

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Portada del Proyecto de Residencias Profesionales	

Nombre del Proyecto:

INFLUENCIA DEL CALCIO EN EL AGUA Y LA SUPLEMENTACIÓN CON
ESPIRULINA EN EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE TEGOGOLOS
DURANTE LA CRIANZA DE NEONATOS

Nombre del Alumno

CHONG VALLADARES KEVIN DANIEL

OLMOS LOZANO RUBI

Numero de Control

18990377

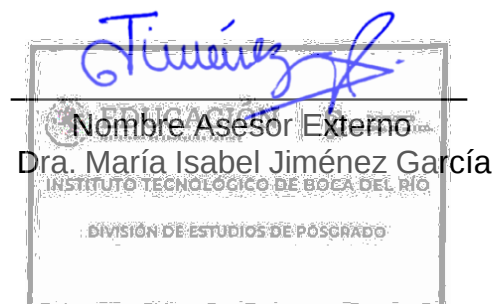
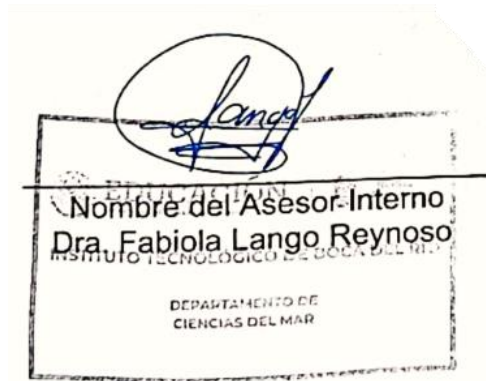
18990366

Nombre de la Carrera

BIOLOGÍA

Especialidad

MARINA



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestra familia por creer en nosotros, por su confianza, por todo ese apoyo incondicional que nos brindaron y que nos fortaleció para sacar nuestra carrera adelante.

A la Dra. María Isabel Jiménez García, por habernos dado la oportunidad en primer lugar para asesorarnos en este proyecto, por brindarnos de sus conocimientos y por su paciencia.

Al Dr. Carlos R. Rojas García, por habernos apoyado a lo largo de este proyecto con su experiencia en el campo y por su tiempo.

Por último, pero no menos importante, también agradecemos a nuestros amigos de carrera, quienes hicieron que los malos momentos que llegamos a pasar durante esta etapa fueran más amenos.

Índice

Resumen	1
Introducción	1
Problemas a resolver	8
Objetivos.....	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos.....	8
Justificación	9
Marco teórico	10
Antecedentes.....	10
Lago de Catemaco	13
Biología del caracol tegogolo <i>P. patula catemacensis</i>	14
Importancia ecológica	16
Situación actual de la especie	16
Crianza bajo condiciones controladas.....	17
Sistemas de recirculación.....	19
Sistemas cerrados.....	19
Dieta artificial.....	20
Parámetros físicos.....	22
pH.....	22
Temperatura.....	22
Parámetros químicos.....	23
Calcio	24
Amonio	24
Nitritos	26
Nitratos	27
Biología de espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>)	27
Importancia y aplicación	29
Actividades y procedimientos.....	31
Colecta	31
Montaje de los sistemas de recirculación	33
Eclosión de ovas	34
Mantenimiento de neonatos post eclosión.....	34
.....	36
Alimentación	36

.....	38
.....	38
Recambio de agua y limpieza de tinas	38
Resultados	39
Crecimiento en largo, ancho y peso	39
Conclusiones	43
Competencias desarrolladas y/o aplicadas.....	44

Índice de figuras

Figura 1. Imagen satelital de la Laguna de Catemaco, Veracruz.....	32
Figura 2. Desoves de <i>P. patula catemacensis</i>	32
Figura 3. Proceso de montado de sistema de recirculación	33
Figura 4. Ova colectada en el proceso de eclosión	34
Figura 5. Crías del caracol <i>P. p. catemacensis</i> alimentándose.....	35
Figura 6. Neonatos siendo alimentados con espirulina.....	36
Figura 7. Maceración del alimento en hojuelas.....	37
Figura 8. Proceso de biometría en largo y ancho de caracoles	37
Figura 9. Proceso de biometría con base al peso total de tegogolos.....	37
Figura 10. Esquema de la toma de tallas.....	38
Figura 11. Proceso de sifoneo y limpieza en tinas del S.R.	38
Figura 12. Sistema de recirculación al final del experimento	39
Figura 13. Comportamiento del largo de los caracoles en tratamiento calcio alto	40
Figura 14. Comportamiento del largo de los caracoles en tratamiento calcio bajo	40
Figura 15. Comportamiento del ancho de los caracoles en tratamiento calcio alto	41

Figura 16. Comportamiento del ancho de los caracoles en tratamiento calcio bajo	41
---	----

Figura 17. Comportamiento del peso de los caracoles en calcio bajo	42
--	----

Figura 18. Comportamiento del peso de los caracoles en calcio alto	42
--	----

Índice de tablas

Tabla 1. Pesos promedios iniciales y finales de cada tratamiento	43
--	----

Resumen

El caracol *Pomacea patula catemacensis*, conocido localmente como “tegogolo”, es un gasterópodo endémico del lago de Catemaco, ubicado en la región montañosa de Los Tuxtlas, Veracruz. El tegogolo es una especie muy apreciada por su sabor, sin embargo, sus poblaciones van a la baja; ante esta problemática, su cultivo en cautiverio es una opción viable, tanto para su integración en programas de repoblamiento o su cultivo con fines comerciales. Sin embargo, diversos aspectos sobre el manejo de la especie son aún desconocidos. Por tanto, el objetivo general de esta investigación es comparar el desempeño biológico de *P. catemacensis* a dos concentraciones de calcio disuelto en el agua con y sin suplementación de espirulina (*Arthrospira* sp.) durante su crianza a partir de ovas de reproductores silvestres. Se diseñó el experimento bifactorial 2X2. Factor 1: concentración de calcio, con dos niveles 0.020 g/L y 0.120 g/L de carbonato de calcio, y factor 2: suplementación de espirulina, con y sin. Es así que se contó con 4 tratamientos por triplicado con un total de 12 unidades experimentales, 6 de calcio alto y 6 de calcio bajo, 3 de los cuales eran con suplemento de espirulina y los 3 restantes sin dicho suplemento.

Se utilizaron 12 tinajas de plástico blancas semitransparentes colocadas en un sistema de recirculación de agua tipo rack. La alimentación se suministraba dos veces al día para cada tratamiento. El primer alimento se suministraba alrededor de las 8:00 hrs. Se preparaban 0.08 g de hojuelas para peces para alimentar cada una de las 12 tinajas y 2 ml de espirulina como suplemento para cada una de las 6 tinajas. Posteriormente el segundo alimento se agregaba a las 14:00 hrs. llevando a cabo el mismo proceso.

Cada uno de los tratamientos fueron alimentados con 0.08 g de hojuelas para peces con 40% de proteína. El experimento duró 2 meses, iniciando el 06 de abril de 2023, realizando biometrías los días 17 de abril, 02 y 17 de mayo y, por último, el 03 de junio. Para esto, se midió el ancho, longitud y peso de 20 caracoles por unidad experimental. Los resultados mostraron que en todos los casos, la alimentación suplementada con espirulina, se asoció de forma positiva y significativa ($p < 0.005$) con la ganancia final de peso y crecimiento de los caracoles en todos los tratamientos.

Esta investigación contribuye al conocimiento básico de algunas variables que pueden jugar un papel importante en el crecimiento del caracol durante los primeros dos meses de edad.

Introducción

En la estructura de los ecosistemas dulceacuícolas, los moluscos forman una parte esencial y están estrechamente relacionados a la forma de vida de los pobladores que se encuentran en las riberas de los cuerpos de aguas (Castillo et al. 2020).

El aprovechamiento de los caracoles dulceacuícolas del género como fuente de alimento en las zonas subtropicales, se remonta a la época prehispánica. En México, los moluscos dulceacuícolas, marinos y salobres constituyen parte de la dieta de las comunidades costeras con ingresos económicos bajos, tal es el caso del caracol de agua dulce que habita en el Lago de Catemaco, Veracruz (Vázquez, 2008).

El caracol *Pomacea patula catemacensis*, conocido localmente como “tegogolo”, es un gasterópodo endémico del lago de Catemaco, ubicado en la

región montañosa de Los Tuxtlas, Veracruz. El Lago de Catemaco, asentado en un gran cráter volcánico, tiene una superficie aproximada de 72 543 km² con profundidad máxima de 22 m y media de 7.6 m (Lorán et al. 2013). *P. p. catemacensis*, es una especie apreciada regionalmente debido a su sabor, por lo que su extracción comercial es una actividad socioeconómica relevante (Muñoz, L. 2022). En los últimos años las poblaciones naturales se han visto diezmadas debido a que su captura se realiza sin control, a lo que se suma el alto grado de deterioro ambiental que presenta el lago, producto del “azolvamiento”, así como por la contaminación por plaguicidas y detergentes (Carreón-Paulau et al. 2003).

El Lago de Catemaco destaca por sus elevados rendimientos pesqueros que lo sitúan como uno de los más productivos a nivel nacional, en promedio su rendimiento por hectárea sólo es superado por la presa “El Infiernillo”. Una de las especies de gran importancia en la producción pesquera de la zona es el caracol tegogolo, lamentablemente las poblaciones de éste disminuyeron drásticamente en la década de los años 80, donde la producción que se explotaba era de 5,000 ton y descendió a 24 ton en el año 2001 (Carreón Palau et al, 2003).

Si bien el tegogolo no es un gasterópodo de gran valor comercial en comparación con el abulón o la madre perla, es una fuente alimentaria y de ingresos económicos para los pobladores de Catemaco (Naranjo, 2003). Dicha especie muestra poca vigilancia sobre su aprovechamiento racional y protección, por lo que una alternativa para preservar la especie, sin desatender su demanda en la zona, es el desarrollo de técnicas acuícolas que permitan su crianza, debido a que el caracol posee un alto potencial para ser

cultivado (Amador-Del Ángel, 2006). Sin embargo, a la fecha, son pocos los estudios que hayan investigado los diversos aspectos involucrados con su manejo en cautiverio. Algunos trabajos se han abocado a aspectos del manejo en cautiverio para su engorda (Linton, 2019; Castillo et al. 2020; López et al. 2010). Otros estudios han investigado sobre aspectos de la alimentación, como los requerimientos proteicos, el uso de diversos tipos de alimento comercial, como el de tilapia, bagre (Vázquez, 2008), y Ruíz et al. (2005), probaron el uso de la cianobacteria *Calothrix* sp. como alimento bajo condiciones de laboratorio. De acuerdo con lo anterior, en este trabajo de residencia profesional, se hizo hincapié en el uso de un alimento comercial (hojuelas para peces) y dando un suplemento de una cianobacteria (la espirulina, *Arthrospira maxima*) durante la crianza del tegogolo.

La espirulina (*Arthrospira* sp.), anteriormente clasificada como microalga, se utiliza para alimentar moluscos, micro crustáceos (*Artemia* sp.) y como alimentos para peces (Díaz y León, 2014), ya que contiene una serie de rasgos esenciales que ayudan a mantener una piel saludable y una coloración propia de estos animales. La espirulina, es una cianobacteria filamentosa no diferenciada, habita lagos alcalinos. Actualmente se cultiva para consumo humano debido a su contenido nutricional (Gómez, 2020). La espirulina tiene cualidades inmunológicas, antioxidantes, antivirales, protector contra el cáncer, retiene metales pesados por lo que es un antitóxico. Se ha demostrado que es un regulador contra la hiperglicemia y la hiperlipidemia (Belay, 2002).

