



“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE DIFERENTES SUSTRATOS FÍSICOS PARA AUMENTAR LA
SUPERFICIE FIJACIÓN DEL CARACOL TEGOGOLO *Pomacea patula catemacensis*
DURANTE SU ENGORDA”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ACUACULTURA

PRESENTA

CÉSAR LINTON IZQUIERDO

DIRECTOR DE TESIS

DRA. MARÍA ISABEL JIMÉNEZ GARCÍA





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Boca del Río, Veracruz, **30/octubre/2019**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

CÉSAR LINTON IZQUIERDO
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ACUACULTURA
PRESENTE

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO, desarrollada por usted cuyo título es:

"EVALUACIÓN DE DIFERENTES SUSTRATOS FÍSICOS PARA AUMENTAR LA SUPERFICIE DE FIJACIÓN DEL CARACOL TEGOGOLO *Pomacea patula catemacensis* DURANTE SU ENGORDA"

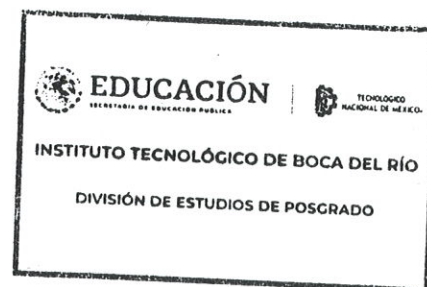
Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos*

M.C. ANA LETICIA PLATAS PINOS
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIS DE POSGRADO
E INVESTIGACION

c.c.p. Coordinación de la Maestría
c.c.p. Expediente



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba C.P.94290
Boca del Río, Veracruz. Tel. (229) 690-5010 e-mail: dir01_bdelrio@tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.bdelrio.tecnm.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro **ACI-18-180110**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 15:00 horas del día 30 del mes de agosto de 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Acuicultura del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

"EVALUACIÓN DE DIFERENTES SUSTRATOS FÍSICOS PARA AUMENTAR LA SUPERFICIE DE FIJACIÓN DEL CARACOL TEGOGOLO *Pomacea patula catemacensis* DURANTE SU ENGORDA"

Que presenta el (la) alumno(a):

CÉSAR LINTON IZQUIERDO

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Acuicultura

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron SU APROBACIÓN, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

DRA. MARÍA ISABEL JIMÉNEZ GARCÍA
Director de Tesis

LA COMISIÓN REVISORA:

M. C. LEONARDO ISMAEL NAVARRO
ANGULO
Codirector de Tesis

DR. IGNACIO ALEJANDRO PÉREZ
LEGASPI
Asesor

DR. LUIS ALFREDO ORTEGA CLEMENTE
Asesor



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba C.P.94290
Boca del Río, Veracruz. Tel. (229) 690-5010 e-mail: dir01_bdelrio@tecnm.mx
www.tecnm.mx | www.bdelrio.tecnm.mx



DECLARACION DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

Yo César Linton Izquierdo identificado con No. Control 17990618, alumno (a) del programa de la **Maestría en Ciencias en Acuicultura**, autor (a) de la Tesis titulada: "Evaluación de diferentes sustratos físicos para aumentar la superficie de fijación del caracol tegogolo *Pomacea patulacatemacensis* su engorda" DECLARO QUE:

1.- El presente proyecto de investigación, que se desarrolla como tema de la tesis que presento para la obtención del grado de **MAESTRO (A) EN CIENCIAS EN ACUACULTURA** es original, y es el resultado de una propuesta desarrollada de manera personal, el cual no he copiado de otro proyecto o informe de investigación, ni he utilizado ideas, fórmulas, ni citas completas derivadas de otra tesis, proyecto o informe técnico "stricto sensu", así como ilustraciones, fotografías u otros materiales audiovisuales, obtenidos de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, entre otros; en su versión digital o impresa.

2.- Declaro que el proyecto de investigación que pongo a consideración para su evaluación no ha sido presentado anteriormente para obtener algún grado académico o título, ni ha sido publicado en sitio alguno.

3.- Declaro que las pruebas o experimentos derivados de esta investigación serán realizadas bajo el consentimiento de los involucrados y con fines estrictamente académicos conforme a criterios éticos de confidencialidad.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones Institucionales y/o legales por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades de la tesis, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Asimismo, me hago responsable ante el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río o terceros, de cualquier irregularidad o daño que pudiera ocasionar por el incumplimiento de lo declarado.

De identificarse falsificación, plagio, fraude, o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, responsabilizándome por todas las cargas pecuniarias o legales que se deriven de ello sometiéndome a las normas establecidas en los Lineamientos y Disposiciones de la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México.

Boca del Río, Veracruz a 02 del mes de febrero de 2018


César Linton Izquierdo

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada, la cual fue fundamental para mi estancia en esta institución, y el desarrollo de la investigación realizada, así como al Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río, institución que me permitió fortalecer y desarrollar conocimientos y habilidades que me serán de gran ayuda para mi etapa como profesional. A todos los miembros del cuerpo académico de este posgrado, pues de cada uno tuve la oportunidad de aprender y así desarrollar una mejor investigación.

Al Tecnológico Nacional de México por haber financiado esta investigación a través del proyecto titulado “Biología reproductiva, crecimiento y supervivencia de *Pomacea patula catemacensis* (Mollusca:Gasteropoda) y *Xiphophorus kallmani* (Pisces:Poeciliidae), especies endémicas con potencial acuícola” (Clave 5373.19-P).

De manera muy especial, quiero agradecer a la Dra. María Isabel Jiménez García, por una excelente guía durante todo el proceso de este trabajo, estando siempre pendiente para brindarme su apoyo y su consejo.

Agradezco también al maestro Leonardo Ismael Navarro Angulo, quien en un corto lapso de tiempo logró dejar en mí enseñanzas y conocimiento que fueron fundamentales para la realización de este proyecto.

A los doctores, Ignacio Alejandro Pérez Legaspi y Luis Alfredo Ortega Clemente, quienes me asesoraron y atendieron todas mis dudas para la elaboración de esta tesis.

A la maestra Rosario Zamorano, quien sin ninguna condición nos prestó un espacio en el Área de Producción Acuícola para la realización de este proyecto, y por supuesto al Ing. Gerardo Preciado Bringas, que estuvo presente para siempre darme un consejo o apoyarme en lo que necesitara durante la etapa experimental. Quisiera agradecer también al técnico Andrés Cabrera quien fue de gran ayuda en varios momentos del experimento.

A todos mis compañeros y amigos que contribuyeron con la realización de este proyecto, David, Oscar, y Marcos, quienes contribuyeron enormemente durante el experimento, así como Manuel, Eduardo, Keren, Liliana, Kenia, Marcos, Miguel, Jessamyn, y Rubén que fueron de gran ayuda durante una o varias partes del proyecto.

Dedicatoria

A mis padres, César Linton y Elizabeth Izquierdo quienes son los principales responsables de todos mis sueños y logros, pues sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. No tengo palabras para agradecerles todo el amor y el apoyo recibido durante toda mi vida. Son mi motor y mi inspiración.

A mí novia Isabela, quien estuvo presente a cada momento, siempre brindándome un incondicional apoyo y mucho amor. Gracias por ser mi compañía y mi inspiración durante todo este camino.

A mi amigo Fernando, mi compañero y mi guía durante toda esta aventura, y con quien forjé una gran amistad, sin duda mucho de esto te lo debo a ti.

A mi tía Paty, por darme su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida. Gracias por estar siempre presente, jamás podré pagarte todo lo que haces por mí.

Agradezco también a mis tíos Carmelita y Othón, quienes fueron una parte muy importante para la conclusión de este logro, pues me dieron un gran apoyo brindándome todas las comodidades para poder concentrarme en mi trabajo. Les estoy enormemente agradecido.

Mis abuelas Hilda (QEPD) y Noemí (QEPD), por quienes con su amor y sabiduría me enseñaron a ser un hombre de bien, y quienes ahora están conmigo guiando siempre mi camino, esto también se lo debo a ustedes.

A todos ustedes muchas gracias.

Contenido

1. Introducción	1
1.1 El Lago de Catemaco	1
1.2 Características y distribución del género <i>Pomacea</i>	2
1.3 Características del caracol tegogolo (<i>Pomacea patula catemacensis</i>)...	3
1.4 Importancia ecológica, económica y social	3
1.5 Situación actual y normatividad	5
1.6 Potencial acuícola del caracol tegogolo	8
1.7 Estudios realizados para los caracoles del género <i>Pomacea</i> en México	8
2. Antecedentes	10
2.1 <i>Pomacea flagellata</i>	11
2.2 <i>Pomacea patula catemacensis</i>	13
2.3 Sanidad e inocuidad	15
2.4 Cultivo de otras especies del género <i>Pomacea</i>	17
3. Justificación	19
4. Hipótesis.....	20
5. Objetivo general.....	21
5.1 Objetivos específicos	21
6. Área de estudio	22
7. Materiales y métodos	23
7.1 Reproducción de organismos.....	23
7.1.1. Colecta.....	23
7.1.2. Reproducción.....	24
7.1.3. Colecta de puestas	25
7.1.4. Crianza.....	26

7.1.5. Biometrías	28
7.2 Ensayo 1- Estudio de comportamiento del caracol	29
7.2.1 Diseño experimental.....	29
7.2.2 Sistema experimental.....	29
7.2.4. Manejo de organismos experimentales	33
7.2.5. Análisis estadístico	33
7.3. Engorda	34
7.3.1 Diseño experimental.....	34
7.3.2. Sistema experimental	34
7.3.3. Sistema de recirculación.....	35
7.3.4 Variables de respuesta.....	37
7.3.5. Alimentación	38
7.3.6. Biometrías	38
7.3.7. Condiciones ambientales experimentales.....	39
7.3.9. Análisis estadístico	41
8. Resultados	42
8.1. Reproducción y crianza de los caracoles	42
8.2. Ensayo 1 (Estudio de comportamiento de los caracoles)	42
8.2.1. Iluminación registrada durante el estudio.	42
8.2.2. Temperatura registrada durante el estudio.	43
8.2.3. Preferencia ante sustratos.....	43
8.3. Ensayo 2 (Engorda de los caracoles).....	49
8.3.1. Calidad del agua de cultivo.....	49
8.3.2. Crecimiento	51
9. Discusión.....	57

9.1. Reproducción y crianza.....	57
9.2. Estudio de comportamiento.....	60
9.2.2. Preferencia ante sustratos.....	60
9.3. Engorda.....	64
9.3.1. Parámetros físico químicos del cultivo	64
9.3.2. Alimentación	66
9.3.3. Densidad.....	67
9.3.4. Crecimiento	68
9.3.5. Supervivencia.....	69
10. Conclusiones	70
11. Recomendaciones.....	71
12. Bibliografía.....	72

Índice de figuras

Figura 1. Extracción de recursos pesqueros del Lago de Catemaco en el 2018 (SIPECA, 2018).	5
Figura 2. Extracción de tegogolo en el Lago de Catemaco durante el periodo 2000 - 2018 (SIPECA, 2018).	6
Figura 3. Vista aérea del Instituto Tecnológico de Boca del Río	22
Figura 4. Lago de Catemaco,.....	23
Figura 5. Reproductores P.p catemacensis colectados en el Lago de Catemaco	24
Figura 6. Hembra de P.p. catemacensis durante la ovoposición	25
Figura 7. Frezas en colectadas durante la época de reproducción	26
Figura 8. Mantenimiento de crías de caracoles en tinas plásticas.	27
Figura 9. Albercas utilizadas para el mantenimiento de crías.....	27
Figura 10. Ensayo de la utilización de sustratos en crías de P.p catemacensis.	28
Figura 11. Biometrías realizadas para estimar el número de crías de tegogolo.	28
Figura 12. Tinas plásticas utilizadas durante el estudio de comportamiento	30
Figura 13. Imágenes de los sustratos utilizados durante el estudio (teja de barro, malla mosquitero, plástico y PVC).....	30
Figura 14. Vista superior de las tinas utilizadas durante el estudio.	31
Figura 15. Sistema de recirculación utilizado durante el estudio.	35
Figura 16. Filtros utilizados en el sistema, guata, malla mosquitero, y concha de ostión.	35
Figura 17. Caracoles adheridos al sustrato de teja colocado en los tanques durante la etapa de engorda.....	36
Figura 18. Caracoles adheridos al sustrato de PVC colocado en los tanques durante la etapa de engorda.....	36
Figura 19. Caracoles medidos con vernier digital durante las biometrías.....	39
Figura 20. Caracoles cosechados al final del experimento	40

Figura 21. Pulpa de los caracoles una vez desconchados.....	40
Figura 22. Medidas tomadas a los caracoles durante el las biometrías, plano A= Largo total; plano B= Anchura total; plano C= Altura total	41
Figura 23. Iluminación registrada durante el estudio tomadas en el sitio de estudio (in situ) y ambiental.	43
Figura 24. Preferencia ante sustratos durante el primer día de observación.	44
Figura 25. Preferencia ante sustratos durante el segundo día de observación.	45
Figura 26. Actividad de los caracoles durante el primer día de observación (organismos desplazándose, comiendo o flotando).	46
Figura 27. Actividad de los caracoles durante el segundo día de observación (organismos desplazándose, comiendo o flotando).	47
Figura 28. Interacción entre los intervalos de tiempo y la preferencia ante sustratos durante el estudio.	48
Figura 29. Resultados de la medición de la temperatura durante el cultivo (promedios mensuales).	49
Figura 30. Resultados de la medición del oxígeno disuelto durante el cultivo (promedios mensuales).	50
Figura 31. Resultados de la medición del pH durante el cultivo (promedios mensuales).....	51
Figura 32. Comportamiento del crecimiento en longitud de los caracoles (P. p. catemacensis) durante el proceso de engorda.	52
Figura 33. Comportamiento del crecimiento en peso de los caracoles (P. p. catemacensis) durante la etapa de engorda.	53
Figura 34. Comportamiento del crecimiento de la anchura de la concha de los caracoles (P. p. catemacensis) durante la etapa de engorda.....	54
Figura 35. Comportamiento del crecimiento de la altura de la concha de los caracoles (P. p. catemacensis) durante la etapa de engorda.....	55

Índice de tablas

Tabla 1. Variables respuesta del estudio de comportamiento 32

Tabla 2. Resultados obtenidos durante el cultivo de los caracoles.. 56

Resumen

El caracol tegogolo, *Pomacea patula catemacensis*, especie endémica del Lago de Catemaco, es un referente de la gastronomía en la región de Los Tuxtlas, Veracruz, sin embargo, no existen estudios sobre el tamaño de sus poblaciones, pero los registros de pesca muestran una disminución de al menos 70% en la extracción en la última década. Debido a lo anterior, el manejo en cautiverio del tegogolo es una opción viable para contrarrestar la disminución de sus poblaciones. El objetivo de esta tesis fue probar si el incremento en la superficie de fijación de los tegogolos, permitiría aumentar la densidad de siembra sin afectar el desempeño productivo durante su engorda. Para esto, se realizaron dos estudios, en el primero, se registró el comportamiento de los caracoles ante cuatro sustratos (tejas de PVC y barro, tiras de plástico y malla mosquitero) durante 48 h continuas, registrando cada hora la actividad y ubicación de los organismos, ello para seleccionar los dos sustratos preferenciales para la engorda de los caracoles, de acuerdo al tiempo de fijación. En el segundo estudio, el de engorda, se implementó un diseño experimental unifactorial con tres tratamientos por triplicado, utilizando: 1) refugios elaborados con teja de barro, 2) tejas de PVC, y 3) el tratamiento control, que no contenía refugios). Se contó con 9 unidades experimentales (tanques de 800 L) en un sistema de recirculación del agua, en donde se sembraron 420 caracoles/m² de 4 a 8 semanas de edad mantenidos bajo cultivo durante 150 días. Los tratamientos 1 y 2, contaban con 1.5 m² de área adicional debido a los refugios, sembrando un total de 2,377 caracoles por réplica, y 1,747 por réplica del control. Los caracoles fueron alimentados dos veces al día con alimento para tilapia molido (35% de proteína). Se monitorearon constantemente los parámetros de calidad de agua, y al final del estudio se cuantificó el total de caracoles vivos. Los resultados mostraron que el peso y longitud finales fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) en el tratamiento control que en el de tejas de PVC y tejas de barro. No se observó efecto de los sustratos sobre la supervivencia final de los organismos (55% a 58%) ($p > 0.05$). La tasa diaria de crecimiento fue mayor en el tratamiento control que en los tratamientos con tejas de PVC y barro. Si bien el crecimiento fue mayor en el control, el uso de sustratos de PVC fue la mejor opción para aumentar la superficie

de fijación de los caracoles, permitiendo incrementar su número en el cultivo en un 26.5%. Por lo que, en conclusión, el aumento en la superficie de fijación de los caracoles parece una buena opción para cultivar un mayor número de organismos en un mismo espacio. Puesto que, extrapolado a una producción constante, este porcentaje representa una diferencia importante en la biomasa obtenida, sin aumentar una inversión considerable en la elaboración de los sustratos de PVC.

Palabras clave: Conducta de gasterópodos, Cultivo de moluscos, Lago de Catemaco.

Abstract

Tegogolo snail, *Pomacea patula catemacensis*, endemic of Lake Catemaco, is a reference of gastronomy in the region of Los Tuxtlas, Veracruz, however, there are no studies on the size of its populations, but the fishing records show a decrease of at least 50% in extraction per year in the last decade. Because of this, captive handling of the tegogolo is a viable option to counteract the decline in its populations. The objective of this thesis was to test whether the increase in the fixing surface of the tegolos would allow to increase the density of planting without affecting the productive performance during its fattening. For this, two studies were carried out, In the first, the behavior of the snails was recorded against four substrates (PVC and mud shingles, plastic strips and net net mesh) for 48 hours continuous, recording every hour the activity and location of the organisms, this to select the two preferential substrates for the fattening of the snails, according to the fixation time. In the second study, the fattening study, a one-factor experimental design was implemented with three treatments per triplicate, using: 1) shelters made with mud shingles, 2) PVC shingles, and 3) control treatment, which did not contain shelters). 9 experimental units (800 L tanks) were planted in a water recirculation system, where 420 snails/m² of 4 to 8 weeks of age were planted kept under cultivation for 150 days. Treatments 1 and 2 had 1.5 m² of additional area due to shelters, planting a total of 2,377 snails per replica, and 1,747 per replica of the control. Snails were fed twice a day with ground tilapia food (35% protein). Water quality parameters were constantly monitored, and the total number of live snails was quantified at the end of the study. Results showed that the final weight and length were significantly higher ($p < 0.05$) in control treatment than in PVC shingles and mud shingles. No effect of substrates on the final survival of organisms (55% to 58%) ($p > 0.05$) was observed. The daily growth rate was higher in control treatment than in PVC and mud shingles treatments. Although the growth was higher in control, the use of PVC substrates was the best option to increase the fixing surface of the snails, allowing to increase their number in cultivation by 26.5%. So, in conclusion, the increase in the fixing surface of snails seems like a good option to grow a greater number of organisms in the same space. Since, extrapolated to a constant production, this percentage represents an important difference in the

biomass obtained, without increasing a considerable investment in the production of PVC substrates.

Key words: Gasteropods Behavior, Cultivation of molluscs, Catemaco Lake.

1. Introducción

1.1 El Lago de Catemaco

La reserva de la biosfera de los Tuxtlas está ubicada en la parte sur del estado de Veracruz, en el eje Neovolcánico Transversal, está conformada por tres diferentes microregiones, Sierra de Santa Marta, Volcán de San Martín Tuxtla y Lago de Catemaco, por lo que es uno de los pocos casos que contempla una zona costera y boscosa. La zona está conformada por ocho municipios, los cuales han aprovechado sus recursos desde tiempos precolombinos, no siempre con un buen manejo. Actualmente es una zona caracterizada por el ecoturismo, pero aun así presenta altos índices de pobreza. Dentro de la Sierra de Santa Marta y el Volcán de San Martín Tuxtla se encuentran varios cuerpos de agua, siendo el Lago de Catemaco el de mayor tamaño, con coordenadas 18° 21' - 18° 27' N y 95° 01' - 95° 07' O, a una altitud de 334 m s.n.m. Se trata de un cuerpo de agua polimítico, que cuenta con buena oxigenación y eutrófico (Torres-Orozco y Pérez-Rojas, 2002; Amateco, 2011). Presenta un clima cálido húmedo, con abundantes lluvias de julio a noviembre, pero la precipitación promedio anual es de 1935 mm. La temperatura promedio por año va desde 16 a 34°C, promediando 24°C (Torres-Orozco y Pérez-Rojas, 2002). La profundidad máxima de este cuerpo lacustre es de 22 m, pero la profundidad promedio es de 11 m.

