



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias línea terminal Ingeniería en Biosistemas



Crecimiento en tres densidades y dos temperaturas de *Macrobrachium spp* como parámetros para producción acuícola intensiva

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestría en Ciencias

Presenta:
Julieta Sánchez Velázquez

Dirigido por:
Dr. Juan Fernando García Trejo

Dr. Juan Fernando García Trejo
Presidente

Firma

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa
Secretario

Firma

Dra. Maricela González Leal
Vocal

Firma

Dr. Enrique Rico García
Suplente

Firma

M. en C. Humberto Aguirre Becerra
Suplente

Firma
Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad de Ingeniería
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

RESUMEN

En México, la especie nativa de crustáceo *Macrobrachium tenellum* ha sido considerada una buena candidata para cultivo debido a la gran tolerancia que presente frente a fluctuaciones ambientales. Sin embargo, no hay registros acerca de su producción en sistemas de recirculación acuícola; en el cual la densidad de población y la temperatura de cultivo son cuestiones críticas de producción. Se determinó la tasa de supervivencia y estimadores de crecimiento de tres densidades de población (10, 15 y 20 organismos/m²) del langostino de agua dulce *M. tenellum* bajo dos tratamientos, uno sin regulación de temperatura (Sin T) y otro con regulación (Con T) en un sistema de recirculación acuícola a nivel experimental. Los resultados demuestran que la densidad de población tiene efecto sobre la supervivencia, ya que al haber sido mayor la primera, la segunda disminuyó en los tratamientos con regulación de temperatura (T4, T5 y T6 Con T). El tratamiento T4 con densidad inicial de 10 org/m² mostró la mejor supervivencia (50%) y el crecimiento más alto en peso (3683.33 mg) pero el T6 presentó las tallas más grandes (74 mm). Aunque los tratamientos que pertenecen al grupo de los sistemas con regulación de temperatura (Con T) tuvieron el mejor crecimiento para este experimento, mostraron crecimiento alométrico ($b \neq 3$), no alcanzaron a tener el crecimiento esperado para ser considerados para talla comercial.

Palabras clave Supervivencia, densidad de cultivo, cultivo intensivo, *Macrobrachium tenellum*.

SUMMARY

In Mexico, the native species of crustacean *Macrobrachium tenellum* has been considered as a good candidate for cultivation due to the great tolerance that is presented against environmental fluctuations. However, there is no record of its production in aquaculture recirculation systems; In which population density and growing temperature are critical production issues. The survival rate and growth estimates of three population densities (10, 15 and 20 organisms / m²) of the *M. tenellum* freshwater were determined under two treatments one without temperature regulation (Sim T) and one with regulation (Con T) In an experimental aquaculture recirculation system. The results show that the density of the population has an effect on the survival, since the greater the density, the survival decreases in treatments with temperature regulation (T4, T5 and T6 Con T). The T4 treatment with initial density of 10 org / m² showed the best survival (50%) and the highest growth in weight (3.68 mg) but the T6 presented the largest sizes (74 mm). Although treatments belonging to the group of systems with temperature regulation (Con T) had the best growth for this experiment, with an allometric growth ($b \neq 3$), none reached the expected growth for commercial size.

Keywords Aquaculture; density; growth; intensive; *macrobrachium*

DEDICATORIA

Este trabajo es para aquellos que pusieron un granito de arena para ser lograda, a mi esposo Memo que siempre me apoyó y fue luz en los momentos difíciles, a mis padres por ser los testigos de cada uno de los logros que han conseguido a través de mí por su compromiso, entrega y amor, a mis hermanas, Lily que me dio de su valioso tiempo para apoyar mis trámites cuando me era imposible por la distancia y Vane que me brindó su casa, ambas con el amor que siempre me han dado, maestra Esther este trabajo también es dedicado a usted por qué me acompañó durante los últimos seis meses para lograr el puntaje de inglés gracias por su confianza incondicional y principalmente a Dios que hace posible lo imposible y mostrarse a mí en cada situación adversa y de júbilo.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis el Dr. Juan Fernando García Trejo quien me dio su confianza para realizar este trabajo y su paciencia para orientarme.

A el sínodo que revisó este trabajo y que en su momento dieron valiosas aportaciones, Dra. Maricela gracias por sus dedicación y confianza, Dr. Genaro gracias por el apoyo a este proyecto y sus buenos consejos durante la clase, al Dr. Enrique por su diligencia la tesis fue terminada en tiempo, al profesor Humberto por ser guía y consejero profesional.

A los integrantes del laboratorio de Bioingeniería y los trabajadores del Campus Amazcala que me ayudaron a terminar esas arduas tareas que no hubiese podido hacer sin su apoyo.

Pris y Bren que fueron indispensables para que esta experiencia estuviera completa.

Al CONACyT que con su apoyo logré dedicarme de forma adecuada a este trabajo de investigación.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por darme un lugar de calidad para formarme académicamente.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	10
2	HIPÓTESIS.....	11
3	OBJETIVO	11
3.1	Objetivos particulares.....	11
4	REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
4.1	Estado actual de la producción acuícola mundial de crustáceos de agua dulce.....	12
4.2	Especies nativas de crustáceos de agua dulce <i>Macrobrachium</i> spp. en México.....	12
4.3	Generalidades de los crustáceos de agua dulce <i>Macrobrachium</i> spp. ...	13
4.3.1	Taxonomía de <i>Macrobrachium</i> spp.	14
4.3.2	Ciclo biológico de <i>Macrobrachium</i> spp.	15
4.4	Antecedentes del cultivo del langostino de agua dulce <i>Macrobrachium tenellum</i>	16
4.5	Crecimiento y supervivencia de <i>Macrobrachium</i> spp.	18
4.6	Densidad de población en el cultivo de <i>Macrobrachium</i> spp.	20
4.7	Temperatura óptima para el cultivo de <i>Macrobrachium</i> spp.	20
4.8	Sistemas de producción acuícola.....	21
4.8.1	Calidad del agua y manejo de desechos	22
4.9	Sistemas de recirculación acuícola para la producción de langostinos de agua dulce <i>Macrobrachium</i> spp.	23
5	METODOLOGÍA	24
5.1	Sitio experimental.....	24
5.2	Diseño y construcción de los sistemas de recirculación acuícola	24
5.2.1	Elementos de los sistemas de recirculación acuícola para el cultivo de <i>Macrobrachium tenellum</i>	24
5.2.2	Disposición general de los sistemas de recirculación acuícola para el cultivo de <i>Macrobrachium tenellum</i>	25

	5.2.3 Conexión del sistema de recirculación acuícola	27
	5.2.4 Diseño experimental	29
	Material biológico.....	31
5.3	Proporción de sexo	31
5.4	Seguimiento de las condiciones ambientales, físicas y químicas del agua	31
5.5	Prueba piloto y condiciones de cultivo	32
5.6	Estimadores de crecimiento del material biológico	32
5.7	Análisis de datos	33
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
6.1	Condiciones físicas y químicas del agua	34
6.2	Estimadores de crecimiento del material biológico	36
	6.2.1 Supervivencia	36
	6.2.2 Peso inicial y final promedio (PIM, PFM)	38
	6.2.3 Talla inicial y final promedio (TIM) (TFM).....	40
	6.2.4 Relación peso-talla bajo modelo potencial.....	41
	6.2.5 Estimadores de crecimiento.....	42
7	CONCLUSIONES.....	46
8	TRABAJO FUTUROS	46
9	BIBLIOGRAFÍA	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología general de los langostinos de agua dulce <i>Macrobrachium</i> ...	13
Figura 2. Ciclo de vida del langostino de agua dulce <i>Macrobrachium</i> , los adultos migran a agua salobre para lograr la reproducción generando larvas que viajarán hacia agua dulce para llegar a etapa juvenil	16
Figura 3. Langostino <i>Macrobrachium tenellum</i>	17
Figura 4. Material y equipo utilizado para los sistemas de recirculación acuícola, tanques decultivo (A), filtro canister con UV (B) , bomba de agua sumergible (C), termostato de vidrio (D) y colector de agua (E)	25
Figura 5. Distribución del sistema de recirculación acuícola sin regulación de temperatura (Sin T) (A) y sistema de recirculación acuícola con regulación de temperatura (Con T) (B).....	26
Figura 6. Adaptación de salida de agua de los tanques de cultivo para mantener el volumen máximo de 350 L.....	27
Figura 7. Salida de agua de los tanques de cultivo (A) hacia el colector (B).....	28
Figura 8. Filtro canister con UV para el tratamiento del agua de los sistemas de recirculación (A) y regreso de agua a través de válvulas.....	29
Figura 9. Diseño experimental en cuadro latino para el cultivo de <i>M. tenellum</i> para los tratamientos T1 T1 10 org/m ² Sin T, T2 15 org/m ² Sin T, T3 20 org/m ² Sin T, T4 10 org/m ² Con T, T5 15 org/m ² Con T y T6 20 org/m ² Con T	30
Figura 10. Postlarva de <i>M. tenellum</i> obtenido de la granja Acuícola S.A. Colima, Col.	31
Figura 11. Condiciones ambientales Humedad y Temperatura ambiental (Temp. Ambiental), temperatura de los sistemas Con regulación de temperatura (Con T) y si regulación de temperatura (Sin T) a lo largo de 40 días del experimento	35
Figura 12. Tasa de supervivencia promedio de <i>M. tenellum</i> para los tratamientos T1, T2 y T3 sin calentador y T4, T5 y T6 con calentador bajo densidades de 10, 15 y 20 organismos/m ² respectivamente en 350 L por 40 días	37
Figura 13. Densidad de cultivo promedio de <i>M. tenellum</i> a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 sin calentador (A) y T4, T5 y T6 con calentador (B) para las tres densidades (10, 15 y 20 organismos/m ²) en 360 L.....	38

Figura 14. Crecimiento promedio de *M. tenellum* a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 (Sin T) y T4, T5 y T6 (Con T) para las tres densidades (10, 15 y 20) organismos/m²) en 360L 39

Figura 15. Tendencia del crecimiento promedio (mg) de *M. tenellum* a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 (Sin T) y T4, T5 y T6 (Con T) para las tres densidades (10, 15 y 20 organismos/m²) en 360 L 40

Figura 16. Crecimiento promedio en talla (mm) de *M. tenellum* a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 (Sin T) y T4, T5 y T6 (Con T) para las tres densidades (10, 15 y 20 organismos/m²) en 360 L 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del género <i>Macrobrachium</i>	15
Tabla 2. Condiciones físicas y químicas del agua de los sistemas de recirculación con calentador (Con T) y sin calentador (Sin T) para el cultivo de <i>M. tenellum</i>	34
Tabla 3. Modelo para la relación peso-talla final para los 6 tratamientos.....	42
Tabla 4. Estimadores de crecimiento para <i>M. tenellum</i> para 40 días de cultivo.....	45

1 INTRODUCCIÓN

Los crustáceos del género *Macrobrachium* conocidos como langostinos de agua dulce tienen un alto valor económico debido a su sabor y contenido de proteína siendo un producto aceptado como alimento para consumo humano (García-Guerrero et al., 2013). En la búsqueda de especies de este género de fácil reproducción y corto tiempo de vida, la investigación más exitosa fue la del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* (New et al., 2010); (Benítez-Mandujano y Ponce-Palafox, 2012). En el 2009, la producción acuícola mundial de estos crustáceos alcanzó 460, 000 toneladas de las cuales casi la mitad pertenecía a *M. rosenbergii* y el resto a partir de la pesca y del cultivo tradicional de especies nativas de Latino América (New et al., 2010 y García-Guerrero et al., 2013).

Las especies *M. carcinus*, *M. acanthurus*, *M. tenellum* y *M. americanum* son nativas de México, su producción se ha logrado a través de sistemas de cultivo tradicionales en estanques de tierra (Iñiguez-López y Díaz-Pardo, 2004); (Benítez-Mandujano y Ponce-Palafox, 2012). Al intentar producir estos organismos en espacios cada vez más reducidos y controlados por las ventajas que se presentan, se ha expuesto la importancia de la densidad de población (New et al., 2010);(Espinosa-Chaurand et al., 2011) ya que el aumento del número de organismos incrementa el estrés disminuyendo el crecimiento y la supervivencia, además de promover comportamiento territorialista; esto afecta directamente la rentabilidad y economía de los productores (Montero et al., 1999); (Acosta-Balbas et al., 2000) e (Islam et al., 2006).

La temperatura es otro aspecto crucial cuando se trata del desarrollo de langostinos de agua dulce ya que son poiquilotermos y adecúan su metabolismo a la temperatura del ambiente externo, además es sabido que la temperatura afecta directamente el crecimiento, el consumo de oxígeno y la excreción de nitrógeno.

De las especies nativas *Macrobrachium tenellum* resulta tener cualidades adecuadas para ser utilizado como modelo de estudio, ya que es considerado un buen candidato para el cultivo por que se encuentra en altas densidades en la naturaleza, no es agresiva y puede tolerar un amplio y fluctuante intervalo de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno (Ponce-Palafox et al., 2002).

2 HIPÓTESIS

La densidad de población y la temperatura tienen efecto en el crecimiento y supervivencia de los langostinos de agua dulce *Macrobrachium tenellum*

3 OBJETIVO

Comparar el crecimiento y la supervivencia de la especie nativa *Macrobrachium tenellum* de tres densidades de cultivo en dos condiciones de temperatura cultivados en sistemas de recirculación acuícola.

