



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**Efecto del aumento de la radiación UV-B y la temperatura en el
zooplancton (*Crustacea: Cladocera*): Implicaciones del
cambio climático.**

T E S I S

Que para obtener el título de:

Licenciada en Biología

P R E S E N T A :

Paola Ivette Vázquez Martínez



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 2021



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.

DEDICATORIA

A mi mamá y papá, pilares fundamentales en mi vida, con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda estudiar y seguir adelante, se merecen esto y mucho más. Los admiro y los amo.

Posiblemente en este momento no entiendas del todo mis palabras, pero para cuando seas capaz de hacerlo, quiero que sepas que este trabajo es por y para ti.

Eres la razón por la que me esfuerzo por el presente y el mañana, tú eres mi principal motivación. Te amo mi pequeña Natalia.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM y FES Iztacala, quienes me cobijaron y me dieron todas las herramientas y oportunidades necesarias para culminar mi etapa profesional con este trabajo.

Al laboratorio de microecología ambiental del proyecto Conservación y Mejoramiento Ambiental (CyMA), por brindarme la oportunidad y las herramientas para cumplir mis metas académicas.

A todos mis profesores de asignaturas, que me orientaron, me enseñaron y me capacitaron durante toda mi carrera profesional.

A mi director de tesis el Doctor Diego de Jesús Chaparro Herrera, por permitirme ser parte del laboratorio y apoyarme en este trabajo, gracias por su orientación, conocimiento, experiencia y confianza, también por su paciencia durante todo este tiempo.

A mis sinodales: Dra. Nandini Sarma, Dr. Pedro Ramírez García, Dr. Sergio Cházaro Olvera y al Dr. Jaime Aurelio Barral Caballero gracias a sus acertadas observaciones, correcciones y consejos pude culminar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Este trabajo ha significado mucho esfuerzo, trabajo y sacrificio, no solo mío, también de mi familia y en especial de mis padres, sin su amor, su tiempo, su paciencia, sus regaños y sus porras nada de esto sería posible. Agradezco a la vida por seguir teniéndolos a mi lado, más en estos tiempos difíciles y de incertidumbre, me siento muy afortunada y orgullosa de ser su hija (la consentida). Gracias por sus valores, su trabajo, sus desvelos, su cansancio, su apoyo, su cuidado y sus sacrificios. Mamá y Papá: Los amo infinitamente, quédense conmigo mucho, mucho tiempo más.

A mis hermanas: Carolina, eres mi hermana mayor y siempre fuiste mi ejemplo, estoy orgullosa de la mujer que eres y del hermoso sobrino que me diste, gracias por tus cuidados, tu amor, tu entusiasmo y tu paciencia. Josselyn gracias por compartir tu vida conmigo, por defenderme (aunque eres más pequeña que yo) por apoyarme y quererme, por ser mi incondicional, estoy muy orgullosa de la mujer en la que te estas convirtiendo. Las amo infinitamente.

A mi nueva familia: mi hermosa hija Natalia, mi princesa y mi razón para seguir adelante, espero que algún día te sientas orgullosa de mi como yo lo estoy de mis padres, gracias por venir a este mundo a enseñarme el amor más puro y bonito del mundo y por aguantar los tiempos ausentes de mamá para que este trabajo pudiera concretarse. Te amo con toda el alma.

A mi esposo César Aldebarán, gracias por tu amor, tu paciencia, tu apoyo, tu esfuerzo, tu entusiasmo por salir adelante, gracias por tu fortaleza, sin ella yo no estaría culminando este ciclo, agradezco también tu dedicación por Naty y por mi. Estoy muy orgullosa de ti. Gracias por darme una hermosa familia. Los amo con todo mi corazón.

También quiero agradecer a mis suegros: César, aunque sé que ya partió de este mundo, estas palabras las escribo en su memoria, gracias por apoyarme a mi y a mi familia, por amar tanto a mi pequeña Natalia, fui muy afortunada por todos los

años que lo conocí y conviví con usted. Sé que algún día nos reencontraremos. Gracias.

A mi suegra Rubí, por quererme, escucharme, apoyarme, aconsejarme y consentirme, estoy muy orgullosa y qué afortunada soy de tenerla. A mis cuñadas Ingrid e Ilse son las personas más bellas que conozco, de ustedes aprendo mucho y las admiro. A Guadalupe y Heladio por su tiempo, paciencia, amor y su ayuda incondicional. A todos ustedes lo quiero con el corazón. Gracias

A Diego Chaparro, y Sandra Arias por brindarme su amistad, consejos, pláticas, ánimos y regaños, los admiro, los respeto y les agradezco por darme la oportunidad de incluirme en sus vidas.

A mis amigos de toda la vida, que aunque las circunstancias han hecho que tomemos caminos diferentes los sigo llevando en mi corazón: Karen Gabriela, Alberto, Carlos y Javier.

A Walter, mi compañero, amigo y confidente desde el inicio de la carrera. Mi vida no tendría sabor sin ti. Te quiero.

A Fabían, tú más que nadie me ha echado porras y apoyado en todo este proceso. Te has convertido en parte importante de mi vida y te lo agradezco mucho. Te quiero

A todos mis compañeros del laboratorio y en especial a ti Miguel, me cobijaste, me apoyaste, me escuchaste y me enseñaste mucho, eres una parte importante en mi vida, ¡qué afortunada soy!

A mi comadre Sayra, la persona más bonita que conozco. A ella que también es parte de mi familia le agradezco todo. Te quiero mucho.

A mis amigos de la universidad: Angel, Xavi, Jimmy, Andrea y a todos con los que conviví por muchos años, la universidad no hubiera sido la misma sin ustedes.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
ANTECEDENTES	10
JUSTIFICACIÓN	14
HIPÓTESIS	15
OBJETIVOS	16
Objetivo general.....	16
Objetivos particulares	16
MATERIAL Y MÉTODOS	17
Cultivos de fitoplancton como alimento.	18
Identificación de cladóceros.	18
Reproducción de cladóceros.....	18
Exposición de cladóceros a la radiación UVB.	19
Evaluación del efecto de la temperatura y la RUVB sobre la dinámica poblacional.	19
Análisis estadístico de los valores de la tabla de vida demográfica.	20
RESULTADOS	22
DISCUSIÓN	41
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	59
Anexos análisis estadísticos	59
Medio Bold basal	59
Tabla de medición de RUVque pasan por los filtros.....	61

RESUMEN

Los cladóceros son microcrustáceos pertenecientes a la clase *Branchiopoda* que se encuentran en los sistemas acuáticos, cuyo papel en las tramas tróficas se destaca por su carácter de vía de transferencia de materia y energía desde los microproductores primarios y las fuentes de detritus-bacteria hacia los niveles de consumidores superiores. En México encontramos tres especies de cladóceros común en lagos someros: *Macrothrix triserialis*, *Alona glabra* y *Simocephalus vetulus*, estos organismos son vulnerables a extremos del clima derivado del actual cambio climático, por lo que el objetivo de este estudio es determinar el efecto de la radiación UV-B y la temperatura en la dinámica poblacional de estos organismos. El estudio se realizó en la presa Madín ubicada en el Estado de México, al noroccidente de la Ciudad de México, en el límite de los municipios Naucalpan de Juárez y Atizapán de Zaragoza con coordenadas 19° 31' 34" y 99° 15' 39" en el 2017.

Para los ensayos se aplicaron 4 tratamientos de radiación UVB (por cuatuplicado) por medio del uso de filtros al 100%, 75%, 50% y 25 % y exposición de luz negra a un fotoperiodo controlado 12:12 (luz: oscuridad) a temperaturas de 15, 20 y 30 °C, se realizó un estudio de tabla de vida para evaluar la supervivencia y fecundidad en donde se observa que el aumento de la temperatura disminuye la supervivencia en *M. triserialis* y *S. vetulus* al estar expuestos a 30°C, pues la población empieza a decaer a partir del día 5 y 4 respectivamente, esto muy independiente de las incidencias de RUV-B.

En crecimiento poblacional (r) observamos para las tres especies que los rangos obtenidos en nuestro experimento concuerdan con los valores óptimos reportados por Nandini y Sarma en el 2005. Tendiendo para *M. triserialis* una r de 0.2; *S. vetulus* con una r de 0.1 y *A. glabra* con r de 0.2

Para fecundidad se observa un aumento en *S. vetulus* a 30°C con un total de tres neonatos en el quinto día del experimento, provocado por el estrés térmico al que fue sometido, mientras que *A. glabra* aumenta su tasa de fecundidad a bajas

temperaturas, con un total de 9 neonatos en el día 19 del experimento a 15°C. También se analizaron parámetros como la reproducción en donde se observa un comportamiento inversamente proporcional a la temperatura e incidencia de RUV-B en *M. triserialis* y *S. vetulus*.

ABSTRACT

Cladocerans are a group of microcrustaceans (belonging to one of the three taxonomic groups of zooplankton) found in aquatic systems, whose role in the trophic webs is highlighted by their character of transferring matter and energy from primary micro-producers and sources of detritus-bacteria to higher levels of consumers. In Mexico we found three species of cladocerans of commercial importance and great abundance: *Macrothrix triserialis*, *Alona glabra* and *Simocephalus vetulus*, these organisms are vulnerable to extremes of climate derived from the current climate change, so the objective of this study is to determine the effect of UV-B radiation and temperature on the population dynamics of these organisms. The study was conducted at the Madin dam located in the State of Mexico, northwest of Mexico City, on the border of the municipalities Naucalpan de Juarez and Atizapan de Zaragoza with coordinates 19° 31' 34" and 99° 15' 39" in 2017. For the trials, 4 UVB radiation treatments were applied (in quadruplicate) through the use of filters at 100%, 75%, 50% and 25% and black light exposure to a controlled 12:12 photoperiod (light: dark) at temperatures of 15, 20 and 30 °C, a life table study was conducted to evaluate survival and fecundity where it is observed that the increase in temperature decreases survival in *M. triserialis* and *S. vetulus* when exposed to 30°C, since the population begins to decline from day 5 and 4, respectively, independent of the incidence of UVB-RUV.

In population growth (r) we observed for the three species that the ranges obtained in our experiment agree with the optimum values reported by Nandini and Sarma in 2005. For *M. triserialis* we had an r of 0.2; *S. vetulus* with an r of 0.1 and *A. glabra* with an r of 0.2.

For fecundity, an increase was observed in *S. vetulus* at 30°C with a total of three hatchlings on the fifth day of the experiment, caused by the thermal stress to which it was subjected, while *A. glabra* increased its fecundity rate at low temperatures, with a total of 9 hatchlings on the 19th day of the experiment at 15°C. Parameters such as reproduction were also analyzed, where a behavior inversely proportional to temperature and incidence of UVR-B was observed in *M. triserialis* and *S. vetulus*.

INTRODUCCIÓN

A diferencia del concepto tradicional de clima, como el promedio de alguna variable, hoy en día se piensa en éste como un estado cambiante de la atmósfera mediante sus interacciones con el mar y el continente en diversas escalas de espacio y tiempo (Gay, 2000). Cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medio de muchos años, se habla de una anomalía climática ocasionada por forzamientos internos tales como la inestabilidad en la atmósfera; o por forzamientos externos, como puede ser algún cambio en la intensidad de la radiación solar recibida o cambios en sus ecosistemas terrestres y acuáticos resultado de la actividad humana (Hughes, 2000).

Los impactos de un clima anómalo o extremo en diversos sectores de la actividad humana son los que han llevado a la sociedad, incluyendo sus instituciones de gobierno, a interesarse en el tema del cambio climático y el impacto que tiene en sistemas de aguas continentales (Gay, 2000)

Para entender el concepto de cambio climático, hay que entender que la tierra absorbe radiación solar (radiación de onda corta) principalmente en la superficie por circulación atmosférica y oceánica para intentar compensar los contrastes térmicos, esta energía recibida es emitida al espacio (radiación de onda larga) para mantener un balance entre la energía recibida y emitida a largo plazo (Siegismund, 2001). Cualquier proceso que altere tal balance, ya sea por cambios en la radiación recibida o emitida, en su distribución en la tierra o en los sistemas acuáticos continentales se refleja como cambios en el clima, por lo que el aumento en la concentración de los llamados gases de efecto invernadero reducen la eficiencia con la cual la Tierra emite la energía recibida al espacio, ya que son capaces de atrapar la radiación infrarroja que escapa de la superficie de la tierra hacia el espacio y la transfiere, en forma de calor, al resto de los gases que forman la atmósfera (Etterson, 2001).

Estos gases de efecto invernadero en condiciones extremas afectan principalmente la composición de la vida en sistemas acuáticos continentales, aumentando la temperatura y los niveles de RUV-B (Siegismund, 2001).

¿Cómo se relaciona la RUV con la temperatura? La radiación solar es el combustible que pone en movimiento la máquina atmosférica, esta energía radiante del sol es igual a la energía absorbida que se transforma en energía calorífica. Dicho en otras palabras: La radiación no es calor pero se convierte en él mediante la absorción de las ondas electromagnéticas por la materia y deja de ser radiación para fluir hacia el interior del sólido por conducción, ésta se mueve a través del espacio siguiendo líneas rectas o rayos y solamente las sustancias que están a la vista del cuerpo radiante pueden interceptar la radiación procedente de él. (Cockell,2001). Es así, como la radiación solar se constituye en el empuje inicial de la circulación general de la atmósfera. Por ello, el clima de la Tierra sufre anomalías climáticas cuando varía la cantidad de radiación solar que llega al sistema climático, ya que esto ocasiona un aumento de temperatura en la superficie terrestre, así como en nuestras aguas continentales y oceánicas. (Prieto, 2008)

Dependiendo de la intensidad y la duración de una anomalía en la radiación o la temperatura, así como el grado de vulnerabilidad de una población o de un ecosistema, los impactos del clima pueden variar de imperceptibles a catastróficos (Christoffersen, 2006). En México la vulnerabilidad de las especies a extremos del clima es grande (Gay, 2000). Dado que una vasta parte de nuestro territorio es semiárida (poca precipitación la mayor parte del año), los cambios en la temporada de lluvias, resultan en amenaza de sequía, es por ello que el incremento de la temperatura y radiación ultravioleta (RUV) por el cambio climático sobre la superficie de la tierra son de los factores físicos (abióticos) más importantes que determinan las distintas características de los seres vivos que están expuestos temporal o permanentemente a ellos (Cockell, 2001). Pero, ¿Qué sucede en los sistemas acuáticos? En el ecosistema acuático este efecto dependerá de las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua. Para los organismos acuáticos una primera barrera importante para la atenuación de la radiación incidente es el agua, en la que no penetra totalmente ya que es absorbida en los primeros centímetros de la columna de agua según Zagarese et al. en 1998, sin embargo el descubrimiento del agujero de ozono en la Antártica ha promovido la investigación y el desarrollo de espectro-radiómetros sumergibles, lo que ha puesto de manifiesto que en muchos

ecosistemas acuáticos la RUV puede penetrar decenas de metros (Rowland, 2006). Existen también condiciones físicas y geográficas, que son relativamente constantes en el tiempo y en el espacio y que influyen en el clima en aspectos relacionados con la transferencia de energía y calor (Wei, 2012), los de mayor importancia son la latitud y la elevación. Debido a las variaciones de la latitud y a las diferencias en la absorción de energía por la superficie terrestre y/o acuática se forman contrastes de temperatura la cual determina variaciones estacionales en aspectos físicos, químicos y biológicos (Pettersson et al., 2003), causando cambios en la composición de las especies, principalmente en la abundancia y productividad, por otro lado la RUV (en particular la radiación UV-B) influye directamente en el ADN, ocasionando mutaciones, ambas variables lesionan de manera importante a una comunidad de organismos acuáticos conocidos como zooplancton, impactando en su reproducción, supervivencia, fecundidad y mortalidad, por lo que han tenido que hacer frente a sus efectos tanto genotóxicos, como fenológicos desde el principio de la evolución de la vida en nuestro planeta (Pulido, 2004, Cockell, 2001) el zooplancton es una comunidad que está dominada por tres grupos taxonómicos que llegan a presentar la mayor contribución de biomasa zooplanctónica en algunos sistemas: Protozoos, rotíferos y microcrustáceos (Ardohain, 2005). En el grupo de los microcrustáceos presentes en los sistemas acuáticos, uno de los más relevantes son los cladóceros, cuyo papel en las tramas tróficas se destaca por su carácter de vía de transferencia de materia y energía desde los microproductores primarios y las fuentes de detritus-bacteria hacia los niveles de consumidores superiores. Como presas integran una parte importante del espectro alimentario de los peces planctófagos particularmente aquellos adultos de talla pequeña y de estadios juveniles de especies que cuando llegan a adultos ocupan otros nichos tróficos (Baranyi 2001) son muy receptivos al cambio climático, debido a sus ciclos de vida cortos, afectando a las poblaciones en su crecimiento, reproducción, supervivencia y la capacidad para utilizar alimento de distintas calidades (Zellmer, 2004).