El Lago tiene una superficie de 72.54 km² y alberga un volumen de 552 Mm³, lo que lo convierte en el tercer cuerpo lacustre en México respecto a su tamaño. Se encuentra rodeado por montañas, lo que lo convierte en una zona con un alto nivel de endemismo debido a su aislamiento. Este lago se ha reportado como el cuerpo de agua natural más productivo de México (Perez y Torres, 1992). Es un cuerpo de agua del cual se extraen diferentes recursos pesqueros que son aprovechados por los locales de la zona (Lorán *et al.*, 2013). Lorán *et al.* (2013) reporta que, de las 19 especies capturadas en el lago, 16 son nativas o endémicas del lugar. Los suelos de la zona se derivan en gran parte de material volcánico sometido a intemperización rápida; son ricos en nutrientes inorgánicos y poseen horizontes humíferos densos. 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). Los sedimentos predominantes son las arcillas en la parte central del lago y los limos arcillosos y las arenas-gravas en las riberas. El contenido de materia orgánica en los sedimentos tiende a incrementarse en la concentración a medida que aumenta la profundidad; sin embargo, los más altos porcentajes de materia orgánica se localizan en la porción suroccidental del lago (Pérez-Rojas *et al.*, 1992).

1.2 Características y distribución del género *Pomacea*

Los caracoles manzana o pomáceos, son un grupo de moluscos acuáticos que pertenecen a la familia Ampullariidae, nombre que deriva de una estructura llamada “ampula”, la cavidad del manto de los organismos, se divide en un pulmón en el lado izquierdo y en el derecho presentan una branquia unipectinada (Barnes, 1977), es decir, son caracoles anfibios, con un pie móvil muy carnoso, un caparazón en forma de manzana y abertura ovalada amplia. Presentan 3 estructuras anatómicas básicas, la concha, con funciones de estructura y protección, el opérculo, presente en la parte final del pie, que impide su acceso al interior de la concha, una vez que todo el organismo se ha retraído en su interior, y la masa visceral que comprende el complejo cabeza-pie, y es donde se encuentran los órganos y tejidos del caracol (Vázquez *et al.*, 2011).

Los caracoles ampularidos, se caracterizan por contar con dos sistemas de respiración, por medio de branquias para el intercambio gaseoso en el agua, mientras que, para respirar fuera de ella, utilizan un sifón que les permite tomar oxígeno del aire (Vázquez *et al.*, 2011). Se encuentran en zonas tropicales y subtropicales húmedas del sureste de México, América Central, América del Sur e Islas del Caribe (Naranjo-García y García-Cubas, 1985), habitando en ríos, lagos,

canales, pantanos y humedales, preferentemente en sitios de vegetación abundante (Rangel-Ruíz, 1988).

1.3 Características del caracol tegogolo (*Pomacea patula catemacensis*)

El caracol tegogolo *Pomacea patula catemacensis* (Baker, 1922), es un gasterópodo endémico del Lago de Catemaco. Se trata, al igual que el resto de los pomaceos de una especie dioica, que no presenta un aparente dimorfismo sexual, y cuya fertilización es interna y su desarrollo es ovíparo (Carreón-Pallau *et al.*, 2005). Se sabe que la cópula entre los organismos de este género puede durar de 2 a 3 horas, y que las hembras de este género pueden almacenar el espermatozoides del macho hasta por 140 días, a pesar de ello, normalmente presentan actividad sexual durante casi todos los meses del año, en los cuales la cópula normalmente se presenta durante la noche.

El tegogolo es un caracol de hábitos mayormente herbívoros (Ruíz *et al.*, 2007), aunque también pueden llegar a ser carroñeros o presentar canibalismo, pues se les ha llegado a observar comiendo animales muertos, incluidos otros gasterópodos (Rangel-Ruiz, 1988). Su alimentación es realizada mediante la rádula, una estructura que cumple con la función de raspar y triturar diversos alimentos. Los caracoles de este género están descritos también como consumidores microfíticos, pues pueden alimentarse de microalgas ya sea por ramoneo, o bien por microalgas suspendidas por medio de movimientos ciliares (Perera y Walls, 1996).

1.4 Importancia ecológica, económica y social

Estos caracoles están asociados con aguas fangosas y poco profundas de los lagos y ríos de la zona en los que forman parte importante de la cadena trófica, puesto que son controladores de malezas por sus preferencias herbívoras, y son depredados por algunas especies de peces y aves (Vazquez *et al.*, 2011). Sumado

a esto, tienen un enorme impacto social en la región, ha sido aprovechado a lo largo de los años por los pobladores de la zona, los cuales han capturado a este caracol para consumo humano. Se sabe también que su concha ha sido utilizada para la construcción de carreteras, pisos y artesanías (Valentín-Maldonado, 1996). Otros de los usos dados a las conchas de los caracoles del género *Pomacea* son como materia prima para la fabricación de herramientas, como símbolo religioso en las ceremonias, instrumentos musicales, moneda, objetos de arte y joyería, tal como se evidencia en sitios arqueológicos (Vázquez, *et al.*, 2011).

Un aspecto importante es que muchas especies de moluscos, incluidos los caracoles, pueden tener importancia médica, actuando como vectores (hospedadores intermediarios) de parásitos que se transmiten al hombre y constituyen uno de los principales agentes vectores de zoonosis (Rumi *et al.*, 2008). Algunas especies del género *Pomacea* han sido registradas como primeros hospederos de algunas especies de parásitos, platelmintos como *Temnocephala iheringi* (Martín *et al.*, 2005), nemátodos *Helobdella ampullariae*, *Catadiscus pomaceae* (Vega *et al.*, 2006), *Heterorhabditis bacteriophora* (Salcedo, 2013) y especies de tremátodos pertenecientes a los géneros *Dietziella* y *Echinochasmus* (Lamothe, 1991), este último ya fue registrado de forma muy abundante en peces del Lago de Catemaco (García, 2017). Se ha mencionado que cuando los caracoles de agua dulce se encuentran hospedados por algunas especies de parásitos, particularmente tremátodos, su reproducción aumenta considerablemente (Lafferty, 1993), alcanzando la maduración sexual a edad más temprana, ello como una estrategia para contrarrestar la presencia de tremátodos en las gónadas, cuya consecuencia inevitable será la castración de los hospederos (caracoles). Existen reportes de diferentes especies de parásitos en anuros (Goldberg *et al.*, 2002) y en peces nativos, endémicos e introducidos del Lago de Catemaco, específicamente tremátodos (Ramírez-Barragán, 2014; García-Sánchez, 2017), por lo que es posible que el caracol tegogolo pueda estar siendo parasitado por alguna de ellas, gran parte de las cuales, completan su ciclo de vida en aves ictiófagas (Lamothe, 1991; Jiménez, 1996).

1.5 Situación actual y normatividad

El "tegogolo" es uno de los principales productos pesqueros de la región de Los Tuxtlas, en el estado de Veracruz (Baqueiro, 1994), desde hace algunos años, esta especie de gasterópodo ocupa el tercer lugar de importancia en la extracción pesquera del Lago de Catemaco (Figura 1), donde se captura en zonas específicas por medio de buceo libre, usualmente en profundidades de 1 a 4 m.

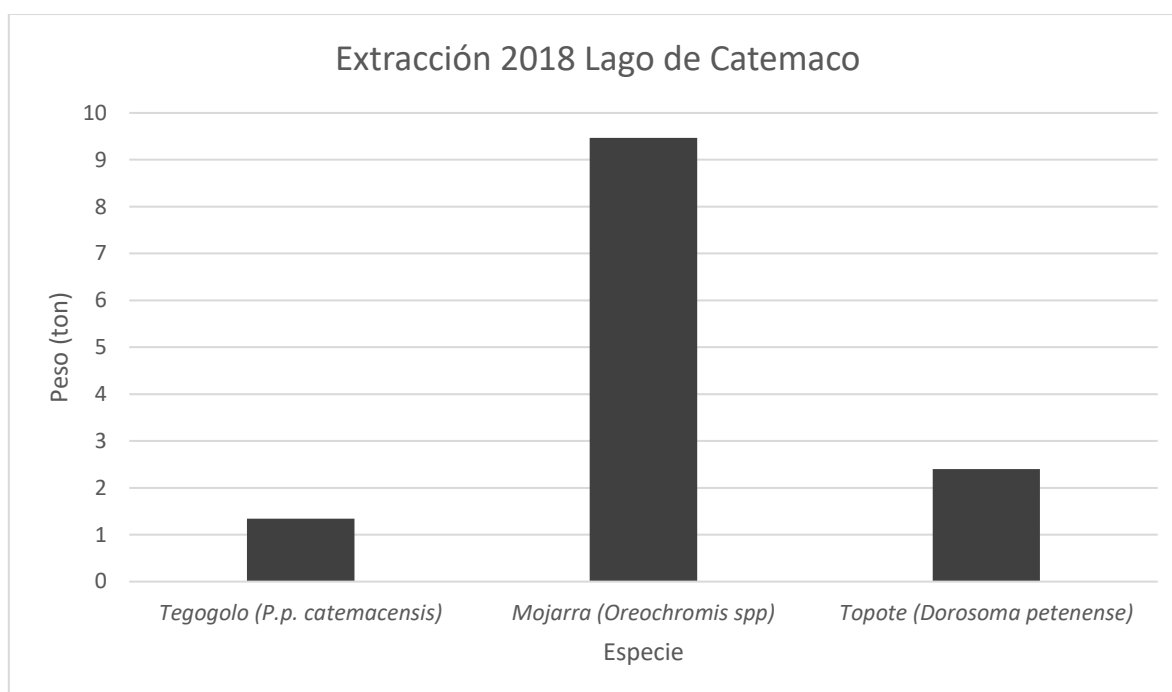


Figura 1. Extracción de recursos pesqueros del Lago de Catemaco en el 2018 (SIPESCA, 2018).

Estas especies son capturadas y consumidas por los pobladores de la región de Los Tuxtlas, generando ingresos y fuente de trabajo, donde se reporta que un 29% de la población económicamente activa está dedicada a actividades del sector primario, entre ellas la pesca (SEFIPLAN, 2019). Actualmente en Catemaco existen 20 cooperativas dedicadas a la pesca de tegogolo, resultando un total de 2015 pescadores legalizados en la región (Sociedad Cooperativa Tanaxpi, comunicación personal, marzo, 2019), pero en la última década han tenido una importante disminución poblacional (Vázquez *et al.*, 2011) (Figura 2).

La extracción del tegogolo es una de las principales fuentes de ingresos en el municipio de Catemaco, pues el precio del kilogramo de pulpa fluctúa entre \$180 y \$270 dependiendo de la temporada del año, rebasando en algunos casos los \$400 (Sociedad Cooperativa Tanaxpi, comunicación personal, marzo 2019). Otro factor, el incremento antropogénico en la zona de Catemaco, cuya población ha aumentado casi en 10% del 2005 al 2017 (SEFIPLAN, 2018), lo que puede repercutir en una mayor producción de contaminantes que llegan al lago.

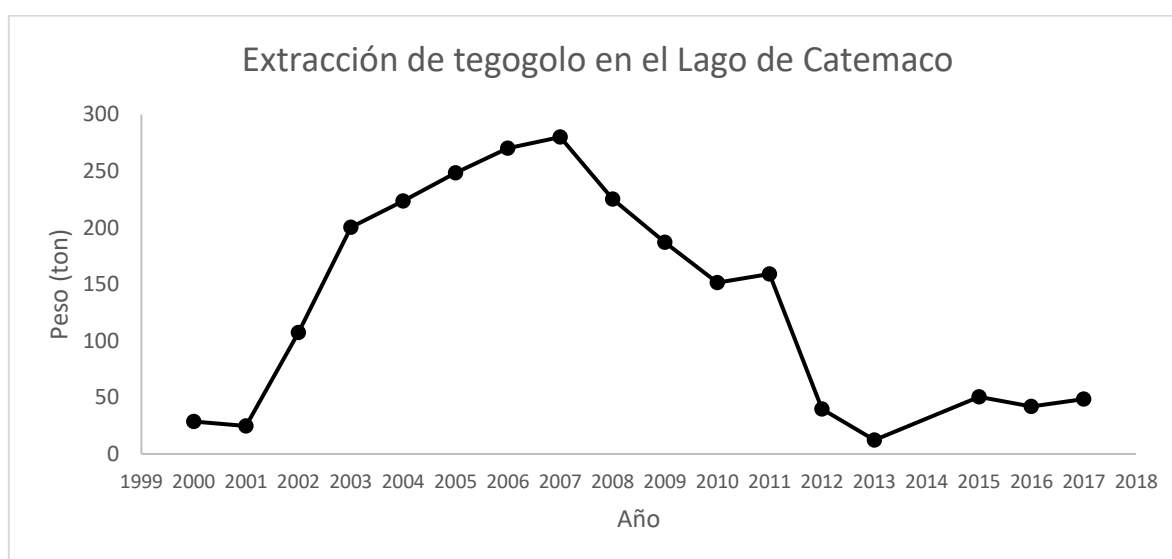


Figura 2. Extracción de tegogolo en el Lago de Catemaco durante el periodo 2000 - 2018 (SIPESCA, 2018).

Actualmente la NOM-041-PESC-2004, señala que la talla mínima de captura del caracol *P. p. catemacensis* es de 32 mm de longitud, con un horario de pesca entre 6:00 y 19:00 hrs. Lorán *et al.* (2013) reportan que, en 2005, se capturaban más de 7 kg de tegogolo/día por pescador, mientras que actualmente el esfuerzo de captura es de un kilogramo por día. Es importante mencionar que, en diversas ocasiones, no se respeta el horario de captura, ni la talla mínima de captura (32 mm) (*obs. pers.*), lo cual, sin duda, puede tener repercusiones graves en las poblaciones del caracol. Otra posible causa de la disminución poblacional es que, al existir escasez de organismos, se da la captura furtiva de hembras grávidas que salen a ovopositar,

interrumpiendo una etapa crítica de la reproducción de este organismo (M. I. Jiménez García, *obs. pers.*).

Otro factor que con probabilidad está afectando a las poblaciones de caracoles tegogolos, es la presencia de especies de peces que fueron introducidos en el lago de Catemaco, y que a la fecha ya se han establecido, en particular, un pez cíclido translocado (*Mayahreos urophthalmus* o *Cichlasoma urophthalmus*), comúnmente llamado mojarra castarrica que se caracteriza por ser particularmente voraz, omnívoro y con tendencias a la malacofagia y piscivoría (Martínez-Palacios y Ross, 1998). Cabe mencionar que *M. urophthalmus* ha sido reportada como especie nativa en el Lago de Catemaco (Lorán *et al.*, 2013), sin embargo, Jiménez-García y Suárez-Morales (2017) mencionan que es una especie introducida, su considerablemente baja carga parasitaria en el lago de Catemaco (García-Sánchez, 2017) soporta el que sea introducida, como lo establece la hipótesis de la liberación de enemigos naturales (Keane y Crawley, 2002; Santamaría *et al.*, 2008;), en comparación con la elevada carga parasitaria de dicha especie en organismos presentes en su rango natural de distribución (Jiménez-García, 2003; Mendoza-Franco *et al.*, 2009) y se ha reportado que comúnmente las especies no nativas, que colonizaron y ya se han establecido en ecosistemas acuáticos, pueden alterar las redes alimentarias y los hábitats, desplazar a las especies nativas, reducir diversidad y deteriorar de la función del ecosistema (Monnette *et al.*, 2016).

Como se puede observar, a pesar de la importancia ecológica y económica de *P. patula catemacensis*, existen pocos estudios acerca de los posibles factores ambientales, naturales o de origen antropogénico, que pudieran estar relacionados con la reducción de sus poblaciones en Catemaco. Aunado a los potenciales factores arriba mencionados, aspectos relacionados con una mala regulación en su captura, puede estar asociada con la aparente disminución en su extracción, ello debido a que, pescadores locales mencionan que en ocasiones no se respeta el horario de captura, el cual debe ser entre las 6:00 hrs y 19:00 hrs (NOM-041-PESC-2004), lo cual conlleva a que se estén capturando hembras grávidas al oscurecer, por lo que no se les esté permitiendo que terminen de desovar. Aunado a esto, la

contaminación ambiental del lago, hacen que la pesca de caracoles en este cuerpo de agua vaya disminuyendo (Naranjo-García, 2003). De hecho, de 1992-2000 el volumen de captura mantuvo una tendencia negativa, de 2001 al 2008 se observa una ligera recuperación, pero en los años siguientes se observa nuevamente una disminución, llegando de las 24 ton hasta las 280 ton en 2008, posterior a este año, la cantidad de peso reportado disminuye drásticamente alcanzando únicamente las 48 ton en 2017 (Carta nacional de Pesca, DOF 2012). Ante esta serie de problemas a los que deben estar sujetas las poblaciones de tegogolos en Catemaco, es indudable que una alternativa a ello es su manejo en cautiverio.

1.6 Potencial acuícola del caracol tegogolo

Las características biológicas de este gasterópodo lo convierten en una especie con un alto potencial de cultivo, pues se sabe que presenta hábitos alimenticios omnívoros que los convierte en eficientes transformadores de energía alimenticia; además, alcanzan su madurez sexual en un tiempo relativamente corto, aproximadamente 6 meses. Sumado a esto, presentan un falso pulmón y branquias para respirar, lo que facilita la captación de oxígeno atmosférico y del agua, lo que con probabilidad permitiría sean confinados en densidades relativamente altas y puedan ser transportados y manipulados en el laboratorio y en granjas sin provocar mortalidad significativa (García-Ulloa *et al.*, 2006).

1.7 Estudios realizados para los caracoles del género *Pomacea* en México

Respecto a los cultivos controlados de especies del género *Pomacea* en el país, se tienen pocos reportes, la mayoría se han realizado únicamente para evaluar el desempeño productivo de esta especie a pequeña escala, es decir utilizando usualmente contenedores de 40 litros, esto con fines de evaluar la supervivencia en condiciones controladas, variando la depuración (García-Ulloa *et al.*, 2006), densidad de cultivo (Brito-Manzano *et al.*, 2007), o la alimentación (Ruiz-

Ramírez, 2005; Iriarte y Mendoza-Carranza, 2007; Vázquez Silva *et al.*, 2012; Martínez-Carranza, 2016), sin embargo, solo algunos de estos trabajos son publicaciones científicas, y las demás, reportes técnicos, tesis o resúmenes de congresos. Es por ello que en el presente trabajo, se planea realizar un cultivo a mayor escala, es decir, cultivar organismos de *Pomacea patula catemacensis* a una densidad mayor a la usualmente reportada (1 organismo/L), en un sistema de cultivo semi controlado. La información generada es relevante si se plantea producirlo en volúmenes más grandes para su posterior uso en alternativas de conservación o comercialización.

2. Antecedentes

En México únicamente están descritas dos especies del género *Pomacea*: *P. patula catemacensis* y *P. flagellata*. *Pomacea patula catemacensis* o caracol “tegogolo”, originario del Lago de Catemaco, se distribuye en la parte central del estado de Veracruz (Naranjo y García-Cubas 1985), pero se ha introducido, y adaptado exitosamente en comunidades de Jalisco, Colima y Michoacán (García-Ulloa *et al.*, 2006), lo cual representa un peligro potencial, pues no siempre se respetan medidas de bioseguridad, ello porque se tienen estudios que describen a *Pomacea canaliculata* como una especie fuertemente invasora en cultivos de arroz en muchos sitios (Soriano *et al.*, 2009; Sawangproh *et al.*, 2012; Chaichana y Sumpun, 2015).

El tegogolo es un caracol que se pesca en cantidades relativamente grandes y es uno de los principales productos pesqueros del Lago de Catemaco. Por su parte *Pomacea flagellata* conocida comúnmente como caracol “tote” se distribuye desde Veracruz hasta Yucatán, encontrándose también en los estados de Chiapas y Oaxaca, y extendiéndose por Centroamérica hasta el norte de Colombia, teniendo un consumo limitado a nivel familiar, ambas especies de caracol son consumidas por los pobladores de dichas regiones, pero en los últimos años han tenido una importante disminución poblacional, en especial el caracol “tegogolo” (Vázquez *et al.*, 2007). Recientemente, se tiene una cifra por encima del 70% en la disminución de caracoles capturados por año. Según datos de SIPESCA (2019), en 2007 se capturaban 280 ton de tegogolo, mientras que en 2017 se capturaron solo 48.5 ton, teniendo su punto más bajo en 2012, donde únicamente se reportan 39.7 ton.

2.1 *Pomacea flagellata*

Actualmente, no se cuenta con un modelo de cultivo para las especies del género *Pomacea*, ni con una dieta específica para alimentarlas. En los últimos años, se han realizado algunos estudios como el de Brito-Manzano *et al.* (2007), que trabajaron con crías de caracol “tote” *Pomacea flagellata* y que al evaluar la supervivencia en el cultivo de en seis densidades distintas 50, 100, 150, 200, 250 y 300 organismos por acuario de 40 L, a modo de superficie, estas densidades corresponden a 88, 166, 254, 332, 420 y 508 org/m². Obtuvieron el mayor porcentaje de sobrevivencia (88%) con las densidades de 50 y 150 organismos por acuario, registrando a la densidad de 200 organismos, el menor porcentaje con el 71 % de supervivencia al final del estudio.

