



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y DE LA SALINIDAD EN EL DESEMPEÑO
FISIOLÓGICO DE LA ANÉMOMA *Aiptasia californica***

PRESENTA

GRECIA YAZMIN MOLINA LUNA

DIRECTOR

DRA. LUCÍA OCAMPO VICTORIA

ASESOR

M. EN C. MARISELA VALDEZ RUIZ

MÉXICO D.F. FEBRERO 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A Patricia Molina, gracias mamá por darme la oportunidad de lograr este sueño, por tus cuidados, consejos, complicidad, apoyo, paciencia, y amor incondicional ¡TE AMO!

A ti papá por tanto amor.

Para mi otra mamá la Bióloga María Eugenia Colmenares gracias por los comentarios para este trabajo, y por tanto cariño que me has dado.

Para la abuelita gracias.

A la Maestra Verónica Bolaños gracias por tu amistad y por tu apoyo incondicional

A la UNAM por darme mucho más que conocimientos en las aulas.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi casa durante tantos años, por permitirme tener una formación profesional y proporcionarme tantos aprendizajes y enseñanzas de vida.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste por haberme otorgado la beca de estudios, y por todas las facilidades otorgadas para este trabajo.

Sin duda alguna soy una persona con una enorme fortuna de tener a mi lado gente como la que he conocido hasta hoy, y que me han ido aportando enseñanza a mi vida. Quiero agradecer a todos ustedes porque de alguna u otra forma contribuyeron para que este trabajo se realizara.

A mi directora de tesis la Doctora Lucía Ocampo Victoria por brindarme el apoyo necesario para llevar a cabo este trabajo, por su amistad, paciencia, cariño y por siempre contestar a mis llamados.

A mi asesor interno la M. en C. Marisela Valdez Ruiz gracias por sus consejos, apoyo durante toda la licenciatura, comentarios y sobre todo por ser mí amiga.

A mis sinodales M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo gracias por sus conocimientos y amistad. A la Bióloga Yolanda Cortés gracias por las aportaciones a este trabajo por su amabilidad y por darme su amistad, Al Biólogo Ernesto Constanzo por sus comentarios, enseñanzas y amistad.

Al M. en C. Genaro Montaña Arias gracias por tus consejos, por siempre ayudarme cuando te pedía asesoría, por bríndame tu amistad, conocimientos, paciencia, tiempo, y enseñanzas.

Gracias a la jefa del ciclo intermedio la Maestra Bety por el apoyo durante la licenciatura y sobre todo por los consejos administrativos que dio y por brindarme su amistad. A si como al Maestro Armando Cervantes jefe de la carrera por todas las facilidades otorgadas.

A la Doctora Carmen Rodríguez Jaramillo, responsable del laboratorio de histología del CIBNOR, gracias por su amistad, enseñanzas, paciencia, risas, consejos de vida, por preocuparse por mí, y sobre todo por las grandes aportaciones que hizo a este trabajo.

A la Técnico María Eulalia Meza Chávez del laboratorio de histología del CIBNOR, gracias por sus enseñanzas, apoyo, paciencia, amistad, cariño, risas y por supuesto por la chorcha.

A Jorge Cobos del taller de maquinados del CIBNOR por las facilidades otorgadas, así como al laboratorio de ecofisiología y a sus técnicos en particular a Rosy Salgado por enseñarme el uso del Mulltizer y al laboratorio de respiración y su técnico donde se realizó el trabajo de investigación.

Gracias amigo, Ángel Flores por acompañarme, por tantas risas, por ser mi cómplice, a Daniela Reyes por tantas risas, complicidad y gracias por tu amistad. ¡Los quiero!

A Rogelio gracias por tu compañía en tantas noches de desvelo.

Gracias a mis compañeros de clase y ahora de vida, por acompañarme y preocuparse por mi; Mariana Sánchez, a los señores y Ahijados Viridiana Enríquez y Francisco Hernández.

A la M. en C. Himilce Velazco gracias estrellita por abrirme las puertas de tu casa y corazón, por compartir risas, lagrimas, idas a la playa, por esas comidas familiares, por hacerme sentir en casa, por cuidarme y preocuparte, por darme ánimo y no dejarme caer.¡¡Gracias!!.

A los de la “chorcha” sin ustedes la estancia en el CIBNOR no hubiera sido la misma, infinitas gracias por sus consejos, comentarios, compañía, risas y sobre todo por darme animo, Carmen Rodríguez, Eulalia Meza, Ricardo Díaz, Angélica Campos, José Luis García, y Sherley Copitos.

ÍNDICE

Resumen	
Introducción.....	1
Antecedentes.....	6
Justificación.....	7
Objetivos.....	8
Hipótesis.....	8
Hipótesis estadística.....	8
Método.....	9
Resultados.....	14
Discusión.....	25
Conclusiones.....	28
Recomendaciones.....	29
Bibliografía.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura interna y externa de un nematocisto.....	2
Figura 2. Foto de la anémona <i>Aiptasia californica</i>	5
Figura 3. Área de colecta de muestras biológicas.....	10
Figura 4. Fotos de la condición fisiológica que presentó la anémona <i>Aiptasia californica</i> al ser expuesta a 3 temperaturas y 3 salinidades experimentales durante 4 días	16
Figura 5. Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27,32 °C), y 3 salinidades experimentales (25, 35,45 UPS), en el número de zooxantelas en tentáculos de la anémona <i>Aiptasia californica</i>	17
Figura 6. Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27,32 °C), y 3 salinidades experimentales (25, 35,45 UPS), en el diámetro de la zooxantela.....	18
Figura 7. Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27,32 °C), y 3 salinidades experimentales (25, 35,45 UPS), en el área de la zooxantela.....	19
Figura 8. Corte longitudinal de tentáculos en <i>Aiptasia californica</i> expuesta a los diferentes tratamientos anémona aposintótica por exposición crónica a oscuridad.....	20
Figura 9 Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27,32 °C), y 3 salinidades experimentales (25, 35,45 UPS)....	21
Figura 10 Capacidad hipo-osmótica e hiper-osmótica registrada en la anémona <i>Aiptasia californica</i> expuesta a 3 temperaturas experimentales (23, 27,32 °C), y 3 salinidades experimentales (25, 35,45 UPS), durante 4 días.....	22
Figura 11 Efecto combinado de la exposición crónica a 3 temperaturas experimentales (23, 27,32 °C), y 3 salinidades experimentales (25, 35,45 UPS)...	24
Figura 12. Capacidad hipo-osmótica e hiper-osmótica registrada en la anémona <i>Aiptasia californica</i> expuesta a 3 temperaturas experimentales (23, 27,32 °C), y 3 salinidades experimentales (25, 35,45 UPS), durante 15 días.....	24

ÍNDICE DE TABAS

Tabla 1. Variación (media y desviación estándar) en los tratamientos experimentales del efecto de la temperatura y de la salinidad en el número de zooxantelas en tentáculos en la anémona *Aiptasia californica* durante 4 días de exposición. Se indica el peso promedio de las anémonas utilizadas y la supervivencia registrada.....15

Tabla 2. Variación en los tratamientos experimentales crónicos del efecto de la temperatura y de la salinidad en el número de zooxantelas en tentáculos en la anémona *Aiptasia californica* durante 15 días de exposición. Se indica el peso promedio de las anémonas utilizadas y la supervivencia registrada.23

Resumen

Las anémonas conforman un grupo de invertebrados bentónicos sésiles, y constituyen un valioso papel en el ciclo de vida de algunos organismos con quienes mantiene relaciones simbióticas. La simbiosis de las anémonas con zooxantelas se ha hecho evidente a raíz de los procesos de blanqueamiento relacionados al cambio climático. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto combinado de la temperatura y de la salinidad en la capacidad osmótica y el número de zooxantelas presentes en tentáculos como indicadores del desempeño fisiológico de la anémona, *Aiptasia californica*. Se expusieron en condiciones agudas (4 días) y crónicas (15 días) a grupos de anémonas en combinaciones de tres temperaturas (23, 27 y 32°C) y tres salinidades (25, 35 y 45 UPS). En cortes histológicos se midió y cuantificó el área, diámetro y número de zooxantelas y se midió la osmolaridad en la anémona y en el medio. En condiciones agudas la temperatura tuvo un efecto significativo en el número de zooxantelas presentes en tentáculos ($P \leq 0.05$) disminuyendo significativamente de 771 zooxantelas/ μ^2 a la temperatura más baja y la salinidad más alta, a 250 zooxantelas/ μ^2 a la temperatura y la salinidad más alta, observándose como blanqueamiento. El área y el diámetro de la zooxantela se redujeron significativamente a 32°C. La salinidad no tuvo efecto en el número, área y diámetro de la zooxantela ($P \geq 0.05$). La menor supervivencia se registró a 23°C y 25 UPS en condiciones agudas y crónicas y fue superior al 83%. La temperatura y la salinidad no tuvieron efecto significativo en la osmolaridad en la condición aguda, sin embargo para la condición crónica la temperatura tuvo un efecto significativo en la osmolaridad ($P \leq 0.05$). En la baja salinidad las anémonas mostraron una capacidad hiperosmótica tanto en condiciones agudas y crónicas, mientras que en las otras salinidades la capacidad osmótica puede variar de hiper a hipo-osmótica en función de la temperatura tanto en condiciones agudas como crónicas.

Palabras clave: anémona, temperatura, salinidad, zooxantelas, capacidad osmótica

Abstract

Sea anemones are a sessile benthic group forming a unique partnership with symbiotic algae known as zooxanthellae, and whose relationship has been recently investigated from bleaching events that are linked to climate change. The objective of this work was to study the combined effects of salinity and temperature change on the physiological capacity of the sea anemone *Aiptasia californica* and to determine the osmotic capacity and the number of zooxanthellae present in the tentacles. Three groups of 10 sea anemones were exposed to three temperatures (23, 27, and 32°C) and three salinity levels (25, 35, and 45 UPS) for acute (4 d) and chronic (15 d) conditions. Histological techniques were used to detect changes in number, diameter, area, and perimeter of the zooxanthellae and to determine osmolarity capacity. In acute conditions temperature had a significant effect ($P \leq 0.05$) in the number of zooxanthellae in tentacles decreasing significantly from 771 zooxanthellae/ μ^2 at the lowest temperature and highest salinity to 250 zooxanthellae/ μ^2 at the highest salinity and temperature. Both area and perimeter reduced significantly at 32°C. Salinity had no effect on the number, area, and diameter of zooxanthellae ($P \geq 0.05$). The lowest survival was registered at 23°C and 25 UPS in both chronic and acute conditions and over 83%. Temperature and salinity did not affect osmolarity during acute conditions, but temperature had a significant effect on osmolarity ($P \leq 0.05$) at chronic conditions. Only at lower salinities sea anemones experienced hyperosmotic capacity at both chronic and acute conditions.