Los cladóceros pertenecen a la clase *Branchiopoda* que comprende 80 géneros con 450 a 600 especies aproximadamente (Dole et al., 2000), es uno de los grupos más abundantes de los sistemas acuáticos continentales. Son organismos filtradores

cuyas características son: cuerpo corto débilmente segmentado, antenas bifurcadas desarrolladas para nadar y ojos sésiles (Casper 2007). En condiciones favorables se reproducen partenogenéticamente (asexualmente) cada 3 o 4 días y la población está constituida solamente por hembras, pero cuando las condiciones del medio son desfavorables, las hembras partenogenéticas originan una generación de hembras y machos sexuales, que producen gametos haploides (n), y que se reproducen sexualmente dando lugar a huevos de resistencia (2n). (Davidson, *et. al* 2000) Dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales, el número de huevos por camada varía considerablemente, puede ir de 2 hasta 40, aunque frecuentemente oscila entre 10 y 20 (De Bie, 2008). Estos organismos son capaces de vivir tanto en la zona pelágica como en la bentónica, como grupo han sido capaces de colonizar todos los ambientes acuáticos continentales (Davidson, *et. al* 2000).

Macrothrix triserialis: El género *Macrothrix* ha sido muy poco estudiado en México (pues de los 15 géneros que contiene este grupo solo se habían descrito 3) por la ausencia de características morfológicas confiables para la identificación de especies lo que ralentizó la acumulación de conocimiento sobre este género en cuanto a su diversidad y distribución, recientemente ha incrementado el número de especies que ocurren en nuestro país y entre ellos encontramos a *Macrothrix triserialis* perteneciente a la familia *Macrotrichidae*, importantes miembros de comunidades litorales en los cuerpos de agua alrededor del mundo. Se producen en una muy alta abundancia en la zona macrófita de cuerpos de agua tropicales (Casper 2007). Como consumidores primarios, el género *Macrothrix* puede constituir una parte importante de las dietas de pescado, incluida la importancia económica en algunas especies de peces. Su tamaño es de $700 \pm \mu\text{m}$. (Arcifa, 2004).



Figura 1. *Macrothrix triserialis*

Alona glabra: Pertenece a la familia *Chydoridae* vive en la zona litoral-bentónica, sobre varias superficies como raíces, sobre el bentos, en sedimentos orgánicos y particularmente sobre macrofitas (Dodson, 2005). Su registro en el zooplancton puede considerarse esporádico ya que el agua libre no es su hábitat preferido. Con un tamaño de $400 \pm \mu\text{m}$. (Elmoor-Loureiro et al., 2004).



Figura 2. *Alona glabra*

Simocephalus vetulus: Pertenece a la familia *Daphnidae* una especie litoral-bentónica que está ampliamente distribuida y se encuentra en más del 13% de los cuerpos de agua con un tamaño de $1800 \pm \mu\text{m}$. Es frecuente en el heleoplancton de sistemas someros y en el litoral de cuerpos de agua profundos, pudiendo aparecer en el plancton. Es poco tolerante a la turbidez, por lo que se desarrolla principalmente en aguas transparentes (Pacaud, 1939; en Alonso, 1996), siendo frecuente encontrarla entre la vegetación. Este cladócero se alimenta de algas, protozoos y detritus. Es una especie fácil de cultivar por lo cual se utiliza como

alimento en acuicultura y para estudios ecotoxicológicos (Villagra de Gamundi, 2004).



Figura 3. *Simocephalus vetulus*

El rol ecológico del zooplancton en especial de los cladóceros está determinado por su posición e importancia en la red trófica. La base de la red trófica está típicamente ocupada por organismos autótrofos o heterótrofos, ligados al bento, los cuales son consumidos por macroinvertebrados alguívoros o detritívoros (crustáceos, estadios larvales y ninfales de insectos acuáticos), consumidos a su vez por depredadores invertebrados, por lo que la importancia de los cladóceros recae en el transporte de energía de los productores a los consumidores secundarios (Previattelli, 2013)). Por lo que, si las poblaciones de cladóceros se ven afectadas en su diversidad y abundancia se provoca un efecto de cascada trófica (Prieto, 2008). Este concepto fue aplicado por primera vez en sistemas pelágicos por Carpenter et al. (2001) para describir la influencia de los niveles superiores de la cadena trófica respecto a los inferiores, Se trata de cómo los cambios de abundancia de grandes depredadores, ubicados en las cumbres de las pirámides tróficas, afectan la abundancia de las especies que se encuentran en la base de las pirámides y viceversa.

ANTECEDENTES

En décadas anteriores el estudio de los cuerpos acuáticos estaba más orientado a cuestiones tipológicas lacustre y a cuestiones taxonómicas y evolutivas de los organismos, recientes estudios han puesto más atención a cuestiones de contaminación, biomanipulación y ecología, por lo que se desarrolló un análisis de literatura citada con trabajos relacionados con los efectos del cambio climático sobre el zooplancton en la base de datos de Web of Science, (usando como palabras clave: cambio climático, zooplancton, temperatura, radiación UV) de los cuáles se observa que existe muy poca información, de un total de 181 artículos encontrados el 38.12 % se enfoca en trabajos de zooplancton marino, 37.01 % a ecología, 7.18 % a limnología, 2.76 % en biología, y solo un 0.5 % al tema ambiental, sin embargo cabe destacar que las publicaciones desarrolladas en México relacionados con el cambio climático sobre el efecto en cladóceros son prácticamente ausentes. Por lo antes mencionado, de la poca literatura destacan los siguientes antecedentes relacionados con el tema planteado en este proyecto:

Zagarese y Williams en 1994 estudiaron las estrategias posibles y disponibles del zooplancton ante la radiación UV, observando un comportamiento característico para evitar el daño, utilizando pigmentos fotorreceptores y la reparación de las biomoléculas dañadas.

Aarseth en el 2002 demostró que experimentos con radiación artificial puede provocar en unos pocos días mortalidades del 100% de individuos adultos del copépodo holopelágico *Calanus finmarchicus*. McFayden y colaboradores en el 2004 estudiaron la importancia relativa de la temperatura en la fotoreparación de *Daphnia pulex* confirmando que a mayor temperatura el mecanismo de reparación es más eficiente y conlleva a una mayor supervivencia.

Lacuna y Uye en el 2000 utilizaron UVB artificial sobre los diferentes estadíos del copépodo *Sinocalanus tenellus* en donde observaron un efecto negativo en la producción de huevos y alimentación, además de provocar mortalidad. Sanders y

colaboradores en el 2005 mostraron que *Glaucoma sp* y *Cyclidium sp* tienen una mayor supervivencia si se les permite fotorreparar a 20°C.

De acuerdo con Ventura en el 2008 la supervivencia es afectada directamente por la temperatura, al encontrar que *Ceriodaphnia rigaudi* cultivada a 20 °C y alimentada con microalgas, presentó mortalidad hasta después del noveno día disminuyendo gradualmente desde el décimo día hasta el día 56. Sin embargo, a 25 °C la mortalidad inicia entre el cuarto día y se prologa hasta el día 30.

En aguas del Golfo de St. Lawrence, Canadá, se estudió el impacto de la RUV en el copépodo marino *Calanus finmarchicus*, el cual libera sus huevos dentro de la zona eufótica (permaneciendo éstos expuestos 1-3 días a la radiación solar dentro de la capa superficial de mezcla). Experimentos con huevos de dicha especie han demostrado que la RUV natural tiene efectos negativos en el porcentaje de eclosión (Alonso Rodriguez et al. 2000).

Browman y otros (2003) cuantificaron el daño al material genético en estadios iniciales de *C. finmarchicus* y del bacalao y encontraron que el daño era mayor en los huevos que recibieron UVB para ambas especies. A la vez, el daño inducido por la RUV fue menor en el material genético de huevos que en el de larvas, lo cual también sugiere una tolerancia diferencial desde el punto de vista ontogenético (Browman et al. 2003). Sin embargo, en el mismo ambiente pelágico, las larvas de la langosta *Homarus americanus* (un crustáceo meroplanctónico de importancia económica) no mostraron mortalidad significativa debida a la RUV, aun cuando estuvieron expuestas a condiciones equivalentes a la radiación recibida a 1 m de profundidad durante 2 horas.

Kane y Pomory (2001) observaron que el copépodo harpaticoideo *Tigriopus californicus* que se encuentra en pozas intermareales, la mortalidad, al igual que el porcentaje de huevos eclosionados, aumentaba con la creciente dosis de UVB.

Siebeck y Bohm (1994) observaron diferencias en la tolerancia a la UVB (en términos de mortalidad) en dos especies de cladóceros, una que no realiza migración vertical (*Daphnia pulex*) y otra que sí la realiza (*Daphnia galeata*). Al estar

incubadas en puntos fijos (tanto bajo RUV natural como artificial), se observó el 100% de mortalidad de *D. galeata* en valores de radiación equivalentes a un día despejado de verano. Por el contrario, los individuos de *D. pulex* mostraron mortalidades 10 veces menores.

Otros investigadores también observaron una tolerancia diferencial, en dos especies de copépodos que realizan migración vertical en lagos de alta montaña (*Cyclops abyssorum tatricus* de un lago alpino de Austria y *Boeckella gracilipes* de un lago andino de Chile). Ambos lagos permitían una notable penetración de la RUV y ambas especies presentaban pigmentación (carotenos). Sin embargo, *C. abyssorum tatricus* mostró una supervivencia en verano y con días despejados. Por el contrario *B. gracilipes* fue menos tolerante: la mortalidad fue cinco veces más cuando recibió UVB en incubaciones de 72 horas.

MacFayden y otros en el 2004 estudiaron la importancia relativa de la temperatura en la fotorreparación de *Daphnia pulex*, partiendo de la premisa que el sistema enzimático de la foto-reparación es dependiente de la temperatura. Los resultados confirman que a mayor temperatura, el mecanismo de reparación es más eficiente y conlleva una mayor supervivencia. Sin embargo, otros investigadores habían encontrado que la baja temperatura no afectó significativamente la sensibilidad a la RUV en especies de *Daphnia* (que pueden fotorreparar) de ambientes fríos (poblaciones los Alpes y el Ártico) (Borgeraas y Hessen 2000).

La foto reparación también parece jugar un papel significativo en distintos estadios del copépodo *Sinocalanus tenellus*. En esta especie, la UVB artificial tuvo efectos negativos en la producción de huevos y alimentación, además de provocar mortalidad. Sin embargo, con la foto reparación se observó una considerable recuperación de la supervivencia y eclosión de huevos, siendo el efecto más acentuado para los animales más jóvenes (Lacuna y Uye 2000).

Tedetti y Sempere en el 2006. Las aguas oceánicas extremadamente claras permiten la penetración de la RUV hasta profundidades de decenas de metros, por ejemplo hasta 38 m cuando la RUV es de 340nm y 46 m cuando la RUV es de 375 nm.

Morris y colaboradores en el 2005 encontraron que en las aguas con una mayor carga de materia orgánica disuelta (muchas veces eutróficas) la radiación llega sólo hasta unos pocos centímetros debajo de la superficie.

JUSTIFICACIÓN

Los cladóceros juegan un papel crucial dentro de la cadena alimenticia, reciclando nutrientes de un nivel trófico más bajo (como son las bacterias, protozoos, detritus y fitoplancton), a uno más alto entre ellos los peces y el zooplancton depredador (Nandini 2000). También desempeña otras funciones dentro del ecosistema como: la recirculación del agua (mejorando su calidad), la generación de heterogeneidad ambiental con la creación de corriente, la difusión de elementos químicos (biocatálisis) y la estabilización y regulación del ecosistema acuático (Ostroumov, 2005). Además, se ha reconocido que existen patrones de sucesión que estructuran las comunidades de los cladóceros en los lagos y reservorios, que son regulados por una combinación de factores bióticos y abióticos, como la temperatura que al igual que la radiación UV-B, actualmente está siendo afectada por el efecto del calentamiento global (Rettig et al., 2006). Estos organismos acuáticos son de amplia distribución y abundancia y forman una porción significativa de la producción secundaria de los ambientes que habitan, lo cual les confiere una dominancia funcional (Nielsen y Sabatini, 1996). Por lo tanto, la disminución de los cladóceros debido al efecto de la temperatura y principalmente de la RUV-B (ya que dada su corta longitud de onda, tiene la capacidad de poder interactuar con las estructuras moleculares del material genético (ADN)) afecta de manera negativa su supervivencia, fecundidad y reproducción de estos organismos ya que los efectos mutagénicos de la radiación son potencialmente peligrosos para todos los seres vivos (Mitchell y Karentz 1993) ocasionando un efecto cascada dentro de las redes tróficas acuáticas. Es por lo que este trabajo permitirá conocer el comportamiento de los cladóceros sometidos a presiones ambientales ocasionadas por el actual cambio climático, como es el incremento de la temperatura y radiación UV-B.

HIPÓTESIS

Macrothrix triserialis, *Alona glabra* y *Simocephalus vetulus* son organismos con amplia distribución y abundancia en sistemas acuáticos. Al ser uno de los grupos más receptivos (por tener ciclos de vida cortos) a factores como el aumento de la temperatura y RUV, derivados del cambio climático, se espera que las poblaciones de dichos organismos se vean afectadas negativamente en su crecimiento, reproducción, ciclo de vida y supervivencia, resultado de las altas temperaturas al que los organismos serán sometidos, así como en su mortalidad derivada del daño a su material genético provocado por el aumento en la RUV.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Determinar el efecto de la radiación UV-B y la temperatura en la dinámica poblacional de los cladóceros *Macrothrix triserialis*, *Alona glabra* y *Simocephalus vetulus*, mediante un enfoque experimental.

Objetivos particulares

- Analizar el impacto de tres diferentes temperaturas (15°C, 20°C, 30°C) en los cladóceros *M. triserialis*, *A. glabra* y *S. vetulus* sobre sus poblaciones
- Observar las respuestas de las poblaciones de cladóceros a diferentes niveles de radiación UV-B (25%, 50%, 75%, 100%)
- Establecer si existe una relación entre el aumento de la radiación UV-B y de la temperatura sobre las poblaciones o tasas de crecimiento poblacional de los cladóceros *M. triserialis*, *A. glabra* y *S. vetulus*

MATERIAL Y MÉTODOS

Lugar de muestreo.