Iriarte y Mendoza-Carranza (2007), realizaron un cultivo semi-intensivo de caracol *Pomacea flagellata* utilizando tres tipos de alimentación, alimento balanceado para tilapia, alimento balanceado para pollo y hojas de chaya, cultivando los organismos en unidades de 200 l a una densidad de 1 org/l. Los organismos fueron alimentados inicialmente al 15% de la biomasa, y este porcentaje fue disminuyendo hasta 7.5%. El mayor crecimiento se obtuvo con el tratamiento para tilapia, que resultó ser el mejor tratamiento. Sin embargo, en comparación costo-beneficio, la hoja de chaya parece una mejor opción para el cultivo de esta especie. El mayor porcentaje de supervivencia fue para el tratamiento con alimento para tilapia. Con respecto a la calidad del agua, el tratamiento con alimento para tilapia presentó más complicaciones en este aspecto, presentando valores más elevados de amonio con respecto a los otros tratamientos.

de Jesús-Navarrete y Bartola 2016 evaluaron la preferencia para la ovoposición de *Pomacea flagellata* ante distintos sustratos. En este experimento se utilizaron raíces de mangle, carrizo y PVC. Se trabajó a una densidad de 1.2 caracoles por litro en tratamientos con diferentes proporciones de hembras y machos. Los organismos fueron mantenidos durante 4 meses alimentándose al 15% de la biomasa total. En total se registraron 57 huevas de las cuales 26 eclosionaron,

obteniendo 5,037 individuos. En su experimento, las raíces de mangle resultaron ser el sustrato preferencial para la puesta de huevos con un 63%, superando a los otros dos sustratos, a pesar de ello, los caracoles utilizaron preferentemente las paredes de las tinas. Para estudiar aspectos de la ovoposición de *P. flagellata*, Amador del Ángel *et al.* (2006) probaron diferentes dietas lechuga, alimento comercial y la planta acuática *Salvinia minima*) para evaluar su efecto sobre el número de puestas. Sus resultados muestran que el mayor número de puestas se obtuvo de los organismos alimentados con alimento comercial (13) seguido por la lechuga (5), por su parte el tratamiento con *Salvinia* no presentó ninguna. Mencionan que esta especie presenta fototactismo negativo, por lo que las puestas fueron realizadas durante la noche.

Oliva-Rivera *et al.* (2016) realizaron un estudio para evaluar la frecuencia de reproducción de *Pomacea flagellata*, en temporada de nortes, secas y lluvias en la laguna de Bacalar, Q. Roo. La mayor frecuencia de apareamiento se registró en temporada de lluvias, presentando menos en secas. Por su parte la temporada de nortes no presentó apareamientos. Concluyen que la actividad reproductiva de *P. flagellata* en la laguna de Bacalar está relacionada con los meses más cálidos y con mayor precipitación.

Por su parte, Martínez-Carranza (2016), evaluó cinco fuentes alimenticias, hoja de ojushte (*Brosimum alicastrum*), hoja de chipilín (*Crotalaria longirostrata*), cáscara de banano (*Mussa spp.*), concentrado para tilapia y ninfa acuática (*Eichornia crassipes*) en la reproducción de *P. flagellata*, resultando el menor tiempo de eclosión para el tratamiento con cáscara de banano, y el mejor porcentaje de eclosión y sobrevivencia con el tratamiento a base de hoja de ojushte.

2.2 *Pomacea patula catemacensis*

En el caso específico del caracol “tegogolo”, se tienen reportados trabajos usando cultivos a pequeña escala, como el de Ruíz-Ramírez *et al.* (2005), quienes evaluaron el crecimiento y reproducción de *Pomacea patula catemacensis* en dos sistemas distintos de recirculación, alimentándolos con la microalga *Calothrix* sp. en comparación con una dieta elaborada con alimento de carpa, probando que la primera fue la dieta más eficiente, tanto para su ganancia de peso (0.02 g/d) como para su fertilidad, pues lograron un mayor porcentaje de crías eclosionadas (70%).

García-Ulloa *et al.* (2006), realizaron un estudio para evaluar el efecto de la depuración en adultos de caracol “tegogolo”, manteniendo a los individuos expuestos a un flujo de agua constante, tratada con radiación ultravioleta y limpieza diaria y en condiciones normales de mantenimiento (aireación constante y alimentación en dos raciones). Los resultados sugieren que el proceso de depuración usado no afectó la biomasa de adultos de *P. patula*. Los resultados son presentados mediante la utilización de la variable, índice de condición, el cual se menciona, puede ser una herramienta práctica de evaluación sin considerar la diferencia inicial de tallas de caracoles adultos. Este índice se obtuvo de la división del peso de tejidos sobre el peso total del caracol, por lo que representa un método rápido para evaluar el estado fisiológico de los animales, el cual pudiera ser afectado por factores de estrés cuando los animales son expuestos a un tratamiento de depuración en laboratorio, haciendo que su masa corporal disminuya con relación a la biomasa total, la cual incluye estructuras duras como la concha.

Vázquez-Silva *et al.* (2012) evaluaron el efecto de cuatro dietas comerciales (trucha, bagre, camarón y tilapia) sobre el crecimiento y supervivencia de *Pomacea patula catemacensis*, cuyos individuos fueron cultivados en tanques de 40 l bajo condiciones controladas, a una densidad de 20 organismos por litro. Posteriormente, realizaron una evaluación de la composición bioquímica de los caracoles, concluyendo que, en comparación con el resto de las dietas, el alimento para bagre favorecía la supervivencia del “tegogolo” en el cultivo (94%), mientras

que el pellet para tilapia presentó la menor supervivencia (74%). Por su parte el pellet para trucha mejoró el contenido de proteína en el caracol (49%) con respecto a caracoles silvestres (45%), pero a su vez aumentó el porcentaje de lípidos. Con respecto al crecimiento de los organismos, la dieta para trucha fue el tratamiento con mayor ganancia tanto de longitud (0.14 mm/d) como de peso (0.04 g/d).

Por su parte Meyer y Santos-Soto (2006) evaluaron de forma experimental en medio artificial al aire libre, el efecto de la temperatura e intensidad luminosa en los desoves de *Pomacea patula*, realizando un cultivo de un año, en el que alimentaron a los organismos con alfalfa, lechuga y alimento para tilapia. Compararon diferentes temperaturas, entre 20 y 32°, mientras que para la luz se utilizaron 60 y 300 luxes. Además de ello realizaron un experimento de crecimiento de los organismos a distintas temperaturas. Los mayores desoves se presentaron entre los meses de agosto a noviembre, a una temperatura de 26°C, y mencionan que las hembras desovaron en lugares principalmente iluminados. Los resultados del crecimiento de crías y juveniles indican que el mayor crecimiento se obtuvo a las temperaturas más elevadas (32°C), pero también presentaron una mayor mortalidad de organismos (68-81%).

Carreón-Pallau *et al.* (2003) realizaron la caracterización morfológica e histológica del “tegogolo”. Para ello mantuvieron a los organismos en acuarios de 40 l a una densidad de 100 org por acuario, lo que resulta en una densidad de 166 org/m². En su experimento describen 4 etapas de la maduración sexual de estos organismos (inmadura o indiferenciada (talla de 0,72 a 7 mm), (2) maduración temprana (18,95 ± 1,96 mm), (3) maduración intermedia (29,29 ± 4,9 mm) y (4) madurez total (35,89 ± 3,92 mm). Reportan que la maduración sexual depende de la talla y no de la edad de los organismos. Es posible identificar el grado de madurez de los caracoles utilizando criterios anatómicos visuales, como la glándula de la albúmina, en el caso de la hembra, y el órgano copulador en el macho. Se menciona también que existen diferencias importantes en el aparato sexual de esta especie con *P. flagellata*.

Jiménez-García *et al.* (2013), evaluaron el desempeño productivo de crías del caracol de Catemaco durante nueve semanas, comparando tres diferentes dietas, biofloc, lechuga y una combinación entre ambas. El sistema experimental que utilizaron consistió de 12 tinas plásticas de 4 l de capacidad, en las que se colocaron 20 crías de una semana de edad (peso: 0.30 ± 0.06 g) que se obtuvieron a partir de desoves de hembras silvestres. El mejor desempeño se obtuvo con la dieta combinada de biofloc y lechuga, la cual resultó en un peso y supervivencia significativamente mayores (1.11 ± 0.37 g y 80%).

Hernandez-Vergara *et al.* (2009) el desempeño productivo del “tegogolo” en estanques circulares y sistemas de canales de flujo continuo a densidades de 70 caracoles/m³; 140 caracoles/m³; 70 caracoles/m³, respectivamente, llegando a la conclusión de que ambos métodos pueden usarse para el cultivo de estos caracoles, pues ninguno causó una mortalidad significativa, reportando un 87% de supervivencia en estanques circulares, y 91% en los sistemas de flujo continuo.

2.3 Sanidad e inocuidad

En lo que respecta a los aspectos sanitarios del “tegogolo” Berry y Lind (2009) extrajeron e identificaron mediante diferentes métodos y prueba de ELISA, diferentes toxinas en muestras de agua y tegogolos colectados en el Lago de Catemaco. Sus resultados muestran la presencia de *Cylindrospermopsis*, y a pesar de no confirmar la especie, sugieren que podría tratarse de una subespecie de *C. raciborskii*, Mencionan que se encontraron cantidades elevadas en los tegogolos, por lo que esta toxina sería bioacumulable en esta especie, lo cual podría representar una amenaza para la salud humana, puesto que es una especie que comúnmente se consume en la región. A pesar de ello, mencionan que se obtuvieron cantidades muy bajas si se compara con otras especies de agua dulce, como el cangrejo de río o el mejillón, en los cuales se ha reportado una mayor concentración.

Villagomez *et al* (2001) analizaron muestras de sustrato, como limo y arcillas del Lago de Catemaco, y dos materiales biológicos de consumo tradicional, caracol tegogolo (*P.p. catemacensis*) y músculo de topote (*Dorosoma petenense*) con el fin de determinar concentraciones de plaguicidas organoclorados provenientes de los diferentes cultivos existentes en la zona. Sus resultados mostraron la presencia de diferentes plaguicidas (dieldrín, pp'-DDE, pp'DDD y α -HCH) tanto en las muestras de sustrato como en muestras biológicas, encontrándose a concentraciones ligeramente más elevadas en el músculo de topote. A pesar de ello, los niveles de todos se encontraban por debajo de niveles de toxicidad para el ser humano.

Por su parte, Moreno *et al.* (2009) realizaron una investigación en el Lago de Catemaco, reportando la presencia de diferentes tipos de coliformes tanto en el sedimento como en los “tegogolos”. Las bacterias identificadas fueron *E. coli*, *Enterobacter hafniae*, *Serratia liquefaciens*, *Klebsiella* spp., *Shigella sonnei* y *Enterobacter aerogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Proteus vulgaris*, *Arizona hinshawii*, *Shigella sonnei*, *Serratia marcescens*, *Citrobacter freudii*, *Edwardsiella tarda*, *Enterobacter aerogenes*, *Proteus mirabilis* y *Citrobacter*, algunas de estas tienen afectaciones directas al humano, como enfermedades gastrointestinales, o bien enfermedades en el tracto urinario y respiratorio (Montoya *et al.*, 2010). La falta de más estudios sobre la presencia de bacterias en organismos de *Pomacea patula catemacensis*, indica la necesidad de trabajar en ello, pues al ser un organismo comúnmente consumido por los pobladores de la región de Los Tuxtlas, podría convertirse en un importante vector de algunas patologías causadas por estas bacterias.

2.4 Cultivo de otras especies del género *Pomacea*

Enfocándonos a otras especies de Pomáceos, otra de las especies estudiadas en acuicultura ha sido *Pomacea bridgesii*. Para esta especie, Ramírez *et al.* (2002) realizaron un ensayo nutricional en acuarios de 25 litros, a una densidad de 0.5 org/l, en el cual variaron la proporción de proteína animal (harina de pescado) y proteína vegetal (lechuga y espinaca) en el que probaron 5 proporciones distintas, 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100, en relación proteína animal y proteína vegetal (PA/PV) las cuales fueron suministradas a un 6% de la biomasa total. Sus resultados fueron mejores combinando ambas fuentes de proteína, obteniendo un mayor crecimiento. En cuanto al aprovechamiento nutricional y a la tasa de conversión alimenticia, la dieta 75/25 (PA/PV) resultó ser la más adecuada. Posteriormente, probaron con esta misma proporción alimentos peletizados contra alimentos por extrusión seca, resultando la segunda con el mejor aprovechamiento.

Souza-Junior *et al.* (2012) estudiaron a las especies *Pomacea bridgesii* y *Pomacea lineata*, realizaron una comparación de diferentes densidades de siembra, 0.5, 1 y 1.5 organismos por litro, cultivados durante 4 meses. La mejor ganancia de peso con el tratamiento de 0.5 organismos por litro para ambas especies. En la especie *Pomacea bridgesii* se obtuvo una ganancia diaria de peso de 0.31 g/d, mientras que *Pomacea lineata* 0.18 g/d.

Otra especie de Pomáceos con la que se ha trabajado es *Pomacea maculata*, Alcántara y Nakagawa (1996) realizaron un estudio preliminar con esta especie en estanques de cultivo de tierra, en el cual evaluaron el crecimiento en 214 días a una densidad de 6 org/m². Los organismos iniciaron con una longitud promedio de 11.35 mm, terminando el cultivo con una longitud promedio de 68.46 mm, resultando en una ganancia diaria de 0.26 mm/d. A pesar de que los organismos alcanzaron una talla adulta al final del cultivo, la supervivencia fue muy baja (aproximadamente 10%), lo cual se atribuye al mal manejo durante el experimento, sumado a la fragilidad del caparazón que presentan los individuos jóvenes. Por su

parte Padilla *et al.* (2002) realizaron un cultivo en jaulas de esta especie con ayuda de pobladores capacitados de diversas regiones de Perú, en el que obtuvieron supervivencias desde 58% hasta 100%, trabajando a una densidad de 0.7 org/l y alimentándolos con yuca, guayaba y plátano.

Pulido y Hernández (1998) compararon tres diferentes dietas en *Pomacea* spp. Hojas de ocumo chino, Alimento comercial de 24% de proteína cruda (PC) al 10% biomasa y alimento comercial al 5% biomasa; la mejor ganancia de peso y conversión alimenticia fue para con el alimento comercial suministrado al 10% de la biomasa. Reportan una factibilidad de manejo del caracol en densidades entre 3,375 g/l (inicial) y máxima de 7,638g/l. Esta densidad corresponde aproximadamente a 1 organismo adulto por litro.

3. Justificación

La demanda alimentaria en México es cada día mayor y en algunos casos son insuficientes los recursos para satisfacerla, es por ello que, en la actualidad se buscan alternativas para cubrir esta problemática, y los productos acuáticos se perfilan como una de las principales soluciones. El caracol “tegogolo”, *Pomacea patula catemacensis*, es una especie endémica del Lago de Catemaco, muy apreciada en la región de Los Tuxtlas, Veracruz por su sabor, sin embargo, hasta el momento poco se ha estudiado sobre su crecimiento en sistemas acuícolas. Adicionalmente, existe una notoria reducción poblacional de esta especie, la cual puede deberse a diversos factores, entre ellos, el elevado esfuerzo de pesca, la contaminación asociada con actividades agropecuarias y turísticas, la presencia de especies invasoras y posibles afectaciones por parásitos, particularmente tremátodos o bacterias. Debido a ésta drástica reducción, se requiere buscar alternativas para su conservación, y el desarrollo de cultivos acuícolas a mayor escala, lo cual sería una opción adecuada para satisfacer la demanda actual de esta especie, la cual, posee importantes ventajas biológicas que permiten su cultivo en condiciones controladas bajo esquemas de manejo sustentable, evaluando su factibilidad técnica y económica. Por tanto, este estudio pretende aportar información relevante del tegogolo de Catemaco en un cultivo utilizando distintos tipos de sustratos que favorezcan su desempeño productivo.

4. Hipótesis

La utilización de diferentes sustratos aumentará la superficie de fijación de los caracoles (*Pomacea patula catemacensis*), lo cual permitirá incrementar la cantidad de organismos durante la engorda, sin afectar su crecimiento y supervivencia.

5. Objetivo general

Evaluar el crecimiento y supervivencia del caracol tegogolo, *Pomacea patula catemacensis*, durante su engorda, en un cultivo utilizando dos tipos de sustrato.

5.1 Objetivos específicos

- 1) Determinar el porcentaje de eclosión de los organismos reproductores.
- 2) Analizar el comportamiento (actividad y ubicación) de *Pomacea patula catemacensis* ante cuatro tipos de sustratos.
- 3) Determinar cuáles son los dos sustratos de mayor preferencia de acuerdo a su tiempo de fijación.
- 4) Evaluar el efecto de los dos tipos de sustrato seleccionados, sobre el crecimiento y la supervivencia de *P. p. catemacensis* durante su engorda.

6. Área de estudio

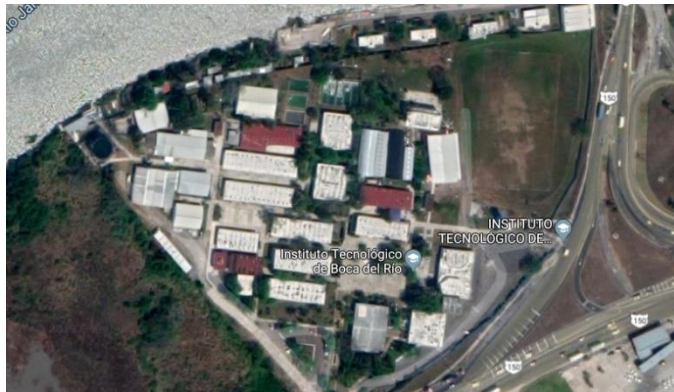


Figura 3. Vista aérea del Instituto Tecnológico de Boca del Río

El experimento se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Boca del Río. La primera parte de esta tesis, es decir, el estudio de comportamiento de los caracoles se realizó en la parte externa del Laboratorio de Peces y Sanidad Acuícola en un área de 12 m², mientras que la segunda etapa, que consistió en la engorda de los organismos, fue realizada en un sistema de tanques de concreto al aire libre, en un área de 25 m².

7. Materiales y métodos

7.1 Reproducción de organismos

7.1.1. Colecta

En el Lago de Catemaco (Figura 4) se colectaron 500 organismos (Figura 5) de la especie *Pomacea patula catemacensis* los cuales fueron transportados en cubetas de polietileno hasta el Laboratorio de Peces del Instituto Tecnológico de Boca del Río, donde fueron revisados y removiendo en lo posible los epibiontes que tenían sobre las conchas con la ayuda de una navaja pequeña. Posteriormente se separaron en tinas de plástico a un volumen efectivo de 600 l con agua declorada para su aclimatación.



Figura 4. Lago de Catemaco.



Figura 5. Reproductores P.p catemacensis colectados en el Lago de Catemaco

7.1.2. Reproducción

Una vez trasladados los organismos fueron dispuestos en tinas de polietileno con capacidad nominal de 1000 l, y utilizadas a un volumen de 600 l, esperando su reproducción durante dos meses, esperando la ovoposición de las hembras (Figura6). Los caracoles fueron alimentados dos veces al día con alimento para tilapia molido de 35% PC. Debido al alto número de caracoles que se tenían por tanque (800), se realizaron recambios parciales del 50% del agua cada 3 días con agua declorada. Además de esto se realizó diariamente un sifoneo en la base de los tanques con el fin de retirar desechos orgánicos (heces o alimento no consumido) recuperando el agua perdida para mantener siempre el mismo volumen de agua.



Figura 6. Hembra de P.p. catemacensis durante la ovoposición

7.1.3. Colecta de puestas

Las frezas fueron colectadas diariamente con ayuda de una espátula para quitarlas desde la base sin romperse. Se colectaron al día siguiente de ser observadas, pues era notorio que al segundo día adquirirían una consistencia mucho más sólida lo cual hacía más fácil y seguro su retiro. Las huevas recogidas fueron pesadas en una balanza analítica (precisión de 0.01 g), y conservadas en charolas plásticas sobre una base húmeda y cubiertas con una tela delgada para evitar la posible invasión de dípteros (Figura 7). Adicionalmente fueron rociadas con un atomizador con agua 3 veces al día para evitar su desecación.



Figura 7. Frezas en colectadas durante la época de reproducción.

7.1.4. Crianza

Una vez eclosionadas, las crías fueron mantenidas en tinas plásticas y peceras de 40 l (Figura 8). Después de 15 días fueron movidas a albercas plásticas de 1,000 l (Figura 9), donde se mantuvieron durante dos meses. Las crías fueron mantenidas con alimento para tilapia de 35% PC. Se realizaron conteos mensuales para estimar el número de crías con las que se disponía. Cada vez que fue necesario, se realizaron recambios de agua del 50-80% en cada uno de los recipientes o albercas. Debido a que para el llenado se utilizó agua de la llave, el agua fue declorada utilizando tiosulfato de sodio a una proporción de 0.05 g/l. La aireación se realizó con ayuda de bombas aireadoras para acuario, y continuamente se midió el oxígeno disuelto con ayuda de un kit colorimétrico (NUTRAFIN). Durante este periodo se realizaron pequeños ensayos colocando sustratos dentro de las albercas con el fin de observar si los caracoles hacían uso de ellos e inclusive refugiarse (Figura 10).