Estudios nutricionales han demostrado que *Arthrospira* sp. es una de las mejores fuentes de proteínas de alta calidad, de fácil digestibilidad y

absorción, ya que contiene un alto porcentaje de proteínas (50 a 70%) así como todos los aminoácidos esenciales (Vázquez-Pérez et al. 2016) y numerosas moléculas biológicamente activas, como ácidos grasos poliinsaturados, ficobiliproteínas, β -caroteno, provitaminas y compuestos fenólicos que se sabe tienen actividad antioxidante. Pequeñas cantidades de espirulina en la dieta de peces producen efectos significativos sobre el crecimiento, utilización del alimento, condición fisiológica, respuesta al estrés, resistencia a enfermedades, así como una mejora en la calidad de la carne en cuanto a contenido de grasa y coloración (Torres, Vivaldo y Serrano, 2023).

Las espirulinas poseen altas concentraciones de minerales como yodo, hierro, magnesio, calcio, fósforo, potasio, silicio y sodio, lo que las hace idóneas para remineralizar y fortalecer los huesos, las uñas, la piel y el cabello; además aportan zinc, elemento necesario para la correcta secreción y asimilación de la insulina (Valdés y Soto, 2008).

Se ha reportado que *Spirulina* sp. hace más eficiente la conversión del alimento; al mejorar la flora intestinal, la cual desintegra compuestos no digeribles o de difícil digestión que contengan los alimentos; la misma flora bacteriana produce vitaminas y desplaza a bacterias dañinas o peligrosas dentro del intestino en el organismo (Lara et al. 2005). Así mismo, *Spirulina* sp. estimula la producción de enzimas que transportan a las grasas por el cuerpo, así el animal puede utilizar la grasa como energía para el crecimiento en lugar de que se acumule en tejido adiposo, generando flacidez en la textura corporal (Díaz y León, 2014).

La calidad del alimento afecta significativamente el crecimiento, la fecundidad y la fertilidad de los caracoles. En un estudio realizado por Prepelitchi et al.

2015, evaluaron la utilización de la espirulina (*Arthrospira platensis*) como fuente de alimento para la cría artificial de *Pseudosuccinea columella*, una especie invasora que actúa como el principal hospedero intermediario de *F. hepatica* en el Noreste Argentino. El objetivo principal de dicho trabajo fue medir el efecto de la espirulina en parámetros de su adecuación tales como: tasa de supervivencia, tasa de crecimiento, tamaño que alcanzan a la madurez sexual, duración del período fértil, fecundidad y capacidad de la descendencia. La mitad de estos organismos fueron alimentados con lechuga y la otra mitad con lechuga más espirulina. En comparación con los caracoles *P. columella* alimentados solo con lechuga, encontraron que los que fueron alimentados con lechuga y espirulina: 1) mostraron mayores tasas de supervivencia, 2) crecieron más rápido y mostraron mayores incrementos de crecimiento (Prepelitchi, L. et al. 2015).

Además de los macronutrientes (proteínas, lípidos, carbohidratos) contenidos en la dieta, los micronutrientes, como constituyen un factor limitante en el crecimiento de los caracoles, por ejemplo, el calcio debido principalmente a su función como componente mayoritario de las sales que forman la concha; sin embargo, en la actualidad no se conocen los requerimientos para su adecuado crecimiento (Perea et al. 2004).

Actualmente existen varios estudios que relacionan el crecimiento del caracol con diferentes tipos de dietas en caracoles de agua dulce (Ruiz-Ramírez, Espinosa-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; De Jesús-Carrillo, 2014) y sobre la importancia del contenido de calcio en diferentes tipos de dieta y crecimiento de la concha (Rundle et al. 2004; Bukowski y Auld, 2014). La formación de las conchas de los caracoles es un proceso complejo y poco

comprendido desde el punto de vista mecánico; pero la importancia de dos iones, Ca^{2+} y HCO_3^- , está bien estudiada. Sin embargo, existen pocos estudios que evalúen el efecto que diferentes concentraciones de calcio en el agua tienen sobre el crecimiento y la resistencia de la cáscara (Markoglou et al. 2011; como se citó en De Jesús-Navarrete et al. 2023).

De Jesús-Navarrete et al. (2023) probaron el efecto de tres concentraciones de calcio en agua sobre el crecimiento y la dureza de las conchas de caracol en sistemas de cultivo de recirculación durante 12 semanas. Los caracoles criados a una concentración de 500 mg/L mostraron un mejor crecimiento y construyeron caparazones más fuertes que los caracoles criados en otras concentraciones (300 mg/L y 243,33 mg/L). También mencionan que el suministro de calcio en el cultivo de *Pomacea* mejora el crecimiento y permite que los caracoles produzcan cáscaras más sanas y fuertes, y podría mejorar la reproducción en la nidada de masas de huevos. El correcto crecimiento y desarrollo de los caracoles está ligado a varios factores que deben ser considerados al momento de diseñar un método de cultivo para estos organismos. Desde el punto de vista ecológico, los caracoles criados con una mayor concentración de calcio producirán organismos con caparazones más resistentes que evitarían la depredación

Por lo mencionado anteriormente, el objetivo de este proyecto fue observar si el nivel de concentración de calcio disuelto en el agua influye [11] en el crecimiento que tienen las crías de *Pomacea catemacensis*, además de comparar el crecimiento que tienen los organismos con y sin la suplementación de espirulina en la dieta de los caracoles.

Problemas a resolver

La importancia del caracol *Pomacea patula catemacensis* radica en que es un caracol de hábitos herbívoros, además de ser una especie endémica del Lago de Catemaco, Veracruz cuyas poblaciones van a la baja como lo muestran los indicadores de su extracción por parte de pescadores. El crecimiento que se ha registrado en los “tegogolos” en su entorno natural, es de un periodo estimado de uno a seis meses, sin embargo, se ha registrado que no existe un control sobre la captura. La alimentación, pH, calcio y temperatura son parámetros importantes en el crecimiento y desarrollo del caracol, estos se pueden ver afectados por la contaminación que se presenta en el lago, sin embargo, a la fecha, no se conocen valores de tales variables los cuales favorezcan el crecimiento del caracol tegogolo en cautiverio.

Objetivos

Objetivo general

Comparar el desempeño biológico de *Pomacea catemacensis* a dos concentraciones de calcio disuelto en el agua, con y sin suplementación de espirulina durante la crianza de recién nacidos.

Objetivos específicos

1. Obtener a los organismos experimentales (caracoles recién nacidos) obtenidos a partir de padres silvestres.
2. Cultivar a los organismos experimentales en un sistema de recirculación agregando 2 concentraciones de carbonato de calcio y alimentarlos con y sin suplementación de espirulina.

3. Registrar la longitud total, ancho, peso y supervivencia de crías de los caracoles durante su cultivo.
4. Determinar si la concentración de calcio en el agua y la suplementación de espirulina en la dieta influyen en el crecimiento y supervivencia final de los caracoles.

Justificación

El caracol tegogolo, *Pomacea patula catemacensis*, tiene gran importancia ecológica, ya que forma parte de cadenas tróficas del lago de Catemaco, son controladores de malezas y son depredados por otros organismos, como el gavián caracolero (*Rostrhamus sociabilis*); también poseen importancia económica y alimentaria en la zona de Catemaco, puesto que son aprovechados por pobladores de la región de Los Tuxtlas para su captura, venta y consumo en diversos platillos. Las poblaciones de esta especie se han reducido en los últimos años por diferentes razones y se ha considerado como especie en peligro, Debido a la importancia ecológica que representa el tegogolo y que este a su vez es base de la economía de la región, es importante realizar este experimento para contribuir al conocimiento del crecimiento y supervivencia de crías de tegogolo cultivadas en agua con dos concentraciones de calcio (0.120 gr y 0.020 gr), así como del efecto del alimento en hojuela con adición de un suplemento (espirulina en polvo), ya que a la fecha no existe información disponible acerca del papel del calcio y del superalimento (espirulina), como suplemento alimenticio en el manejo del caracol tegogolo en etapa de crianza. En el proceso de la acuicultura, la alimentación representa gran parte de los costos que esta conlleva, los cuales

se deben principalmente a la proteína del alimento convencional, pues ésta proviene de algunos animales, como la harina de pescado, por ejemplo, lo cual conlleva a problemas de sustentabilidad. Por esto, encontrar nuevas alternativas de fuentes de proteína para su utilización como alimento es relevante (Mosha, 2019). Lo anterior es un requisito necesario para contribuir a la sustentabilidad del manejo en cautiverio de la especie

Marco teórico

Antecedentes

En 2020 Castillos y colaboradores, realizaron un estudio para el cultivo de *Pomacea patula catemacensis* a partir de 400 ejemplares de criaderos del Lago de Catemaco. Los individuos presentaban las características propias de un tegogolo inmaduro (caparazón suave), se registraron los datos de peso y talla, la alimentación estuvo basada en lechuga (*Lactuca sativa*), Jacinto de agua o lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y alimento para peces en etapa de crecimiento, la dieta establecida fue bien aceptada por *Pomacea patula catemacensis* en todas las fases de desarrollo.

Glass (2009) en su estudio relacionado con el efecto del calcio y pH en *P. paludosa*, menciona que los caracoles que crecen en agua con calcio y pH bajos no solo crecen lentamente, también presentan caparazones delgados. Los resultados fueron consistentes con Hunter (1989) en que las conchas de caracol parecen erosionadas después de la exposición a un pH bajo (4.6 y 4.7). Observaron la erosión de la concha a lo largo de la región baja de la misma (ápice), mientras se producía una nueva concha a lo largo de la

abertura, lo anterior sugiere que el pH bajo impidió al calcio la absorción y construcción de capa.

Ceballos (2006) realizó una evaluación de la harina de *Spirulina platensis* como alimento y aditivo para la producción de postlarvas de camarón blanco *Litopenaeus schmitti*. En dicha investigación se propuso determinar el valor nutricional de dicho recurso, en el esquema de alimentación de larvas de camarón blanco *Litopenaeus schmitti*, como: a) sustituto de alimento vivo fitoplanctónico de protozoas; b) aditivo en alimentos microparticulados, a fin de sustituir a los nauplios de *Artemia* para las fases de mysis y post-larva, y c) atrayente en el alimento. Los resultados demostraron que las protozoas de *L. schmitti* son capaces de consumir microalgas secas. La microalga que permitió obtener los mejores resultados en cuanto a longitud total, índice de desarrollo y supervivencia fue la harina de *Spirulina platensis*. Los resultados mostraron que el alimento que contenía harina de *Spirulina* fue más atractivo para juveniles de esta especie, concluyendo que es posible mejorar la atractabilidad de los alimentos para camarón con la inclusión de 5% de harina de *Spirulina platensis*, y que el dispositivo experimental utilizado permite evaluar el efecto atrayente de dietas formuladas para camarones (Ceballos, 2006).

Rincón, D. et al. (2012) estudiaron los niveles de sustitución de harina de pescado por harina de *Arthrospira maxima*, en dietas experimentales para alevines de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Emplearon alevines masculinizados con peso promedio de 2.5 ± 0.10 g., distribuidos al azar en acuarios con aireación permanente y recambios diarios de agua. Se formularon tres dietas experimentales y una dieta control, con niveles de sustitución de harina de

pescado por harina de *Spirulina maxima*, así: 10 (A), 20 (B), 30 (C) y 0 % (D, dieta control). Todas las dietas fueron isoproteicas (28%) e isocalóricas (400 Kcal/100 g.) y en conjunto con la dieta comercial (E) fueron suministradas a los peces en dos raciones diarias durante 90 días. Se realizaron muestreos quincenales donde se determinaron: ganancia de peso (G.P.), eficiencia alimenticia (E.A.), relación eficiencia-proteína (R.E.P.) y el factor de conversión alimenticia (F.C.A.). Al final del ensayo, se compararon entre sí los resultados de cada parámetro mediante un ANOVA a un nivel de significancia del 5 %. El análisis no reveló diferencias significativas ($p>0.05$) entre la G.P., E.A. y R.E.P., indicando una eficiencia similar en todas las dietas (A, B, C, D y E). Para el F.C.A., se observaron diferencias significativas ($p<0.05$), resultando el tratamiento C el de mejor relación alimento consumido – ganancia de peso. Al final pudieron concluir en que la harina de pescado puede ser substituida por la harina de *Spirulina maxima* hasta en un 30% en la elaboración de dietas para la alimentación de alevines de tilapia roja.