Para la estandarización de las técnicas de colecta y cultivo de *M. triserialis*, *A. glabra* y *S. vetulus*, se aislaron los organismos de la presa Madín, en los meses de Agosto-Octubre del 2017, ubicada en el Estado de México, al noroccidente de la Ciudad de México, en el límite de los municipios Naucalpan de Juárez y Atizapán de Zaragoza con coordenadas 19° 31' 34" N y 99° 15' 39" O (Figura 1). Su corriente alimentadora principal es el Río Tlalnepantla

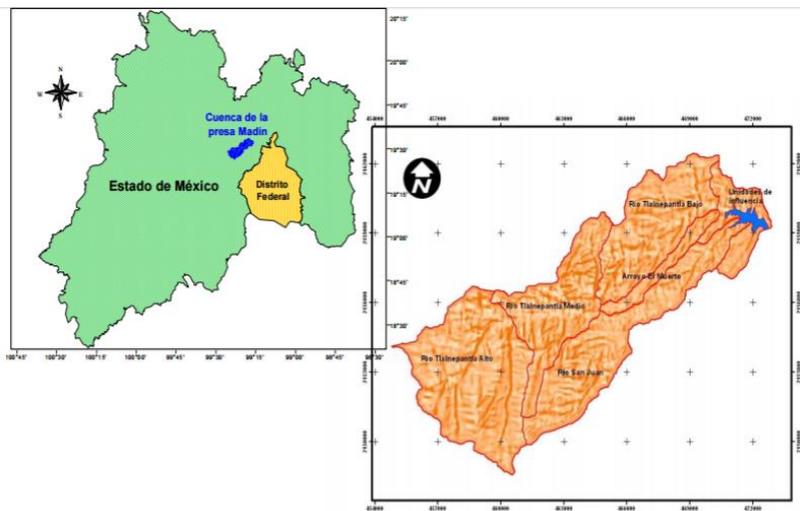


Figura 4. Ubicación de la presa Madín

Toma de muestra para el zooplancton

Durante el muestreo se filtró un volumen de 100 litros de agua cercanos a la vegetación a través de la red de plancton con una abertura de 50 μm (Lampert, 1997), que posteriormente se envasaron y se etiquetaron para el transporte al laboratorio.

Cultivos de fitoplancton como alimento.

Se cultivaron especies de microalgas (*Scenedesmus acutus* o *Chlorella vulgaris*) para dar como alimento a los cultivos de zooplancton. Para ello se utilizó el medio basal Bold adicionado con bicarbonato sódico (Sarma et al., 2001). (ver Anexo 11.2)



Figura 5. Cultivos de microalgas de *Chlorella vulgaris*.

Identificación de cladóceros.

Una vez en el laboratorio se identificaron (con el apoyo de un microscopio estereoscópico) organismos pertenecientes al suborden Cladóceras. Se identificaron los cladóceros *M. triserialis*, *A. glabra* y *S. vetulus* con ayuda de las claves taxonómicas (Ribera et. al 2005), posteriormente se aislaron y se iniciaron cultivos para las pruebas.

Reproducción de cladóceros.

Para su reproducción se implementaron los cultivos por separado, manteniéndolos en un medio EPA (-CaSO₄, MgSO₄, NaHCO₃, KCl- temperatura ambiente), utilizando vasos de plástico transparentes de aproximadamente 50 ml, estos

cultivos se lavaron y se filtraron cada tercer día, se alimentaron con microalga *Chlorella vulgaris ad libitum* (Brito, et al 2006) la cual fue cultivada en Medio Bold Basal (Sarma at. al 2001).

Exposición de cladóceros a la radiación UVB.

Para los ensayos se aplicaron 4 tratamientos de radiación UV-B (por cuatuplicado) por medio del uso de filtros (malla sombra) al 100%, 75%, 50%, 25 %, para corroborar la cantidad de radiación UVB que dejan pasar los filtros se utilizó un medidor de UV Apagee modelo MU-200 (ver anexo 11.3) y se aplicaron temperaturas de 15 °C, 20 °C y 30 °C, con un control a temperatura ambiente y 0% de RUVB.



Figura 6. Fase experimental

Evaluación del efecto de la temperatura y la RUVB sobre la dinámica poblacional.

Para cada tratamiento se emplearon neonatos de hembras partenogénicas, cada una de las réplicas para cada experimento consistió en 10 individuos colocados en vasos transparentes con un volumen EPA de 50 ml, alimentados con *Chlorella vulgaris* a concentración de 0.5×10^6 cel ml^{-1} , (esta cantidad de alimento fue determinada por medio de lecturas en cámara de Neubauer). Posteriormente, se realizaron conteos diariamente registrando el número de organismos vivos de la misma cohorte y los individuos recién nacidos, los cuales eran contados y retirados de los recipientes, el medio de cultivo y alimento eran renovados totalmente cada 24 hrs, la temperatura era controlada por medio de termostatos. Las pruebas se

realizaron con lámparas de luz ultravioleta a un fotoperiodo controlado 12:12 (luz: oscuridad) El experimento terminó cuando murió el último de los organismos de la cohorte inicial. Sobre la base de datos de supervivencia (l_x) y fecundidad (m_x) se calcularon las variables demográficas según las ecuaciones de Krebs (1985) siendo estas, vida media, tasa de reproducción bruta, tasa de reproducción neta y tiempo generacional.

Los resultados de la tabla de vida y de las pruebas demográficas se realizaron con las siguientes fórmulas:

$$\text{Fecundidad } m_x = \frac{nx - (nx+1)}{nx}$$

$$\text{Supervivencia } (l_x) = \frac{N_x}{N_0}$$

$$\text{Tasa bruta de reproducción} = \sum_0^{\infty} m_x$$

$$\text{Tasa neta de reproducción } (R_0) = \sum l_x m_x$$

$$\text{Tiempo generacional } (T) = \frac{\sum l_x m_x * x}{R_0}$$

$$\text{Tasa intrínseca de crecimiento } (r) = \ln R_0 / T$$

Análisis estadístico de los valores de la tabla de vida demográfica.

Se realizaron pruebas de ANOVA de dos vías para identificar las diferencias significativas de los valores de supervivencia y fecundidad en el software SIGMA Plot 11.0

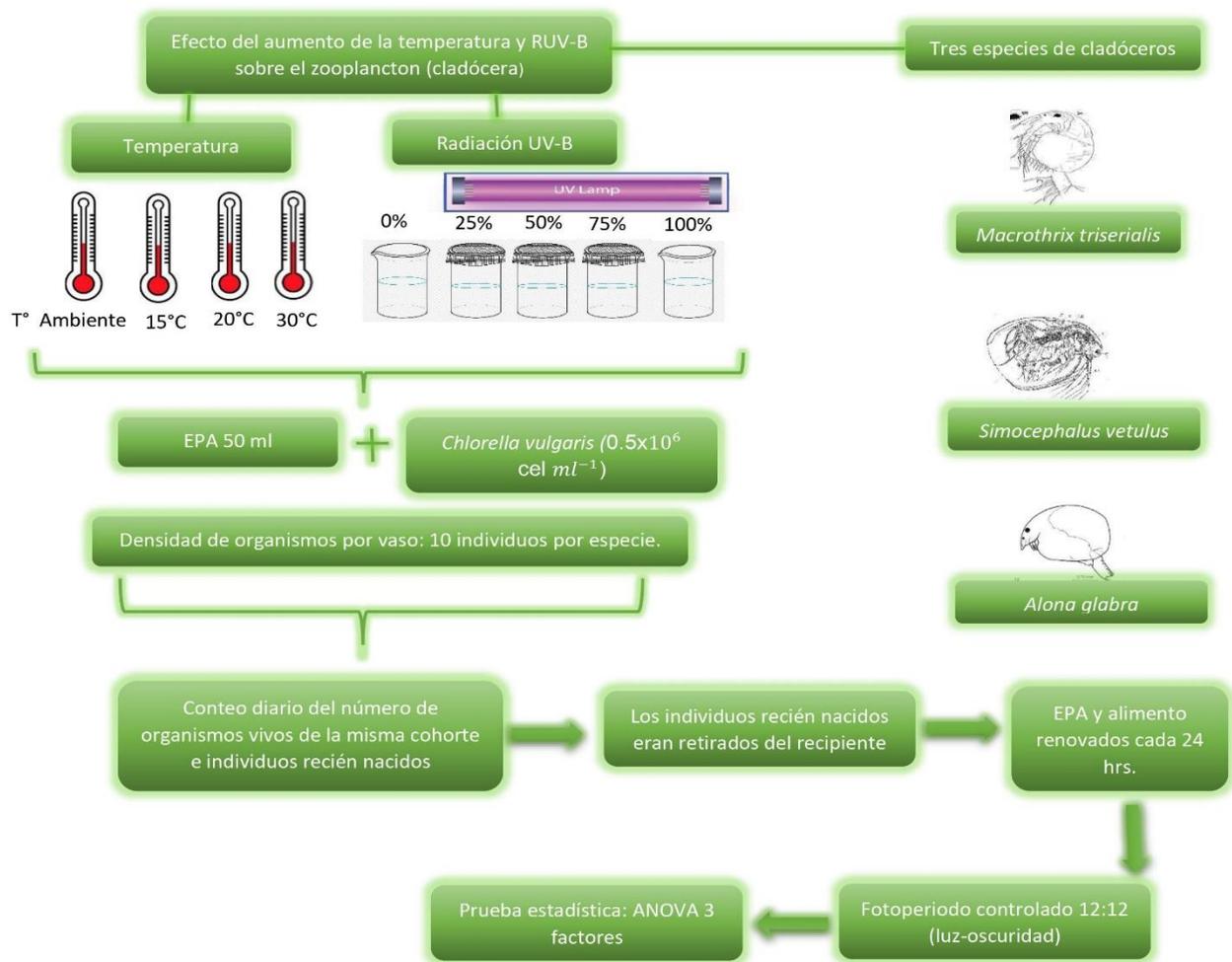


Figura 7. Esquema de Material y Métodos

RESULTADOS

En la figura 8a observamos que la sobrevivencia (Ix) de *M. triserialis* es del tipo 1, en todos los casos tanto para los tratamientos como para el control; en todos los casos los organismos empiezan a morir a partir del día 14. Mientras que en la figura 8b observamos que el comportamiento de los tratamientos de RUVB al 75% y 100% de incidencia es del tipo 3, aquí los organismos empiezan a morir cercanos al día 10, comparados con su grupo control (en donde los organismos empiezan a morir cercanos al día 20). Se aprecia que *S. vetulus* se ve gravemente afectada por la incidencia de RUVB, entre mayor sea, mayor será su mortandad. En la figura 8c observamos un comportamiento similar para *A. glabra* en donde el organismo empieza a morir entre el día 6 y 7 cuando es sometido a radiaciones de 75% y 100% respectivamente y su Ix es más alta en el grupo control en el cual el organismo empieza a morir después del día 19. Todos estos organismos fueron sometidos a una temperatura de 15°C y se observa que la Ix del organismo se ve afectada principalmente por las concentraciones de RUVB más que por la temperatura.

En la figura 9d se observa que en *M. triserialis* los tratamientos ya empiezan a tener un comportamiento del tipo 3 sobre todo cuando son sometidos a una RUVB del 75% pues en este tratamiento el organismo empieza a morir a partir del día 6. En la figura 9e *S. vetulus* muere a partir del día 6 en el tratamiento del 50% de RUVB. En estos dos organismos sus controles siguen teniendo un comportamiento del tipo 2. Para la gráfica 9f *A. glabra* muere por completo en el día 11 del experimento en el tratamiento del 50% de RUVB. Todos los organismos fueron sometidos a 20°C, aquí podemos apreciar que la Ix de los tres cladóceros empieza a verse afectada por el aumento de la temperatura en conjunto por la RUVB.

Por último en la figura 10g se observa que *M. triserialis* muere por completo en el día 5 en el tratamiento del 50% de RUVB, para el caso de *S. vetulus* en la figura 10h muere en el día 4 en el tratamiento del 50% de RUVB. Y en la figura 11i *A. glabra* muere en el día 10 al 50% de RUVB. Por otro lado, vemos que hay un mayor índice de Ix cuando los organismos son sometidos a una radiación del 100%. Todos los organismos fueron sometidos a 30°C y presentan una curva tipo 3, por lo que

concluimos que los 3 organismos fueron afectados más por la temperatura que por las concentraciones de RUVB.