Figura 8. Mantenimiento de crías de caracoles en tinas plásticas.



Figura 9. Albercas utilizadas para el mantenimiento de crías



Figura 10. Ensayo de la utilización de sustratos en crías de P.p catemacensis.

7.1.5. Biometrías

Se realizaron biometrías mensuales con el fin de estimar el número de caracoles utilizando el método gravimétrico, para ello los caracoles se separaron y pesaron 10 grupos de 10 caracoles utilizando una balanza marca Ohaus de 0.01 g de precisión (Figura 11), obteniéndose el peso promedio de cada individuo y calculando así el número total de caracoles de acuerdo a la biomasa de crías de tegogolo. Todo esto fue realizado en laboratorio.



Figura 11. Biometrías realizadas para estimar el número de crías de tegogolo.

7.2 Ensayo 1- Estudio de comportamiento del caracol

7.2.1 Diseño experimental

Con el objetivo de determinar el mejor sustrato para el crecimiento de los caracoles, se realizó un estudio de observación, en la segunda semana de junio, el cual contó con un diseño experimental bifactorial: factor 1) tipo de sustrato, con cuatro niveles, tejas de barro y de cloruro de polivinilo (PVC) hidráulico, así como tiras de plástico y mallas plásticas, y factor 2) hora del día, con 24 niveles (horas). Cada unidad experimental constó de una tina de 0.6 m de largo, 0.6 m de ancho y 0.2 m de profundidad, con un volumen efectivo de 80 L de agua en donde fueron introducidos los cuatro tipos de sustrato y 100 caracoles para realizar las observaciones de su comportamiento y preferencia ante los sustratos cada hora del día. Cada tratamiento constó de cinco réplicas y el estudio se realizó por duplicado, es decir, se realizaron observaciones durante 2 ciclos continuos de 24 h cada uno.

7.2.2 Sistema experimental

Cada una de las 5 tinas utilizadas contaba con un volumen total de 80 L (agua declorada) (Figura 12). En ellas se colocaron cuatro diferentes sustratos artificiales por duplicado (teja de barro cocido, tubo de PVC hidráulico, tira plástica de color blanco, y malla mosquitero con 1.35 mm de luz de malla) (Figura 13). Cada uno de estos sustratos contaba con una superficie 0.25 m² dentro de cada tina (Figura14).



Figura 12. Tinas plásticas utilizadas durante el estudio de comportamiento



Figura 13. Imágenes de los sustratos utilizados durante el estudio (teja de barro, malla mosquitero, plástico y PVC)



Figura 14. Vista superior de las tinas utilizadas durante el estudio.

Posteriormente, se introdujeron 100 crías de entre 40 y 60 días de edad 12.10 ± 1.9 mm las cuales se depositaron justo en el centro de la tina 15 minutos antes del primer registro, el cual se llevó a cabo a las 14:00 horas. Se registró la acción/ubicación de los caracoles cada hora durante 48 h continuas: Comiendo, inmóviles en la columna de agua, interactuando socialmente (grupos), y si estaban ubicados en alguno de los cuatro sustratos: Tejas de PVC o de barro, tiras de plástico o malla mosquitero (Tabla 1).

Tabla 1. Variables respuesta del estudio de comportamiento

Acción/Ubicación	Descripción
Comiendo	Actividad alimenticia
Explorando	Comportamiento activo- Movilidad
Inmóvil	Descanso o fijación
Columna de agua	Flotando
Interacción social	Organismos que estén en grupos de dos o más- Socialización
PVC	Inmóvil o desplazándose
Barro	Inmóvil o desplazándose
Plástico	Inmóvil o desplazándose
Malla	Inmóvil o desplazándose

7.2.3. Iluminación

La iluminación del área fue medida en dos puntos. El primer punto fue un lugar completamente expuesto completamente a la luz solar, mientras que el segundo punto, donde se colocaron las tinajas, estaba parcialmente cubierto de la luz por edificios. Para esto se utilizó un luxómetro Steren Her-410, resolución X100. La temperatura del agua se registró 3 veces al día (8:00, 16:00 y 21:00 hrs) con un termómetro de mercurio.

7.2.4. Manejo de organismos experimentales

Los organismos fueron depositados 15 minutos antes del primer muestreo para darles el tiempo de distribuirse en la tina según su preferencia. Cada hora los caracoles fueron contados de manera visual, sin tener contacto con ellos para tratar de afectar lo menos posible su comportamiento. En caso de presentarse la mortalidad de algún caracol, el organismo era repuesto con otro con el fin de no variar el número de caracoles en cada muestro. Los caracoles fueron alimentados *ad libitum* tres veces al día (11:00, 15:00 y 22:00 h) colocando el alimento justo en el centro del estanque.

7.2.5. Análisis estadístico

Para determinar la preferencia de los organismos ante distintos sustratos a lo largo del día, se realizó un análisis de varianza ANOVA de una vía a un nivel de significancia del 95%, con el software Statistica V. 7 comparando el número total de caracoles por sustrato en cada muestreo. Con el fin de observar relación entre el horario y la preferencia por el sustrato, se realizó un análisis factorial con tres niveles (tipo de sustrato, intervalo del día, y número de caracoles). De acuerdo con las observaciones realizadas, se decidió agrupar los registros en tres intervalos de tiempo: 14:00-21:00, 22:00-05:00 y 06:00-13:00 h.

7.3. Engorda

7.3.1 Diseño experimental

Para la fase de la engorda se realizó un diseño experimental unifactorial (factor sustrato) que consistió en tres tratamientos distintos, cada uno por triplicado, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en los estanques utilizados. El tratamiento 1 contaba con refugios hechos de teja de barro (1.5 m²), mientras que en el tratamiento 2 los refugios eran de tejas de PVC (1.5 m²). Por su parte, el tratamiento control no contó con ningún refugio.

7.3.2. Sistema experimental

La engorda se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río entre los meses de julio a diciembre (temporada de lluvias y nortes). Al inicio, se realizó la primera biometría en donde los caracoles utilizados se mezclaron para reducir la variación del tamaño entre los tratamientos, esto debido a que había diferencias en la edad de los organismos, los cuales tenían entre 6 y 8 semanas de edad, posteriormente estos se separaron de manera aleatoria en los diferentes tratamientos. El cultivo tuvo una duración de 150 días en donde se utilizó un total de nueve tanques de concreto al aire libre, cada uno de 800 l, los cuales fueron conectados por un sistema de recirculación elaborado con tubería de PVC (Figura 15). Este sistema contaba con dos filtros mecánicos (perlon de algodón y malla mosquitero) y uno biológico (con conchas de ostión y canutillos de cerámica) (Figura 16). Los bordes de los tanques fueron cubiertos con tiras de pasto sintético para evitar la fuga de los organismos (Figura 15).



Figura 15. Sistema de recirculación utilizado durante el estudio.



Figura 16. Filtros utilizados en el sistema, guata, malla mosquitero, y concha de ostión.

7.3.3. Sistema de recirculación

Para elegir la densidad de siembra se tomaron en cuenta las características de la especie, pues al ser el tegogolo un organismo bentónico se consideró sembrarlos por unidad de área (m^2) a una densidad de $420 \text{ org}/\text{m}^2$. Los tratamientos 1 y 2, contaban con un total de 7.13 m^2 , de los cuales, 5.63 m^2 incluyeron la superficie de paredes y fondo de cada estanque y un 1.5 m^2 de área

adicional debido a los refugios (Figura 17 y 18), se sembraron un total de 2,377 caracoles por replica, mientras que en el tratamiento control (sin sustratos adicionales) se sembró un total de 1,747 organismos por replica.



Figura 17. Caracoles adheridos al sustrato de teja colocado en los tanques durante la etapa de engorda.



Figura 18. Caracoles adheridos al sustrato de PVC colocado en los tanques durante la etapa de engorda.

7.3.4 Variables de respuesta

Con el objetivo de analizar el desempeño productivo de los caracoles durante el experimento, quincenalmente se midieron parámetros de longitud, anchura, y altura con ayuda de un vernier digital ULTRATECH H-7352 con 0.01 mm de precisión (Figura19) y el peso fue medido en una balanza analítica marca Ohaus con 0.01 g de precisión.

Los índices de ganancias en peso y longitud se calcularon a partir de las siguientes fórmulas:

- a) Ganancia diaria de peso (GDP)

$$GDP = (P_f - P_i) / t \quad (g \, d^{-1})$$

- b) Ganancia diaria en longitud (GDL)

$$GDL = L_f - L_i / t \quad (mm \, d^{-1})$$

- c) Sobrevivencia (S)

$$S = \frac{N_f}{N_i} \times 100 \quad (\%)$$

En donde:

P_i = Peso inicial promedio, g.

P_f = Peso final promedio, g.

L_i = Longitud inicial promedio, mm.

L_f = Longitud final promedio, mm.

t = Tiempo de cultivo, días.

N_i = Número inicial de organismos

N_f = Número final de organismos

7.3.5. Alimentación

Los organismos fueron alimentados con alimento comercial para tilapia de 35% PC hasta el día 75, mientras que para el resto del cultivo se utilizó un alimento con 30% PC. Durante el experimento la tasa de alimentación varió del 15 al 3% d^{-1} de la biomasa total (Souza-Junior *et al*, 2013; Iriarte y Mendoza-Carranza 2007). Durante el primer mes de cultivo se dio el 15% de la biomasa total (Souza-Junior *et al.*, 2015), pero debido a la gran cantidad de alimento sobrante, se optó por disminuir al 8% a partir del segundo mes, disminuyendo a 6% durante el tercer mes, y 4% en el cuarto mes de cultivo, terminando con un 3% durante el último mes de experimento.

7.3.6. Biometrías

Se siguió el crecimiento de los caracoles realizando biometrías cada 15 días (Figura 19). En cada biometría se muestreó un 3% de la población de cada tanque. Al final del estudio se contó el total de los caracoles vivos por unidad experimental para determinar la supervivencia por tratamiento, puesto que se presentó una temprana mortalidad debido a descalcificación en las conchas de los organismos. Diariamente se cuantificaron y retiraron los caracoles muertos que se encontraban flotando en la superficie del agua, sin embargo, durante los recambios totales, no siempre era posible cuantificar los organismos muertos, razón por la cual solo fue posible tener el conteo exacto de supervivencia, al final del estudio.



Figura 19. Caracoles medidos con vernier digital durante las biometrías.

7.3.7. Condiciones ambientales experimentales

Puesto que el experimento se realizó a cielo abierto, contó con fotoperiodo natural y no fue posible controlar la temperatura. Diariamente se midió la temperatura y oxígeno disuelto con una sonda multiparamétrica YSI-55, mientras que el pH fue medido con un kit colorimétrico (NUTRAFIN). Los nitritos, nitratos, dureza y amonio fueron medidos de forma semanal con kits colorimétricos (NUTRAFIN). Adicionalmente, a partir del día 30 de cultivo se realizaron recambios de agua del 100% cada 10 días para poder mantener niveles de compuestos nitrogenados lo más cercano a lo recomendado para especies acuícolas, amonio menor a 0.1 mg/l, nitritos menores a 0.1 mg/l (Saavedra, 2006).

7.3.8. Cosecha

Luego de 50 días de cultivo, se realizó la cosecha de los caracoles (Figura 20), vaciando por completo los tanques y contando uno a uno a los organismos, posteriormente se pesó el total de la biomasa. Adicionalmente se desconcharon y se separó el musculo de la masa visceral de todos los organismos con el fin de obtener el peso total del pie por estanque (Figura 21).



Figura 20. Caracoles cosechados al final del experimento



Figura 21. Pulpa de los caracoles una vez desconchados.

7.3.9. Análisis estadístico

Con el objetivo de determinar la eficiencia entre los diferentes tratamientos (tipo de sustrato), sobre las variables de respuesta (biométricas y supervivencia), se realizó un análisis de varianza ANOVA de una vía a un nivel de significancia del 95%, con el software Statistica V. 7 (Statsoft ®) para las variables de peso, longitud, altura máxima, anchura, y altura de la concha. Se utilizó la prueba *a posteriori* de Tukey para determinar diferencias significativas entre los tratamientos.



Figura 22. Medidas tomadas a los caracoles durante el las biometrías, plano A= Largo total; plano B= Anchura total; plano C= Altura total

8. Resultados

8.1. Reproducción y crianza de los caracoles

En un lapso de 75 días, se colectaron un total de 390 puestas de las cuales eclosionaron 214, lo que significa un porcentaje de eclosión de 54%. Las crías se mantuvieron en condiciones semicontroladas de laboratorio, obteniendo un aproximado de 20,300 organismos, de los cuales se utilizaron 19,504. Estos caracoles fueron utilizados tanto para el ensayo de comportamiento como para la etapa de engorda.

8.2. Ensayo 1 (Estudio de comportamiento de los caracoles)

8.2.1. Iluminación registrada durante el estudio.

El mayor periodo de iluminación ambiental se presentó de 9:00 a 16:00 h con una intensidad promedio de 552 ± 46 luxes, mientras que en el área de estudio (*in situ*) de 9:00 a 11:00 h, con un promedio de 262 ± 174 luxes, observándose un pico a las 10:00 h (575 lux en ambiente y 402 lux *in situ*) (Figura 22). El periodo de mayor oscuridad se presentó de 21:00 a 06:00 h. La cantidad de luxes en el sitio de estudio disminuyó considerablemente (hasta en un 76%) a partir de las 11:00 h para repuntar un 51% a las 17:00 h (Figura 22).

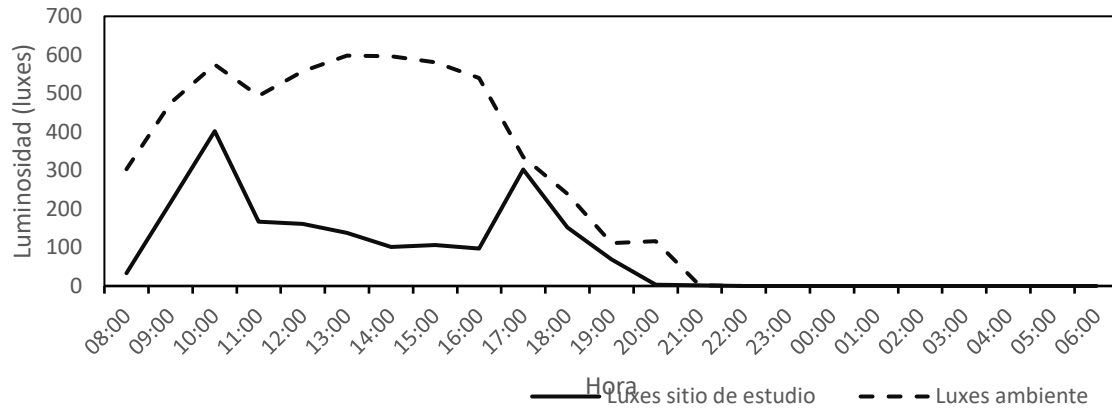


Figura 23. Iluminación registrada durante el estudio tomadas en el sitio de estudio (in situ) y ambiental.

8.2.2. Temperatura registrada durante el estudio.

Durante el experimento, la temperatura no varió significativamente, manteniéndose entre los 25.5°C como su punto más bajo, después de la noche (10:00-6:00 h) después de horas sin iluminación, y 26.5°C grados como su punto máximo, registrado a las 16:00 h.

8.2.3. Preferencia ante sustratos

La teja de barro fue el sustrato de mayor preferencia, es decir, en donde se registró un número significativamente mayor de tegogolos en comparación con los demás sustratos ($P < 0.0001$), seguido por las tejas de PVC (Figs. 23 y 24). En cuanto a los intervalos de tiempo, en el periodo de mayor iluminación (6:00-13:00 h), se presentó un mayor número de caracoles en los sustratos, mientras que en el intervalo de 21:00-5:00 h con menor iluminación la cantidad de caracoles en los sustratos disminuyó. Contrario a esto, la actividad de caracoles aumentó considerablemente durante la noche (21:00-5:00 h) en ambos días (Figura 25 y 26). Finalmente, se presentó una interacción positiva entre el sustrato y la hora, siendo la teja de barro y el intervalo 6:00-13:00 h donde se presentó el mayor número de caracoles ($P < 0.0001$) (Figura 27).

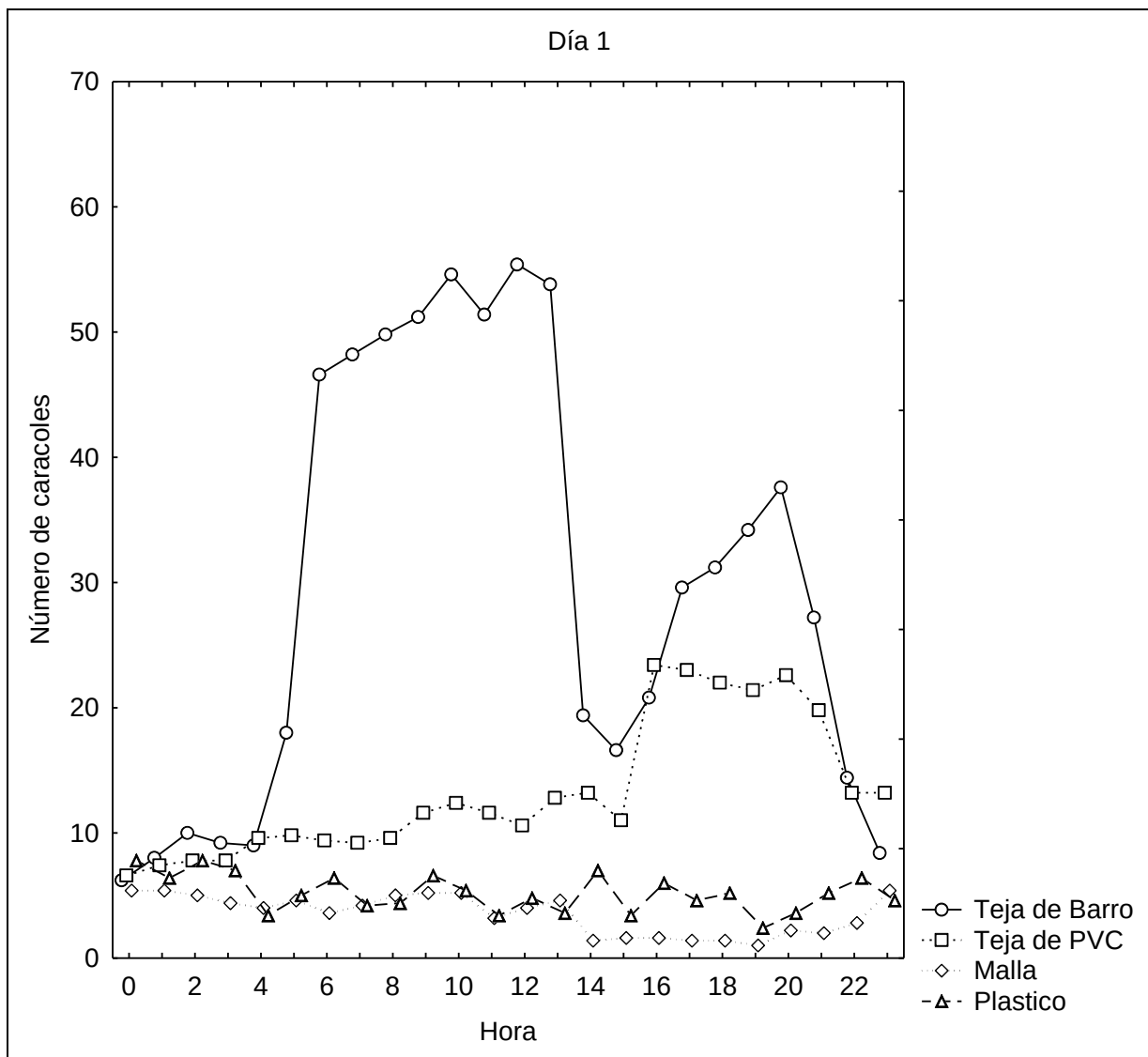


Figura 24. Preferencia ante sustratos durante el primer día de observación. Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