3.1 Objetivos particulares

Objetivos particulares

- Diseñar y construir los sistemas de recirculación acuícola para el cultivo de *Macrobrachium tenellum*.
- Determinar el crecimiento y supervivencia en tres diferentes densidades de cultivo.
- Determinar la supervivencia y crecimiento de la especie nativa *Macrobrachium tenellum* en los sistemas de recirculación acuícola con regulación de temperatura (Con T) en densidades de cultivo de 10,15 y 20 org/m².
- Determinar la supervivencia y crecimiento de la especie nativa *Macrobrachium tenellum* en los sistemas de recirculación acuícola sin regulación de temperatura (Sin T) en densidades de cultivo de 10,15 y 20 org/m².
- Determinar la densidad de cultivo final de la especie nativa *Macrobrachium tenellum* en un sistema de recirculación acuícola en condiciones de invernadero en Amazcala Querétaro.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Estado actual de la producción acuícola mundial de crustáceos de agua dulce

La producción acuícola mundial alcanzó 90.4 millones de toneladas peso vivo en el 2012, de los cuales 6.4 millones de toneladas pertenecen al cultivo de crustáceos (FAO, 2014). Por su parte, la FAO en el 2011, pone de manifiesto, significativos grupos especies de crustáceos de producción acuícola, registrando al camarón marino como el de mayor rango, seguido por langostas y crustáceos de agua dulce.

Dentro de los crustáceos de agua dulce se encuentran especies del género *Macrobrachium*, que cuentan con un alto valor económico sobre la base de su sabor, alto contenido de proteína y atractivo visual, siendo un producto aceptado como alimento para consumo humano (Kent, 1995).

El primer langostino reconocido y registrado ante la FAO en 1970 fue *Macrobrachium rosenbergii*, alcanzó la producción anual de 1100 toneladas; la producción provenía Brasil, Ecuador, Francesa Polinesa, Guam, Honduras, Malasia, Mauritius, México, Myanmar, Tailandia y Estados Unidos de América (FAO, 2008).

Así, desde 1980 la producción mundial de langostinos de agua dulce se ha ido incrementando constantemente, estimándose hasta ahora en aproximadamente 460 000 toneladas año⁻¹ de las cuales, casi la mitad corresponden a *M. rosenbergii* proveniente de Asia (New et al., 2010) pero menos del 20% le corresponde a América Latina de cultivo artesanal o pesca de especies nativas, actividades que no están reguladas por las autoridades de las regiones, por lo tanto, no existen registros certeros de su producción ante la FAO (García-Guerrero et al., 2013). Por lo que las especies nativas de éste género procedentes de Latino América, incluidas las de México, no han sido debidamente explotadas para su producción continua.

4.2 Especies nativas de crustáceos de agua dulce *Macrobrachium* spp. en México

Una especie nativa, es aquel organismo que se ha desarrollado en una zona de acuerdo a su potencial de dispersión natural; es decir sin la ayuda o intervención del ser humano; ésta especie forma parte de las comunidades bióticas

naturales del área (CONABIO). En México la pesca de langostinos se basa en la explotación de cuatro especies del género *Macrobrachium* (*M. carcinus*, *M. acanthurus*, *M. tenellum* y *M. americanum*), las cuales se distribuyen a lo largo de la vertiente del Océano Atlántico y del Pacífico, además existen más de 233 especies y subespecies del género, distribuidas en zonas tropicales y subtropicales del mundo, de las cuales 12 son posibles localizarlas en México, siendo una de estas últimas introducida *Macrobrachium rosenbergii* (Holthuis, 1980).

4.3 Generalidades de los crustáceos de agua dulce *Macrobrachium* spp.

El género *Macrobrachium* incluye a los camarones dulceacuícolas que presentan las siguientes características: rostro bien desarrollado, caparazón con espina hepática y antenal; ojos pedunculados y con córneas negras; mandíbulas con palpos triarticulados; los dos primeros pares de apéndices torácicos son quelados y el segundo es usualmente largo en los machos adultos; los tres apéndices posteriores presentan dactilos sencillos; el primer par de pleópodos del macho carece de apéndice interno y en el segundo, se aprecia el apéndice masculino; dos pares de espinas en la parte dorsal del telson y otros dos en el margen posterior (Holthuis, 1952) en la figura 1 se muestra la morfología general de los crustáceos del género *Macrobrachium*.

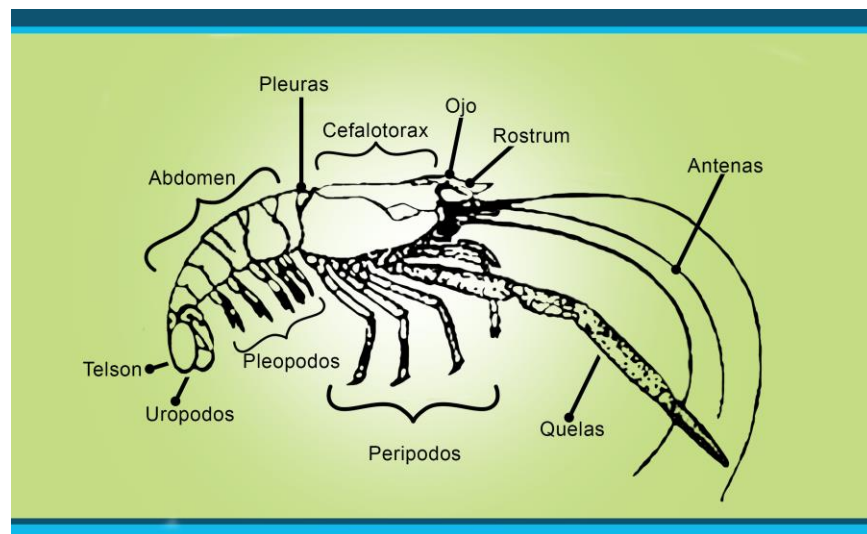


Figura 1. Morfología general de los langostinos de agua dulce *Macrobrachium*

Estas especies presentan variación en cuanto a longitud máxima, morfología y requerimientos de hábitat (Pileggi y Mantelatto, 2010). Las especies de éste género (De Grave et al., 2008) coloquialmente también son llamados langostinos, camarones de agua dulce, acamayás, cauques o gambas, dependiendo de la región.

Hay numerosos estudios de la biología de este género, destacando dos aspectos importantes: un desarrollo larval que comprende más de doce estadios y que, en al menos alguno de estos, necesita agua salina para sobrevivir (Figura 2) (García-Guerrero et al., 2013).

Los langostinos tienen un papel ecológico importante en la dinámica ambiental de los ecosistemas de ríos y lagunas, tanto costeras como continentales (Murphy y Austin, 2005). Son bentónicos (especialmente como juveniles y adultos) y suelen ocupar cuevas, resquicios bajo piedras y raíces sumergidas, donde encuentran refugio y alimento (Montoya, 2003;García-Guerrero et al., 2013).

Son omnívoros y carroñeros, consumen detritos, algas, restos de animales muertos y además son depredadores de macroinvertebrados acuáticos (Albertoni et al., 2002) y peces de pequeño tamaño (Zuk y Kolluru, 1998). Dado a estos hábitos alimenticios y el sitio donde radican en la base de la columna de agua, los langostinos representan un componente importante en los procesos de recirculación de energía y nutrientes del sistema bentónico (Vega-Villasante et al., 2014).

4.3.1 Taxonomía de *Macrobrachium* spp.

La clasificación más reciente la propone (Ponce-Palafox et al., 2002), donde se consideran a los crustáceos no como clase dentro de los artrópodos, sino a un nivel más elevado. Según la CONABIO y estos autores la taxonomía de éste género se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía del género *Macrobrachium*

Reino Animal
Phyllum Arthropoda
Clase Malacostraca
Subclase Eumalacostraca
Superorden Eucarida
Orden Decapada
Suborden Pleocymata
Infraorden Caridea
Superfamilia Palaemonoidae
Familia Palaemonidae
Subfamilia Palaemonidae
Género Macrobrachium

4.3.2 Ciclo biológico de *Macrobrachium* spp.

Este género habita en zonas tropicales de agua dulce con acceso a áreas de agua salobre, debido a que su desarrollo larval debe tomar lugar en agua de baja salinidad (Vega-Villasante et al., 2014). Las hembras con los huevos migran a estuarios, donde los huevos eclosionan libremente para lograrse la metamorfosis a postlarva (PL), la larva pasa a través de varias fases como zoea, sin embargo, las larvas tienden a nadar, mientras que al llegar a PL parecen langostinos maduros miniatura que tienden a establecerse en el sustrato o atarse a la vegetación y caminar, por lo que se les considera como especies bénticas, una vez que está bien establecida la fase PL, más de dos semanas, los organismos migran a aguadulce (New et al., 2010) (Figura 2).

Los langostinos adultos son activos de noche y durante el día buscan permanecer en lugares sombreados, mientras que los juveniles tienden a tener actividad de nadado por la noche, por tomar ventaja de la fuente del alimento pelágico, y por el día se mantienen en el fondo, aunque en la etapa larvaria se alimentan de zooplankton, diminutas lombrices y crustáceos en etapas larvarias;

para las fases postlarvianas y adultas son omnivoros, algas, plantas acuáticas, moluscos, insectos acuáticos, lombrices, sin embargo tienen tendencia al canibalismo por la insuficiencia de alimento y/o estanques sobrepoblados (New et al., 2010).

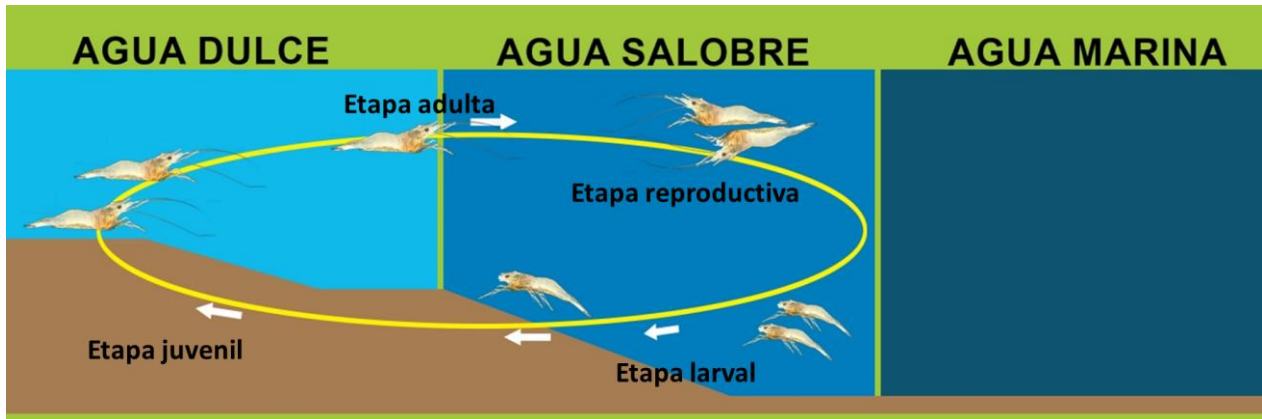


Figura 2. Ciclo de vida del langostino de agua dulce *Macrobrachium*, los adultos migran a agua salobre para lograr la reproducción generando larvas que viajarán hacia agua dulce para llegar a etapa juvenil

4.4 Antecedentes del cultivo del langostino de agua dulce *Macrobrachium tenellum*

Macrobrachium tenellum (Figura 3) ha sido considerada un buen candidato para el cultivo, ya que se encuentra en altas densidades en la naturaleza, no es agresiva y puede tolerar un amplio y fluctuante intervalo de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno, además es un organismo herbívoro con gusto por pequeños invertebrados y detritos (Ponce-Palafox et al., 2002). Se aprovecha para el autoconsumo o para su venta local (Espino Barr et al., 2006). Su distribución natural es la costa del Pacífico, desde Baja California y Sonora, en México. Hasta el río Chira, en el norte de Perú.



Figura 3. Langostino *Macrobrachium tenellum*

Se realizaron estudios específicos de la biología y ecología en *M. tenellum* en los años 70 (García-Guerrero et al., 2013) en lagunas costeras de Guerrero, México, y señalan que esta especie es común, de amplia distribución y fácil manutención en cautiverio. Estudios sobre la compensación fisiológica a la salinidad alta, puede ser tolerada. Por su parte, (Espinosa-Chaurand et al., 2011) realizan una revisión sobre aspectos biológicos y de cultivo para presentar la forma clara y secuencial de este conocimiento, que permitan el desarrollo de nuevos caminos en la investigación y aprovechamiento sostenibles de estos recursos.

Los primeros trabajos sobre el cultivo de *M. tenellum* se llevaron a cabo en la República del Salvador y tuvieron como finalidad conocer el desarrollo larval. Fueron realizados por Sánchez (1976) quien efectuó ensayos mediante cuatro técnicas de incubación sin lograr la transformación de larvas a juveniles. (Ponce-Palafox et al., 2002) en México logran el desarrollo larvario y obtiene postlarvas en condiciones de laboratorio.

Entre 1977 y 1978 el grupo del Dr. Cabrera-Jiménez del Instituto de Biología de la UNAM siembra postlarvas capturadas en la desembocadura del Río Balsas en cuatro micropresas del Estado de Morelos (México) obteniendo resultados satisfactorios, ya que se obtienen langostinos de tamaño comercial y demuestra la posibilidad de cultivo de la especie en embalses de diferente temporalidad de inundación, alcanzando una talla comercial entre los 6 y 7 meses (Ponce-Palafox et al., 2002).