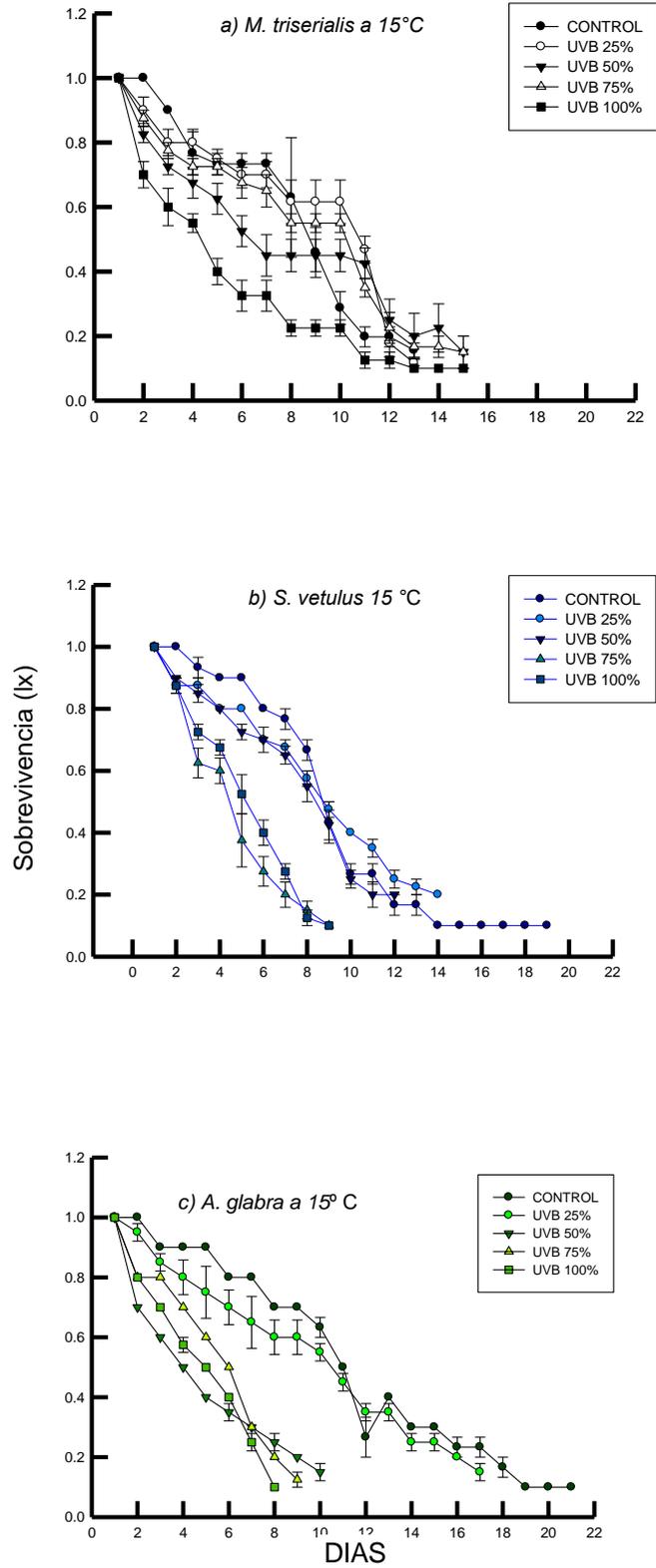


Figura 8. Gráficas de sobrevivencia a temperatura de 15 °C

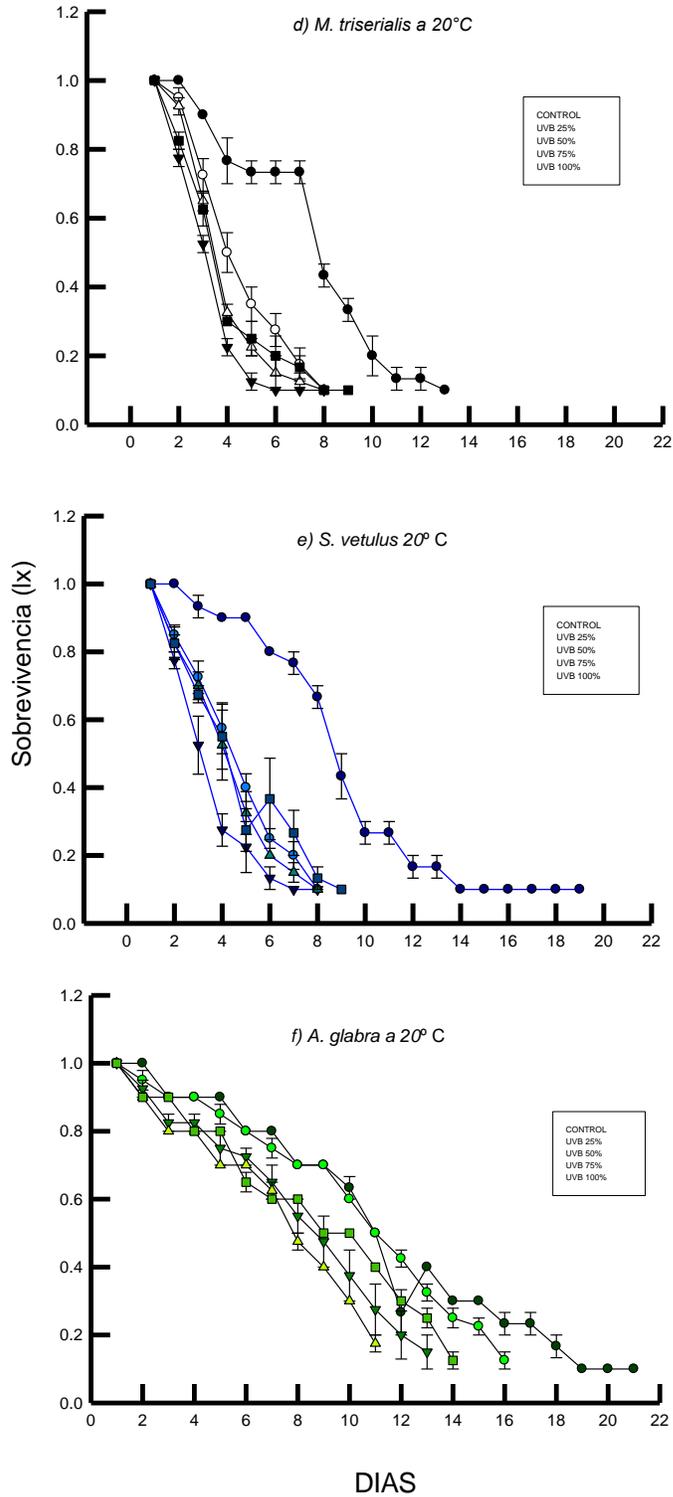


Figura 9. Gráficas de sobrevivencia a temperatura de 20 °C

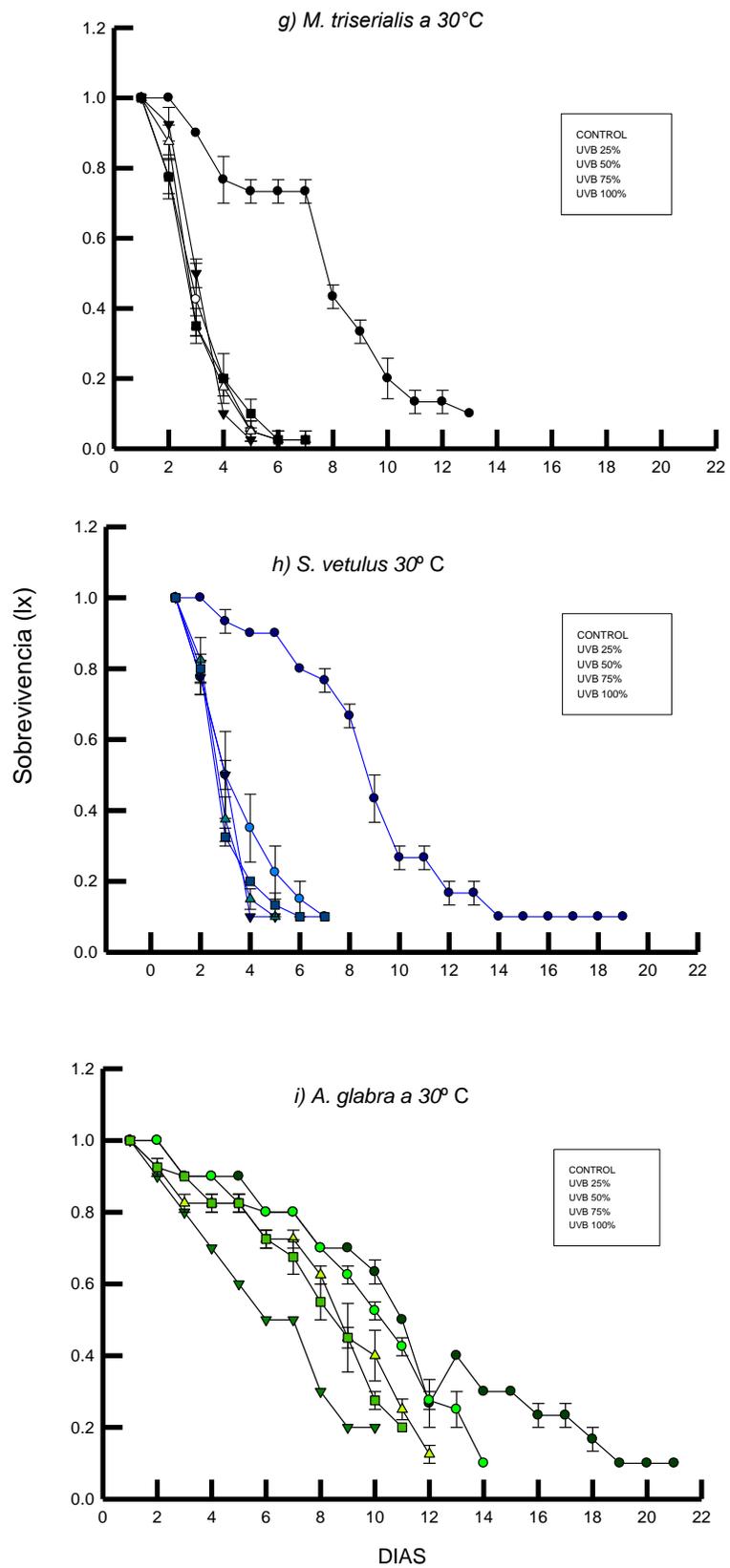


Figura 10. Gráficas de sobrevivencia a temperatura de 30 °C

Para fecundidad (mx) en todos los organismos se puede observar que el inicio de la reproducción empieza en el día uno, tanto para el grupo control como para los tratamientos en las tres especies. En la figura 11a vemos que, para el caso del grupo control de *M. triserialis*, el pico máximo de mx es de un neonato, esto ocurre en el día 12 del experimento y en el caso de los tratamientos el mayor índice de reproducción ocurre para el tratamiento del 25% de RUVB con una mx de un neonato, este valor se obtuvo en el día 13 del experimento. En la figura 11b el mayor índice de mx de *S. vetulus* para el grupo control ocurre en el día 14 del experimento y es de cuatro neonatos, mientras que para los tratamientos el mayor índice de mx es de 2.5 neonatos en el tratamiento de 50% de RUVB y en el día 11 del experimento. Por último, en la figura 11c el mayor pico de mx para *A. glabra* en el grupo control es de siete neonatos en el día 19 del experimento, mientras que para los tratamientos el mayor índice de reproducción es en el día ocho del experimento con 7.5 neonatos a 100% de RUVB. Estos organismos fueron sometidos a 15°C.

Mientras que en la figura 12d el mayor índice de mx para *M. triserialis* es de un neonato en el tratamiento del 100% de RUVB que ocurre en el día nueve del experimento. En la figura 12e el mayor índice de mx de *S. vetulus* es de 2.5 neonatos en el tratamiento de 50% RUVB y en el día seis del experimento, para la figura 12f el mayor índice de reproducción de *A. glabra* es en el día 14 del experimento y de ocho neonatos a 50% RUVB. Estos organismos fueron sometidos a 20°C.

Para la temperatura de 30°C se observa que en la gráfica 13g en *M. triserialis* su mayor índice de mx es en el día siete del experimento con un neonato para el grupo de 75% RUVB. En la gráfica 13h el mayor índice de mx de *S. vetulus* se observa en el día cinco del experimento y en el tratamiento de 50% RUVB con tres neonatos. Finalizando, en la gráfica 13i el índice de reproducción más alto para *A. glabra* es de cuatro neonatos en el día ocho del experimento a 50% RUVB.

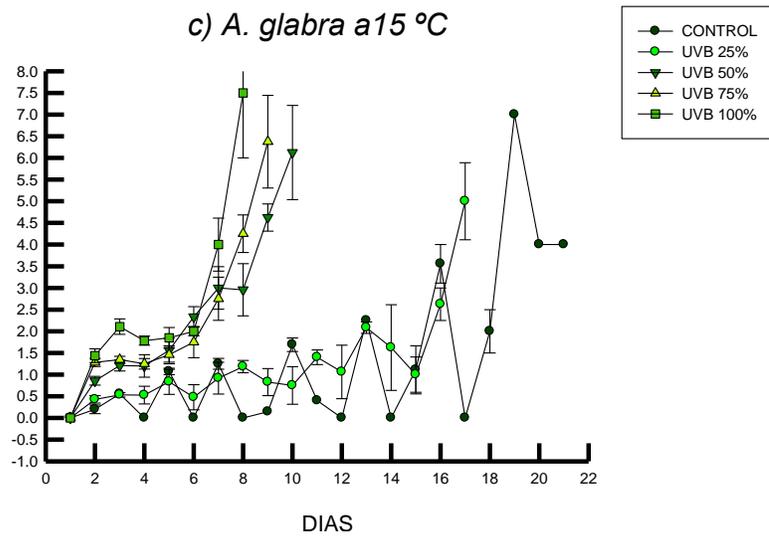
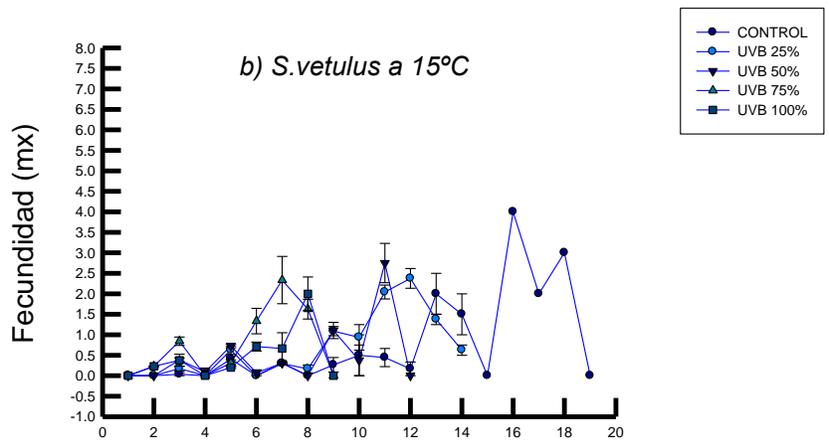
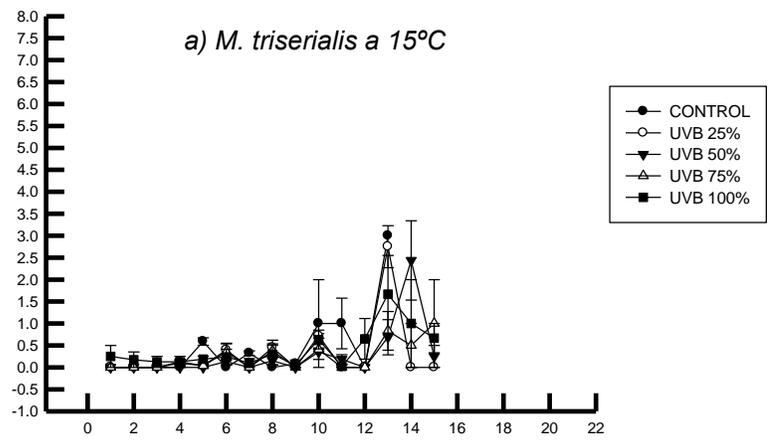


Figura 11. Gráficas de fecundidad a temperatura de 15°C

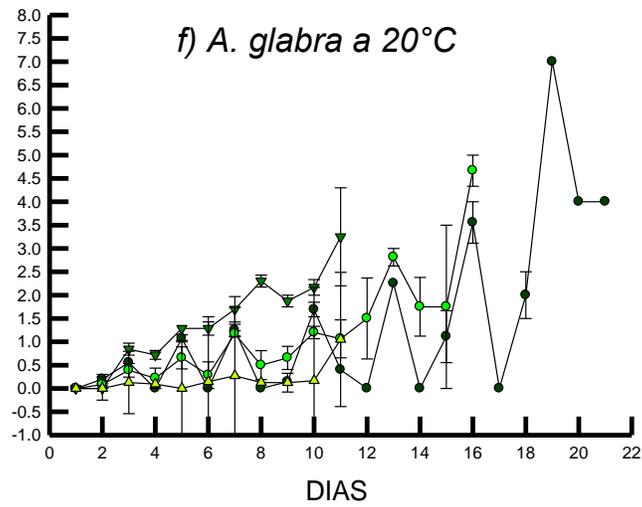
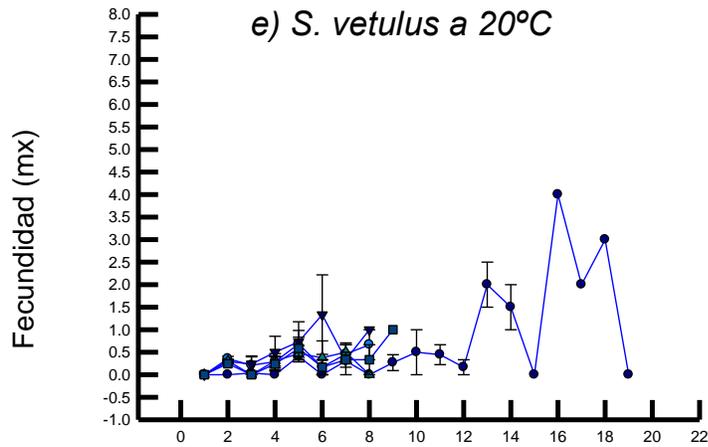
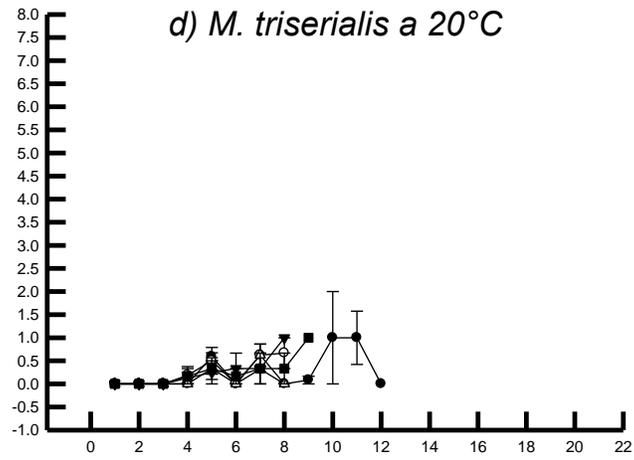