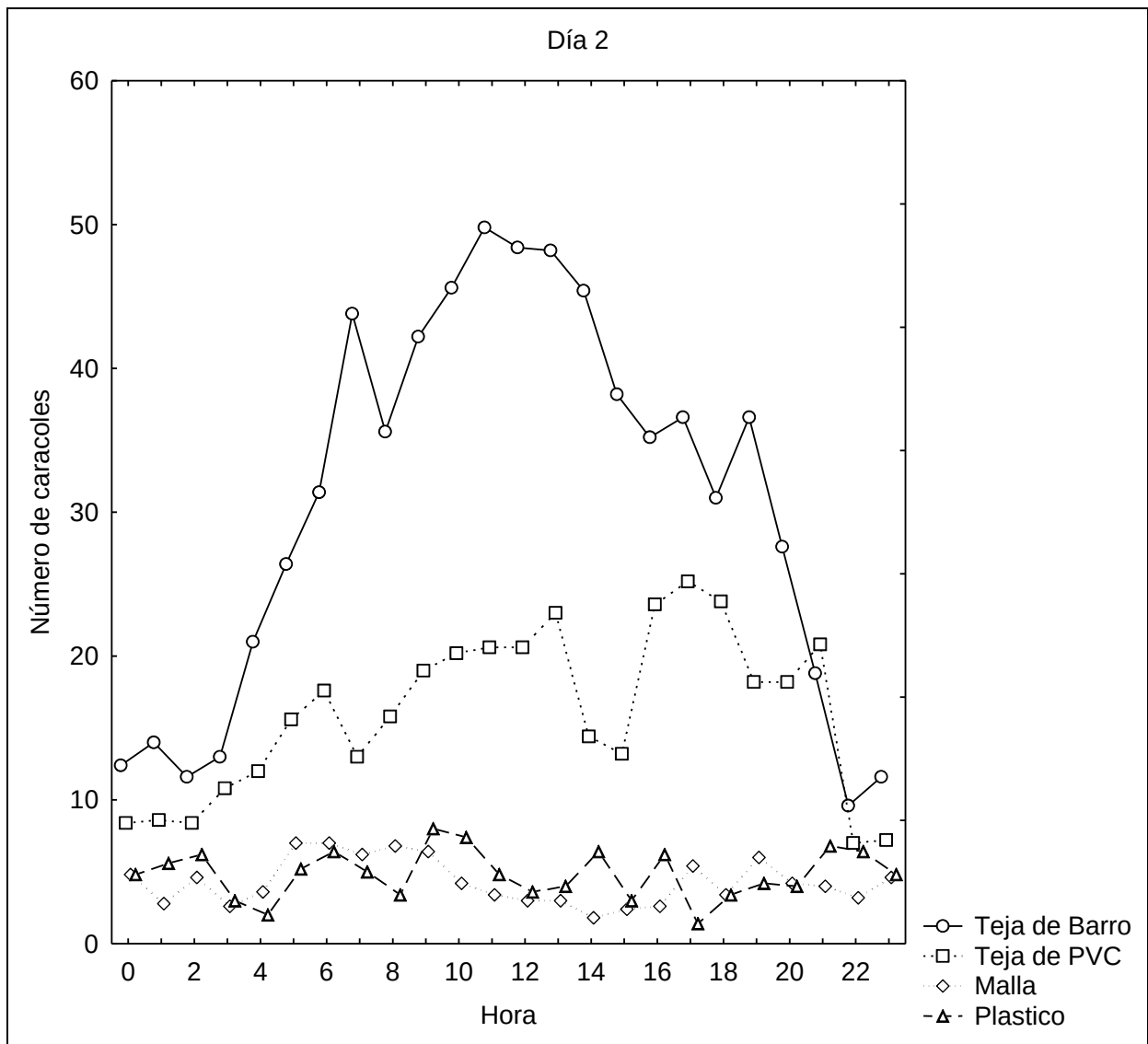


Figura 25. Preferencia ante sustratos durante el segundo día de observación.

Los mayores picos de actividad se asociaron con la adición de comida (11:00, 15:00 y 22:00 h), y durante periodos de baja luminosidad (ver Figuras. 22, 25 y 26) La variable de interacción social entre caracoles no fue observada a lo largo del estudio. Se observaron pocos caracoles flotando (de 2 a 3 caracoles) durante el estudio, lo cual sucedió durante las mismas horas en que se agregó el alimento.

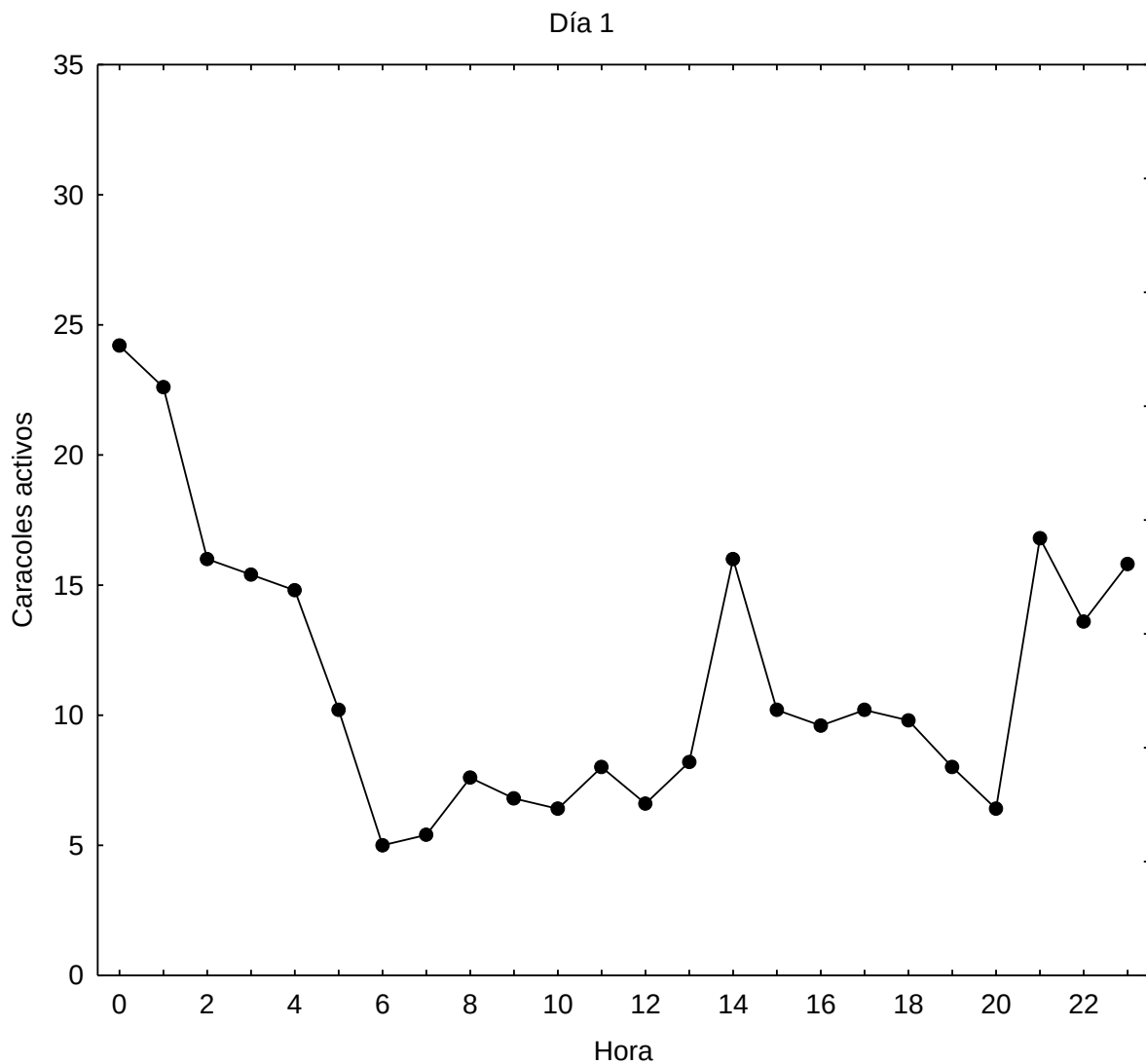


Figura 26. Actividad de los caracoles durante el primer día de observación (organismos desplazándose, comiendo o flotando).

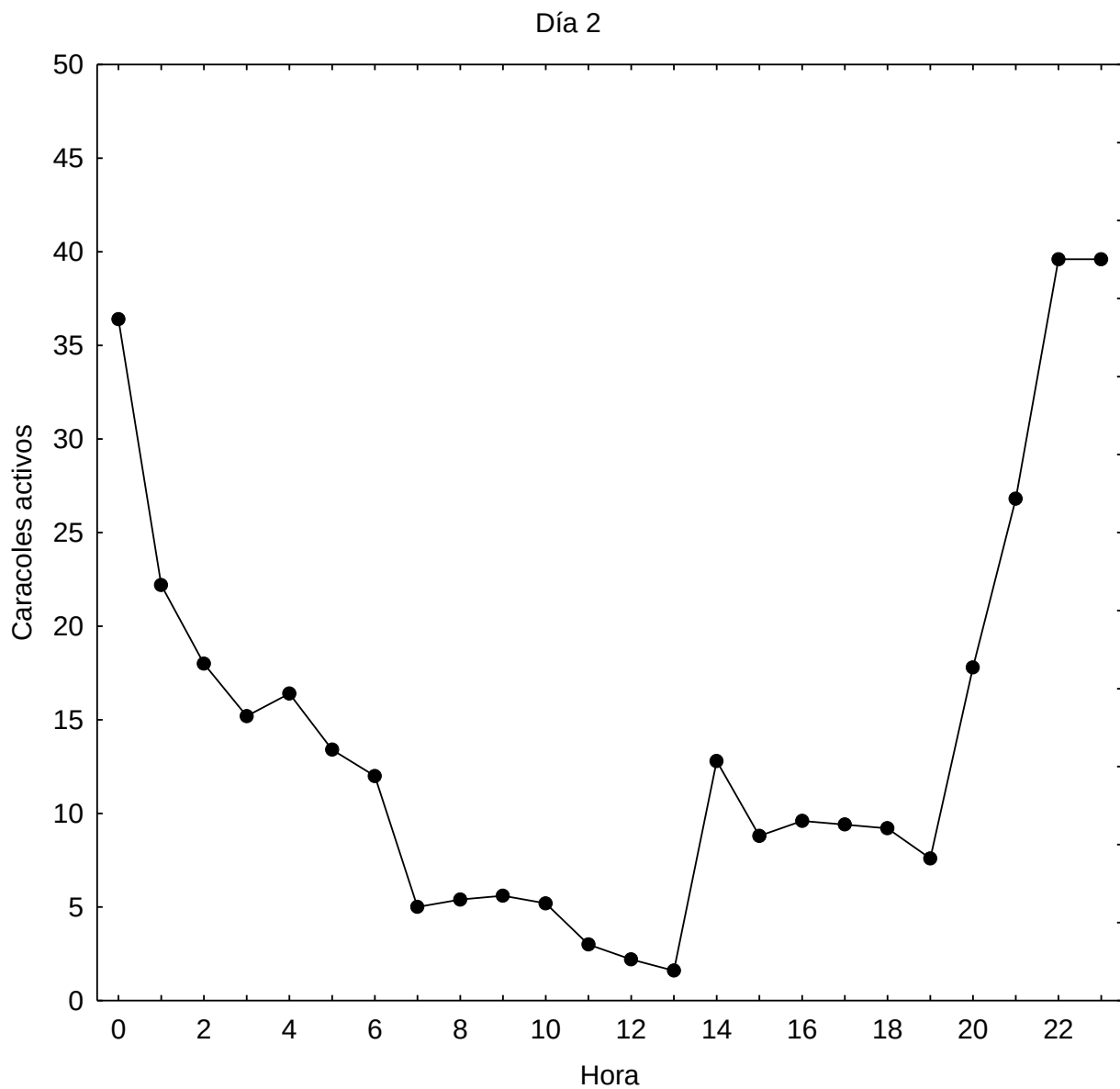


Figura 27. Actividad de los caracoles durante el segundo día de observación (organismos desplazándose, comiendo o flotando).

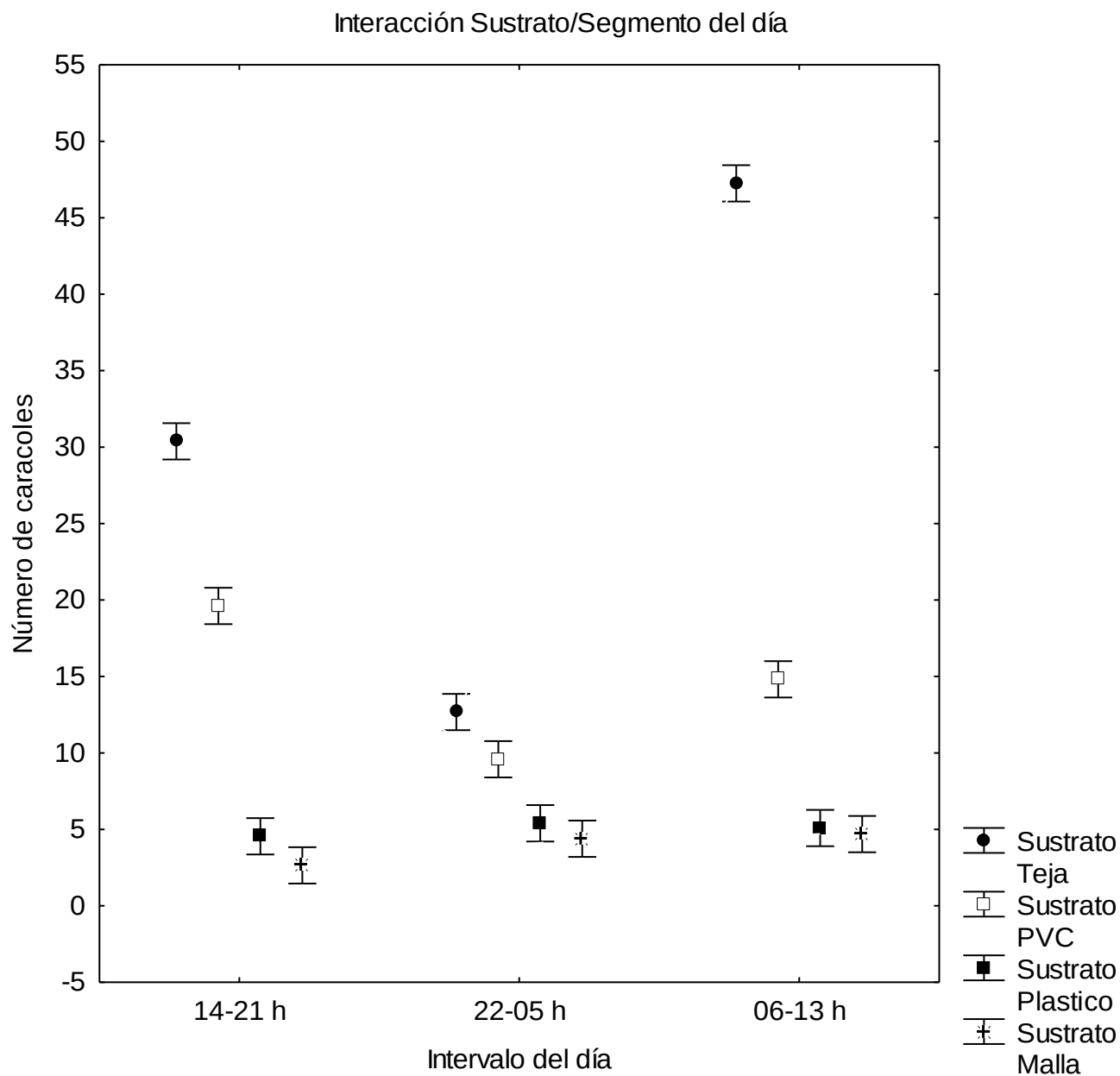


Figura 28. Interacción entre los intervalos de tiempo y la preferencia ante sustratos durante el estudio. Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

8.3. Ensayo 2 (Engorda de los caracoles)

8.3.1. Calidad del agua de cultivo

La temperatura del agua se mantuvo entre los 23.7 y 28°C, presentándose las mayores temperaturas entre los meses de julio y agosto, y fueron disminuyendo drásticamente a lo largo del mes de noviembre, llegando a estar por debajo de 24°C. (Figura 30).

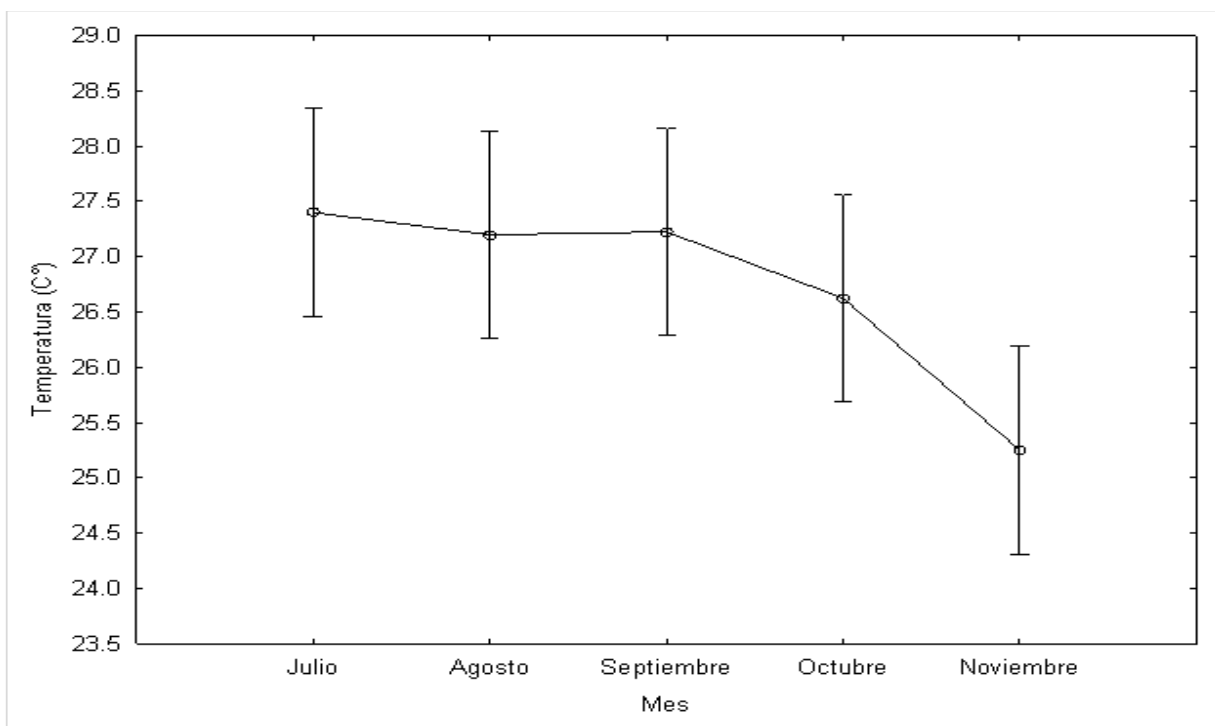


Figura 29. Resultados de la medición de la temperatura durante el cultivo (promedios mensuales). Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

En cuanto al oxígeno, se mantuvo estable entre 5.4 y 6.1 mg/l, presentando los valores más altos en los meses de agosto y octubre (Figura 28).

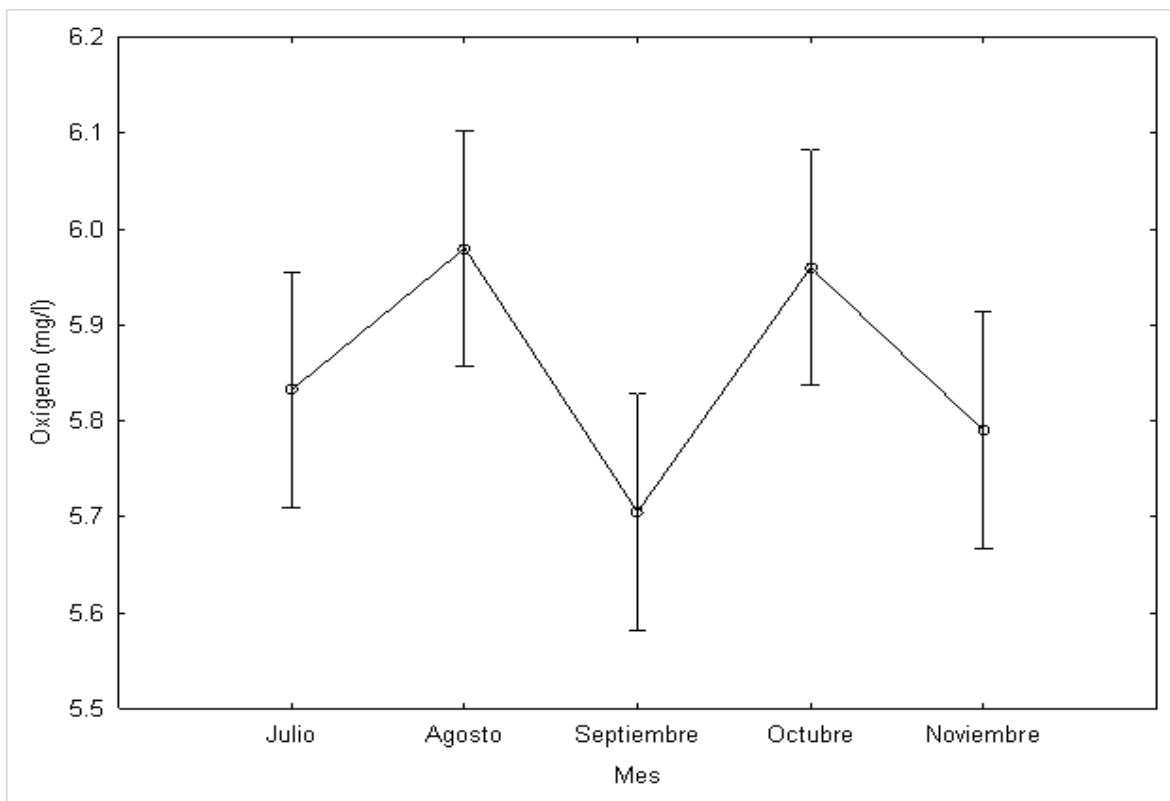


Figura 30. Resultados de la medición del oxígeno disuelto durante el cultivo (promedios mensuales). Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

De igual manera, el pH no presentó variaciones drásticas tuvo durante el cultivo, pues se mantuvo entre 7.45 y 7.92, con ligeras variaciones entre las semanas (Figura 29). El amonio se mantuvo por debajo de 1 mg/l durante casi todo el experimento, pero tuvimos un aumento al final del primer mes del estudio, alcanzando los 6 mg/l.