Key words: sea anemone, temperature, salinity, zooxanthellae, osmotic capacity

Introducción

Generalidades de las anémonas

El phylum Cnidaria comprende un amplio grupo de animales integrados por medusas, anémonas, hidroides y corales; cuyos rasgos principales es la presencia de orgánulos especiales de ataque y de defensa llamados nematocistos donde se alojan las toxinas (Barnes, 1996).

Las anémonas conforman un grupo de invertebrados sésiles y bentónicos de la clase de los Antozoos que se encuentran ampliamente distribuidos en todos los océanos, ya que se les puede encontrar desde las aguas frías hasta las regiones tropicales, a profundidades que van desde la zona intermareal y hasta más de 1,000 m de profundidad. Las anémonas constituyen un importante eslabón en la cadena trófica, y un valioso papel en el ciclo de vida de una gran cantidad de organismos con quienes mantiene estrechas relaciones simbióticas (González, 2009).

En este phylum hay más de 10,000 especies que se caracterizan por ser organismos primitivos, carentes de órganos especializados ya que solo evolucionaron hasta la formación de tejido. Estos organismos se componen básicamente de un saco digestivo rodeado de una red nerviosa, una región gonadal, una región muscular delgada y una pared de protección (Barnes et al 1996). La boca procedente del blastoporo, casi siempre extiende una o más coronas de tentáculos alrededor de la boca; ausencia del aparato excretor y respiratorio, presencia de un aparato neurosensorial compuesto de una red nerviosa formada de protoneuronas y varios tipos de células sensoriales; una marcada tendencia al polimorfismo (Cruz, 2008).

En los cnidarios se observan dos tipos morfológicos distintos, el medusoide o de forma medusa, que presenta el esquema del cuerpo típico de los cnidarios

adaptados a nadar libremente, y la forma polipoide o hidroide adecuada a la vida sésil, (Hickman, 2009).

Nematocistos

La presencia de estructuras como los nematocistos, es una característica exclusiva del phylum, a la que se asocia su toxicidad, lo que les permite atrapar, aturdir, paralizar, o matar a la presa (Cruz, 2008).

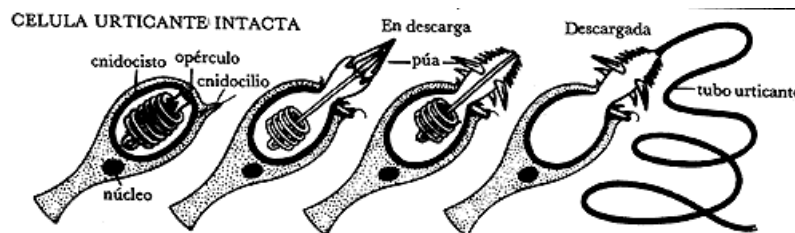


Figura 1. Estructura interna y externa de un nematocisto (Cruz, 2008)

Al carecer de un sistema muscular y nervioso apropiado para capturar a sus presa emplean un agente inmovilizador llamado nematocisto, cada uno de estos está constituido por una cápsula, un opérculo y un filamento enrollado en su interior que con frecuencia esta erizado de espinas (Fig.1). Cuando el nematocisto se descarga, el filamento se evagina y el contenido de la cápsula se elimina. La descarga ocurre cuando el nematocisto experimenta un estímulo químico o mecánico que detecta el cnidocilo, el opérculo se abre, y el agua atraviesa la pared de la cápsula aumentando la presión interna y se produce la evaginación del filamento (Shick, 1991).

Zooxantelas

Una gran cantidad de corales, medusas y anémonas contienen algas endosimbióticas (principalmente del género *Symbodinium*) conocidas como zooxantelas (Weis, 1991; Kühl, 1995) que se encuentran principalmente en los tentáculos y en el disco oral, aunque a veces suelen estar presentes en la columna (Weis, 1989). Éstas entran al huésped por ingestión directa y se multiplican, pero la población depende de los nutrientes y de la cantidad de luz que reciben.

La fotosíntesis de ésta, beneficia al huésped ya que una parte del carbono es liberado al cnidario. A pesar de la cantidad liberada potencialmente puede satisfacer el requerimiento de carbono diario del animal, la contribución de las zooxantelas a las necesidades metabólicas dependerá de la cantidad de luz disponible para realizar la fotosíntesis (Muller, 1985).

La relación simbiótica de las anémonas con las zooxantelas se ha hecho evidente a raíz de los procesos de blanqueamiento; término que comúnmente hace referencia a la expulsión de éstas o disminución en la concentración de pigmentos fotosintéticos, aunque se desconocen las causas exactas del blanqueamiento, este evento se le ha atribuido a la falta del fotosistema II debido a estrés ambiental, el cual, puede ocurrir por el incremento o descenso de temperatura del agua por encima o debajo de sus intervalos normales, sobreexposición a la luz, o por ausencia de ésta (Iglesias-Prieto, 1992).

Reproducción

El mayor éxito evolutivo de las anémonas son sus diversas estrategias de reproducción asexual, puede llevarse a cabo por alguno de los siguientes procesos:

- 1) Fisión longitudinal: un tipo de gemación donde la columna de la anémona presenta una hendidura longitudinal resultando dos partes, cada parte origina una anémona joven, y ésto da como resultado grupos grandes o clones de individuos genéticamente idénticos.
- 2) Laceración del disco pedal: se produce en individuos solitarios, en ella se produce una yema en el disco basal a medida que el animal se desplaza, y cuyos sucesivos fragmentos pueden originar hasta varios individuos.
- 3) Fisión transversal: cerca del extremo inferior de la columna se hace una fisión transversal generando un organismo nuevo.
- 4) Laceración basal por constricción de fragmentos de la columna y disco basal se desarrollan anémonas jóvenes.

5) Gemación: se origina una yema que posteriormente presenta el proceso de generación *in situ*. La yema se desarrolla de un solo tentáculo del adulto (Rodríguez, 2001).

En la reproducción sexual los sexos están separados y existe el hermafroditismo. Las gónadas se originan de las células endodermales o del mesenterio, y se encuentran en las paredes de los septos. Los huevos son fertilizados en el coelenteron (fertilización interna), después se presenta un desarrollo temprano comúnmente fuera del cuerpo de la anémona, originándose una larva plánula planctotrófica. En el desarrollo de la larva plánula se producen ocho septos que darán lugar a la boca, y tentáculos, y cuando el organismo encuentre un sustrato termina su desarrollo (González, 2009).

Ficha Biológica de *Aiptasia californica*

Descripción: Cuerpo cilíndrico, su extremo basal es un disco plano que funciona como pie, el margen es tentacular forma grandes mallas musculares los tentáculos que están en la mesoglea llegan a ser entre 70 y 80 son grandes, lisos y retráctiles presentan una coloración de marrón a verdoso. Hay dos sifonoglifos, los nematocistos de la columna miden alrededor 13.5 - 22.6 X 3.5 - 4.2 μ , los tentáculos de 22.6 - 28.2 X 3.5 - 4.2. Tienen una longitud de hasta 0.6 cm de diámetro. (Fig. 2)

Hábitat: vive en colonia o de manera solitaria, se encuentran en rocas, grietas, y fondos arenosos.

Alimentación: *Aiptasia* tiene algas simbióticas que producen oxígeno y fijan carbón por fotosíntesis, contiene zooxantelas especialmente en los tentáculos. Las anémonas se alimentan tanto de los productos que generan estas algas como de las presas de zooplancton, que capturan con sus tentáculos.

Tipos de reproducción: Asexual por laceración basal de forma rápida y eficiente, ya que reptan lentamente sobre el sustrato dejando a su paso pequeños trozos de tejido, de los cuales se desarrollan nuevos y pequeños individuos

Sexual: los sexos están separados y existe el hermafroditismo. Las gónadas se originan de las células endodermales o del mesenterio, y se encuentran en las paredes de los septos. Los huevos son fertilizados en el coelenteron (fertilización interna), después se presenta un desarrollo temprano comúnmente fuera del cuerpo de la anémona, originándose una larva plánula planctotrófica. (Rodríguez, 2001).

Taxonomía

Reino Animalia

Subreino Radiata

Phylum Cnidaria

Clase Anthozoa

Subclase Hexacorallia

Orden Actiniaria

Suborden Nynantheae

Infraorden Thenaria

Familia Aiptasiidae

Genero *Aiptasia*

Especie *Aiptasia californica* (Carlgren, 1952)



Figura 2. Foto de la anémona *Aiptasia californica*.

Antecedentes

Existe una carencia casi absoluta de trabajos sobre aspectos básicos de la biología y ecología del género *Aiptasia*.

Weis (1991) determinó que la presencia o ausencia de luz afecta a las zooxantelas de las anémonas en un estudio donde mantuvo por dos semanas a las anémonas en periodos de 12 horas luz y 12 oscuridad, con agua de mar, y recirculación constante del aire, a una temperatura de 25°C. El observó una disminución de las zooxantelas, y una baja en la producción del CO₂.

En otro estudio con la anémona *Aiptasia* se señala que a las temperaturas elevadas pueden afectar la simbiosis de los dinoflagelados y con ésto una disminución en la densidad de población de las algas simbióticas ocasionando un blanqueamiento (Celvin, 1997). Posteriormente Dunn (2002) señala que cuando *Aiptasia* es sometida a estrés por calentamiento, el blanqueamiento se debe a la necrosis de las células del endodermo de la anémona. El blanqueamiento también puede causar al cnidario una disminución en la captación y retención de nitrógeno inorgánico Kühl (1995).

Se sabe poco acerca del mecanismo de regulación osmótico y en particular la capacidad osmótica de los cnidarios, ha sido pobremente estudiada. El estrés osmótico puede ocurrir debido a los cambios en la osmolaridad del medio ambiente principalmente por la salinidad, afectando la función biológica de la célula de la anémona (Lang et al.1998).

La endosimbiosis de la anémona crea una circunstancia única osmótica, el hospedero no sólo es responsable de equilibrar su osmolaridad interna con respecto a la del entorno externo, sino también debe mantener un ambiente osmótico compatible para su simbiote, que a su vez puede contribuir a la osmolaridad a través de flujos o intercambios moleculares. Estas asociaciones se

caracterizan por el intercambio osmótico en condiciones adecuadas, al existir algún cambio en su osmorregulación del animal, la zooxantela puede ser degradada, provocando blanqueamiento a la anémona (Mayfield et al. 2007). Por tal motivo es importante el estudio de la osmorregulación tanto del animal como de su zooxantela para poder predecir si los cnidarios se mantendrán ante el cambio climático y otras perturbaciones antropogénicas.