Fue señalado el potencial que tiene la especie para ser cultivada en forma extensiva con resultados prometedores en cuerpos de agua temporales en sistemas de monocultivo o con especies de peces no carnívoras, realizando algunas introducciones en bordos del estado de Morelos. Posteriormente, se inician

introducciones de juveniles de esta especie de la costa de Guerrero (México), a la estanquería rústica de producción acuícola entre las que se encuentra Tlayca y el Higuerón. Estas siembras se realizaron bajo el sistema de mono y policultivo con tilapia *O. mossambicus*, *O. hornorum* y el híbrido de ambas (Espinosa-Chaurand et al., 2011).

En 1982 al iniciarse el programa piscícola del Estado de Morelos como una alternativa de cultivo se contempla la posibilidad de introducir cultivos de langostino en estanques y como una primera iniciativa se siembran postlarvas de *M. tenellum* capturadas en la Laguna de Coyuca, Guerrero (México) donde se inician los primeros estudios sobre el engorde de esta especie a nivel comercial por Ponce-Palafox et al., (1986) y Ponce-Palafox y Navarrete-Vergara (1988). Pero, debido a que no se tenía dominada la tecnología para esta especie se cambió por el cultivo del langostino malayo *M. rosenbergii* y se dejó de cultivar la especie nativa, pero para 1992 se demuestra la factibilidad del cultivo de *M. tenellum* en estanque rústico a nivel comercial, obteniendo organismos hasta de 60 g (Ponce-Palafox et al., 2002).

La investigación de los requerimientos básicos de cualquier especie es el primer paso en el desarrollo de tecnología para su cultivo. Existen un gran número de factores físicos, químicos y biológicos que tienen influencia en el crecimiento de los seres vivos. Entre estos la temperatura ya que es uno de los principales factores que tienen una consecuencia en la tasa metabólica de los organismos acuáticos poiquiloterms repercutiendo en el crecimiento, sobrevivencia, rendimiento, Factor de Conversión Alimenticia, entre otros (Hernandez Sandoval, 2008) para llevar a cabo su cultivo con éxito.

4.5 Crecimiento y supervivencia de *Macrobrachium* spp.

El crecimiento es el resultado de un balance entre el proceso de anabolismo y catabolismo que ocurre a cada individuo y puede ser expresado como el incremento en longitud, volumen o peso ganado contra el tiempo. En acuicultura, el crecimiento es generalmente medido por el peso ganado. Algunos autores han desarrollado ecuaciones que relacionen datos de longitud y peso para *M. rosenbergii* in estanquería tropical y sub-tropical como Mesasveta y Piyatirtitivokul 1982, Sampaio y Valenti 1996 y Valnti y Sampaio 1996.

En animales con exoesqueletos rígidos, como el caso de los crustáceos, el crecimiento es un proceso discontinuo debido a que hay una sucesión de mudas separadas por periodos de intermuda; casi todo el crecimiento ocurre inmediatamente después de la muda, antes de la creación del nuevo exoesqueleto. Luego de esta fase, un limitado crecimiento ocurre debido a la flexibilidad de las membranas las cuales están unidas a las láminas que forman el exoesqueleto (Mauchline 1977; Hartnoll 1982, New, 2010).

Aunque especies de *Macrobrachium* muestran un patrón de crecimiento mucho más complejo, desde la perspectiva productiva el crecimiento es tratado como una forma simplificada como el incremento del tamaño de los langostinos al cultivarlos (New 2010). El crecimiento de cualquier organismo depende de típicos factores intrínsecos, como la constitución genética de cada población, y extrínsecos (ambientales) que actúan sobre los individuos a través del su desarrollo ontogenético. Uno de los factores que más interfieren en el crecimiento de los crustáceos son la temperatura, la disponibilidad de alimento y la densidad de población (Hartnoll 2001; New 185).

El crecimiento entre langostinos no es uniforme y dependiendo de la especie y del tiempo en el cual se completa su ciclo de vida, es la velocidad que en el que va a crecer. Esto es, organismo que se desarrollan más rápido presentan un crecimiento más acelerado; para justificar lo anterior se tienen experiencias en el cultivo de *M. tenellum* y *M. americanum*; en donde la relación de ganancia de peso y talla, versus tiempo, presenta coeficientes altos para *M. tenellum* que para *M. americanum* (Arana-Magallón, 1977 y Ponce-Palafox et al., 2002).

Para el análisis de crecimiento de una población, es conveniente que este se exprese en forma de un modelo matemático; estos modelos pueden dar una idea de los estadios de crecimiento, donde Guzmán-Arroyo (1987), los denomina también como formas vitales y se caracterizan por cambios en la estructura o fisiología del organismo (Espinosa-Chaurand et al., 2011) Estos cambios se manifiestan como modificaciones en la forma del cuerpo, cambios de peso y longitud y en las tasas de crecimiento de los mismos (de los Santos-Romero y Silva-Rivera, 2008).

Por otro lado, la reducción del espacio de cultivo disminuye significativamente la ganancia de peso en crustáceos, lo que ocurre en varias especies de crustáceos (Abramo et al., 2000).

4.6 Densidad de población en el cultivo de *Macrobrachium* spp.

Los crustáceos de agua dulce del género *Macrobrachium* muestran comportamiento territorial (Vega-Villasante et al., 2014). El efecto negativo de la sobrepoblación sobre la tasa de crecimiento en sistemas de cultivo de crustáceos ha sido reportado previamente por D'Abramo et al., 1989, 2000; Ranjeet y Kurup, 2002, a altas densidades, el nivel de estrés es muy alto, causando que el langostino llegue a ser más sensible a los cambios ambientales e incrementando su mortalidad (Marques et al., 2010).

La densidad de población se determina por la siguiente fórmula (1) (Sandifer y Smith, 2009 y Ponche-Palafox et al., 2014).

$$D_a = \text{org}/A \quad (1)$$

Donde:

D_a = Densidad de cultivo (org/m²)

Org = organismos

A= Unidad del área del cultivo (m²)

4.7 Temperatura óptima para el cultivo de *Macrobrachium* spp.

Los crustáceos son animales poiquilotermos, aquellos que no pueden regular su temperatura y es bastante similar a la de su ambiente, la producción de calor metabólico es relativamente bajo y su conductividad térmica se eleva, son ectotérmicos, es decir su temperatura interna depende de la de su entorno aun así, los crustáceos realizan ajustes y presentan una respuesta compensatoria a las diferentes temperaturas externas, utilizando mecanismos homeostáticos específicos (Lagerspetz y Vainio, 2006).

La temperatura permite todos los aspectos como crecimiento, salud, y requerimiento nutricional, de un organismo crecido en acuicultura. Bajo condiciones naturales, los animales acuáticos raramente son expuestos a cambios bruscos de temperatura y no han desarrollado mecanismos que permitan encarar esta

situación, sin embargo, algunos organismos acuáticos, pueden adaptarse a cambios de temperatura en sus rangos de tolerancia, pero de manera muy lenta (Tidwell, 2012).

Sin embargo, al elevar la temperatura hasta cierto límite se favorece la acuicultura al reducir el tiempo requerido para alcanzar tamaños comerciales y tener un mayor rendimiento anual, pero de lo contrario, la temperatura afectaría la salud del animal acuático debido al incremento de la tasa metabólica y una subsecuente demanda de oxígeno, además de la proliferación, invasión y virulencia de bacterias y otros patógenos que causan una variedad de desequilibrios patológicos y fisiológicos en el hospedero (Wedemeyer et al., 1999). La temperatura afecta todas las actividades bioquímicas y fisiológicas de los organismos, la cual debería de considerarse como una fuente ambiental que evoca múltiples efectos en los organismos (Hernandez, 2008).

Las actividades metabólicas de *Macrobrachium* sp. son controladas por la temperatura, y la demanda de oxígeno incrementa con el aumento de la temperatura, los langostinos requieren altas cantidades de oxígeno para convertir el alimento en carne, la temperatura óptima de los langostinos está en un rango de 28 a 32 °C con una concentración de oxígeno disuelto entre 5 y 8 mg/L (Hernandez, 2008) y cambios bruscos de temperatura induce a estrés en estos individuos. Sin embargo, comparado con especies de agua fría, las especies de agua cálida tienden a tener mayor tolerancia a niveles bajos de oxígeno disuelto, debido a que el agua cálida mantiene menor concentración de oxígeno disuelto, es más probable que las especies cuenten con mecanismos mecánicos y bioquímicos para tratar con ambientes reducidos en oxígeno, esto tiende a una mayor tolerancia a altos niveles de amoníaco (Tidwell-James, 2012).

4.8 Sistemas de producción acuícola

Los sistemas de producción acuícola pueden ser extensivos, semi-intensivos o intensivos dependiendo del número de organismos crecidos por volumen de agua, del suministro de agua. El cultivo en estanques de tierra es extensivo, el cultivo en jaulas es semi-intensivo, y el sistema de recirculación acuícola (SRA) es sistema intensivo. Los métodos convencionales como los estanques de tierra y las jaulas, ambos a cielo abierto, siempre tienen el riesgo de

ser contaminados por el agua y aire, además el control de calidad del agua es más difícil en estos sistemas y el número de organismos que pueden mantener es limitado (Timmons y Ebeling, 2010) estos métodos no son viables a largo plazo, por los problemas ambientales que acarrearán y no garantizan la seguridad productiva al consumidor, además son más susceptibles a las enfermedades resultando la pérdida del cultivo.

Por su parte, los SRA se basan en la circulación continua del agua a través de filtros mecánicos y biológicos, para lograr la remoción de sólidos y desechos nitrogenados. Estos sistemas no necesitan recambio de agua, pues la calidad de la misma es lo suficientemente estable para asegurar buenas condiciones para el cultivo en cuestión (New et al., 2010). Además los SRA bajo cubierta son viables e infinitamente expandibles, ambientalmente compatible y garantiza tanto la seguridad y calidad de la producción (Timmons y Ebeling, 2010), como comienzan con agua potable hay menor probabilidad de enfermedades para el cultivo, y si algún organismo introducido está enfermo, la producción total no se vería afectada debido al manejo por lotes en producción, siendo tratado efectivamente con antibióticos o químicos para combatir enfermedades, además se ve limitada la invasión de organismos acuáticos a ambientes silvestres (New et al., 2010). Otra ventaja de su uso es estableciendo sitios de producción cerca del mercado en cuestión, generando productos frescos, con preferencia por parte del consumidor (Timmons y Ebeling, 2010).

4.8.1 Calidad del agua y manejo de desechos

Los parámetros más importantes para ser monitorizados y controlados en un sistema acuícola están relacionados con la calidad de agua por tener un efecto directo sobre la salud del animal, utilización de alimento, tasas de crecimiento y densidad de cultivo.

Los parámetros críticos de la calidad del agua que deben de ser especialmente considerados en un SRA son oxígeno disuelto, temperatura, pH, sólidos suspendidos, amonio, nitrito y dióxido de carbono. Estos parámetros están interrelacionados con reacciones a nivel físico, biológico y químico. El monitorizar y ajustar los sistemas para mantener los niveles de estos parámetros en rangos aceptables es muy importante para lograr la viabilidad de todo el sistema.

4.9 Sistemas de recirculación acuícola para la producción de langostinos de agua dulce *Macrobrachium* spp.

La producción de estos organismos se ha visto exhaustivamente estudiado para *M. rosenbergii* y Bernard New (New et al., 2010) lo documenta al mencionar tres fases sucesivas, etapa 1 Eclosión de huevo (criadero), etapa 2 los Semillero y etapa 3 de Crecimiento, las dos primeras etapas se realiza en sistemas de recirculación o sistemas de flujo continuo, pero la última etapa solamente se ha logrado en estanques de tierra, dejando a un lado la producción en sistemas de recirculación (Valenti et al., 2010).

Los sistemas de recirculación para el cultivo de *Macrobrachium* en fase larval o para la etapa 1 Eclosión del huevo se han desarrollado para minimizar la pérdida de agua y maximizar la calidad de la misma, el uso mínimo de agua es muy importante para estos cultivos, ya que debe ser transportada por largas distancias y es necesario el agua marina artificial (Valenti et al., 2010).

El uso de sistemas de recirculación para larvas de *M. rosenbergii* tiene muchas ventajas sobre los sistemas abiertos, ya que es más estable la calidad del agua y su consumo es bajo, la temperatura se conserva mejor, hay mayor prevención de contaminantes, parásitos, depredadores y competidores, así como la posibilidad de ser establecidos en lugares lejanos a las costas (New et al., 2010).

(Phuong et al., 2006) comparó un sistema de recirculación aclarador de agua y un sistema estancado modificado de agua verde, ambos bajo diferentes densidades 30, 60, 90 y 120 larvas/L. el sistema de agua verde rindió significativamente más pero tuvieron gran variabilidad las tasas de supervivencia (32.3 – 92.3%) comparadas con los sistemas de recirculación (27.4 . 52.5%). (Aquacop, 1983) y (Cohen & Ra'anán, 1989) reportaron tasas de supervivencia promedio mayores a 75% en sistemas de recirculación.

Por otro lado, en muchas partes del mundo, el cultivo de la etapa 2 Semillero, las postlarvas de *M. rosenbergii* son predominantemente producidas en pequeños criaderos, especialmente en Asia y Brasil utilizan sistemas de recirculación (Coyle et al., 2010).