Acerca de otros tipos de alimentos ofrecidos al tegogolo de Catemaco (*P. p catemacensis*), Vázquez (2008) realizó una investigación donde evaluó su crecimiento utilizando cuatro dietas artificiales: bagre, camarón, tilapia y trucha. Los resultados mostraron que las dietas empleadas no tuvieron un efecto estadísticamente significativo en cuanto al crecimiento del caracol, sin embargo, se observó una mejor tendencia en los caracoles con dieta para trucha mostrando los valores más altos respecto al peso con 9.5 ± 2.51 g, longitud total de 3.2 ± 0.26 cm y ancho de la concha de 3.0 ± 0.30 cm y los más bajos con la dieta camaronina con un peso de 7.9 ± 1.12 g y longitud total de 3.0 ± 0.19 cm. La supervivencia fue mayor en los caracoles alimentados

con la dieta para bagre 94% y fue menor con el tratamiento de tilapia 74%. Torres et al. (2023) evaluaron el efecto en la nutrición de la sustitución de la harina de pescado por la de cianobacteria *Spirulina subsalsa* en un cultivo de caracol manzana *Pomacea bridgesii*, suministrando a los caracoles dos dietas de alimento balanceado: una adicionada con harina de *S. subsalsa* (A) y la otra sin *S. subsalsa* con harina de pescado (B). El análisis de medidas de peso y talla, entre ambos tratamientos, no mostró diferencias significativas, con esto se puede decir que, la dieta A, en la que se sustituyó una porción de harina de pescado por harina de *S. subsalsa*, ofreció los mismos resultados que la dieta elaborada con harina de pescado como principal fuente de proteína, por lo que se podría reducir el uso de la harina de pescado en la formulación de alimentos acuícolas, al menos para esta especie de caracol.

Lago de Catemaco

El Lago de Catemaco se localiza en el Macizo Volcánico de Los Tuxtlas, en el sureste del estado de Veracruz, México. Está limitado por las coordenadas geográficas extremas 18° 21' y 18° 27' de latitud septentrional y 95° 01' y 95° 07' de longitud occidental, a 332 m sobre el nivel del mar. Forma parte de la cuenca del Río Papaloapan. En su margen noroccidental se asienta el poblado del mismo nombre, el cual dista 165 km del puerto de Veracruz (Pérez-Rojas y Torres-Orozco 1992). El clima de la zona corresponde a húmedo cálido. La temperatura promedio anual es de 24.1 °C y fluctúa entre 18 °C y 26 °C (Soto, 1979 como se citó en Lorán et al. 2013).

La vegetación natural que hay en la zona corresponde a selva alta perennifolia (sensu Miranda y Hernández, 1963 como se citó en Sotomayor, 2019). Gran parte de los terrenos adyacentes al lago han sido deforestados y se emplean

como potreros para ganado vacuno o para el cultivo de frutales (Pérez-Rojas y Torres-Orozco 1992). Las aguas son de tipo bicarbonatado, moderadas en calcio, y relativamente ricas en magnesio; los cloruros son elevados (10 mg/l a 13 mg/l); lo que las aguas se consideran como blandas. Los contenidos de amonio, nitritos y nitratos son reducidos y los fosfatos altos, lo que lo convierte en un ambiente eutrófico; la penetración de luz varía entre 0.53 m y 2.0 m de profundidad (Pérez- Rojas et al. 1992, como se citó en Lintón, 2019).

Biología del caracol tegogolo *P. patula catemacensis*

Pomacea patula catemacensis como se citó en Castillo et al. 2020 es una especie endémica del Lago de Catemaco, son moluscos dulceacuícolas que se caracterizan por agrupar a caracoles anfibios con un pie móvil muy carnoso (Vázquez et al. 2011). Estos caracoles presentan una concha, la cual funciona como una coraza conformada de material calcáreo, ofreciendo protección contra depredadores, daño mecánico y condiciones ambientales hostiles, como la deshidratación (Damborenea et al. 2017).

Los caracoles pomáceos son organismos dioicos que no presentan dimorfismo sexual, ni en tamaño ni coloración. Una de las formas en las que se puede determinar el sexo de estos moluscos es buscar el complejo peneal del macho sobre la parte superior de la abertura, arriba y a la derecha de la cabeza (Vázquez, 2008).

La actividad reproductiva puede estar relacionada con la temperatura. La cópula se realiza durante dos o tres horas, durante las cuales el macho abraza con el pie la concha de la hembra y deposita el esperma, el cual la hembra puede llegar a guardar durante un tiempo prolongado (Estebenet, Martín, & Burela, 2006; como se citó en Ocaña et al. 2016). Las hembras abandonan

el agua para depositar las masas de huevos por encima del nivel del agua, en troncos, piedras, ramas y paredes.

El diámetro de los huevos oscila entre 2.5 y 3.0 mm, las puestas recién formadas son de color rosa pálido presentando una consistencia blanda que se pierde al término de unas pocas horas (seis o siete). Después de cinco a seis días, éstos se tornan de color rosa fuerte, y próximos a eclosionar, el color es cenizo oscuro. Estas variaciones de color son causadas por el desarrollo y pigmentación de la concha de los embriones (Vázquez, 2008). El periodo de incubación de los huevos es entre 15-20 días y al eclosionar, las crías caen directamente en el agua para continuar su desarrollo (Cowie, 2002; como se citó en Ocaña et al. 2016).

Su alimentación es realizada mediante la rádula, una estructura que cumple con la función de raspar y triturar diversos alimentos (Castillo et al. 2020). Los pomáceos pueden presentar tres tipos básicos de alimentación, aunque usualmente se consideran herbívoros cuando se alimentan de macrófitas o de hojas verdes. En algunos casos tienen hábitos carroñeros, debido a que se les ha observado alimentándose de peces o animales muertos (Vázquez-Silva et al. 2011). De acuerdo con Perera y Walls (1996) otros son micrófagos, consumidores de microalgas que se encuentran adheridas sobre la vegetación llamada perifiton, sobre objetos inertes, o incluso pueden alimentarse de microalgas en suspensión por medio de movimientos ciliares. Independientemente de la clasificación que se le ha dado a los caracoles según sus hábitos alimentarios, éstos muestran un amplio espectro de preferencia en su dieta, posición que se apoya en diversas investigaciones bajo condiciones de cautiverio; los pomáceos en general han sido alimentados

en forma práctica con verdura, como la lechuga y la col (Vázquez-Silva et al. 2020).

Aunque los pomáceos se consideran organismos herbívoros generalizados, también aceptan dietas artificiales con fuentes proteicas de origen animal tal es el caso del alimento para rana y peces (Góngora 2005) y específicamente para trucha (Carreón et al, 2003) y carpa (Vázquez, 2008).

Importancia ecológica

La importancia ecológica de los tegogolos, está asociada a que habitan en aguas fangosas y poco profundas de los lagos y ríos, formando parte importante de la cadena trófica, debido a sus preferencias herbívoras, son controladores de malezas, también suelen ser depredados por algunas especies de peces y aves (Vázquez et al. 2011).

Situación actual de la especie

El manejo de la conservación de esta especie se limita a un tamaño mínimo de 32 mm de longitud en adelante (NOM-041-PESC-2004). El caracol tegogolo no ha sido producido a gran escala, y sus requerimientos en cautiverio para su crecimiento y supervivencia no han sido estudiados en detalle. Además, la información básica sobre *P. patula catemacensis* es escasa, especialmente en lo que se refiere a dietas específicas que podrían ayudar a establecer el cultivo doméstico de este caracol (García-Ulloa et al. 2007).

Un enfoque que podría usarse para preservar esta especie sin ignorar su demanda en el área es el desarrollo de técnicas de acuicultura que permitan su reproducción; *P. patula catemacensis* ha mostrado un gran potencial de

cultivo debido a su gran tamaño, rápido crecimiento, fácil incubación y alta tasa de eclosión de neonatos (Carreón et al. 2003).

Crianza bajo condiciones controladas

Al igual que otros caracoles de agua dulce (pomáceos), el tegogolo presenta varias características que lo hacen susceptible a ser considerado como especie potencial para cultivo, destacando: presentar hábitos alimenticios omnívoros que los convierte en eficientes transformadores de energía alimenticia; por otro lado, alcanzan su madurez sexual en un tiempo relativamente corto y son prolíficos; además, presentan un pulmón y branquias para respirar, lo que facilita la captación de oxígeno atmosférico y del agua, permitiendo que estén relativamente confinados en altas densidades y puedan ser transportados y manipulados en el laboratorio y en granjas sin provocar mortalidad significativa (García-Ulloa et al. 2006).

Los pomáceos son dioicos, es decir, presentan sexos separados, alta fecundidad y baja mortalidad (Meyer y Santos 2006). La mayoría de estos caracoles se alimentan preferentemente de macrófitas (Estebenet, 1995); en condiciones controladas aceptan hortalizas (Meyer y Santos 2006) y dietas artificiales (Mendoza et al. 1999).

Además, los caracoles tegogolos toleran una amplia gama de temperaturas; durante el invierno, el frío y los vientos del norte en el Golfo de México pueden bajar la temperatura del agua a 10°C y durante el verano en días soleados ésta puede estar por encima de los 34°C (Meyer y Santos, 2006).

Meyer y Santos (2006) examinaron distintos parámetros para el cautiverio de la especie, en este estudio analizaron los efectos de la temperatura en la producción de los huevos en condiciones experimentales al aire libre, el

tiempo de incubación y desarrollo de los caracoles. La alimentación fue realizada con alfalfa, lechuga y alimento para tilapia. Detectaron asociación entre el peso húmedo fresco y la longitud de los caracoles hembra recién desovados, revelando una relación extremadamente significativa entre el tamaño de la hembra y el tamaño de puesta. El peso húmedo fresco de las hembras y el número de huevos puestos por hembra también mostraron una relación significativa entre la longitud total y el número de huevos por hembra. Tuvieron diferencias significativas cuando los caracoles depositaron sus masas de huevos en los tanques con baja intensidad de luz, pero también se detectaron diferencias cuando estos huevos fueron puestos a diferentes temperaturas. Entre 20° y 24°C preferían poner sus masas de huevos por la noche en un lugar con mayor intensidad de luz

Vázquez et al. (2012) en su estudio para determinar el crecimiento de *P. patula catamacensis* utilizaron cuatro dietas artificiales: bagre, camarón, tilapia y trucha. No hubo diferencias en las medidas biométricas (largo final, ancho, peso final y peso de la concha) entre tratamientos ($P > 0.05$). El crecimiento de la longitud total de *P. patula catamacensis*, la talla promedio a los 195 días osciló entre 3,0 a 3,2 cm para las cuatro dietas, sin embargo, el peso corporal final mostró un valor mayor con el alimento para trucha ($9,5 \pm 2,5$ g). Las dietas que fueron utilizadas en este experimento no mostraron un efecto significativo en la supervivencia de los caracoles, sin embargo, hubo una tendencia a ser mayor (94%) con el bagre mientras que la menor sobrevivencia se obtuvo con la dieta de tilapia 74%. Las diferencias en la composición de los caracoles reflejaron diferencias en el metabolismo de los nutrientes y las fuentes de

alimentación utilizadas para formular las dietas comerciales, ninguna de las cuales estaba específicamente balanceada para este caracol.

