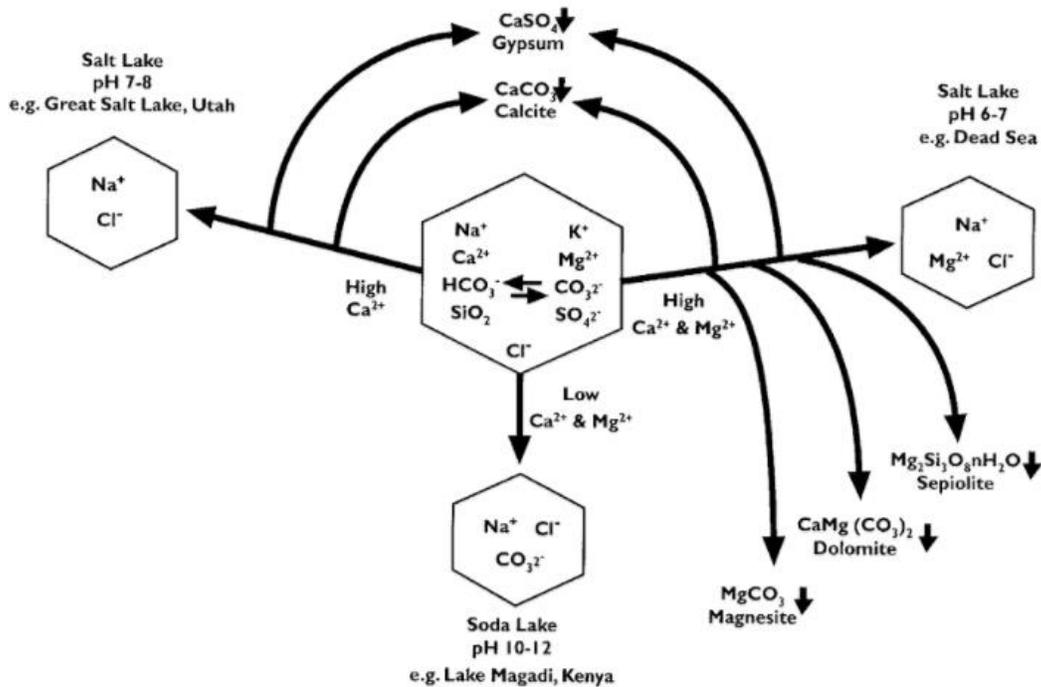


Figura 3. Representación esquemática del génesis de un lago sódico (Grant *et al.*, 1998).

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 veintitrés lagos de los cuales los lagos 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 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). En 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 (Grant, 2006).

4.1 Zona Federal Lago de Texcoco y 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 (Rendón y Jiménez, 1998) (Fig. 4).



Figura 4. Fotografía del Lago Nabor Carrillo. Imagen de Iñaki Echeverría (2012).



ANTECEDENTES

1. Teoría general de “Historia de Vida”

Las primeras aproximaciones al concepto de “Historia de Vida” se pueden dilucidar en los pioneros de las ciencias limnológicas, que al relacionar los eventos del ciclo vida de un determinado organismo con los parámetros ambientales se observó que las poblaciones se adecuan a las circunstancias presentes para así perseverar, como así lo menciona Hutchinson en 1967, donde caracteriza una típica historia del ciclo vital de los rotíferos de la clase Monogononta, la cual consiste en una reproducción partenogenética en un ambiente favorable y reproducción sexual en vistas de eventualidades desfavorables.

Observaciones realizadas respecto a las adaptaciones que presentan los individuos de cierta población, se reporta que ambientes en constante cambio pueden favorecer altas tasas de crecimiento “r”, comúnmente son especies oportunistas (MacArthur, 1972).

Stearns en 1992, escribió un libro sobre la evolución de las historias de vida, y concluye que el desarrollo de los ciclos vitales de los seres vivos va ligado directamente con su adaptabilidad y por lo tanto con su evolución, haciéndolo cada vez más apto para alguna circunstancia del medio en específico, así también se nos menciona las adaptaciones más comunes de la historia de vida, entre las cuales podemos encontrar las altas fecundidades sin cuidado parental, o su contraparte de baja fecundidad con una alta inversión en el cuidado parental, las ventajas de una reproducción temprana o tardía, sus inconvenientes y ventajas y finalmente el tipo de eventos reproductivos que acontecen en la vida de un organismo (semelparidad e iteroparidad).

2. Adaptaciones de “Historia de Vida” en el zooplancton dulceacuícola

Una de las respuestas más comunes frente a un ambiente hostil en los ambientes dulceacuícolas es una alta fecundidad, la ventaja adaptativa que se obtiene es asegurar que la población se mantenga presente en el hábitat ocupado, sin embargo, conlleva un precio a pagar o compromiso, y este consiste en sacrificar la vitalidad de los progenitores por lo que la esperanza de vida se acorta (MacArthur, 1972). Una adecuación en un ciclo vital es la anhidrobiosis que consiste en la desecación del organismo hasta que el ambiente retorne a condiciones favorables para el individuo, este fenómeno solo sucede en especímenes adultos y se puede observar en rotíferos bdelloides, nematodos y tardígrados, etc. (Tunnacliffe y Lapinski, 2002).

La formación de estructuras de resistencia (latencia), como los huevos diapáusicos son el resultado de una reproducción sexual en el caso del zooplancton y que es más común en aquellas poblaciones que tienden a la reproducción partenogenética tal es el caso de los rotíferos, generalmente se forman bancos de huevos en los sedimentos y estos a su vez eclosionan en condiciones favorables colonizando de nuevo el nicho ecológico, así lo menciona García-Roger (2006).

Walsh y colaboradores (2008) realizaron un estudio del zooplancton en charcas efímeras del desierto de Chihuahua, encontrando que conforme la salinidad era mayor, la riqueza de especies disminuía, mientras que las charcas con aguas dulces presentaron más especies, así también se constató que los sitios con poca riqueza y elevadas salinidades la abundancia de las especies presentes fue grande.

3. Adaptaciones de “Historia de Vida” en rotíferos

Dolores-Galindo y colaboradores (1993), realizaron un estudio sobre la variación estacional en los volúmenes de huevo de cuatro especies de rotíferos en el Parque Nacional de Doñana, en este estudio se observó como la cantidad de alimento y la temperatura influyeron en el tamaño individual de cada huevo, en la cantidad de la puesta de cada hembra y en el tamaño somático de esta. Los huevos de mayor

tamaño se presentaron en condiciones de escasas de alimentos, mientras que en abundancia el tamaño era menor, pero en contraparte la puesta era mayor. En el tamaño somático de las hembras se observó que entre menos alimento disponible la hembra tenía mayor tamaño, esto se debe a la forma en la que responden a los estímulos ambientales, cambiando su desempeño reproductivo al que le favoreciera más.

Aránguiz-Acuña y colaboradores (2015), realizaron un trabajo para observar los factores que inducen a la diapausa y el cambio en la historia de vida reproductiva de *Brachionus calyciflorus* en presencia de un competidor, *Moina micrura* y encontraron que los huevos diapáusicos producidos eran de mucho mayor calidad y con más éxito de eclosión cuando estaba presente el competidor, que en su ausencia, lo que nos indica que en competencia el rotífero invierte más en la calidad de huevos diapáusicos.

Martínez-Ruiz y García-Roger (2015), publicaron una investigación en la cual se intenta explicar que causas provocan la puesta de huevos diapáusicos y la duración de estos para eclosionar, observaron que las primeras puestas de huevos de resistencia tenían un periodo más largo de latencia que aquellos que fueron puestos al final, concluyeron que la madre influye en la duración de la latencia de los huevos que pone.

3.1. Sujetos de estudio, *Brachionus dimidiatus* y *Hexarthra jenkiniae*

Pourriot y Rougier (1975), realizaron un trabajo experimental para determinar la tasa intrínseca de crecimiento del rotífero *Brachionus dimidiatus*, encontraron que la salinidad en el medio por carbonatos y bicarbonatos era entre 1 y 18 g/L no afectaron la tasa de crecimiento, y que este depende de la temperatura y la calidad del alimento. Las elevadas tasas de crecimiento se observaron a una temperatura de 30°C y con algas unicelulares de tamaños pequeños (*Synechococcus cedrorum* y *Dunaliella salina*).

En 1989, Alois Herzig y Walter Koste realizaron una investigación en un lago alcalino de poca profundidad con niveles fluctuantes tanto de agua como de salinidad, observando cuatro especies de *Hexarthra*, *H. occur*, *H. mira*, *H. fennica*, *H. jenkinsae* y *H. polyodonta*, concluyeron que un aumento en la salinidad favorece el desarrollo de *H. polyodonta*, mientras que una baja temperatura y las partículas en suspensión generadas por el viento tienen una influencia negativa en el desarrollo de las poblaciones mencionadas de *Hexarthra*.

4. Estudios generales en lagos sódicos

De los primeros estudios realizados en ambientes sódicos nos encontramos con el desarrollado por Melack y Kilham (1974), en el sistema de lagos del Gran Valle del Rift el cual mayor sistema de lagos sódicos en el mundo; en su trabajo se exponen 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 puede llegar hasta los 10 kg por metro cuadrado.

En 1990, Grant y colaboradores realizaron una revisión sobre la ecología, diversidad y aplicaciones de los ambientes alcalinos/sódicos; expusieron la estrecha relación que existe entre los organismos procariontes y este tipo de ambientes, así también se explica el origen de la alcalinidad y sales sódicas presentes en estos medios acuáticos. Respecto al plancton se menciona que la mayor riqueza pertenece a las cianobacterias, seguidas de las arqueas y los protozoos, otros filos como Crustacea y Rotífera están pobremente representados, y por lo tanto poco estudiados.

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* consume en altas tazas a la cianobacteria *Arthrospira fusiformis*, sin embargo, no se estudió la demografía de este organismo.

4.1 Estudios en Texcoco

En un estudio realizado por Ojendis (1985), en la zona llamada “El Caracol”, describió las características de las poblaciones de fauna bentónica 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 dípteros (quironómidos), podócopos y de la clase Crustácea ciclopoideos y efipios.

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*. Asimismo, 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.

Carmona-Ruiz (2015), presentó un trabajo sobre la diversidad y riqueza específica del zooplancton de la zona federal del Lago de Texcoco, se encontró que la diversidad de rotíferos osciló entre 0.36 y 1.79 bits/ind. La riqueza específica constó de once especies, siendo las más representativas *Brachionus dimidiatus*, *Brachionus angularis*, *Brachionus calyciflorus* y *Asplanchna sieboldii*.

IV

JUSTIFICACIÓN

El éxito en la supervivencia de cualquier especie y sus poblaciones está íntimamente relacionado con su capacidad para producir descendencia. Toda la realidad física está siempre cambiando, por lo que cualquier ambiente natural se encuentra en constante transformación, obligando así a los organismos que habitan en él a adaptarse a esa incesante variabilidad, para ello una población debe tener un conjunto de singularidades que saquen adelante a las nuevas generaciones. Conocer y comprender las particularidades de supervivencia y reproducción de una población aporta gran conocimiento que puede ser utilizado para su conservación o manejo sustentable. Dicho lo anterior los fines en este tipo de investigación pueden estar orientados desde lo más básico como lo es proponer modelos que expliquen procesos de sucesión ecológica, adaptación y evolución hasta la aplicación de estos conceptos para su aprovechamiento.

En el ámbito de la investigación básica es importante delimitar con que organismo trabajar. La mayor parte de la experimentación ecología acuática se realiza con organismos del zooplancton, principalmente de aquellos que poseen un ciclo de vida corto, como es el caso de los rotíferos, que al tener una longevidad de unas cuantas semanas permite observar y analizar múltiples historias de vida con una pequeña inversión de tiempo. Los organismos seleccionados en la presente investigación de tesis provienen de ambientes extremos muy cambiantes (salino y efímero), por lo que teóricamente presentarán diferencias claramente identificables. Los datos obtenidos aumentarán el conocimiento sobre su adaptabilidad a este tipo de ambientes, asimismo se comprenderá mejor la dinámica ecológica de poblaciones en los ambientes sódicos puesto que las investigaciones referentes a este tópico (Historia de Vida) son escasos, siéndolo aún más para este tipo de entornos dominados por salinidad carbonatada y bicarbonatada.

V

HIPÓTESIS

Los rotíferos que viven en sistemas acuáticos efímeros se caracterizan por el predominio de la reproducción sexual (ciclo mítico) y una esperanza de vida más corta respecto aquellos que habitan sistemas acuáticos permanentes, los cuales muestran prevalencia en la reproducción asexual (ciclo amítico) y una esperanza de vida mayor.

VI

OBJETIVOS

General

Analizar las diferencias en la dinámica poblacional y patrones demográficos de los rotíferos *Brachionus dimidiatus* y *Hexarthra jenkinsae* provenientes de dos cuerpos de agua, un sistema efímero y un sistema permanente de la zona Federal Lago de Texcoco.

Específicos

1.- Estudiar la dinámica poblacional (densidad, relación huevo hembra, abundancia máxima y día de la abundancia máxima) de *Brachionus dimidiatus* y *Hexarthra jenkinsae* mediante un experimento de crecimiento poblacional en relación con las variables de gradiente salino concentración de alimento y lugar de procedencia (población).

2.- Evaluar las características demográficas (supervivencia, fecundidad, esperanza de vida, tasa reproductiva bruta, tasa reproductiva neta, tiempo generacional y tasa de crecimiento) de *Brachionus dimidiatus* y *Hexarthra jenkinsae* mediante una tabla de vida en relación con las variables de gradiente de salino, concentración de alimento y lugar de procedencia (población).

VII

ÁREA DE ESTUDIO

1. La cuenca del Valle de México

La cuenca de México se conforma por la reunión de cuatro valles en la parte central del territorio nacional, ubicada dentro de la región hidrológica XIII “Valle de México y Sistema Cutzamala”, constituida por cinco sistemas lacustres; Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco. La topografía se caracteriza por elevaciones mínimas entre 2,150 a 2,390 msnm. en sus valles y de 5,800 msnm. en los volcanes que la rodean. La cuenca del Valle de México cuenta con la peculiaridad de cambios en el nivel de sus lagos condicionados a las variaciones climáticas y en los últimos 700 años, por la intervención del hombre. Actualmente los lagos que conforman el sistema están casi extintos (Calderón y De la Lanza, 2002).



Figura 5. Ilustración del sistema de lagos del Valle de México (CONAGUA 2010).

2. Reminiscencias del Lago de Texcoco

La desecación del sistema lacustre texcocano se remite al Holoceno primario (hace unos 10,000 años), cuando terminó la última gran glaciación, por lo que de forma natural el sistema ya había iniciado su transición geológica de lago a humedal, sin embargo este proceso se vio acelerado por la acción humana hace unos 700 años durante la época prehispánica, continuándose hasta la actualidad llevando al lago de Texcoco a su extinción en 1970 (Calderón y De la Lanza 2002), derivándose una serie de problemas ambientales como las tolveneras de salitre, que condujeron al gobierno en turno a la creación del proyecto “Lago de Texcoco” con el fin de restaurar la zona mediante la implementación de un sistema de lagos artificiales en donde el Lago Nabor Carrillo es el más importante. Para lograr su conservación el lugar se decretó como Zona Federal, restringiendo así el acceso a la población en general (Rendón y Jiménez 1998) (Fig. 6).



Figura 6. Zona Federal “Lago de Texcoco” coloreada en azul y verde. Imagen de Iñaki Echeverría (2012).

3. Nabor Carrillo y zona de humedales efimeros

El sistema lacustre de Texcoco pertenece a un grupo de cuerpos acuáticos muy peculiares conocidos como lagos sódicos (*soda lakes* por su término en inglés) los cuales se caracterizan por presentar un pH entre 9 y 11, salinidad compuesta por iones de carbonatos y bicarbonatos, presentando así una elevada alcalinidad (Grant, 2006).

Las condiciones ambientales que se presentan en la Zona Federal corresponden a un clima semi-seco con temperaturas medias entre los 12 y 18°C con un máximo de 32°C y un mínimo de 5°C; precipitación anual entre los 500 y 600 mm y una tasa de evaporación entre los 1800 y 2200 mm (Díaz 1987).

El Lago Nabor Carrillo es un cuerpo acuático artificial alimentado por aguas tratadas, los niveles de agua se mantienen constantes a lo largo del año (Ladislaio 1985), mientras que la zona de humedales efimeros corresponde al último reducto del Lago de Texcoco y que solo están presentes en época de lluvias (Calderón y De la Lanza, 2002) (Fig. 7).

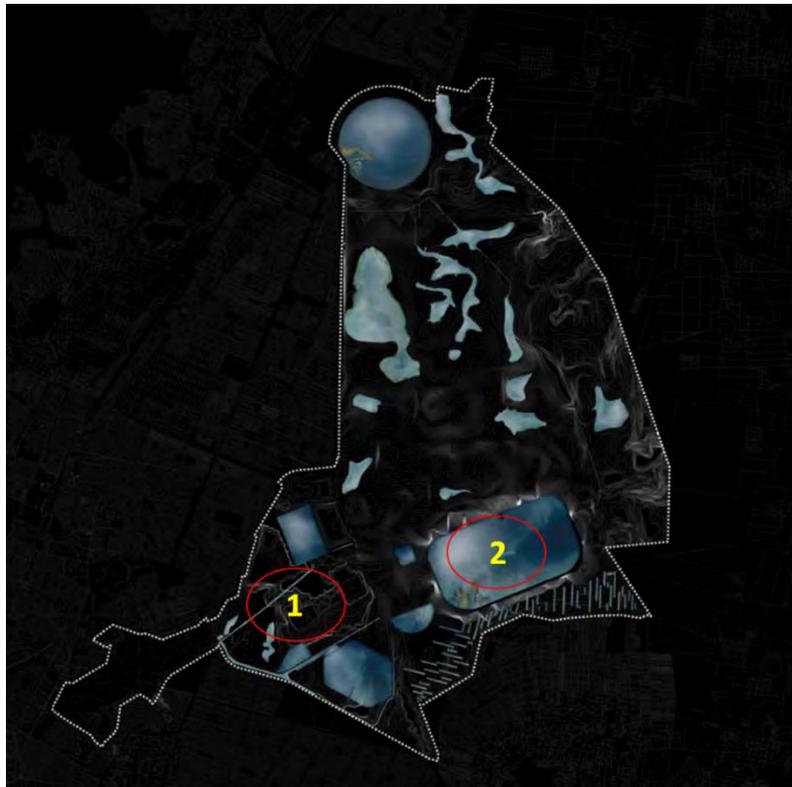


Figura 7. Áreas de estudio, humedales efimeros (1) y Lago Nabor Carrillo (2). Figura modificada a partir de Iñaki Echeverría (2012).

VIII

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Faena de campo

1.1 Puntos de muestreo

Con base en el objetivo general de este estudio (diferencias en los patrones de Historia de Vida) se determinó que los organismos a utilizar fueran rotíferos y que provinieran de ambientes acuáticos con grandes diferencias en su estacionalidad (permanencia), por lo cual se extrajeron muestras del Lago Nabor Carrillo y de un humedal efímero en febrero de 2016. A partir de ahora solo se referirá como **Nabor** y **Efímero**. Se presenta un cuadro con la información de las estaciones de muestreo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de sitios muestreados.

Clave	Profundidad (cm)	pH	Temperatura (°C)	Salinidad (g/L)	Ubicación
Nabor	30	9.5	16	5	19°27'42.7"N 99°01'27.3"O
Efímero	20	10.3	22	21	19°28'33.2"N 98°58'15.7"O

1.2 Colecta, transporte y registro de parámetros físico-químicos

Los organismos fueron obtenidos mediante la filtración de 10 litros de agua mediante una malla de zooplancton con una apertura de 50 µm y almacenados en recipientes de 250 mL a temperatura ambiente para su traslado al Laboratorio de Zoología Acuática de la FES Iztacala, UNAM. Los parámetros físico y químicos fueron determinados *in situ*, profundidad (Disco de Secchi), temperatura y pH con un tester digital (HANNA) y salinidad con un refractómetro mecánico (Atago).

2. Trabajo de laboratorio

2.1 Determinación e identificación de los sujetos de investigación

Las muestras de zooplancton fueron observadas bajo microscopios compuestos y estereoscópicos, los rotíferos fueron identificados mediante la clave taxonómica de Koste (1978). Después de obtener el listado de especies presentes en ambos sitios (Nabor y Efímero), posteriormente se determinó utilizar dos especies de rotíferos comunes para ambos lugares (*Brachionus dimidiatus* y *Hexarthra jenkinsae*), estableciendo de esta forma dos poblaciones para cada una las especies seleccionadas, población “Nabor” y población “Efímero”.

2.2 Establecimiento de cultivos monoclonales

Para establecer los cultivos de las cuatro poblaciones fue necesario realizar varias pruebas prospectivas de aclimatación para así poder establecer un cultivo monoclonal con un buen desarrollo poblacional, el proceso de aclimatación tomó tres meses aproximadamente, posteriormente se instauraron los cultivos monoclonales tomando un organismo de la población resultante adaptada a las condiciones de laboratorio, a continuación, se presenta una tabla con todas las pruebas realizadas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Combinación de tratamientos para aclimatar a los organismos.

Agua destilada + NaHCO ₃ /NaCl	Alga	Sal 5g/L	Sal 10g/L	Sal 15g/L	Sal 20g/L
	<i>Scenedesmus acutus</i>				
	<i>Chlorella vulgaris</i>				
	<i>Nannochloropsis sp.</i>				

La proporción de sales fue una relación 1:1 (50 % de la salinidad total correspondió a cada una de las sales), la concentración de alimento (algas) fue de 0.5 millones de células/mL. El tratamiento que mostró mejor crecimiento fue: *Nannochloropsis* sp. a una salinidad de 10g/L.