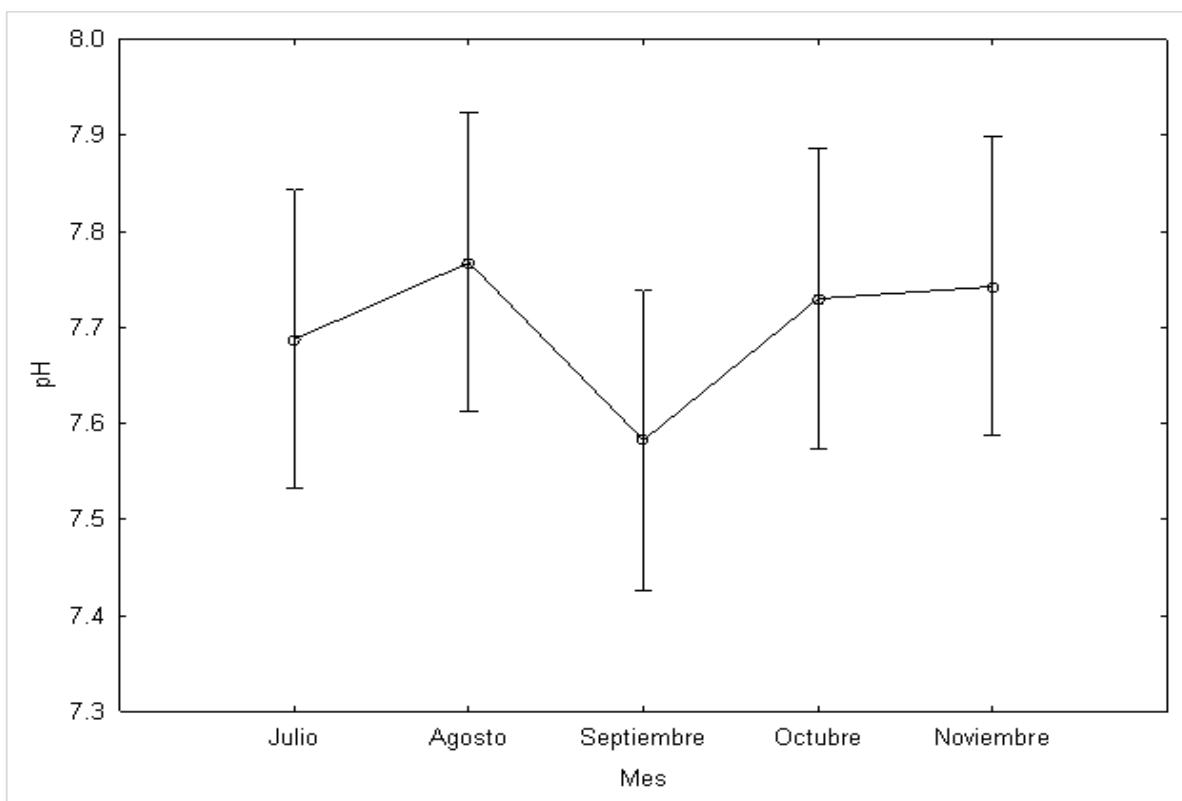


Figura 31. Resultados de la medición del pH durante el cultivo (promedios mensuales). Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

8.3.2. Crecimiento

Solo en el tratamiento control se alcanzó la talla mínima comercial (> 32 mm de longitud total) registrándose valores promedio de 9.35 ± 2.13 g y 32.31 ± 2.77 mm seguido por el tratamiento de PVC, cuyo promedio fue de 8.83 ± 2.31 g y 31.33 ± 2.85 mm. El tratamiento de teja de barro fue el que presentó los promedios más bajos de peso y longitud total 7.78 ± 1.88 g y 30.33 ± 2.48 mm, respectivamente (Figura 31 y 32). Debido a que la longitud y peso iniciales no presentaron diferencias significativas, las ganancias diarias de peso y longitud presentaron un patrón similar, promediando 0.05 ± 0.003 g/día y 0.13 ± 0.006 mm/día en el tratamiento control, 0.04 ± 0.003 g/día y 0.12 ± 0.002 mm/día en el tratamiento de PVC y 0.04 ± 0.001 g/día y 0.11 ± 0.004 mm/día en el tratamiento de teja de barro. Respecto a la sobrevivencia no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos de control, PVC y de teja con valores de $58.05 \% \pm 0.62$, 56.49 y 56.49

$\pm 1.62\%$ respectivamente (Figura 35). A pesar de ello, no se presentó una diferencia significativa entre tratamientos.

Cabe mencionar que, debido a condiciones ajenas al diseño experimental, como lo fue el movimiento de una parte de los organismos a un lugar con nula luz solar, aproximadamente una tercera parte de los organismos sembrados presentaban descalcificación en la concha, y se presentó una alta mortalidad de estos al inicio del experimento.

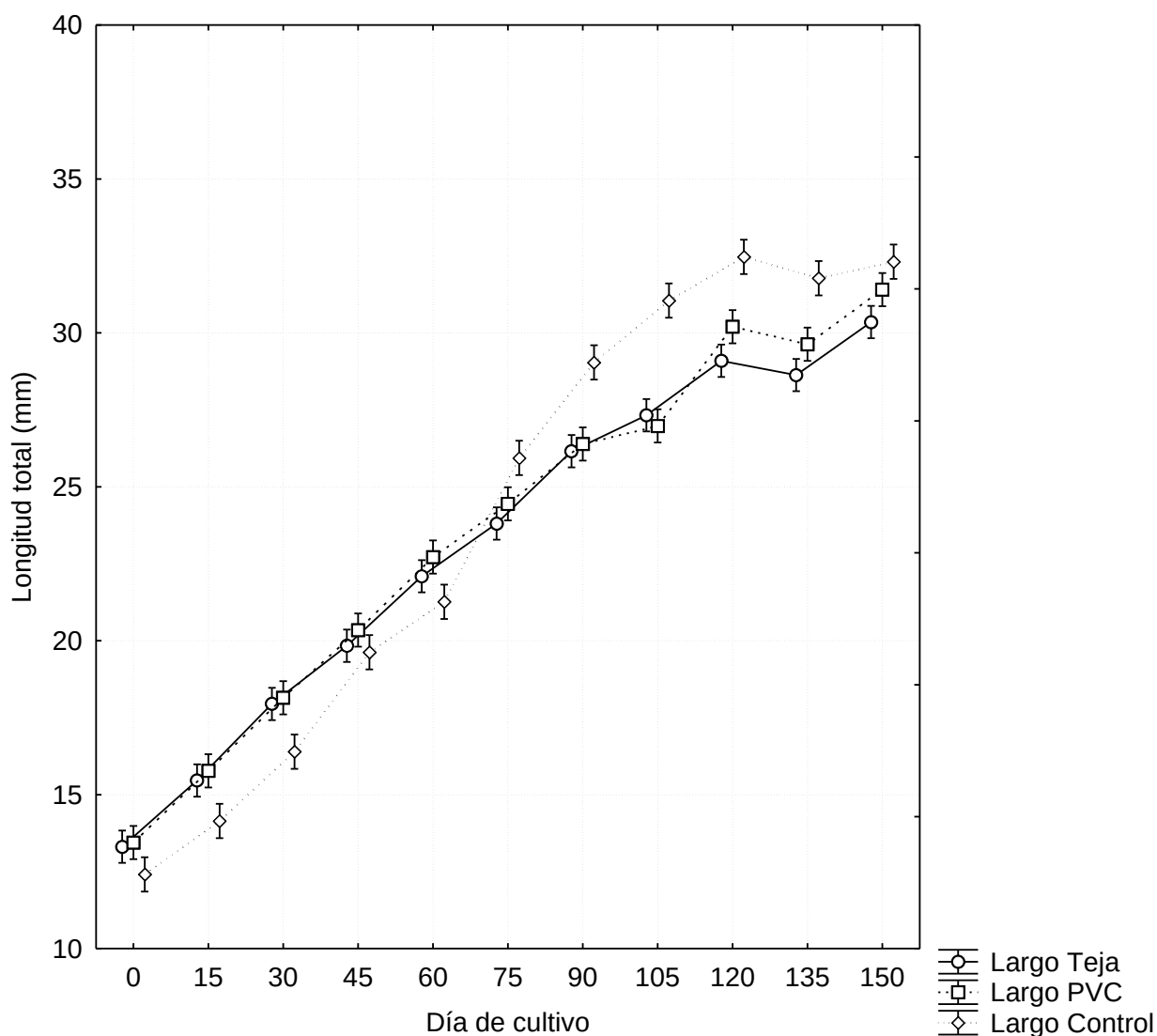


Figura 32. Comportamiento del crecimiento en longitud de los caracoles (*P. p. catemacensis*) durante el proceso de engorda. Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

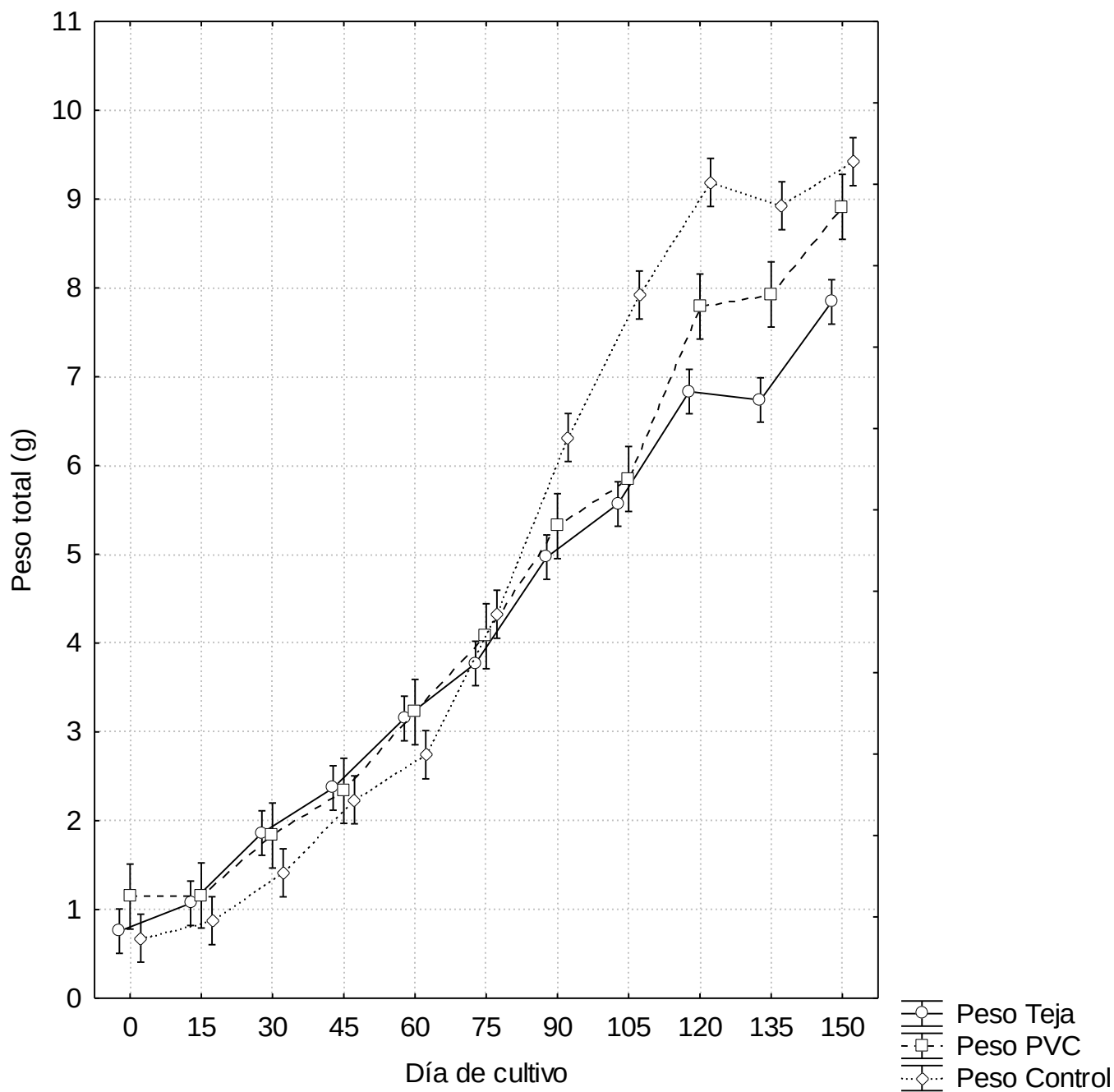


Figura 33. Comportamiento del crecimiento en peso de los caracoles (*P. p. catemacensis*) durante la etapa de engorda. Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

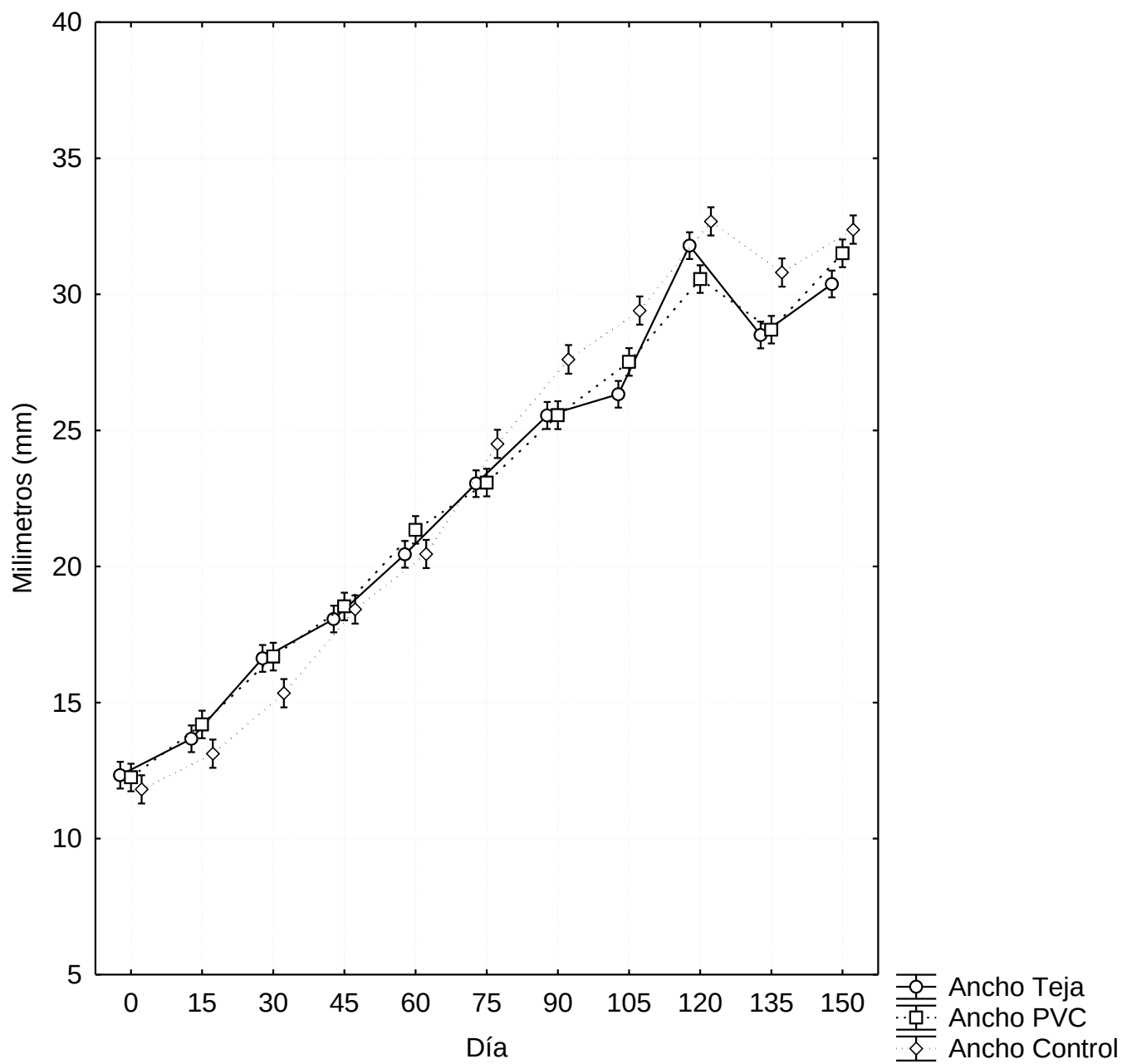


Figura 34. Comportamiento del crecimiento de la anchura de la concha de los caracoles (*P. p. catemacensis*) durante la etapa de engorda. Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

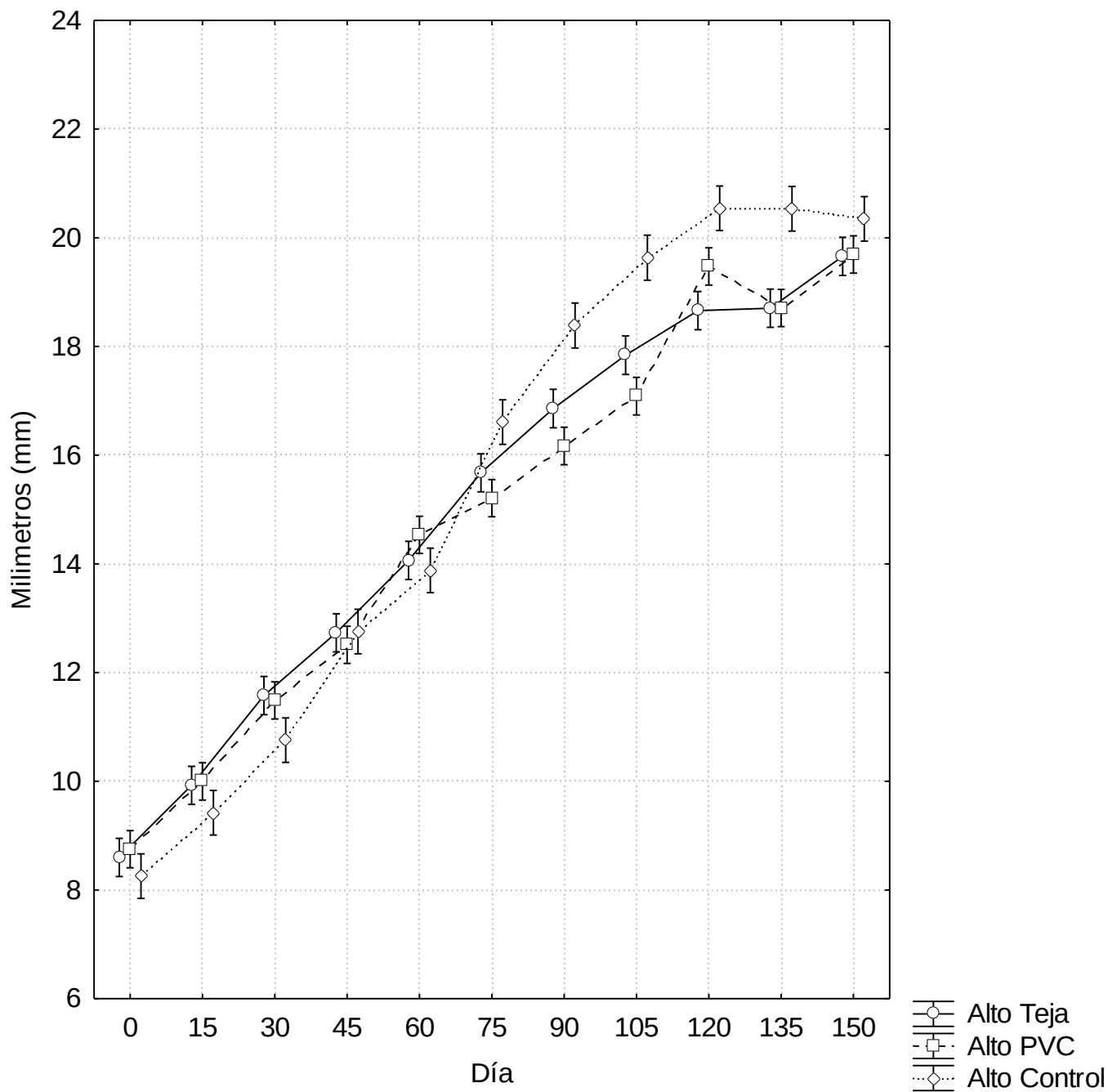


Figura 35. Comportamiento del crecimiento de la altura de la concha de los caracoles (*P. p. catemacensis*) durante la etapa de engorda. Las barras indican intervalos de confianza del 95%.