Sin embargo, la etapa 3 de Crecimiento se lleva a cabo en estanques de tierra, ya que es económico y la operación y construcción son simples, y son

ampliamente usados para el cultivo semi-intensivo de *M. rosenbergii*, lo más cercano a una granja comercial apropiada, pero éste método de producción con lleva grandes desventajas pues se deja a un lado la seguridad y calidad de los langostinos. Los canales de cultivo también se utilizan, pero con grandes cambios de agua, altas tasas de alimentación y producción, pero tienden a tener altos costos productivos y no son ampliamente desarrollados, lo que nos lleva a estudiar y desarrollar sistemas de recirculación de agua para estos organismos en fase de crecimiento o engorda (New et al., 2010;Coyle et al., 2010).

5 METODOLOGÍA

5.1 Sitio experimental

El trabajo se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el poblado de Amazcala, el cual pertenece al municipio del Marqués, Querétaro. Se localiza en el sector suroeste del estado, entre 20° 31' y 20° 58' de latitud Norte. Su longitud se encuentra entre 100° 09' y los 100° 24' del Oeste, a 1850 m sobre el nivel del mar. Colinda al Oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo. Asimismo, el experimento se logró dentro de un invernadero de 504 m² tipo multitúnel, con estructura metálica galvanizada, cubierto con plástico de polietileno, y con ventanas de malla, sin calefacción y con un sistema de ventilación pasivo.

5.2 Diseño y construcción de los sistemas de recirculación acuícola

5.2.1 Elementos de los sistemas de recirculación acuícola para el cultivo de *Macrobrachium tenellum*

El sistema de recirculación empleado para el experimento contaba con 18 unidades experimentales utilizando contenedores de PVC cuadrados con puntas redondeadas, con una capacidad de 500 L, con dimensiones de 50 cm de ancho, 120 cm de largo y 60 cm de profundidad (Figura 4A). Se utilizaron filtros que comprendían la fase química, mecánica y biológica, por lo que se emplearon canister comerciales (Figura 4B) de la marca Boyu EFU-13500 Pond Filter con luz UV, de 115 V, 50W/60W, de una capacidad desde 8 000 hasta 15 000 L/h de 54 cm x 37.9 cm x 55.2 cm, y para la elevación del agua fue con una bomba sumergible marca BOYU para 10 000 L/h (Figura 4C). Para la calefacción del sistema de

recirculación acuícola que fue regulada su temperatura, se empearon 10 calentadores de Aquarium glass heater de 300 watts (Figura 4D), los cuales fueron colocados en el colector de agua que llevaba la misma a cada una de las tinas de cultivo (Figura 4E).



Figura 4. Material y equipo utilizado para los sistemas de recirculación acuícola, tanques decultivo (A), filtro canister con UV (B) , bomba de agua sumergible (C), termostato de vidrio (D) y colector de agua (E)

5.2.2 Disposición general de los sistemas de recirculación acuícola para el cultivo de *Macrobrachium tenellum*

Cada sistema de recirculación acuícola estaba formado de 9 tanques de cultivo colocados de tres en tres formando tres líneas de salida de agua por gravedad a un colector común que contenía una bomba sumergible que elevaba el agua hacia el filtro y la distribuía a cada una de las tres líneas de retorno de agua (Figura 5A y 5B). Un sistema tenía el agua a temperatura ambiente (Sin T) (Figura 5A) y el otro sistema tenía 10 calentadores de vidrio para lograr elevar la temperatura (Con T) (Figura 5B).

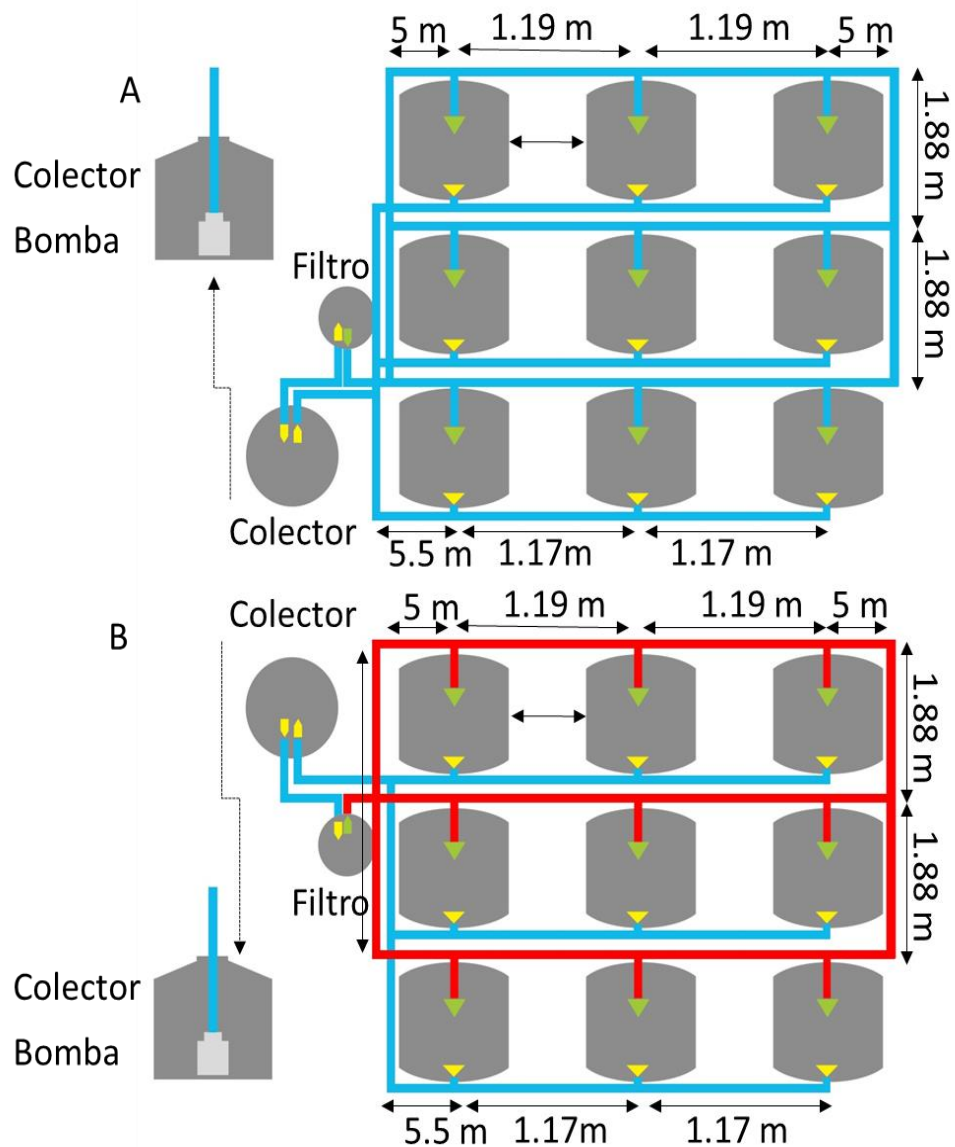


Figura 5. Distribución del sistema de recirculación acuícola sin regulación de temperatura (Sin T) (A) y sistema de recirculación acuícola con regulación de temperatura (Con T) (B)

5.2.3 Conexión del sistema de recirculación acuícola

Los 9 tanques de cultivo que comprendían cada sistema de recirculación (Figura 4A) fueron colocadas de tres en tres formando tres líneas. Cada tanque tenía en su interior una válvula conectada a un tubo de PVC de 1 1/2" formando una U invertida 30 cm de alto con una separación de 10 cm, y en su curvatura presentaba una apertura rectangular de 3 cm x 0.5 cm, esta estructura permitía dar el nivel máximo de agua para mantener un volumen de 350 L en cada una de las tinas (Figura 6).



Figura 6. Adaptación de salida de agua de los tanques de cultivo para mantener el volumen máximo de 350 L

Una vez que el agua llegaba al nivel máximo (350 L), (Figura 7A) salía hacia una tubería que era la línea principal para drenar al colector, un tinaco rotoplas con capacidad de 1000 L completamente enterrado para que el agua por gravedad cayera desde 30 cm, con la finalidad de oxigenar el agua (Figura 7B).



Figura 7. Salida de agua de los tanques de cultivo (A) hacia el colector (B)

El colector tenía en su interior una bomba sumergible que llevaba el agua al canister para realizar el proceso de filtración (Figura 8A) y una vez siendo el agua tratada regresaba a cada una de las tinas de cultivo a través de tubería de PVC de 1" con una válvula que regulaba el flujo a 5 L/min (Figura 8B).

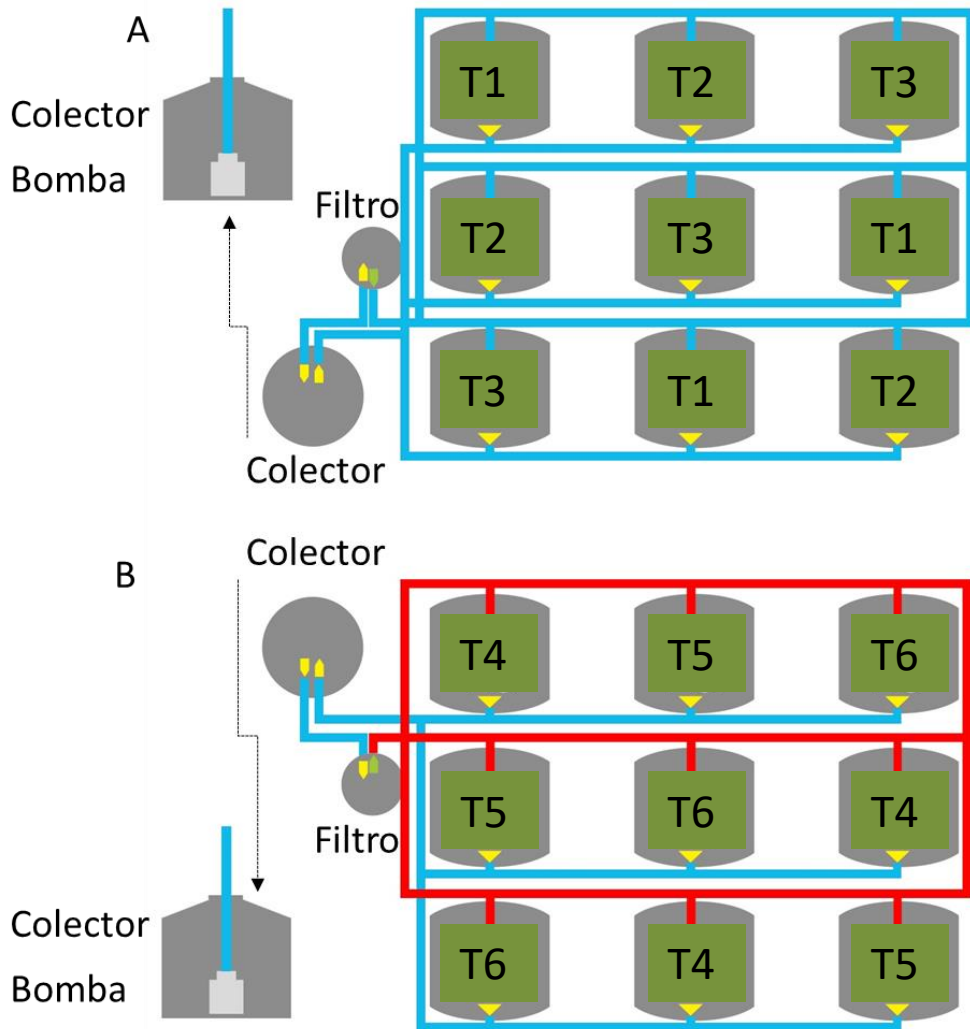


Figura 8. Filtro canister con UV para el tratamiento del agua de los sistemas de recirculación (A) y regreso de agua a través de válvulas

Una vez construido el sistema se dejó durante 30 días en funcionamiento para madurar el agua a través del filtro canister.

5.2.4 Diseño experimental

El experimento puso a prueba dos sistemas de recirculación uno con calentador de agua (Con T) y el otro sin calentador (Sin T) y se utilizaron tres densidades de población formando seis tratamientos **T1** 10 org/m² (Sin T), **T2** 15 org/m² (Sin T), **T3** 20 org/m² (Sin T), **T4** 10 org/m² (Con T), **T5** 15 org/m² (Con T) y **T6** 20 org/m² (Con T) bajo el arreglo experimental de cuadro latino (Figura 9).



- ▼ Entrada de agua
- ▼ Salida de agua
- ➔ Agua con calefacción (Con T)
- ➔ Agua temperatura ambiente (Sin T)

Figura 9. Diseño experimental en cuadro latino para el cultivo de *M. tenellum* para los tratamientos T1 T1 10 org/m² Sin T, T2 15 org/m² Sin T, T3 20 org/m² Sin T, T4 10 org/m² Con T, T5 15 org/m² Con T y T6 20 org/m² Con T

Material biológico

Los organismos *M. tenellum* fueron obtenidos en fase postlarvara de la granja Acuícola S.A. de C.V. ubicados en el estado de Colima (Figura 3).

Nota: Según la NOM-059-SEMARNAT-2010 de protección ambiental, el género *Macrobrachium* no se encuentra en peligro de extinción.