2.3 Crecimiento poblacional

Se realizó un experimento que constó de seis tratamientos por población (Nabor y Efímero) en cada una de las especies (*B. dimidiatus* y *H. jenkiniae*), para evaluar el crecimiento poblacional. Estableciendo así el siguiente diseño: dos niveles de alimento del alga *Nannochloropsis* sp. (0.25 y 1 millón de células por mililitro), tres salinidades diferentes 10, 20 y 30g/L (*B. dimidiatus*), 10,12.5 y 15g/L (*H. jenkiniae*) con cuatro repeticiones y en cada unidad experimental se colocaron 10 individuos, todo fue realizado a una temperatura de 25°C, los parámetros demográficos se obtuvieron cada 24 horas (Figs. 8 y 9).

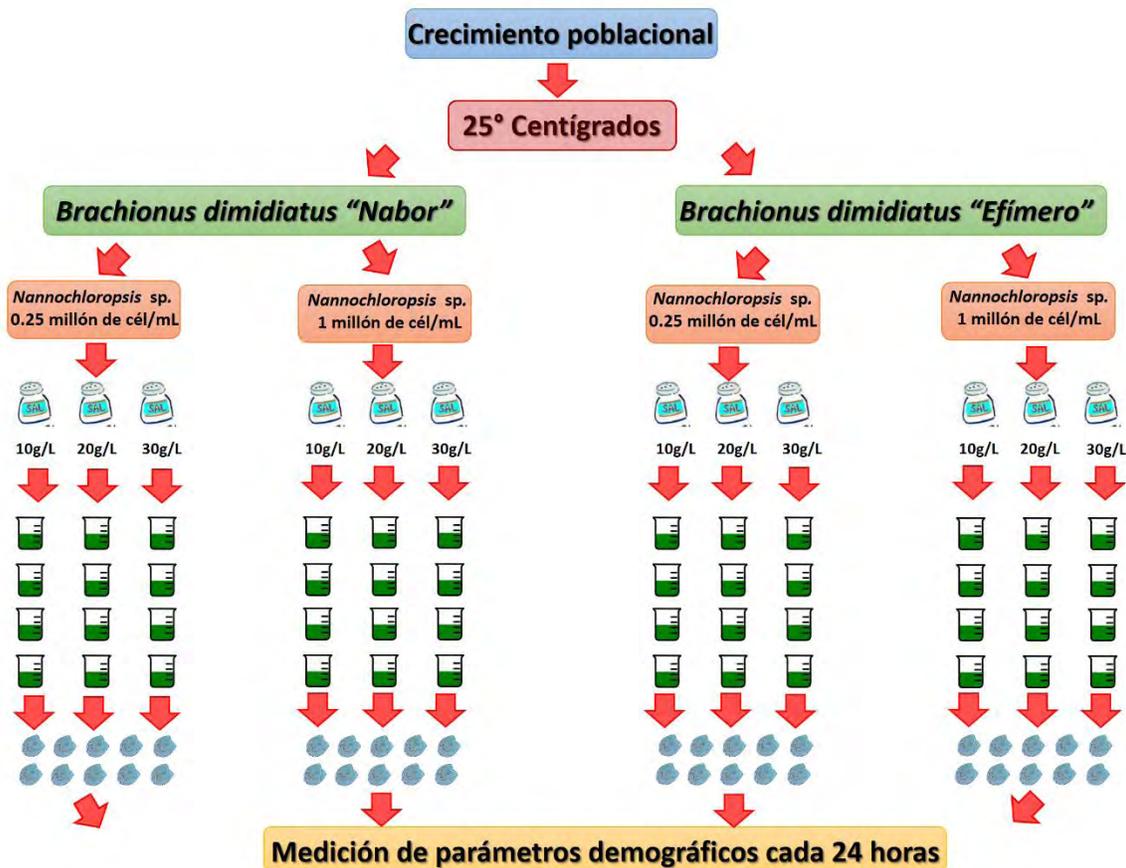


Figura 8. Diseño de crecimiento poblacional de *B. dimidiatus*.

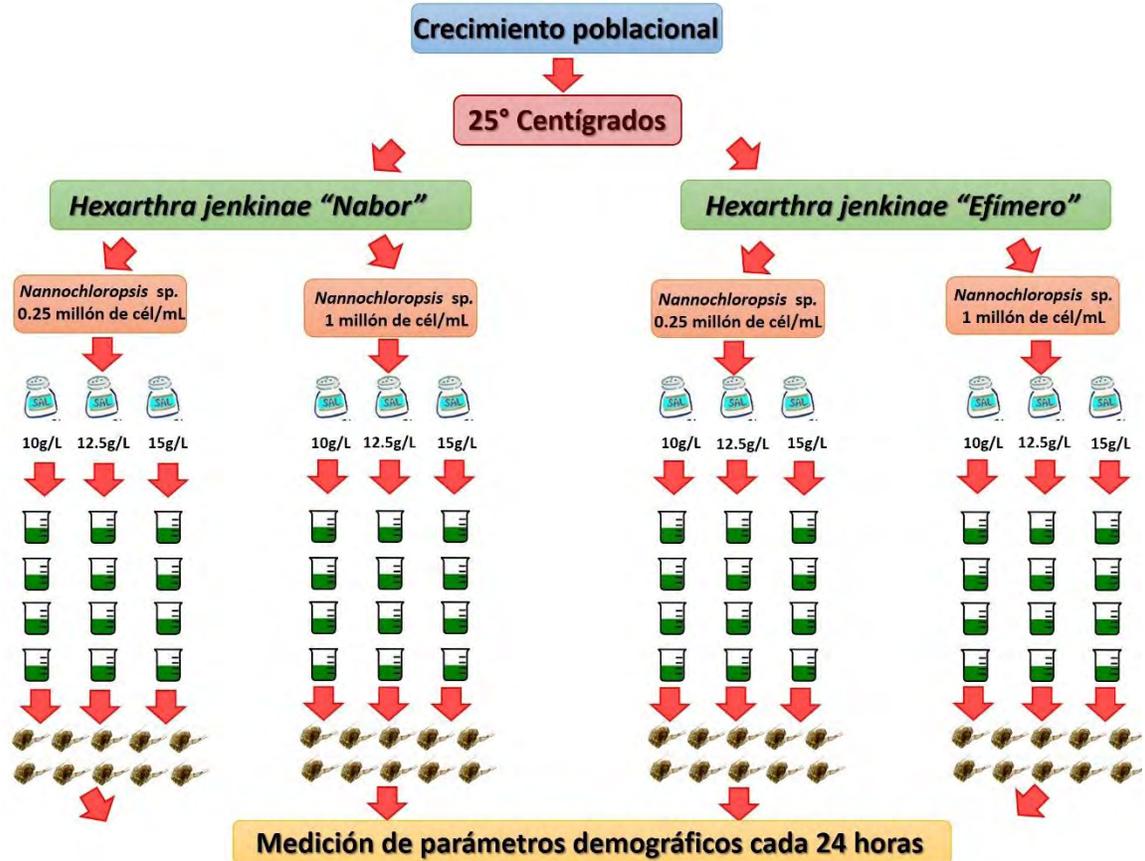


Figura 9. Diseño de crecimiento poblacional de *H. jenkiniae*.

2.4 Tabla de vida

Al igual que en el crecimiento poblacional el experimento de tabla de vida consistió de seis tratamientos para cada población en cada una de las especies, quedando el siguiente diseño: dos niveles de alimento del alga *Nannochloropsis* sp. (0.25 y 1 millón de células por mililitro), tres salinidades diferentes (10,20 y 30g/L (*B. dimidiatus*), 10,12.5 y 15g/L (*H. jenkiniae*) con cuatro repeticiones y en cada unidad experimental se colocaron 10 individuos, todo fue realizado a una temperatura de 25°C, los parámetros demográficos (supervivencia, esperanza de vida, fecundidad, tasa neta y bruta de crecimiento, tiempo generacional y tasa intrínseca de crecimiento) se obtuvieron a partir de conteos cada 12 horas (Figs. 10 y 11).

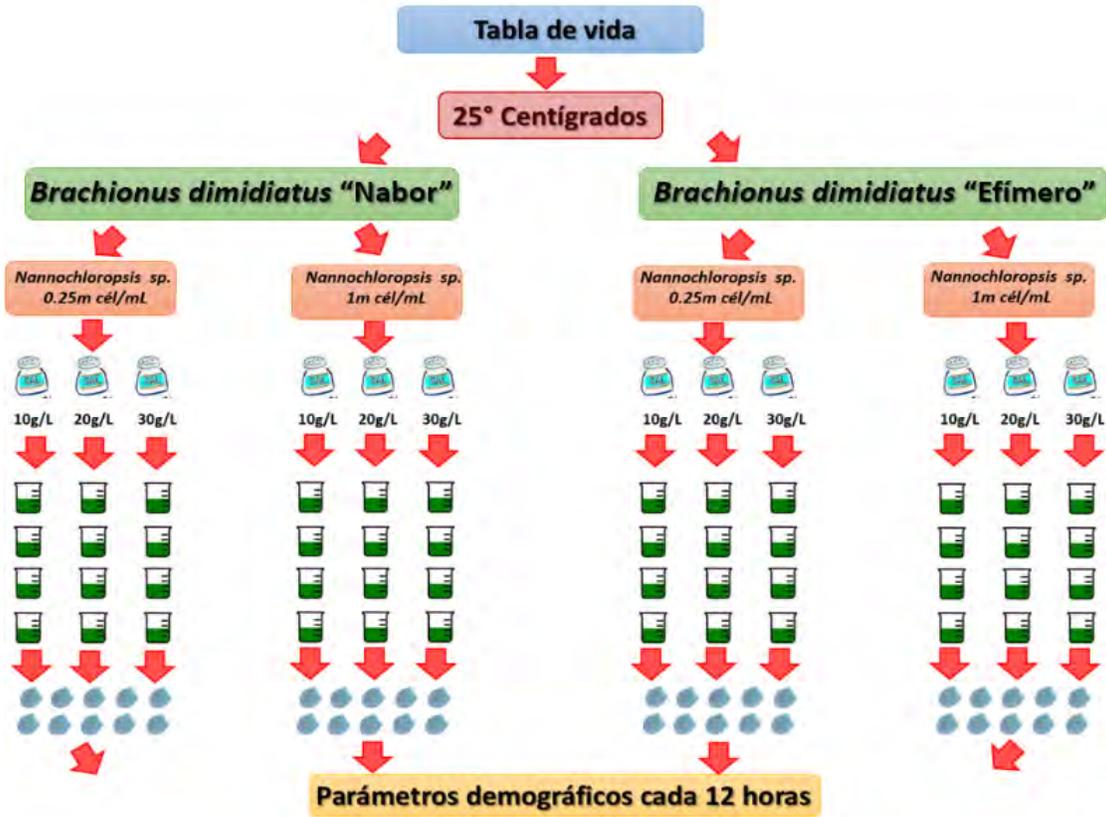


Figura 10. Diseño de tabla de vida de *B. dimidiatus*.

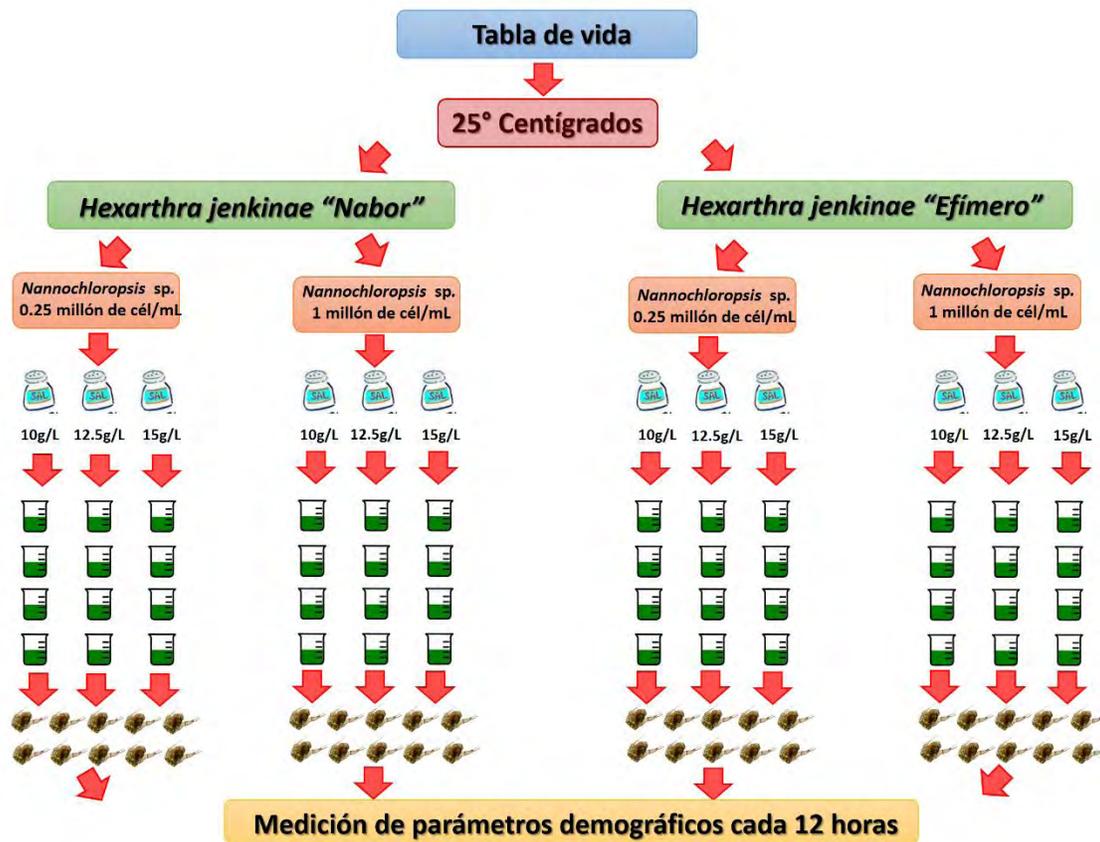


Figura 11. Diseño de tabla de vida de *H. jenkiniae*.

2.5 Análisis de datos

Los datos de crecimiento poblacional se vaciaron en una matriz en donde se les obtuvo el promedio por cada repetición y una desviación estándar, con dicha información se graficó el desarrollo de la población en función del tiempo, la abundancia máxima y la relación huevo/hembra. Finalmente se realizó una ANDEVA de tres vías mediante el programa de SIGMA PLOT.

Para la tabla de vida se utilizó el método demográfico estandarizado de Krebs (1985). Con los datos de las observaciones efectuadas cada 12 horas se obtuvieron los parámetros demográficos: curvas de supervivencia, curvas de esperanza de vida, fecundidad, tasa reproductiva neta y bruta, tiempo generacional y tasa intrínseca de crecimiento poblacional.

Supervivencia (proporción de sobrevivientes): $lx \frac{nx}{n0}$

Dónde:

nx = sobrevivientes

$n0$ = número inicial de individuos

Fecundidad (proporción de neonatos): $mx \frac{n1}{nx}$

Dónde:

$n1$ = número de neonatos

nx = número de supervivientes

Esperanza de vida (proporción de neonatos): $ex \frac{Tx}{nx}$

Dónde:

Tx = promedio de vida

nx = supervivientes

Tasa reproductiva bruta: $\sum mx$

Dónde:

mx = fecundidad

Tasa reproductiva neta: $R_o \sum_0^{\infty} l_x \cdot m_x$

Dónde:

m_x = fecundidad

l_x = supervivencia

Tiempo generacional: $T = \frac{\sum l_x \cdot m_x \cdot x}{R_o}$

Dónde:

m_x = fecundidad

l_x = supervivencia

x = edad

R_0 = tasa reproductiva neta

Tasa de crecimiento poblacional: $r = \sum_{x=0} e^{-rx} l_x m_x = 1$

Dónde:

m_x = fecundidad

l_x = supervivencia

x = edad

$e = 2.718$

Para verificar en donde ocurrieron los cambios significativos de la tabla de vida se realizó un análisis de varianza.

IX

RESULTADOS

Parte 1. *Brachionus dimidiatus* (Dinámica poblacional)

1.1 Densidad poblacional

En el ensayo con la concentración baja de alimento (0.25 millones de cél/mL) se observa una mayor densidad para *B. dimidiatus* provenientes del Efímero (Fig.1 -A, B, C-) siendo casi el triple que para aquellos de Nabor (Fig. 12 D, E, F). El incremento de salinidad afectó negativamente el desarrollo poblacional con excepción del tratamiento de 20 g/L población Efímero (Fig. 12 B) en donde se registró la mayor abundancia. Las diferencias en las fases de crecimiento (inicial, exponencial y estacionaria) se relacionaron con el gradiente salino, en cuanto es mayor, éstas se prolongaron, registrándose más tardíamente en cuanto la salinidad aumentó (Fig. 12), siendo el tratamiento de 30 g/L con la población de Nabor (Fig. 12 F) la que más tiempo necesitó para presentar las tres fases, aproximadamente 33 días.

La figura 13 representa los resultados obtenidos con una mayor concentración de alimento (1 millón de cél/mL). Las poblaciones de *B. dimidiatus* mostraron un comportamiento similar, las mayores abundancias se presentaron para el Efímero (Fig. 13 A, B, C), en donde fue aproximadamente seis veces más que las observadas en Nabor (Fig. 13 E, D, F). En todos los tratamientos la salinidad afectó negativamente las densidades de los organismos. Las fases de crecimiento se vieron afectadas de igual forma que en los tratamientos de 0.25 millones de cél/mL (Fig. 12), en el cual al aumentar la salinidad las poblaciones necesitaron más días para presentarlas (Fig. 13), así mismo el tratamiento de 30 g/L del sitio Nabor Carrillo requirió mayor cantidad de tiempo, unos 30 días aproximadamente (Fig. 13 F).

Al observar de manera integral los resultados se puede constatar que, al aumentar la concentración de alimento, incrementa la abundancia, también se observó que las mayores densidades siempre correspondieron a los organismos provenientes del Efímero, tanto para la concentración de alimento de 0.25 (Fig. 12 A, B, C) y 1 millón de cél/mL (Fig. 13 A, B, C), en donde se aprecian diferencias de hasta doce veces en el tamaño de las poblaciones (Fig. 13 A; Fig. 12 F)

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

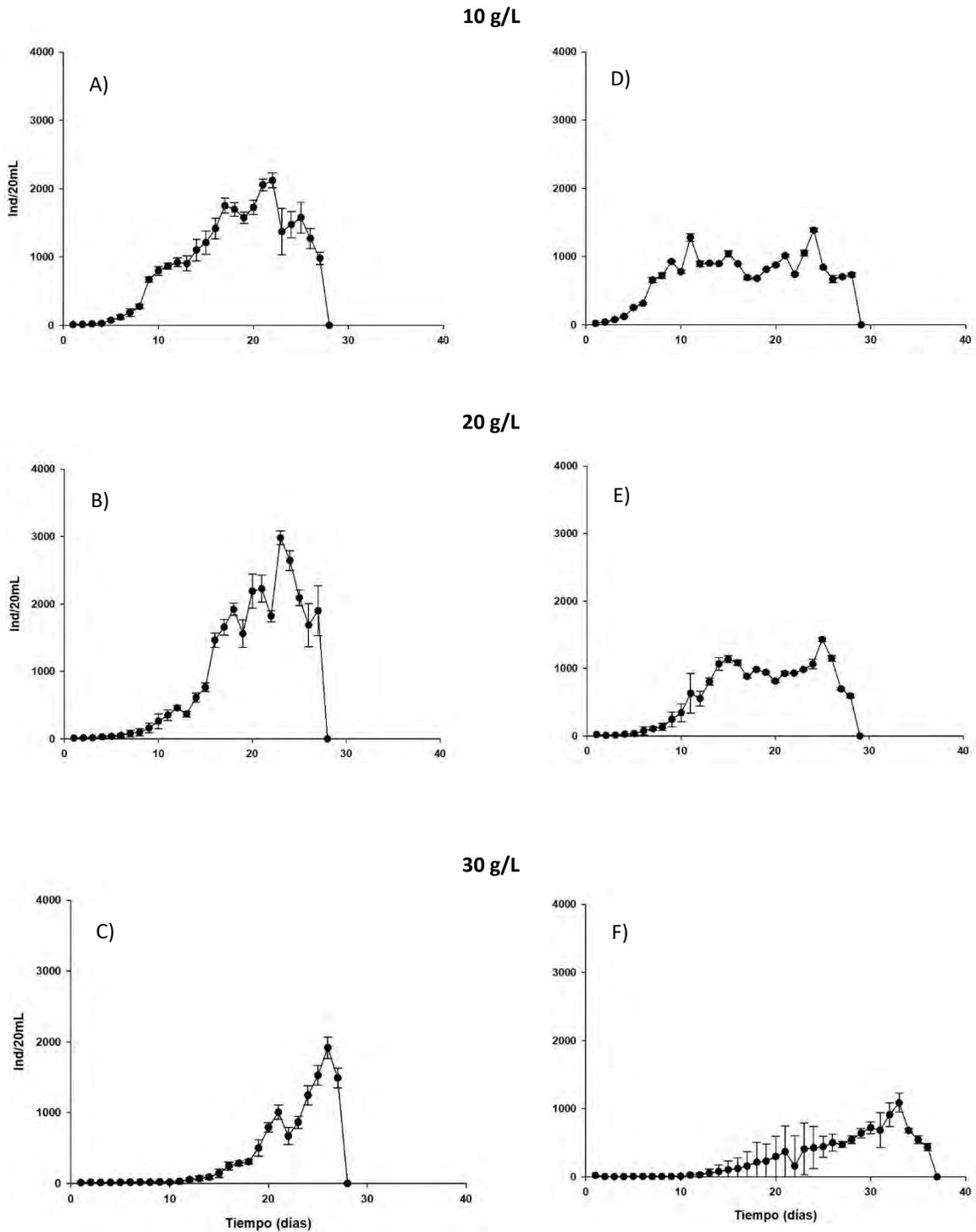
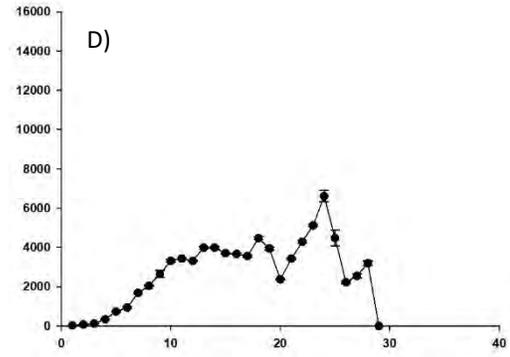
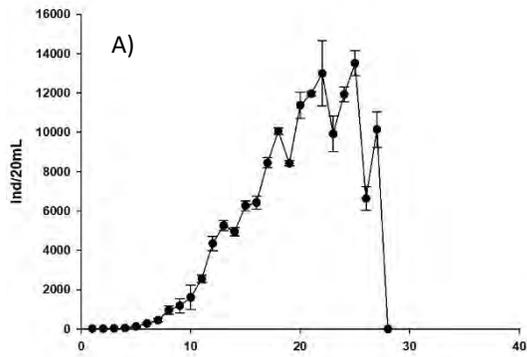