Tabla 2. Resultados obtenidos durante el cultivo de los caracoles. Se indican los valores de las variables de cultivo iniciales (día 1) y finales (día 150).

Variable	Teja de barro	PVC	Control
Volumen de cultivo (l)	800	800	800
Densidad de siembra (org/m ²)	420	420	420
Densidad de siembra (org/l)	3	3	2.2
Número inicial (orgs)	7,131	7,131	5,241
Longitud inicial (mm)	12.87 ± 2.19 ^a	13.17 ± 2.10 ^a	12.40 ± 2.53 ^a
Peso inicial (g)	0.69 ± 0.33 ^a	0.71 ± 0.31 ^a	0.67 ± 0.40 ^a
Tiempo de cultivo (d)	150	150	150
Supervivencia (%)	56.49 ± 1.62	57.31 ± 0.53	58.05 ± 0.62
Longitud final (mm)	30.33 ± 2.48 ^a	31.33 ± 2.85 ^b	32.31 ± 2.77 ^c
Peso final (g)	7.78 ± 1.88 ^b	8.83 ± 2.31 ^a	9.35 ± 2.1 ^a
Ganancia diaria en longitud (mm/d ⁺¹)	0.11 ± 0.004 ^a	0.12 ± 0.002 ^b	0.13 ± 0.006 ^c
Ganancia diaria en peso (g/d ⁺¹)	0.04 ± 0.001 ^b	0.04 ± 0.003 ^a	0.05 ± 0.003 ^a

*Superíndices distintos denotan diferencia significativa entre tratamientos.

9. Discusión

9.1. Reproducción y crianza

Se obtuvieron frezas prácticamente durante los todos los meses en que se realizó la reproducción, los organismos comenzaron a desovar a los dos días del traslado a los estanques, por lo que el periodo de adaptación fue muy corto. Esto concuerda con lo reportado para *Pomacea patula* por Meyer y Santos (2016), quienes mencionan que la puesta de frezas se da en la mayor parte del año, exceptuando el mes de febrero por la baja en las temperaturas en zonas tropicales. A pesar de ello, estos autores mencionan que, el porcentaje de eclosión es menor en los meses de enero a abril (más fríos), con un 46%, presentando una mayor eclosión en octubre, donde se alcanzaron un 89%. Mencionan que el porcentaje de eclosión se ve favorecido por las altas temperaturas, y se ve drásticamente afectado por temperaturas bajas.

En este estudio, el porcentaje de eclosión de las crías de *P. p. catemacensis* a partir de 390 ovas obtenidas fue del 54%. Este valor es superior a lo reportado para esta especie por Bautista *et al.* (2017) quienes reportan un 42% de eclosión en condiciones ambientales naturales (tanques al aire libre), en una zona muy cercana a la de este trabajo (Veracruz). El manejo de las frezas fue dejándolas en peceras cubiertas con malla para protegerlas. Por su parte de Jesús Navarrete y Bartola (2016) reportan para *Pomacea flagellata* un porcentaje de eclosión de 45%. El relativo éxito en el porcentaje de eclosión pudo deberse al adecuado trato que se les dio a las huevas, utilizando la metodología de Brito-Manzano *et al.* (2007), al rociar las frezas para evitar su desecación y la posible invasión de dípteros en el sitio. En su trabajo estos autores rociaron una vez al día las frezas, además de colocarles una malla para su protección, mientras que en este estudio se rociaron 3 veces al día y fueron cubiertas de igual manera. En los trabajos antes mencionados, se realizó la reproducción y cuidado de los huevos en zonas cálidas (Veracruz y Tabasco) por lo que, este factor puede ser un condicionante para el

éxito o fracaso de la eclosión de las frezas. Por su parte, Ruiz-Ramírez *et al.*, 2007, reportan un porcentaje de eclosión entre 27 y 79%, manteniendo a los organismos en condiciones controladas en acuarios conectados en sistemas de recirculación, alimentados con alimento comercial. Mencionan que la diferencia en el porcentaje de eclosión pudo deberse principalmente a la edad de las hembras en algunos de los sistemas.

Con respecto a la cópula, a pesar de que está reportado que los caracoles son más activos durante la noche, tanto en la etapa de reproducción como en el cultivo, se observaron caracoles copulando durante el día, lo cual concuerda con lo reportado por Oliva *et al.*, 2016 y sugiere que esta especie podría no limitarse a un ciclo circadiano en su actividad sexual, es decir, un comportamiento fijado evolutivamente para realizar alguna acción a horarios específicos. Estas observaciones difieren con lo reportado por Meyer y Santos (2016), quienes mencionan que esta especie, en efecto, limita su comportamiento de cópula a un horario nocturno, específicamente en las últimas horas en ausencia de luz. La razón de la cópula durante el día, podría deberse a que al estar bajo condiciones controladas o semi-controladas, pudieran llegar a detectar que están libres de depredadores.

Durante la etapa del cultivo también se colectaron las huevas por cada tratamiento, lo cual empezó a partir del tercer mes de cultivo, alrededor de 5 meses de edad de los caracoles. De acuerdo a esto, podríamos decir que nuestros organismos se encontraron cerca de lo llamado “maduración intermedia” por Carreón-Palau (2003), quien describe que esto sucede cuando los caracoles tienen medidas de 29.29 ± 4.9 mm de longitud y posteriormente se presenta la madurez total, a partir de los 35 mm de longitud. En total se recogieron un total de 327 frezas, donde el tratamiento control fue el mayor con 39%, seguido por el tratamiento de PVC con 32% y por último el tratamiento de teja con 29%. El orden de estos resultados coincide con el crecimiento obtenido para cada tratamiento, por lo que podemos

afirmar lo dicho por Carreón-Palau (2003) quienes mencionan que la madurez sexual se alcanza de acuerdo a la talla de los organismos.

En la última etapa de la crianza, por cuestiones del mantenimiento del sitio, una parte de los caracoles (aproximadamente 20%) del grupo de organismos con que se inició la engorda, y que se presentaban en el interior del laboratorio junto a una ventana que contaba con luz solar, fueron trasladados al interior del laboratorio, sitio en donde contaban con menos luz natural, ya que a pesar que se encontraban dentro de ventanales, la iluminación únicamente era artificial. Estos organismos empezaron a presentar una concha blanca, aparentemente por descalcificación, la cual se asoció con la falta de luz solar, factor que podría estar relacionado con la fijación del calcio y otros minerales. Se sabe que el calcio es un elemento fundamental para el desarrollo de la concha de los gasterópodos y de los moluscos en general, y en aguas con bajo contenido de calcio la concha suele ser frágil. Gracia-Lafuente (2011) menciona que la descalcificación en la concha en etapas iniciales de crecimiento puede desencadenar un retraso considerable en su desarrollo, llegando a presentarse organismos hasta cuatro veces más pequeños de lo normal. De acuerdo a Michel, 2012 este fenómeno puede estar relacionado con una acidificación en el agua o bien, una elevada concentración de cloro en el ambiente.

Este problema también puede desencadenar fracturas y perforaciones en la concha, lo que facilitaría la entrada de epibiontes que alteren el estado de salud de los organismos. Fontanillas-Perez, menciona, que, para el desarrollo de los caracoles, es recomendable un fotoperiodo de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. En el caso de nuestros organismos, a pesar de que no se midió la dureza del agua durante esta etapa del experimento, todos fueron mantenidos con el mismo suministro de agua, siendo únicamente los que se trasladaron a la zona sin iluminación los que presentaron este problema, y posteriormente desencadenó una mortalidad al inicio de la engorda.

9.2. Estudio de comportamiento

9.2.2. Preferencia ante sustratos

P. p. catemacensis, es un caracol endémico de la región de los Tuxtlas, con una alta aceptación gastronómica en la región sur del estado de Veracruz, y cuyas poblaciones silvestres han disminuido un 78% durante la última década (SEFIPLAN, 2018), por ello, es importante generar información básica sobre su comportamiento en cautiverio, con la finalidad de poder utilizarla para un futuro manejo acuícola de la especie.

Dichos hallazgos son importantes para abordar dos aspectos básicos en el diseño de sistemas de cultivo de gasteropodos, ya que los sustratos: 1) funcionan como refugios, y 2) permiten aumentar la superficie de fijación de los caracoles, por tanto, la densidad de organismos a cultivar. Con respecto al primer punto, Fraser (2008) y Martins *et al.*, (2012) mencionan que, en acuicultura, es importante buscar el bienestar de las especies manejadas, es decir, emular las condiciones de cultivo a las de la vida libre o silvestre de los organismos en la medida de lo posible. En el caso del tegogolo, es imprescindible mantener las condiciones físico-químicas y, en este caso, ambientales que permitan a organismos bentónicos, con poca movilidad, el poder refugiarse la mayoría del tiempo en el que su movilidad es prácticamente nula, como suele suceder en la naturaleza (Cooperativa de Pescadores Tanaxpi *com.per.*) con respecto al segundo aspecto mencionado, el incremento en la superficie de fijación de los caracoles, permitirían aumentar la superficie de cultivo. Buena parte de los artículos publicados sobre manejo de pomaceos en cautiverio, se realizan con densidades bajas, usualmente de 1 caracol/L (Iriarte y Mendoza-Carranza, 2007; Vázquez-Silva *et al.*, 2012; Souza-Junior *et al.*, 2012) o menos 0.14 y 0.07 org/l (Hernández-Vergara *et al.*, 2019) o en términos de superficie, se han manejado entre 70 y 160 org/m² en comparación con este trabajo, el cual contó con densidades iniciales de 3 y 2.2 org/l, lo que equivale a 420 org/m², terminando con densidades finales entre 1.4 y 1.3 org/l;

equivalente a 280 y 300 org/m², por lo que la utilización de refugios, que ocupen los pomáceos, es una opción viable para aumentar la biomasa por ciclo de cultivo.

Los organismos observados durante este estudio presentaron un notorio incremento en su actividad durante el periodo de menor luz durante el día (21:00-06:00 h), esto puede estar influenciado por diversas razones, por ejemplo, el hecho de que el tegogolo sea un organismo bentónico, usualmente expuesto a depredadores en su ambiente natural, como algunos peces omnívoros con tendencia a la carnivoría, como los cíclidos, tanto nativos como introducidos normalmente cíclidos introducidos omnívoros con tendencias a la carnivoría. En particular, la mojarra *Mayaheros urophthalmus* translocada al lago de Catemaco (Jiménez-García y Suárez-Morales, 2017) o *Thorichtys* sp (Lorán *et al.*, 2013) conocidos localmente como la “mojarra chogoma y chirina”, respectivamente. O incluso capturados por el ser humano, pues se menciona que, en ocasiones, la norma de pesca NOM-041-PESC-2004 relacionada con la hora (6:00 y 19:00 h) y talla mínima de captura (32 mm de longitud) no es respetada (Cooperativa de Pescadores Tanaxpi *com.per.*), así como porque es posible comprar pulpa de tegogolo, en la que es posible notar la presencia de organismos de tamaño considerablemente pequeño (menor a la talla mínima de captura), por lo que la actividad durante horas con poca luz podría deberse a un comportamiento anti-depredadores.

Otro factor importante relacionado con el incremento de actividad, podría ser la temperatura del agua, pues durante la noche se vio ligeramente disminuida, bajando de 26 a 25°C. Un ejemplo de esta preferencia térmica es el comportamiento de las hembras de este género, las cuales en el medio natural salen a ovopositar usualmente durante la noche (Vázquez *et al.*, 2011) mostrando que corresponde a una especie con fototactismo negativo (Amador- del Ángel, 2006), la razón de esto podría ser que una temperatura mayor podría propiciar su deshidratación (Figueroa, 2016); además, el desove puede durar al menos 2 a 3 h, dependiendo el tamaño de la hembra (*obs. pers.*) y facilitar su captura y/o

depredación, por lo que su copula y ovoposición podría ser más riesgosa durante el día (Vázquez- Silva *et al.*, 2011).

Autores como Brito *et al.* (2007) describen a los caracoles del género *Pomacea* como organismos sumamente resistentes a condiciones ambientales adversas, especialmente por tratarse de caracoles anfibios. Seuffert y Martín (2010) reportan que su comportamiento puede estar influenciado por factores como la cantidad de oxígeno disuelto (OD), pues mencionan que los caracoles de la especie *Pomacea canaliculata* suelen agruparse cerca de la superficie de los cuerpos de agua cuando el OD es limitado, llegando a encontrar cerca de la orilla o bien en sustratos emergentes para tener acceso a oxígeno atmosférico, de lo contrario permanecen en aguas más profundas. En el caso de nuestro experimento, al parecer, el oxígeno no fue un factor limitante para los caracoles, pues todas las réplicas contaban con una densidad relativamente baja (1.25 org/l ó 0.18 org/m²) y aireación constante (5 mg/l), además de que no fue común observarlos en la superficie respirando a través del sifón.

Se observó un mayor número de caracoles fijados en los sustratos durante el día, especialmente en las horas de mayor luz ambiental. Este comportamiento puede deberse a que durante el día se ven en la necesidad de protegerse de sus depredadores, por lo que la utilización de los refugios artificiales (sustratos inertes) simularían dichas condiciones en su ambiente silvestre. En los resultados se observa, que el sustrato de teja tuvo un mayor número de caracoles fijos durante todo el estudio, contrario a lo reportado por Watanabe *et al.* (2015), pues reportaron un cambio en la preferencia por el sustrato de *Pomacea bridgesii*, donde los organismos prefirieron el sustrato duro (guijarro) durante el día, y el suave y liso (paredes del estanque) durante la noche. La preferencia de los caracoles por el sustrato de teja sobre el resto podría deberse a la composición de las tejas, pues el hábitat natural del tegogolo es el Lago de Catemaco, de origen volcánico con un fondo arcilloso, con limos arcillosos y arenas gravas (Vázquez *et al.*, 2004). Además de esto, aparentemente la forma de las tejas (en media caña) sirvió como refugio para los organismos, pues es el sustrato donde pasaba menor cantidad de luz.

Existen algunos estudios sobre el comportamiento de las especies del género *Pomacea*, aunque el conocimiento es muy escaso, limitándose únicamente a la ovoposición. Se ha reportado que las hembras ovopositan incluso en sustratos suaves, pero usualmente se inclinan por los sustratos duros, un ejemplo de este comportamiento es la especie *P. flagellata*, quien presentó una mayor ovoposición en sustrato de plástico (De Jesús y Bartola, 2016), mientras que *P. insularum*, prefiere ovopositar en el medio natural en sustratos vegetales duros, como el taro (planta invasora de origen africano) (Burks *et al.*, 2010). De Jesús y Bartola (2016), reportan una preferencia para ovopositar en sustrato vegetal (mangle) sobre sustratos artificiales. Durante nuestro experimento, los sustratos de malla mosquitero y plástico presentaron considerablemente menos caracoles a lo largo de todo el experimento, probablemente porque al tratarse de una superficie suave y, ante todo, plana, lo cual no ofrecía ninguna posibilidad de resguardarse, y en el caso de la primera, traslúcida, lo que propiciaba menor protección a la luz que los otros dos sustratos (tejas de barro y de PVC).

Contrario a lo que sucede con el cultivo de peces, en el caso de los moluscos, particularmente los bivalvos, se han desarrollado estructuras que les brindan protección, favorecen su desarrollo y facilitan su manejo, por ejemplo, las bolsas colectoras, o las jaulas y cestas ostrícolas, las cuales son comúnmente usadas para el cultivo de especies comerciales de pectínidos (Cano *et al.*, 2006) o bien, el cultivo de abulón, donde usualmente se utilizan láminas de plástico con el fin de proveer a los organismos una superficie adicional (Sotelo, 2005), y en muchas ocasiones, estas láminas son previamente fitocolonizadas (Suástegui y Bazúa, 1996). Por ello, la utilización de diferentes sustratos como refugio para organismos bentónicos, como los caracoles, durante un proceso de manejo como lo es la engorda, podría ser una opción viable para brindarle un mayor bienestar durante el cultivo, además de que los proveería de mayor superficie de fijación, y protección contra condiciones ambientales (intensa luminosidad) o incluso posibles depredadores presentes en las granjas. Todo esto favorecería su rápido crecimiento y daría pie a la producción de esta especie en sistemas de cultivo acuícola.

9.3. Engorda

9.3.1. Parámetros físico químicos del cultivo

Los parámetros de pH, oxígeno, nitritos, y nitratos, no presentaron cambios notables a lo largo del experimento, y se encontraron dentro de los rangos de tolerancia para especies en acuicultura (FAO, 1993). El pH promedio durante el experimento fue de 7.3, pero al compararlo con el pH promedio en el Lago de Catemaco, resultó ligeramente menos alcalino, pues Loran *et al.* (2013) registraron valores de 8 a 9 en este sitio. En el caso del amonio, se presentó un pico después de un par de semanas de iniciado el experimento, probablemente debido a que las heces del caracol, el alimento no ingerido junto con la mucosidad secretada por los caracoles dentro de los tanques formó una combinación que propició dicho incremento, además, es importante mencionar que la forma y dimensiones de los tanques, no permitían el realizar una limpieza o extracción de los sedimentos como se hubiese deseado (Timmons *et al.*, 2002). De acuerdo con García-Díez (2002) el amonio en su forma no ionizada, además de otros desechos nitrogenados, resulta un problema común en la acuicultura intensiva, pues es altamente toxico para las especies acuáticas (Spotte, 1970).

Por esta razón, se optó por realizar recambios totales de agua cada 10 días una vez que se detectó la combinación de los desechos mencionados además de disminuyó el porcentaje de alimentación con el que se inició, el cual fue utilizado por Souza-Junior, *et al.* (2013), pero se decidió irlo disminuyendo de acuerdo a Iriarte y Mendoza (2007) lo cual resultó una acción importante para disminuir los valores de los compuestos nitrogenados en el agua del cultivo, este porcentaje estuvo por encima de lo reportado para esta especie por Vazquez *et al.*, 2012, quienes suministraron 1% de la biomasa total. Autores como Iriarte y Mendoza (2007) y García-Díez (2002) mencionan que una gran cantidad de proteína en el alimento, o bien un sobrante de éste dentro del estanque, como fue el caso de este estudio, son factores que pueden propiciar un aumento en los niveles de amonio. En el caso de este estudio, a partir del tercer mes de cultivo se disminuyó la cantidad de

proteína de 35 a 30%. Este último porcentaje parece el indicado para un adecuado crecimiento de acuerdo a Pérez-López (2019), quien reporta un crecimiento óptimo de esta especie al suministrarle un porcentaje proteico de 25%, reportando que los valores de proteína en musculo con esta alimentación fueron similares a los organismos silvestres. A pesar de ello, menciona no haber obtenido diferencias considerables en porcentajes con más o menos cantidad de proteína (15-30%).

La temperatura del agua en los tanques presentó una variación de 27°C a 23.7 °C, esto debido a que el cultivo estuvo expuesto a condiciones ambientales al realizarse a cielo abierto. Es de esperarse que la temperatura sea un importante parámetro para el tegogolo, ya que es un organismo poiquiloterma, autores como Estebenet y Cazzaniga (1992) mencionan que este parámetro es un factor fundamental en la biología y fisiología del género *Pomacea*, por ejemplo, en la maduración, la fecundidad, o longevidad de los organismos. Por ello, se optó por realizar el experimento incluyendo los meses más cálidos del año, pero fue inevitable que al final del estudio, los caracoles estuvieron expuestos a descensos de 4°C durante los meses de noviembre y diciembre debido a que la región costera del estado de Veracruz se ve afectada por el inicio de la temporada de nortes (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008), la cual disminuye considerablemente la temperatura atmosférica, y por consecuencia la del agua. Las temperaturas a lo largo del experimento fueron decreciendo desde los 29 °C en los meses de julio y agosto hasta decae a 23°C en los meses de noviembre y diciembre, promediando $26.7^{\circ} \pm 1.09$ °C una temperatura superior a la promedio anual del Lago de Catemaco reportada por Lorán *et al.* (2013) la cual es de 24°C. La temperatura más baja se presentó durante el periodo de nortes, en el mes de noviembre el penúltimo mes del experimento, afectando probablemente las bajas temperaturas el crecimiento de los caracoles, pues se observó un estancamiento 35 días antes de finalizar el experimento. A pesar de esto, no hubo una mortalidad considerable. Esto concuerda con lo reportado por Meyer y Santos (2006) quienes reportan un mayor crecimiento para esta especie en temperaturas cálidas, a pesar de que se tiene una mayor mortalidad reportando entre 56 y 81% a temperaturas por encima de los

30°C. mientras que temperaturas bajas (24-28 °C) reportan un menor crecimiento 7.8-9.2 mm y una menor mortalidad (10-55%). Por esta razón, a pesar de que el sitio de cultivo fue el indicado, para un cultivo futuro, lo mejor sea realizarlo en los meses más calurosos del año, o mejor aún, diseñar cultivos con aprovechamiento y conservación diaria de la radiación solar, por ejemplo, en invernaderos.

