



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS



“INCIDENCIA DE ESPONJAS PERFORADORAS EN *Magallana gigas* CON RELACIÓN AL AUMENTO DE LA TEMPERATURA y DISMINUCIÓN DEL pH”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN RECURSOS ACUÁTICOS

EN EL ÁREA DE DESARROLLO DE SISTEMAS PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE ORGANISMOS ACUÁTICOS

PRESENTA:

DIANA CECILIA DÍAZ MEZA

DIRECTORES DE TESIS:

DR. FRANCISCO ANTONIO FLORES HIGUERA

DRA. DIANA JUDITH LOPEZ PERAZA

MAZATLÁN, SINALOA, ENERO 2025.



Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

UAS-Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial
Compartir Igual, 4.0 Internacional



Resumen:

Los océanos han absorbido el 40% del aumento del CO₂ atmosférico de origen antropogénico, provocando la disminución del pH y del estado de saturación de CaCO₃, que los moluscos bivalvos utilizan para construir sus conchas, lo que se ha denominado acidificación oceánica. Este cambio supone una mayor incidencia de esponja perforadora, las cuales al crecer forman galerías en estructuras calcáreas lo que representa un riesgo para el desarrollo de moluscos bivalvos. El presente estudio tiene por objetivo; 1) la Identificación taxonómica de las esponjas perforadoras; 2) determinar la prevalencia y el nivel de daño provocado por esponjas perforadoras en *Magallana gigas* de cultivo; 3) Establecer el efecto de la temperatura y el pH sobre el incremento del porcentaje de área dañada por las esponjas perforadoras en las valvas de *M. gigas*. Se realizaron 7 muestreos para conocer la prevalencia de esponjas perforadoras en 5 granjas de ostión en Sinaloa, se colectaron 30 org/muestreo/granja. Se determinó la prevalencia de la incidencia por muestreo. Se identificaron 3 especies *Cliona californiana*, *Cliona amplicavata* y *Pione mazatlanensis*. Teacapán presentó una prevalencia del 100 %, siendo diferente entre los sitios y la época de muestro RM ANOVA, (P= 0.0001). El análisis de la varianza de dos vías aplicado al porcentaje del área de daño indica que las diferencias observadas no se pueden atribuir como un efecto de la temperatura P = 0,068 y F= 3.376. Sin embargo, la diferencia observada en los valores medios del porcentaje de daño si se pueden atribuir como un efecto del pH P = 0,009 y F= 7.013. No existe una interacción estadísticamente significativa entre Temperatura y pH que afecte el incremento de la superficie dañada por *esponjas perforadoras* en las conchas de *M. gigas*. P = 0,773 y F= 0.0837.

Palabras claves: Cambio climático, ostricultura, bioerosión, esponjas perforadoras, ostión japonés.

Abstract

The oceans have absorbed 40% of the increase in anthropogenic atmospheric CO₂, leading to a decrease in pH and the saturation state of CaCO₃, which bivalve mollusks use to build their shells. This phenomenon is referred to as ocean acidification. This shift results in a higher incidence of boring sponges, which, as they grow, create galleries in calcareous structures, posing a risk to the development of bivalve mollusks. The aim of this study is; 1) Taxonomic identification of boring sponges, 2) determining the prevalence and level of damage caused by boring sponges in cultivated *Magallana gigas*; 3) Establishing the effect of temperature and pH on the increase in the percentage of area damaged by boring sponges in the shells of *M. gigas*. Seven samplings were conducted to determine the prevalence of boring sponges in five oyster farms in Sinaloa, with 30 individuals collected per sampling per farm. The prevalence of incidence was determined per sampling. Three species were identified: *Cliona californiana*, *Cliona amplicavata*, and *Pione mazatlanensis*. Teacapán showed a prevalence of 100%, differing between sites and sampling periods (RM ANOVA, P=0.0001). Two-way analysis of variance applied to the percentage of damaged area indicates that the observed differences cannot be attributed as a temperature effect (P=0.068, F=3.376). However, the observed difference in the mean values of the percentage of damage can be attributed as a pH effect (P=0.009, F=7.013). There is no statistically significant interaction between temperature and pH affecting the increase in the damaged surface area caused by boring sponges in *M. gigas* shells (P=0.773, F=0.0837).

Keywords: Climate change, oyster farming, bioerosion, boring sponges, Japanese oyster.

Dedicatoria

Esta tesis es dedicada principalmente para ti mamá mi querida Rosa más hermosa del Jardín, por tu paciencia, apoyo y comprensión en todo el proceso, por no dejar que me rindiera, por recordarme todos los días que el esfuerzo tendrá sus frutos, por todas tus oraciones dedicadas a tus hijos, si pudiera volver a elegirte en otra vida como mi madre lo haría sin pensarlo. Gracias madre, este escrito es para ti. Al esposo de mi mamá Julio, brindando su apoyo en todo momento y siendo parte de esta travesía siempre estando disponible de buena manera y con buena fé en lo que necesite, gracias.

Para ti abuela, mi gran ser de luz que me acompaña desde bebe y siendo tan afortunada de seguir teniéndote en mi vida y que sepas mi crecimiento, gracias mi reinita, gracias abuela por creer en mí y por todo tu apoyo incondicional.