Sistemas de recirculación

Una alternativa para el cultivo de peces en zonas con escasez de agua es el uso de sistemas cerrados de recirculación de agua SRA (Wheaton, 1977, como se citó en García et al.2014), cuya característica principal es el reúso y ahorro del vital líquido. Estos sistemas están equipados con una serie de módulos de tratamiento de agua para mantener su calidad en niveles adecuados para su reúso y supervivencia de los peces (Wheaton, 1977; Gallego-Alarcón, 2010, como se citó en García et al. 2014).

El interés en el cultivo de peces en RAS ha aumentado recientemente debido a sus múltiples ventajas, sin embargo, los RAS también tienen desventajas y riesgos, siendo el más importante el deterioro de la calidad del agua y el compromiso que puede generar en el bienestar de los peces. Si los procesos de tratamiento de aguas dentro del sistema no se controlan adecuadamente, pueden causar el deterioro de la calidad del agua, lo que provoca efectos negativos en el crecimiento de los peces, aumenta el riesgo de enfermedades infecciosas, incrementa el estrés en los peces, el deterioro de la salud de los peces (Feest et al. 2018).

Sistemas cerrados

La producción en sistemas cerrados con recirculación de agua, ofrecen un ambiente más eficiente y controlado para los organismos. Los costos no son elevados y proporcionan buenos dividendos. En estos sistemas el agua de desperdicio cargada con subproductos metabólicos de los peces y /o mariscos, se recicla con purificación biológica y física, reutilizándola en más

de un 90 %. Un sistema de recirculación es esencialmente un sistema cerrado que implica tanques para peces, filtros y sistemas de tratamiento de agua. Los peces son colocados en tanques en los que el agua es recambiada continuamente para garantizar las condiciones de óptimo crecimiento. El agua que es bombeada dentro de los tanques, pasa a través de sistemas de filtración biológica y mecánica antes de ser retornada a los tanques (Hernández et al. 2009).

Dieta artificial

En la investigación de Mendoza et al. (2002) se determinó que el desarrollo de una dieta práctica es deseable para el cultivo intensivo del caracol manzana. En este sentido, mediante estudios previos demostraron que el caracol manzana cuenta con un espectro de enzimas digestivas, proteasas ácidas y alcalinas principalmente, que le permiten utilizar adecuadamente dietas complejas, cuya utilización en condiciones experimentales puede producir tasas de crecimiento (hasta 14 mm/mes), superiores a las alcanzadas con la utilización de materia vegetal como fuente de alimento e incluso mayores a las tasas de crecimiento observadas en condiciones naturales. De igual forma, utilizando dietas semi-puras, demostraron que los requerimientos de proteína para juveniles de caracol manzana se encuentran entre el 20 y 30% de la dieta, mientras que las dietas con una energía mayor de 250 kcal/100 g no resulta en un mejor crecimiento. Por lo cual, se observó que el balance óptimo en una dieta para crecimiento de caracol manzana debe ser de 85 mg de proteína por Kcal de energía (Aguilera, 1996; Mendoza et al. 1999).

Para la realización de estimaciones formularon cinco dietas compuestas las cuales fueron elaboradas con base a la incorporación de diferentes proporciones de proteína vegetal y proteína animal, como fuente de proteína vegetal se utilizaron hojas de espinaca acuática (*Ipomoea aquatica*) obtenida del CRECIDAC en Orizaba, Veracruz, en combinación con hojas de lechuga (*Lactuca sativa*) obtenidas de los mercados locales, siendo necesaria en este caso la mezcla de estos dos ingredientes para alcanzar el porcentaje de proteína vegetal requerido en la formulación. Ambos vegetales fueron deshidratados y molidos antes de ser incluidos en las dietas. Como fuente de proteína animal se utilizó harina de pescado de la marca PROESA. Los ingredientes para las dietas fueron molidos, tamizados y mezclados. La mezcla fue peletizada con un molino de carne para producir pellets de 1,5 mm de diámetro. Las dietas peletizadas fueron secadas a 80°C durante 1 hora, colocadas en bolsas de plástico, las cuales fueron almacenadas a -20°C y dos días antes del experimento se transfirieron a un refrigerador. Las dietas fueron ajustadas a 300 Kcal/100 g de energía y 25% de proteína con la finalidad de obtener dietas isocalóricas e isoprotéicas. Una vez terminadas las dietas se analizaron utilizando los métodos descritos anteriormente para verificar que el contenido de nutrientes fuera el indicado en la formulación. La buena aceptación de las dietas artificiales con la adecuada proporción de PA/PV permitió obtener crecimientos superiores a los anteriormente reportados. De igual forma los sistemas de cultivo utilizados mostraron ventajas sobre aquellos anteriormente utilizados con lo que se resuelven algunas limitantes o cuellos de botella que limitaban el desarrollo del cultivo comercial del caracol manzana (Mendoza et al. 2002).

Parámetros físicos

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden ser registradas a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen incidencia indirecta sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. La calidad de agua modificada por sustancias puede no ser tóxica, pero cambia el aspecto del agua, entre ellas los sólidos en suspensión, la turbidez, el color y la temperatura (Frías y Montilla, 2016).

pH

Es el indicador que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número de iones hidrógeno presentes. Se calcula con el fin de estimar algún tipo de efecto por acidez o alcalinidad producida por acciones naturales o antropogénicas (Frías y Montilla, 2016).

Temperatura

Uno de los parámetros físicos más importantes en el agua es la temperatura, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla (Aguas urbanas, 2018).

La temperatura es un factor importante que afecta el crecimiento y la supervivencia de todos los organismos, sin embargo, es especialmente importante para el crecimiento y la supervivencia de los camarones, peces y otros animales acuícolas, ya que son poiquilotérmicos (de sangre fría). Los animales poiquilotérmicos no pueden controlar la temperatura corporal y se equilibran con la temperatura del agua circundante. Los animales acuícolas

generalmente se clasifican como especies de aguas frías, de aguas cálidas y tropicales (Boyd, 2018).

En el caso de la temperatura en el cultivo de tegogolos, Santos (1999) reporta que el crecimiento de crías a juvenil se ve afectado directamente por la temperatura, puesto que en su investigación la temperatura a 32 °C que fue la más alta, se observó mayor crecimiento. También menciona que para todas las temperaturas (22, 24, 26, 28 30, 32°C) las curvas de crecimiento presentaron diferencias significativas ($P < 0.001$). En ambas hipótesis la nula se rechazó y se acepta la alternativa, la cual dice que sí existe un efecto de la temperatura del agua sobre el crecimiento en la longitud de los organismos.

Parámetros químicos

La química del agua presenta un delicado equilibrio. Los procesos biológicos derivados de la vida interactúan con esta relación química descompensándola. El volumen de agua tiene un papel crucial en este equilibrio, por una razón lógica, a mayor cantidad de agua cualquier interacción tiene menor repercusión en el equilibrio. El equilibrio químico del agua marina es el factor clave a controlar. Este equilibrio garantizará la vida de organismos acuáticos (La guía del acuario, 2020).

Los análisis químicos constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua. Entre los contaminantes químicos, los que generan especial preocupación son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y compuestos nitrogenados (Universidad de Ibagué, 2019).

Calcio

El calcio se encuentra en el medio interno de los organismos como ion calcio (Ca^{2+}) o formando parte de otras moléculas; en algunos seres vivos se halla precipitado en forma de esqueleto interno o externo. Los iones de calcio actúan de cofactor en muchas reacciones enzimáticas, e interviene en el metabolismo del glicógeno, junto al potasio y el sodio regulando la contracción muscular. El porcentaje de calcio en los organismos es variable y depende de las especies, pero por término medio representa el 2,45% en el conjunto de los seres vivos; en los vegetales, sólo representa el 0,007%. No se encuentra libre en la naturaleza. Por lo general se encuentra como carbonato de calcio en la piedra caliza, la creta, el mármol, el espato de Islandia, el aragonito, las estalactitas o estalagmitas. Como sulfato de calcio se encuentran el yeso y la anhidrita, como sulfuro de calcio se halla el mineral llamado fluorita o espanto y como fosfato el apatito y la fosforita (Rodríguez, 2009).

El suministro de calcio en el cultivo de *Pomacea* mejora el crecimiento y permite que los caracoles produzcan cáscaras más sanas y fuertes, y podría mejorar la reproducción en la nidada de masas de huevos (De Jesús-Navarrete et al. 2023).

Amonio

El amonio es un compuesto que contiene un átomo de nitrógeno y cuatro átomos de hidrógeno. Mientras que el amoníaco es una molécula neutra no ionizada (base débil), el amonio es un ion que lleva una carga positiva. Además, el amoníaco emite un olor fuerte, pero el amonio no huele en absoluto (Hach, 2023). El amonio es producto del metabolismo nitrogenado,

es altamente tóxico y está constituido por nitrógeno e hidrógeno (Carrillo, et al. 2008).

El amonio en el agua de una pecera o estanque se presenta y puede incrementarse como consecuencia natural de los productos de la excreción de los animales. El amonio es causante de numerosos efectos nocivos: quema y erosión de branquias, destrucción de capas mucosas, así como la que se conoce como hiperplasia, produciendo esto la reducción del flujo de oxígeno afectando la hemoglobina de la sangre (Carvajal, 2014).

El pH tiene un gran efecto sobre el amonio. A medida que el valor pH aumenta con la temperatura, se incrementa la toxicidad del amonio libre. Un nivel pH de 8.5 a una temperatura de agua de 25°C es, de facto, un 15% más tóxico que un nivel de pH 7.2. El agua retiene cinco veces más amonio libre a 25°C que a 5°C. Esto representa un gran aumento de toxicidad relativa. Por tal motivo, se debe tener siempre en cuenta el valor pH y la temperatura del agua cuando se mide el amonio (Carvajal, 2014).

La toxicidad del amonio en los organismos acuáticos se ha atribuido a la especie química NH_3 (amoniaco o amonio no-ionizado) mientras que la especie química NH_4^+ (ion amonio o amonio ionizado). Al incrementarse el pH y la temperatura la toxicidad del amonio no-ionizado aumenta siendo peligroso para los organismos en cautiverio, provocando problemas de estrés y a exposiciones prolongadas, la muerte (Carvajal, 2014).

Nitritos

Los nitritos son un producto intermedio de la transformación del amoníaco en nitrato por la actividad bacteriana. El nitrito es tóxico en los peces, mermando la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno, por lo cual su toxicidad está relacionada con el oxígeno disuelto en agua (Carvajal, L. 2014), un incremento en el CO₂ puede disminuir el pH a un valor por debajo de 6.5, lo que puede llevar a toxicidad de nitrito a través de la formación de ácido nitroso (Carvajal, L. 2014; como se citó en Valenzuela, et al. 2018).

El nitrito es un compuesto nitrogenado mucho más tóxico para los peces que el propio amoníaco. Dicho compuesto se combina en la sangre de los animales a su hemoglobina e impide que la misma transporte el oxígeno hacia los demás tejidos del cuerpo. Cuando el gas carbónico está en exceso en el agua, dificulta la respiración de los animales (difusión de oxígeno a través de las branquias) en los peces. Por lo tanto, la combinación de oxígeno en bajo nivel, alto gas carbónico y elevados niveles de nitritos se convierte en un cóctel mortal para los peces (Carrillo, et al. 2008).