En cuanto *Aiptasia californica*, no existen antecedentes respecto al efecto que tienen diversos factores ambientales como salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y luz, por lo que es importante realizar investigaciones que evalúen cómo afectan estos factores ambientales en el desempeño fisiológico de la anémona.

Justificación

En años recientes ha aumentado la preocupación sobre el impacto que tienen las actividades humanas dentro de los ecosistemas marinos por la modificación de los parámetros que rigen el desarrollo de los organismos, como son: temperatura, pH, oxígeno disuelto, y nutrientes.

La anémona, *Aiptasia californica*, es un recurso marino característico en aguas del Golfo de California, cuyos avances en el conocimiento de la especie ha sido muy limitado ya que ha sido pobremente estudiada en sus aspectos taxonómicos y biológicos. Es importante realizar estudios que aborden aspectos básicos de las funciones biológicas de la anémona, tales como reproducción, crecimiento, supervivencia y su relación con variables ambientales como la temperatura y la salinidad. Esta información podrá ser utilizada como indicadores fisiológicos que pueden indicar intervalos de temperatura y salinidad, favorables para la especie que permitan entender a mayor detalle algunos aspectos del papel funcional de la anémona en el ecosistema.

Objetivo General

Determinar la capacidad fisiológica para tolerar variaciones en la temperatura y en la salinidad en la anémona *Aiptasia californica*.

Objetivos Particulares

1. Determinar la supervivencia y la capacidad osmótica en la anémona *Aiptasia californica* cuando es sometida a variaciones en la temperatura y en la salinidad.
2. Determinar el tamaño y el número de zooxantelas en la anémona *Aiptasia californica* cuando es sometida a variaciones en la temperatura y en la salinidad.

Hipótesis

La supervivencia y la capacidad fisiológica de la anémona, *Aiptasia californica*, se modificará cuando es sometida a condiciones hipotónicas e hipertónicas en la salinidad, en combinación con cambios en la temperatura que afectarán directamente al endosimbionte, por lo que la anémona no podrá mantener constante sus zooxantelas en aquellas combinaciones de temperatura-salinidad que rompan el equilibrio fisiológico. La capacidad para tolerar estos cambios podrá ser modificada por el tiempo de exposición a estos factores.

Hipótesis estadística:

Ho:

No existen diferencias significativas en la supervivencia, la capacidad osmótica, el número y tamaño de zooxantelas en la anémona, *Aiptasia californica*, cuando es sometida a 3 temperaturas experimentales combinadas con 3 salinidades experimentales.

Ha:

Existen diferencias significativas en la supervivencia, la capacidad osmótica, el número y tamaño de zooxantelas en la anémona, *Aiptasia californica*, cuando es sometida a 3 temperaturas experimentales combinadas con 3 salinidades experimentales.

Método

Área de estudio

La Bahía de la Paz se encuentra ubicada en la parte sureste de la Península de Baja California Sur; entre los 24°12'11.5'' de latitud Norte y los 110°31'45.4'' de longitud Oeste (Fig. 3). Tiene forma semielíptica con su eje mayor orientado en dirección nornoroeste–sursureste; está limitada hacia el oeste y sur por tierra firme, hacia el norte y oriente por las aguas del Golfo de California y las islas Espíritu Santo y Partida. Tiene una longitud de 90 km y su ancho es de 60 km con un área aproximada de 4,500 km². Se comunica libremente con las aguas del Golfo de California a través de una boca principal ubicada entre Punta Cabeza Mechudo y el extremo norte de isla Partida. Al sureste también se comunica con el Golfo de California a través de una boca secundaria (canal San Lorenzo) ubicada entre el extremo sur de isla Espíritu Santo y Punta las Pilitas (Vásquez, 2010).

Su profundidad máxima excede los 400 m, con fondos de arena y fragmentos de carbonato de calcio. La concentración de oxígeno disuelto es superior a los 5.0 ml/L hasta los 20 m, la temperatura superficial oscila alrededor de 21°C, y la salinidad igual o superior a los 35 UPS (Balart, 1995).

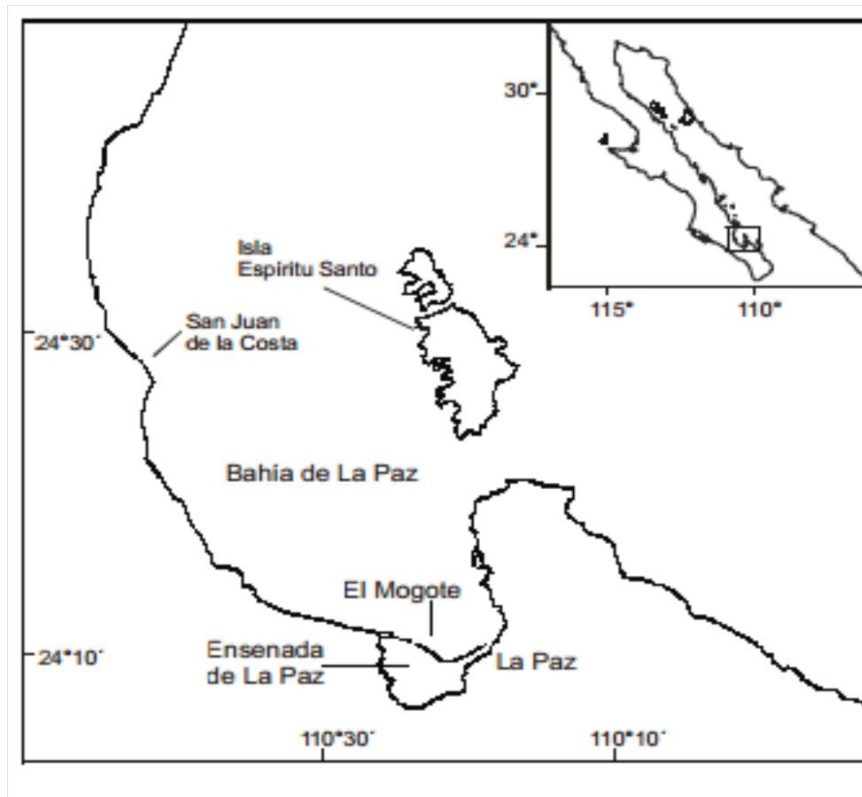


Figura 3. Área de colecta de muestras biológicas.

Los climas que prevalecen son los secos semicálidos y cálidos, cuya característica principal son lo extremo de sus temperaturas diurnas y la gran sequedad ambiental, ello se debe a la interacción de los factores: latitudinales, el relieve y las corrientes marinas. La temperatura anual promedio para todo el estado es de 25°C, con máxima de 43°C y mínima de 18°C (Salinas, 1990).

Origen, obtención y mantenimiento de los organismos experimentales

Se colectaron aproximadamente 600 anémonas adultas de *Aiptasia californica*, de la población natural residente en los estanques supralitorales del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), de La Paz, Baja California Sur. Las anémonas fueron trasladadas en contenedores de plástico de 4 L al Laboratorio de Respiración donde se acondicionaron de la siguiente manera:

Acondicionamiento en el Laboratorio

Se eliminó materia orgánica y fauna acompañante, que se colectó con las anémonas. Se colocaron en acuarios de vidrio de 40 L de capacidad que fueron llenados con agua marina filtrada a 1 μm y 35 UPS. La temperatura se mantuvo constante a 28°C con ayuda de calentadores sumergibles con termostato y aireación constante, conectada a la línea de suministro de aire del laboratorio. Las anémonas se tuvieron en fotoperiodo de 12 h luz-obscuridad con ayuda de lámparas fluorescentes de luz azul especial para acuarios de agua marina, y controladores electrónicos para el encendido y apagado de la lámpara.

Se monitorearon a las anémonas tres veces al día, para el registro de supervivencia y en caso de registrarse muertas, éstas eran retiradas. Se alimentó a los organismos dos veces por semana con nauplios de *Artemia franciscana* de la marca Biogrow que se produjeron en el laboratorio, los organismos permanecieron con estos cuidados durante un mes, periodo que se les dio para su aclimatación, observando que con estas condiciones se puede tener a los organismos en cautiverio.

Diseño experimental

Se realizó una serie de pruebas preliminares para definir los intervalos de temperaturas y salinidades a evaluar. Las temperaturas utilizadas fueron 23, 27 y 32°C y las salinidades 25, 35 y 45 UPS. Para cada combinación salinidad-temperatura se utilizaron 5 anémonas con 3 réplicas para un total de 15 anémonas expuestas para cada tratamiento.

En el caso del bioensayo agudo, el tiempo de exposición a cada tratamiento experimental fue de 4 días. Mientras que para el bioensayo crónico el tiempo de exposición fue de 15 días.

Bioensayo Agudo

Para cada salinidad experimental se utilizaron tres baños termorreguladores marca VWR modelo 1225, COLE PARMER modelo 1266-02, y LAUDA modelo RE104, previamente calibrados para cada temperatura experimental. En cada tratamiento

se utilizaron 15 anémonas que fueron seleccionadas al azar del acuario de mantenimiento. Las anémonas fueron mantenidas por 72 horas en ayuno, previo al inicio de cada bioensayo, cada ejemplar se pesó en un balanza digital COLE modelo XT 220A (0.01 g precisión), para finalmente ser colocadas de manera individual en 15 contenedores de plásticos que fueron llenados con 100 ml de agua marina filtrada a 1 μ y 35 UPS a una temperatura de 28°C.

Los organismos permanecieron en esta condición durante una hora para que se relajaran debido a la manipulación. Transcurrido este periodo se realizó un recambio de agua y se llenaron los contenedores con la salinidad experimental previamente preparada, se ajustaron los baños termo reguladores para subir la temperatura a 32°C o bajar la temperatura a 23 y 27°C. Este procedimiento tomó en promedio 10 minutos. Las anémonas permanecieron en las condiciones experimentales durante 4 días, a excepción del bioensayo de 45 UPS donde permanecieron por 3 días.

Se llevaron a cabo monitoreos diarios de la salinidad, cada 3 horas, con ayuda de un refractómetro, en caso de que aumentara se ajustaba con agua destilada para que se mantuviera el tratamiento experimental, a la par se registraron condiciones generales del organismo y supervivencia. Para el registro de la temperatura se utilizó un registrador electrónico de alta frecuencia (HOBO).

Cada 24 h se realizaba un recambio total del agua de cada contenedor. Una vez transcurrido el tiempo de exposición para cada tratamiento experimental se sacrificaron 10 anémonas para su análisis histológico. Para evitar la contracción de los tentáculos, previo a la fijación, se colocó a la anémona en una placa de hielo de agua de mar durante 3 minutos.