Figura 12. Densidades de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

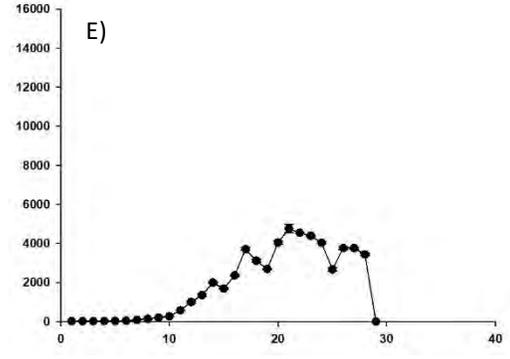
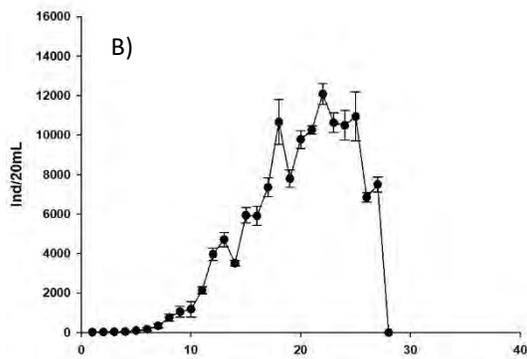
Densidades de *Brachionus dimidiatus* población Nabor (D, E, F).

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

10 g/L



20 g/L



30 g/L

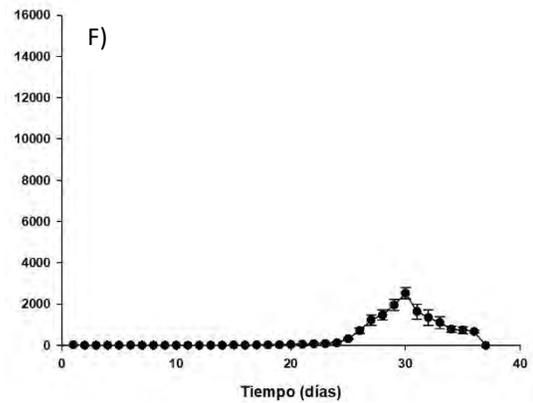
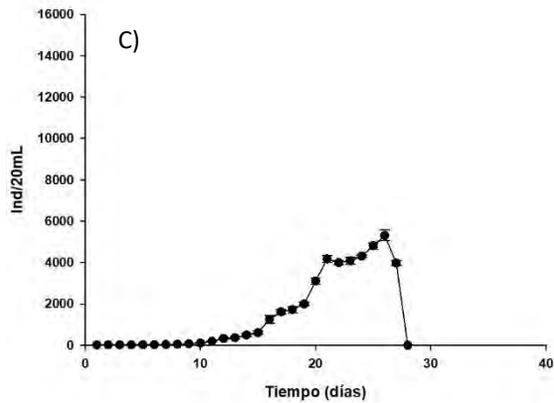


Figura 13. Densidades de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

Densidades de *Brachionus dimidiatus* población Nabor (D, E, F).

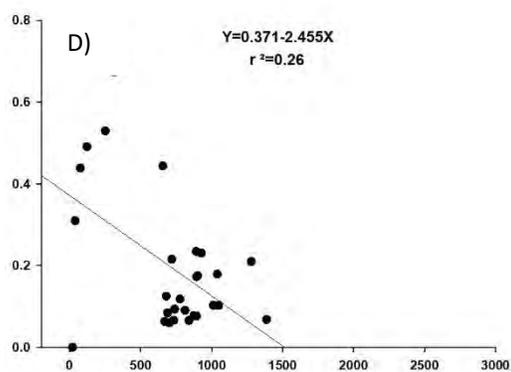
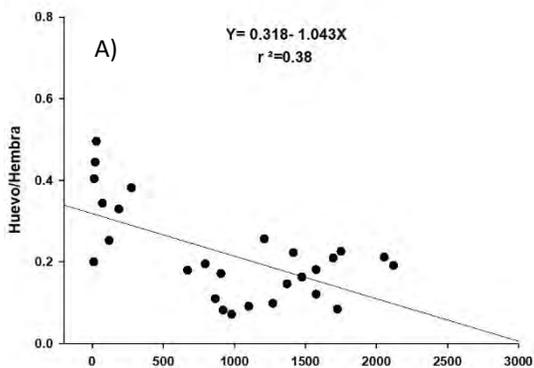
1.2 Relación huevo (amítico)/hembra

La distribución de la nube en la gráfica nos indica la proporción de huevos existentes en relación con la cantidad total de hembras. Se observó que conforme aumentó la abundancia de hembras la producción de huevos disminuyó, esto para ambas poblaciones, en general se aprecia que en la población de Efímero (Fig. 14 A, B, C) la producción de huevos fue ligeramente mayor que en la de Nabor (Fig. 14. D, E, F). Las correlaciones significativas corresponden a las figuras 14 A, E y F, para los demás tratamientos no se encontró una relación entre el número de huevos por hembra y la abundancia poblacional ($P < 0.05$).

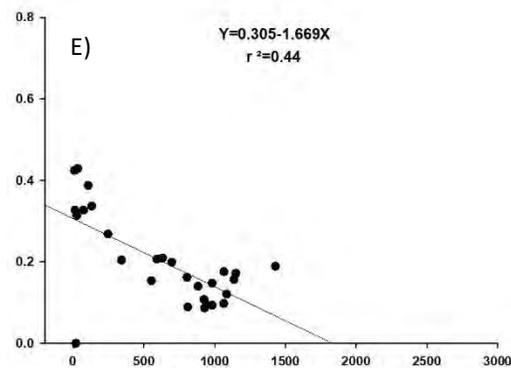
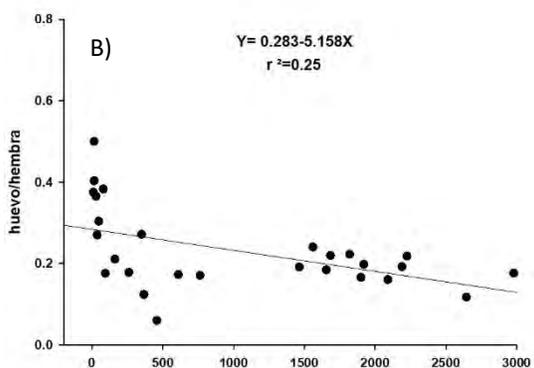
Los resultados de la relación huevo/hembra a 1 millón de cél/mL (Fig. 15), de igual forma que en los tratamientos de menor cantidad de alimento (Fig. 14), al aumentar la abundancia de hembras la producción de huevos disminuyó para las dos poblaciones. La producción de huevos en relación con las hembras fue similar para ambos casos (Efímero y Nabor). Para este grupo (Fig. 15) solo se observó una correlación significativa entre huevos/hembras y el total de la abundancia poblacional (Fig. 15 B) esto con un grado de confianza de $P < 0.05$.

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

10 g/L



20 g/L



30 g/L

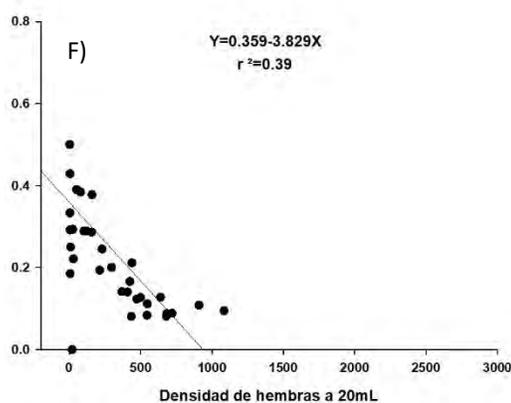
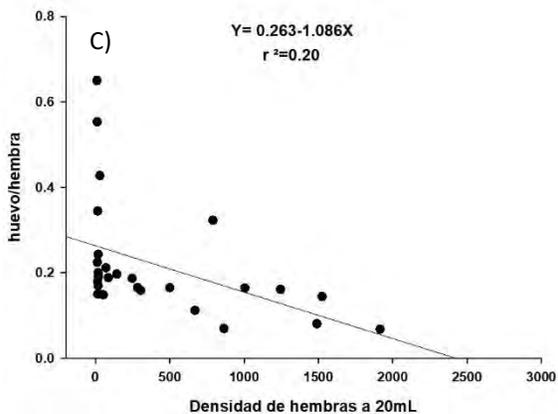
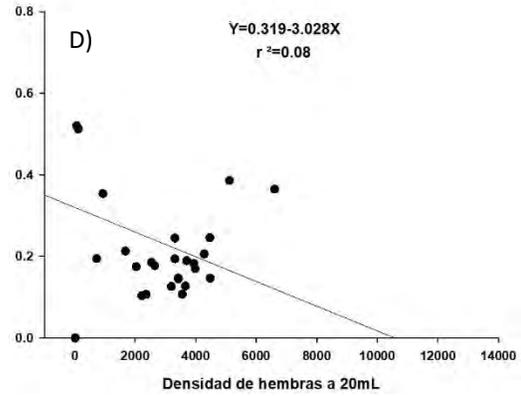
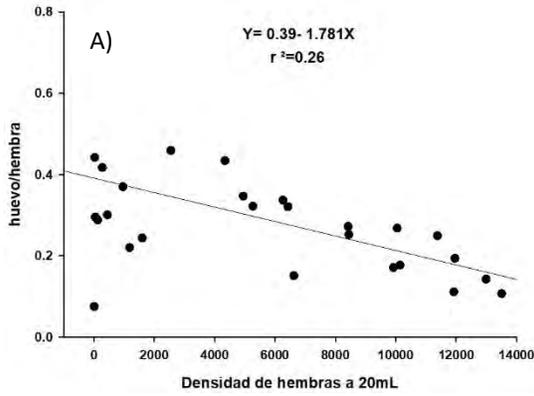


Figura 14. Relación H/H de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

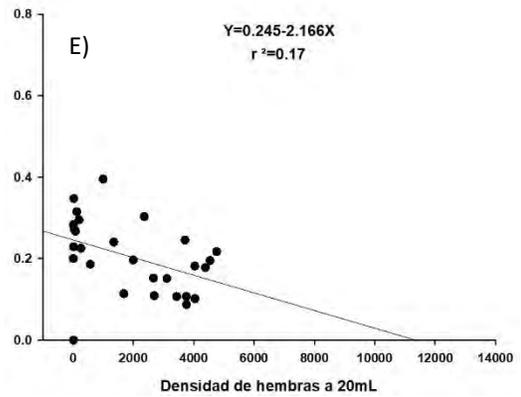
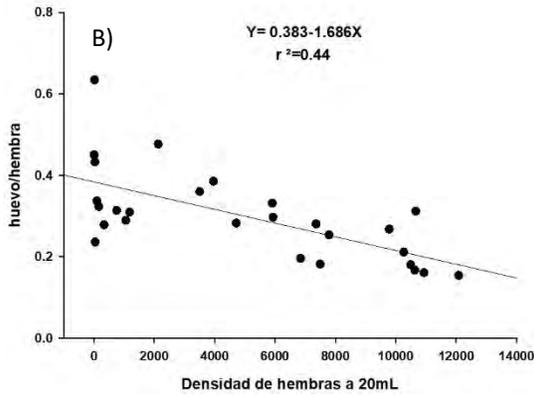
Relación H/H de *Brachionus dimidiatus* población Nabor (D, E, F).

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

10 g/L



20 g/L



30 g/L

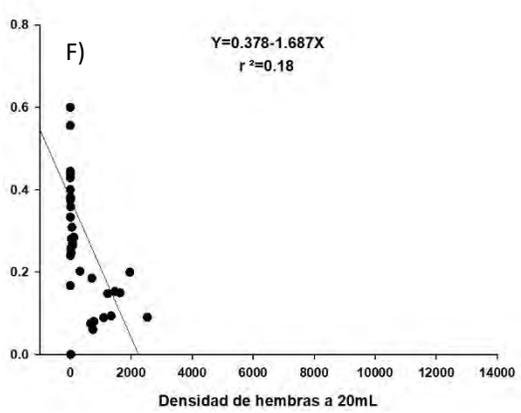
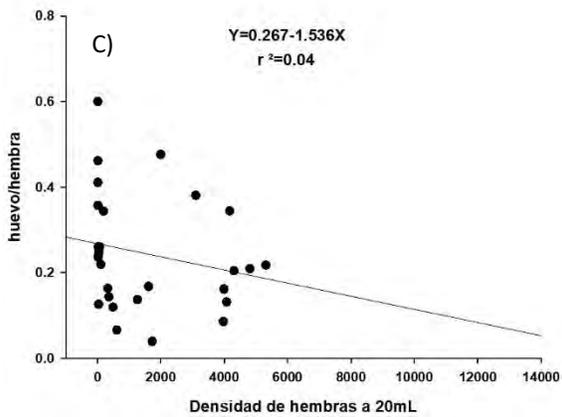


Figura 15. Relación H/H de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

Relación H/H de *Brachionus dimidiatus* población Nabor (D, E, F).

1.3 Abundancia máxima

La población del Efímero mostró en las dos concentraciones de alimento (Figs. 16 y 17) que su abundancia fue significativamente mayor que la de Nabor (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$). Para ambas poblaciones se observó que la abundancia poblacional disminuyó en función al aumento del gradiente salino, con excepción del tratamiento de 20 g/L con la población del Efímero (Fig. 16).

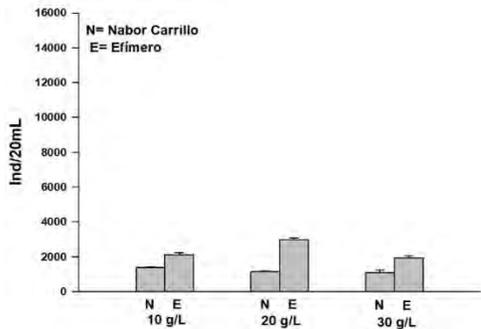


Figura 16. Densidad máxima de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de células/mL.

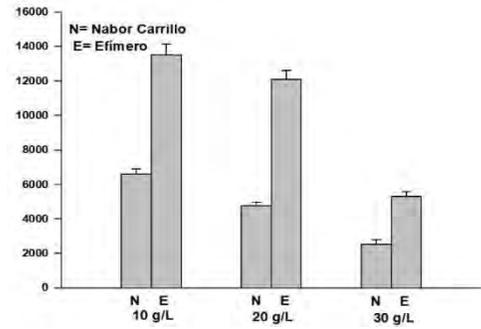


Figura 17. Densidad máxima de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de células/mL.

1.3 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento se vio afectada por los cambios en la salinidad, más no fue inversamente proporcional al aumento de esta, las mayores tasas de crecimiento se observaron para ambos grupos en la salinidad de 20 g/L (Figs. 18 y 19), generalmente son mayores para la población del Efímero, existiendo una peculiaridad para el grupo de 0.25 millones de células/mL (Fig. 18), en donde la mayor tasa corresponde a la población de Nabor. Con excepción a los tratamientos de 20 g/L a 1 millón de células/mL (Fig. 19) las diferencias en las tasas de crecimiento fueron significativas (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

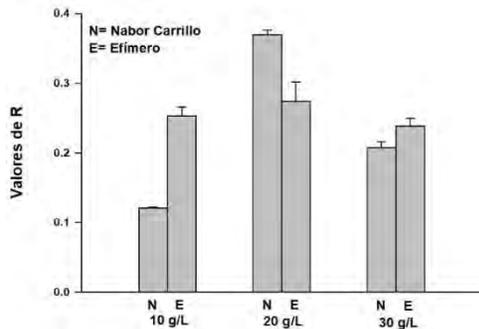


Figura 18. Tasa de crecimiento de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de células/mL.

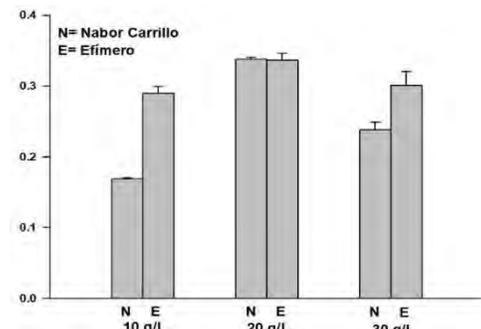


Figura 19. Tasa de crecimiento de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de células/mL.

Parte 2. *Hexarthra jenkiniae* (dinámica poblacional)

2.1 Densidad poblacional

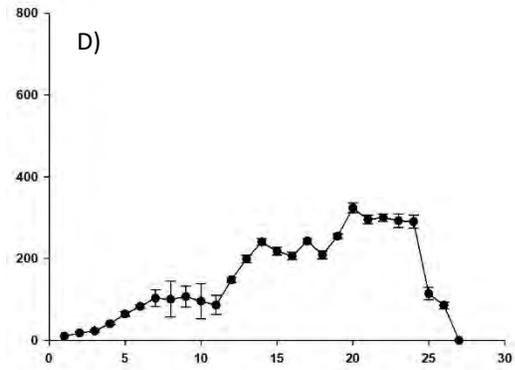
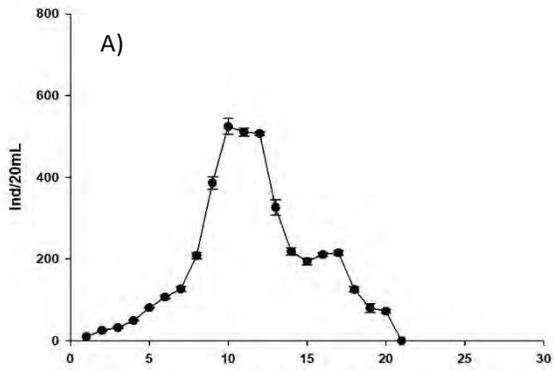
Los organismos alimentados con una baja concentración de *Nannochloropsis* sp. (0.25 millones de cél/mL) (Fig. 20) muestra una mayor abundancia para los organismos provenientes del Efímero (Fig. 20 A, B, C) respecto a sus homólogos de Nabor (Fig. 20 D, E, F) siendo hasta casi tres veces mayor que los segundos. El gradiente salino se relacionó con una disminución en la población de Nabor (Fig. 20 D, E), mientras que para la población del Efímero el efecto fue opuesto (Fig. 20 A, B, C). Referente a las fases del crecimiento se apreció que la salinidad tuvo un efecto negativo respecto al tiempo en que se presentaron éstas, al aumentar la concentración de sal se retrasaron en el día de comienzo de cada fase, siendo la población del Nabor la que precisó de más tiempo para completar sus fases de crecimiento (Fig. 20 D, E, F).

En la concentración de alimento a 1 millón de cél/mL (Fig. 21) se observó que las abundancias en ambas poblaciones fueron similares, con excepción del tratamiento de 10 g/L del Efímero (Fig. 21 A) que mostró la mayor densidad poblacional con una diferencia del 15% respecto a su par de Nabor (Fig. 21 D). El efecto de la salinidad sobre el desarrollo poblacional se relacionó negativamente entre la salinidad de 10 g/L a 12.5 g/L en ambas poblaciones (Fig. 21 A, B, D, E), este efecto no fue notorio para el cambio de 12.5 g/L a 15 g/L (Fig. 21 B, E, C, F). Las fases de la curva de crecimiento fueron afectadas en relación con el gradiente salino, que al aumentar se requirió de más tiempo para que las poblaciones completaran sus estadios, siendo Nabor de 10 g/L el que necesitó de un mayor intervalo, el cual se situó en el día 23 aproximadamente (Fig. 21 D).