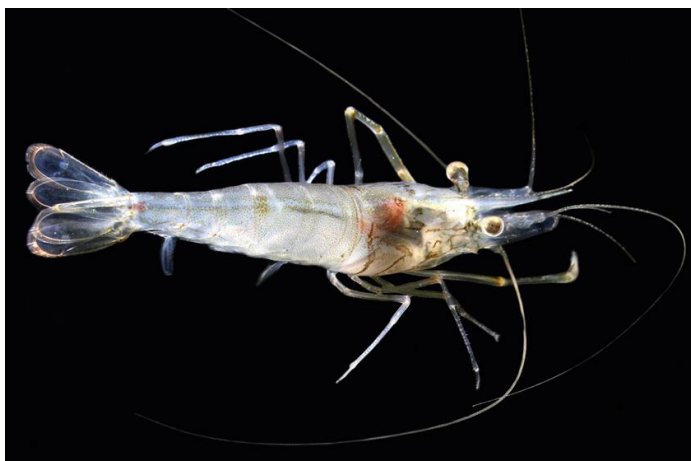


Figura 10. Postlarva de *M. tenellum* obtenido de la granja Acuícola S.A. Colima, Col.

5.3 Proporción de sexo

Los organismos se clasificaron por sexo en una relación 1:2 macho y hembra, respectivamente, se aclimatizaron por 15 días previos al bioensayo, una vez transcurrido este tiempo se colocaron en las unidades experimentales, el agua fue de la toma de Amazcala.

Los animales se alimentaron con (Camaronina Purina). El horario y frecuencia de alimentación se establecerán a priori a las 13:00 h, con una única alimentación diaria. La ración del alimento a administrar se calculó de acuerdo a la biomasa inicial (10% de la misma) (Vega et al., 2011).

5.4 Seguimiento de las condiciones ambientales, físicas y químicas del agua

Se utilizaron dataloger Watchdog serie 1000, a través de sensores Spectrum Technologies, Inc para obtener datos de la humedad relativa (%), temperatura ambiental (°C), temperatura del agua (°C), utilizados durante todo el ciclo del cultivo.

El oxígeno disuelto (O₂ mg/L) y el pH se midieron cada 4 horas el tercer día del experimento y 1 vez a la semana según la hora del punto crítico; con un medidor multiparamétrico Hach serie HQ40d.

La concentración de nitratos (NO₃⁻), nitritos (NO₂⁻) y amonio no ionizado (NH₃-H) fueron medidos cada 4 horas durante el segundo día del experimento, y 1 vez al día de 1 a 2 veces por semana según el punto crítico del día, las determinaciones se realizaron con los métodos propuestos por HACH, 1997, utilizando el espectrofotómetro DR/6000 Hach.

5.5 Prueba piloto y condiciones de cultivo

Para asegurar que las condiciones del agua, fueran las adecuadas, se realizó una prueba a priori, del comportamiento de la temperatura del agua, esto para cada unidad experimental. La temperatura empleada como óptima, es la reportada en la bibliografía en un rango de 18 a 34 °C.

5.6 Estimadores de crecimiento del material biológico

Fueron medidos peso (gr) y talla (mm) con una balanza Sartorius de 300g (D.S. 0.001 g) y un vernier Mitutoyo modelo CD-6"PSX respectivamente, en los días 0, 20 y 40 para determinar Peso inicial promedio (PIM) (3), Peso final promedio (PFM) (4), Talla inicial promedio (TIM) (5), Talla final promedio (TFM) (6) y posteriormente realizar los cálculos pertinentes para la Peso ganado (%) (7), Alimento consumido por individuo (mg/día), Tasa de crecimiento específico (%/día) (8) y Tasa de conversión de alimento (9)

Tasa de supervivencia (TS)

$$[Supervivencia (\%)] = \frac{\text{Número final de organismos}}{\text{Número inicial de organismo}} \times 100 \quad (2)$$

El peso inicial promedio (PIM)

$$[PIM] = \frac{\text{Peso inicial (g)}}{\text{Número inicial de organismos}} \quad (3)$$

El peso final promedio (PFM)

$$[PFM] = \frac{\text{Peso final (g)}}{\text{Número final de organismos}} \quad (4)$$

Talla inicial promedio (TIM)

$$[TIM] = \frac{\text{Talla inicial (mm)}}{\text{Número inicial de organismos}} \quad (5)$$

Talla final promedio (TFM)

$$[TFM] = \frac{\text{Talla final (mm)}}{\text{Número final de organismos}} \quad (6)$$

Peso ganado (%)

$$[\text{Peso ganado (\%)}] = \frac{PFM - PIM}{PIM} \times 100 \quad (7)$$

Tasa de crecimiento específico (%/día)

$$[T.C.E. (\%/día)] = \frac{\ln PFM (g) - \ln PIM (g)}{\text{Tiempo}} \times 100 \quad (8)$$

Tasa de conversión de alimento

$$T.C.A. = \frac{\text{Alimento consumido por individuo } (\frac{\text{mg}}{\text{día}})}{(\text{Peso ganado por individuo } (\frac{\text{mg}}{\text{día}}))} \quad (9)$$

Modelo para la relación peso y talla bajo la ecuación potencial

$$Pt = aLt^b \quad (10)$$

Dónde Pt es el peso total, Lt es la longitud total, a es la constante de regresión o intercepto y b es el coeficiente de regresión o pendiente de la ecuación.

5.7 Análisis de datos

Para la comparación entre múltiples muestras se llevó a cabo un análisis de varianza por métodos paramétricos (ANOVA), con un nivel de confianza de 95%. Una vez que se determinó la existencia de diferencias estadísticamente significativas, se procedió a hacer una prueba de contrastes para conocer en donde estaban las diferencias significativas mediante el método de diferencia mínima significativa (LSD), para las comparaciones entre tratamientos. Los análisis estadísticos se realizaron con una confiabilidad del 95% utilizando el software estadístico Statgraphics routine Centurion XV versión 15.2.06.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Condiciones físicas y químicas del agua

Las condiciones del agua como la temperatura y el oxígeno disuelto se mantuvieron en niveles tolerados por la especie según lo reportado por New et al., (2010), de la misma forma sucedió con la concentración de nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-) y amonio $\text{NH}_3\text{-N}^+$ (Tabla 2), aunque existió una diferencia significativa en las concentraciones de nitritos y amonio entre ambos sistemas de calefacción (Sin T y Con T). Se confirmó el buen funcionamiento del filtro canister, la concentración de amonio ($\text{NH}_3\text{-H}$) tolerado por *M. rosenbergii* es de 0.1 a 0.3 mg/L y en los sistemas se lograron concentraciones de 0.004 mg/L para Con T y 0.2 mg/L para Sin T, el oxígeno disuelto tolerado por la especie es de 5 mg/L y se encontraron niveles alrededor de los 6 mg/L. El pH puede ser de 7 hasta 8.5, pero el sistema tuvo un pH mayor a 9, ésta alcalinidad puede tener efecto si la concentración de amonio es alta, pero no fue el caso.

Tabla 2. Condiciones físicas y químicas del agua de los sistemas de recirculación con calentador (Con T) y sin calentador (Sin T) para el cultivo de *M. tenellum*

	Sin T	Con T
Temperatura promedio (C)*	25.59±2.50 ^a	29.34±1.48 ^a
Temperatura mínima (C)*	21.8	26
Temperatura máxima (C)*	29.5	32
Rango de temperatura (C)*	8	6
Nitrato (mg/L)	1.72±0.77 ^a	1.24±0.69 ^a
Nitrito (mg/L)	0.07±0.01 ^a	0.005±0.00 ^b
Amonio (mg/L)	0.19±0.06 ^a	0.04±0.05 ^b
Oxígeno (mg/L)	6.76±0.64 ^a	6.64±0.67 ^a
pH	9.70±0.13 ^a	9.36±0.23 ^a

(promedio±desviación estándar), promedio de los datos obtenidos a lo largo de 40 días, la letra minúscula representa si existe diferencia significativa entre tratamientos si $P < 0.05$ *(C) escala Celsius

El tratamiento Sin T se mantuvo en promedio 3.75°C por debajo del tratamiento Con T, 25.59±2.50 y 29.34±1.48 °C respectivamente (Figura 11). Es

importante mencionar que para las especies acuáticas los cambios considerables de temperatura tienen efecto crítico en el desarrollo, Zimmermann (2010) menciona que el crecimiento cesa y la supervivencia disminuye cuando la temperatura del agua está debajo de los 19 o arriba de los 34°C. Bernardi-New (2010) demostró el efecto de la temperatura entre 15 y 20°C en juveniles de *M. tenellum* en la baja ingesta de alimento.

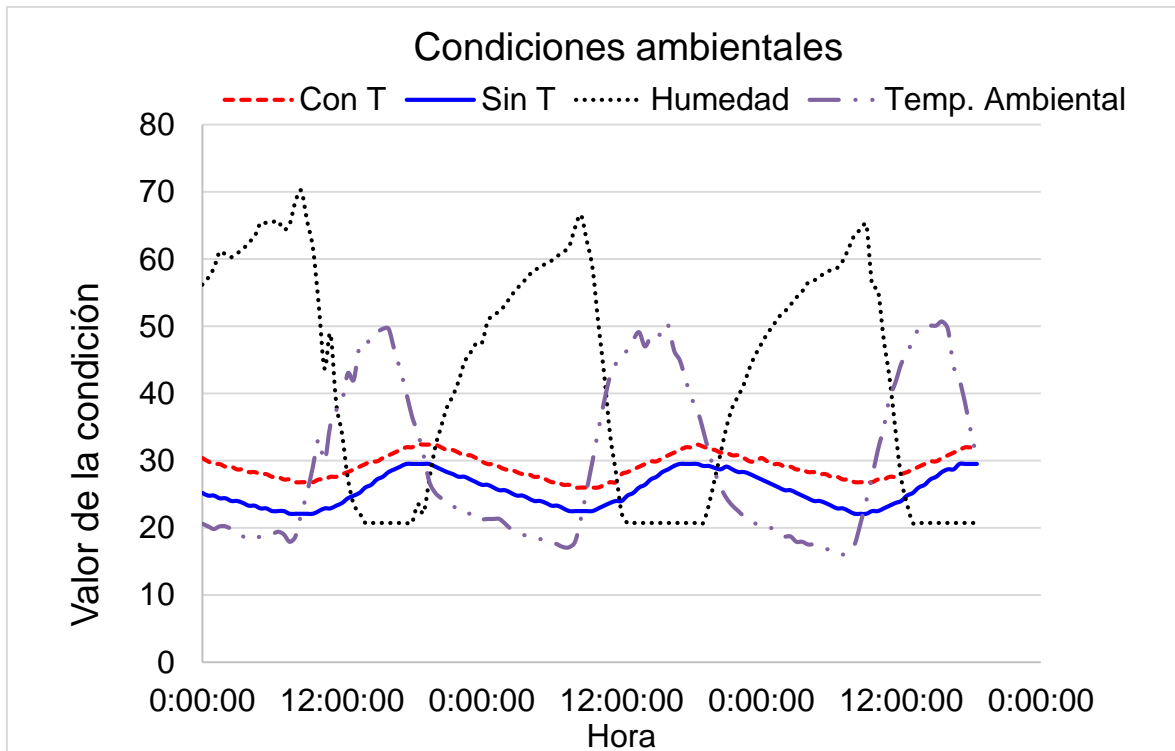


Figura 11. Condiciones ambientales Humedad y Temperatura ambiental (Temp. Ambiental), temperatura de los sistemas Con regulación de temperatura (Con T) y sin regulación de temperatura (Sin T) a lo largo de 40 días del experimento

La temperatura preferida por *M. tenellum* es de 28°C con márgenes de 27 a 30°C (Vega-Villasante et al., 2011). Hernández- Sandoval, 2008 observó que *M. occidentale* tolera un amplio rango de temperatura pues puede desarrollarse desde los 20°C hasta por encima de 31°C, esto coincide con los intervalos reportados para *M. acanthurus* por Díaz et al., 2002 de 11°C a 34.2°C, y Manush et al., 2004 reportan para *M. rosenbergii* 14.9°C y 40.7°C, sin embargo Lagerspetz y Vainio (2006) debaten el concepto de euritermidad ya que especímenes de una misma especie y población pueden cambiar su capacidad de tolerancia dependiendo de diversos factores, edad, condición fisiológica, sexo, talla, dieta y reproducción.

La temperatura dentro del invernadero era afectada por la apertura y cierre de ventanas, ya que los picos más altos de 50°C se alcanzaban a las 16:00 horas. Este incremento de temperatura en el ambiente se muestra en la figura 11, como la energía calorífica es transmitida al agua de cultivo y se elevaba la temperatura de la misma, al día siguiente al ser abiertas las ventanas se muestra la caída drástica de la temperatura del invernadero afectando las condiciones de cultivo. Se sugiere que, para próximos estudios, evitar la pérdida de energía y aprovecharla para elevar la temperatura a lo largo del cultivo y aprovechar las ventajas del invernadero.