Bioensayo crónico

Para cada combinación salinidad-temperatura se utilizaron 5 ejemplares con 3 réplicas para un total de 15 organismos. De acuerdo a lo descrito en el bioensayo

agudo se llevo a cabo este experimento, a excepción de que se mantuvieron a los organismos vivos durante 15 días. Una vez transcurrido el tiempo de exposición fueron sacrificadas 10 anémonas para su análisis histológico.

Análisis Histológico

Para la cuantificación del tamaño y número de zooxantelas en los tentáculos se colocaron 10 anémonas de cada tratamiento experimental en fijador Karnovsky 1-2 v/v para posteriormente ser deshidratadas y preparadas para su análisis histológico en el Laboratorio de Histología del CIBNOR donde previamente se estandarizó la técnica para anémonas.

Los cortes se realizaron en un micrótopo de rotación a 4 μ y la tinción fue con hematoxilina-eosina. Terminado el proceso de tinción, las laminillas se montaron en parafina sintética y se dejaron secar durante 24 h. Se observaron 5 tentáculos para cada réplica por tratamiento a 20X en un microscopio óptico Olympus BX50 con cámara digital acoplada (Olympus B52) y se tomaron fotos para posteriormente cuantificar el número, área y diámetro de la zooxantela con ayuda del software Image-Pro Plus para un área de cobertura de 80 525.4 μ^2 .

Osmolaridad aguda

Para este bioensayo se utilizaron 6 anémonas al azar, las cuales se expusieron a los tratamientos de 23, 27 y 32°C con salinidades de 25, 35 y 45 UPS, fueron tratadas con el mismo procedimiento ya descrito, se sacrificaron 6 organismos a los 4 días (a excepción de 45 UPS que se sacrificaron a los 3 días), para poder ser medida su presión osmótica.

Osmolaridad Crónica

Se expusieron 6 ejemplares al azar para cada tratamiento experimental, de manera similar a lo descrito para el bioensayo agudo. Se mantuvieron a los organismos durante 15 días a la condición experimental y posteriormente fueron sacrificadas para medir su presión osmótica.

Presión Osmótica

Para la medición de la presión osmótica se separó la corona del cuerpo de la anémona y se pesó el cuerpo. Se realizó el cálculo del agua desionizada requerida para homogenizar el tejido, con un homogeneizador marca Ika labortechnik modelo T8.10 usando la siguiente fórmula: $(\text{peso de la anémona} \times 200)/0.5$ y se centrifugó a 10 500 rpm por 15 minutos para poder tener el mismo factor de dilución en todas las muestras.

El sobrenadante y el agua de mar de cada tratamiento experimental, fue utilizada para medir la presión osmótica, las lecturas fueron duplicadas en un microosmómetro de 20 μL (Advanced Instruments modelo 3300) previamente calibrado.

Análisis estadístico

Se analizaron las réplicas mediante pruebas t de independencia y se comprobó la homocedasticidad y normalidad de los datos para poder analizarse por estadística paramétrica. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de 2 vías con un nivel de significancia $P \leq 0.05$ para evaluar el efecto de la temperatura y la salinidad en las diferentes respuestas fisiológicas estudiadas. Al encontrarse diferencia significativa se realizó la prueba a posteriori de Duncan para establecer las diferencias. El análisis estadístico de los datos fue realizado empleando el paquete Statistica 7.1.

Resultados

1. Variación de parámetros experimentales y supervivencia para bioensayos agudos.

En la tabla 1 se presentan los valores de las temperaturas y salinidades promedio registradas en los diferentes tratamientos experimentales así como el peso húmedo promedio de las anémonas utilizadas para los bioensayos agudos con sus

desviaciones estándar. La supervivencia fue del 100% en todos los tratamientos experimentales a excepción del tratamiento de 23°C y 25 UPS que fue del 93%

Tabla 1. Variación (media y desviación estándar) en los tratamientos experimentales del efecto de la temperatura y de la salinidad en el número de zooxantelas en tentáculos en la anémona *Aiptasia californica* durante 4 días de exposición. Se indica el peso promedio de las anémonas utilizadas y la supervivencia registrada.

Tratamiento (Temp-UPS)	Temperatura (°C)	Salinidad (UPS)	Peso (g)	Supervivencia (%)
23-25	22.7±0.22	25.3±0.75	0.19±0.19	93
23-35	22.7±0.25	35.1±2.24	0.15±0.80	100
23-45	21.8±0.46	46.5±1.03	0.17±0.08	100
27-25	26.6±0.42	25.5±0.75	0.12±0.06	100
27-35	26.5±0.12	35.5±1.04	0.11±0.07	100
27-45	26.7±0.42	46.5±1.43	0.16±0.09	100
32-25	32.6±0.09	27.3±1.50	0.21±0.11	100
32-35	32.6±0.09	36.1±1.45	0.17±0.09	100
32-45	32.7±0.28	49.1±4.29	0.19±0.13	100

2. Condición fisiológica de las anémonas durante el bioensayo agudo.

En la Figura 4 se presentan fotos que describen las diferentes condiciones fisiológicas de la anémona *Aiptasia californica* cuando es expuesta a cambios en la salinidad y la temperatura. En la foto (a) se muestra una anémona en su condición relajada, la foto (b) la condición de estrés denominada globo; la foto (c) la condición de estrés denominada contraída; la foto (d) la condición de blanqueada; la foto (e) una anémona en la condición de muerte y la foto (f) anémona denominada aposimbiótica por haber eliminado al simbiote por exposición crónica a la oscuridad.

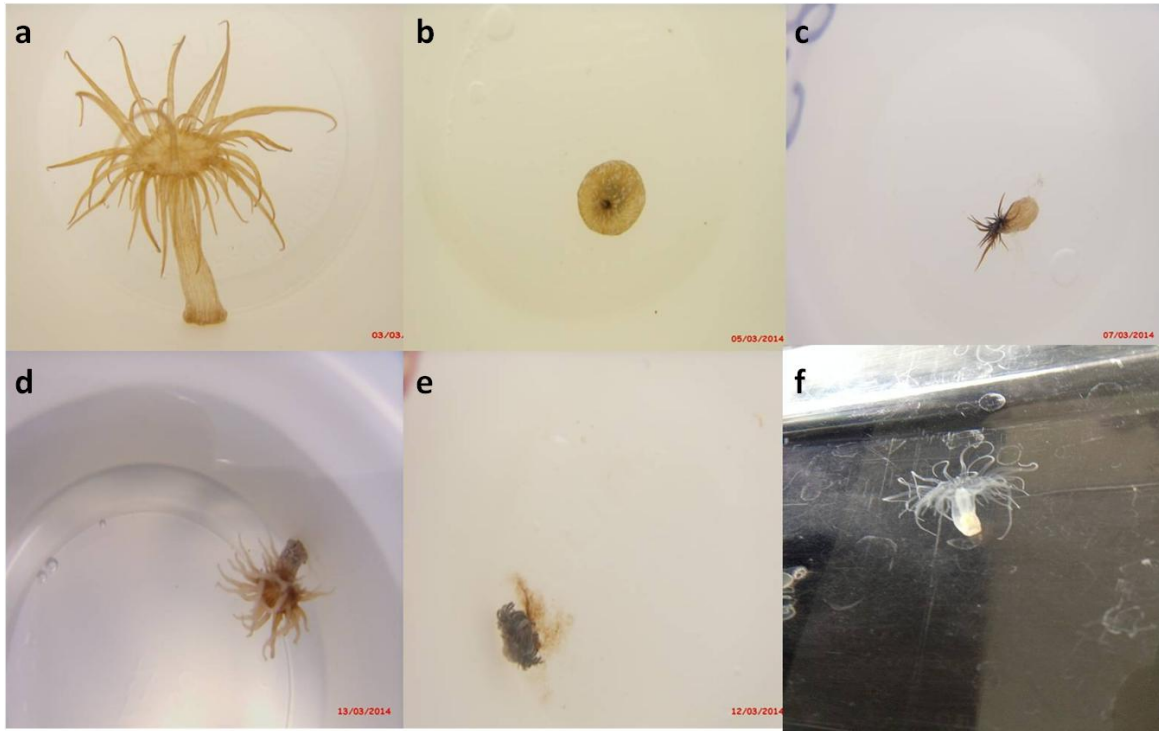


Figura 4. Fotos de la condición fisiológica que presentó la anémona *Aiptasia californica* al ser expuesta a tres temperaturas y 3 salinidades experimentales durante 4 días. (a) se observa al organismo en condición normal; (b y c) diferentes formas de estrés, (d) anémona blanqueada por liberación de zooxantelas; (e) muerte del organismo en descomposición; (f) anémona aposimbiótica.

3. Efecto de la temperatura y de la salinidad en el conteo de zooxantelas en tentáculos.

La temperatura tuvo un efecto significativo en el número de zooxantelas ($F_{4,397}=8.2383$, $P < 0.05$), mientras que la salinidad no tuvo un efecto significativo en el número de zooxantelas ($F_{4,397}=8.2383$, $P > 0.05$). El número de dinoflagelados se redujo significativamente a 32°C. La prueba *a posteriori* de Duncan, indicó que existen cinco grupos homogéneos como se muestra en la Figura 5 y se indican mediante letras iguales cada grupo. La mayor cantidad de algas se encontró a 23°C y 45 UPS con un promedio de 771 zooxantelas/ μ^2 y disminuyó significativamente a 32°C y 45 UPS con un promedio de 250 zooxantelas/ μ^2 .