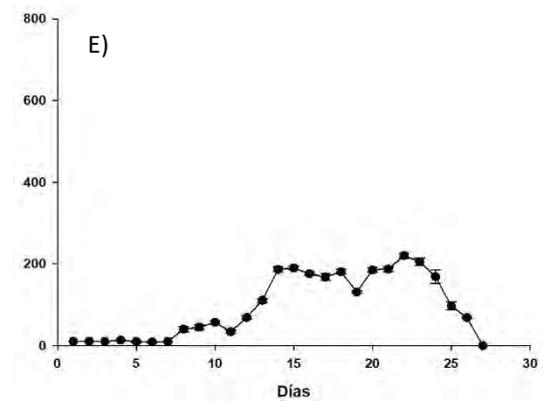
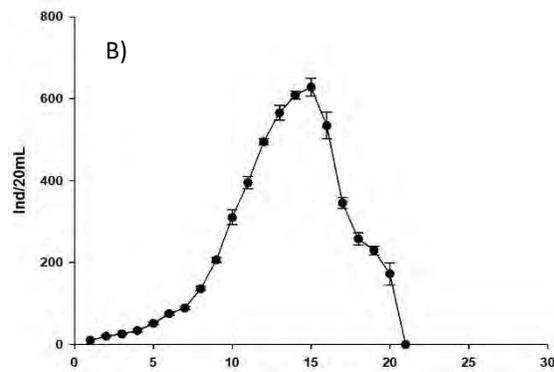
Las tendencias generales mostraron que mayoritariamente las mayores abundancias correspondieron a la población del Efímero (Figs. 20 y 21 A, B, C) excluyendo los tratamientos de 1 millón de cél/mL de 12.5 y 15 g/L (Fig. 21 B, E, C, F) donde los valores son similares. El gradiente salino afectó las fases de crecimiento en ambas poblaciones (Figs. 20 y 21).

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

10 g/L



12.5 g/L



15 g/L

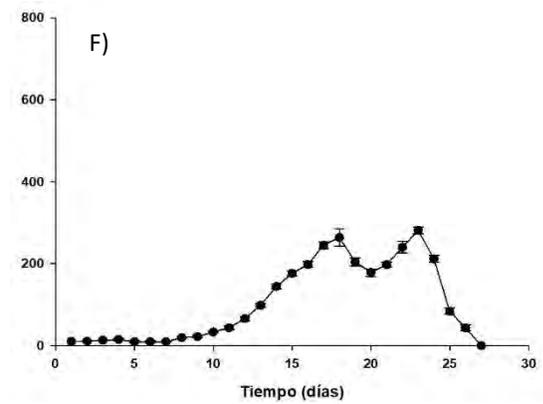
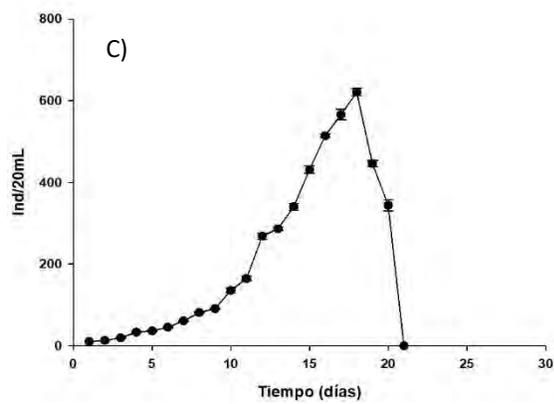
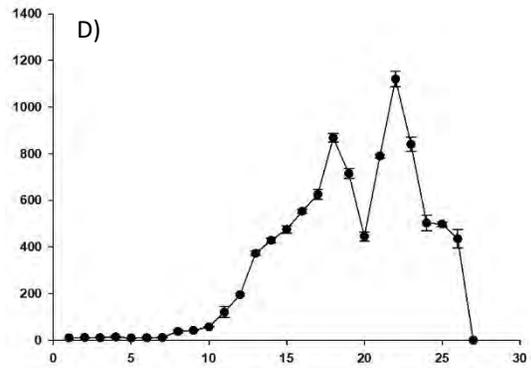
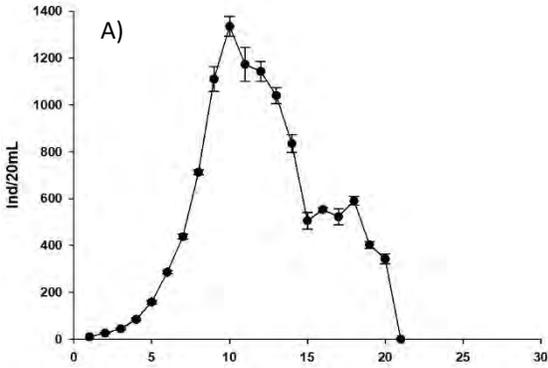


Figura 20. Densidades de *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

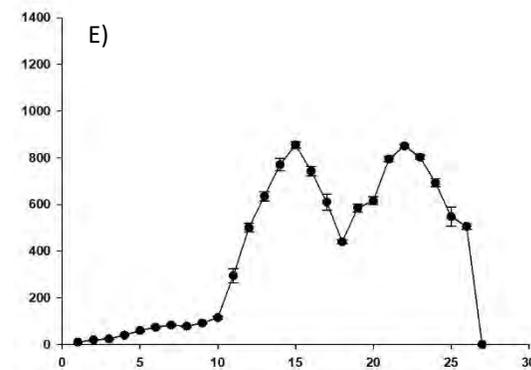
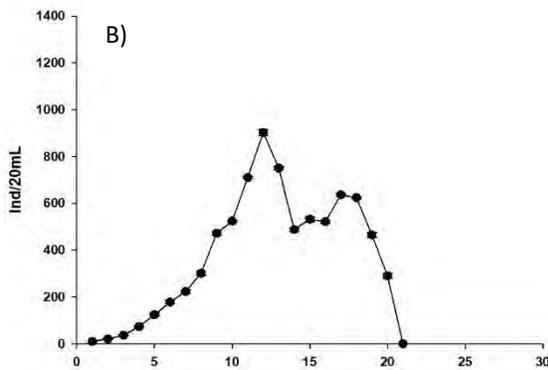
Densidades de *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

10 g/L



12.5 g/L



15 g/L

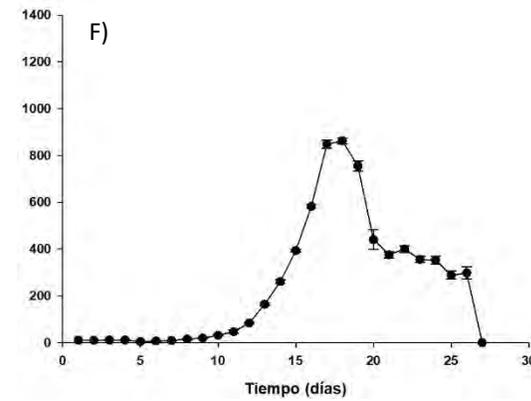
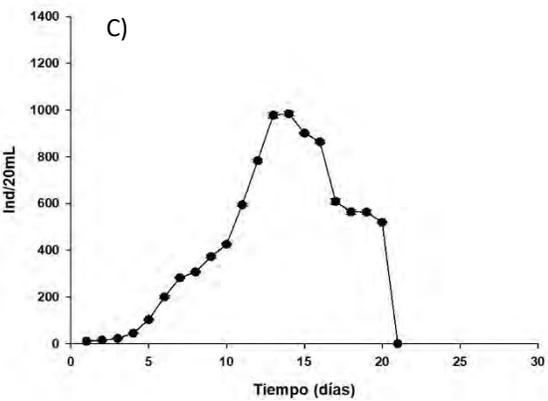


Figura 21. Densidades de *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

Densidades de *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

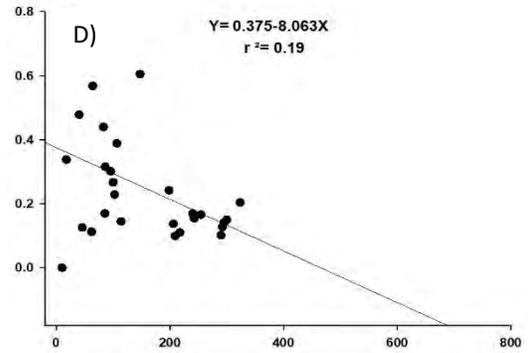
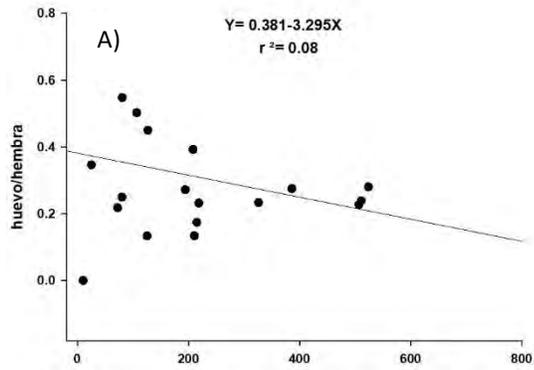
2.2 Relación huevo (amíctico)/hembra

La proporción huevo/hembra respecto a la abundancia poblacional mostró una tendencia inversamente proporcional, mientras aumentó la población, la cantidad de puestas disminuyó (Fig. 22), existiendo una excepción para el tratamiento de 15 g/L de la población del Efímero, donde la relación fue proporcional, aumentó la abundancia y también la cantidad de huevos (Fig. 22 C). Mayoritariamente la producción de huevos fue ligeramente superior en la población del Efímero (Figs. 22 A, B, C). Para este grupo (concentración de alimento a 0.25 millones de cél/mL) no se encontraron correlaciones significativas ($P < 0.05$).

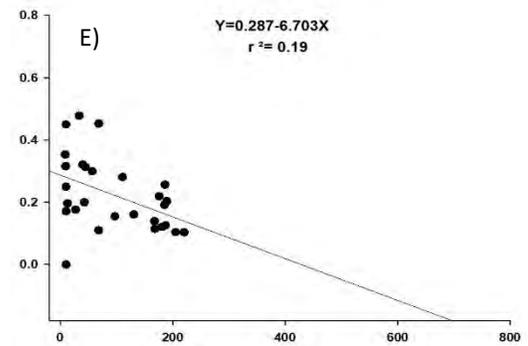
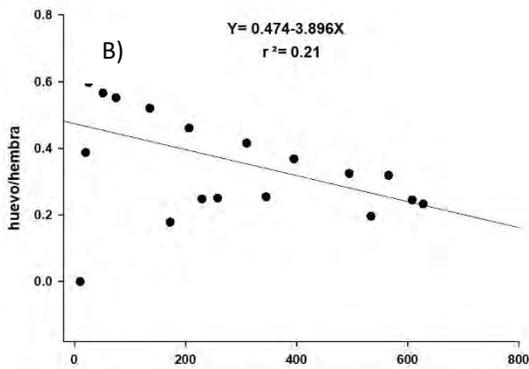
A 1 millón de cél/mL (Fig. 23) se observó la misma tendencia en la proporción huevo/hembra, al aumentar la abundancia la cantidad de huevos producidos disminuyó, esto fue en ambas poblaciones y para todas las salinidades. La producción de huevos fue similar en ambas poblaciones, siendo preciso mencionar que en el tratamiento de 15 g/L de la población Nabor (Fig. 23 F) se produjo la menor cantidad de huevos. De este grupo se observó que solo existió una correlación significativa ($P < 0.05$), entre huevo/hembra y el total de la abundancia poblacional, en el tratamiento de 12.5 g/L de la población Nabor (Fig. 23 E)

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

10 g/L



12.5 g/L



15 g/L

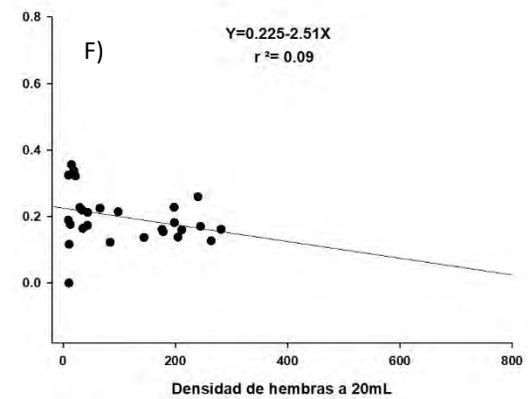
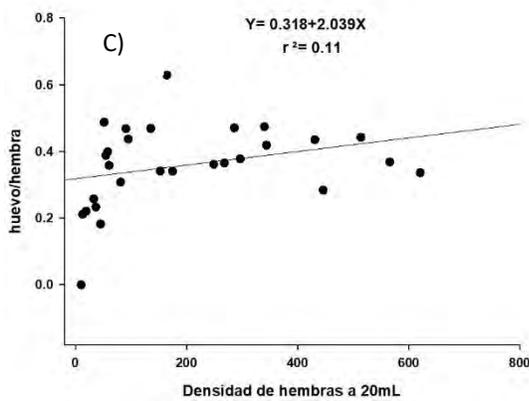
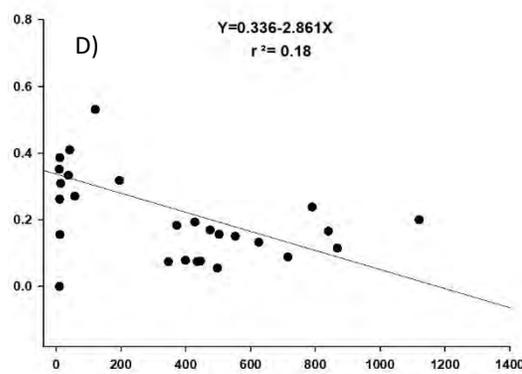
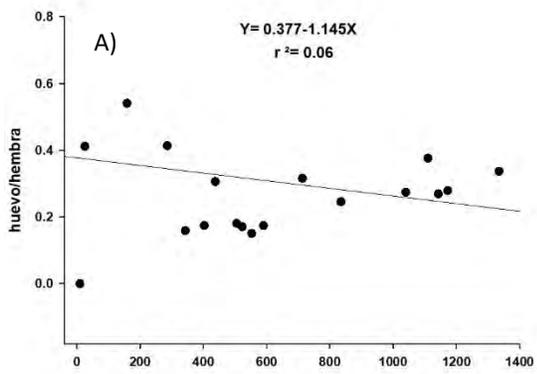


Figura 22. Relación H/H *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

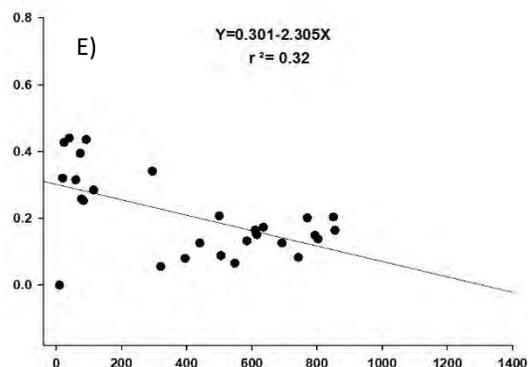
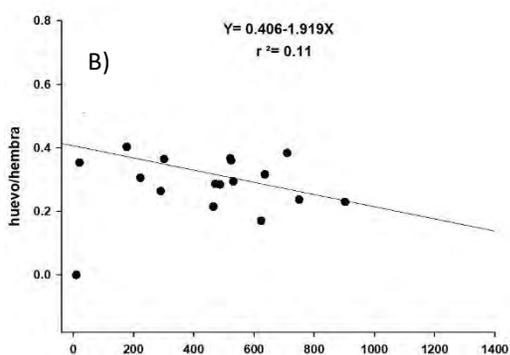
Relación H/H *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

10 g/L



12.5 g/L



15 g/L

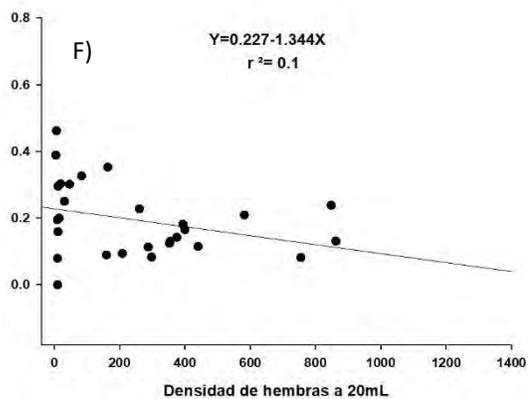
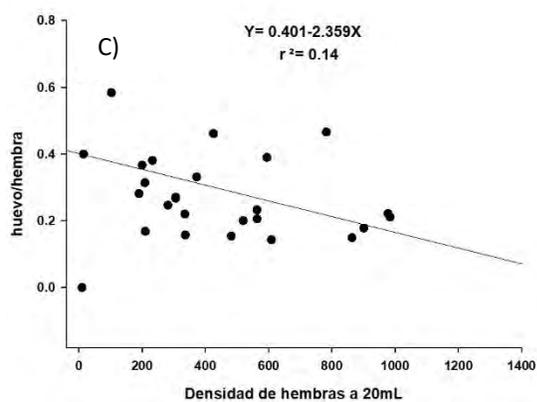


Figura 23. Relación H/H *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

Relación H/H *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

2.3 Abundancia máxima

Los organismos provenientes del sistema Efímero mostraron las mayores abundancias en ambas concentraciones de alimento (Figs. 24 y 25), siendo en general significativamente diferentes respecto a la población de Nabor. El gradiente salino afectó el desarrollo de ambas poblaciones, siendo mayoritariamente negativo su efecto; al aumentar la concentración de sal la población disminuyó, con la excepción del Efímero en los tratamientos de 12.5 y 15 g/L (Fig. 24). Excluyendo el tratamiento de 12.5 g/L (Fig. 25) la diferencia entre grupos es significativa (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

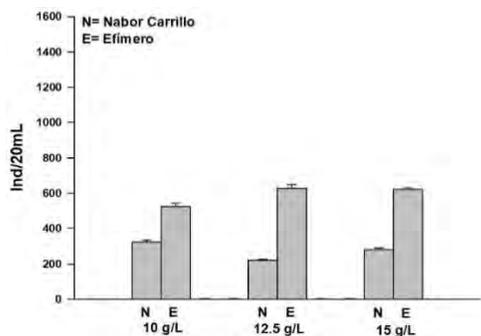


Figura 24. Densidad máxima de *Hexarthra jenkinii* con ambas poblaciones a 0.25 millones de células/mL

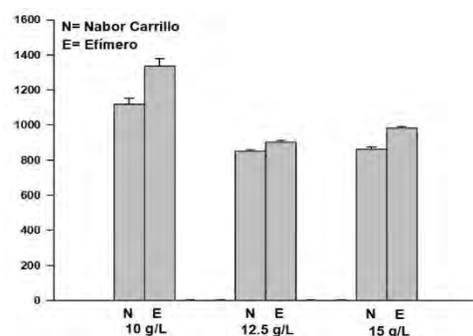


Figura 25. Densidad máxima de *Hexarthra jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de células/mL.

2.4 Tasa de crecimiento

El gradiente salino afectó las tasas de crecimiento en ambas poblaciones, las Figs. 26 y 27 nos muestran claramente el descenso en los valores de R. Las mayores tasas de crecimiento corresponden a la población del Efímero en ambos grupos, presentando los valores superiores en los tratamientos de 10 g/L (Figs. 26 y 27). Se encontró significancia en todos los tratamientos de los dos grupos (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$). La diferencia en la tasa de crecimiento de entre Efímero y Nabor fue menor a 15 g/L que en las otras concentraciones de sal.

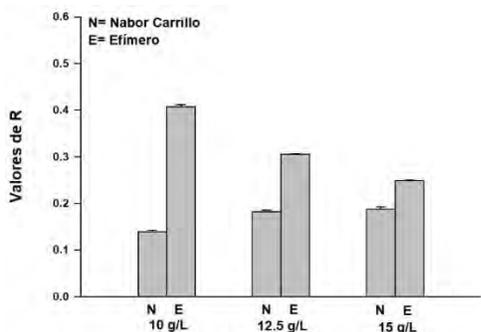


Figura 26. Tasa de crecimiento de *Hexarthra jenkiniae* con ambas poblaciones a 0.25 millones de células/mL.

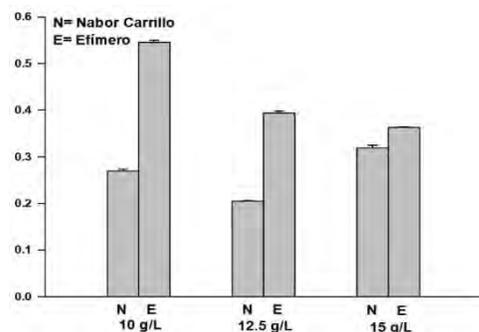


Figura 27. Tasa de crecimiento de *Hexarthra jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de células/mL.

Parte 3. *Brachionus dimidiatus* (tabla de vida)

3.1 Supervivencia

Con una dieta de 0.25 millones de cél/mL de *Nannochloropsis* sp., *Brachionus dimidiatus* proveniente del Efímero mostró una mayor supervivencia (Fig. 28 A, B), siendo esta entre uno y tres días superior respecto a los organismos de Nabor Carrillo (Fig. 28 D, E); la excepción son los tratamientos de 30 g/L (Fig. 28 C, F) en donde la supervivencia fue similar (tres días aproximadamente). El cambio en el gradiente salino afecta negativamente la supervivencia de ambas poblaciones (Efímero y Nabor), se observó que al aumentar la salinidad la supervivencia se fue reduciendo (Fig. 28). El mayor cambio en la curva de supervivencia se puede apreciar los tratamientos de 30 g/L (Fig. 28 C, F).