La toxicidad de los nitritos es ampliamente conocida en organismos con hemoglobina, al oxidar el hierro presente en la molécula de la hemoglobina pasando de un estado ferroso (Fe 2+) a férrico (Fe 3+), incapaz de enlazarse con el oxígeno, por lo que disminuye la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre causando un estrés respiratorio en el organismo (Lewis y Morris, 1986; Boyd y Tucker, 1998b; Timmons y Ebeling, 2010b). Sin embargo, aunque los nitritos también resultan tóxicos para los organismos invertebrados, no se conoce a detalle el mecanismo mediante el cual se da

esta toxicidad, ya que no se ha determinado que los nitritos reaccionen con la hemocianina (pigmento respiratorio en organismos invertebrados) (Rodríguez, C. 2016).

Nitratos

El nitrato es el producto final de la “nitrificación” y el menos tóxico de los productos nitrogenados. En recirculación se controla por medio del intercambio diario de agua en el sistema, eliminándolo. Los nitritos y nitratos son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO^2) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO^3), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas. Por esta razón su uso predominante es como fertilizante y se produce en grandes cantidades industrialmente. (Bolaños, et al. 2017).

Biología de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Esta microalga se utiliza para alimentar moluscos, micro crustáceos (*Artemia* sp.) y como alimentos para peces, ya que contiene una serie de rasgos esenciales que ayudan a mantener una piel saludable y una coloración propia de tales animales. La *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.), es una cianobacteria filamentosa no diferenciada de forma helicoidal, con un tamaño entre 200 y 250 μm , habita lagos alcalinos. Actualmente se cultiva para consumo humano debido a su contenido nutricional (Gómez, 2020).

Estudios nutricionales han demostrado que esta cianobacteria es una de las mejores fuentes de proteínas de alta calidad, de fácil digestibilidad y absorción, ya que contiene un alto porcentaje de proteínas (50 a 70%) así

como todos los aminoácidos esenciales (Vázquez-Pérez et al. 2016) y numerosas moléculas biológicamente activas, como ácidos grasos poliinsaturados, ficobiliproteínas, β -caroteno, provitaminas y compuestos fenólicos que se sabe tienen actividad antioxidante. Pequeñas cantidades de espirulina en la dieta de peces producen efectos significativos sobre el crecimiento, utilización del alimento, condición fisiológica, respuesta al estrés, resistencia a enfermedades, así como una mejora en la calidad de la carne en cuanto a contenido de grasa y coloración (Torres et al. 2023).

La microalga aporta dosis de hierro, zinc, cobre y germanio, siendo este último un semiconductor que conserva los contactos eléctricos a través del sistema neurológico. La espirulina contiene 65% de proteínas y aminoácidos; 55% de lípidos, 7% de minerales; 20% de hidratos de carbono y 3% de humedad. Dentro de los aminoácidos esenciales esta microalga tiene: isoleucina 5,6%; leucina 8,7%; lisina 4,7%, metionina 2,3%; fenilalanina 4,5%; treonina 5,2%; triptófano 1,5% y valina 6,5%. Las vitaminas aportadas por 10 g de espirulina en función de la dieta diaria recomendada, son: vitamina A betacaroteno 4,60 veces; vitamina B1 tiamina 0,21; vitamina B2 riboflavina 0,21; vitamina B3 (niacina) 0,07; vitamina B6 (piridoxina) 0,04; vitamina B12 5,33 veces; vitamina E alfa-tocoferol 0,03 (Henrikson, 1994; como se citó en Ponce, 2013). Se ha reportado que *Spirulina sp.* hace más eficiente la conversión del alimento; al mejorar la flora intestinal, la cual desintegra compuestos no digeribles o de difícil digestión que contengan los alimentos; la misma flora bacteriana produce vitaminas y desplaza a bacterias dañinas o peligrosas dentro del intestino en el organismo (Lara et al. 2005).

Arthrospira es una cianobacteria filamentosa de forma helicoidal, con un tamaño entre 200 y 250 μm , utilizada ampliamente como alimento en humanos y animales, debido principalmente a su alto grado de digestibilidad (88-92%), atribuible a la ausencia de pared celular, y la presencia de mucopolisacáridos. Su reproducción se lleva a cabo por fisión binaria transversal. El alargamiento del tricoma se debe a numerosas divisiones transversales de las células de este. La multiplicación ocurre solo por fragmentación y la fragmentación del tricoma es intracelular, involucrando la destrucción de la célula intercalar (Vonshak y Tomaselli, 2000).

Importancia y aplicación

Los primeros registros del uso de la espirulina como alimento se remontan al siglo XVI cuando los españoles llegaron a América, en ese entonces se conocían como “Tecuítalt” (Rojas et al. 2012).

El valor de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.) radica precisamente en la gran variedad de macronutrientes y micronutrientes que contiene, algunos de los cuales no pueden ser sintetizados por el organismo humano, así como en algunas de sus propiedades, tales como incrementar los niveles de energía, reducir el estrés premenstrual, incrementar el rendimiento de atletas, mejorar el apetito y ofrecer protección antioxidante (Ramírez y Olvera, 2006).

Los altos contenidos de proteínas, ácidos grasos, pigmentos y minerales presentes en *Arthrospira* (Ramírez y Olvera, 2006), demandados por las industrias biotecnológicas, han propiciado la realización de numerosas investigaciones con el propósito de maximizar la producción de un metabolito en especial (Licett et al. 2014).

Existen numerosos estudios que demuestran las propiedades de esta microalga en la prevención de tipos de cáncer en humanos y animales, mejoramiento del sistema inmune y otras aplicaciones que incluyen el uso de antioxidantes como suplemento alimenticio, que estarían previniendo de enfermedades cardíacas, envejecimiento entre otras (Piñero et al. 2001).

Es producida a nivel masivo en países como Estados Unidos, India, Tailandia, China, Cuba, México, Chile y Sudáfrica. La producción a escala comercial depende de muchos factores, entre ellos la disponibilidad de nutrientes, temperatura e iluminación. Otro aspecto importante, en el escalamiento del cultivo, ha sido la transición desde el laboratorio al cultivo a gran escala (Grobbelaar, 2009 como se citó en Rojas et al. 2012). El cultivo comercial e industrial de esta microalga ha estado exclusivamente basado en el sistema de cultivo autotrófico, donde se requiere adicionar nutrientes que son necesarios para los procesos metabólicos en la producción de biomasa. Uno de los nutrientes principales es la incorporación de carbono, el cual tiene gran influencia en la definición de los costos de producción de un cultivo masivo (Rojas et al. 2012). En los procesos biotecnológicos, los componentes de los medios de cultivo son responsables de altos costos y ejercen una fuerte influencia en el comportamiento de los microorganismos. Se han realizado varios estudios con el objetivo de reducir estos costos mediante el uso de componentes alternativos o cambiando su concentración Zarrouk, que es el medio de cultivo estándar utilizado para la cianobacteria *Arthrospira platensis* (Fernandes et al. 2015).

Con el interés de desarrollar nuevas fuentes de proteínas más eficaces para prevenir/revertir la desnutrición, se ha prestado cada vez más atención a las

microalgas. Proteína unicelular, es decir, fuentes de proteína crudas o refinadas que se originan a partir de microorganismos tales como bacterias, levaduras, hongos o algas, representan una oferta atractiva para muchas industrias (por ejemplo, combustible, cosmética, terapéutica), incluidas las de piensos, alimentos y nutrición (Gutiérrez et al. 2015). En cuanto a la nutrición, espirulina es una rica fuente alimenticia de macro y micronutrientes que incluye proteínas de alta calidad, hierro, ácido gama-linolénico, vitaminas, minerales, polisacáridos sulfatados y ficocanina (Gutiérrez et al. 2015). Por eso la espirulina es de gran interés ya que ofrece la posibilidad de ser utilizada como comida funcional. Este término se refiere a aquellos alimentos que han demostrado ayudar a funciones corporales específicas, produciendo propiedades que promueven la salud y/o reducen el riesgo de enfermedades más allá de sus funciones nutricionales. Además, la espirulina también ha demostrado tener buena aceptación por sus propiedades organolépticas (lo que lo convierte en un posible prospecto de alimento o suplemento nutricional) y no ha presentado toxicidades agudas y crónicas, por lo que es seguro para el consumo humano (Gutiérrez et al. 2015)

Actividades y procedimientos

Colecta

La recolección de desoves de *Pomacea patula catemacensis* se realizó en el Lago de Catemaco, Veracruz en el mes de marzo de 2023. Dichos desoves se tomaron a partir de 200 reproductores donados por pescadores locales, los cuales fueron mantenidos 48 hrs en cubetas con agua en Catemaco y transportados en charolas sobre paños de algodón humedecidos. Para saber

qué desoves utilizar para obtener a los caracoles neonatos experimentales se tomó en cuenta la coloración de estos, ya que los que presentan una coloración rosa pálido son los que estaban recientemente desovados, en pleno desarrollo embrionario.

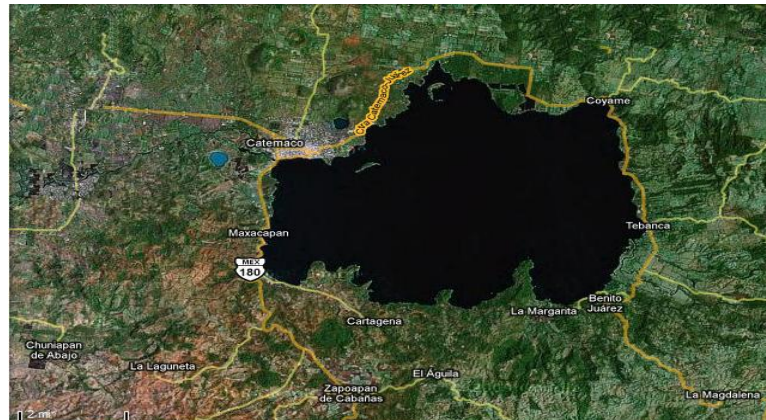


Figura 1. Imagen satelital de la Laguna de Catemaco, Veracruz. Área de colecta de los desoves de *Pomacea patula catemacensis*.

Incubación en laboratorio

Dos desoves se incubaron bajo condiciones de laboratorio (semi-controladas) de temperatura y humedad. Estos se mantuvieron en tinas sobre una coladera de plástico colocada sobre un recipiente con agua, sin que ésta los tocara, la temperatura del agua fue de entre 27°C y 29°C, manteniéndolos húmedos y cubiertos por un plástico para evitar que dípteros ovipositen dentro de los huevos.



Figura 2. Desoves de *P. patula catemacensis* seleccionadas para el estudio.

Montaje de los sistemas de recirculación

Se utilizaron 12 tinas de plástico transparente y se acondicionaron para instalar dos sistemas de recirculación tipo rack (con 3 niveles o filas), uno para el manejo de agua con calcio bajo (0.020gr) y otro alto (0.120 gr) (Fig. 3 y 11). Se desinfectaron para ser montadas en el sistema. Para el sistema de recirculación del agua y la salida de esta hacia los filtros se usaron tubos de PVC, y adicionalmente, se instalaron dos biofiltros constituidos por esferas plásticas.

Se prepararon 180 L de agua potable desinfectada. Para esto se agregaron a 2 ml de cloro y 1 ml de peróxido de hidrógeno. Posteriormente el agua fue repartida entre las 12 tinas (15 L por tina) y a cada una se le agregó una cantidad correspondiente de carbonato de calcio (6 tinas con 0.120 g/L y 6 con 0.020 g/L, esto se calculó con base en las dietas artificiales utilizadas el cultivo de togogolos). Una vez preparada, esta se colocó en el sistema y se puso a recircular para su ciclado utilizando 2 bombas sumergibles.