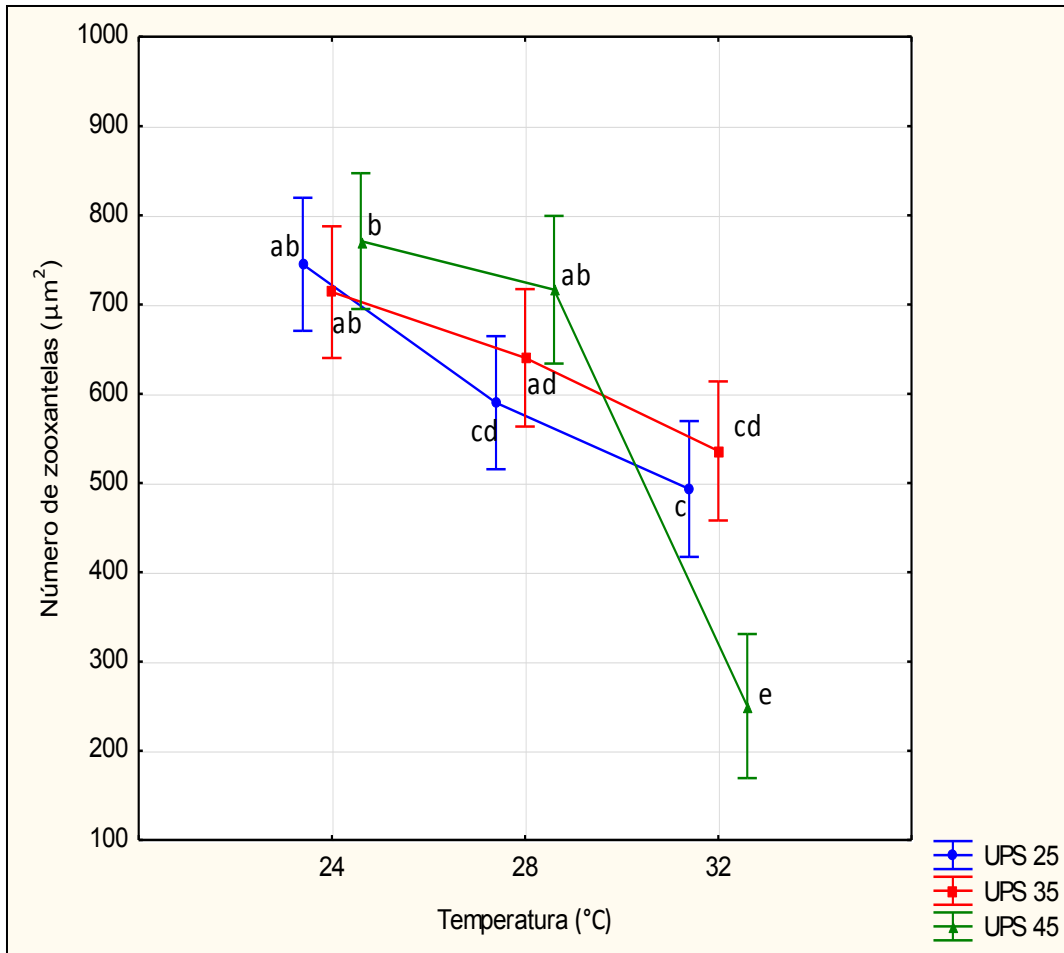


Figura 5. Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27, 32°C) y 3 salinidades experimentales (25, 35, 45 UPS) en el número de zooxantelas en tentáculos de la anémona *Aiptasia californica*. Letras iguales indican grupos homogéneos.

4. Efecto de la temperatura y de la salinidad en el diámetro de la zooxantelas en tentáculos.

La temperatura tuvo un efecto significativo en el diámetro de la zooxantela ($F_{4,1751}=5.6017$, $P<0.05$), mientras que la salinidad no tuvo un efecto significativo ($F_{4,1751}=5.6017$, $P>0.05$). El diámetro se redujo significativamente a 32°C. La prueba a posteriori de Duncan indicó que existen cuatro grupos homogéneos como se muestra en las Figura 6. El mayor diámetro de las zooxantelas se encontró a 24°C con un promedio de 5.3 μ y disminuyó significativamente a 32°C y 45 UPS con un promedio de 4.9 μ

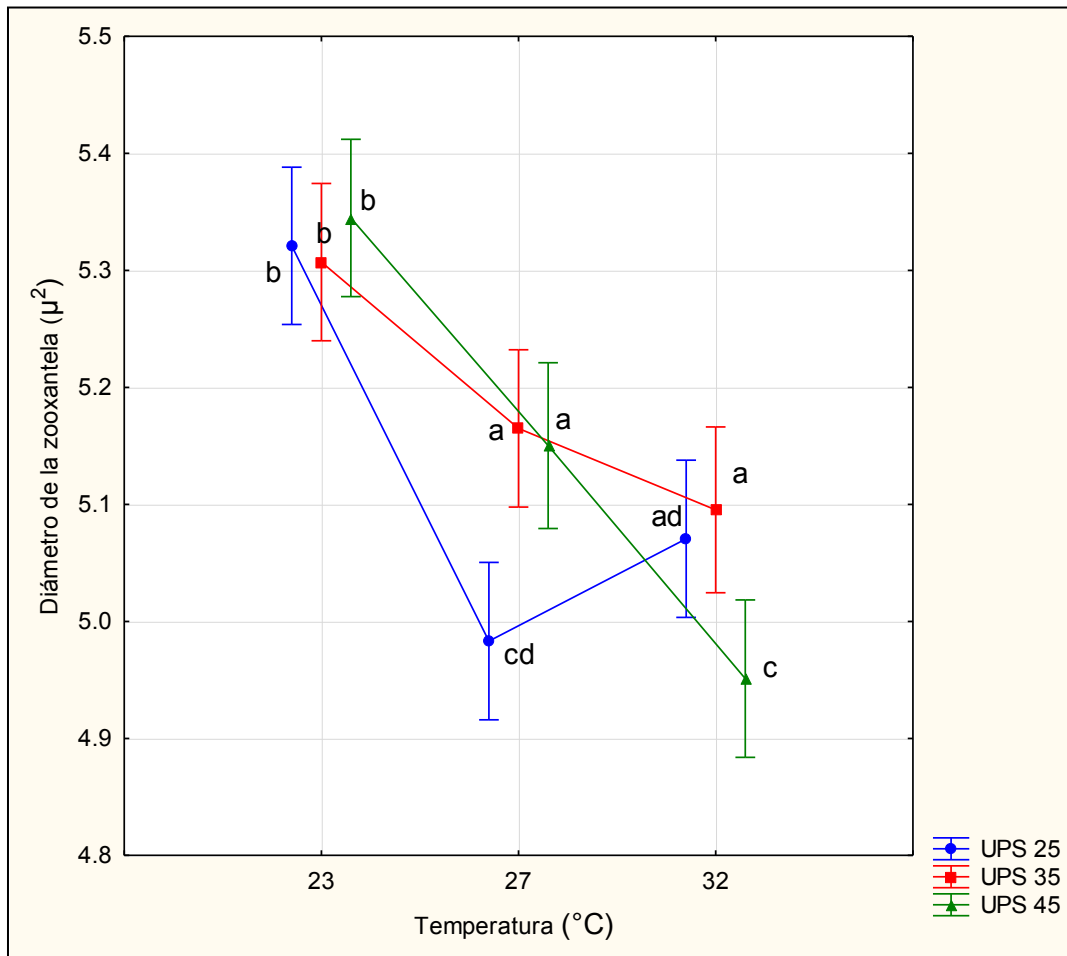


Figura 6. Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27, 32°C) y 3 salinidades experimentales (25, 35, 45 UPS) en el diámetro de la zooxantela. Letras iguales indican grupos homogéneos.

5. Efecto de la temperatura y de la salinidad en el área de la zooxantelas en tentáculos

La temperatura tuvo un efecto significativo en el área de la zooxantela ($F_{4,1751}=5.2145$, $P<0.05$), mientras que la salinidad no tuvo un efecto significativo en el área ($F_{4,1751}=5.2145$, $P>0.05$). El área se redujo significativamente a 32°C. La prueba *a posteriori* de Duncan indicó que existen cuatro grupos homogéneos como se muestra en la Figura 7. La mayor área de las zooxantelas se encontró a 24°C con un promedio de 19.4 μ² y disminuyó significativamente a 32°C y 45 UPS con un promedio de 22.5 μ².

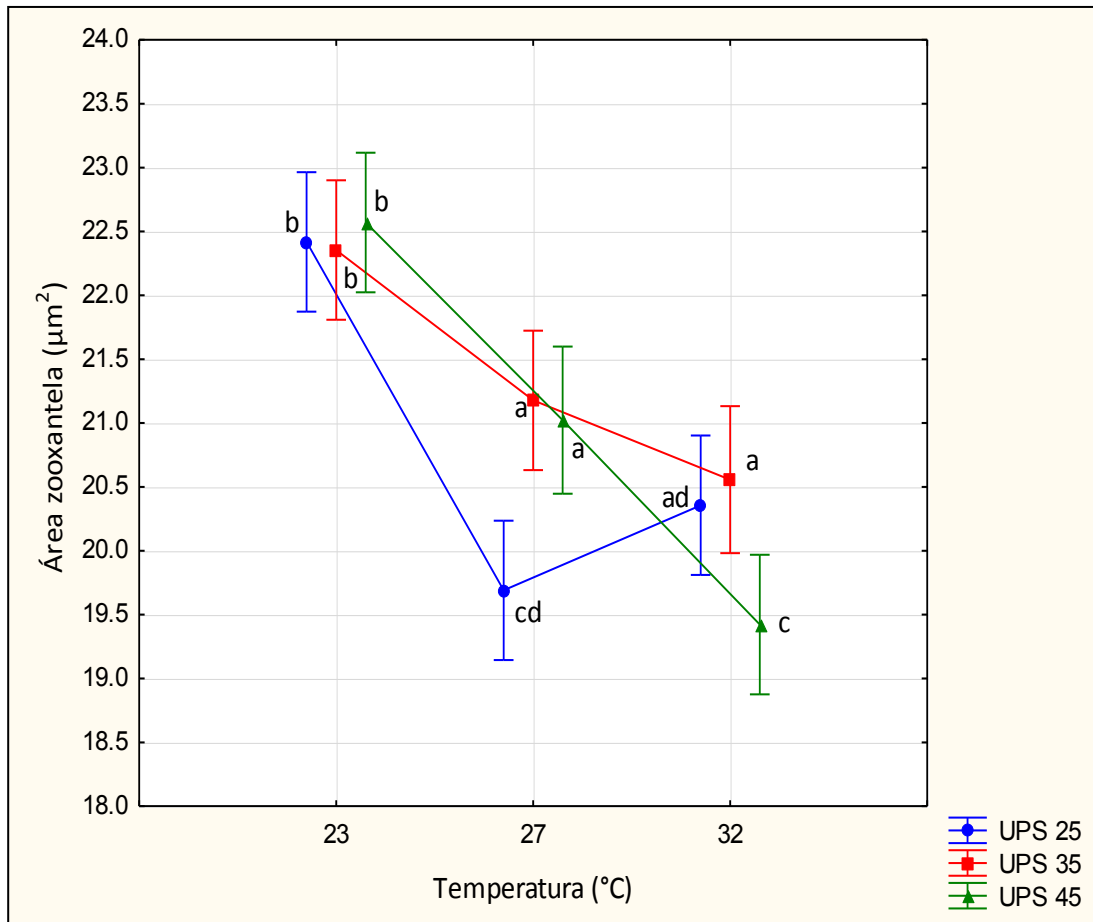


Figura 7 Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27, 32°C) y 3 salinidades experimentales (25, 35, 45 UPS) en el área de la zooxantela. Letras iguales indican grupos homogéneos.