En los resultados obtenidos para el grupo de 1 millón de cél/mL se observó que los tratamientos con organismos del Efímero (Fig. 29 A, B, C) alcanzaron una supervivencia de entre 1 y 3 días superior respecto a sus homólogos de Nabor (Fig. 29 D, E, F). La mayor supervivencia correspondió al tratamiento de 10 g/L población Efímero (Fig. 29 A) con nueve días y la menor en los organismos de Nabor a 30 g/L (Fig. 29 F) con cuatro días. El cambio de salinidad perjudicó la supervivencia en ambas poblaciones (Fig. 29), el aumento de ésta redujo la expectativa de vida de las poblaciones, siendo los tratamientos de 30 g/L los que afectaron mayormente las curvas de supervivencia (Fig. 29 C, F).

Se puede adjudicar al gradiente salino como factor determinante en la supervivencia de los organismos, puesto que en presencia de mayor concentración de iones disueltos en el medio la expectativa de vida de los organismos se ve reducida, esto aplica en ambas poblaciones (Figs. 28 y 29).

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

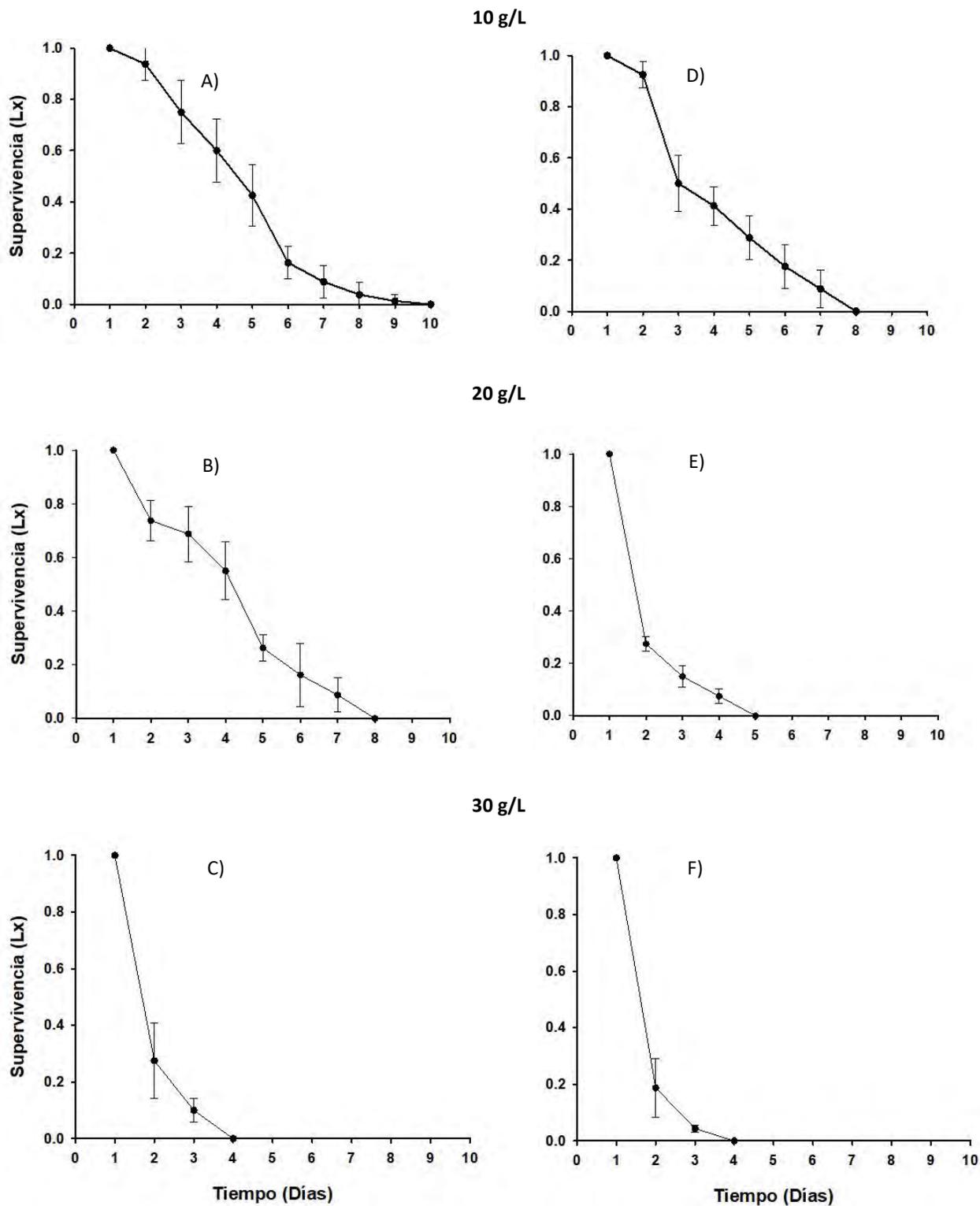


Figura 28. Supervivencia de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

Supervivencia de *Brachionus dimidiatus* población Nabor (D, E, F).

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

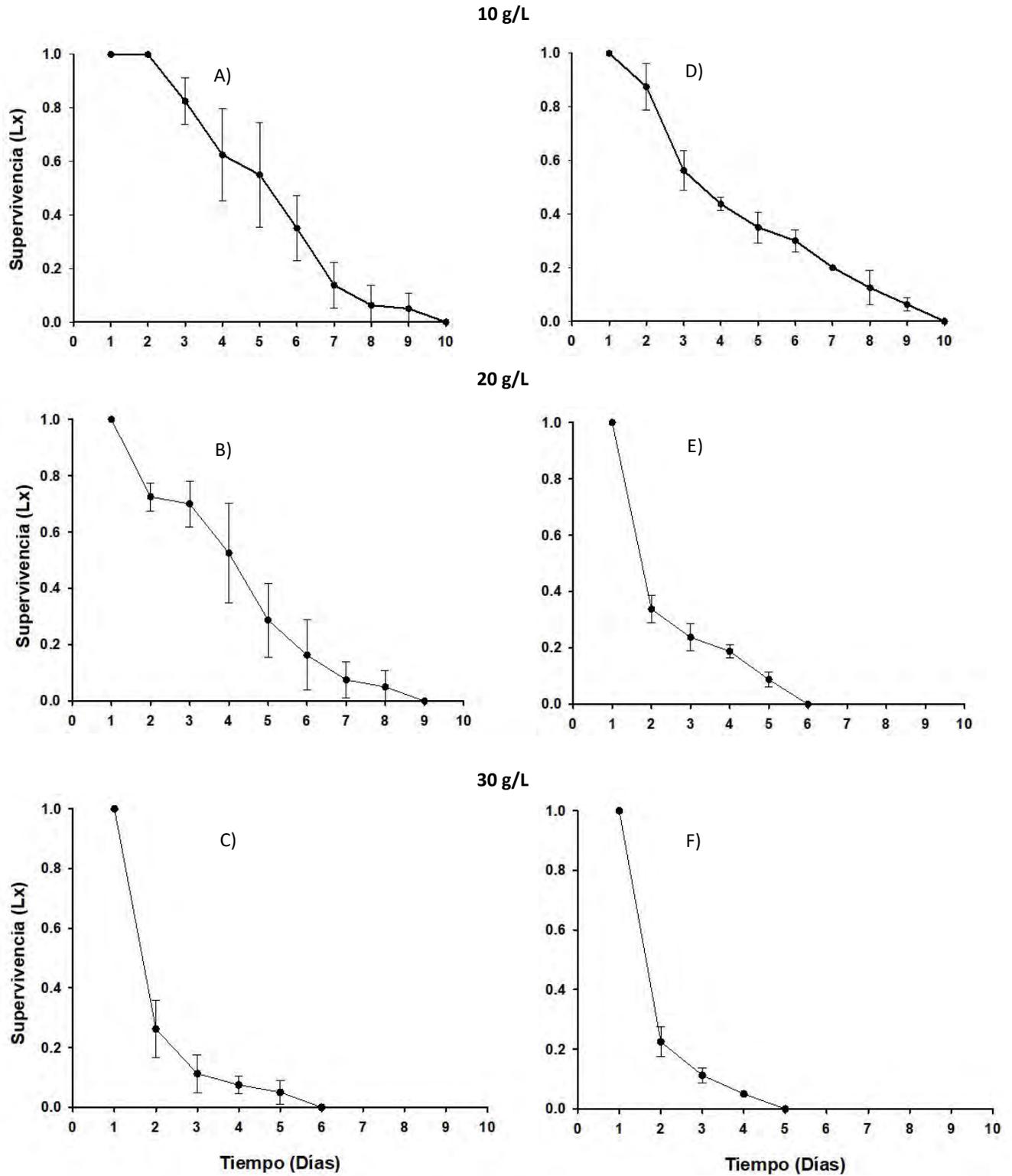


Figura 29. Supervivencia de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

Supervivencia de *Brachionus dimidiatus* población Nabor Carrillo (D, E, F).

3.2 Fecundidad

Los resultados de fecundidad a bajos niveles de alimento muestran valores más altos para los organismos provenientes del Efímero (Fig. 30 A, B, C), mientras que los tratamientos de Nabor Carrillo (Fig. 30 D, E, F) presentaron valores de menor fecundidad, así como un periodo más corto de reproducción. La mayor fecundidad se presentó en el tratamiento de 10 g/L del Efímero (Fig. 30 A), por otro lado, la cepa de Nabor registró la menor fecundidad en su tratamiento de 30 g/L (Fig. 30 F). El aumento en la concentración de sal se relacionó con la disminución de la fecundidad de las hembras en ambas poblaciones (Fig. 30).

Las poblaciones que se desarrollaron a 1 millón de cél/mL registraron una fecundidad alta para los organismos del Efímero (Fig. 31 A, B, C) en comparación con los de Nabor (Fig. 31 D, E, F), en los cuales mostraron fecundidades menores. Los valores superiores de entre todos los tratamientos se muestran en la Fig. 31 A, que corresponde al tratamiento de 10 g/L del Efímero, por otra parte, los valores inferiores se registraron en los tratamientos de 30 g/L para ambas poblaciones (Fig. 31 C, F). En tanto fue mayor el gradiente salino, la fecundidad disminuyó en ambas poblaciones (Fig. 31).

La salinidad fue la variable que afectó en mayor medida la fecundidad, afectando de manera similar en los organismos del Efímero y Nabor Carrillo (Figs. 30 y 31) reduciendo tanto la cantidad de naonatos como el lapso fecundo de las hembras.

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

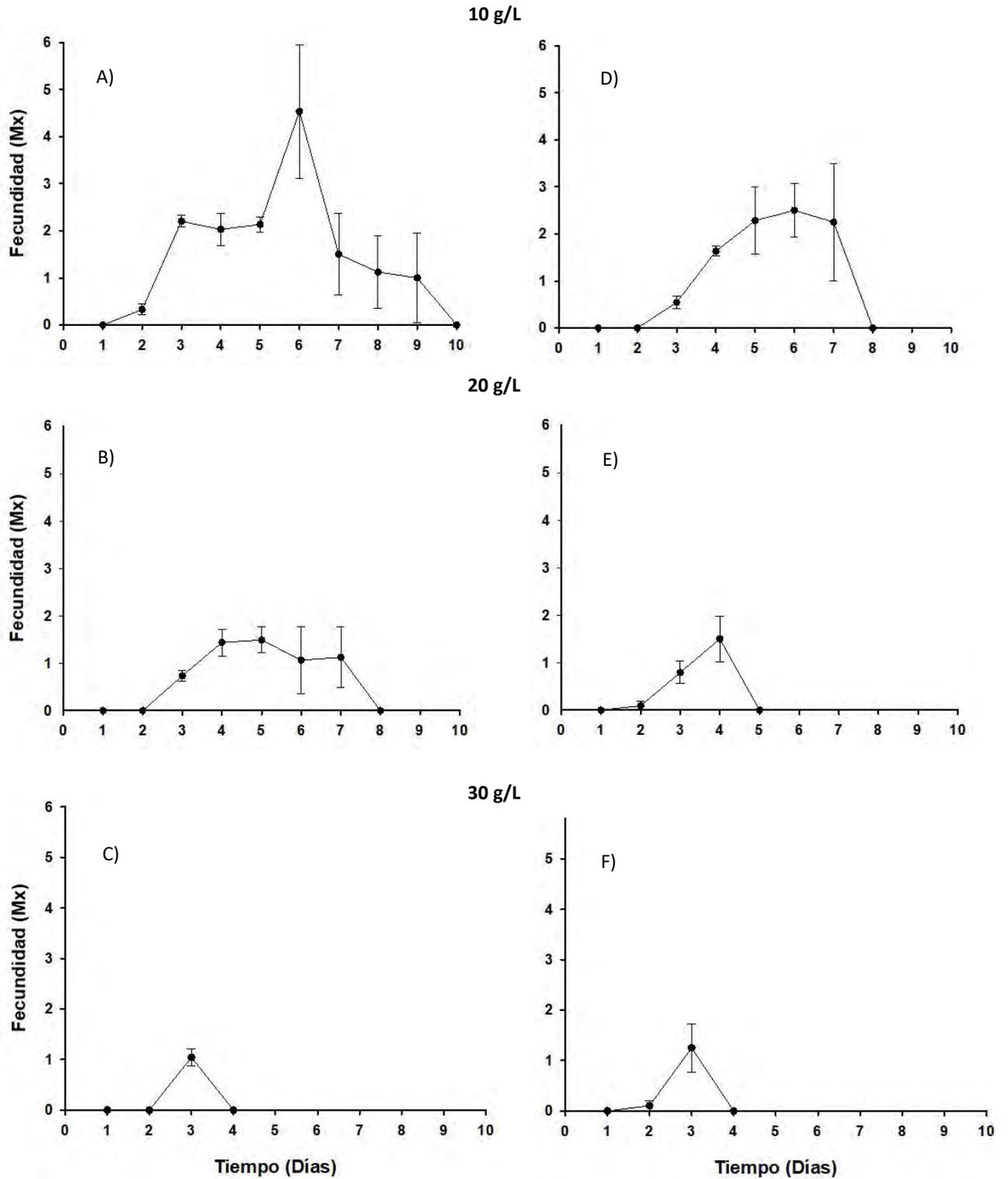


Figura 30. Fecundidad de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

Fecundidad de *Brachionus dimidiatus* población Nabor (D, E, F).

Brachionus dimidiatus población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

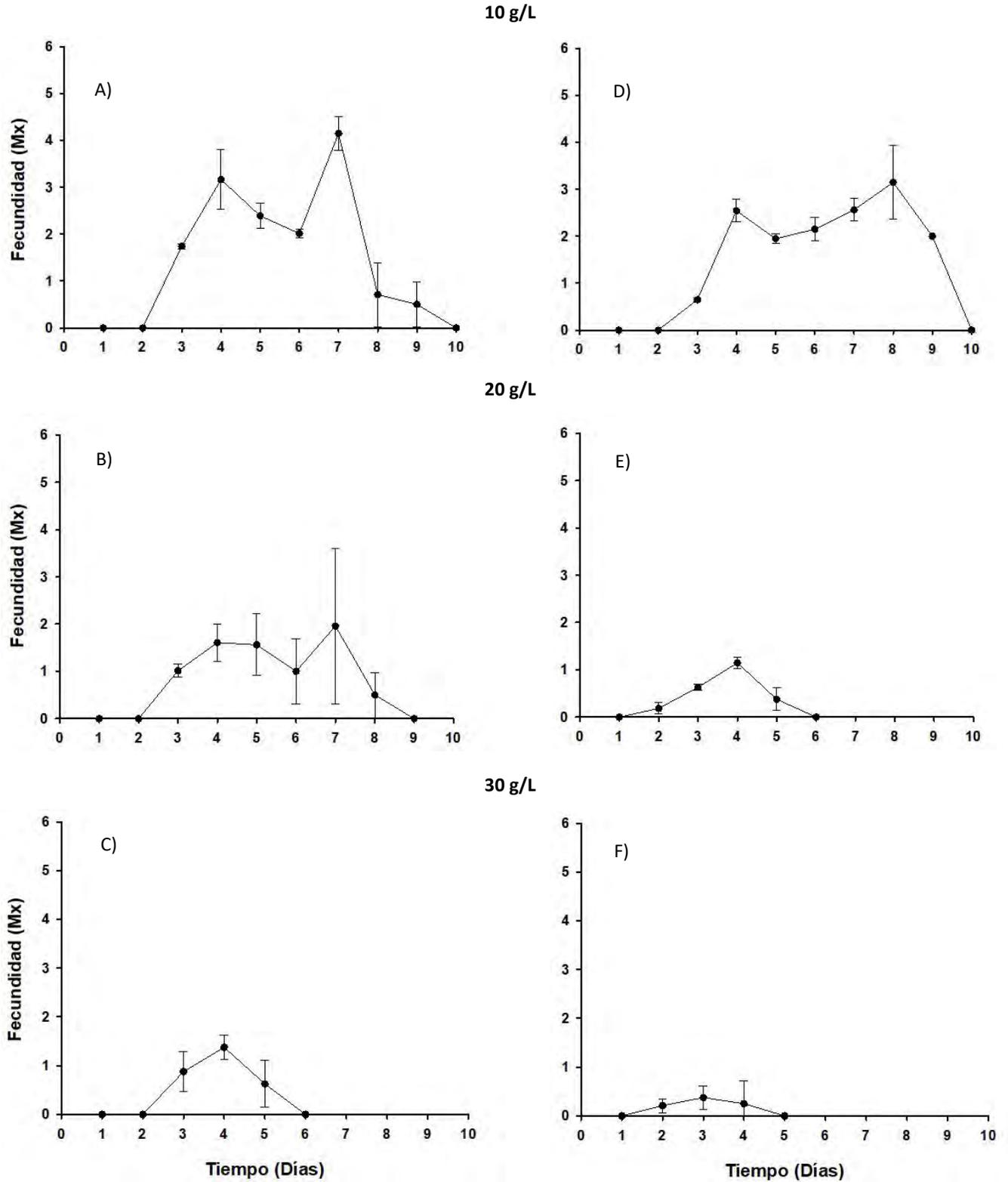


Figura 31. Fecundidad de *Brachionus dimidiatus* población del Efímero (A, B, C)

Fecundidad de *Brachionus dimidiatus* población Nabor (D, E, F).

3.3 Promedio de vida

El promedio de vida de los organismos en ambas poblaciones (Efímero y Nabor) fue similar para las dos concentraciones de alimento y no se encontraron diferencias significativas con ANDEVA de tres vías ($P < 0.001$) (Fig. 32 y 33). La variable que afectó este parámetro demográfico fue la salinidad, según la prueba de ANDEVA en tres vías, demuestra una interacción significativa ($P < 0.001$) entre el gradiente salino y los diferentes sitios de donde provienen los organismos, entre mayor es la salinidad el promedio de vida disminuyó (Figs. 32 y 33).

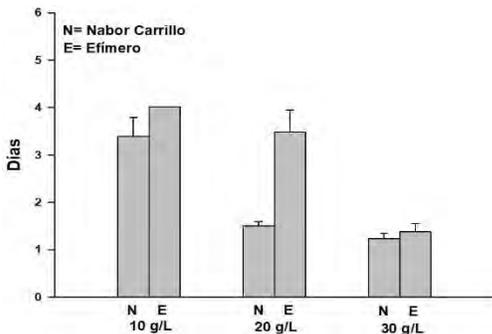


Figura 32. Promedio de vida de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

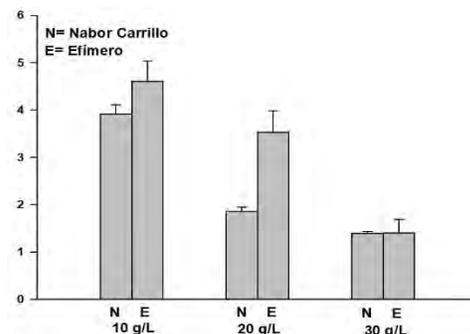


Figura 33. Promedio de vida de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

3.4 Esperanza de vida

La mayor expectativa de vida se observó en las salinidades menores (10 g/L) en las dos concentraciones de alimento de 0.25 y 1 millón de cél/mL (Fig. 34 y 35). El factor alimento no tuvo una relación significativa con las variables población y salinidad (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$). El efecto de la salinidad sobre la esperanza de vida en ambas poblaciones (Efímero y Nabor) fue significativa, con un intervalo de confianza de $P < 0.001$. En tanto aumenta el gradiente salino, la expectativa de vida decrece (Fig. 34 y 35).

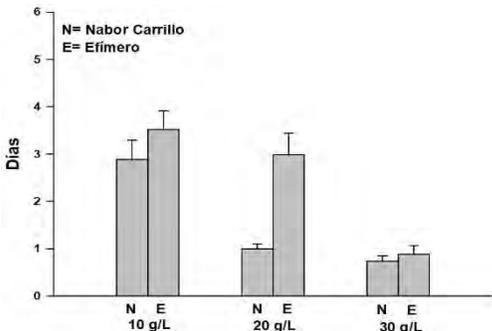


Figura 34. Esperanza de vida de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

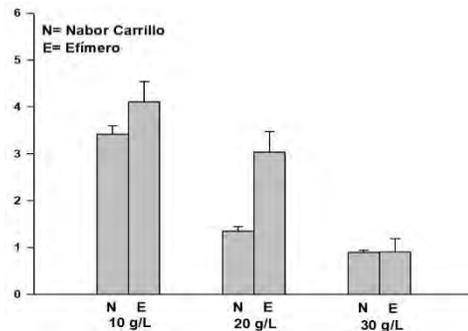


Figura 35. Esperanza de vida de *Brachionus dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

3.5 Tasa bruta de reproducción

Los mayores valores en la tasa bruta de reproducción se observaron en los tratamientos de 10 g/L población Efímero; del mismo modo los menores valores se registraron a 30 g/L en los organismos de Nabor (Figs. 36 y 37). La salinidad fue el factor de mayor influencia, a una salinidad superior, la tasa bruta de reproducción disminuyó en ambas poblaciones (Figs. 36 y 37). La interacción entre gradiente salino y origen del organismo (Efímero o Nabor) fue significativa (ANDEVA de tres vías, $P < 0.022$).