6.2 Estimadores de crecimiento del material biológico

6.2.1 Supervivencia

La tasa de supervivencia está dada por la razón porcentual del número de organismos final e inicial (Ecuación 1). En los seis tratamientos disminuyó la supervivencia a lo largo de los 40 días, T2 y T3 (26% y 14%) mostraron diferencia significativa ($P < 0,05$) con la contraparte T5 y T6 (48% y 44%), lo mismo para T1 y T4 (27% y 56 %) hubo diferencia estadística significativa para la supervivencia (Figura 12). Valenti 1990 en (New et al., 2010) considera que una tasa de supervivencia por encima del 50% hasta el final del cultivo es considerada como aceptable y el tratamiento T4 demuestra que la densidad inicial de 10 org/m² con regulación de temperatura puede ser alcanzado el porcentaje de supervivencia final promedio aceptable para los 40 días de cultivo de juveniles *M. tenellum*, y aunque la temperatura tuvo efecto positivo en la supervivencia de T5 y T6, estos no alcanzaron la aceptable. Picaud-Alexandre y Vega-Villasante, 2010 mencionan que la temperatura juega un rol importante en la supervivencia ya que juveniles de *M. tenellum* en agua de mar durante el invierno morían más a temperaturas entre 19 y 27°C (rango de 8°C) que aquellos en verano y otoño entre 28 y 34°C (rango de 6°C) en zona tropical; el presente trabajo experimentó temperaturas de 22.1 a 29.5°C (rango de 8°C) para Sin T y 26 a 32°C (rango de 6°C) para Con T durante el verano en el semidesierto y en concordancia con lo anterior mientras menor el rango de temperatura y más próxima a la óptima, mejor fue la supervivencia para *M. tenellum*. Ésta especie en el trabajo de (Vega-Villasante et al., 2011)

presenta, en temperaturas promedio de 29.81±1.1°C en verano con densidad de 8 org/m² y 29.5±1.2°C en verano con densidad de 6 org/m², tasas de

supervivencia del $50 \pm 12.1\%$ y $55 \pm 12.1\%$ respectivamente, esta misma tasa la exhibió el tratamiento T4 a $29.34 \pm 1.48^\circ\text{C}$ con densidad de 10 org/m^2 esto sugiere que *M. tenellum* sí puede ser de interés productivo en condiciones de semi-desierto considerando la calefacción del sistema de cultivo con la intención de reducir amplios rangos de temperatura sin tener que mantener forzosamente la óptima.

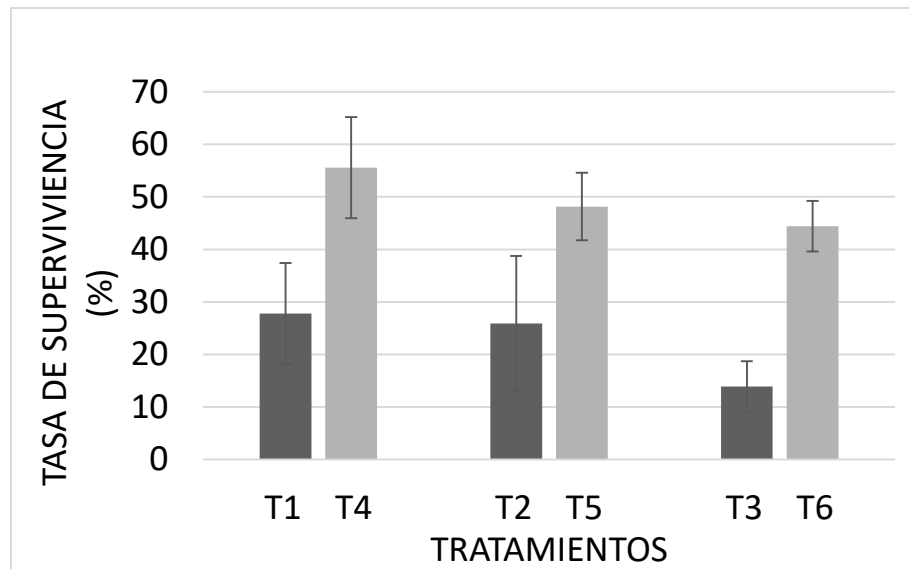


Figura 12. Tasa de supervivencia promedio de *M. tenellum* para los tratamientos T1, T2 y T3 sin calentador y T4, T5 y T6 con calentador bajo densidades de 10, 15 y 20 organismos/ m^2 respectivamente en 350 L por 40 días

Por otro lado, existen registros en los cuales *Macrobrachium* presenta diferentes tasas de supervivencia de acuerdo a la forma de cultivo como ocurre en lo reportado para cultivos semi-intensivos donde las tasas de supervivencia van desde 50 hasta 80%, en cultivos continuos de 50 a 60% y en jaulas es menor al 50% (New et al., 2010), lo que sugiere la necesidad de validar experimentos que permitan definir la mejor supervivencia para cada uno de los métodos de crecimiento.

Los sistemas de cultivo empelados para *M. tenellum* hasta ahora muestran que existe por el manejo y otras causas alta mortalidad, la cual se produce en mayor tasa a los 21 días de cultivo (Ponce-Palafox et al., 2002). Para los tratamientos T1 y T2 la densidad de población disminuyó paulatinamente para los 20 días de cultivo siendo más rápido el cambio para T3, para los 40 días los tres tratamientos tenían menos de 5 org/m^2 (Figura 13A). En cambio, T5 y T6 cae la población para los 20

días, mientras que la de 10 org/m² se mantiene aproximadamente la mitad de supervivencia (Figura 13B).

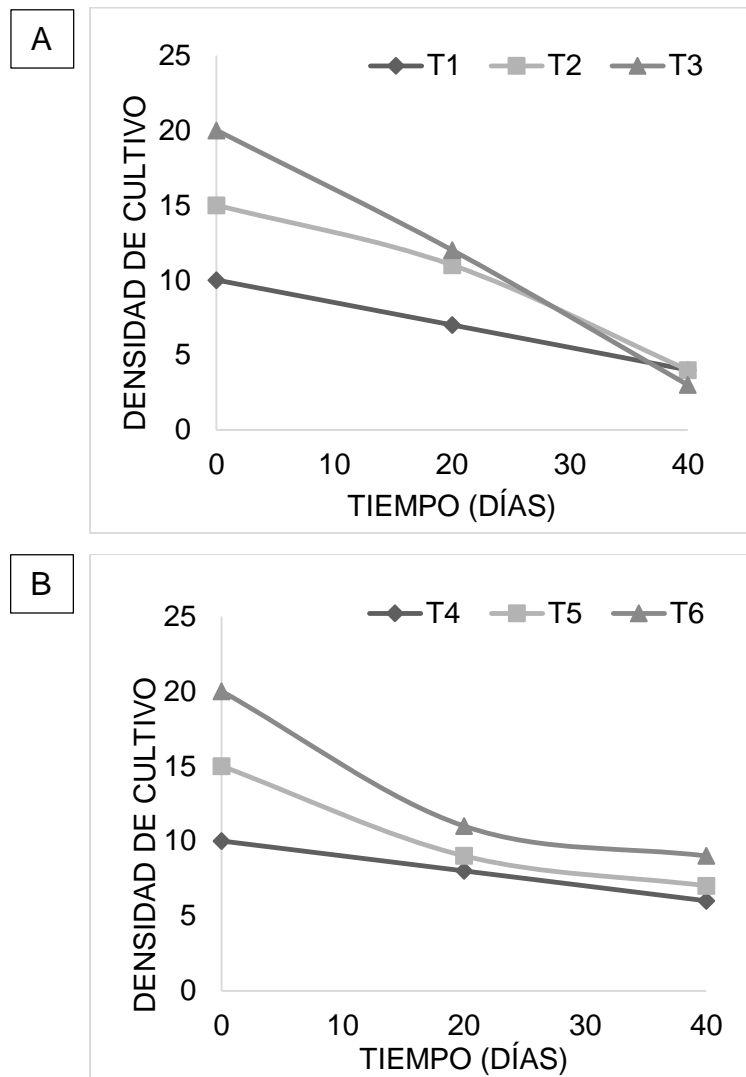


Figura 13. Densidad de cultivo promedio de *M. tenellum* a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 sin calentador (A) y T4, T5 y T6 con calentador (B) para las tres densidades (10, 15 y 20 organismos/m²) en 360 L

6.2.2 Peso inicial y final promedio (PIM, PFM)

El crecimiento desde el día 0 hasta el día 20 no mostró diferencia estadística significativa entre los 6 tratamientos, fue hasta el día 40 que los tratamientos T4, T5 y T6 muestran un incremento en peso (Figura 14 y Figura 15). El tratamiento T4 alcanzó los valores de peso más altos $3.68.33 \pm 0.54$ g, mientras que el tratamiento T2 presentó el menor peso 2.74 ± 0.08 g. Los tres tratamientos T4,

T5 y T6 que contaban con calentadores de agua demostraron tener los pesos más altos, estos datos muestran que la temperatura fue un factor determinante para el crecimiento de los organismos, esto coincide con los resultados de Habashy-Madlen y Hassan-Montaser, 2011 donde *M. rosenbergii* crecía mientras la temperatura aumentaba de 24 a 29°C. El efecto de la temperatura ha sido observado en poblaciones de diferentes ubicaciones geográficas (Sarver et al.,1979). Al comparar los tratamientos T1 - T4, T2 – T5 y T3 – T6 el último grupo mostró diferencia significativa, los tratamientos T4 y T6 presentaron grandes desviaciones estándar, dejando ver que los langostinos no crecían de forma homogénea pero los mejores pesos de este experimento pertenecían a los tratamientos con regulación de temperatura (Con T). En el cultivo se mantuvieron hembras y machos que han demostrado tener diferente crecimiento, siendo mayor para los machos, esto fue demostrado en el trabajo de Ponce-palafox et al., 2013. Ponce-Palafox et al., 2006 cultivó *M. tenellum* en estanques rústicos alcanzando menos de 7.5 g de peso los langostinos machos y menos de 3 g las hembras para los 40 días de cultivo.

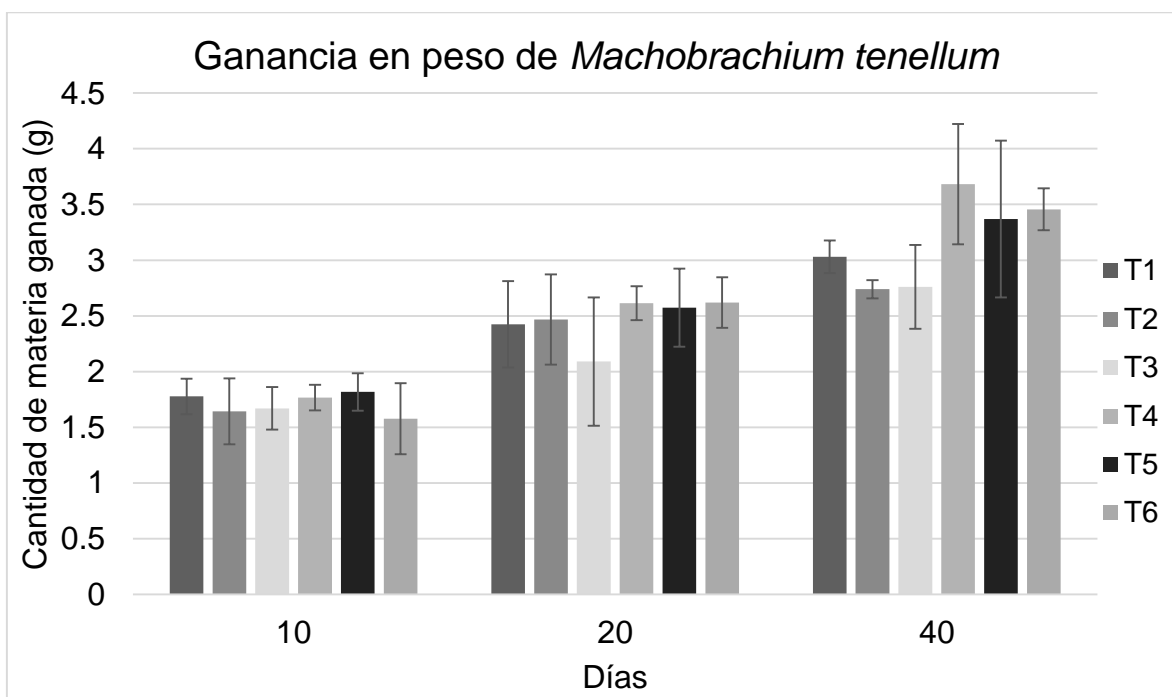


Figura 14. Crecimiento promedio de *M. tenellum* a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 (Sin T) y T4, T5 y T6 (Con T) para las tres densidades (10, 15 y 20) organismos/m² en 360L

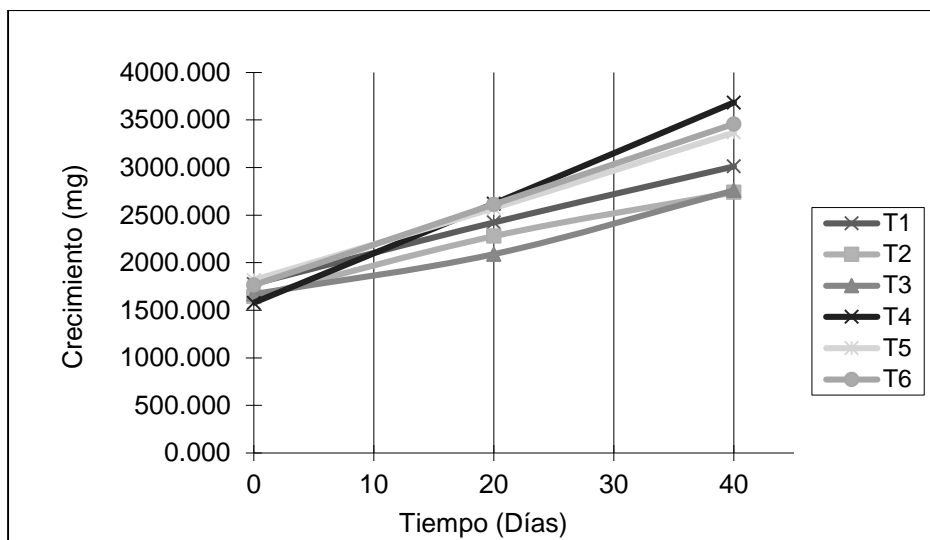


Figura 15. Tendencia del crecimiento promedio (mg) de *M. tenellum* a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 (Sin T) y T4, T5 y T6 (Con T) para las tres densidades (10, 15 y 20 organismos/m²) en 360 L

6.2.3 Talla inicial y final promedio (TIM) (TFM)

Los tratamientos T4, T5 y T6 mostraron los organismos más grandes, sobresaliendo aquellos del tratamiento T6, sin embargo, éste último y el T4 presentaban grandes desviaciones estándar (Figura 16). Al comparar T1 - T4, T2 - T5 y T3 - T6, el segundo grupo mostró diferencia significativa. Los tratamientos con regulación de temperatura tomaron ventaja en el crecimiento sobre aquellos que no contaban con esta condición. (Ponce-palafox et al., 2006) presentan para *M. tenellum* en estanques rústicos longitudes de entre 60 mm y 40 mm para 40 días de cultivo, mientras que en el presente trabajo se encontraron longitudes de 50 y 70 mm de largo. Autores como Román-Contreras 1979 encontró camarones silvestres de entre 60 y 130 mm de longitud.