Figura 12. Gráficas de fecundidad a temperatura de 20 °C

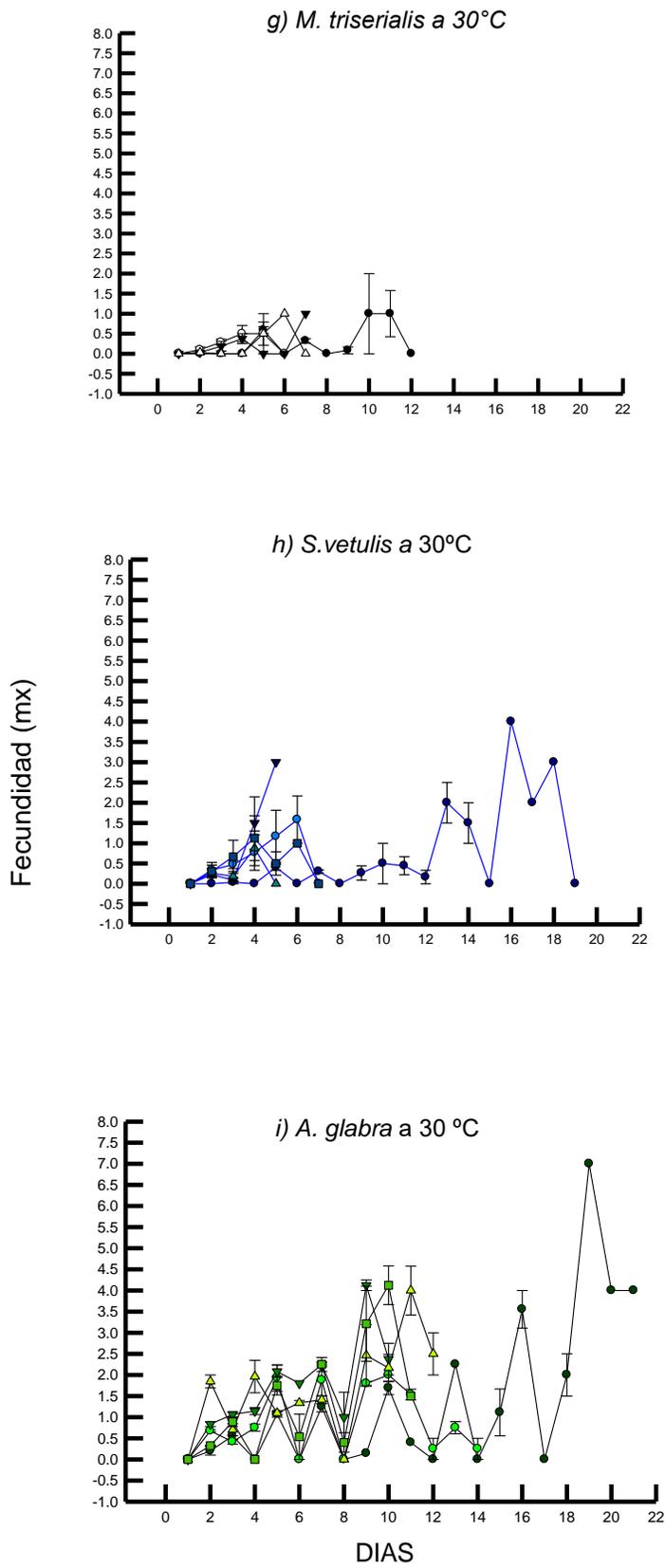


Figura 13. Gráficas de fecundidad a temperatura de 30 °C

En el caso de los promedios de vida, observamos que en la figura 14a el índice más alto para *M. triserialis* se observa en el día nueve a una temperatura de 15°C con una incidencia de RUVB del 25%, este índice es mayor al grupo control ; en la figura 14b, el índice más alto de promedio de vida para *S. vetulus* se observa en grupo control en el día nueve para las tres temperaturas, seguida del tratamiento con 25% de RUVB a temperatura de 15°C, por último en la figura 14c el índice más alto para *A. glabra* también se observa en el grupo control en el día 11 para las tres temperaturas, seguida del tratamiento del 25% de RUVB a temperatura de 20°C en el día 10. Aquí se observa que todos los valores altos de promedios de vida ocurren en los tratamientos cuya incidencia de RUVB es la más baja (25%) estos valores están debajo del grupo control, exceptuando a *M. triserialis*.

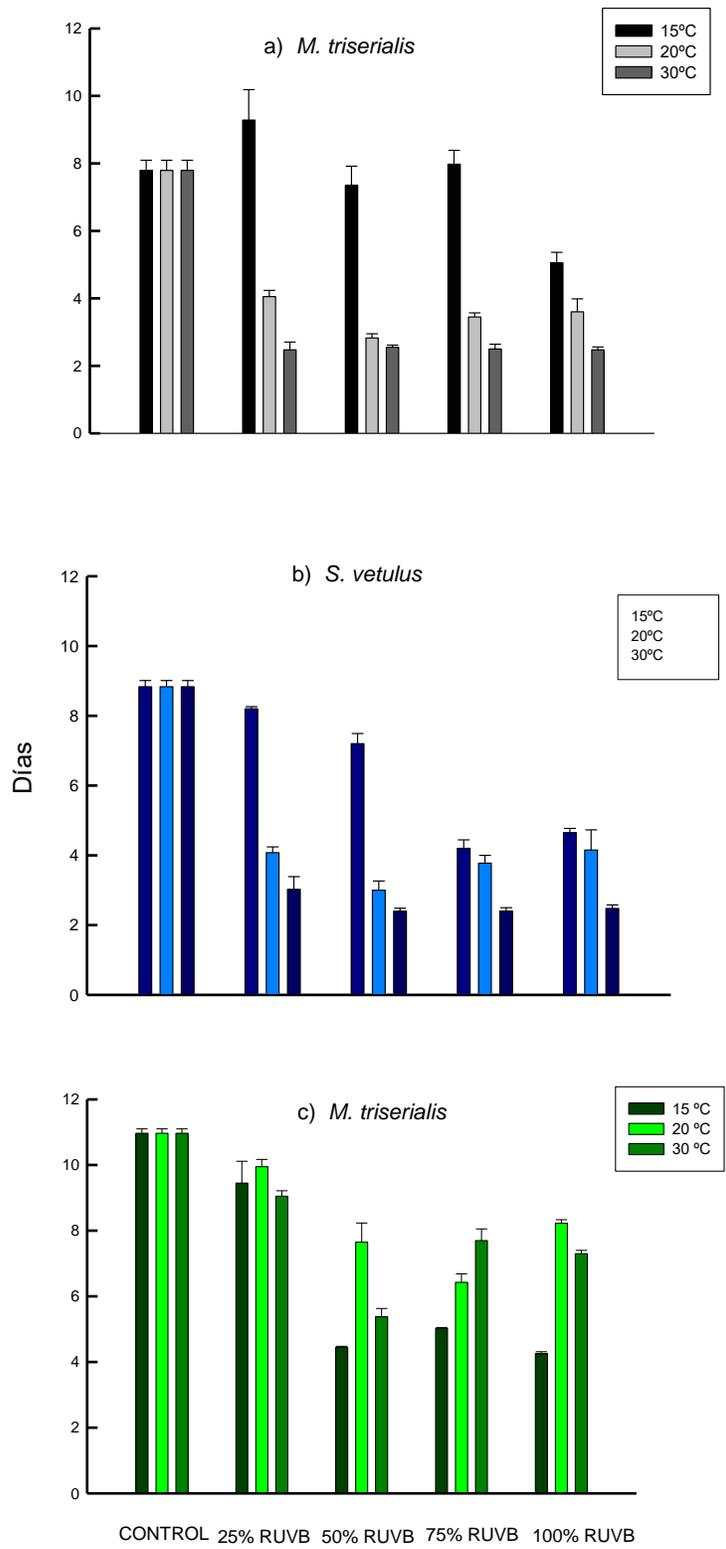


Figura 14. Gráficas de promedios de vida a temperaturas de 15, 20 y 30°C

En la figura 15a el índice más alto de crecimiento poblacional (r) para *M. triserialis* es de 0.7 a una temperatura de 30°C y a 75% de exposición UV-B, mientras que la r más baja para estos organismos es de 0.2 a 15°C y a 25% de RUVB.

En *S. vetulus* observamos que a 30°C tenemos la tasa de r más alta y también la más baja, para el primer caso encontramos una r de 0.6 a 75% de RUVB y para el segundo caso nuestra r es de 0.1 a 25% de RUVB. En este caso la población de *S. vetulus* se ve directamente afectada por la incidencia de RUVB más que por la temperatura.

Por último, en *A. glabra* el mayor índice de r es de 0.5 a 15°C y 100% de RUVB; mientras que a una temperatura de 20°C y a una RUVB del 25% encontramos una r con un valor de 0.2

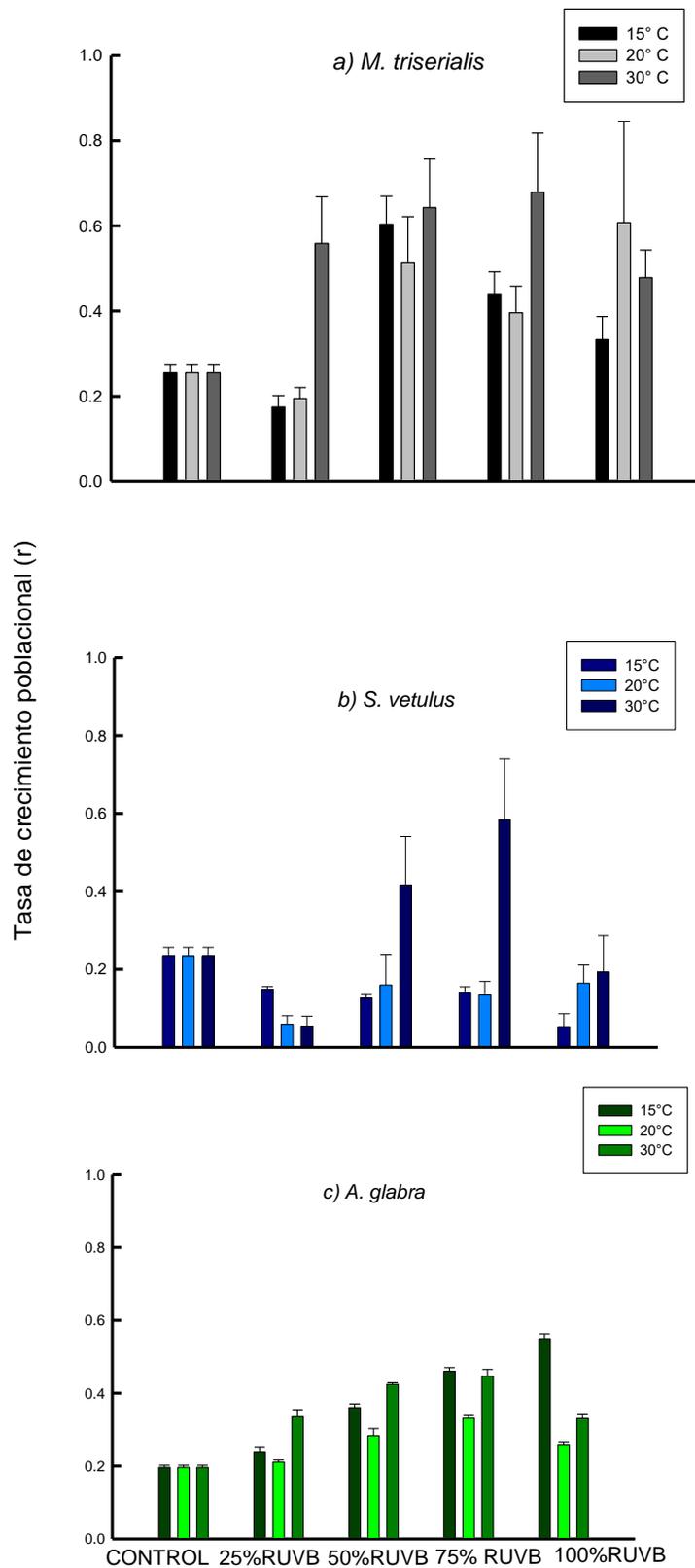


Figura 15. Gráficas de crecimiento poblacional a temperaturas de 15, 20 y 30°C

En la figura 16a el índice más alto de reproducción bruta para *M. triserialis* se observa en la temperatura de 15°C con cinco neonatos a una incidencia de RUVB del 100%, superior al grupo control que cuenta con 1.5 neonatos para las tres temperaturas; en la figura 16b, el índice más alto de reproducción bruta para *S. vetulus* se observa en el grupo control con aproximadamente 8.5 neonatos para las tres temperaturas, seguido del tratamiento de 15°C con ocho neonatos a una incidencia de RUVB del 25%, por último en la figura 16c el índice más alto de reproducción bruta para *A. glabra* también se observa en el grupo control, para las tres temperaturas con aproximadamente 10 neonatos, seguida del tratamiento a una temperatura de 20°C con incidencia de RUVB del 25% con 9.5 neonatos. Aquí observamos que a menor temperatura mayor será el índice de reproducción bruta.

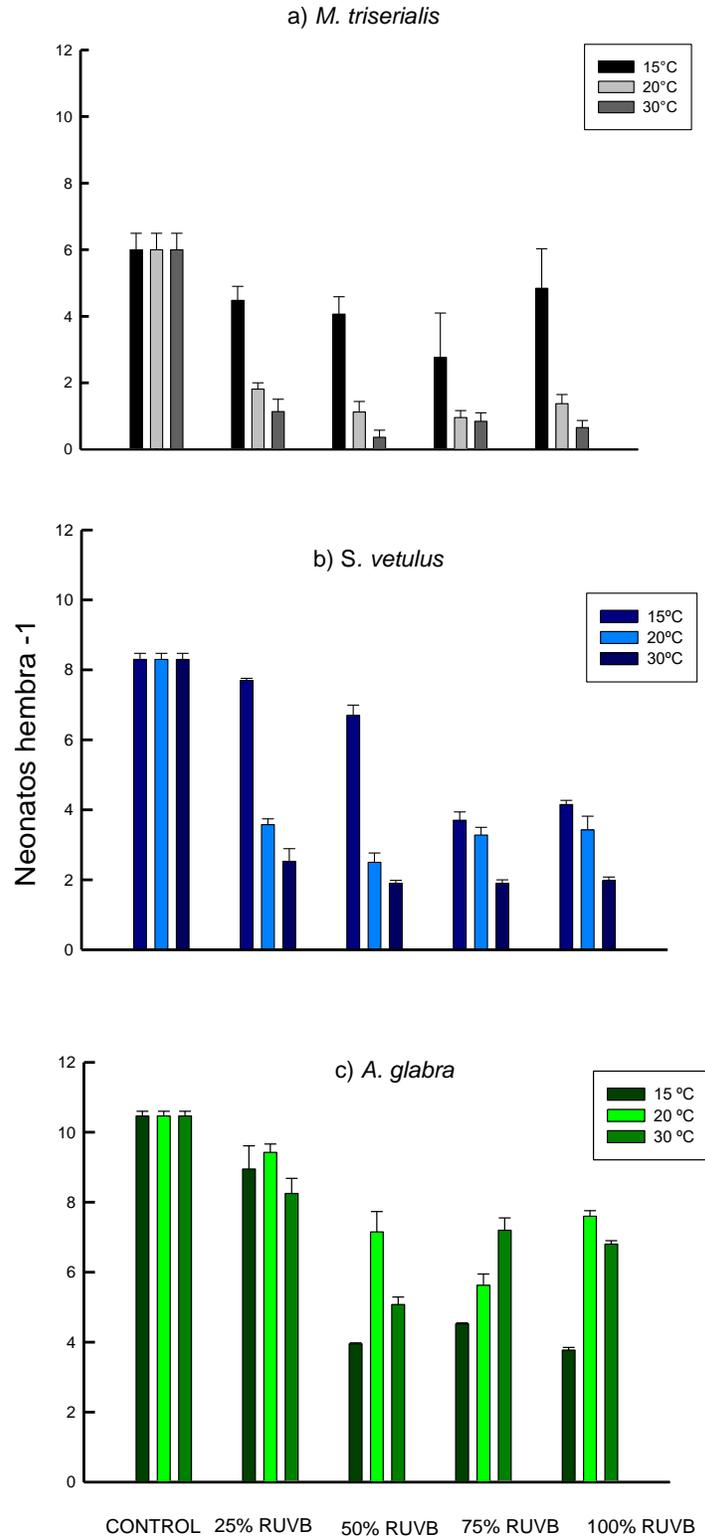


Figura 16. Gráficas de reproducción bruta a temperaturas de 15, 20 y 30°C

En la figura 17a el índice más alto de reproducción neta para *M. triserialis* es de 1.5 neonatos a 15°C con una incidencia de RUVB del 25% ; en la figura 17b, el índice más alto de reproducción bruta para *S. vetulus* se observa a una temperatura de 15°C con una incidencia de RUVB del 25% con 3.5 neonatos, por último en la figura 17c el índice más alto de reproducción bruta para *A. glabra* es de 10 neonatos a una temperatura de 30°C y con una incidencia de RUVB del 75%, Aquí podemos observar que a menor temperatura mayor será el índice de reproducción bruta, exceptuando *A. glabra* en cuyo caso observamos que la temperatura ideal para su reproducción es de 20°C a una exposición de RUVB del 25%, sin embargo también se mantiene su reproducción bruta en valores óptimos a 30°C y a una incidencia de RUVB del 100%