Figura 3. Proceso de montaje.

Eclosión de ovas

Poco antes de la eclosión, las ovas fueron pesadas por separado utilizando una balanza digital marca ADAM con sensibilidad de 1 mg. Una de las ovas tuvo un peso completo de 2.22 gr, mientras que la otra 2.08 gr.

La eclosión de los caracoles neonatos se dio entre 12 a 16 días después de la incubación. Una vez que los neonatos eclosionaron se contabilizó el número de tegogolos eclosionados por cada ova. La primera de ellas tuvo 346 caracoles y la segunda 267.



Figura 4. Ova colectada en proceso de eclosión.

Mantenimiento de neonatos post eclosión

Una vez que los caracoles eclosionaron, se mantuvieron en 4 tinajas de 10 L, 40 ejemplares por cada una. El agua se encontraba preparada para repartir a los caracoles en dos tratamientos (calcio bajo: 0.020 gr/L de carbonato de calcio y calcio alto: 0.120 gr/L. cada uno por duplicado. Durante este proceso, los caracoles de ambos tratamientos fueron alimentados con lechuga (Fig. 5).



Figura 5. Crías del caracol *P. p. catemacensis* alimentándose sobre un tallo de lechuga.

Siembra de las crías en dos sistemas de recirculación

Después de dos semanas, las crías fueron repartidas en cuatro tratamientos: Calcio bajo/sin suplemento de espirulina, calcio bajo/con suplemento de espirulina, calcio alto/sin suplemento de espirulina y calcio alto/con suplemento de espirulina cada uno por triplicado, contando en total con 12 unidades experimentales en 2 sistemas de recirculación, 6 para los tratamientos con calcio bajo y 6 con el de calcio alto. Cada unidad experimental constó de una tina plástica semitransparente, con un volumen de agua de 15 L y 40 tegogolos de 10 días de edad. De las 12 unidades experimentales, seis se mantuvieron en agua con calcio bajo (0.020 gr/L de carbonato de calcio) y seis en calcio alto (0.120 gr/L) y de estas, a tres se les suministró la espirulina en polvo como suplemento alimenticio y hojuelas para peces (Wardley®), mientras que las otras tres únicamente se les suministraba hojuelas.



Figura 6. Neonatos siendo alimentados con espirulina en cajas Petri.

Alimentación

Suplemento de espirulina

Se utilizó espirulina (*Arthrospira platensis*) comercial en polvo de la marca TGB® hecha en China. Se preparaban 0.50 gr con 20 ml de ácido acético y se dejaba reposar por un día, esto para que no se formaran grumos y fueran así de mejor accesibilidad en la ingestión de los caracoles. Posteriormente, antes de ser suministrada a los caracoles, se filtraba utilizando una malla de 500 μm . Después, se suministraba en las seis réplicas 2 ml del suplemento con ayuda de una pipeta. En el caso de las hojuelas, se proporcionaron inicialmente 0.08 gr en polvo por tina, para ello, se maceraban utilizando un mortero (Fig. 7) Después de tres semanas y de acuerdo con nuestras observaciones de ingesta de alimento, la cantidad se aumentó a 0.20 gr, debido a que los caracoles al ser más grandes, consumían más alimento.



Figura 7. Maceración del alimento en hojuelas.

Los caracoles se alimentaban diariamente tres veces (8:00 am, 2:00 pm y 6:00 pm).

Biometrías

Se realizaron cuatro biometrías a lo largo del estudio, la primera el 17 de abril, 02 de mayo, 17 de mayo y la última el 03 de junio de 2023. De cada tratamiento se tomaron 20 caracoles al azar y a cada uno se les midió el largo y ancho utilizando un vernier, mientras que para el peso se usó una balanza digital (este fue tanto individual como grupal).



Figura 8. Proceso de biometría en largo y ancho a tegogolos.



Figura 9. Proceso de biometría con base al peso total de tegogolos de una tina.

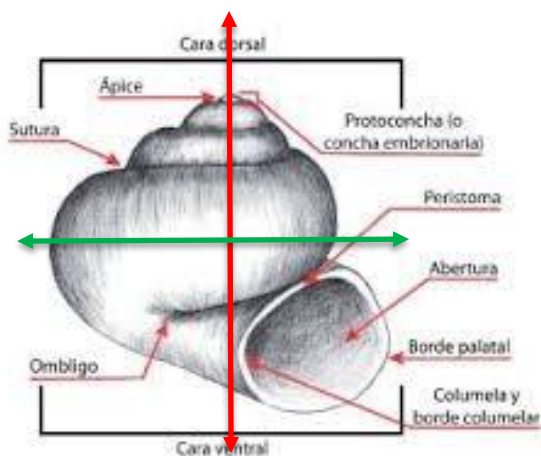


Figura 10. Esquema de la toma de tallas (ancho y largo) de los tegogolos. Línea roja: largo, línea verde: ancho.

Recambio de agua y limpieza de tinas

A lo largo del experimento, a las tinas se les realizó recambio total del agua y limpieza mediante sifoneo para retirar desechos orgánicos (excremento y restos de alimento) cada dos días. Se les volvía a adicionar el calcio correspondiente a cada tratamiento.



Figura 11. Proceso de sifoneo y limpieza en tinas del sistema de recirculación.



Figura 12. Sistema de recirculación al final del experimento.

Resultados

Crecimiento en largo, ancho y peso

En un periodo de un mes y medio se llevó a cabo la alimentación de los tegogolos bajo diferentes condiciones. Los resultados obtenidos muestran una varianza entre el largo, ancho y peso individual de cada tratamiento.

Durante cada biometría realizada se pudieron observar pequeñas diferencias de entre 0.1 y 0.2 mm del largo y ancho de los caracoles de cada tratamiento, las cuales arrojaron un incremento en el crecimiento en los organismos que se les administró el suplemento alimenticio, sin importar si eran con calcio alto o bajo.

Como se puede observar en la figura 13, existe un emparejamiento mínimo en los tratamientos CB E y CBSE en la primera y segunda biometría (17- abril y 2- mayo). Sin embargo en las siguientes biometrías existe una diferencia

significativa ($F(6,224)=84.792$), con ello observamos que la espirulina contribuyó en el crecimiento de los tegogolos.

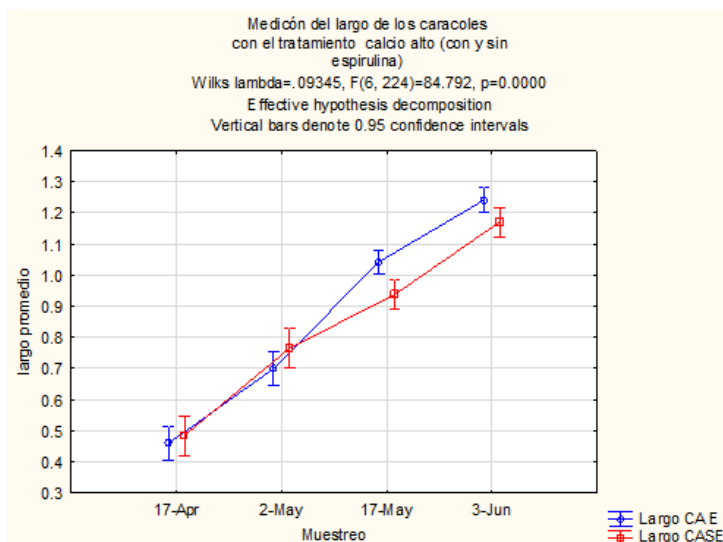


Figura 13. Se muestra el largo promedio de los tegogolos del tratamiento de calcio alto con y sin espirulina en cada una de las biometrías. Las barras indican intervalos de confianza del 95%. CA E = calcio alto con espirulina, CA SE = calcio alto sin espirulina.

En la siguiente gráfica (fig. 14) y de acuerdo a los intervalos de confianza, los tratamientos de calcio bajo con espirulina tuvieron un mayor crecimiento del largo $F(6,224)=79.652$, a diferencia del calcio bajo sin espirulina. Se puede confirmar la variación del crecimiento entre cada tratamiento, esto con respecto a $P=0.0000$.

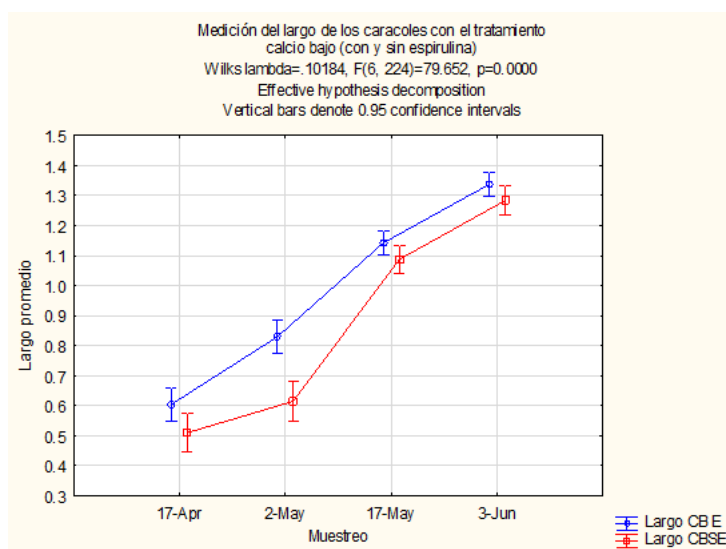


Figura 14. Se muestra el largo promedio de los tegogolos del tratamiento de calcio bajo con y sin espirulina en cada una de las biometrías. Las barras indican intervalos de confianza del 95%. CB E = calcio bajo con espirulina, CB SE = calcio bajo sin espirulina.

En la figura 15, de acuerdo con $P=0.0000$ existen tallas (ancho) diferentes en cada tratamiento (calcio alto con y sin espirulina). Respecto al tratamiento calcio alto con espirulina, presentó un mayor crecimiento $F(6.224)=88.658$ a diferencia del tratamiento solo con el calcio alto.

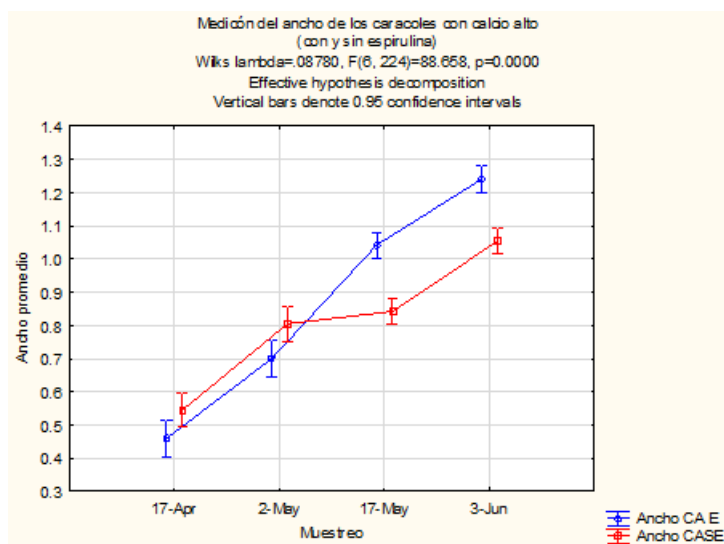


Figura 15. Se muestra el ancho promedio de los tegogolos del tratamiento de calcio alto con y sin espirulina en cada una de las biometrías. Las barras indican intervalos de confianza del 95%. CB E = calcio alto con espirulina, CB SE = calcio alto sin espirulina.

Para el ancho de calcio bajo con espirulina también se tuvieron diferencias significativas respecto a $F(6.224)=89.897$, demostrando una vez más que los valores obtenidos en el calcio bajo con espirulina fueron superiores al calcio bajo sin espirulina(Figura 16).