6. Observación en cortes histológicos.

En la figura 8 se presenta una muestra de los cortes histológicos longitudinales de los tentáculos de la anémona expuestos a los diferentes tratamientos experimentales y se incluye el tentáculo de una anémona aposimbiótica, la cual se mantuvo en obscuridad por dos meses.

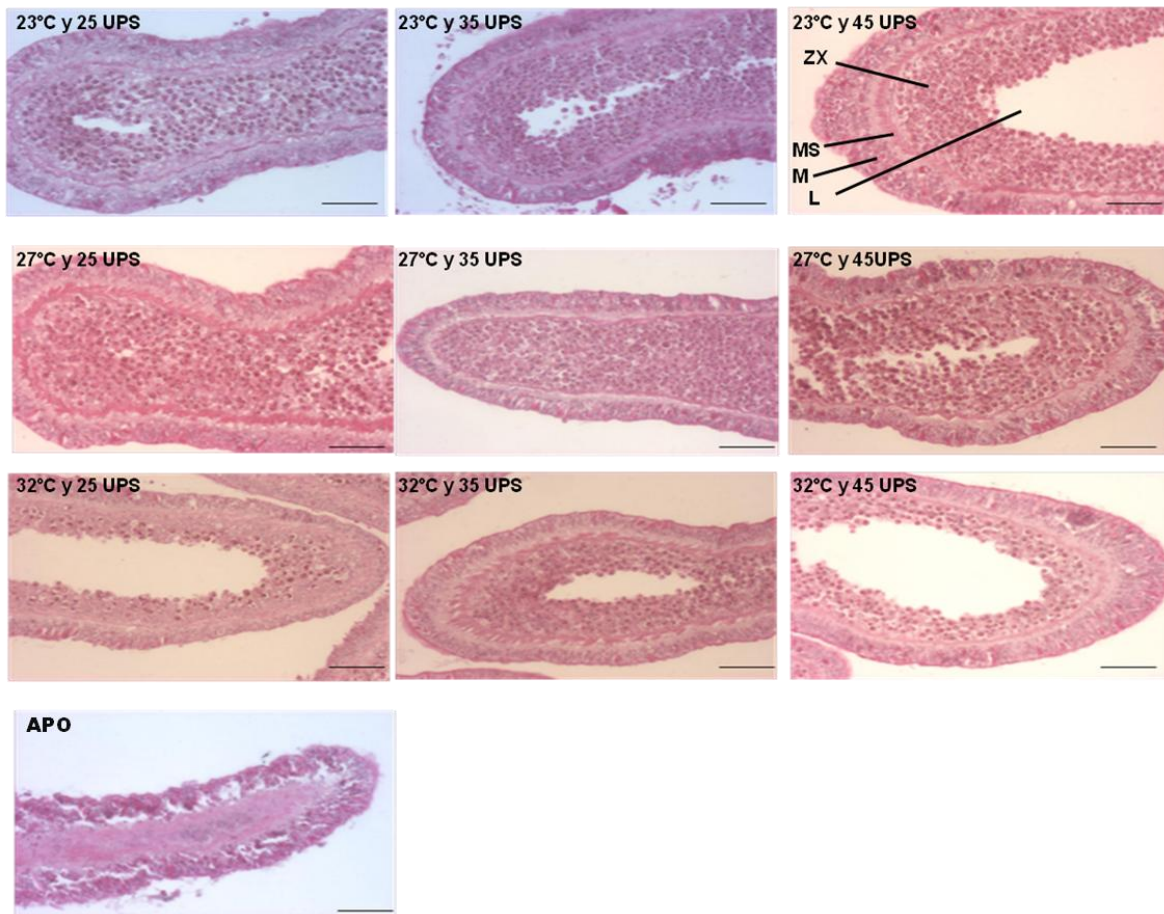


Figura 8. Corte longitudinal de tentáculos en *Aiptasia californica* expuesta a los diferentes tratamientos 23°C y 25 UPS, 23°C y 35 UPS, 23°C y 45 UPS, (ZX zooxantela, MS músculo, M mesoglea, L lumen), 27°C y 25 UPS, 27°C y 35 UPS, 27°C y 45UPS, 32°C y 25 UPS, 32°C y 35 UPS, 32°C y 45 UPS anémona aposimbiótica (APO) por exposición crónica a oscuridad.

Como se puede apreciar en la Figura 8 a 32°C y en todas las salinidades experimentales se observa el lumen ocasionado por la pérdida de zooxantelas en tentáculos. Esto también pudo apreciarse a 23°C y 45 UPS, mientras que para 27°C no se aprecia lumen a 25 y 35 UPS y prácticamente es despreciable a 45 UPS. Para el caso de la anémona aposimbiótica se observa que un lumen y el tentáculo está lleno de mesoglea sin tener zooxantelas.

7 Efecto agudo de la temperatura y de la salinidad en la osmolaridad y capacidad osmótica de la anémona

La temperatura y la salinidad no tuvieron un efecto significativo $P>0.05$ en la osmolaridad durante la exposición aguda a los tratamientos experimentales (Figura 9). Se puede apreciar que a 35 UPS hay una tendencia para disminuir la osmolaridad conforme se incrementa la temperatura. La capacidad osmótica calculada se presenta en la Figura 10. Durante la exposición aguda el punto isosmótico a 23°C se obtuvo a 40 UPS, a 27°C se obtuvo a 30 UPS mientras que a 32°C no se pudo obtener el punto isosmótico aunque la tendencia lineal indica que se encuentra cercano a 45 UPS.

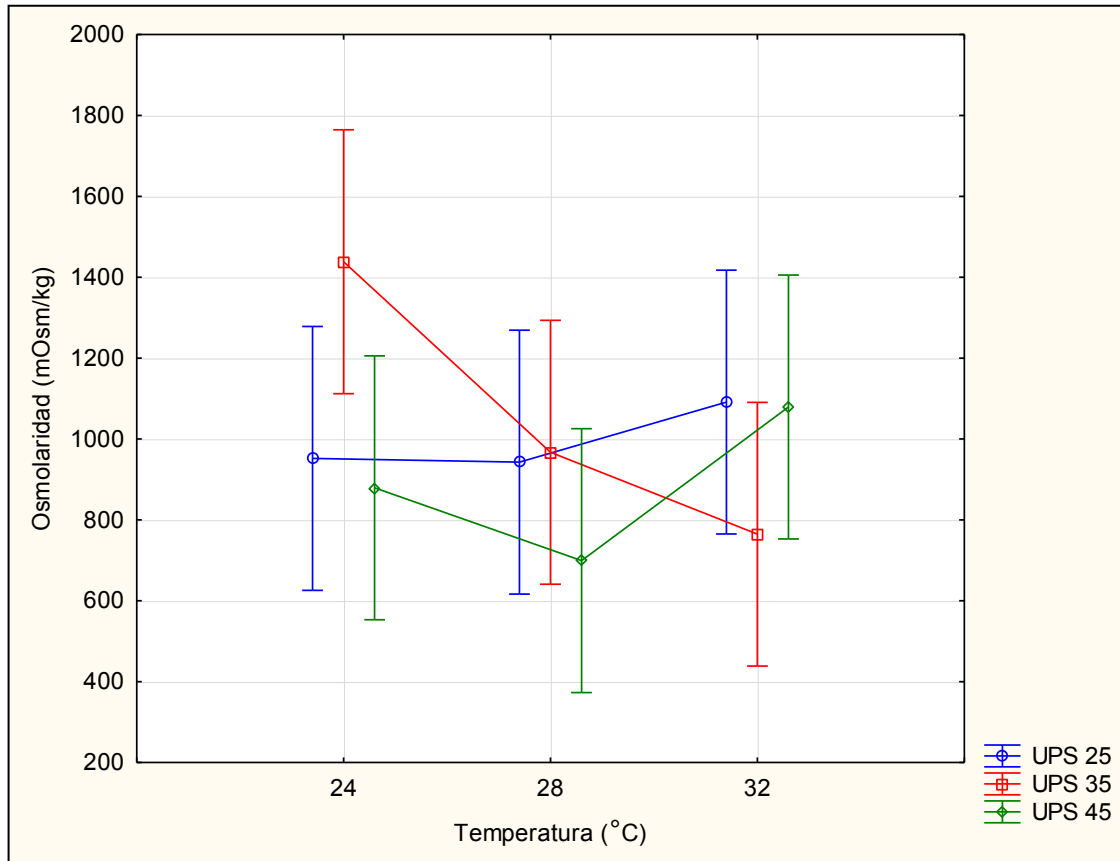


Figura 9. Efecto combinado de la exposición aguda a 3 temperaturas experimentales (23, 27, 32°C) y 3 salinidades experimentales (25, 35, 45 UPS).

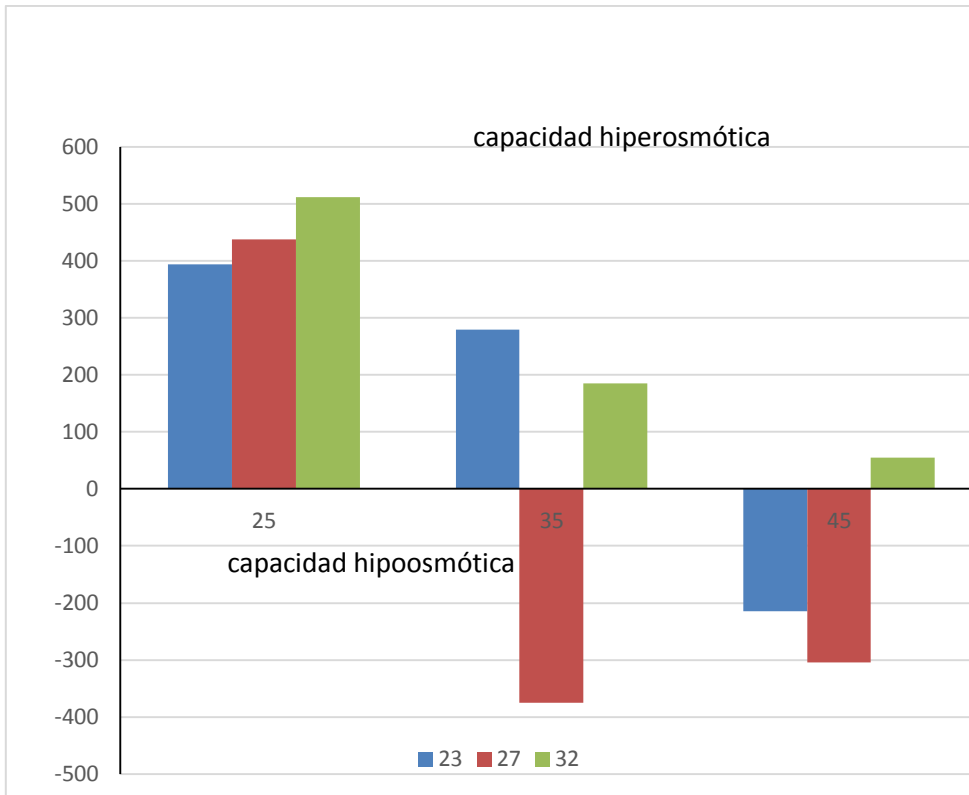


Figura 10. Capacidad hipo-osmótica e hiper-osmótica registrada en la anémona *Aiptasia californica* expuesta a 3 temperaturas experimentales (23, 27, 32°C) y 3 salinidades experimentales (25, 35, 45 UPS) durante 4 días.