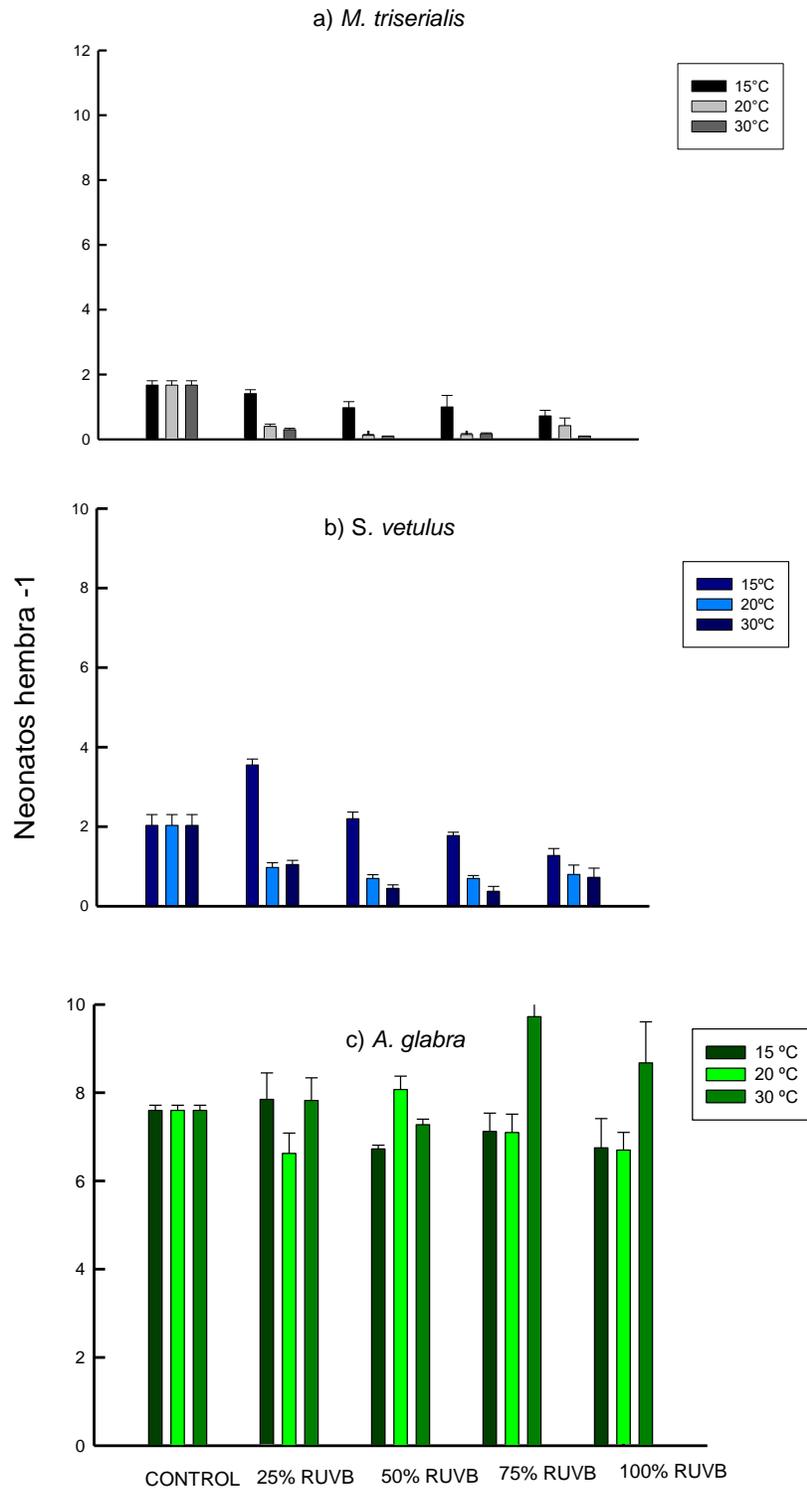


Figura 17. Gráficas de reproducción neta a temperaturas de 15, 20 y 30°C

En el caso del tiempo generacional en la figura 18a para *M. triserialis* es mayor a una temperatura de 15°C con una incidencia de RUVB del 50% teniendo crías alrededor de los 11 días, superior al grupo control. En la figura 18b, el índice más alto para el tiempo generacional para *S. vetulus* se observa en grupo control en el día 11 para las tres temperaturas, seguidas de tratamiento del 25% de RUVB en el día nueve a una temperatura de 15°C. Por último, en la figura 18c el mayor tiempo generacional para *A. glabra* se observa en el grupo control en el día 10.5 para las tres temperaturas seguida del tratamiento del 25% de RUVB en el día nueve a una temperatura de 20°C.

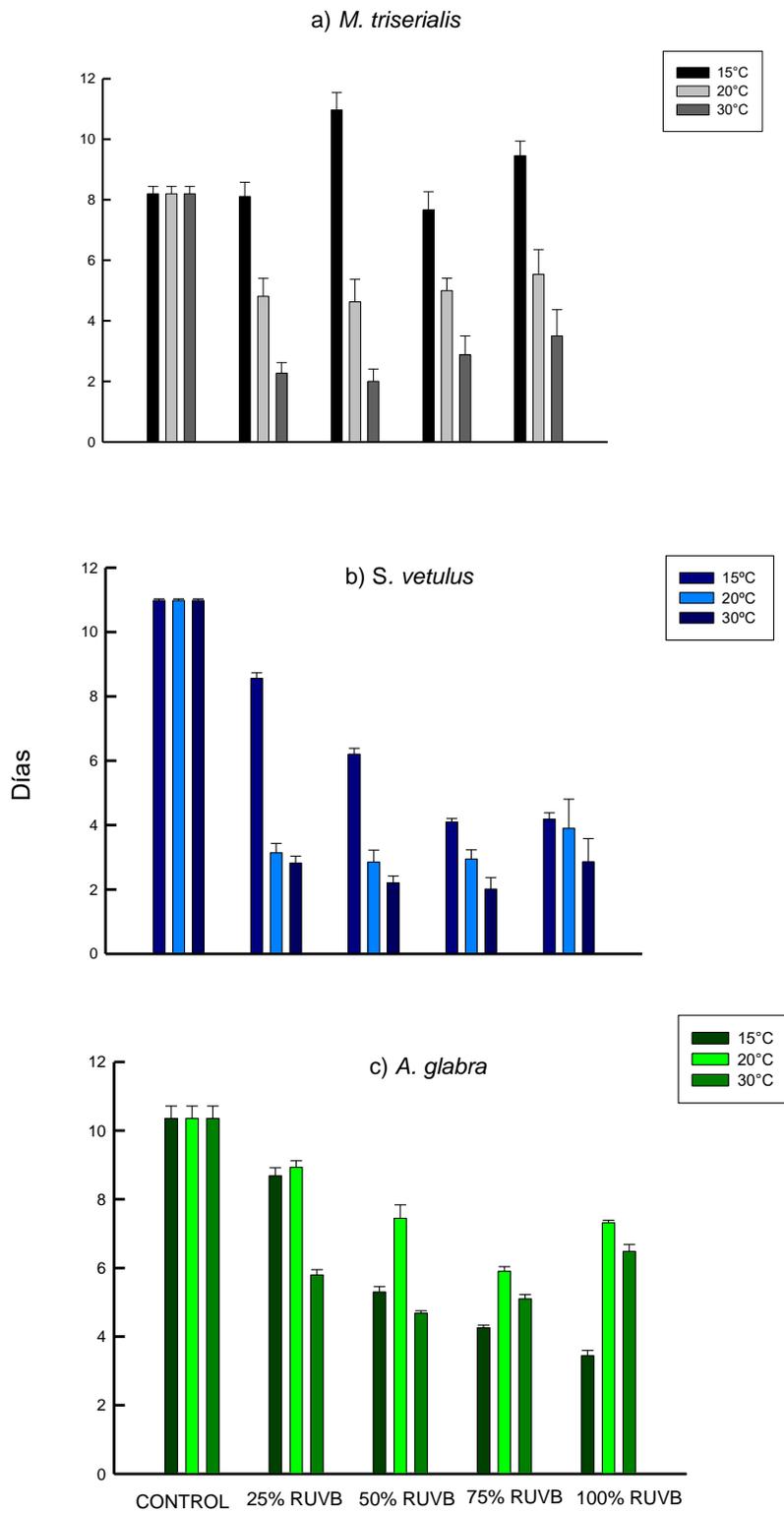


Figura 18. Gráficas de tiempo generacional a temperaturas de 15, 20 y 30°C

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este proyecto muestran diferencias marcadas, a las esperadas en nuestras hipótesis, sin ser estrictamente contrarios a ella. Un ejemplo de este comportamiento es que de acuerdo con Pulido en el 2013 las poblaciones pueden persistir localmente a través de la plasticidad fenotípica y la microevolución de los rasgos de la historia de vida para lidiar con el aumento de la temperatura, sin embargo, éste supuesto no aplica para *lx* en nuestras tres especies de cladóceros en donde se observa que para el caso de *M. triserialis* en la figura 8g, *S. vetulus* en la figura 10h y *A. glabra* en la figura 10i los organismos empiezan a morir gradualmente en el día 5, 4 y 10 respectivamente a una temperatura de 30°C. Esto muy independiente de las incidencias de RUV-B a las que están siendo sometidas (las 3 especies coinciden en mortandad al 50% de RUV-B) lo cual coincide con Ventura en el 2008 donde observa que el parámetro de *lx* es afectado directamente por la temperatura, al encontrar que *en C. rigaudi* cultivada a 30 °C y alimentada con microalgas, presentó mortalidad hasta después del noveno día disminuyendo gradualmente desde el décimo día hasta el día 56. Sin embargo, a 25 °C la mortalidad inicia entre el cuarto día y se prologa hasta el día 30.

También se observó que el mayor índice de *lx* se encontró a una temperatura de 20°C, a una RUV-B del 100% para las tres especies (figura 9d, 9e, 9f), esto coincide con diversos estudios como el de MacFayden *et, al.* en el 2004 en el cual estudiaron la importancia relativa de la temperatura en la foto reparación de *Daphnia pulicaria*, partiendo de la premisa de que el sistema enzimático de la foto reparación es dependiente de la temperatura. Los resultados confirman que a mayor temperatura, el mecanismo de reparación es más eficiente y conlleva una mayor *lx*. Estos resultados implican que un organismo que depende en gran medida de la foto reparación estaría en desventaja ante altos niveles de RUV-B si vive en ambientes de bajas temperaturas, lo que se puede corroborar en nuestro tratamiento de 15°C en el donde el índice de *lx* es muy bajo cuando *S. vetulus* y *A. glabra* (figura 8b y 8c) son sometidos a radiaciones del 75% y 100% en el cual los organismos comienzan a morir en el día 10 y 6 respectivamente es decir a menos de la mitad

de completar su ciclo de vida en condiciones favorables, esto concuerda con Aarseth (2002) demostró que en experimentos con radiación artificial que la RUV puede provocar, en unos pocos días, mortalidades del 100% y con Pascual y Yufera en 2004 cuya población de cladóceros con los que trabajaron no prosperó a 15°C.

Hay diversos estudios que documentan la mortalidad de los individuos acuáticos al ser expuesto a RUV, en donde se observa muchas veces que las curvas de supervivencia muestran un período de “tolerancia” o baja mortalidad, antes de comenzar a mostrar signos apreciables de mortalidad. Esto significa por un lado que el organismo puede tener una dosis de RUV a partir de la cual la mortalidad comenzará a aumentar rápidamente (valor umbral de dosis), pero también sugiere que cierta cantidad de daño tiene que acumularse en el organismo antes de ser desencadenada la mortalidad. En muchos casos se desconoce qué efectos puede tener ese daño acumulado subletal (Zagarese et al. 1998; Cywinska et al. 2000; Aarseth y Schram 2002) y es quizá esto lo que sucedió en nuestro tratamiento con *M. triserialis* a 15°C (figura 8a), es decir no hubo suficiente daño acumulado para que la mortalidad se empezará a desencadenar, o bien algunos organismos disponen de un sistema molecular de reparación específico para las mutaciones provocadas por la RUV en el ADN. Este mecanismo utiliza energía de la radiación PAR/UVA para revertir directamente la lesión en el material genético. Este proceso está mediado por una enzima, la fotoliasa y se denomina reparación foto-enzimática o fotorreparación (Mitchell y Karentz 1993; Banaszak 2003).

La prueba para evaluar las diferencias estadísticamente significativas (ANOVA) entre los valores obtenidos para el caso de la supervivencia no arrojó diferencias entre ninguno de los tratamientos, pero sí entre especies ($p < 0.001$) (Anexo1) lo cual coincide con Villafañe *et al.* en el 2001, al observar que los efectos de la RUV-B son diferentes según la especie considerada y es difícil hacer extrapolaciones a un sistema natural de poblaciones ya que es necesario estudiar la sensibilidad diferencial de los organismos y los factores que puedan modificar la aclimatación de las especies a la radiación solar. También Tartarotti *et al.* en el 2000 describe una tolerancia diferencial, en *C. abyssorum tatricus* mostrando una mayor supervivencia

en verano y con días despejados contra *B. gracilipes* que fue menos tolerante: la mortalidad se multiplicó por 5 cuando recibió RUV-B en incubaciones de 72 horas.

Para la fecundidad (mx) observamos que en todos los grupos control para nuestras especies el mayor pico de abundancia de neonatos ocurre a partir de la segunda semana (figura 11 a-c, 12 d-f y 13 g-i), lo cual coincide con Nandini *et al.* (1998) en donde señalan que en general los rotíferos alcanzan su pico máximo de abundancia en la primera semana mientras que los cladóceros tardarán al menos dos semanas. Entrando en materia de los tratamientos, observamos que a 30°C la abundancia de neonatos es mayor (comparada con nuestras dos temperaturas restantes) para y *S. vetulus* con 3.5 neonatos (13h), esto indica el esfuerzo de las hembras por producir descendencia ante una condición distinta y menos favorable, también lo observamos en el experimento de Rodriguez *et al.* en el 2003 donde afirma que la fecundidad por desove en *M. micrura* se incrementó con el aumento de la temperatura, en nuestro experimento esta tasa alta de fecundidad ocurre durante la primera semana del ciclo de vida de cada especie, por lo que se puede concluir alternativamente, que las poblaciones tratan de persistir localmente enfocando su energía en reproducirse para lidiar con el aumento de la temperatura antes de que ocurra la mortandad de todos los organismos a través de la plasticidad fenotípica y la microevolución de los rasgos de la historia de vida (Robertson, 1988; De Eyto e Irving, 2001; Santos-Wisniewski *et al.*, 2006). Esto no ocurre en *A. glabra* y *M. triserialis* y su mayor pico de mx ocurre en el día 8 y 14, del experimento a una temperatura de 20°C con 7 y 3 neonatos (figura 11a y 11c), coincidiendo con Dole-Olivier *et al.*, 2000 afirmaron que a bajas temperaturas los procesos de reproducción y maduración en cladóceros se retardan.

