



UNIVERSIDAD DEL MAR

campus Puerto Ángel

Reproducción asexual por fisión transversa inducida en el pepino de mar *Holothuria inornata*, proveniente de Bahía Estacahuite, Oaxaca

Tesis

Que para obtener el Título Profesional de Licenciada en
Biología Marina

Presenta

Mónica Esmeralda Cervantes Díaz

Director

Dr. Francisco Benítez Villalobos

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2025.

Resumen

Entre la mayoría de los equinodermos la reproducción asexual es una alternativa para lograr un origen exitoso de las siguientes generaciones. Este tipo de reproducción puede ocurrir por fisión, en la que después de la escisión y regeneración se obtiene otro individuo exactamente igual al original. La familia Holothuriidae tiene alta relevancia dentro de los holoturoideos, ya que incluye varias especies que destacan por su gran capacidad de regeneración después de llevar a cabo la fisión. Entre estas especies, varias de ellas presentan un interés comercial. Un ejemplo de esas especies es *Holothuria inornata*, la cual es de gran interés para el mercado asiático, lo que la ha llevado a ser sujeta de explotación ilegal y en la actualidad varias de sus poblaciones se encuentran en estado de disminución que comprometen su permanencia. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de *H. inornata* para reproducirse asexualmente, mediante fisión transversa inducida en laboratorio. Se recolectaron 20 individuos de diferentes tallas, los cuales fueron mantenidos en el laboratorio de acuicultura de la Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. La longitud y el peso corporal de los organismos se determinó con la ayuda de una cinta métrica (± 0.1 cm) y una balanza electrónica (± 0.01 g). Previo al corte del cuerpo, fueron separados en organismos pequeños (≤ 13 cm) y grandes (>13 cm) de acuerdo con la longitud total del cuerpo. La amplitud de las dos clases se calculó restando la longitud mínima a la longitud máxima y dividiendo el resultado entre dos. El corte se realizó justo a la mitad del cuerpo con un bisturí previamente desinfectado. Después de realizar el corte, la longitud y el peso de las partes anteriores y posteriores del cuerpo fueron registrados y posteriormente fueron transferidas a cuatro estanques de fibra de vidrio a una densidad de 10 individuos/500 l de agua marina. La distribución de las partes correspondió a 1) parte anterior de organismos grandes, 2) parte posterior de organismos grandes, 3) parte anterior de organismos pequeños y 4) parte posterior de organismos pequeños. Se realizaron biometrías cada dos semanas para registrar la longitud y el peso. Durante todo el experimento no se proporcionó alimento. Se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías ($p < 0.05$) para evaluar la supervivencia por sección y talla de los especímenes. Los resultados mostraron que se puede

obtener una reproducción asexual por fisión inducida exitosa, evidenciada por cloaca funcional y presencia de árbol respiratorio en mitades anteriores y presencia de tentáculos orales en mitades posteriores, en un periodo aproximadamente de tres meses. El promedio (\pm DE) general de supervivencia de los organismos tras el experimento fue de 83 ± 7.4 %, y ni la talla (pequeño vs. Grande) ni la sección del cuerpo (anterior vs. Posterior) influyeron en el porcentaje de supervivencia. *H. inornata* tiene un alto potencial para maricultura y restauración de poblaciones naturales de la especie.

Palabras clave: supervivencia, éxito, regeneración, cloaca funcional, tentáculos orales, sección anterior y posterior.

Dedicatoria

Para mi querido abuelo, el gran jefe Pluma Blanca.

Agradezco todos los consejos, su apoyo y el cariño que me brindó, siendo para mí un símbolo de admiración, sabiduría y respeto. Estoy segura de que, desde donde su alma descanse, sigue apoyándonos y exhortándonos a ser mejores con su famosa frase: *“Tú eres”*.

“Mil batallas están por venir, esta no es ni la primera ni la última que lograré superar”.

Agradecimientos

La vida me ha enseñado que todo puede pasar cuando menos te lo esperas y lo que jurabas que no pasaría pasa, y si sí lo esperabas, no ocurre como lo planeaste. Y aquí estoy redactando “por fin” las últimas líneas, las que considero son unas de las más valiosas, pues se dan a conocer a grandes personas que, sin su aporte, esta meta no podría ser cumplida.

Estoy agradecida con mis padres que sin los valores que me han inculcado, el apoyo, ni sus exigencias, el motivarme a salir adelante día con día, hoy no sería la persona que soy, ni estaría por cumplir esta gran meta, que no solamente es mía, sino de ellos también como padres.

A mis hermanos también debo agradecerles, pues sin ellos mi vida sería tan aburrida, que al ser la mayor me han motivado a esforzarme y que ellos tengan un ejemplo en quien guiarse, y no me refiero a los logros, sino también a los fracasos, que un día ellos mismos tendrán que enfrentar.

En general agradezco a toda mi familia tanto materna como paterna, que si me pusiera a nombrar uno por uno no lograría terminar, pues que es uno sin su familia, la que está ahí, aunque haya días que nos agarremos del chongo, pero también días de risa que hacen doler el estómago.

A mi querida Adry, mujer a la que quiero con toda mi alma, que me ha enseñado lo que es la verdadera amistad, una pura y sincera, que a pesar de que la distancia nos separa por mucho, ella ha sabido estar cuando más la he necesitado, agradezco todo el apoyo y amor incondicional que me ha dado.