A mis hermanos; un pedacito de ustedes siempre tendré, gracias por estar ahí para mí, por su paciencia y tolerancia, por sus buenos deseos y por tan si quiera considerarse orgullosos de mí. En especial para la hermana más pequeña de todos carolina, a ella que estuvo de forma incondicional en momentos más difíciles para mí, a ella que me ha brindado su apoyo en todo momento, sabiendo tolerar mis arranques y nunca dejarme sola, no tengo palabras para expresar mi gran cariño por ti, siempre serás la niña pequeña de mis ojos.

Esta dedicatoria también va para usted, mi director tesis el Dr. Francisco Antonio flores Higuera, una excelente persona, investigador y docente por confiar en mi desde el inicio que me acepto como estudiante, por guiarme, aconsejarme y ayudarme durante todo este proceso y cual solo es el inicio de lo que está por venir, por que juntos somos un equipo.

¿Cómo poder olvidarme de ti? te envié esta tesis y dedicatoria al cielo a ti papá... siempre estarás en nuestros corazones...

“Un poco de ciencia aleja de Dios, pero mucha ciencia devuelve a Él” Louis Pasteur.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR) de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) por la oportunidad de realizar este posgrado,

Al Centro Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por la beca de Maestría

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Unidad Mazatlán UNAM (ICML) por el financiamiento del muestreo 2020.

Especialmente le agradezco al Doctor Francisco Antonio Flores Higuera, quien fue la mente responsable de la elaboración de este tema de investigación y quien me dio la oportunidad y confianza de iniciar este proyecto como director de la presente tesis.

Agradezco a las instalaciones del laboratorio de Estudios Camaronícolas por estar siempre a mi disposición en esta elaboración de tesis

Agradezco a todos los miembros revisores del comité académico: A la Dra. Mayra Ixchel Grano Maldonado, Dr. Benjamín Yáñez Chávez y al Dr. José Luis Carballo Cenizo, por todas sus observaciones, comentarios y aportaciones durante la escritura de esta tesis.

Para mi coodirectora de tesis Diana Judith López Peraza, le agradezco por su apoyo en la coodirección de la tesis, por prestar las instalaciones del laboratorio de Microalgas para la instalación de la etapa experimental.

A los dueños y ostricultores de las cinco granjas de Altata, Sinaloa, por habernos proporcionado las muestras biológicas (ostiones) durante los muestreos.

A los estudiantes de la brigada de servicio social, les agradezco todo su ayuda y apoyo en la realización del experimento.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Aumento de concentración de CO ₂ atmosférico	14
1.2. Química oceánica	14
1.2.1. Reacción química de la acidificación oceánica.....	15
1.3. Efectos de la acidificación de los océanos	16
1.4. Cultivo de <i>Magallana gigas</i> (Thunberg, 1793) en México.....	17
2. ANTECEDENTES	23
2.1. El cambio climático, la acidificación oceánica y sus repercusiones.	23
2.2. Calcificación	24
2.3. Impacto de la esponja <i>Cliona</i> sp. en el cultivo de <i>M. gigas</i>	25
2.4. Descripción de las esponjas perforadoras.....	26
2.4.1. Reproducción de las esponjas.....	27
2.5. Clasificación taxonómica de la especie <i>M. gigas</i>	28
3. Planteamiento del problema	30
4. IV. HIPÓTESIS.....	31
5. OBJETIVO GENERAL	32
5.1. Objetivos específicos	32
6. MATERIALES Y MÉTODOS	33
6.1. Evaluación visual de esponjas perforadoras	33
6.2. Determinación de las especies de esponjas perforadoras en <i>M. gigas</i> .	
34	
6.2.1. Obtención de tejido de esponjas para su determinación	
taxonómica	34
6.2.2. Obtención de espículas.....	34
6.2.3. Determinación Taxonómica	34
6.3. Determinación del nivel de prevalencia.....	35