8 Variación de parámetros experimentales y supervivencia para bioensayo crónico

En la tabla 2 se presentan los valores de las temperaturas y salinidades promedio registradas en los diferentes tratamientos experimentales crónico, así como el peso húmedo promedio de las anémonas utilizadas para cada bioensayo con sus desviaciones estándar. La supervivencia fue del 100% en todos los tratamientos experimentales a excepción del tratamiento de 23°C y 25 UPS con una supervivencia del 83% y en el tratamiento de 32°C y 25 UPS con una supervivencia del 93%.

Tabla 2. Variación en los tratamientos experimentales crónicos del efecto de la temperatura y de la salinidad en el número de zooxantelas en tentáculos en la anémona *Aiptasia californica* durante 15 días de exposición. Se indica el peso promedio de las anémonas utilizadas y la supervivencia registrada.

Tratamiento (Temp-UPS)	Temperatura (°C)	Salinidad (UPS)	Peso (g)	Supervivencia (%)
23-25	23.7±0.35	27.3±1.03	0.06±0.04	83
23-35	23.7±0.35	36.9±0.70	0.11±0.09	100
23-45	23.7±0.35	46.5±1.12	0.20±0.29	100
27-25	27.1±0.41	27.7±0.97	0.05±0.03	100
27-35	27.1±0.41	36.8±0.94	0.05±0.03	100
27-45	27.1±0.41	46.9±0.96	0.16±0.13	100
3225	31.7±2.88	28.1±1.16	0.022±0.02	93
3235	31.7±2.88	38.3±1.34	0.134±0.12	100
3245	31.7±2.88	49.3±0.49	0.185±0.18	100

9. Efecto crónico de la temperatura y de la salinidad en la osmolaridad y capacidad osmótica de la anémona.

La variación en la osmolaridad se presenta en la Figura 11. La temperatura tuvo un efecto significativo en la osmolaridad ($F_{4,49}=2.4213$, $P<0.05$), mientras que la salinidad no tuvo un efecto ($F_{4,49}=2.4213$, $P>0.05$). La prueba *a posteriori* de Duncan indicó que existen dos grupos homogéneos como se muestra en la Figura 11 y se indican mediante letras iguales cada grupo. Durante la exposición crónica se establecieron dos puntos iso-osmóticos a 23°C uno se obtuvo a 30 y el otro a 40 UPS, a 27°C se obtuvo a 30 UPS mientras que a 32°C se obtuvo a 40 UPS (Figura 12).

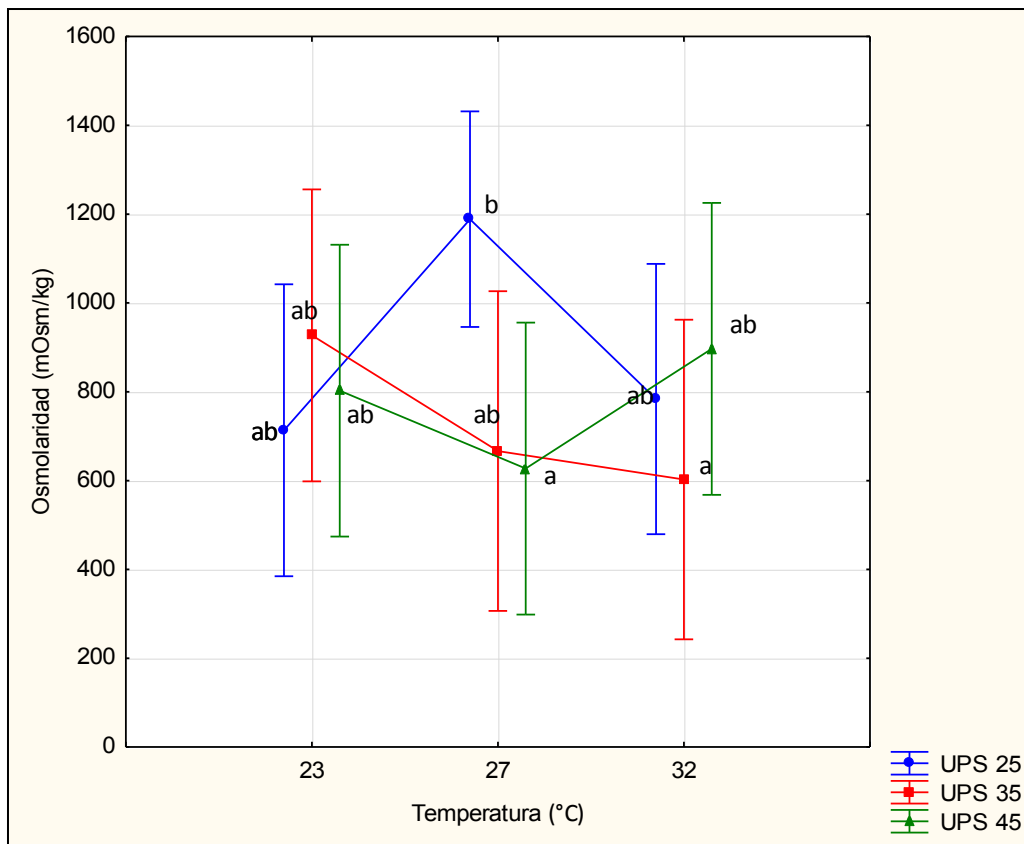


Figura 11. Efecto combinado de la exposición crónica a 3 temperaturas experimentales (23,27, 32°C) y 3 salinidades experimentales (25, 35, 45 UPS) Letras iguales indican grupos homogéneos.

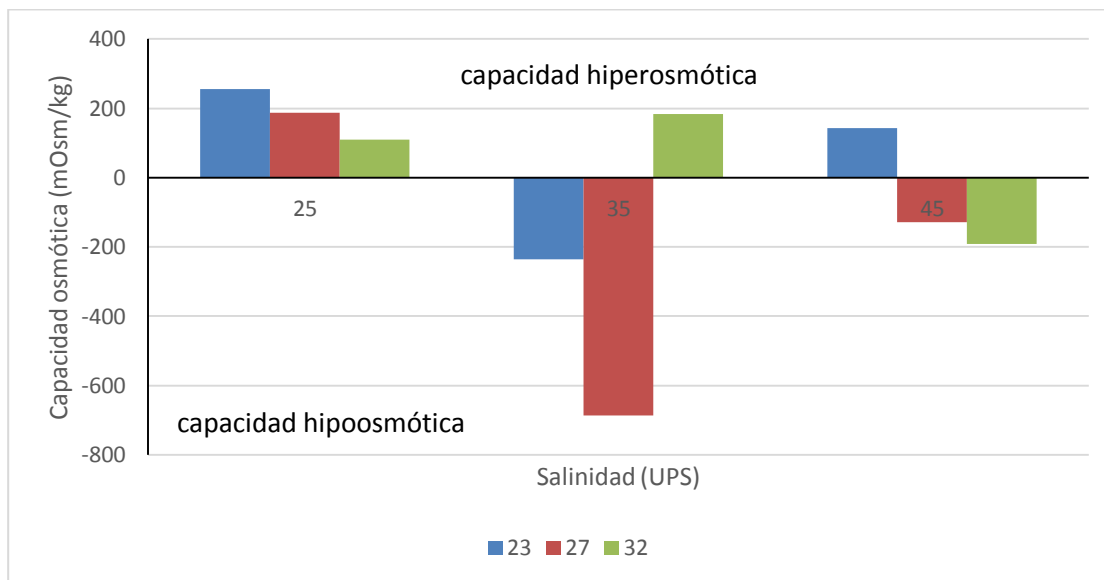


Figura 12. Capacidad hipo-osmótica e hiper-osmótica registrada en la anémona *Aiptasia californica* expuesta a 3 temperaturas experimentales (23, 27, 32°C) y 3 salinidades experimentales (25, 35, 45 UPS) durante 15 días.

Discusión

La anémona *Aiptasia californica* en el bioensayo agudo tuvo una supervivencia del 93% mostrando ser un modelo altamente tolerante con una buena resistencia ecológica ya que cuenta con una alta plasticidad. En los cortes histológicos se pudo observar que en el tratamiento 32°C y 25, 35 y 45 UPS hubo una disminución de las zooxantelas dentro de la anémona, cuando la temperatura elevada es negativa puede afectar la estabilidad de la simbiosis entre cnidarios y dinoflagelados tal como lo señalan Calvin & Muscatine (1997).

Hubo una pérdida del simbiote de 771 zooxantelas/ μ^2 a 250 zooxantelas/ μ^2 ocasionando un blanqueamiento (pérdida de la zooxantela), a la anémona. El fenómeno del blanqueamiento ha sido registrado periódicamente en las últimas décadas, la mayor parte de este fenómeno se ha atribuido a la temperatura del mar en condiciones altas (Suharsono & Brown, 1993). El blanqueamiento actualmente es uno de las principales preocupaciones mundiales ya que afecta a los corales grupo de gran importancia por su diversidad ecológica. En este experimento de igual manera se presentó un blanqueamiento, que fue ocasionado por efecto de la temperatura. Brown et al. (1995), mencionan que los núcleos y áreas de las zooxantelas sufren daño al aumentar al doble de su tamaño y al no estar completamente redondos, en un evento de blanqueamiento natural.

Sin embargo en el presente trabajo, el área y el diámetro disminuyeron significativamente por lo que no pudimos observar lo mismo que reportan Brown et al (1995) en *Aiptasia californica*. Durante nuestros experimentos preliminares pudimos observar que las zooxantelas liberadas por los tentáculos, podían observarse en el agua y en apariencia podrían ser viables ya que se observaban en continuo movimiento, por lo que podemos pensar que en nuestro caso las zooxantelas liberadas no sufren daño y solamente salen del hospedero por un estrés ambiental.