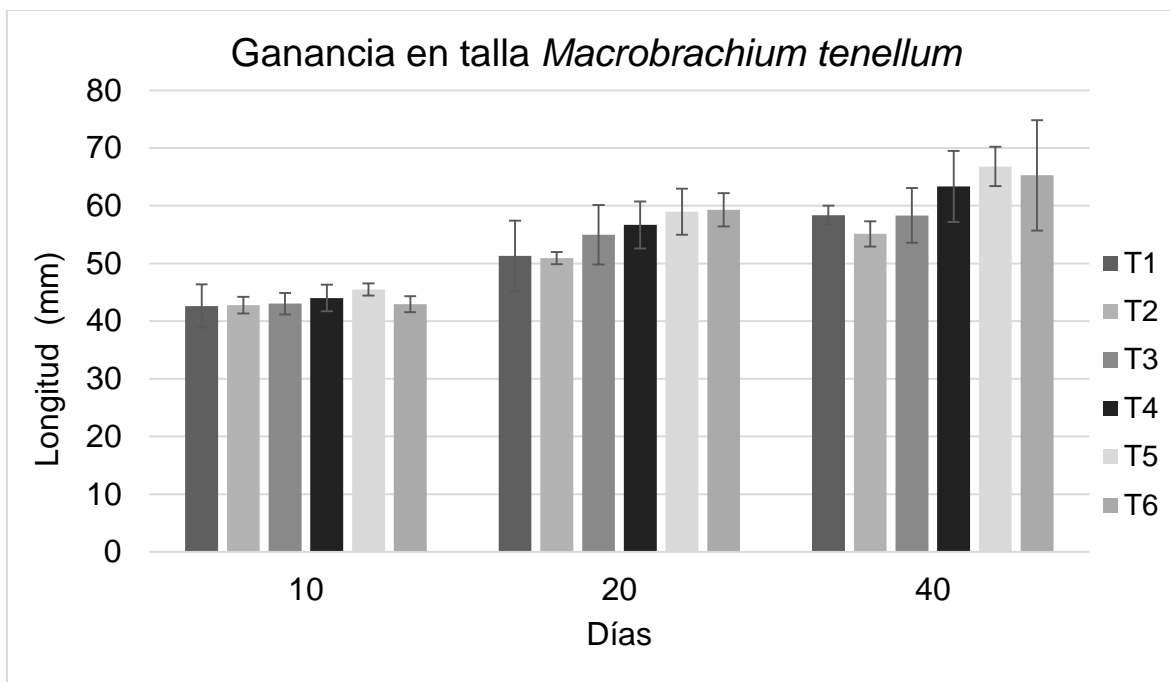


Figura 16. Crecimiento promedio en talla (mm) de *M. tenellum* a lo largo de los 40 días de cultivo para T1, T2 y T3 (Sin T) y T4, T5 y T6 (Con T) para las tres densidades (10, 15 y 20 organismos/m²) en 360 L

6.2.4 Relación peso-talla bajo modelo potencial.

Se determinó la relación entre peso y talla de los organismos bajo el modelo de la ecuación potencial (10), en la cual el coeficiente de regresión b proporciona información acerca del tipo de crecimiento, si $b=3$ el crecimiento es isométrico y cuando $b \neq 3$ el crecimiento es alométrico (Tabla 3). Los 6 tratamientos presentaron crecimiento alométrico, esto quiere decir que aunque los organismos de los tratamientos con regulación de temperatura (Con T, T4, T5, T6) exhibieron ganancia en talla y peso, su crecimiento no fue el ideal.

No existen reportes sobre dietas específicas para *M. tenellum*, de hecho las dietas utilizadas han sido formuladas para otras especies acuáticas (García-Ulloa et al., 2008).

Tabla 3. Modelo para la relación peso-talla final para los 6 tratamientos

Tratamiento	Intercepto (a)	Pendiente (b)
T1	0.0588	-0.3589
T2	0.0653	-0.2746
T3	0.0634	-0.2984
T4	0.0681	-0.2400
T5	0.0660	-0.2656
T6	0.0701	-0.2168

6.2.5 Estimadores de crecimiento

Hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) para el PFM entre los tratamientos T1 y T4 (Tabla 4) este último mostró el PFM más alto para los 40 días 3.68 ± 0.54 g y aunque no hubo diferencia significativa con T1 para el peso ganado, algunos individuos ganaron más del 100% de su peso inicial con una T.C. de 52.63 ± 18.95 mg/día, cuando T1 apenas alcanzó 30.90 ± 5.15 mg/día mientras la T.E.C de T4 fue de $2.13\% \pm 0.81$ con la menor T.C.A. de los 6 tratamientos (Tabla 4). El T5 presentó diferencia significativa ($P > 0.05$) con respecto a T2 en TFM siendo de 66.79 ± 3.42 mm (3.37 ± 0.7 g) y 55.11 ± 2.17 mm (2.70 ± 0.08 g) respectivamente. Entre T3 y T6 se observó diferencia significativa ($P > 0.05$) para TFM con 65.27 ± 9.54 mm, pero no presentó diferencia significativa para el PFM, la T.C.A. también fue menor 16.24 ± 1.99 . Los tratamientos con regulación de temperatura como T4 T5 y T6 obtuvieron organismos más largos que los tratamientos T1 T2 y T3, pero no con mejor peso que éstos, aunque T4 si presenta organismos con mayor peso. Estos resultados sugieren que la regulación de la temperatura influye en el tamaño de los organismos. Farmanfarmaian A. y Moore R., (1978) consideraron el uso de agua térmicamente mejorada para *M. rosenbergii*, el crecimiento casi se duplicó por el aumento de 5 °C dentro del rango de 20 a 30°C, mientras que Niu-Cuijuan et al., 2003 apenas observaron un aumento en el crecimiento de sólo el 60% en un rango de 23 a 33 °C.

Sin embargo, los langostinos de gran tamaño disminuyen su tasa de crecimiento e inhiben el crecimiento de los individuos pequeños (Preto et al., 2010) y estudios reportados para langostinos de *M. amazonicum* han demostrado que

unas poblaciones con diferentes morfotipos (diferentes etapas de madurez y sexo) de individuos causan gran variación en el tamaño de los animales, este crecimiento heterogéneo es un grave problema para las granjas de producción de langostinos disminuyendo su valor comercial.

Son escasos los trabajos acerca del cultivo de larvas y juveniles de *M. tenellum* y en sistemas de recirculación bajo invernadero para comparar pero trabajos como el de Ponce-Palafox et al., (2006) en el que utilizó juveniles de esta especie en estanques rústicos con 14 org/m² con peso inicial entre 1.5 y 2 g exhibiendo mayor talla por parte de los machos (120.5 mm) que las hembras (9,1) para 144 días de cultivo (31.2±1.35 °C), Román-Contreras (1979) ha registrado machos de 60 a 130 mm y hembras de 60 a 90 mm. Si su crecimiento es heterogéneo estimadores de crecimiento como peso ganado, la tasa de crecimiento, la tasa específica de crecimiento, y la tasa de conversión de alimento, pueden verse severamente afectadas, pues un individuo crecerá más que otro y alguno otro disminuirá más su tasa metabólica por el simple hecho de ser el mayor de la estructura social del cultivo y esto afectar directamente sobre los demás organismos en el recinto de cultivo.

Lo anterior es demostrado al analizar la T.E.C, que no mostró diferencia significativa ($P>0.05$) al comparar pares T1-T4, T2-T5, T3 -T6, y tampoco la hubo al aplicar la comparación entre las muestras, el T4 tuvo mejor T.E.C. alcanzando 2.13±0.081 %/día, mientras que T3 sólo mostró 1.25±0.60 %/día. Ponce-Palafox et al., (2006) obtuvo una T.E.C. de 1.5 %/día aproximadamente (31.2±1.35 °C). Al comparar la T.C. entre los grupos T1 -T4, T2 -T5 y T3 -T6 la diferencia significativa ($P>0.05$) la mostró T1-T4 mientras que al comprar los seis tratamientos el T6 mostró diferencia significativa ($P>0.05$) con T1 y T5 para 40 día de cultivo, Ponce-palafox et al., (2006) presentaron T.C. para machos 82.85 mg/día y hembras 19.28 mg/día para los 144 días, mientras que T4 tuvo la más alta T.C. 52.64±18.95 mg/día y la menor el T3 27.25±13.46 mg/día. Vega-Villasante et al., (2011) con cultivos experimentales en verano (66 días 8 org/m² 29.8±1.1 °C y 60 días 6 org/m² 29.5±1.2) y otoño (60 8 org/m² 26.9±1.82 y 45 días 6 org/m² 27.2±2.02) de *M. tenellum* mostraron T.C. de 135 mg/día y 77 mg/día, así como 15 mg/día y 0.4 mg/día, respectivamente. La variación de estos coincide con lo ocurrido en este

trabajo, siendo en función de la temperatura la diferencia de los valores para cada cultivo. En el trabajo de Vega-Villasante et al., 2011, los mejores pesos se obtuvieron para los cultivos durante el verano cuando la temperatura rondaba por los 29 °C.

La T.C.A. fue comparada entre grupos T1 -T4, T2 -T5 y T3 -T6, el primero y el último mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) mientras que al comparar los seis tratamientos mostraron diferencia significativa T1, T2 y T3 con respecto a los tratamientos T4, T5 y T6 muestra la menor T.C.A. 9.82 ± 3.90 y T3 la mayor T.C.A con 43.22 ± 12.14 .

Tabla 4. Estimadores de crecimiento para *M. tenellum* para 40 días de cultivo

Estimadores	Tratamientos					
	T1	T4	T2	T5	T3	T6
Condición	Sin T	Con T	Sin T	Con T	Sin T	Con T
PFM (g)	3.01±0.56 ^{axyz}	3.68±0.54 ^{byz}	2.70±0.08 ^{ax}	3.37±0.70 ^{axyz}	2.76±0.33 ^{axy}	3.45±0.19 ^{az}
TFM (mm)	58.36±1.63 ^{axy}	64.03±5.28 ^{axy}	55.11±2.17 ^{ax}	66.79±3.42 ^{by}	58.31±4.74 ^{axy}	65.27±9.54 ^{by}
Peso ganado (%)	70.61±17.66 ^{ax}	143.69±80.38 ^{axy}	69.85±26.39 ^{ax}	84.23±20.58 ^{axy}	68.27±41.73 ^{ax}	96.02±3.81 ^{ay}
T.C. (mg/día)	30.90±5.15 ^{ax}	52.63±18.95 ^{bxy}	27.41±6.91 ^{ax}	38.83±13.37 ^{ax}	27.25±13.46 ^{ax}	42.33±2.08 ^{ay}
T.E.C. (%/día)	1.32±0.26 ^{axy}	2.13±0.81 ^{axy}	1.30±0.40 ^{axy}	1.51±0.27 ^{axy}	1.25±0.60 ^{axy}	1.68±0.05 ^{ay}
T.C.A.	39.81±8.24 ^{ax}	9.82±3.90 ^{by}	36.16±15.87 ^{ax}	15.57±5.59 ^{ay}	43.22±12.14 ^{ax}	16.24±1.99 ^{by}

promedio±desviación estándar

Peso gan. Ind. = Peso ganado por individuo

A.C.I. Alimento consumido por individuo

T.E.C. Tasa de crecimiento específico

T.C.A. = Tasa de conversión de alimento

Sin T = Sin reguladores de temperatura

Con T = Con reguladores de temperatura

^{a b} diferencia estadística significativa ANOVA entre dos muestras

^{x y z} diferencia estadística significativa prueba LSD entre todas las muestras

7 CONCLUSIONES

La temperatura tuvo efecto positivo en la supervivencia de los langostinos bajo densidades de cultivo de 10 org/m² mientras que para densidades mayores a 15 org/m² el efecto no es considerable.

Aquellos tratamientos que contaron con regulación de temperatura mostraron un incremento en peso y talla, pero su crecimiento no fue isométrico, las tallas exhibidas para los 40 días mostraban organismos largos pero bajos en peso.

El crecimiento se ve afectado indirectamente por la densidad de cultivo ya que es la diversidad de morfotipos presentes en el cultivo la que tiene el efecto directo, esto explica el rango de la desviación estándar presente en aquellos tratamientos con densidad final de 5 org/m² aunado al manejo limitado de alimento.