6.4.	Determinación del grado de infestación de esponjas perforadoras en <i>M. gigas</i>	36
6.5.	Bioensayo de estrés por pH, temperatura y el efecto de las esponjas perforadoras en <i>M. gigas</i>	36
6.6.	Calidad del agua	41
6.7.	Análisis estadístico	41
7.	RESULTADOS	43
7.1.	Descripción de condiciones ambientales	43
7.2.	Determinación taxonómicas de las especies de esponjas perforadoras en <i>M. gigas</i>	45
7.3.	Nivel de prevalencia por esponjas perforadoras entre sitios y época de muestreo	46
7.4.	Efecto de la Temperatura y pH sobre el incremento del daño de esponjas perforadoras sobre <i>M. gigas</i>	51
8.	DISCUSIÓN.....	54
8.1.	Identificación taxonómica de las esponjas perforadoras	54
8.2.	Factores ambientales.....	57
8.3.	Nivel de prevalencia por esponjas perforadoras entre sitios de muestreo	58
8.4.	Efecto de la Temperatura y pH sobre el incremento del daño de esponjas perforadoras sobre <i>M. gigas</i>	59
9.	CONCLUSIONES	61
10.	REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Reacción química de la acidificación oceánica (Kolied y Savitz, 2009). El CO ₂ absorbido por la atmósfera reacciona con el agua del mar formando ácido carbónico. Este ácido libera un ión bicarbonato y un ión hidrógeno. El ión hidrógeno se une a los iones.	15
Figura 2	<i>M. gigas</i> infectada con <i>Cliona</i> sp. (Coleman, 2014).	20
Figura 3	Proceso de invasión de <i>Cliona</i> sp. modificada de Pomponi, (1980). 1) Adhesión de la esponja a una superficie calcárea (concha de un molusco). 2) Acción del proceso químico para fragmentar la concha utilizando diversas sustancias químicas. 3) Acción del proceso mecánico para eliminar el fragmento de concha que se arrancó durante el proceso químico a través del tejido de la esponja. 4) Liberación del fragmento de concha al medio exterior. 5) Penetración y formación de los canales de <i>Cliona</i> sp.	21
Figura 4	Esponjas perforadoras afectando estructuras calcáreas	26
Figura 5	Ostión japonés <i>M. gigas</i> (INAPESCA, 2018).	28
Figura 6	Distribución de lagunas costeras y áreas de ostión donde se realizará el estudio. Cinco granjas ostrícolas, bahía El Perro, Maviri, Huichoral, Espejo y Teacapán.	32
Figura 7	Esquemmatización del diseño experimental, Diseño aleatorio de dos factores, pH y Temperatura por triplicado, dos temperaturas 22°C y 26°C, dos pH 8.1 y 7.7, con una alimentación de microalga <i>Isochrysis galbana</i> .	36
Figura 8	Diseño experimental	38
Figura 9	Fotografía en vivo, valvas de <i>M. gigas</i> con presencia de esponja perforadora viva	39
Figura 10	Esquemmatización del análisis estadístico. 1) Conversión de porcentaje a raíz cuadrada de arcoseno, 2) Prueba de Shapiro-Wilks y levene's, #) ANOVA de dos vias, 4) Comparación múltiple de Holm-Sidak.	41
Figura 11	Porcentaje de abundancia de las principales esponjas perforadoras presentes en cultivos de ostión japonés (<i>M. gigas</i>), ubicados en el estado de Sinaloa.	45
Figura 12	Nivel de prevalencia por sitio de muestreo.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación taxonómica de <i>M. gigas</i> (Thunberg, 1793). MolluscaBase (2024).	28
Tabla 2	Coordenadas de los sitios de muestreo.	32
Tabla 3	Tratamientos experimentales.	36
Tabla 4	Registro de temperaturas (t°) por sitio y por muestreo.	42
Tabla 5	Registro de pH por sitio y por muestreo.	43
Tabla 6	Registro de Oxígeno Disuelto por sitio y por muestreo.	43
Tabla 7	Registro de salinidad por sitio y por muestreo.	43
Tabla 8	Registro de alcalinidad por sitio y por muestreo.	44
Tabla 9	Comparación estadística de los sitios de muestreo con la prueba de ANOVA de Dos Vías. El color rojo indica el lugar estadísticamente diferente a los demás.	47
Tabla 10	Resultados de la regresión logística que describen la relación entre el sitio y el muestreo sobre la probabilidad de presencia de esponjas perforadoras en <i>M. gigas</i> y b. Prueba de efectos de Wald sobre los factores sitio y muestreo en la presencia de esponjas perforadoras en <i>M. gigas</i> durante el periodo de muestreo	48
Tabla 11	Probabilidades de presencia de esponjas perforadoras <i>M. gigas</i> función del sitio de muestreo. La tabla también contiene el intervalo de confianza (IC) en la relación a la probabilidad de presencia de las esponjas y se visualiza el valor p resultante. Solo se muestran los valores significativos ($p < 0.05$).	49
Tabla 12	. Probabilidades de presencia de esponjas perforadoras <i>M. gigas</i> función del sitio de muestreo. La tabla también contiene el intervalo de confianza (IC) en la relación a la probabilidad de presencia de las esponjas y se visualiza el valor p resultante. Solo se muestran los valores significativos ($p < 0.05$).	50
Tabla 13	Porcentaje de daño de las conchas de <i>M. gigas</i> sometidos a dos niveles de pH (8.1 y 7.7) y dos niveles de temperatura (22 y 26 °C).	51
Tabla 14	Química del agua. Dos niveles de pH (8.1 y 7.7) y dos niveles de temperatura (22 y 26 °C).	52
Tabla 15	Correlación de pearson de los factores ambientales en relación a el porcentaje de daño de las conchas de <i>M.</i>	52

magallana (r^2 , valor de p , $n=30$). En rojo se muestran las correlaciones estadísticamente significativas $\alpha= 0.05$.

1. INTRODUCCIÓN

En la segunda mitad del siglo XX comenzó la preocupación sobre el fenómeno conocido como *Cambio Climático*. Si bien hay muchos factores que intervienen en el clima de la Tierra, se ha identificado que el aumento antropogénico de los gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O y gases fluorados) así como el cambio de uso de la tierra, han tenido una influencia sobre el balance de la radiación del sistema superficie-atmósfera del planeta en la atmósfera, lo cual ha provocado un aumento de la temperatura atmosférica (Pabón, 2003).