9.3.2. Alimentación

De acuerdo con Ramírez *et al* (2002), los caracoles del género *Pomacea*, a pesar de ser herbívoros preferenciales, no tienen problema alguno para adaptarse a una dieta con alimento comercial, que cuenta en su mayoría con proteína animal. Es por ello, que en este experimento se optó por utilizar una dieta de alimento peletizado para tilapia, y utilizar como complemento la lechuga para aportar un poco de proteína vegetal, como lo sugiere el trabajo de Ramírez *et al* (2002) quienes reportan que el suministro único ya sea de proteína animal o vegetal no es suficiente para satisfacer las necesidades nutricionales de estos organismos. Esto concuerda con lo reportado por Jiménez-García *et al.* (2013), quienes reportan un mejor crecimiento con la combinación de ambos tipos de proteína. A pesar de que los organismos de este género son preferentemente herbívoros, se ha observado que en cautiverio presentan comportamiento carroñero (Ramírez, 2002; Esquivel *et al.* 2014; Benavides *et al*, 2017). Estebenet (1995) sugiere que este tipo de adaptaciones pueden deberse a que en ciertas ocasiones el consumo de fuentes vegetales puede ser muy limitado, principalmente debido a la baja calidad del material vegetal, a defensas estructurales de las plantas, lo que en ciertas ocasiones provoca la pérdida de los dientes de la rádula, y a sustancias secundarias ocasionalmente presentes en los vegetales.

En experimentos realizados con caracoles de este género, se han utilizado distintos tipos y porcentajes de alimentación. Usualmente es utilizado el alimento comercial en diferentes porcentajes. Iriarte y Mendoza (2007) iniciaron con 15% de la biomasa total, disminuyendo a lo largo del experimento. El mismo porcentaje fue

utilizado por De Jesús-Navarrete y Bartola, (2016). Por su parte Ruiz- Ramírez *et al*, (2005) utilizaron 8% de alimento para carpa. Un porcentaje más bajo fue utilizado por Vázquez *et al*, 2016, quienes utilizaron 1% con diferentes alimentos comerciales.

Nuestro experimento inició con un porcentaje de alimentación de 15%, siguiendo lo reportado por Souza- Junior *et al* (2013), De Jesus-Navarrete y Bartola (2016) e Iriarte y Mendoza, (2007), quienes utilizaron esa cantidad. En nuestro caso este porcentaje tuvo que ser disminuido debido a las condiciones del cultivo, pues resultaba mucho alimento sobrante y esto complicaba controlar la calidad del agua. A pesar de ello, no se observó un cambio significativo en el crecimiento de los caracoles.

9.3.3. Densidad

Uno de los objetivos y retos que presentó este experimento, era aumentar la densidad de cultivo del tegogolo en un sistema semi-controlado. Se tomaron en cuenta reportes de cultivo para otras especies de Pomáceos. Para la especie *Pomacea flagellata* Brito- Manzano *et al*. (2007), trabajaron a una densidad de hasta 3.75 org/l obteniendo buenos resultados en crías de hasta un mes de edad. Iriarte y Mendoza para la misma especie trabajaron a una densidad de 1 org/l, mientras que Martinez-Carranza (2016) manejó una densidad de 0.16 org/l. En el caso del tegogolo, encontramos reportes de Ruiz- Ramírez *et al*. (2005) quienes trabajaron a 2.5 org/l, por su parte, Vazquez *et al*. (2012) trabajaron a 0.5 org /l, Jiménez- García *et al* (2013) sembraron 5 org/l en un lapso aproximado de dos meses. Por último, Forcelledo (2015) cultivo esta especie a 0.7 org/l. Basándonos en estos datos, se optó por sembrar a una densidad de 3 org/l, lo cual con ayuda de los sustratos podría ser posible durante un cultivo hasta la talla comercial.

9.3.4. Crecimiento

Este experimento tuvo una duración de 150 días (julio-diciembre). Durante este periodo, los resultados mostraron que el peso y longitud finales fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) en el tratamiento control (9.35 ± 2.13 g y 32.31 ± 2.77 mm, respectivamente) que en el de tejas de PVC (8.83 ± 2.31 g y 31.33 ± 2.85 mm y tejas de barro (7.78 ± 1.88 g y 30.33 ± 2.48 mm). La tasa diaria de crecimiento fue mayor en el tratamiento control (0.05 ± 0.003 g/día y 0.13 ± 0.006 mm/día), que en los tratamientos con tejas de PVC (0.04 ± 0.003 g/día y 0.12 ± 0.002 mm/día) y barro (0.04 ± 0.001 g/día y 0.11 ± 0.004 mm/día). En comparación con otros trabajos realizados para esta especie, encontramos que Vázquez *et al* (2012) cuyo experimento duró 195 días, a una densidad de 1 org/l promedió una GDL de 0.12 ± 0.02 mm/día y GDP de 0.04 ± 0.001 g/día. Jiménez- García *et al* (2015) realizaron un cultivo de 63 días obteniendo una GDP 0.01 ± 0.002 g/d. Por su parte Forcelledo (2015) realizó un cultivo de 70 días, promediando una GDL de entre 0.36 y 0.52 mm/día y GDP de entre 0.02 y 0.08 g/días.

Para la especie *Pomacea flagellata*, Iriarte y Mendoza (2007) obtuvieron una GDL de 0.515 ± 0.07 mm /día en 84 días, mientras que su GDP fue de 0.25 g/día. Es importante mencionar que en la especie *Pomacea flagellata* es significativamente más grande que *P.p. catemacensis*, por lo que es de esperarse que su rendimiento sea mayor.

A pesar de la escasa información que se tiene del caracol tegogolo, algunos autores sugieren que presenta ciertas ventajas que favorecen su manejo en sistemas acuícolas. Una de ellas es la amplia tolerancia a la temperatura al ser un organismo euritermo. Durante este estudio, se presentó un estancamiento en el crecimiento de los organismos durante los días que se presentaron las temperaturas más bajas (días 105-120). A pesar de ello, no se observó una mortalidad drástica por esta causa.

9.3.5. Supervivencia

La supervivencia de los organismos durante este estudio fue baja, en comparación a diferentes trabajos reportados para esta especie. Pues osciló entre 55 y 57% del total sembrado. Para esta especie Vázquez *et al* (2016) obtuvieron una supervivencia de entre 74 y 94%, trabajando en acuarios de 40 litros. Para la especie *Pomacea flagellata*, Brito- Manzano *et al*, 2007 obtuvieron un 88% de supervivencia. Trabajando con crías durante un mes en sistemas controlados. En trabajos no publicados, Jiménez- García *et al*, 2013 obtuvieron una supervivencia de 80%, mientras que Forcelledo (2015) obtuvo una supervivencia entre 85 y 93%. Los resultados obtenidos en este experimento, se asemejan más a los obtenidos por Iriarte y Mendoza, 2007, quienes trabajaron con la especie *P. flagellata* en un sistema semi intensivo abierto, más similar al utilizado en este experimento y donde promediaron entre 48 y 63% de supervivencia. Es importante mencionar, que la mayor mortalidad se observó en los primeros días del experimento (aproximadamente 30 días), en caracoles en los cuales se observaba un menor tamaño que el resto y la concha débil y de color blanco. Cabe mencionar que no fue posible contar con exactitud la mortalidad debido a las condiciones del cultivo. Iriarte y Mendoza (2007) mencionan que, por el rápido crecimiento de los organismos en cultivo, la concha tiende a ser más delgada y frágil que la de organismos salvajes, lo cual incrementa la posibilidad de una fractura durante el manejo de los sistemas de cultivo y esto consecuentemente incrementa la mortalidad general (Figura 36).

De manera general y de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo podemos concluir que la especie *Pomacea patula catemacensis*, podría ser explotada de mejor manera si se realiza su cultivo en sistemas controlados, en especial utilizando sustratos durante su cultivo, pues de este modo, se puede aumentar significativamente el número de organismos cultivados. Es de gran relevancia debido a la no muy favorable condición en la que se encuentra esta especie.

10. Conclusiones

1. Durante el ensayo de comportamiento de los caracoles, se observó un patrón en donde los organismos presentaron significativamente una mayor preferencia por los sustratos que ofrecían una opción de refugio (teja de barro y PVC) en comparación con los sustratos planos (plástico y malla).
2. En los ensayos de 24 h, se observó un patrón en las horas de mayor (22-05 h) y menor (06-13 h) actividad.
3. Durante el periodo de tiempo en que disminuyó la temperatura del agua ($>4^{\circ}\text{C}$) los caracoles no crecieron.
4. Los tegogolos alcanzaron un tamaño significativamente mayor al momento de la cosecha en el tratamiento control (sin sustratos), sin embargo, no se registró diferencia significativa en el peso final entre los tratamientos control y PVC.
5. El aumento en la superficie de cultivo y por tanto la densidad, no mostró asociación con la supervivencia de los caracoles.
6. El porcentaje de alimentación de 8 a 3% fue el indicado, pues se observó que el 15% de la biomasa fue excesivo.
7. La mortalidad relativamente elevada durante las primeras 4 semanas en todos los tratamientos, se asoció probablemente con la descalcificación en la concha que presentaban las crías.
8. El crecimiento y supervivencia de los caracoles utilizando tejas de PVC, junto con el incremento en la densidad de cultivo, sugieren que dicho tratamiento es la mejor opción para incrementar la biomasa durante su engorda, pues permitió incrementar en un 26.5% el número de organismos.

9. Recomendaciones

1. Probar nuevos materiales y/o diseños para la construcción de refugios que permitan incrementar la densidad de siembra de los caracoles.
2. Vigilar el cumplimiento de la NOM-041-PESC-2004 acerca de la talla mínima y horario de captura del caracol.
3. Continuar con el estudio de la conducta y comportamiento de esta especie en cautiverio para mejorar el manejo bajo el concepto de bienestar animal.
4. Realizar más estudios acerca del efecto de diversas variables del cultivo sobre el desempeño productivo de la especie.
5. Desarrollar un plan de educación ambiental y de conservación del caracol tegogolo y demás biota asociada al Lago de Catemaco y la región de Los Tuxtlas.

10. Bibliografía

- Amador del Ángel L., J. Mugartegui Esquiliano, F. Chin Caña, A. Arcos Pérez, & P. Cabrera Rodríguez. 2006. Características del desove del Caracol de agua dulce *Pomacea flagellata* livenscens en ambiente controlado. Comunicación Científica CIVA (<http://www.civa2006.org>), 916-921.
- Amateco, F.S. (2011). Composición del fitoplancton del Lago de Catemaco, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, 86 pp.
- Baqueiro, E., (1994). Principales recursos malacológicos del Golfo de México. en: Instituto Nacional de Pesca (Ed.), Pesquerías Relevantes de 936 J.P. Berry, O. Lind /Toxicon 55 (2010) 930–938 México, Tomo II. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México, pp. 131–142
- Barnes, R. D. (1977). Zoología de los invertebrados. Nueva Editorial Interamericana, México, D. F. 826 pp.
- Berry, J. P., y Lind, O. (2010). First evidence of “paralytic shellfish toxins” and cylindrospermopsin in a Mexican freshwater system, Lago Catemaco, and apparent bioaccumulation of the toxins in “tegogolo” snails (*Pomacea patula catemacensis*). *Toxicon*, 55(5), 930-938.
- Brito-Manzano N., V. Rivera-López, R. Fragoso-Pérez, E. de La Cruz Lázaro & M. Estrada Botello. 2007. Efecto de la densidad en la sobrevivencia de juveniles del caracol tote *Pomacea flagellata* bajo condiciones de laboratorio en Tabasco. *Proceedings of Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 59: 313-316
- Burks, R. L., Kyle, C. H., y Trawick, M. K. (2010). Pink eggs and snails: field oviposition patterns of an invasive snail, *Pomacea insularum*, indicate a preference for an invasive macrophyte. *Hydrobiologia*, 646(1), 243-251.
- Carreón-Palau, A. Uria-Galicia, E., Espinosa-Chávez, F., y Martínez-Jerónimo, F. (2003). Desarrollo morfológico e histológico del sistema reproductor de *Pomacea patula catemacensis* (Baker 1922) (Mollusca, Caenogastropoda: Ampullariidae). *Revista chilena de historia natural*, 76(4), 665-680.

- De Jesús-Navarrete, A. D. J., y Gil Tun, B. (2016). Caracterización de la ovoposición del caracol *Pomacea flagellata* (Say, 1827) bajo condiciones experimentales. *Revista peruana de biología*, 23(3), 287-292.
- Esquivel, A., Soto-Castor, R., Figueroa-Torres, G., Moreno-Ruiz, J. L., & Torres-Orozco, B. R. E. (2009). Diagnóstico del estado trófico y de la calidad bacteriológica del agua, sedimento y caracol (*Pomacea patula catemacensis*) del lago de Catemaco. 71-83.
- García-Sánchez L. (2017). Caracterización temporal de las parasitosis causadas por protozoarios y metazoarios en peces nativos e introducidos en el lago de Catemaco, Veracruz. Tesis de Grado. Maestría en Ciencias en Acuicultura. Instituto Tecnológico de Boca del Río.
- Jiménez-García, M. I., y Suárez-Morales, E. (2017). Complementary description of *Ergasilus arthrosis* Roberts, 1969 (Copepoda: Poecilostomatoida: Ergasilidae), a new parasite of cichlid teleosts in southeast Mexico. *Systematic Parasitology*, 94(1), 81-90.
- Keane, R.M., Crawley, M.J. 2002. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 164-170
- Lafferty, K. D. (1993). The marine snail. *Cerithidea californica*, matures at smaller sizes where parasitism is high. *OIKOS-COPENHAGEN*-, 68, 3-3.
- Lorán-Núñez R.M., Valdez-Guzmán, A.J., Martínez-Insunza, F. R., Gaspar-Dillanes, M. T. (2013). Pesquerías Continentales de México. Instituto Nacional de Pesca. 93-118.
- Martín, P. R., Estebenet, A. L., y Burela, S. (2005). Factors affecting the distribution and abundance of the commensal *Temnocephala iheringi* (Platyhelminthes: Temnocephalidae) among the southernmost populations of the apple snail *Pomacea canaliculata* (Mollusca: Ampullariidae). *Hydrobiologia*, 545(1), 45-53.
- Martínez Carranza, T. B. (2016). *Evaluación de cinco fuentes alimenticias en la reproducción de caracoles de agua dulce (Pomacea flagellata)* (Tesis de Doctorado, Universidad de El Salvador). 32-48
- Martínez-Palacios, C.A. y Ross, L. G. Ross. (1988). The feeding ecology of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Journal of Fish Biology*. 33, 665-670.

- Martins, C. I., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M. T., Zupa, W. y Planellas, S. R. (2012). Behavioural indicators of welfare in farmed fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(1), 17-41.
- Mendoza-Franco, E. F., Reina, R. G., y Torchin, M. E. (2009). Dactylogyrids (Monogeneoidea) parasitizing the gills of *Astyanax* spp. (Characidae) from Panama and Southeast Mexico, a new species of *Diaphorocleidus* and a proposal for *Characithecium* n. gen. *Journal of Parasitology*, 95(1), 46-55.
- Meyer-Willerer, A. O., y 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.
- Michel-Morfin, Jesus. (2012). Descalcificación de la concha de diferentes especies de *Conus* spp. En las Bahías de Cuastecomate y Tenacatita, Jalisco, México. Boletín
- Moreno, P., Sánchez, N., Aguilar, L., y Adriano Moran, C. (2009). Contaminación microbiana en el lago de Catemaco.
- Naranjo, E., y García-Cubas, A. (1985). Algunas consideraciones sobre el género *Pomacea* (Gastropoda: Pilidae) en México y Centro-América. 56: 603-606
- Naranjo-García, E. (2003). Moluscos continentales de México: dulceacuícolas. *Revista de Biología Tropical*, 51(3), 495-505.
- Naranjo-García, E., y Olivera-Carrasco, M. T. (2014). Moluscos dulceacuícolas introducidos e invasores. Especies acuáticas invasoras en México, 337-345. pp. 337-345
- NORMA Oficial Mexicana NOM-041-PESC-2004
- Oliva-Rivera, J. J., Ocaña, F. A., Jesús-Navarrete, A. D., Jesús-Carrillo, R. M. D., y Vargas-Espósitos, A. A. (2016). Reproductive aspects of *Pomacea flagellata* (Mollusca: Ampullariidae) at Bacalar lagoon, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(4), 1643-1650.
- Perera, G. y Walls, J. G. 1996. Apple snails in the aquarium. T. F. H. Publications Inc. Neptune City, New Jersey. 121 p.
- Pérez-López J. (2019). Determinación del requerimiento de proteína para el crecimiento del caracol Tegogolo *Pomacea patula catemacensis* (Baker, 1922). Tesis de Grado. Maestría en Ciencias en Acuicultura. Instituto Tecnológico de Boca del Río, 39-70.

- Pérez-Rojas, A., y Torres-Orozco, R. (1992). Geomorfología y batimetría del lago de Catemaco, Veracruz, México. In Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México (Vol. 19, No. 1, pp. 19-24).
- Rangel-Ruiz L.J. 1988. Estudio morfológico de *Pomacea flagellata* Say, 1827 (Gastropoda: Ampullariidae) y algunas consideraciones sobre su taxonomía y distribución geográfica en México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México 56(1985). Serie Zoología: 21-34.
- Ruiz-Ramírez, R., Espinosa-Chávez, F., y Martínez-Jerónimo, F. (2007). 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.
- Rumi A., D. Gutiérrez, V. Núñez y G. Darrigan. (2008). Malacología Latinoamericana. Moluscos de agua dulce de Argentina. Revista de Biología Tropical. (Int. J. Trop. Biol.), 56 (1): 77-111.
- Saavedra Martínez MA. 2006. Manejo del Cultivo de Tilapia. Managua Nicaragua. USAID, University of Rhode Island, University of Hawaii and CIDEA, USA. 22 p.
- Salas-Pérez, J. D. J., y Granados-Barba, A. (2008). Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, 21(3), 281-301.
- Salcedo, G. A. (2013). Acción patogénica de *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) sobre el caracol manzana (*Pomacea canaliculata* Lamarck), plaga de los cultivos de arroz (*Oriza sativa*) en la cuenca baja del río Daule, Guayas, Ecuador. *Avances en investigación agropecuaria*, 17(2), 53-56.
- Santamaría L., Pericás J., Carrete M. y Tella J. L. (2008). La ausencia de enemigos naturales favorece las invasiones biológicas. En: Invasiones biológicas. (M. Vilà, F. Valladares, A. Traveset, L. Santamaría, P. Castro, Eds.). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid, España, 215 pp.
- Sawangproh W, Round PD, Poonswad P (2012) Asian openbill stork *Anastomus oscitans* as a predator of the invasive alien gastropod *Pomacea canaliculata* in Thailand. *Iberus* 30:111–117
- SEFIPLAN (2016). Secretaria de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz. Sistema de información municipal, 1-8.

- SEFIPLAN (2018). Secretaria de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz. Sistema de información municipal, 2-7.
- Seuffert, M. E., y Martín, P. R. (2010). Dependence on aerial respiration and its influence on microdistribution in the invasive freshwater snail *Pomacea canaliculata* (Caenogastropoda, Ampullariidae). *Biological Invasions*, 12(6), 1695-1708.
- Sistema de información de Pesca y Acuicultura (SIPESCA) (2019). Recuperado el 11 de enero 2019 de Avisos de arribo 2018. <https://sipesca.conapesca.gob.mx/login.php>
- Soriano, J. L., Salgado, S. Q., y Tarruella, A. (2009). Presencia masiva de *Pomacea* cf. *canaliculata* (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Ampullariidae) en el Delta del Ebro (Cataluña, España). *Spira*, 3, 117-121.
- Souza Junior, E., de Barros, J. C. N., Paresque, K., y de Freitas, R. R. (2013). The effect of stocking density on the growth of apple snails native *Pomacea bridgesii* and exotic *Pomacea lineata* (Mollusca, Gastropoda). *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 85(2).754-759.
- Spotte S (1970) Fish and invertebrate culture: water management in closed systems. Wiley Interscience, John Wiley and Sons, New York, 145pp.