Esta condición de estrés se acentuó en el tratamiento de 32°C y 45 UPS, disminuyendo significativamente el número de zooxantelas, observándose un aclaramiento evidente en los tentáculos de la anémona (ver figura 4). Grottoli et al. (2004), señalan que cambios fisiológicos pueden ocasionar estrés en los cnidarios provocando la pérdida del simbiote, así como de sus pigmentos fotosintéticos dando el color pálido o blanqueamiento.

Sin embargo, Obura et al (2004), sugieren que el blanqueamiento puede ser el precursor de cómo los cnidarios se están adaptando a amenazas del cambio ambiental así como cambios naturales (huracanes, tormentas tropicales fenómeno del niño y la niña). El blanqueamiento no siempre es perjudicial sino que puede ser una forma de adaptación y regulación del estrés, ya que no en todos los casos se reporta mortalidad y pérdida de su simbiote al 100% (Obura, 2009).

Como podemos observar en la Figura 4, la anémona denominada aposimbiótica representa a un organismo que ha liberado casi la totalidad del simbiote por exposición prolongada a la obscuridad. Este ejemplar puede sobrevivir, alimentarse e inclusive reproducirse sin su simbiote, lo que indica que el blanqueamiento no implica forzosamente una condición perjudicial como indica Obura (2009). Sin embargo, se requiere estudiar a mayor detalle los efectos que ocasionaría en el hospedero y si una vez que se restablecen las condiciones favorables para que el simbiote sea capaz de reingresar al hospedero y los mecanismos que operarían en dicha condición.

La capacidad osmótica que tiene la anémona no se vio afectada en el experimento agudo ya que su capacidad hiperosmótica aumenta cuando existe una condición salina alta y se mantiene en condiciones normales, la tolerancia de la zooxantela le permitió la adecuada eliminación de dióxido de carbono, amoníaco, nitratos y fosfatos, que sirven como materia prima para sus actividades fotosintéticas (Costa et al., 2013).

En el experimento crónico efectuado *A. californica* se observó que tiene una alta capacidad hiperosmótica, tolerando altas y bajas salinidades así como temperaturas. Aunque existió una reducción de peso en las tres temperaturas y salinidades, el animal tuvo una supervivencia adecuada. Estas condiciones pueden ser otro ejemplo de la alta plasticidad que tiene el animal, al soportar estas condiciones, y puede pensarse que probablemente las proteínas de choque térmico HSP ayudaron a la anémona a lidiar con el estrés térmico como lo han señalado Baird et al (2008).

La anémona para poder ser hiperosmótica necesita regular el intercambio de iones tales como sodio, potasio, y calcio esta función la lleva a cabo con la ayuda del moco que secreta el animal, ya que éste actúa como una barrera al movimiento del agua y algunos solutos, como si fuera una superficie ectodérmica, los iones también estabilizan las membranas celulares cuando existe algún cambio en la salinidad (Mayfield, 2007).

Otro osmoregulador que tiene la anémona son los aminoácidos libres ya que pueden ser mediadores en la regulación de la salinidad, así como ayudar a la realización de funciones metabólicas importantes para la supervivencia, y controlar el volumen celular (Heather, 2009).

La capacidad de *Aiptasia californica* para regular su osmolaridad puede ser una estrategia fisiológica para tolerar el estrés hiperosmótico inducida por condiciones salinas y de temperatura.

Conclusiones.

1. La temperatura tuvo un efecto significativo en el número, área y diámetro de la zooxantela en los tentáculos de *Aiptasia californica*, siendo menores a la mayor temperatura.
2. La temperatura y salinidad no afectaron la osmolaridad del organismo en condiciones agudas mientras que en condiciones crónicas se empezó a observar una adaptación.
3. La supervivencia fue superior al 83% en todas las condiciones.
4. En condiciones agudas el punto iso-osmótico se encontró a 40 UPS a 23°C, a 30 UPS a 27°C y a 45 UPS a 32°C mientras que en condiciones crónicas se encontraron dos puntos iso-osmóticos a 30 y 40 UPS a 23°C, a UPS en 27°C y en 40 UPS a 32°C.
5. *Aiptasia californica* tiene una gran plasticidad fisiológica para tolerar condiciones hipertónicas e hipotónicas.
6. No se encontró evidencia de que el blanqueamiento registrado afecte la supervivencia de la anémona, ya que la menor supervivencia se registró durante la condición crónica a la menor salinidad y la menor temperatura.

Recomendaciones

- Hacer estudios sobre *Aiptasia californica* ya que ha demostrado ser una especie con grandes características fisiológicas.
- Incrementar los análisis de las zooxantelas en anémonas.
- Buscar si el organismo puede tener algún uso biotecnológico.
- Reforzar los exámenes de blanqueamiento en actinias.
- Comprobar si el blanqueamiento en cnidarios puede ser una forma de adaptación a condiciones naturales y antropogénicas.
- Investigar las condiciones que ayudan a la anémona a poder recuperarse después de un estrés térmico, salino, pH extremos, nutricional etc.

BIBLIOGRAFÍA

- Baird A.H., Bhagooli R., Raleh P.J., Takahashi S. 2008, **Coral bleaching: the role of the host**. Trends in Ecology and Evolution Vol 24-1
- Balart E. F. 1995. **Adiciones a la ictiofauna de Bahía de la Paz Baja California Sur, México**. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste p. 80
- Barnes R. 1996. **Zoología de los Invertebrados**. 3^a E.d. McGraw-Hill Education, España p. 113-115
- Brown B., Le Tissier M., Bythell J. 1995. **Mechanisms of bleaching deduced from histological studies of reef corals sampled during a natural bleaching event**. Marine. Biology 122:655-663
- Calvin M. And Leonard M. 1997 **Oxidative Stress in the Symbiotic Sea Anemone *Aiptasia pulchella* (Carlgren, 1943): Contribution of the Animal to Superoxide Ion Production at Elevated Temperature**. Department of Biology, University of California, Los Angeles, California 90095-I 606
- Costa C.F., Sassi R., Gorch-lirak., Lajeunesse T.C., Fitt W. 2013. **Seasonal changes in zooxanthellae harbored by zoanthids (Cnidaria, Zoanthidea) from coastal reefs in northeastern Brazil**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences (2013), 8(4):253-264

- Cruz V. K. 2008. **Aislamiento y purificación de compuestos neuroactivos bloqueadores de canales iónicos e inhibidores de la acetilcolinesterasa presentes en las toxinas de la anémona *Lebrunia danae* (Duchassaing Michelotti, 1860).** tesis de maestría Puerto Morelos Quintana Roo UNAM p 16-19
- Dunn S. R, Bythell J. C. 2002. **Programmed cell death and cell necrosis activity during hyperthermic stress-induced bleaching of the symbiotic sea anemone *Aiptasia* sp.** Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 272 (2002) 29–53
- González M. E. 2009. **Anémonas (Anthozoa: Actiniaria, Carallimorpharia y Zoanthidea) del arrecife de puerto Morelos, Quintana Roo.** Tesis de Maestría, México D.F., UNAM p 17-19
- Grottoli A. C., Rodrigues L.J., Juárez C. 2004. **Lipids and stable carbon isotopes in two species of Hawaiian corals, *Porites compressa* and *Montipora verrucosa* following a bleaching event.** Marine biology. 145:621-631
- Heather L. A. 2009. **The effect of hypo-osmotic stress on mortality and regulation of volume, osmolality, and magnesium ion concentrations in the sea anemone *metridiumsenile* in south slough, coos bay, oregon** tesis de licenciatura, Presented to the Department of Biology and the Graduate School of the University of Oregon USA, p.51-54
- Hickman C. P. J. 2009. **Principios integrales de zoología 14^a E.d.** Mc. Graw-Hill Educación España.

- Iglesias-Prieto R. J, Mata W.A.1992. **Photosynthetic reponse to elevated temperatura in the symbiotic dinoflagellate Symbiodinium microadriaticum in cultere** *proc. Natl. Acad Sci. USA.* 88:10302-10505
- Kühl M, Cohen Y.1995. **Microenvironment and photosynthesis of zooxanthellae in scleractinian corals studied with microsensors for O₂, pH and light.** *Marine ecology Vol. 117:* 159-172.1995
- Lang F., Busch G., Ritter M., Volkl H., Waldeggars S., Gulbins F., 1998, Functional significance of cell volumen regulatory mechanisms, *Physiological Reviews Published.* 52, 127-132
- Mayfield A., Gates R, 2007. **Osmoregulation in anthozoan –dinoflagellate simbiosis.** University of Hawaii Institute of Marine Biology U.S.A. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 147 (2007) 1–10
- Muller-Parker G. 1985. **Effect of feeding regime and irradiance on the photophysiology of the symbiotic sea anemone *Aiptasia pulchella* and its zooxanthellae.** Department of Biology, University of California at Los Angeles; Los Angeles, California 90024, USA, *Marine Biology* 82, 225-232 1984.
- Obura D.O. 2004. **Resilience and climate change: lessons from coral reefs and bleaching in the western Indiana Ocean.** *Estuarine Costal and Shelf Science* 63:353–372
- Obura D.O., 2009. **Reefcorals bleach to resist stress.** *Marine Pollution Bulletin* 58(2009)206-212

- Rodríguez A. C. 2001. **Aislamiento y caracterización de una citolisina de la anémona *Bunodeopsis antillinensis***. Tesis de Licenciatura, México D.F. UNAM
- Salinas C., Leyva C., Lluch B., Diaz R. 1990. **Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México**. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur A. C. *Atmósfera* 1990 217-237
- Shick J. M. 1991. **Functional Biology of Sea Anemone**. Chapman y Hall, London p. 3-8
- Suharsono R., Brown B., 1993. **Cellular and ultrastructural changes in the endoderm of the temperate sea anemone *Anemonia viridis* as a result of increased temperature**, *Marine Biology* 116, 311-318
- Vázquez M. H. 2010, **Maricultura en la Bahía de La Paz, B.C.S., México: impacto socioeconómico de los cultivos de atún y camarón**. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroest, *Estud.soc.* vol. 19 no.37 123.129
- Weis M. 1991. **The Induction of Carbonic Anhydrase in the Symbiotic Sea Anemone *Aiptasia pulchella***, University of California. Los Angeles, California. 90024
- Weis M, Smit G. J. 1989. **"CO₂ supply" mechanism in zooxanthellate cnidarians: role of carbonic anhydrase**. Department of Biology, University of California, Los Angeles, California 90024, USA