El término *cambio global* define al conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. Se incluyen en este término aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global del sistema Tierra (Zamora, *et al.*, 2016).

A lo largo del último siglo, diversos elementos biofísicos, como la atmósfera, los océanos, los recursos hídricos, los suelos y la biodiversidad, han experimentado cambios debido al incremento de las actividades humanas. Estas acciones humanas han ejercido una influencia significativa con repercusiones a nivel geológico, lo que ha llevado a identificar nuestro período actual como la Era del Antropoceno (Trischler, 2017). Los impactos resultantes en el sistema biofísico desencadenan una serie de efectos en los sistemas biológicos, como los ecosistemas y las comunidades, así como afectan a los sistemas socioeconómicos. Estas transformaciones se caracterizan por tener orígenes múltiples y no lineales en cuanto a sus causas e impactos, manifestando comportamientos sinérgicos que complican su predicción mediante enfoques no sistémicos (Duarte *et al.*, 2006). Estos cambios han ocasionado un desequilibrio en el ciclo natural de elementos como el carbono, nitrógeno y fósforo, entre otros. La actividad humana, especialmente a partir de la Revolución Industrial, ha tenido un impacto sin precedentes en el planeta, dando lugar a uno de los mayores desafíos de la historia humana: el cambio climático (Duarte *et al.*, 2006)

El cambio climático se define como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (CMNUCC, 2022). Por otro lado, existe otras consecuencias del aumento del CO₂ de origen antropogénico, la *acidificación de los océanos* (AO), que es causada por la difusión del CO₂ atmosférico (resultante de la actividad humana) al mar. Esto provoca una disminución del pH del agua de mar, y por consecuencia, efectos negativos en los organismos calcáreos como corales, moluscos, crustáceos y algunas algas coralinas (Torres, 2018).

1.1. Aumento de concentración de CO₂ atmosférico

Los océanos son el mayor almacén, o sumidero de CO₂ antropogénico de la Tierra (Sabine *et al.*, 2004). Desde el siglo XVIII, los océanos han absorbido más de 460 mil millones de toneladas métricas de CO₂ (Sabine *et al.*, 2007), lo que representa casi la mitad de las emisiones de este gas, resultantes de la quema de combustibles fósiles, o aproximadamente el 30% de todas las emisiones de CO₂ producidas por el ser humano (Sabine *et al.*, 2004). Se estima que los océanos absorben diariamente alrededor de 30 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono (Feely *et al.*, 2008), casi el doble de la cantidad emitida por EE UU cada día (EIA, 2007).

La concentración de CO₂ en la atmósfera es la más alta en la historia de la humanidad, hasta donde han podido determinar los científicos en los últimos 800,000 años, el nivel no había superado los 300 ppm (Luthi *et al.*, 2005). Si continuamos con la tendencia actual de emisiones, para el año 2050 el pH del océano será el más bajo de los últimos 20 millones de años (Turley *et al.*, 2007).

1.2. Química oceánica

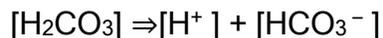
El océano tiene un rol central en la mayoría de los procesos terrestres, este cubre alrededor del 70% del planeta y en conjunto con la atmósfera absorben y liberan el carbón en forma de moléculas de bióxido de carbono, por lo que se considera un proceso bidireccional. El CO₂ desempeña un importante papel natural en la regulación del pH del agua de mar (Millero, 1996; Caldeira y Wickett, 2003).

El pH describe la acidez de una solución acuosa, es una base logarítmica negativa: $-\log_{10} [H^+]$ la cual depende de la concentración del ión hidrógeno, lo que significa que si $[H^+]$ aumenta 10 veces, el pH disminuye entonces por 1 unidad. Las aguas superficiales de los océanos son ligeramente alcalinas, con un valor promedio alrededor de pH 8.1 (Caldeira *et al.*, 2008).

El flujo de CO_2 en la interfaz océano-atmósfera está controlado por la diferencia en la presión parcial de CO_2 en la atmósfera y en las aguas superficiales, una vez disuelto en el océano, gran parte de dióxido de carbono primero reacciona con la molécula de agua para formar ácido carbónico (H_2CO_3) y se equilibra con los iones bicarbonato y carbonato. La concentración del ion carbonato controla la velocidad de precipitación y disolución de $CaCO_3$ en los océanos (Miller y Serrano 1996).

1.2.1. Reacción química de la acidificación oceánica

El ácido carbónico es considerado un ácido débil, porque se puede separar parcialmente en sus componentes, iones bicarbonato e hidrógeno, arrojando un exceso de $[H^+]$ a la solución, lo que lleva al pH a valores bajos (Feely *et al.*, 2004).



Este aumento en los iones de hidrogeno da como resultado que algunos iones carbonato $[CO_3^{2-}]$ reaccionen con el ión hidrógeno $[H^+]$ y formen bicarbonato



La disolución de CO_2 en el agua de mar incrementa las concentraciones de ión hidrógeno, ácido carbónico $[H_2CO_3]$ y bicarbonato $[HCO_3^-]$, mientras que las concentraciones de ión carbonato $[CO_3^{2-}]$ disminuyen. La disminución de la concentración de iones de carbonato tiene consecuencias muy importantes en la química marina, ya que estos minerales son utilizados por la mayoría de los moluscos bivalvos para formar esqueletos o conchas (Figura 1).