También se debe tomar en cuenta que existen diferencias significativas de acuerdo con la ANOVA aplicada (anexo 11.1) entre las especies y la RUV-B ($p < 0.001$), donde en todos los casos observamos que a mayor incidencia de RUV-B menor la abundancia de neonatos, lo cual también se observa en experimentos con huevos del copépodo marino *Calanus finmarchicus* en donde demostraron que la RUV natural tiene efectos negativos en el porcentaje de eclosión (Alonso Rodríguez *et*

al. 2000) cuantificando el daño al material genético en estadios iniciales de *C. finmarchicus* y del bacalao y encontrando que el daño es mayor en los huevos que recibieron UVB para ambas especies. A la vez, el daño inducido por la RUV fue menor en el material genético de huevos que en el de larvas, lo cual también sugiere una tolerancia diferencial desde el punto de vista ontogenético (Browman et al. 2003).

En el análisis demográfico, observamos que para el promedio de vida los valores más altos en este índice ocurren a incidencias de RUV-B bajas (25%) para las tres especies (figura 14a, 14b, 14c) y a temperatura de 15°C para *M. trisesialis* y *S. vetulus* y a 20°C para *A. glabra*. Burak en 1997 mencionó que un incremento en la temperatura aumenta el metabolismo del organismo y por ende incrementa el consumo de energía de la hembra reduciendo su longevidad, lo que concuerda con nuestro trabajo, pues el índice de vida media disminuye conforme va aumentando la temperatura). El estudio elaborado por Murugan y Job en 1982 confirma lo obtenido en nuestro trabajo, ya que reportaron que para *Leydigia acanthocercoides* el promedio de vida fue de 23 días a temperaturas entre 28-30°C, lo que indica que, en altas temperaturas, las hembras reducen su ciclo de vida. Smirnov (1964) encontró que el promedio de vida para dos especies de *Pleuroxus* fueron de 77 días (*P. striatus*) y 68 días (*P. aduncus*), mantenidos a bajas temperaturas (14-20°C). Los resultados del presente trabajo y los reportes previos indican que los organismos mantenidos a baja temperatura tienden a ser más longevos.

En crecimiento poblacional observamos en la figura 15a que a menor temperatura, mayor será r , es decir a 15°C para *M. trisesialis* con una incidencia de RUVB del 25% su r es de 0.2, esto concuerda con los valores reportados por Muro-Cruz y colaboradores en el 2002, quienes reportan que para *M. trisesialis* el rango normal de r oscila entre 0.25-0.26, mientras que para *A. glabra* (figura 15c) el valor de r que más se acerca con lo reportado por Nandini y colaboradores en el 2002 es a 20°C con una incidencia de RUVB del 25% (valor de r 0.2), sin embargo el valor más alto de r para *A. glabra* en este trabajo es de 0.5 a 15°C a 100% de RUVB esto en contraposición a lo observado por Pascual y Yúfera (1983) cuya población

del rotífero *Brachionus plicatilis* a los 15°C no prosperó en absoluto, sin embargo otro factor a considerar es la RUVB al que fue sometido en nuestro experimento ya que como se viene mencionando anteriormente la RUV-B, dada su corta longitud de onda, tiene la capacidad de poder interactuar con las estructuras moleculares del material genético (ADN) de tal manera que posee, entre otros, efectos mutagénicos potencialmente peligrosos para los seres vivos (Mitchell y Lampert 2000) sin embargo existen especies que hacen frente a estrés que les provoca éste daño invirtiendo su energía en aumentar su número de organismos como medida de supervivencia, y es probable que es lo que esté ocurriendo con *A. glabra*.

Por último en la figura 15b tenemos a 30°C el índice de *r* más bajo y más alto, La alta tasa de crecimiento obtenida en éste trabajo (con una *r* de 0.6) a la mayor temperatura (30°C) coincidió con la establecido con Miracle y Sierra en 1989 para *Alona* en condiciones de laboratorio, mientras que la *r* más baja con un valor de 0.1 se acerca con lo reportado por Nandini y Sarma en el 2000 en donde el rango óptimo para *S. vetulus* oscila entre 0.12-0.28, a pesar de que ambas *r* se encuentran a la misma temperatura, no están sometidas a la misma incidencia de RUVB, para la *r* de 0.1, el organismo fue sometido a la menor cantidad de radiación expuesta en éste trabajo (25%) según Serra y colaboradores en 1998 aquellos organismos que alcancen altos valores de crecimiento poblacional tendrán una ventaja crucial al momento de responder ante un cambio en la condición del ambiente. A su vez, este parámetro estará sujeto a las condiciones en las que se encuentren las especies y en cuanto a su fisiología y genética propia.

Para reproducción neta observamos que a menor temperatura (15°C), mayor el índice de reproducción neta para *M. triserialis* y *S. vetulus* con 1.5 y 3.5 neonatos respectivamente y con una incidencia de RUV-B del 25% (figura 17a y 17b) si lo comparamos con el estudio realizado por Robertson en 1990 donde encontró que para tres especies de quidóridos (*Alona affinis*, *Disparalona rostrata* y *Leydigia leydigi*), en ambientes naturales al aumentar la temperatura, disminuyó el tiempo intercamadas, la edad de la primer reproducción y el número de neonatos por hembra.

En el caso de *A. glabra* podemos observar dos escenarios: El primero es cuando vemos que la temperatura ideal para su reproducción es de 20°C a una exposición de RUVB del 25%, esto coincide con Dodson & Frey en el 2001 donde afirman que los cladóceros tienen mayor éxito reproductivo, producción de huevos y supervivencia a temperaturas cercanas a 20°C. En el segundo escenario observamos que a una temperatura de 30°C y RUVB del 75% se mantiene en óptimas condiciones la población de *A. glabra* con un índice de reproducción neta de 10 neonatos, si comparamos y retomamos el estudio de Browman y colaboradores en el 2003 en donde se estudió la incidencia de radiación en larvas de la langosta *Homarus americanus* (un crustáceo meroplanctónico de importancia económica) no se mostró una mortalidad significativa debida a la RUV, aun cuando estuvieron expuestas a condiciones equivalentes a la radiación recibida a 1 m de profundidad durante 2 horas, también estudios con otra especie (*Porites astreoides*) demuestran que las larvas pueden detectar y evadir la RUV, por lo que la opción más probable del menor asentamiento sería el efecto del comportamiento en respuesta a la RUV elevada (Gleason et al. 2005), también hay que recordar que Benitez en el 2012 al hacer un estudio de migraciones del zooplancton en un lago somero encontró que en el eje vertical, *T. patina* descendió significativamente al anochecer, mientras que *A. glabra* y *C. sphaericus* presentaron sus máximas densidades en niveles superficiales durante la noche, por lo que la primera barrera que tiene *A. glabra* para no tener que lidiar con la RUVB es migrar a lo profundo del lago durante el día y emerger a la superficie durante la noche, ya que los organismos que tienen la capacidad de migrar verticalmente en la columna de agua, pueden lograr en ciertos casos evadir la RUV, lo cual otorgaría una ventaja a dichas especies. Por ejemplo Siebeck y Bohm (1994) observaron diferencias en la tolerancia a la UVB (en términos de mortalidad) en dos especies de cladóceros, una que no realiza migración vertical (*Daphnia pulex*) y otra que sí la realiza (*Daphnia galeata*). Al estar incubadas en puntos fijos (tanto bajo RUV natural como artificial), se observó el 100% de mortalidad de *D. galeata* en valores de radiación equivalentes a un día despejado de verano sin embargo en condiciones de laboratorio esto no fue posible, lo que nos sugiere que en nuestro experimento *A.*

glabra como respuesta al estrés tanto de temperatura como de radiación al que estuvo sometido provocó el aumento en su tasa de reproducción y que como reporta Villalobos y González en el 2005 algunos cladóceros pueden invertir rápidamente la energía disponible en su madurez reproductiva. Incluso la duración de los estadios disminuye al aumentar la temperatura y ya que la RUV depende de la relación RUV/PAR, es decir de la relación entre la energía que daña contra la que “repara” el ADN, esta relación en el medio acuático puede variar no sólo de acuerdo a la profundidad, sino también al tipo de organismo (Jonzen 2006). Esto último también aplica para la reproducción bruta en nuestro experimento, ya que, observamos que, a menor temperatura, mayor será el índice de reproducción bruta, para las tres especies (figura 17a, 17b y 17c) esto demuestra que la sensibilidad a la RUV puede ser distinta para especies que cohabitan el espacio pelágico al menos temporalmente (Alonso Rodríguez et al. 2000)

En el caso de tiempo generacional se observa que a menor temperatura y menor incidencia de RUV-B se presenta un rápido desarrollo en las hembras de las 3 especies y que conforme la temperatura va aumentando, este índice va disminuyendo, tal como se observa en la figura 18a donde *M. triserialis*, tiene un mayor índice de tiempo generacional en el día 11 a una temperatura de 15°C y una incidencia de RUVB al 25% y para *A. glabra* y *S. vetulus* ocurren en el día 9 a una RUVB del 25% (figura 18b y 18c). Esto concuerda con Dodson y Frey en el 2001 donde el tiempo generacional se reduce cuando la temperatura se acerca a los 20° C y con Murugan en 1975 donde afirma que los miembros de la familia *Moinidae* presentan un rápido desarrollo, si este se relaciona con la temperatura que afecta en forma inversa la duración del desarrollo embrionario encontrando a mayores temperaturas menores valores a los registrados en el tiempo generacional ya que el tiempo de desarrollo embrionario se extendería (Rodríguez 2003).

Para futuros experimentos se sugiere involucrar el tipo de alimento y la medición de los organismos, ya que se ha demostrado que la talla se modifica por los diversos factores bióticos y abióticos que ejercen presión sobre ellos. En la teoría de historias

de vida, el tamaño de los individuos es un componente importante, ya que el mayor tamaño aumenta la eficiencia biológica de los organismos (Ventura 2008).

CONCLUSIONES

En este trabajo se hace evidente el efecto de la temperatura y la radiación UV-B sobre la tabla de vida demográfica de *M.triserialis*, *A. glabra* y *S. vetulus* concluyendo que:

- El aumento de la temperatura disminuye la supervivencia en *M. triserialis* y *S. vetulus* al estar expuestos a 30°C, esto muy independiente de las incidencias de RUV-B.
- A bajas temperaturas el índice de supervivencia es bajo para *A. glabra* si es combinada con altas incidencias de RUV-B.
- *S. vetulus* aumentan su tasa de fecundidad cuando la temperatura aumenta, esto provocado por el estrés térmico al que fueron sometidos, mientras que *M.triserialis* y *A. glabra* aumentan su tasa de fecundidad a bajas temperaturas.
- En cuanto a reproducción, este parámetro es inversamente proporcional a la temperatura e incidencia de RUV-B en *M. triserialis* y *S. vetulus*.
- Par *A. glabra* a mayor temperatura e incidencia de RUV-B, mayor número de neonatos, debido al estrés al que se encuentran sometidos.

Aunque en la actualidad se reconoce que los efectos de la radiación solar distan mucho de ser comprendidos se observa que dependen en gran medida de otros factores ambientales que pueden interactuar con la RUV ya sea del medio externo (temperatura, cubierta de nubes, penetración de la radiación en la columna de agua, etc.) o del medio interno (compuestos protectores, capacidad de fotorreparación, capacidad de detectar la radiación dañina, vulnerabilidad al daño inducido por la RUV etc.) Por lo que se recomienda para futuras investigaciones incluir algunos de estos parámetros mencionados ya que a nivel de comunidades, los efectos subletales de la RUV podrían afectar a la población de manera negativa y catastrófica con actual cambio climático.

BIBLIOGRAFIA

Aarseth K.A., Schram T.A. 2002. Susceptibility to ultraviolet radiation in *Calanus finmarchicus* and adaptive value of external filtering. *Journal of plankton research* 24: 661-679

Alonso, M. 1996. Crustacea. Branchiopoda. En Ramos, M. A. et al. (eds.), *Fauna Ibérica*, 7. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC, Madrid, 486 pp.

Alonso Rodriguez C, Browman HI, Runge JA, St-Pierre JF. 2000. Impact of solar ultraviolet radiation on hatching of a marine copepod, *Calanus finmarchicus*. *Marine Ecology Progress Series* 193: 85-93

Arcifa, M. S., Ferrao-Filho, S. & L. H. S. Silva. 2004. Influence of phytoplankton fractions on growth and reproduction of tropical cladocerans. *Aquatic ecology* 38: 503-514.

Ardohain, D., H. Benítez, M. Claps & N. Gabellone. 2005. Estructura y dinámica de rotíferos planctónicos en dos lagunas pampásicas: similitudes y diferencias. *Biología Acuática* 22: 7-18.

Banaszak, A., T. 2003. Photoprotective physiological and biochemical responses by marine and freshwater organisms to UVR. In: Helbling EW, Zagarese HE (eds) *UV effects in aquatic organisms and ecosystems*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge

Baranyi, C., T. Hein, C. Holarek, S. Keckeis & F. Schiemer. 2002. Zooplankton biomass and community structure in a Danube River floodplain system: effects of hydrology. *Freshw. Biol.* 47: 473-482.

Bitó D., Milani N. y Pereira G. 2006. Tasa de filtración e ingestión de *Simocephalus vetulus* (MÜLLER, 1776) (CRUSTACEA: CLADOCERA) alimentado con *Selenastrum capricornutum* PRINTZ, 1914 Y *Chlorella vulgaris* BEIJERINCK, 1890. *INCI*. 2006, vol.31, n.10 pp. 753-757

- Branco S.M. 1998. Hidrobiologia Aplicada a Engenharia Sanitaria. CETESB. Sao Paulo, Brasil. 620pp
- Brooks L. 1966. Cladocera: 587-656. In EDMONDSON, W. T. (ed.). Freshwater biology. U. S. A. John Wiley. 1248 p.
- Browman HI. 2003. Assessing the impacts of solar ultraviolet radiation on the early life stages of crustacean zooplankton and ichthyoplankton in marine coastal systems. Estuaries 26: 30-39
- Burak, E. E., 1997. Life tables of *Moina macrocopa*(Straus) in successive generations under food and temperature adaptation. Hydrobiologia. 360:101-108.
- Carpenter, S. R., J. J. Cole, J. R. Hodgson, J. F. Kitchell, M. L. Pace, D. Bade, K. L. Cottingham, T. E. Essington, J. N. Houser & D. E. Schindler. 2001. Trophic cascades, nutrients, and lake productivity: whole-lake experiments. Ecol. Monogr. 71: 163–186.
- Casper, A. F. & J. H. Thorp. 2007. Diel and lateral patterns of zooplankton distribution in the St. Lawrence River. River Res. Applic. 23: 73–85
- Christoffersen K., Andersen N., Liboriussen L., Jeppesen, E. 2006. Implications of climate-enforced temperature increases on freshwater pico- and nanoplankton populations studied in artificial ponds during 16 months. Hydrobiologia, 560, 259–266.
- Cockel, C., S. 2001. A photobiological history of earth. Blaustein (eds.). Ecosystems, evolution and ultraviolet radiation. Springer-Verlag, New York, pp. 1-35.
- Cooke S.L., Williamson C.E., Saros J.E. 2006. How do temperature, dissolved organic matter and nutrients influence the response of *Leptodiptomus ashlandi* to UV radiation in a subalpine lake?. Freshwater Biology 51: 1827-1837
- Cummins K. 1979. An introduction to the aquatic insects of North America. Iowa. Kendall/Hunt. 441 p

Cywinska A, Crump D, Lean D. 2000. Influence of UV radiation on four freshwater invertebrates. *Photochemistry and Photobiology* 72: 652-659

Davidson Jr., N. L., W. E. Kelso & D. Allen Rutherford. 2000. Characteristics of cladoceran and copepod communities in floodplain habitats of the Atchafalaya River Basin. *Hydrobiologia* 435: 99–107, 2000.

De Bie, T., S. Declerck, K. Martens, L. De Meester & L. Brendonck. 2008. A comparative analysis of cladoceran communities from different water body types: patterns in community composition and diversity. *Hydrobiologia* 597:19-27

De Eyto, E., and I. Kenneth, 2001. The response of threes chydorid species to temperatures, pH and food. *Hydrobiologia*. 459: 165-171.