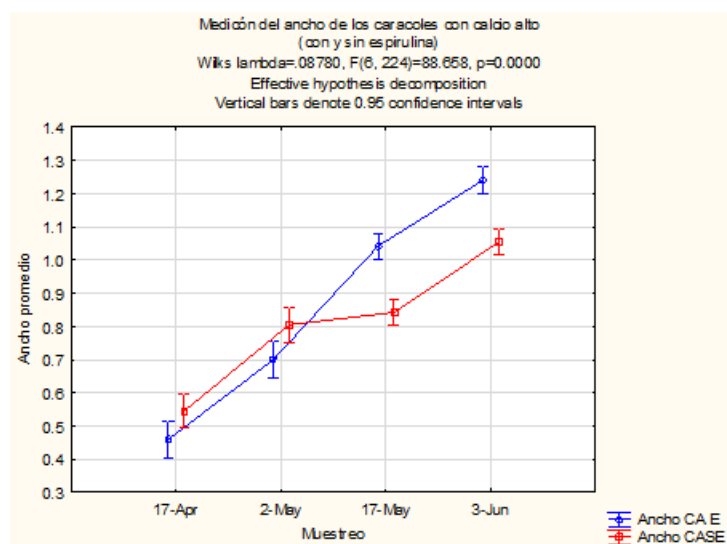


Figura 16. Se muestra el ancho promedio de los tegogolos del tratamiento de calcio bajo con y sin espirulina en cada una de las biometrías. Las barras indican intervalos de confianza del 95%. CB E = calcio bajo con espirulina, CB SE = calcio bajo sin espirulina.

Finalmente, para el peso promedio del tratamiento calcio bajo, tuvimos una varianza ($P=0.0000$) en los pesos de cada tratamiento. Con respecto a $F(6.224)=49.159$ y como se puede observar en la figura 17, el tratamiento de calcio bajo con espirulina obtuvo un peso mayor a diferencia del calcio bajo sin espirulina.

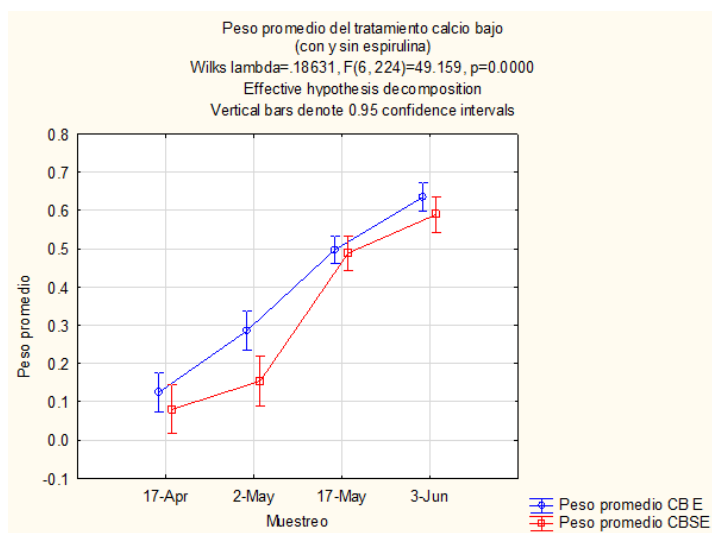


Figura 17. Se muestra el peso promedio de los tegogolos del tratamiento de calcio bajo con y sin espirulina en cada una de las biometrías. Las barras indican intervalos de confianza del 95%. CB E = calcio bajo con espirulina, CB SE = calcio bajo sin espirulina.

En el peso promedio del tratamiento calcio alto (con y sin espirulina) fig. 18, se puede observar una similitud en base a los pesos registrados en las primeras dos biometrías, sin embargo y con respecto a $P=0.0000$, existe una diferencia, el tratamiento que obtuvo el mayor peso promedio fue el calcio bajo con espirulina ($F(6.224)=47.171$).

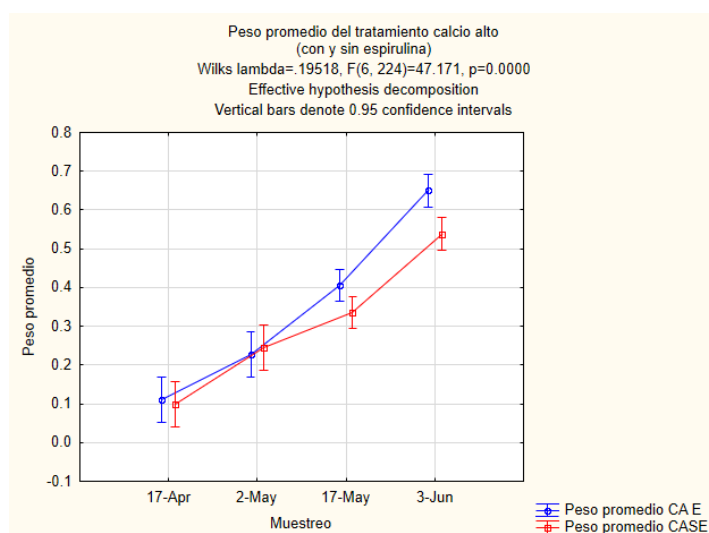


Figura 18. Se muestra el peso promedio de los tegogolos del tratamiento de calcio alto con y sin espirulina en cada una de las biometrías. Las barras indican intervalos de confianza del 95%. CB E = calcio alto con espirulina, CB SE = calcio alto sin espirulina.

En la Tabla 1 se puede observar que los tratamientos que tuvieron el suplemento alimenticio con espirulina mostraron un mayor peso final a diferencia de los organismos que no fueron suplementados.

	Peso $\pm$ DE inicial	Peso $\pm$ DE final
CA E	0.0075	0.617
N =	20	20
CASE	0.0075	0.531
N =	20	20
CB E	0.0061	0.612
N =	20	20
CBSE	0.0075	0.572
N =	20	20

Tabla 1. Pesos promedios iniciales y finales de las crías de *Pomacea patula catemacensis* en cada tratamiento. N= número de organismos que se tomaron al azar en cada biometría. Datos en gramos.

Conclusiones

La alimentación y suplementación a lo largo del desarrollo del tegogolo es importante, los parámetros que se presentan en su entorno son indispensables para su crecimiento. El tipo de alimentación que debe utilizarse debe ser alta en proteínas y calcio, ya que este ayuda a proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento del caracol. La suplementación con espirulina dio resultados positivos en el experimento. Pudimos observar que al final del experimento, los caracoles de todos los tratamientos, con adición

de espirulina en la dieta, tuvieron un mayor crecimiento de la concha y ganancia de peso ($p < 0.005$). La espirulina utilizada como suplemento en la dieta de los caracoles fue de suma importancia, ya que, en base a los resultados obtenidos, se demuestra que los tegogolos de cada tratamiento (calcio alto y calcio bajo), alcanzaron tallas superiores a comparación de los tegogolos que no tuvieron la suplementación de espirulina en su dieta.

La talla final alcanzada en este experimento se obtuvo en un periodo de dos meses, lo cual normalmente toma hasta más de cuatro meses para llegar a tallas similares. En estudio realizado por Carreón et al. (2003) alcanzaron los 0.6 gr como peso final hasta los 4 meses de edad, mientras que en nuestro estudio lograron alcanzar este peso en la mitad de tiempo.

Competencias desarrolladas y/o aplicadas

Durante la realización de este experimento se aprendió a obtener y analizar los parámetros de crecimiento que presenta el tegogolo bajo condiciones de cautiverio.

Se lograron montar dos sistemas de recirculación tipo rack exitosamente, para así tener un control en la crianza de los tegogolos, además, de mantener una regulación y monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua, principalmente en el calcio, el cual fue de suma importancia para este estudio. Se llevo a cabo exitosamente la preparación del alimento para caracoles a base de su peso, incluyendo la espirulina y la adición de alimento en hojuelas. Para el análisis de resultados se obtuvo conocimiento general de un paquete estadístico, el cual se utilizó para analizar posibles diferencias entre tratamientos experimentales.

Fuentes de información

Aguilera, C. (1996). Determinación del perfil de proteasas y de los requerimientos proteicos del Caracol Manzano (*Pomacea* sp.) como base para el desarrollo de una dieta artificial para su cultivo comercial. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 89 pp.

Aguas urbanas. 2018. Monitoreo de variables físico-químicas del agua. Extraído de <http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/15/monitoreo-de-variables-fisico-quimicas-de-agua/>

Amador-Del Ángel, Mugartegui-Esquiliano, Chin-Caña, Arcos-Pérez y Cabrera-Rodríguez. 2006. Características del desove del caracol de agua dulce *Pomacea flagellata livescens* (Reeve, 1986) en ambiente controlado. Comunicación Científica-CIVA. IV Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura 916-921. Extraído de <http://www.civa2006.org>

Belay. 2002. The potential application of Spirulina as a nutritional and therapeutic supplement in health management. JANA, 5: 27-48

Bolaños, J. et al. 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). Tecnología en Marcha, 16 Vol. 30, N.º 4. DOI: 10.18845/tm.v30i4.3408

Boyd, C. 2018. Temperatura del agua en la acuicultura. Extraído de <https://www.globalseafood.org/advocate/temperatura-del-agua-en-acuicultura/>

Carreón-Palau, Uria-Galicia, Espinosa-Chávez & Martínez-Jerónimo. 2003. Desarrollo morfológico e histológico del sistema reproductor de *Pomacea patula catemacensis* (Baker 1922) (Mollusca, Caenogastropoda: Ampullariidae). Revista Chilena de Historia Natural 76: 665-680. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2003000400010>

Carrillo, R. et al. (2008). Amonio e hiperamonemia. Su significado clínico. Revista de Investigación Médica Sur, México, Vol. 15, núm. 3. Extraído de <https://www.medigraphic.com/pdfs/medsur/ms-2008/ms083f.pdf>

Carvajal Echeverri, J. P. 2014. Comparación de parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de precría de tilapia roja (*Oreochromis Spp.*) en el Municipio de Puerto Triunfo. Caldas- Antioquia: Corporación Universitaria Lasallista. Tesis. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10567/1511>

Carvajal, L. 2014. Amonio y ciclo del nitrógeno en estanques. Extraído de <https://www.balnova.com/amonio-y-ciclo-del-nitrogeno-en-estanques/>

Castillo, Velázquez, De los Santos y Hernández. 2020. Cultivo de *Pomacea patula catemacensis* como estrategia de producción piscícola para los productores acuícolas de Catemaco, Veracruz. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan, Vol. 8 No. 2. Extraído de <https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/178/202>

Ceballos. 2006. Evaluación de la harina de *Spirulina platensis* como alimento y aditivo para la producción de postlarvas de camarón blanco *Litopenaeus schmitti* (PérezFarfante y Kensley, 1997). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Damborenea, C., Brusa, F. & Negrete, L. (2017). Symbionts and diseases associated with invasive apple snails. In: Joshi R.C., Cowie R.H., & Sebastian L.S. (eds). (2017). Biology and management of invasive apple snails. Nueva Ecija: Philippine Rice Research Institute (PhilRice).

De Jesús-Carrillo RM. 2014. Crecimiento y engorda de la chivita (*Pomacea flagellata*) utilizando tres tipos de dietas. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Chetumal.