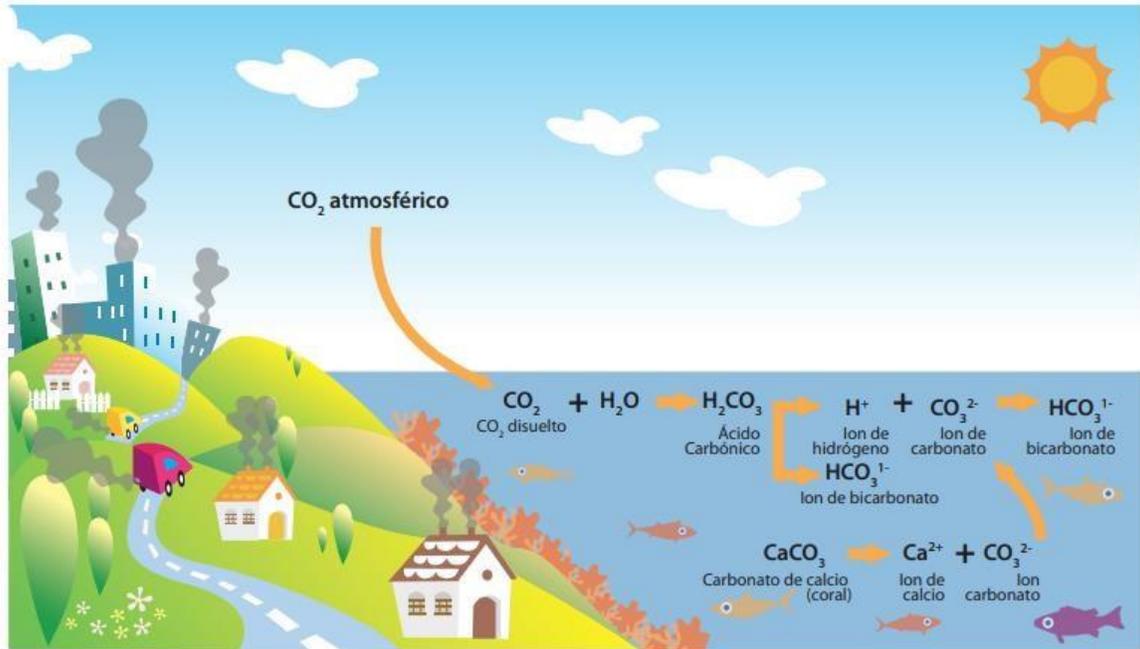


Figura 1- Reacción química de la acidificación oceánica (Koliéd y Savitz, 2009). El CO_2 absorbido por la atmósfera reacciona con el agua del mar formando ácido carbónico. Este ácido libera un ión bicarbonato y un ión hidrógeno. El ión hidrógeno se une a los iones.

En las regiones donde el estado de saturación de la aragonita o de la calcita sea mayor a uno (Ω_{arag} o $\Omega_{\text{cal}} > 1.0$) la formación de esqueletos y conchas se ve favorecida. Valores por debajo de 1.0 significan que el agua es corrosiva y comenzará a producirse la disolución de depósitos de aragonita pura, siendo esta aún menos soluble que la forma calcita (Barker y Elderfiel, 2002; Feely *et al.*, 2004).

1.3. Efectos de la acidificación de los océanos

La acidificación del océano se produce cuando los océanos absorben una parte del CO_2 que se emite a la atmósfera. La reacción del CO_2 con moléculas de agua (H_2O) produce ácido carbónico (H_2CO_3). El ácido carbónico es un ácido débil, pero incluso los cambios ligeros de la acidez de los océanos pueden tener consecuencias enormes en algunos organismos como la mayoría de los moluscos bivalvos y causar efectos colaterales en toda la cadena alimentaria (Koliéd y Savitz, 2009). La AO podría romper directamente el equilibrio ácido-base de los calcificadores, lo que

interrumpirá su respuesta inmunológica, metabolismo energético, crecimiento, reproducción y procesos de calcificación (Gazeau *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2016). En este sentido, la AO puede dificultar que los organismos calcificadores marinos, como los corales, moluscos y algunas algas, formen estructuras calcáreas y que estas, una vez formadas se vuelven vulnerables a la disolución (Barros, *et al.*, 2013). Esto pone en riesgo el equilibrio de ecosistemas marinos como los arrecifes de coral, que constituyen la mayor fuente de ingresos y proteína para millones de personas en el mundo y, además de afectar a los organismos marinos podría incluso acelerar el cambio climático. (Barros *et al.*, 2013).

Esto es debido a que las estructuras de carbonato cálcico sólo existen en aguas donde hay un nivel suficiente de iones carbonato, por lo que el aumento de iones hidrógeno donde hay una escasa concentración de iones carbonato, disminuye la cantidad de carbonato disponible e incluso puede hacer que las estructuras calcáreas se disuelvan (Kolieb y Savitz, 2009). Con la acumulación de dióxido de carbono, se incrementarán las zonas de los océanos que ya tenían un pH lo bastante bajo como para corroer las estructuras de carbonato de calcio (Raven *et al.*, 2005).