Díaz J.R. Historia de vida de *Moina micrura* (Crustacea-Cladocera), alimentada con três especies de algas, no laboratório. Dissertação de mestrado. Instituto nacional de Pesquisas da Amazônia. 1994. Universidad Federal do Amazonas. 78 p.

Dodson, S. 2005. Introduction to limnology. Mcgraw-hill. USA.

Dole-Olivier, M.J, D. M. P Galassi, P. Y. Marmonier, C.M. Des Chatelliers, 2000. The biology and ecology of lotic microcrustaceans. *Freshwater Biology*. 44:63–91.

Elmoor-Loureiro, L. M. A., I. Mendonça-Galvão y C. Padovesi-Fonseca. 2004. New cladoceran records from Lake Paranoá, Central Brazil. *Braz. J. Biol.*, 64 (3a): 415-422.

Escobar, F.J., Hernández, J.A., & Cortés, J.E. 2008. Diseño y construcción de bioambientes artificiales controlados para el cultivo de tejidos vegetales in vitro. *El Astrolabio*, 7(2), 7-15.

Etterson JR, Shaw RG. 2001. Constraint to adaptive evolution in response to global warming. *Science*, 294, 151–154.

Frey, D.G., 1997. The taxonomy and biogeography of the Cladocera. *Hydrobiologia*. 145:5-17.

Gay, 2000. México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. México. Instituto Nacional de Ecología/ Universidad Nacional Autónoma de México/ U.S. Country Studies Program.

Gleason DF, Edmunds PJ, Gates RD. 2005. Ultraviolet radiation effects on the behavior and recruitment of larvae from the reef coral *Porites astreoides*. *Marine Biology* 148: 503-512

Hader D.P., Kumar H.D., Smith R.C. 2011. Effects on aquatic ecosystems *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 46: 53-68

Hessen DO. 2007. Ultraviolet radiation negatively affects growth but not food quality of arctic diatoms. *Limnology and Oceanography* 52: 787-797

Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?. *Trends in Ecology & Evolution*. 15 (2): 56-61.

Jonzen N, Linden A, Ergon T et al. (2006) Rapid advance of offspring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science*, 312, 1959–1961.

Kane K, Pomory CM. 2001. The effects of UV-B radiation on the reproduction and mortality of *Tigriopus californicus* (Copepoda: Harpacticoida). *Hydrobiologia* 444: 213-215

Karu, T. 1993. Can cellular responses to continuous-wave and pulsed UV radiation differ?. Wilhem (eds.). *UV effects in aquatic organisms and ecosystems comprehensive series in Photochemical and Photobiological sciences*. The Royal Society of Chemistry.

Lacuna DG, Uye S-I. 2000. Effect of UVB radiation on the survival, feeding, and egg production of the brackish-water copepod, *Sinocalanus tenellus* with notes on photoreactivation. *Hydrobiologia* 434: 73-79

Lampert W. 1997. Zooplankton research: the contribution of limnology to general ecological paradigms. *Aquatic Ecology* 31: 19-27

Lenz J. 2010. Introduction. Zooplankton methodology manual. Academic press, San diego, CA, pp 1-32

Luoto, T.P., Nevalainen, L. & Sarmaja-Korjonen, K. 2013. Zooplankton (Cladocera) in assessments of biologic integ rity and reference conditions: application of sedimentary assemblages from shallow boreal lakes. *Hydrobiologia*, 707,173–185.

MacFadyen E. Williamson CE, Grad G, Lowery M. Wade JH, Mitchell DL. 2004. Molecular response to climate change: temperature dependence of UV-induced DNA damage and repair in the freshwater crustacean *Daphnia pulicaria*. *Global Change Biology* 10: 408-416

Mc KEE, D.; EBERT, D. 1996. The effect of temperature on maturation

Mitchell DL, Karentz D. 1993. The induction and repair of DNA photodamage in the environment. In: Young AR, Björn LO, Moan J, Nultsch W (eds) *Environmental UV Photobiology*. Plenum Press, New York, pp 345-377

Mitchell SE, Lampert W .2000. Temperature adaptation in ageographically widespread zooplankter, *Daphnia magna*. *Journal of Evolutionary Biology*, 13, 371–382.

Morris, D. P., y Hargreaves, B. R. 2005. The role of photochemical degradation of dissolved organic carbon in regulating the UV transparency of three lakes on the Pocono Plateau. *Limnology and Oceanography*, 42: 239-249.

Muro-Cruz, G., S. Nandini & S. S. S. Sarma, 2002. Comparative life table demography and population growth of *Alona rectangula* and *Macrothrix triserialis* (Cladocera: Crustacea) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density. *Journal of Freshwater Ecology* 17: 1–11.

Murugan N. Egg production, development and growth in *Moina micrura*, Kurz (1874) (Cladocera: Moinidae). *Freshwat Biol.* 1975; 5:245-250.

Murugan, N., and S.V. Job, 1982. Laboratory studies on the cycle of *Leydigia acanthocercoides* Fisher (1854) (Cladocera: Chydoridae). *Hydrobiologia*. 89: 9-16.

Nandini, S., S. S. S. Sarma and T. R. Rao, 1998. Effect of co-existence on the population growth of rotifers and cladocerans. *Russell Journal of Aquatic Ecology*. 7:1- 10.

Nandini, S. & S. S. S. Sarma, 2000. Lifetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia* 435: 117–126.

Nandini, S. y Sarma, S. S. S. 2001. Population growth of some genera of cladocerans in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Hydrobiologia*, 491: 211-219, 2003.

Nandini, S. & S. S. S. Sarma, 2002. Competition between *Moina macrocopa* and *Ceriodaphnia dubia*: a life table demography study. *International Review of Hydrobiology* 87: 85–95.

Nielsen T.G., Sabatini M.E. 1996. Role of cyclopoid copepods *Oithona* spp. In North sea plankton communities. *Marine Ecology Progress Series* 139: 79-93

O'Connor MI, Bruno JF, Gaines SD, Halpern BS, Lester SE, Kinlan BP, Weiss JM (2007) Temperature control of larval dispersal and the implications for marine ecology evolution, and conservation. *Proc Natl Acad Sci USA* 104:1266–1271.

Ostroumov, S.A. 2005. Some aspects of water filtering activity of filter-feeders. *Hydrobiologia* 542: 275-286.

Pettersson K, Grust K, Weyhenmeyer G, Blenckner T. 2003. Seasonality of chlorophyll and nutrients in Lake Erke effects of weather conditions. *Hydrobiologia* 506–509: 75–81

Previattelli, D., G. Perbiche-Neves & E. N. dos Santos-Silva. 2013. New Diaptomidae records (Crustacea: Copepoda: Calanoida: Diaptomidae) in the Neotropical region. *Check List* 9: 700–713.

Prieto M. & V. Atencio. 2008. Zooplankton en la larvicultura de peces neotropicales. *Rev. MVZ Córdoba* 13: 1415-1425

- Prieto, M., L. De la Cruz y M. Morales. 2006. Cultivo experimental del Cladocero *Moina* sp alimentado con *Ankistrodesmus falcatus* y *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista MVZ. Córdoba*. 11(1): 705-714
- Pulido F, Berthold P (2004) Microevolutionary response to climatic change. *Advances in Ecological Research*, 35, 151–183.
- Pulido F, G. 2013. Estudios científicos en el Estado de Hidalgo y zonas aledañas volume 2. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pag 25.
- Rettig, J. E., Schuman, L.S. & J.K McCloskey. 2006. Seasonal patterns of abundance: do zooplankton in small pond do the same thing every spring-summer? *Hydrobiologia* 556: 193-207.
- Ribera, I., Melic, A., & Torralba, A. 2015. Introducción y guía visual de los artrópodos. *Revista Ide@-SEA*. 2: 1-30.
- Robertson, A. L., 1988. Life histories of some species of Chydoridae (Cladocera: Crustacea). *Freshwater Biology*. 20:75-84.
- Robertson, A. L., 1990. The population dynamics of Chydoridae and Macrothricidae (Cladocera: Crustacea) from the River Thames, U.K. *Freshwater Biology*. 24:375-389.
- Roff, D. A., 1992. *The Evolution of Life Histories*. Chapman and Hall, New York.
- Rodriguez C, Browman HI, Runge JA, St-Pierre JF. 2000. Impact of solar ultraviolet radiation on hatching of a marine copepod, *Calanus finmarchicus*. *Marine Ecology Progress Series* 193: 85-93
- Rodriguez C, Browman HI, St-Pierre JF .2003. High survival of neustonic zoea I larvae of American lobster *Homarus americanus* following short-term exposure to ultraviolet radiation (280 to 400 nm). *Marine Ecology Progress Series* 193: 305-309
- Rodríguez, J., Villaseñor, R., Martínez, F. 2003. Efecto de la temperatura y tipo de alimento en el cultivo de *Moina micrura* (Kurz, 1874) (Anomopoda: Moinidae) en condiciones de laboratorio. *Hidrobiológica* 13(3):239-246.

Rowland, F. 2006. Stratospheric ozone depletion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Biological Sciences* 361: 769-790

Sanders R.W., Macaluso A.L., Sardina T.L., Mitchell D.I. 2005. Photoreactivation in freshwater ciliates: differential responses to variations in UV-B flux and temperature. *Aquatic Microbial Ecology* 40: 283-292.

Santos-Wisniewski, M. J., O. Rocha, A. M. Güntzel and T. Matsumura-Tundisi, 2002. Cladocera Chydoridae of high altitude water bodies (Serra da Mantiqueira), in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 62 (4a): 1-7.

Sarma, S.S.S. 1991. Rotifers and Aquaculture. *Environment and ecology*): 414-428.

Siebeck O, Bohm U .1994. Challenges for an appraisal of UV-B effects upon planktonic crustaceans under natural radiation conditions with a non-migrating (*Daphnia pulex obtusa*) and a migrating cladoceran (*Daphnia galeata*). *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 43: 197-206

Sieburth J.M., Smetacek V., Lenz J. 2009. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography* 23: 1256-1263

Siegismund F., Schrum C. 2001. Decadal changes in the wind forcing over the North Sea. *Climate Research* 18(1): 39-45

Smirnov, N. N., 1964. *Pleuroxus* (Chydoridae): Field observations and growth. *Hydrobiologia* . 23(3-4):305-320.

Smith RC, Worrest RC .2007. Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. *Photochemical and Photobiological Sciences* 6: 267-285

Tartarotti B, Cravero W, Zagarese HE .2000. Biological Weighting Function for the mortality of *Boeckella gracilipes* (Copepoda, Crustacea) derived from experiments with natural solar radiation. *Photochemistry and Photobiology* 72: 314-319

Tedetti, M., and R. Sempere. 2006. Penetration of ultraviolet radiation in the marine environment: A review, *Photochem. Photobiol.*, 82, 389 – 397.

Torrentera, L. y A. Tacon, 1989. La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura In: Apoyo a las actividades regionales de acuicultura para América Latina y el Caribe, Proyecto AQUILA GCPIRLA/075/ITA, FAO, Brasil, 12: 1-90.

Ventura, C. 2008. Biología reproductiva de *Ceriodaphnia rigaudi* Richard. 1894. (Crustacea: Anomopoda) y efectos de su exposición a petróleo crudo. Tesis de Maestría (Maestro en Ciencias Quimicobiológicas). Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas de México D.F.

Villafañe VE, Helbling EW, Zagarese HE .2001. Solar ultraviolet radiation and its impact on aquatic systems of Patagonia, South America. *AMBIO* 30: 112-117

Villagra de Gamundi, A., C. Locascio de Mitrovich & C. Seeligmann. 2005. Consideraciones sobre la comunidad planctónica en humedales de alta montaña (Catamarca – Argentina). Simposio de Humedales Altoandinos. Línea temática nº 3: Flamencos y otras especies indicadoras. Actas (en soporte electrónico) (3). Grupo Conservación de Flamencos Altoandinos, Convención Ramsar, Salta.

Webb AR, Helbling EW, Zagarese HE. 2003. UVR climatology UV effects in aquatic organisms and ecosystems. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp 21-58

Wei T. 2012 Developed and developing world responsibilities for historical climate change and CO2 mitigation. *Proc Natl Acad Sci USA* **109**(32):12911–12915.

Yúfera, M. y F. Pascual. 2004. La producción de organismos zooplanctónicos para la

Zagarese H.E., Williamson C.E. 1994. Modeling the impacts of UV-B radiation on ecological interactions in freshwater and marine ecosystems. In: Biggs RH, Joyner

Zellmer I.D., Arts M.T., Abele D., Humbeck K. 2004. Evidence of sublethal damage in *Daphnia* during exposure to solar UV radiation in Subarctic ponds. *Arctic, Antarctic, and Alpine research* 36: 370-377

ANEXOS

Anexos análisis estadísticos:

Supervivencia. Análisis de varianza.

Fuente de variación	GL	SC	MC	F	P
Entre especies	2	1.683	0.842	9.076	<0.001
Entre Temperaturas	2	0.142	0.0712	0.768	0.464
Entre RUV-B	4	0.436	0.109	1.175	0.320
Especies/Temperatura	4	1.163	0.291	3.136	0.014
Especies/ RUV-B	8	1.758	0.220	2.370	0.015
Temperatura/ RUV-B	8	0.504	0.0629	0.679	0.711
Residual	1760	163.189	0.0927		
Total	1804	171.403	0.0950		

Fecundidad. Análisis de varianza

	GL	SC	MC	F	P
Entre especies	2	607.565	303.782	196.940	<0.001
Entre Temperaturas	2	23.555	11.778	7.635	<0.001
Entre RUV-B	4	11.525	2.881	1.868	0.113
Especies/Temperatura	4	11.808	2.952	1.914	0.106
Especies/ RUV-B	8	71.122	8.890	5.763	<0.001
Temperatura/ RUV-B	8	13.309	1.664	1.078	0.375
Residual	1767	2725.619	1.543		
Total	1811	3447.951	1.904		

Medio Bold basal

A) Pesar y preparar las soluciones, agitar hasta su completa homogenización.

1.-NaNO ₃	250 g/L ⁻¹
2.-MgSO ₄	75 g/L ⁻¹
3.-K ₄ HPO ₄	75 g/L ⁻¹
4.-KH ₂ PO ₄	75 g/L ⁻¹
5.-NaCl	75 g/L ⁻¹
6.-EDTA	50 g/L ⁻¹ + 31g de KOHL ⁻¹
7.-FeSO ₄	4.98 g/L ⁻¹ +(1mL 31 g de

	H ₂ SO ₄ L ⁻¹)
8.-H ₃ BO ₃	1.42 g/L ⁻¹
9.-CaCl ₂	25 g/L ⁻¹
10.-Elementos traza:	
a) ZnSO ₄	8.82 g/L ⁻¹
b) MnCl ₂	1.44 g/L ⁻¹
c) MoO ₃	0.71 g/L ⁻¹
d) CuSO ₄	1.75 g/L ⁻¹
e) Co (NO ₃) ₄	0.49 g/L ⁻¹

B) Procedimiento para realizar un cultivo de algas para 2L de capacidad

- 1.- En un recipiente con de 2L de capacidad (con las tapas con dos perforaciones), agregar 30 ml de cada uno de los nutrientes previamente preparados.
- 2.-A la mezcla anterior, agregar 1.7 L de agua destilada
- 3.-Adicionar 5 o 10 mL de cultivo puro del alga *Chlorella vulgaris* (Verificar previamente en microscopio que no contenga contaminantes).
- 4.- Colocar un dispositivo de aireación (tubo de vidrio y manguera) manteniéndose en condiciones de luz constante.
- 5.- Posteriori, se aplica 0.5 ml de Bicarbonato de sodio cada dos días
- 6.- Finalmente se decanta, y guarda en frascos de vidrio correctamente etiquetados.

Tabla de medición de RUV que pasan por los filtros

Filtros (maya-sombra)	Cantidad de RUV (Mm)
100%	62.5
75%	39.9
50%	18.3
25%	14.2