M. tenellum se puede considerar como candidato para estudios de potencial acuícola con miras a producción en condiciones de semi-desierto bajo invernadero con densidades no mayores a 10 org/m² y bajo un rango máximo de temperatura de 6 °C próximos a la óptima de 28 °C.

8 TRABAJO FUTUROS

Llevar cultivos selectivos de acuerdo al morfotipo de la especie (madurez sexual y sexo).

Seleccionar razas de *M. tenellum* con características idóneas para llevarla a cultivo y usarla como modelo para comparación con otras especies nativas del mismo género.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Abramo, L. R. D., Daniels, W. H., Gerard, P. D., Han, W., & Summerlin, C. G. (2000). Influence of water volume , surface area , and water replacement rate on weight gain of juvenile freshwater prawns , *Macrobrachium rosenbergii* 1, 161–171.
- Acosta-Balbas, V., Freitas-Rangel, L., & Lodeiros-Seijo, C. (2000). Densidad, crecimiento y supervivencia de juveniles de *Lyropecten* (*Nodipecten*) *nodosus* (Pteroida: Pectinidae) en cultivo suspendido en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 48(4), 799–806.
- Albertoni Faria, E., Palma-Silva, C., & Esteves, F. D. A. (2002). Distribution and growth in adults of *Macrobrachium acanthurus* Wiegmann, (Decapoda,

- Palaemonidae) in a tropical coastal lagoon, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19, 61–70. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752002000600006>
- Aquacop. (1983). *Intensive larval rearing in clear water of Macrobrachium rosenbregii* (De Man, Anuenue Stock). At the Centre Océanologique du Pacifique Tahiti. In *CRC Handbook of Mariculture*. Boca Raton: J.P. McVey and J.R. Moore.
- Arana-Magallón, F. C. (1977). Experiencias sobre el cultivo de langostinos *Macrobrachium americanum* (Bate) en el noroeste de México. *Actas Del Simposio Sobre Acuicultura En América Latina*, 1(159.1), 139–147.
- Araujo, M. C. De, & Valenti, W. C. (2007). Feeding habit of the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum* larvae, 265, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.01.016>
- Avendaño Morales, M. E. (1984). Método de producción Langostino.
- Benítez-Mandujano, M., & Ponce-Palafox, J. T. (2012). *Biología, ecología e investigación sobre el langostino de río Macrobrachium carcinus* (Lennaeus, 1758). Palibrio.
- Cohen, D., & Ra'anan, Z. (1989). Intensive closed-cycle *Macrobrachium rosenbergii* hatchery: biofiltration and production strategy. In E. S. C. and J. M. C. M.M.R. Martins (Ed.), *Anais do III Simpósio Brasileiro sobre Cultivo de Camarao*, 15 - 20 outubro 1989, Joao Pessoa (Vol. 2, pp. 49–69). Joao Pessoa: MCR Aquacultura.
- Coyle, D., Shawn, A. E., & Sampaio, M. S. C. (2010). Nursery systems and management. In *Freshwater prawns biology and farming* (1st ed., pp. 108–122).
- De Grave, S., Cai, Y., & Anker, A. (2008). Global diversity of shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 287–293. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9024-2>
- de los Santos-Romero, R., & Silva-Rivera, M. E. (2008). Crecimiento de *Macrobrachium michoacanus* con relación al tipo de alimento y densidad de cultivo, 6.
- Díaz, F., Sierra, E., Denisse, A., & Rodríguez, L. (2002). Behavioural thermoregulation and critical thermal limits of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegman). *K. Thermal Biol.*, 27(5):423-428.

- Espino Barr, E., García Boa, A., Puente Gómez, M., Zamorano Acosta, C., Ahumacia Aguayo, O. E., & Cabral Solís, E. (2006). S a g a r p a instituto nacional de la pesca, III FORO CIENTÍFICO DE PESCA RIBEREÑA. *Neuropharmacology*, 51(2), 229–37. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16678217>
- Espinosa-Chaurand, L. D., Vargas-Ceballos, M. A., Guzmán-Arroyo, M., Nolasco-Soria, H., Carrillo-Farnés, O., & Chong-Carrillo, O. (2011). Biología y cultivo de *Macrobrachium tenellum*: Estado del arte Biology and culture of *Macrobrachium tenellum* : State of the art, 21(2), 99–117.
- Picaud, A. y Vega-Villasante. (2010). Efecto del pH y la interacción salinidad-temperatura sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles del langostino *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1978). Retrieved from <http://www.acuiculturalab.com/proyectos/efecto-del-ph-y-la-interaccion-salinidad-temperatura-sobre-el-crecimiento-y-supervivencia-de-juveniles-del-langostino-macrobrachium-tenellum-smith-1781/>
- Farmanfarmaian A. y Moore R. (1978). Effect of temperate and dissolved oxygen on survival and growth of *Macrobrachium rosenbergii*. *World Aquaculture Society*, 55–66.
- García-Guerrero, M. U., Becerril-Morales, F., Vega-Villasante, F., & Espinosa-Chaurand, L. D. (2013). Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina : conocimiento actual , rol ecológico y conservación The *Macrobrachium* prawns with economic and fisheries importance in Latin America : present knowledge , *eco*, 41(4), 651–675.
- Gómez, M. G. U., López-Aceves, L. A., Ponce-Palafox, J. T., Rodríguez-González, H., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2008). Growth of fresh-water prawn *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) juveniles fed isoproteic diets substituting fish meal by soya bean meal. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51(1), 57–65. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132008000100008>
- Hernandez Sandoval, P. (2008). Efecto de la temperatura en el crecimiento y sobrevivencia del langostino *Macrobrachium occidentale* y del acocil *Cherax quadricarinatus*. Tesis de Maestría en Ciencias (Recursos Natruales y Medio Ambiente). Departamento de Acuicultura, Centro Interdisciplinario de

- Investigación para el desarrollo interal regional, IPN. Sinaloa, México.60p.
- History, A., & Habashy, Madlen M. Hassan, M. M. S. (2011). Effects of temperature and salinity on growth and reproduction of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea-Decapoda) in Egypt. *International Journal of Environmental Science and Engineering*, 1, 83–90. Retrieved from <http://www.pvamu.edu/texged> Prairie
- Holthuis, L. B. (1952). a General Revision of T H E Palaemonidae (Crustacea Decapoda Natantia) of T H E Americas . I . T H E Subfamilies Euryrhynchinae and Pontoniinae. *Allan Hancock Foundation Occasional Papers*, 11, 1–335.
- Holthuis, L. B., & World, O. F. T. H. E. (1980). An Annotated Catalogue of Species. *Fao Fisheries Synopsis*, 1(125), 284.
- Iñiguez-López, J., & Díaz-Pardo, E. (2004). Diagnóstico y Potencial Pesquero en las Micr ocuencas Ayutla y Concá.
- Islam, M. S., Rahman, M. M., & Tanaka, M. (2006). Stocking density positively influences the yield and farm profitability in cage aquaculture of sutchi catfish, *Pangasius sutchi*. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(5), 441–445. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00746.x>
- Kent, G. (1995). Aquaculture and food security. *Proceedings of the PACON Conference on Sustainable Aquaculture 95*, (June), 11–14.
- Manush, S.A., Pal, A.K., Chatterjee, N., Das, T. & Mukherjee, S.C. (2004). Thermal tolerance and oxygen consumption of *Macrobrachium rosenbergii* acclimated to three temperatures. *J. Thermal Biol.* 29,15-19.
- Lagerspetz, K. Y. H., & Vainio, L. A. (2006). Thermal behaviour of crustaceans. *Biological Reviews*. <https://doi.org/doi:10.1017/S1464793105006998>
- Marques, H. L. de A., Lombardi, J. V., Mallasen, M., de Barros, H. P., & Boock, M. V. (2010). Stocking densities in cage rearing of Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) during nursery phases. *Aquaculture*, 307(3–4), 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.07.035>
- Montero, D., Izquierdo, M. S., Tort, L., Robaina, L., & Vergara, J. M. (1999). High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry*, 20, 53–60.

<https://doi.org/10.1023/a:1007719928905>

- Montoya, J. V. (2003). Freshwater shrimps of the genus *Macrobrachium* associated with roots of *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) in the Orinoco Delta (Venezuela). *Caribbean Journal of Science*, 39(1), 155–159.
- Murphy, N. P., & Austin, C. M. (2005). Phylogenetic relationships of the globally distributed freshwater prawn genus *Macrobrachium* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae): Biogeography, taxonomy and the convergent evolution of abbreviated larval development. *Zoologica Scripta*, 34(2), 187–197. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.2005.00185.x>
- New, M. B., Valenti, W. C., Tidwell, J. H., D'Abramo, L. R., & Kutty, M. N. (2010). *Freshwater prawn: Farming, Biology and Farming*. Iowa, USA: Blackwell Publishing Ltd.
- Niu-Cuijuan, Daxong, L Seiji, G y Shigeru, N. (2003). Effects of temperature on food consumption, growth and oxygen consumption of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man 1879) postlarvae. *Aquaculture Research*, 34(6), 501–506. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00845.x>
- Phuong, N. W., Hai, T. N., Hien, T. T. T., Bui, T. V., Huong, D. T. T., Son, V. N., ... Wilder, M. N. (2006). Current status of freshwater prawn culture in Vietnam and the development and transfer of seed production technology. *Fisheries Science*, 72, 1/12.
- Pileggi, L. G., & Mantelatto, F. L. (2010). (Decapoda, Palaemonidae), with emphasis on the relationships among selected American species. *Invertebrate Systematics*, 24(2), 194. <https://doi.org/10.1071/IS09043>
- Ponce-Palafox, J. T., Arana-Magallón, F. C., Cabanillas-Beltrán, H., & Esparza-Leal, H. (2002). Bases biológicas y técnicas para el cultivo de los camarones de agua dulce nativos del Pacífico Americano *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) y *M. americanum* (Bate, 1968). *Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura*, 2002, 534–546.
- Ponce-palafox, J. T., García, M., Gómez, U., Arredondo, J. L., Ocampo, D. H., Alvarez, J. D., ... Leal, H. E. (2006). El cultivo del Camarón de Agua Dulce *Macrobrachium tenellum* en estanques rústicos. *Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura*, 2006(2), 655–660. Retrieved from

<http://www.revistaaquatic.com/civa2006/coms/completo.asp?cod=246>

- Ponce-palafox, J. T., Uriostegui, F. L., Alfredo, M., Maldujano, B., Vargasmachuca, S. C., Valles, A. B., ... Arredondo-figueroa, J. L. (2013). Comparative growth performance of male and female freshwater prawn *Macrobrachium tenellum* (Decapoda: Palaemonidae) cultured in tropical earthen ponds. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 5(February), 26–28. <https://doi.org/10.5897/IJFA12.093>
- Preto, B. L., Kimpara, J. M., Moraes-valenti, P., & Valenti, W. C. (2010). Population structure of pond-raised *Macrobrachium amazonicum* with different stocking and harvesting strategies. *Aquaculture*, 307(3–4), 206–211. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.07.023>
- Román-Contreras, R. (1979). Contribución al conocimiento de la biología y ecología de *Macrobrachium tenellum* (Smith)(Crustacea, Decapoda, Palaemonidae). *Anuales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 6(2):137-160.
- Sandifer, P. A., & Smith, T. I. J. (2009). Effect of population on growth and survival of *M. rosenbergii* in recirculating water management system, (March 2016). <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1975.tb00006.x>
- Sarver, D Malecha, S y Onizuka, D. (1979). DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF GENETIC STOCKS AND THEIR HYBRIDS IN *Macrobrachium rosenbergii*: PHYSIOLOGICAL RESPONSES AND LARVAL DEVELOPMENT RATES, 892, 880–892.
- Tidwell, J. H. (2012). *Aquaculture Production Systems*. *World Aquaculture Society*. <https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch11>
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2010). *Recirculating Aquaculture*. *Aquaculture*.
- Valenti, W. C., Daniels, W. H., New, M. B., & Correia, S. E. (2010). Hatchery systems and management. In *Freshwater prawns biology and farming* (1st ed., p. 55/81).
- Vega-Villasante, F., Espinosa-Chaurand, L. D., Yamasaki Granados, S., Cortés-Jacinto, E., García Guerrero, M. U., Copul Magaña, A. L., ... Guzmán-Arroyo, M. (2011). *Vega-Villasante et al.*
- Vega-Villasante, F., García-guerrero, M. U., Cortés-Jacinto, E., Yamasaki Granados, S., Montoya Martínez, C. E., Vargas-Ceballos, M. A., ... Nolasco-Soria, H. G. (2014). camarones de agua dulce del género *Macrobrachium* (Temas

Investigaciones Costeras).pdf.

Vega-Villasante, F., Martínez-López, E. A., Espinosa-Chaurand, L. D., Cortés-Lara, M. C., & Nolasco-Soria, H. (2011). Crecimiento y supervivencia del langostino (*macrobrachium tenellum*) en cultivos experimentales de verano y otoño en la costa tropical del pacífico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 581–588.

Zimmermann, S., Mohanakumaran-Nair, C., Bernard-New., M., Grow out systems polyculture and integrated Culture en Freshwater Prawns Biology and Farming 2010 Bernard-New. M., Capitulo11 195-205.

Zuk, M., & Kolluru, G. . (1998). Exploitation of sexual signals by predators and parasites, 73(4), 3–22.