La concentración de iones hidrógeno define el grado de acidez del océano, en una situación normal, la unión de iones hidrógeno con iones carbonato está en equilibrio, no favoreciendo el proceso de acidificación. Sin embargo, dicho equilibrio se rompe debido a las grandes cantidades de CO₂ que se están absorbiendo, siendo por tanto el proceso de disolución de las estructuras calcáreas la única manera de que el océano recupere los niveles de acidez anteriores a la época pre-industrial (Kolieb y Savitz, 2009).

1.4. Cultivo de *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) en México

El ostión del Pacífico u ostión japonés *M. gigas*, es originario de los mares de Japón donde habita en zonas estuarinas, desde la zona intermareal hasta profundidades de 40 metros (INAPESCA, 2018). Se le encuentra adherido a rocas, restos de conchas u otros sustratos firmes, aunque también se le ha localizado en fondos

arenosos y lodosos (INAPESCA, 2018). Una característica notable de la especie es que, a pesar de ser habitante de zonas frías y templadas, es euritérmica y eurihalina (Miossec, 2009), lo que le permite desarrollarse y sobrevivir dentro de intervalos amplios de temperatura (-2 hasta 35 °C) y salinidad (0 hasta 50 ups) (Heral y Deslous-paoli, 1991). Debido a su gran tolerancia a las condiciones ambientales y a un potencial de rápido crecimiento, *M. gigas* ha sido elegida para ser introducida en varias regiones del mundo, con fines de cultivo o como reemplazo de poblaciones nativas de ostión afectadas por enfermedades o sobre-explotación.

El ostión japonés (*M. gigas*) es reconocido como uno de los moluscos bivalvos más destacados en términos comerciales a nivel mundial, según la FAO, (2015) en el año 2016, se produjeron a nivel mundial 573,617 toneladas de *Magallana gigas*, los principales países productores de ostión históricamente son: China (82% de la producción mundial total), Corea, Japón, Estados Unidos, Francia y México.

Desde su introducción en los años 70 en México, los principales estados que cultivan esta especie son: Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, para el cultivo de esta especie los parámetros fisicoquímicos son de mucha importancia, la temperatura debe de ser una mínima de 15°C y una máxima de 30° C, el oxígeno disuelto debe oscilar de 3 a 6 mg/l, pH de 7.5 a 8.2 y una salinidad de 20 a 35 ppm (Rodríguez-Quiroz *et al*, 2016; INAPESCA, 2018).

El ostión del Pacífico *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) se destaca como una especie de gran importancia comercial, especialmente en el noroeste de México, donde es el principal bivalvo cultivado.

La producción de *Magallana gigas* es vulnerable ante el proceso de Cambio Global y en particular de la acidificación marina por la dependencia de sus estructuras calcáreas (Vázquez-Vera, y Chávez-Carreño, 2022). Algunos efectos reportados sobre los individuos cultivados son la reducción de crecimiento (Gazeau *et al.*, 2013), del grosor y la longitud de sus valvas (Hofmann *et al.*, 2001), anomalías en la etapa larvaria (Watson *et al.*, 2009; Flores-Higuera *et al.*, 2020) y afectaciones en el proceso reproductivo (Kimura *et al.*, 2011). En México, todos los litorales se

verán impactados por la acidificación marina. Para el caso del noroeste, este fenómeno se presenta de forma natural, debido a las surgencias marinas, por lo que se espera un mayor efecto (Lluch-Cota *et al.*, 2017);

La acidificación de los océanos (OA), es bien conocida por afectar a organismos calcificadores marinos como los ostiones y su biomineralización (formación de la concha) en dos aspectos: 1) disolución severa de las estructuras calcáreas formadas, 2) reducción de la tasa de calcificación bruta, lo que lleva a una calcificación neta reducida (Calcificación neta = Calcificación bruta + Disolución) (Metalpa, *et al.* 2011; Cyronak, Schulz y Jokiel 2015). Estos efectos negativos se deben al pH reducido y al estado de saturación de carbonatos de la acidificación oceánica (Orr, *et al.* 2005).

La concha de los moluscos es un excelente ejemplo de biomineralización, es decir, del proceso celular por el cual se lleva a cabo la precipitación de minerales dentro o fuera de los seres vivos como resultado de su metabolismo en un determinado momento de su ciclo vital (Dove *et al.*, 2003). La concha es secretada por el manto y está formada en más de 95% por carbonato de calcio (CaCO_3), y dependiendo de la especie, puede precipitarse la calcita, la aragonita o algún otro polimorfo de carbonato de calcio durante la biomineralización (Kurman, *et al.*, 2017). Este proceso implica la existencia de un programa genético que dicta el tiempo de mineralización, el espacio de precipitación de la concha y su crecimiento sucesivo (Wallace *et al.*, 2013). En las ostras, por ejemplo, la concha se forma por la deposición secuencial de carbonato de calcio a lo largo de dos direcciones: hacia el fondo (dentro de la concha) y hacia atrás (en dirección opuesta a la charnela) (Kurman *et al.*, 2017).