A Rodrigo, con quien, sin querer, nos hemos cruzado en este caos llamado vida; quien, después de tantos años compartidos, me ha enseñado que incluso en los peores momentos y escenarios siempre hay esperanza de que todo volverá a estar bien. También me enseñó que las matemáticas no son tan difíciles después de todo.

A mi profesor, el Dr. Francisco Benítez, le expreso mi más profundo agradecimiento por su paciencia, sus enseñanzas y su constante disposición a acompañarme en este proceso. Sin su guía, esta tesis no habría sido posible. Más allá de ser un

docente a quien admiro profundamente, fue una persona que supo ganarse mi confianza, brindándome escucha y apoyo cuando más lo necesité.

A mis revisores: Pablo Pintos, Francisco Solís, Ana torres y Carmen Alejo, les agradezco sinceramente por el tiempo, la dedicación y las valiosas observaciones que aportaron a este trabajo. Sus comentarios fueron clave para mejorar y fortalecer esta tesis.

A mis amigos, los que son y los que fueron, pues cada uno jugo un papel importante en el tiempo que compartimos, les agradezco por su apoyo incondicional, por acompañarme en cada etapa de este proceso. Su cariño y compañía hicieron este camino mucho más llevadero. Gracias especialmente a Lara, Nayeli, Lyli, Iván y David por seguir acompañándome.

Agradezco al Laboratorio de Acuicultura por brindarme el espacio, los recursos y el acompañamiento necesarios para realizar mi diseño experimental.

A la Universidad, expreso mi agradecimiento por brindarme la formación, los recursos y el entorno académico necesarios para desarrollar esta etapa tan importante de mi vida profesional.

También quiero agradecerme a mí misma por la constancia y dedicación para llevar adelante este proyecto, a pesar de los desafíos que surgieron en el camino, pues solo yo soy consciente del gran esfuerzo que me costó llegar hasta aquí.

ÍNDICE

Índice de figuras	8
Índice de tablas	10
1. Introducción	11
2. Antecedentes	15
3. Justificación	18
4. Hipótesis	19
5. Objetivos	19
5.1 Objetivo general	19
5.2. Objetivos particulares	19
6. Área de estudio	19
7. Materiales y métodos	21
7.1 Declaración ética	21
7.2 Recolecta de especímenes y proceso de aclimatación	21
7.3 Experimentos.....	22
7.4 Análisis de datos	24
8. Resultados	25
8.1 Observaciones generales.....	25
8.1.1 Tiempo de regeneración de las mitades anterior y posterior después de la fisión transversa	25
8.2 Evaluación de las tallas	28
8.3 Evaluación de los pesos	31
8.4 Supervivencia	34

9. Discusión	35
9.1 Tiempo de regeneración y supervivencia	36
10. Conclusiones	39
11. Recomendaciones	40
12. Referencias	41

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de la playa Estacahuite, Puerto Ángel, Oaxaca, México.....	21
Figura 2. Toma de datos de longitud y peso de los organismos antes del experimento.....	22
Figura 3. Pepinos en periodo de aclimatación.	22
Figura 4. Proceso de fisión en los organismos.	23
Figura 5. Distribución de estanques.	24
Figura 6. Exposición de vísceras tras el corte del organismo (sección posterior grande).....	25
Figura 7. (A) Proceso de regeneración en sección anterior (formación de cloaca y ano) y (B) posterior (formación de zona oral).....	26
Figura 8. Sección anterior grande expulsando chorro de agua a través de cloaca en regeneración.	26
Figura 9. (A) Proceso de regeneración en sección anterior (formación de cloaca y ano) y (B) posterior (formación de zona oral), ambos al 90% de su regeneración total.	27
Figura 10. Sección posterior pequeña al 99% de su regeneración completa con apreciación de tentáculos orales.	27
Figura 11. Comportamiento de las longitudes promedio (\pm DE) de los grupos experimentales de <i>Holothuria inornata</i> correspondientes a las dos secciones a lo largo del experimento. SAG: Sección anterior grande, SPG: Sección posterior grande, SAP: Sección anterior pequeña y SPP: Sección posterior pequeña.....	29
Figura 12. Comportamiento de pesos promedio (\pm DE) de los grupos experimentales de <i>Holothuria inornata</i> correspondientes a las dos secciones a lo largo del experimento. SAG: Sección anterior grande, SPG: Sección posterior grande, SAP: Sección anterior pequeña y SPP: Sección posterior pequeña.....	32

Figura 13. Valores del porcentaje de supervivencia de los cuatro grupos experimentales de *Holothuria inornata* a lo largo del experimento. SAG: Sección anterior grande, SPG: Sección posterior grande, SAP: Sección anterior pequeña y SPP: Sección posterior pequeña..... 34

Índice de tablas

Tabla I. ANOVA de tallas grandes. Resultados univariados para cada variable de distribución. Parametrización con restricción sigma. Descomposición de hipótesis afectiva.....	30
Tabla II. ANOVA de tallas pequeñas. Resultados univariados para cada variable de distribución. Parametrización con restricción sigma. Descomposición de hipótesis afectiva.....	30
Tabla III. ANOVA de pesos grandes. Resultados univariados para cada variable de distribución. Parametrización con restricción sigma. Descomposición de hipótesis afectiva.....	33
Tabla IV. ANOVA de pesos pequeños. Resultados univariados para cada variable de distribución. Parametrización con restricción sigma. Descomposición de hipótesis afectiva.....	33
Tabla V. ANOVA de supervivencia. Resultados univariados para cada variable de distribución. Parametrización con restricción sigma. Descomposición de hipótesis afectiva.....	35