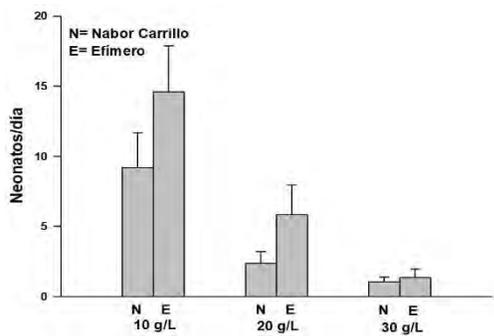


Figura 36. Tasa bruta de reproducción de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de células/mL.

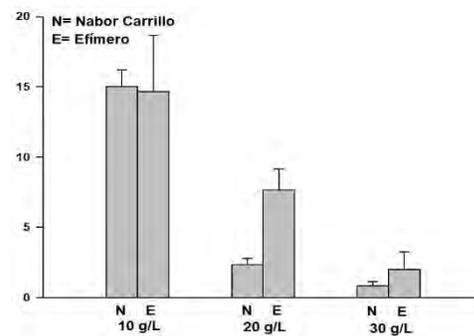


Figura 37. Tasa bruta de reproducción de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de células/mL.

3.6 Tasa neta de reproducción

Se aprecia en general los mayores valores de tasa neta de reproducción en las poblaciones con organismos provenientes del Efímero y los menores para las poblaciones de Nabor (Fig. 38 y 39). El incremento de salinidad en los tratamientos afectó negativamente la tasa, tanto en la población del Efímero como en la de Nabor (Figs. 38 y 39). Se encontró significancia en la interacción de población gradiente salino y nivel de alimento (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

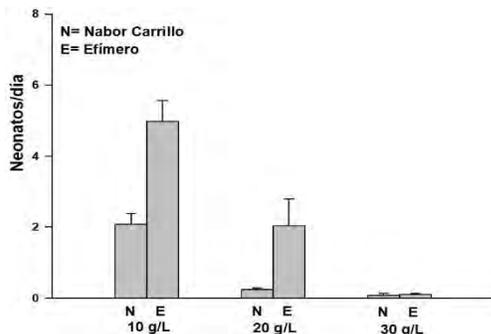


Figura 38. Tasa neta de reproducción de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de células/mL.

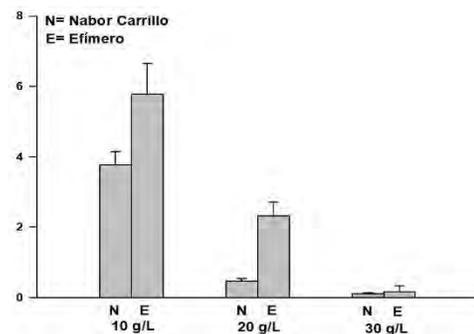


Figura 39. Tasa neta de reproducción de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de células/mL.

3.7 Tiempo generacional

Los datos mostraron que en las salinidades de 10 g/L la población de Nabor tardó más en dejar descendencia, cambiado este rasgo para las mayores salinidades. En tanto la población del Efímero registró un comportamiento opuesto, a la menor salinidad el tiempo generacional es menor, y este aumenta conforme el gradiente salino incrementó (Figs. 40 y 41). Se encontró una interacción significativa entre poblaciones (Efímero y Nabor) y la salinidad (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

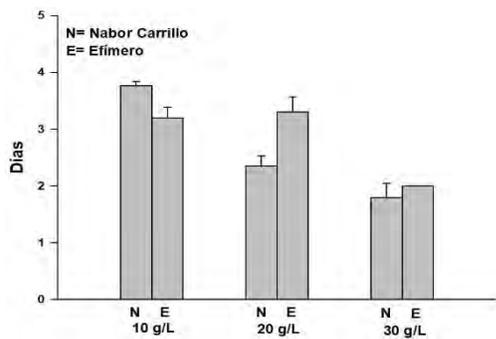


Figura 40. Tiempo generacional de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

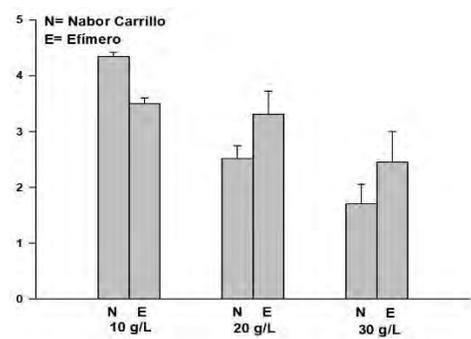


Figura 41. Tiempo generacional de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

3.8 Tasa de crecimiento poblacional

Los valores de la tasa de crecimiento poblacional fueron variables en cada uno de los grupos de concentración de alimento (Figs. 42 y 43), los valores disminuyeron conforme aumentó la salinidad incluso hasta llegar a números negativos. Se encontró una correlación significativa entre el gradiente de salinidad y las poblaciones de organismos del Efímero y Nabor (ANDEVA de tres vías, $P = 0.018$).

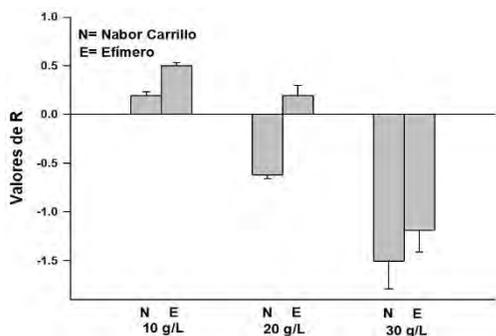


Figura 42. Tasa de crecimiento de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

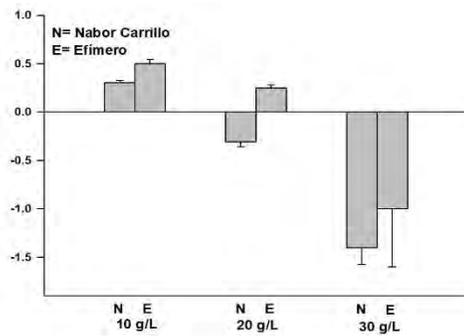


Figura 43. Tasa de crecimiento de *B. dimidiatus* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

Parte 4. *Hexarthra jenkiniae* (tabla de vida)

4.1 Supervivencia

Los valores en los tratamientos de 0.25 millones de cél/mL presentaron una supervivencia similar para ambas poblaciones de *Hexarthras* (Fig. 44) las diferencias se apreciaron en la intensidad del decaimiento de la curva de supervivencia donde éste es más pronunciado para la población del Efímero (Fig. 44 A, B, C). La mayor supervivencia se observó en los tratamientos de 10 g/L (Fig. 44 A, D), la menor se registró en la salinidad de 30 g/L (Fig. 44 C, F). Ambas poblaciones fueron afectadas negativamente por el gradiente salino, entre mayor fue la salinidad, la supervivencia disminuyó (Fig. 44).

A 1 millón de cél/mL la supervivencia observada fue equivalente tanto para la población del Efímero como para la de Nabor (Fig. 45), la disparidad entre ambos grupos de organismos se distingue en la agudeza del decaimiento en la curva, la cual fue superior en la población del Efímero (Fig. 45 A, B, C). El tratamiento de 10 g/L mostró la mayor supervivencia con ocho días (Fig. 45 A, D), la menor se observó a 30 g/L (Fig. 45 C, F). El factor que limitó la supervivencia fue la salinidad, provocado su aminoración (Fig. 45).

En conjunto, las poblaciones en ambas concentraciones de alimento (0.25 y 1 millón de cél/mL) se vieron afectadas negativamente por el incremento en la salinidad (Figs. 44 y 45) reduciendo la supervivencia entre mayor fue la concentración de sales.

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

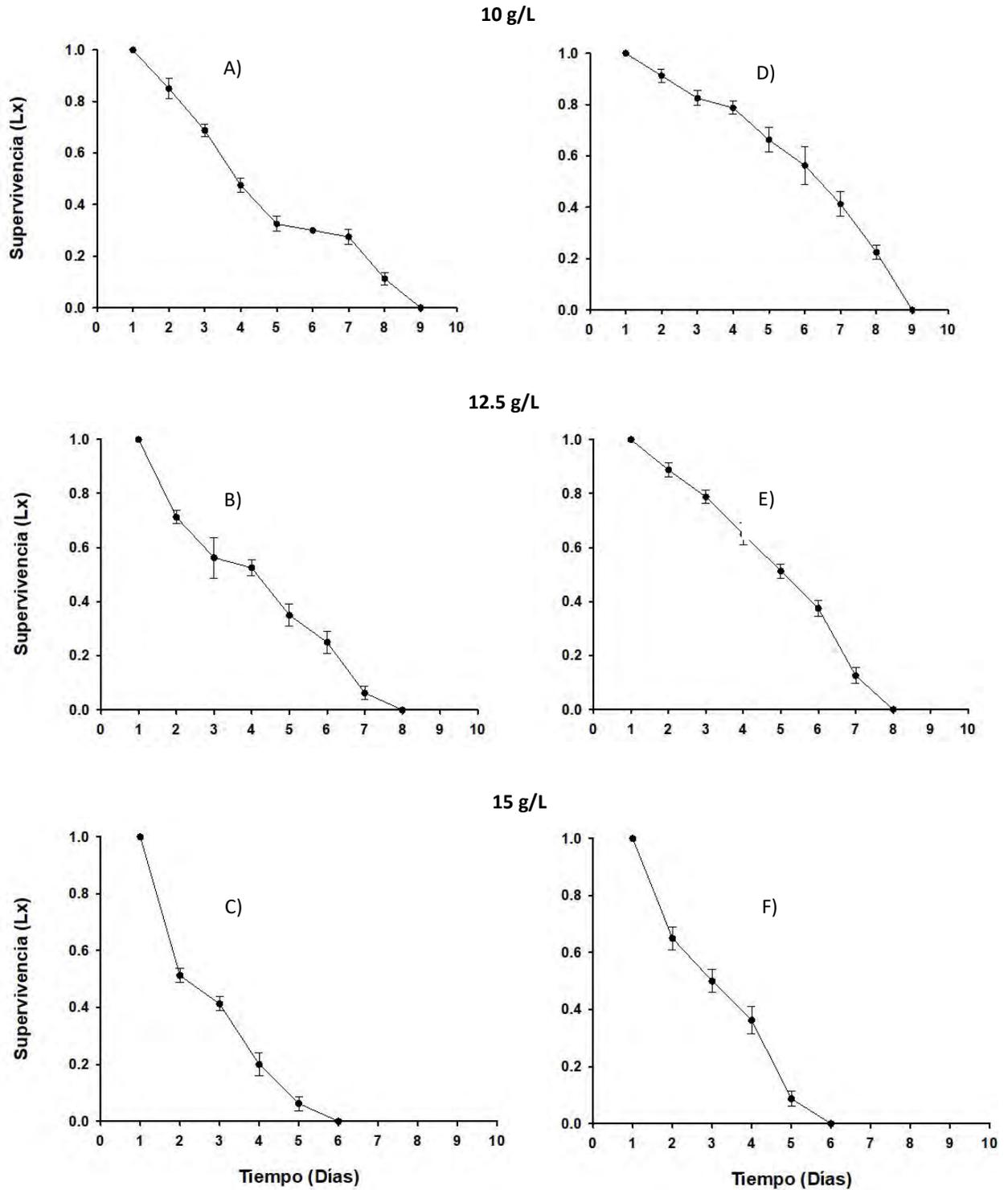


Figura 44. Supervivencia de *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

Supervivencia de *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

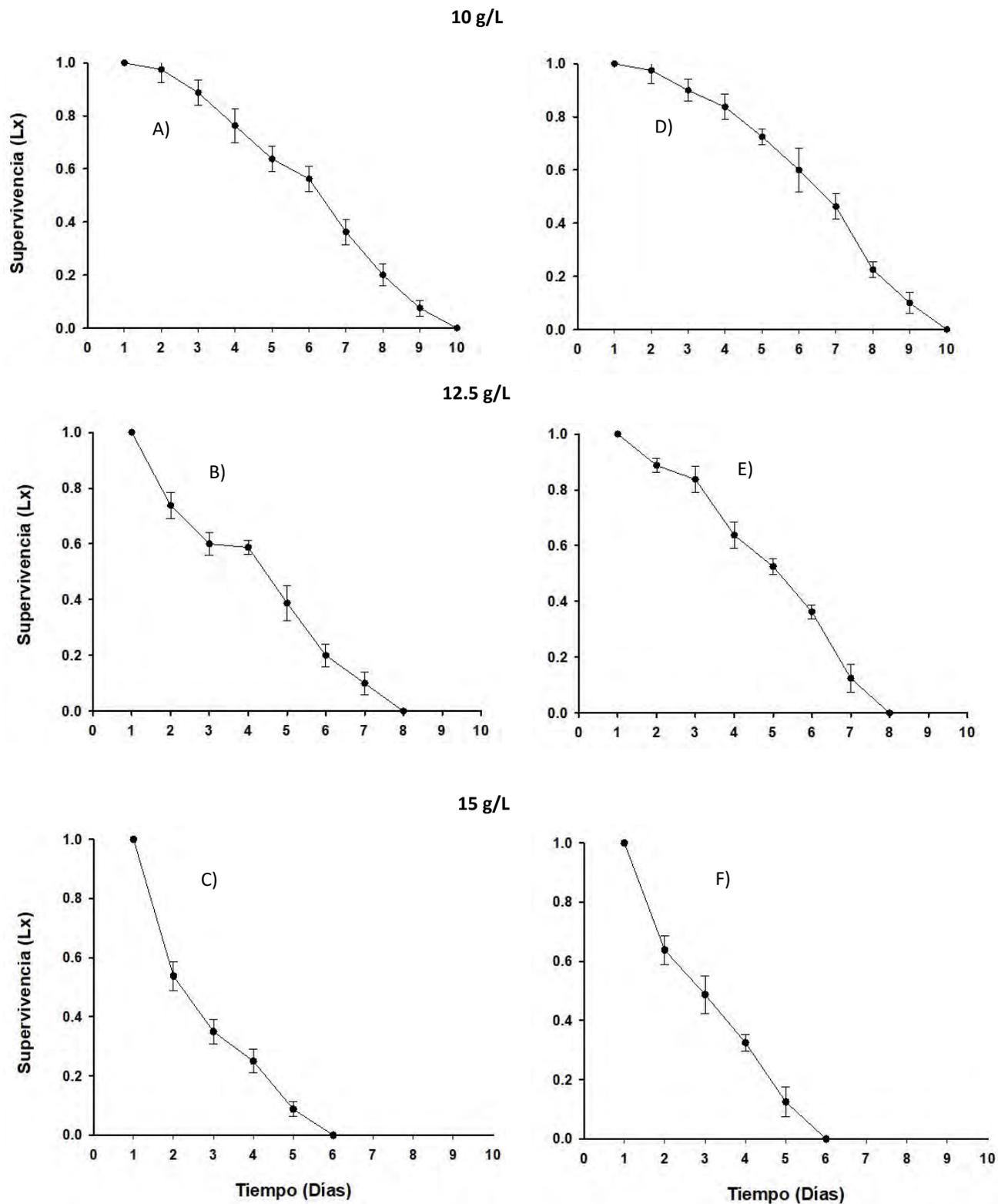


Figura 45. Supervivencia de *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

Supervivencia de *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

4.2 Fecundidad

En la concentración de 0.25 millones de cél/mL resultó una fecundidad semejante entre las poblaciones del Efímero y Nabor (Fig. 46). Los mayores valores se presentaron en las salinidades de 10 g/L (Fig. 46 A, D), y los menores a la concentración de 30 g/L (Fig. 46 C, F). Este parámetro demográfico se vio intervenido por el gradiente salino, provocando una disminución en la fecundidad en tanto la salinidad incrementó (Fig. 46).

Los organismos que se desarrollaron a 1 millón de cél/mL presentaron similitudes en su fecundidad independientemente de su población (Fig. 47). Los tratamientos del Efímero mostraron un periodo mayor de fecundidad (Fig. 47 A, B, C) respecto a su homólogo Nabor (Fig. 47 D, E, F). La mayor fecundidad se registró en los tratamientos de 10 g/L (Fig. 47 A, D), mientras que los menores se observaron a 30 g/L (Fig. 47 C, F). El incremento en la salinidad afectó negativamente la fecundidad de ambas poblaciones (Fig. 47).

La disminución en la fecundidad de ambas poblaciones se atribuyó al gradiente de salinidad, donde los mayores valores de fecundidad correspondieron a la menor concentración de sal (Figs. 46 y 47 A, D).

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 0.25 millones de células/mL