En general, la estructura de la concha presenta tres capas: una capa orgánica que sirve de protección y aislante llamada periostraco, una capa nacarada de calcita o aragonita y una capa prismática de calcita (Dove *et al.*, 2003). El resto lo componen polímeros orgánicos que incluyen proteínas. La estructura macromolecular de la concha presenta grandes variaciones ya que depende de la especie y de las condiciones ambientales de crecimiento. A medida que el animal va creciendo se

va añadiendo nuevo material a un templado orgánico. Tanto la calcita como la aragonita se encuentran ensamblados como una matriz orgánica en cantidades variables (Dove *et al.*, 2003).

La bioerosión es la destrucción o desintegración de sustratos duros por la actividad de organismos vivos (Neumann, 1966). En arrecifes coralinos, este proceso es de suma relevancia para la renovación arrecifal y ciertas especies de esponjas marinas son uno de los representantes más importantes de este grupo funcional, que incluye peces, crustáceos, moluscos bivalvos y poliquetos, entre otros. Las esponjas de la familia *Clionidae* son una de las más importantes en el sentido que las especies de esta familia excavan cavidades dentro del sustrato calcáreo, incluyendo rocas sedimentarias y estructuras construidas por organismos calcificantes como moluscos, algas calcáreas y corales escleractínios (Carballo, *et al.*, 2008).

Por otra parte, *Cliona* sp. (Fig. 2) causa daños sustanciales a las conchas de *M. gigas*, y puede causar una pérdida económica considerable de las cosechas silvestres y cultivadas (Warburton, 1958). Si bien la esponja podría causar mortalidad en ostiones más grandes y viejos, gran parte de la pérdida económica se debe a la reducción del valor de mercado de las ostras debido a sus conchas frágiles (Carver, 2010).



Figura 2- *M. gigas* infectada con *Cliona* sp. (Coleman, 2014)

Las esponjas de la familia *Clionidae* excavan galerías y túneles en estructuras calcáreas, mediante un mecanismo de erosión mecánico y secreciones ácidas (Rützler, 1973). Estas esponjas se encuentran distribuidas en todo el mundo y tienen un impacto negativo, sus hospederos son principalmente moluscos bivalvos y corales. La infestación por esponjas perforadoras se ha relacionado durante mucho tiempo con pérdidas en la pesquería y cultivo de ostiones, ya que los bivalvos fuertemente infestados son antiestéticos, con valvas frágiles y a veces maloliente (Haigler, 1969).

El proceso de bioerosión de las esponjas incluye una fase química y una mecánica, en la primera se involucran células especializadas (arqueocitos) que secretan anhídrido carbónico y fosfatasa, permitiendo a las células extraer partículas de carbonato de calcio y disolver una parte significativa de carbonato durante el proceso (Gonzales y Hernández, 2021). Posteriormente, la remoción de los fragmentos desprendidos del sustrato principal propicia, alteraciones mecánicas, durante las cuales los restos del material calcáreo son transportados por el sistema acuífero de la esponja y posteriormente expulsados al exterior a través de sus papilas excurrentes (Pomponi, 1980) (Figura 3). El resultado final de la bioerosión

es la formación de un complejo sistema de galerías y cámaras interconectadas dentro del sustrato calcáreo, donde habita la esponja, el contacto con el ambiente externo se mantiene a través de las papilas inhalantes y exhalantes que se extienden desde las cavidades internas hasta la superficie del sustrato (Rutzler y Rieger 1973). *Cliona* sp. se hunde profundamente en las estructuras calcáreas, casi entrando en contacto con la carne del animal (Figura 3). Esto estimula al ostión a reparar y construir nuevamente su estructura calcárea, esto puede desviar energía para su crecimiento y evita que los organismos se vuelvan "grandes y succulentos" (Laubenfels, 1947). El tejido de los ostiones fuertemente infestados por *Cliona* sp. a menudo parece delgado y acuoso. Particularmente, al perforar la región donde se sujeta el músculo abductor, también disminuye la efectividad del mecanismo de cierre de la concha, aumentando la posibilidad de que el bivalvo sea depredado (Guida, 1976).