De Jesús-Navarrete A, Aguilar Sanchez DJC, Ortiz-Hernández MC. 2023. Growth and shell hardness of the apple snail *Pomacea flagellata* Say, 1829, reared at three calcium concentrations. PeerJ 11:e14840 DOI 10.7717/peerj.14840

Díaz, J. y León, J. 2014. Utilización de espirulina (*Spirulina maxima*) en la alimentación de alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mikyss*). Universidad de La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Extraído de <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/224/>

Feest, P., Briceño, F. A., & Gutierrez, X. (2018). Calidad de agua en Sistemas de Recirculación. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/328430476_Calidad_de_agua_en_Sistemas_de_Recirculacion

Fernandes, Pepe da Silva de CASTRO, G., Ferreira RIZZO, R., Souza PASSOS, T., Nascimento Corrêa dos SANTOS, B., da Silva DIAS, D., DOMINGUES, J. R., & Gomes de Lima ARAÚJO, K. (2015). Biomass production by *Arthrospira platensis* under different culture conditions. *Ciência*

e Tecnología de Alimentos, 35(1),18-24. ISSN: 0101-2061. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=395940120003>

Frías y Montilla. 2016. Evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el sector puerto de productores Río Itaya, Iquitos. Extraído de <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/114/FR%C3%8DAS-MONTILLA-Evaluaci%C3%B3n-1-Trabajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García-Aragón, Juan A., Salinas-Tapia, Humberto, Díaz-Palomarez, Víctor, López-Rebollar, Boris M., Moreno-Guevara, Javier, & Flores-Gutiérrez, Leonarda M.. (2014). Criterios hidrodinámicos para el diseño de sistemas de recirculación en acuicultura. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(5), 63-76. Recuperado en 03 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000500004&lng=es&tlng=es.

García-Ulloa, M., Ramnarine, I. W., Ponce-Palafox, J. T., & Góngora-Gómez, A. M. (2006). Efecto de la depuración en la biomasa del caracol *Pomacea patula* [Baker, 1922] usando el índice de condición. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(3),69-80. ISSN: 0188-7890. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83710306>

García-Ulloa et al. 2007. Spawning and hatching of the edible snail *Pomacea patula* (Baker 1922) (Gastropoda: Ampullariidae) in the laboratory. *World Aquaculture Magazine* 38(3): 50-52.

Glass, N.H., Darby, P.C. The effect of calcium and pH on Florida apple snail, *Pomacea paludosa* (Gastropoda: Ampullariidae), shell growth and crush

weight. *Aquat Ecol* 43, 1085–1093 (2009). <https://doi.org/10.1007/s10452-008-9226-3>

Gómez. 2020. Aplicación de Spirulina en el desarrollo de alimentación humana y animal. Universidad Politécnica de Valencia. Extraído de <http://hdl.handle.net/10251/158039>

Góngora, A., Rodríguez, G., Domínguez, A., Muñoz, N., y García-Ulloa, M. 2005. Cultivo del caracol manzana *Pomacea bridgesi* (Reeve, 1856), en Guasave, Sinaloa. Congreso de Malacología. Extraído de <http://www.ibiologia.unam.mx/barra/congresos/pdf/malacologia/gongora2.pdf>

Gutiérrez-Salmeán, G., Fabila-Castillo, L., & Chamorro-Cevallos, G. (2015). Nutritional and toxicological aspects of Spirulina (Arthrospira). *Nutrición Hospitalaria*, 32(1),34-40. ISSN: 0212-1611. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309239661006>

Hernández, B. C., Aguirre, G. G., y López C. D. (2009). Aquaculture production systems with recirculation system in the North, Northeast and Northwest of Mexico. https://core.ac.uk/display/6617964?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1

Hernández, C., Aguirre, G. & López, D. 2009. Sistemas de producción de acuacultura con recirculación de agua para la región norte, noreste y noroeste de México. *Quinta Época*. Año XIII. Volumen 25. Extraído de <https://core.ac.uk/download/pdf/6617964.pdf>

Hunter RD (1989) Effects of low pH and low calcium concentration on the pulmonate snail *Planorbella trivolvis*: a laboratory study. *Can J Zool* 68:1578–1583. doi:10.1139/z90-233

La guía del acuario. 2020. Parámetros químicos y físicos del acuario marino. Extraído de <https://laguiadelacuario.es/acuariofilia-marina/parametros-quimicos-fisicos-acuario/>

Lara, R., Castro, T., Castro, J., Malpica, A. & García, V. 2005. La importancia de *Spirulina* en la alimentación acuícola. *Laboratorio de Produccion de Alimento Vivo*, vol. 57, pp 13-16. Extraído de <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n57ne/spirulina.pdf>

Licett, B., Guevara, M., Lemus, N., Freitas, L., Romero, L., Lodeiros, C., & Arredondo, B. (2014). CRECIMIENTO Y COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DE *ARTHROSPIRA PLATENSIS* (DIVISION CYANOPHYTA) CULTIVADA A DIFERENTES SALINIDADES Y FUENTES DE NITRÓGENO. <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1268/1/PUB-ARTICULO-2596.PDF>

Lorán-Núñez, A. J. Valdez-Guzmán, F. R. Martínez-Isunza y M. T. Gaspar-Dillanes. 2013. Lago de Catemaco, Veracruz. Extraído de https://www.researchgate.net/publication/296484696_Lago_de_Catemaco_Veracruz

Mendoza, R., C. Aguilera, J. Montemayor y G. Rodríguez (1999) Utilization of artificial diets and effect of protein/energy relationship on growth performance

of the apple snail *Pomacea bridgesi* (Prosobranchia: Ampullariidae). The Veliger, 42(1):109-119.

Mendoza, R., Aguilera, C., Hernández, M., Montemayor, J. y Cruz, E. (2002). Elaboración de dietas artificiales para el cultivo del caracol manzana (*Pomacea bridgesi*).
<http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/260>

Meyer-Willerer, A. O., & Santos-Soto, A. (2006). Temperature and light intensity affecting egg production and growth performance of the Apple Snail *Pomacea patula* [Baker, 1922]. Avances en Investigación Agropecuaria, 10(3),41-58.[fecha de Consulta 3 de Junio de 2023]. ISSN: 0188-7890. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83710304>

Mosha, S. 2019. The Significance of Spirulina Meal on Fishmeal Replacement in Aquaculture: A Review. J Fish Aqua Dev, JFAD-145. DOI: 10.29011/2577-1493. 100045

Muñoz. 2022. Susceptibilidad del caracol tegogolo (*Pomacea catemacensis*) del Lago de Catemaco a epibiontes y tremátodos en tres temporadas climáticas. Instituto Tecnológico de Boca Del Río, División de Estudios de Posgrado e Investigación.

Naranjo. 2003. Moluscos continentales de México: Dulceacuícolas. Rev. Biol. Trop. 51 (Supl. 3): 495-505. Extraído de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/26397>

Ocaña, de Jesús-Navarrete, Oliva-Rivera, de Jesús-Carrillo, & Vargas-Espósitos. 2016. Reproducción de *Pomacea flagellata* (Mollusca: Ampullariidae) en la laguna de Bacalar, Quintana Roo, México. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 64 (4): 1643-1650

Perea et al. 2004. Efecto de la adición de carbonato cálcico en la dieta de *Helix Aspersa* Müller. Arch. Zootec. 53: 407-410.

Pérez-Rojas y Torres-Orozco. 1992. Geomorfología y batimetría del Lago de Catemaco, Veracruz, México. Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana. Extraído de <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1992-1/articulo400.html>

Ponce. 2013. Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo. Escuela Universitaria de Ingeniería Mecánica. Universidad de Tarapacá. Volumen 31, N° 1. Páginas 135-139. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000100016>

Prepelitchi, Lucila, Pujadas, Julieta M., & Wisnivesky-Colli, Cristina. (2015). The effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) (Oscillatoriales: Cyanobacteria) on the experimental breeding of *Pseudosuccinea columella* (Basommatophora: Lymnaeidae). Revista de Biología Tropical, 63(2), 479-489. Retrieved June 08, 2023, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442015000200012&lng=en&tlng=en.

Ramírez-Moreno, Liliana y Olvera-Ramírez, Roxana. (2006). Uso tradicional y actual de spirulina sp. (*arthrospira* sp.). *Interciencia*, 31(9), 657-663. Recuperado en 03 de junio de 2023, de

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000900008&lng=es&tlng=es.

Rincón, D. et al. (2012). Substitution levels of fish meal by *Arthrospira* (= *Spirulina*) *maxima* meal in experimental diets for red tilapia fingerlings (*Oreochromis* sp.). Rev Colomb Cienc Pecu 2012; 25:430-437.

Rodríguez, C. (2016). Efecto de la temperatura y la densidad de cultivo en la supervivencia y crecimiento de juveniles de almeja arenera (*Chione cortezi*) en un sistema de recirculación acuícola. Extraído de https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/607/1/tesis_Rodríguez_Arana_C%3%A9sar_Omar_08_dic_2016.pdf

Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica Vol. 9, No. 12-13, ISSN 1409-0112, 125 – 134

Rojas, E., Ávila, M., & Parada, G. (2012). Aplicación de estrategias nutricionales y su efecto en el crecimiento en el cultivo continuo de *Spirulina* (*Arthrospira* *platensis*). Latin American Journal of Aquatic Research, 40(3), 763-771. ISSN: . Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=175024151024>

Ruiz-Ramírez R, Espinosa-Chávez F, Martínez-Jerónimo F. 2005. Growth and reproduction of *Pomacea patula catemacensis* Baker, 1922 (Gastropoda: Ampullariidae) when fed *Calothrix* sp (Cyanobacteria). Journal of the World Aquaculture Society 36(1):87–95 DOI 10.1111/j.1749-7345.2005.tb00134

Torres, Vivaldo y Serrano, 2023. Evaluación de la sustitución de harina de pescado por la de *Spirulina subsalsa* Oersted ex Gomont 1892, en el crecimiento del caracol manzana *Pomacea bridgesii* (Reeve, 1856) en un sistema de recirculación y bajo condiciones de laboratorio. AquaTechnica 5(1): 29-52(2023) ISSN 2737-6095 DOI <https://doi.org/10.33936/at.v5i1.5402>

Universidad de Ibagué. 2019. Parámetros químicos. Extraído de <https://sites.google.com/a/unibague.edu.co/quimica-ambiental-02/agua/parametros-quimicos>

Valdés y Soto. 2008. Algas, aliadas en el pasado y sustento para el futuro. Tecnología Química, vol. XXVIII, núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 46-50 Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba.

Vázquez et al. 2011. Los caracoles del género *Pomacea* (Perry, 1810) y su importancia ecológica y socioeconómica. Laboratorio de Alimento Vivo. UAM-X. ContactoS 81, 28–33. Extraído de <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/81/pdfs/caracoles.pdf>

Vázquez. 2008. Crecimiento en cautiverio del molusco *Pomacea patula catemacensis* (Baker, 1922) (Gastropoda: Ampullariidae) utilizando cuatro dietas artificiales. Universidad Autónoma Metropolitana, División de ciencias biológicas y de la salud. Extraído de <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/2069/1/103906.pdf>

Vazquez, S. G., Castro, B. T. Castro, M. G., y Mendoza, M. G. 2012. Effect commercial diets on growth, survival and chemical composition of the edible freshwater snail. . . ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/264524161_Effect_commercial_diets_on_growth_survival_and_chemical_composition_of_the_edible_freshwater_snail_Pomacea_patula_catemacensis

Vázquez-Pérez R.N., Hernández F.U., Villegas M.M., Aguilera R.M., López K.E., Pérez C.E., Arredondo B.O. 2016. Evaluación del contenido de proteínas de la biomasa de *Spirulina (Arthrospira) maxima* cultivada en condiciones ambientales en biorreactores. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1):333-337.

Vonshak A, Tomaselli L (2000) *Arthrospira (Spirulina)*: Systematics and Ecophysiology. En *The Ecology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holanda. pp. 505-522.