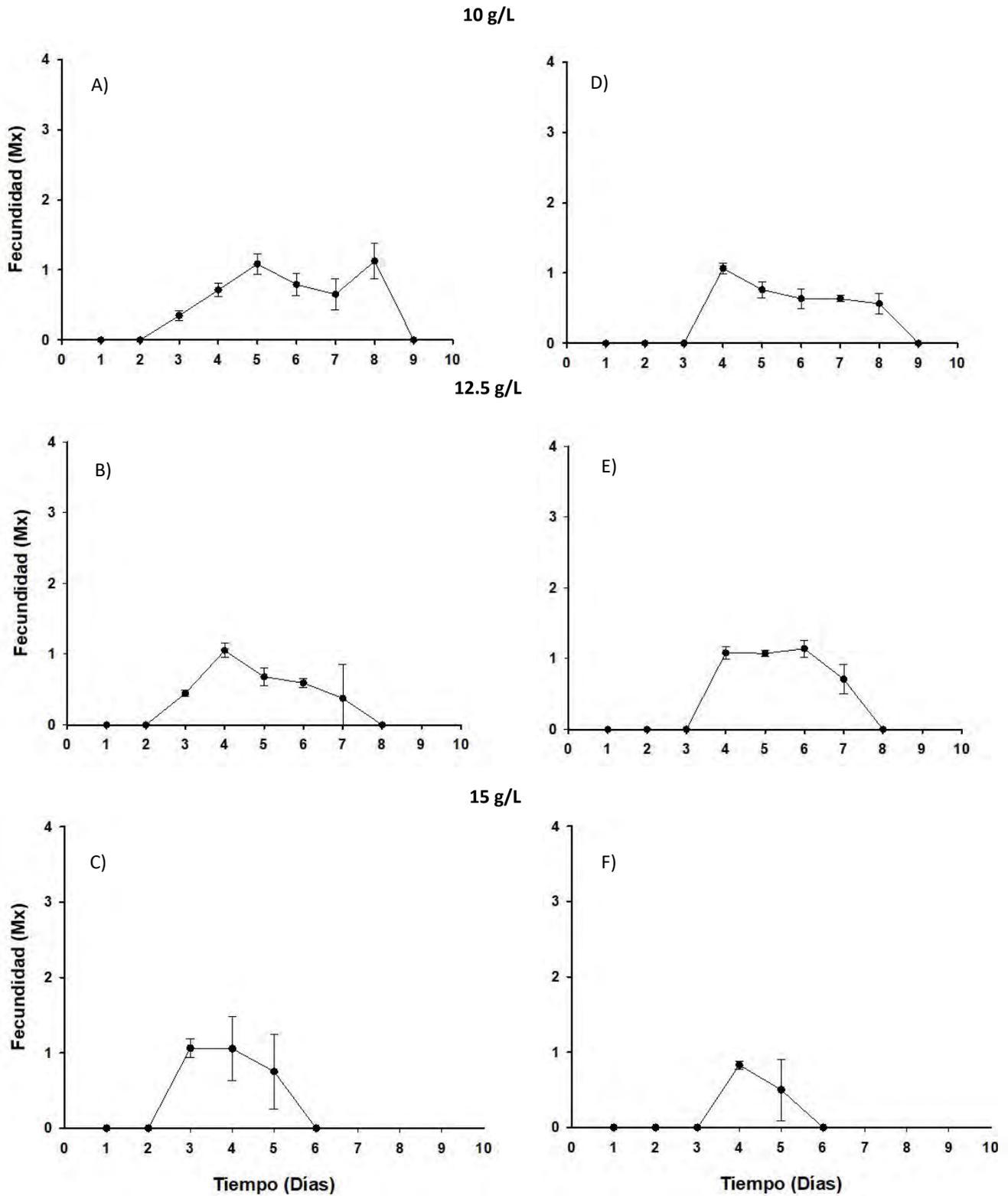


Figura 46. Fecundidad de *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

Fecundidad de *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

Hexarthra jenkiniae población Efímero y Nabor a 1 millón de células/mL

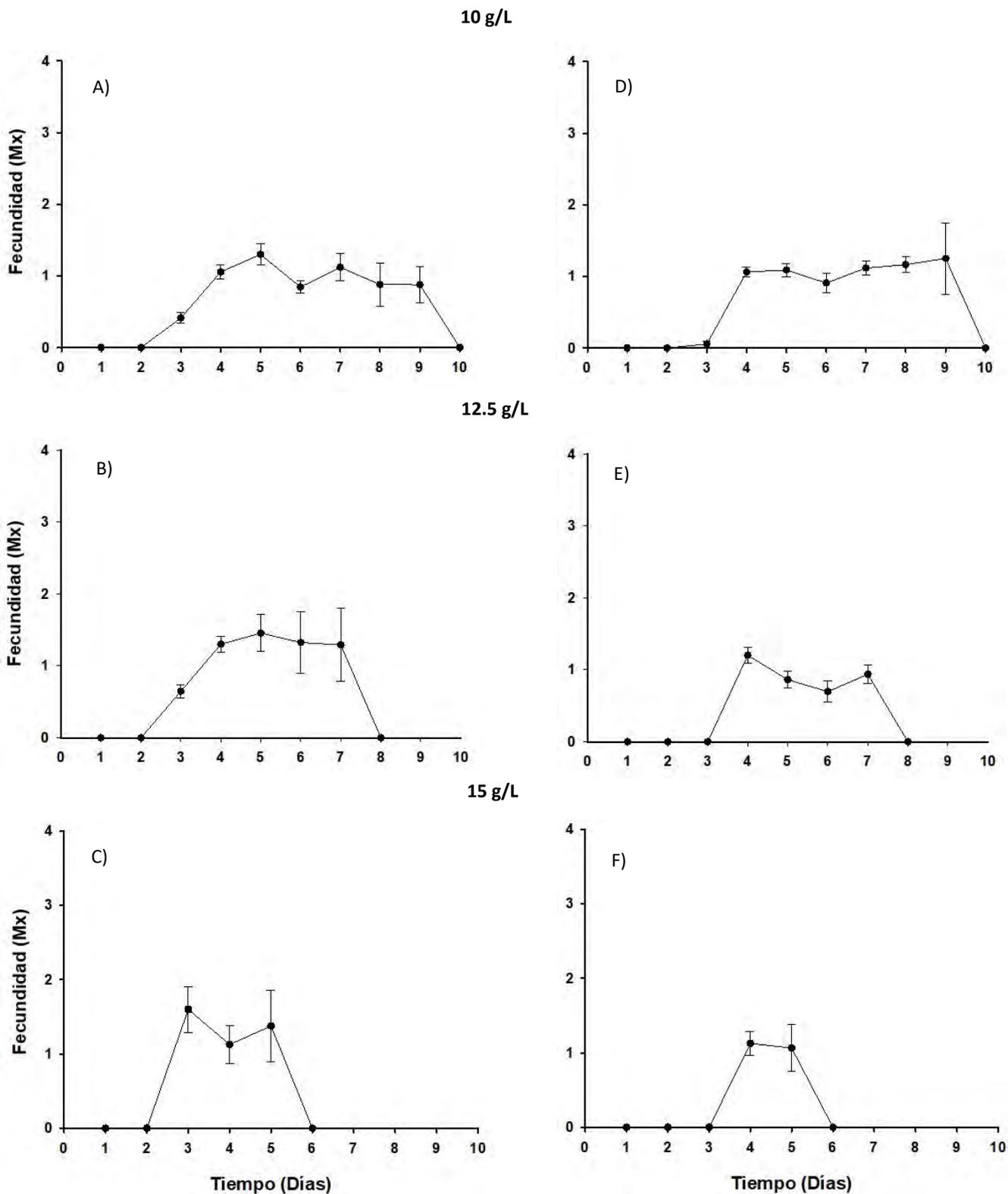


Figura 47. Fecundidad de *Hexarthra jenkiniae* población del Efímero (A, B, C)

Fecundidad de *Hexarthra jenkiniae* población Nabor (D, E, F).

4.3 Promedio de vida

Los valores de promedio de vida oscilaron entre 2.3 y 5.7, los mayores correspondieron a la población de Nabor, y los menores a los organismos del Efímero (Figs. 48 y 49). La disminución en el promedio de vida estuvo relacionada con el incremento en la salinidad. Se encontró una interacción significativa entre las tres variables; concentración de alimento, población y salinidad (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

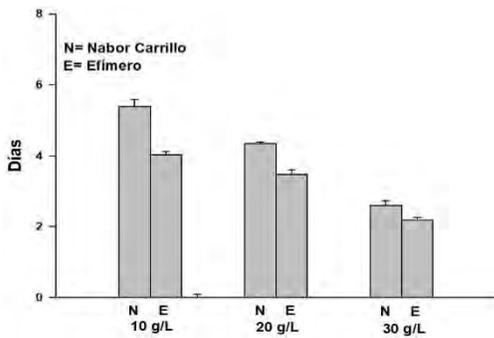


Figura 48. Promedio de vida de *Hexarthra jenkiniae* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

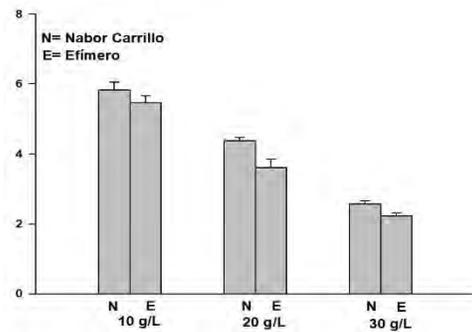


Figura 49. Promedio de vida de *Hexarthra jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

4.4 Esperanza de vida

Los organismos de Nabor presentaron una esperanza de vida mayor que aquellos provenientes del Efímero, esto se observó en ambas concentraciones de alimento, 0.25 y 1 millón de cél/mL (Figs. 50 y 51). Este parámetro demográfico decreció conforme la salinidad aumentó. Los valores oscilaron entre 5.7 y 2.1 días. Se encontraron diferencias significativas entre las interacciones de las tres variables población, salinidad y nivel de alimento (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

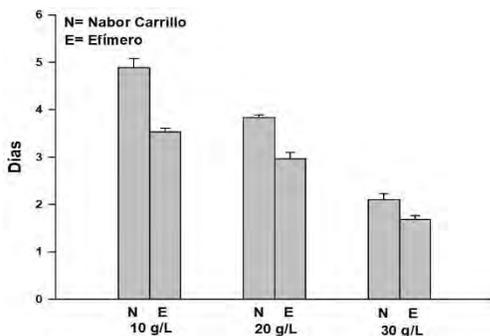


Figura 50. Esperanza de vida de *Hexarthra jenkiniae* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

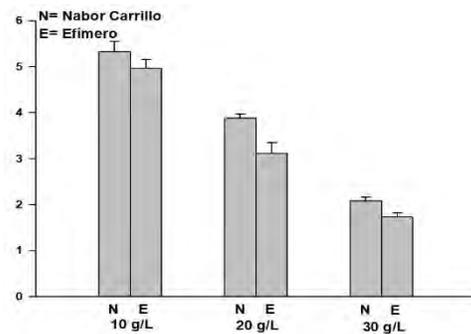


Figura 51. Esperanza de vida de *Hexarthra jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

4.5 Tasa bruta de reproducción

El número de neonatos presentó una tendencia a disminuir cuando la salinidad aumentó (Figs. 52 y 53), con una excepción en el tratamiento de 20 g/L población Efímero donde la tasa bruta de reproducción fue similar con la salinidad de 10 g/L (Fig. 53). Los valores de la población del Efímero fueron mayores o similares respecto a los de Nabor, con la excepción del tratamiento de 20 g/L (Fig. 52). La interacción entre los factores fue significativa (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

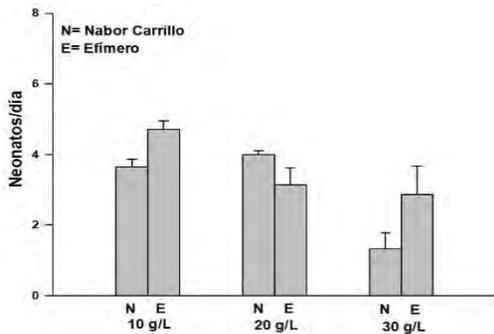


Figura 52. Tasa bruta de reproducción de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

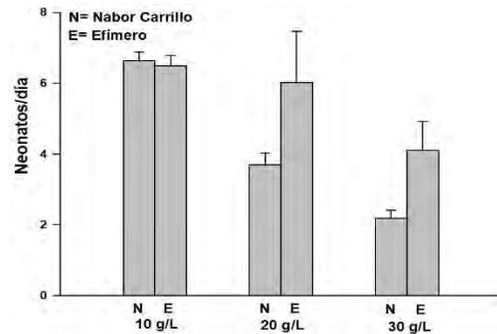


Figura 53. Tasa bruta de reproducción de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

4.6 Tasa neta de reproducción

Los resultados muestran que los mayores valores se encontraron en los tratamientos de 10 g/L, mientras que los menores se presentaron en la salinidad de 30 g/L (Figs. 54 y 55). Los datos no mostraron una tendencia dentro del factor población, sin embargo, se observó una disminución de la tasa neta de crecimiento relacionada al incremento del gradiente salino. La diferencia entre tratamientos y factores fue significativa (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

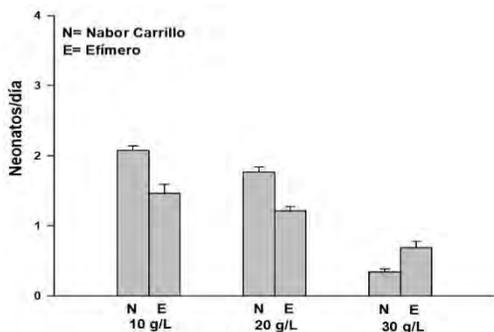


Figura 54. Tasa neta de reproducción de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

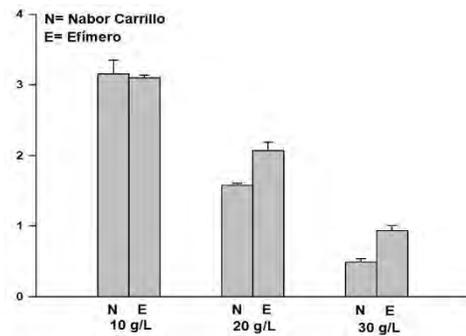


Figura 55. Tasa neta de reproducción de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

4.7 Tiempo generacional

La población de Nabor requirió más tiempo para presentar su primer evento reproductivo en relación a los organismos del Efímero (Figs. 56 y 57). El tratamiento en el que menos tiempo necesitaron los organismos para reproducirse fue a 10 g/L, el incremento en el gradiente salino redujo el tiempo generacional (Figs. 56 y 57). Las interacciones entre los factores fueron significativas (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

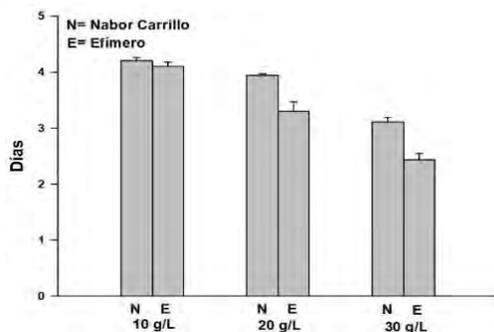


Figura 56. Tiempo generacional de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

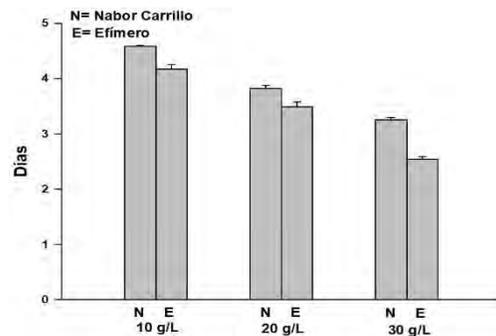


Figura 57. Tiempo generacional de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

4.8 Tasa de crecimiento poblacional

El incremento poblacional en ambas poblaciones de estudio fue positivo en las salinidades de 10 y 20 g/L, mientras que para la concentración de 30 g/L fue negativo (Figs. 58 y 59). Las tasas de crecimiento son mayores en Nabor para los tratamientos de 10 y 20 g/L a 0.25 millones de cél/mL (Fig. 58), mientras que para la concentración de 1 millón de cél/mL corresponde a la población del Efímero en las tres salinidades (Fig. 59). Las diferencias entre tratamientos y factores fueron significativas (ANDEVA de tres vías, $P < 0.001$).

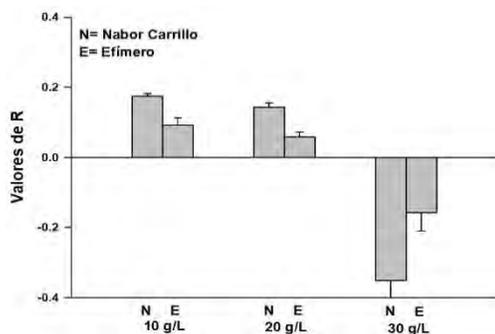


Figura 58. Tasa de crecimiento de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 0.25 millones de cél/mL.

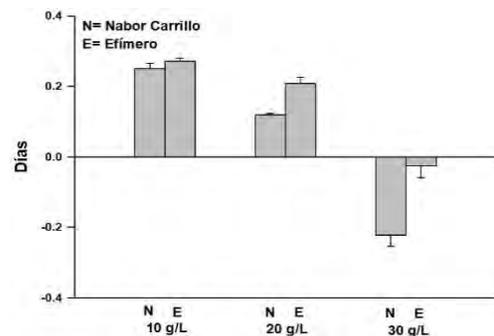


Figura 59. Tasa de crecimiento de *H. jenkiniae* con ambas poblaciones a 1 millón de cél/mL.

X

DISCUSIÓN

Las aguas epicontinentales de México se encuentran distribuidas de forma irregular (De La Lanza y García, 2002). La topografía accidentada, así como una precipitación pluvial diferencial y climas diversos, crea entornos para la existencia de sistemas lacustres tanto dulceacuícolas como salinos. Tomando en cuenta que cuatro de los ocho mayores lagos de México son salinos, podemos considerar que la proporción es equivalente. Los sistemas salinos pueden ser sub clasificados por su composición iónica predominante (cloruros, sulfatos o carbonatos) siendo el Lago de Texcoco único en su clase (Alcocer y Hammer, 1998). Pertenece a un grupo de ambientes lacustres que son conocidos como lagos sódicos, estos poseen un pH entre 8 y 12 (altamente alcalinos), salinidad compuesta de carbonatos y bicarbonatos principalmente, así mismo pueden presentar hipersalinidad (Jones *et al.* 1998). Los parámetros que obtuvimos en campo fueron: pH 10.34, salinidad entre 5 y 67 g/L y un visible florecimiento cianobacteriano. Durante la obtención de los organismos se observó la presencia de cianobacterias de los géneros *Planktothrix*, *Microcystis* y *Arthorspira*, lo cual concuerda con lo reportado por Barrios *et al.*, (2017). Las condiciones que proporcionan estos sistemas acuáticos a los organismos que habitan en él son extremas; uno de los factores más importantes que determinan que tan inhóspito puede ser dicho hábitat es la salinidad. En el caso particular de la zona Federal Lago de Texcoco se encontraron salinidades de hasta 67 g/L, y en trabajos anteriores se ha llegado a reportar valores superiores a los 80 g/L (Castillo, 1985).

La riqueza de organismos zooplanctónicos en la Zona Federal Lago de Texcoco corresponde a once especies del filo rotífera, una de cladóceros, una de copépodos y una de ostrácodos. Entre los organismos con mayor presencia y abundancia se encuentran las especies *Brachionus dimidiatus* y *Hexarthra jenkiniae*, tanto en

sistemas permanentes y efímeros (Carmona-Ruiz, 2015), razón por la cual se decidió utilizar a estos organismos como sujetos de prueba, evaluando así los cambios en sus ciclos vitales, como lo puede ser la alternancia entre reproducción sexual y asexual.

En lo que concierne a la dinámica poblacional del presente estudio, se observaron interacciones entre los factores utilizados (poblaciones diferentes de la misma especie, concentración de sales y alimento). La interacción que siempre mostró significancia ($P < 0.001$) fue salinidad por sitio. Se conoce que la presencia de altas concentraciones de sales es uno de los factores más importantes, y que afectan en mayor medida la dinámica poblacional respecto a otros (Walz, 1995; Grant, 1993). En la presente investigación de tesis las pruebas fueron realizadas con cambios drásticos en la salinidad, con aumentos de 10 g/L para las poblaciones de *B. dimidiatus* y de 2.5 g/L para *H. jenkinsae*.

Los ensayos realizados en *B. dimidiatus* mostraron altas abundancias, principalmente en aquellas pruebas hechas en la población del sistema Efímero. Se observó que el factor salinidad influyó negativamente en el desarrollo poblacional; en tanto la salinidad aumentó, las densidades disminuyeron. Tal como se esperaba, en condiciones de la menor salinidad experimental el aumento de concentración de alimento propició el desarrollo de la población, siendo así, la menor abundancia con 120 ind/mL y la mayor con 720 ind/mL. Valores altos de densidad ya habían sido reportados por Riou-Dirwat (1971), con abundancias de hasta 600 ind/mL, posteriormente Pourriot y Rougier (1975), realizaron experimentos con esta especie en donde se varió el tipo de alimento y temperatura, ellos observaron un desarrollo poblacional alto cuando la calidad y cantidad de alimento fue óptimo para *B. dimidiatus*.

En *H. jenkinsae* presentó la misma tendencia en este estudio; la salinidad afectó el desarrollo poblacional, de igual forma la concentración de alimento, al ser mayor impulsó la aparición de altas abundancias. Estas se presentaron en la menor salinidad con 70 ind/mL y la menor densidad con 16 ind/mL en la mayor concentración salina. Sarma *et al.*, (2002) encontraron crecimiento de hasta 203

ind/mL para *H. jenkinsae* comparando el efecto de la salinidad (aumento de concentración) y la competencia con *Brachionus rotundiformis*, el desarrollo poblacional fue mayor, pero este fue detectado en una salinidad menor (6 g/L) a la mínima utilizada en las pruebas que fue 10 g/L. Es conocido que el género *Hexarthra* es concurrente en los ambientes salino-alcálinos, por lo cual se espera su adaptación con la salinidad, pero se sabe que afecta su desarrollo poblacional (Herzig y Koste, 1989).

De los sujetos experimentales utilizados (*B. dimidiatus* y *H. jenkinsae*), se conoce que el primero es un organismo típico de estos ambientes, por lo cual podemos considerar que está mejor adaptado a ellos. Esto lo podemos constatar por las altas abundancias que se observaron en las pruebas (720 ind/mL), así como lo reportado en trabajos de campo, donde se observaron densidades mayores a 300 ind/mL (Hanife y Sabri, 2008; Carmona-Ruiz, 2015). El zooplancton no suele ser diverso en estos hábitats, y además tiende a mostrar dominancias casi absolutas de una sola especie (Grant *et al.*, 1990). Esto concuerda con lo observado en nuestros muestreos y lo reportado por Carmona-Ruiz (2015), donde *B. dimidiatus* fue la especie dominante y generalmente muestra altas abundancias durante todo el año. Por las características presentadas en este trabajo experimental y observaciones de campo, se puede afirmar que la especie *B. dimidiatus* se adapta con mayor facilidad a los ambientes efímero-salinos que *H. jenkinsae*.

Los parámetros demográficos observados en los distintos tratamientos mostraron variación e interacciones significativas entre sí ($P < 0.001$). La interacción más frecuente se dio entre las variables salinidad y población, de tal forma que se puede concluir que el gradiente salino es un factor de primera importancia que influye en el desarrollo del ciclo vital de *B. dimidiatus* y *H. jenkinsae*. Se ha reportado con anterioridad que la salinidad impone un compromiso en el desarrollo del ciclo vital, por ejemplo, una reducción en la supervivencia, y que a largo plazo permea en los rasgos distintivos de la historia de vida conduciendo a cambios evolutivos (Campillo *et al.*, 2011; Smith y Snell, 2014).

Los resultados sugieren que la demografía de *B. dimidiatus* fue alterada en primera instancia por el aumento en el gradiente salino. La supervivencia fue menor en las salinidades de 20 y 30 g/L, donde se vio reducida entre dos y seis días. La población del sistema Efímero tuvo una supervivencia mayor que Nabor, con un rango entre uno y tres días. Se sabe que esta tendencia en la reducción de la supervivencia se aprecia en general en los rotíferos, incluso el desarrollo poblacional puede verse atrasado (Lubzens, 1987; Sarma *et al.*, 2006). Se ha observado, por ejemplo, que en *Brachionus calyciflorus* la supervivencia y reproducción son óptimas a bajas concentraciones salinas entre 0 y 0.5 g/L y que se ven afectadas negativamente a mayores gradientes salinos (Anitha *et al.*, 2016). El aumento en la concentración de alimento (de 0.25 a 1 millón de cél/mL) se correlacionó con una mayor supervivencia, entre uno y tres días. Es ampliamente reconocido que un hábitat con suficiente disponibilidad de alimento aumenta la longevidad (Lubzens y Zmora, 2003; Gilbert, 2004; Snell, 2006). La fecundidad fue menor en altas concentraciones de sal (20 y 30 g/L). En la población del sistema Efímero se observó una fecundidad aproximadamente 25 % mayor que en Nabor, esto pudo haber sucedido por la mayor adaptabilidad de los organismos provenientes de sistemas Efímeros. Pourriot y Rougier (1975) observaron rangos de fecundidad de esta misma especie entre 0.10 y 2.6, mientras que en el presente trabajo se observaron fluctuaciones entre 0.5 y 4.5, significativamente mayores. Los valores altos correspondieron a la salinidad más baja (10 g/L), mientras que la utilizada por Pourriot y Rougier fue de 20 g/L, probablemente eso explique las diferencias entre los valores de fecundidad. También queda mencionar que la fecundidad con la alta concentración de alimento fue de aproximadamente 15% mayor. Las estimaciones en las tasas de crecimiento se sitúan entre 0.11 y 0.38 los cuales son significativamente menores que los encontrados por Pourriot y Rougier (1975), donde los valores de “r” reportados por ellos están entre 0.42 y 0.74.

Las poblaciones de *H. jenkiniae* mostraron variaciones importantes en sus parámetros demográficos, siendo la variable salinidad la que más impacto tuvo sobre ellos. La supervivencia en ambas poblaciones disminuyó al aumentar la salinidad entre uno y tres días. Existen ligeras diferencias entre la población Efímero

y Nabor, esto es apreciable en las pendientes de la curva, sin embargo, ambas llegan al mismo día de supervivencia máxima (9, 8 y 6 días). Se ha reportado que cierto porcentaje de individuos del género *Hexarthra* provenientes de sistemas efímeros comprometen su desarrollo individual para la producción de huevos de resistencia, generalmente se cree que el factor externo que estimula la reproducción sexual en estos ambientes es la salinidad, y una de las consecuencias es la disminución en la supervivencia (Ricci, 2001; Schröder *et al.*, 2007). Durante la fase experimental observamos la producción de estas estructuras de resistencia. Respecto a la concentración de alimento se pudo apreciar que la supervivencia fue superior en tanto se aumentó la cantidad de algas, siendo aproximadamente un día más que en la concentración baja. Es conocido que cuando la disponibilidad de alimento es óptima se puede tener una mayor supervivencia, dando como consecuencia altas densidades poblacionales (Schröder, 2005; Gilbert, 2007). Los valores que se observaron de fecundidad para las poblaciones de *H. jenkinsae* oscilaron entre 0.9 y 1.7, observándose una reducción de la fecundidad conforme aumentó la salinidad. La población del Efímero mostró una fecundidad aproximadamente 13% mayor que Nabor, esto puede explicarse porque la población del sistema Efímero ya estaba habituada a mayores inclemencias ambientales que su homólogo (Schröder, 2005); esto se puede corroborar con observaciones obtenidas de ambientes similares. El lago Neusiedler See es un ambiente salino-alkalino en el cual se han reportado diferentes especies de *Hexarthra*, entre ellas *H. jenkinsae*. El desarrollo poblacional que se puede observar en dicho lugar es mayor cuando es época de lluvias (junio-agosto) y el ambiente es benigno; las mayores densidades corresponden a ese tiempo (Herzig y Koste, 1989). La tasa de crecimiento varió entre 0.15 y 0.55, siendo los valores altos para la población del Efímero, estos a su vez son significativamente mayores a los reportados por Sarma *et al.*, (2006), donde se apreció una tasa de incremento máxima de 0.274. Los organismos que utilizaron provenían de cuerpos de agua del centro de México, la densidad de alimento utilizada fue de 1 millón de cél/mL.

Las alteraciones drásticas en el ciclo de vida representan la antesala de adaptaciones en las poblaciones. Los ambientes efímeros representan un reto para

los organismos que habitan en ellos. Las variables externas cambian en periodos de tiempo cortos, por lo cual se imponen compromisos en los individuos, que en un futuro pueden permear en la historia de vida de sus respectivas poblaciones (Waterkeyn *et al.*, 2008; Smith y Snell, 2014). El factor más importante en los sistemas efímeros es la salinidad, la cual dificulta la permanencia de los organismos. Los ambientes con presencia salina suelen presentar baja riqueza de especies y alta densidades de las presentes (Grant *et al.*, 1990; Waterkeyn *et al.*, 2008). Por lo cual, para asegurar la perpetuación de su especie los organismos recurren a adaptaciones. Típicamente los organismos zooplanctónicos, en especial los rotíferos tienden a la reproducción sexual, lo que conlleva a compromisos, tales como la reducción de la esperanza de vida y una acelerada maduración sexual (Allan, 1976; Pourriot y Snell, 1983; Stearns, 1992; García-Roger, 2006; Smith y Snell, 2014). Para determinar que tanta plasticidad o incluso divergencia presentan los organismos de ensayo del presente estudio se pueden realizar pruebas a distintos niveles, desde enfoques genéticos y moleculares, hasta ecología de poblaciones (Stelzer, 2005), y así conocer con mayor profundidad las razones del porqué de las diferencias mostradas entre poblaciones de la misma especie.

XI

CONCLUSIONES

- La densidad poblacional se vio afectada por la concentración de alimento y el aumento en la salinidad, la mayor abundancia en general se observó en las poblaciones del sistema Efímero, siendo la más significativa en la especie *B. dimidiatus*.
- La producción de huevos en el experimento de crecimiento poblacional tiene pocos casos de correlaciones positivas, y las que se detectaron están ligadas al aumento de salinidad, entre mayor fue este, la producción de huevos se redujo.
- La tasa r en el crecimiento poblacional se vio afectada por los incrementos en la concentración de sales, en general, al aumentar la salinidad las tasas de crecimiento fueron menores; las tasas altas de “ r ” correspondieron en general a las poblaciones provenientes del sistema Efímero.
- La supervivencia se redujo en ambas poblaciones en relación con el aumento de salinidad, siendo la más afecta la del sistema permanente (Nabor).
- La fecundidad aminoró al ser expuestas las hembras a salinidades mayores, así también se observó que, para ambas especies, la fecundidad fue mayor en la población del sistema Efímero.
- El promedio y la esperanza de vida se vieron afectadas por el gradiente salino, que al aumentar este parámetro descendieron; las poblaciones del sistema permanente (Nabor) en general tuvieron los valores más bajos para ambas especies.
- Las tasas bruta y neta disminuyeron en los tratamientos de mayor salinidad, las altas tasas corresponden generalmente a los organismos provenientes del sistema Efímero, esto para ambas especies.
- El tiempo generacional disminuyó al aumentar la salinidad, siendo similar en ambas poblaciones y para las dos especies.

- La tasa r disminuyó drásticamente en tanto el gradiente salino aumentó, llegando incluso a números negativos, esta tendencia ocurrió por igual para ambas especies y poblaciones.

XII

ANEXOS

11.1 Galería Nabor Carrillo y sistemas Efímeros



Figura 60. De izquierda a derecha, fotografía aérea y al nivel del suelo del Lago Nabor Carrillo



Figura 61. Fotografías de los sistemas Efímeros en la zona Federal Lago de Texcoco

11.2 Fotografías de los organismos utilizados



Figura 62. Fotografía de *Brachionus dimidiatus*

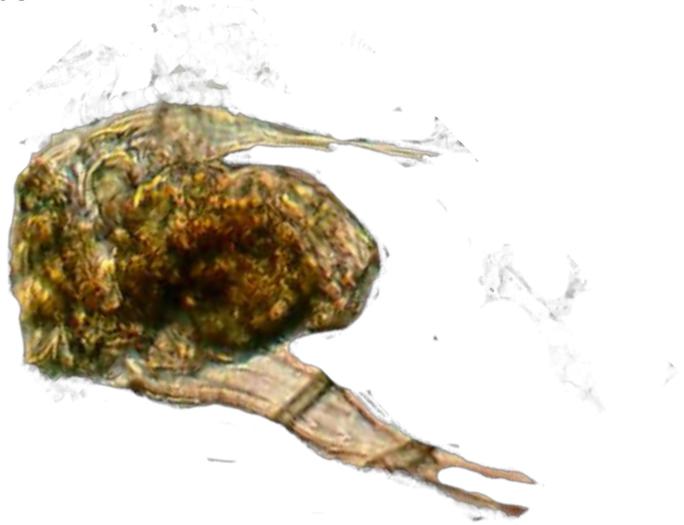


Figura 63. Fotografía de *Hexarthra jenkiniae*

11.3 Análisis estadísticos de tabla de vida de *Brachionus dimidiatus*

Cuadro 3. ANDEVA de tres vías para promedio de vida.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	8.777	8.777	96.370	<0.001
Alimento	1	0.942	0.942	10.346	0.003
Salinidad	2	55.378	27.689	304.036	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.0485	0.0485	0.532	0.470
Sitios x Salinidad	2	6.384	3.192	35.051	<0.001
Alimento x Salinidad	2	0.478	0.239	2.627	0.086
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.0703	0.0352	0.386	0.682
Residual	36	3.279	0.0911		
Total	47	75.357	1.603		

Cuadro 4. ANDEVA de tres vías para esperanza de vida.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	8.798	8.798	96.260	<0.001
Alimento	1	0.935	0.935	10.232	0.003
Salinidad	2	55.314	27.657	302.600	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.0501	0.0501	0.548	0.464
Sitios x Salinidad	2	6.365	3.183	34.820	<0.001
Alimento x Salinidad	2	0.483	0.242	2.644	0.085
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.0704	0.0352	0.385	0.683
Residual	36	3.290	0.0914		
Total	47	75.306	1.602		

Cuadro 5. ANDEVA de tres vías para tasa bruta de reproducción.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	72.022	72.022	19.600	<0.001
Alimento	1	21.558	21.558	5.867	0.021
Salinidad	2	1245.926	622.963	169.535	<0.001
Sitios x Alimento	1	1.918	1.918	0.522	0.475
Sitios x Salinidad	2	31.428	15.714	4.277	0.022
Alimento x Salinidad	2	16.034	8.017	2.182	0.128
Sitios x Alimento x Salinidad	2	36.306	18.153	4.940	0.013
Residual	36	132.283	3.675		
Total	47	1557.476	33.138		

Cuadro 6. ANDEVA de tres vías para tasa neta de reproducción.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	24.905	24.905	139.915	<0.001
Alimento	1	3.139	3.139	17.635	<0.001
Salinidad	2	138.490	69.245	389.020	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.197	0.197	1.107	0.300
Sitios x Salinidad	2	12.526	6.263	35.185	<0.001
Alimento x Salinidad	2	3.256	1.628	9.146	<0.001
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.574	0.287	1.614	0.213
Residual	36	6.408	0.178		
Total	47	189.495	4.032		

Cuadro 7. ANDEVA de tres vías para tiempo generacional.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	0.555	0.555	7.749	0.009
Alimento	1	0.684	0.684	9.545	0.004
Salinidad	2	23.468	11.734	163.822	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.00262	0.00262	0.0366	0.849
Sitios x Salinidad	2	5.429	2.714	37.898	<0.001
Alimento x Salinidad	2	0.264	0.132	1.843	0.173
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.384	0.192	2.679	0.082
Residual	36	2.579	0.0716		
Total	47	33.365	0.710		

Cuadro 8. ANDEVA de tres vías para tasa de crecimiento.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	2.240	2.240	49.212	<0.001
Alimento	1	0.193	0.193	4.236	0.047
Salinidad	2	22.866	11.433	251.126	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.0268	0.0268	0.589	0.448
Sitios x Salinidad	2	0.410	0.205	4.498	0.018
Alimento x Salinidad	2	0.0343	0.0172	0.377	0.689
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.0586	0.0293	0.643	0.531
Residual	36	1.639	0.0455		
Total	47	27.468	0.584		

11.4 Análisis estadísticos de tabla de vida de *Hexarthra jenkiniae*

Cuadro 9. ANDEVA de tres vías para promedio de vida.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	5.672	5.672	267.349	<0.001
Alimento	1	1.435	1.435	67.650	<0.001
Salinidad	2	62.020	31.010	1461.685	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.460	0.460	21.692	<0.001
Sitios x Salinidad	2	0.567	0.283	13.353	<0.001
Alimento x Salinidad	2	2.116	1.058	49.863	<0.001
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.556	0.278	13.112	<0.001
Residual	36	0.764	0.0212		
Total	47	73.590	1.566		

Cuadro 10. ANDEVA de tres vías para esperanza de vida.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	5.672	5.672	267.349	<0.001
Alimento	1	1.435	1.435	67.650	<0.001
Salinidad	2	62.020	31.010	1461.685	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.460	0.460	21.692	<0.001
Sitios x Salinidad	2	0.567	0.283	13.353	<0.001
Alimento x Salinidad	2	2.116	1.058	49.863	<0.001
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.556	0.278	13.112	<0.001
Residual	36	0.764	0.0212		
Total	47	73.590	1.566		

Cuadro 11. ANDEVA de tres vías para tasa bruta de reproducción.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	11.254	11.254	31.941	<0.001
Alimento	1	29.583	29.583	83.965	<0.001
Salinidad	2	61.006	30.503	86.576	<0.001
Sitios x Alimento	1	1.836	1.836	5.210	0.028
Sitios x Salinidad	2	3.585	1.793	5.088	0.011
Alimento x Salinidad	2	4.036	2.018	5.727	0.007
Sitios x Alimento x Salinidad	2	9.855	4.927	13.986	<0.001
Residual	36	12.684	0.352		
Total	47	133.838	2.848		

Cuadro 12. ANDEVA de tres vías para tasa neta de reproducción.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	0.00188	0.00188	0.214	0.646
Alimento	1	4.750	4.750	542.881	<0.001
Salinidad	2	27.082	13.541	1547.542	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.963	0.963	110.095	<0.001
Sitios x Salinidad	2	1.081	0.540	61.768	<0.001
Alimento x Salinidad	2	3.206	1.603	183.220	<0.001
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.439	0.220	25.113	<0.001
Residual	36	0.315	0.00875		
Total	47	37.839	0.805		

Cuadro 13. ANDEVA de tres vías para tiempo generacional.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	2.767	2.767	437.426	<0.001
Alimento	1	0.190	0.190	30.053	<0.001
Salinidad	2	16.430	8.215	1298.818	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.000485	0.000485	0.0767	0.783
Sitios x Salinidad	2	0.400	0.200	31.654	<0.001
Alimento x Salinidad	2	0.0727	0.0364	5.749	0.007
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.198	0.0988	15.626	<0.001
Residual	36	0.228	0.00632		
Total	47	20.286	0.432		

Cuadro 14. ANDEVA de tres vías para tasa de crecimiento.

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Sitios	1	0.0369	0.0369	51.080	<0.001
Alimento	1	0.137	0.137	190.243	<0.001
Salinidad	2	1.370	0.685	949.347	<0.001
Sitios x Alimento	1	0.0256	0.0256	35.533	<0.001
Sitios x Salinidad	2	0.119	0.0597	82.775	<0.001
Alimento x Salinidad	2	0.0119	0.00594	8.230	0.001
Sitios x Alimento x Salinidad	2	0.0153	0.00763	10.575	<0.001
Residual	36	0.0260	0.000721		
Total	47	1.742	0.0371		

XIII

REFERENCIAS

Alcocer, J. y Hammer U. T. 1998. Saline lake ecosystems of Mexico. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1:291-315.

Allan, J.D. 1976. Life History Patterns in Zooplankton. *The American Naturalist*. 110: 165-180.

Anitha P.S., Sabu A.S. y Rani M.G. 2016. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 4(4): 219-226.

Aparici E. Carmona M.J. Serra M. 2002. Evidence for an even sex allocation in haplodiploid cyclical parthenogens. *J. Evol. Biol.* 15: 65-73.

Aránguiz-Acuña A., Ramos-Jilberto R. y Serra M. 2015. Zooplankton competition promotes trade-offs affecting diapause in rotifers. *Oecologia*. 177:273–279.

Barrios C.A.Z. Nandini S. Sarma. S.S.S. 2017. Effect of crude extracts from cyanobacterial blooms in Lake Texcoco (Mexico) on the population growth of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera). *Toxicon*. 139: 45-53.

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.

Campillo S. García-Roger E.M. Carmona M.J. Gómez A. Serra M. 2009. Selection on life-history traits and genetic population divergence in rotifers. *Journal of evolutionary biology*. 22:2542–2553.

Carmona, M.J. 1992. Inducción de la Fase Sexual y Aspectos Relacionados en el Rotífero *Brachionus plicatilis*. Tesis doctoral, Universitat de València, València.

Carmona-Ruiz J.A. 2015. Análisis de la Diversidad y Dinámica poblacional del zooplancton en el lago Nabor Carrillo, Texcoco Estado de México. Tesis licenciatura. UNAM, México. 68 pp.

Castillo, C. 1985. Experiencias sobre la operación de un relleno sanitario en el ex vaso de Texcoco. *Biosfera*. 5: 13-17.

Clément P. y E. Wurdak. 1991. Rotifera. En: F.W. Harrison y E.E. Ruppert (eds.), *Microscopic anatomy of invertebrates*. Vol. IV. Aschelminthes. Wiley-Liss, Inc., New York, pp. 219-297.

CONABIO. 2017. Lagos cráter de valle de Santiago. www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_061.html

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

Dumont, H.J. 1977. Biotic factors in the population dynamics of rotifers. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 8: 98-122.

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 México. 35-63.

García-Roger, E.M. 2006. Análisis demográfico de bancos de huevos diapáusicos de rotíferos. PhD Dissertation, Universitat de València, Valencia, Spain.

Gilbert, J. J., 2004. Population density, sexual reproduction and diapause in monogonont rotifers: new data for *Brachionus* and a review. *Journal of Limnology* 63(Suppl1): 32–36.

Gilbert, J. J., 2007. Timing of diapause in monogonont rotifers: mechanisms and strategies. In Alekseev, V. R., B. De Stasio & J. J. Gilbert (eds), *Diapause in Aquatic Invertebrates: Theory and Human Use*. Springer, Dordrecht:11–27.

Gilbert, J.J. 1974. Dormancy in rotifers. *Trans. Amer. Micros. Soc.* 93: 490-513.

Gilbert, J.J. 1977. Mictic-female production in monogonont rotifers. Arch. Hydrobiol. Beih. 8: 142-155.

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

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

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

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

Herzig, A. & Koste, W. 1989. The development of Hexarthra spp. in a shallow alkaline lake. Hydrobiologia. 186: 129-136.

Hickman, C.P., Jr., L.S. Roberts, y A. Larson. 1997. Zoología. Principios integrales. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.

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

Koste, W. 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. 2 vols. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Lande, R. 1982. A quantitative genetic theory of life history evolution. Ecology. 63: 607-615.

Lubzens, E. & O. Zmora, 2003. Production and nutritional value of rotifers. In Stottrup, J. G. & L. A. McEvoy (eds), Live Feeds in Marine Aquaculture. Blackwell Publishing, Oxford: 17–64 (Appendix I 300–303).

Lubzens, E. 1987. Raising rotifers for use in aquaculture. Hydrobiologia 147: 245-255.

MacArthur, R. H. (1972). Geographical ecology: Patterns in the distribution of species. New York: Harper & Row.

Martínez-Ruiz C. y García-Roger E. M. 2015. Being first increases the probability of long diapause in rotifer resting eggs. *Hydrobiologia*. 745:111–121.

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

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.

Pourriot R. y Rougier Cl. 1975. Dynamique d'une population expérimentale de *Brachionus dimidiatus* (bryce) (rotifère) en fonction de la nourriture et de la température. *Annls Limnologie*.11(2): 125-143.

Pourriot, R., y T.W. Snell. 1983. Resting eggs of rotifers. *Hydrobiologia* 10: 213-224.

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.

Ricci, C. 2001. Dormancy patterns in rotifers. *Hydrobiologia* 446/447: 1-11.

Sarma S.S.S. Elguea-Sánchez B. Nandini S. 2002. Effect of salinity on competition between the rotifers *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff and *Hexarthra jenkiniae* (De Beauchamp) (Rotifera). *Hydrobiologia*. 474:183-188.

Sarma S.S.S. Nadini S. Gulati R.D. 2006. Life history strategies of cladocerans: comparisons of tropical and temperate taxa. *Hydrobiologia*. 542:315-333.

Schröder T. Howard S. Arroyo M. L. Walsh E. J. 2007. Sexual reproduction and diapause of *Hexarthra* sp. (Rotifera) in short-lived ponds in the Chihuahuan Desert. *Freshwater biology*. 52:1033-1042.

Schröder, T. 2005. Diapause in monogonont rotifers. *Hydrobiologia* 546: 291-306.

- Smith A.H. Snell W. T. 2014. Differential evolution of asexual and sexual females in a benign culture environment. *International Review of Hydrobiology*. 99 (1-2):117-124.
- Snell, T. W., J. Kubanek, W. Carter, A. B. Payne, J. Kim, M. K. Hicks & C. P. Stelzer, 2006. A protein signal triggers sexual reproduction in *Brachionus plicatilis* (rotifera). *Marine Biology* 149: 763–773.
- Stearns, S.C. 1992. *The Evolution of Life Histories*. Oxford University Press, Oxford.
- Stelzer, CP. 2005. Evolution of Rotifer Life Histories. *Hydrobiologia*.546: 335.
- Tamayo, V. M. 1993. Contribución al conocimiento de la comunidad bentónica del lago "Nabor Carrillo" Texcoco, Mex. Tesis licenciatura. UNAM, México.
- Tunnacliffe, A., y J. Lapinski. 2003. Resurrecting Van Leeuwenhoek's rotifers: a reappraisal of the role of disaccharides in anhydrobiosis. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. (B. Biol. Sci.)*. 358: 1755-1771.
- 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.
- Walz, N. 1995. Rotifer populations in plankton communities: Energetics and life history strategies. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 51: 437- 453.
- Waterkeyn A, Grillas P, Vanschoenwinkel B, Brendonck L. Invertebrate community patterns in mediterranean temporary wetlands along hydroperiod and salinity gradients. *Freshwat Biol*. 2008; 53:1808–1822.
- Young, J.P.W. 1983. The population structure of cyclic parthenogens. En: G.S. Oxford y D. Rollinson (eds.), *Protein polymorphism: Adaptive and taxonomic significance*. Academic Press, London, pp. 361-378.