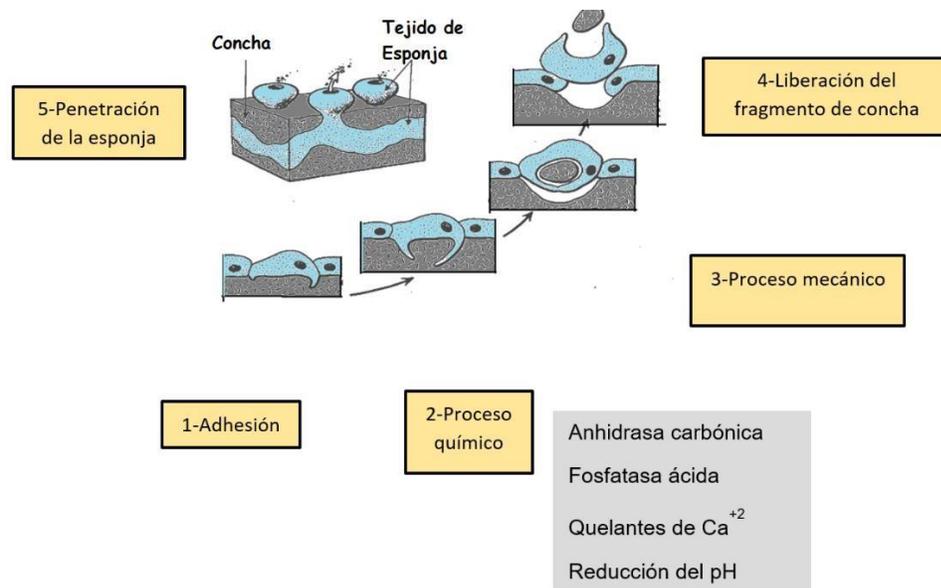


Figura 3- Proceso de invasión de *Cliona* sp. modificada de Pomponi, (1980). 1) Adhesión de la esponja a una superficie calcárea (concha de un molusco). 2) Acción del proceso químico para fragmentar la concha utilizando diversas sustancias químicas. 3) Acción del proceso mecánico para eliminar el fragmento de concha que se arrancó durante el proceso químico a través del tejido de la esponja. 4) Liberación del fragmento de concha al medio exterior. 5) Penetración y formación de los canales de *Cliona* sp.

2. ANTECEDENTES

2.1. El cambio climático, la acidificación oceánica y sus repercusiones.

El aumento de la concentración de CO₂ está causando un incremento en la temperatura de la atmosfera y océano a nivel global y la acidificación oceánica (Caldeira y Wickett, 2003), estos fenómenos cada vez más se reconocen como impulsores importantes del cambio en los sistemas biológicos (Lovejoy, 2005). Durante al menos 650,000 años antes de la revolución industrial, las concentraciones atmosféricas de CO₂ variaban entre 180 y 300 ppm (Siegenthaler, 2005), no obstante, como un resultado de la actividad humana, la concentración de CO₂ atmosférico actual es de 417 ppm (NASA, 2021), con un incremento en la tasa anual del 0.85% (NASA, 2021), lo que representa un incremento 100 veces más rápido que cualquier cambio durante los últimos 650,000 años (Royal Society, 2005).

La presión parcial elevada del CO₂ (pCO₂) en el agua de mar (hipercapnia) puede afectar a los organismos marinos a través de la saturación de carbonato de calcio (CaCO₃), que afecta las tasas de calcificación y a través de la perturbación a la fisiología ácido-base (metabólica) (Fabry *et al.*, 2008). Trabajos recientes indican que la captación oceánica del CO₂ antropogénico y los cambios concomitantes en la química del agua de mar tienen consecuencias adversas para muchos organismos calcificantes, y pueden resultar en cambios a la biodiversidad, las acciones tróficas y otros procesos de los ecosistemas (Royal Society, 2005).

El pH de la superficie del océano ya ha caído 0.1 unidades, lo que representa un aumento del 30% en la acidez (Orr *et al.*, 2005). A finales de este siglo, si las emisiones actuales continúan, el pH podría caer otras 0.3 unidades, lo cual significaría un aumento de acidez de casi el 100% (Caldeira y Wickett, 2003). Los incrementos en el pH deben considerarse con cuidado ya que, al ser logarítmicos, pequeños cambios en las unidades implican cambios importantes en el pH. Por ejemplo, lo que parece una pequeña caída de 0.4 unidades del pH representa en realidad un aumento de más del doble (casi el 150%) de la acidez del océano (Orr

et al., 2005). En los últimos 300 millones de años, el pH del océano nunca ha caído más de 0.6 unidades por debajo del nivel (Koliéb y Savitz, 2009).

2.2. Calcificación

La calcificación depende en gran medida del “estado de saturación” del agua del entorno. Esta saturación depende de muchos factores, como la temperatura del agua y la presión (Fabry, *et al.*, 2008). En la actualidad, el agua de mar cercana a la superficie está “sobresaturada” con respecto a cualquier forma de carbonato cálcico (es decir, la concentración de iones carbonato es tan alta que se crea fácilmente carbonato cálcico). Por este motivo las aguas superficiales son las de mayor concentración de carbonato cálcico (Doney. 2007)

La capacidad de calcificación, que es una medida de la capacidad de un animal para construir su estructura de carbonato de calcio, es mayor cuando el pH es superior y el agua está “saturada” de iones carbonato. Si el nivel de saturación desciende, como ocurre en aguas más profundas, el crecimiento de estas especies también disminuye (Gehlen, *et al.*, 2007). Una vez se alcance el nivel de “infra-saturación”, el carbonato cálcico comenzará a disolverse. Sin embargo, debido a la rapidez a la que se producen dichos cambios la capacidad de calcificación puede disminuir mucho antes de que se alcance la infra-saturación, así que muchos calcificadores pueden morir antes de llegar a alcanzar el punto de infra-saturación (Orr, *et al.*, 2007).

Los primeros estudios de los efectos del pH en moluscos marinos, con caparazón fueron realizados por (Bámbér 1990). Estos estudios proporcionaron información interesante, en primer lugar, sobre la base de estos resultados los valores de pH esperados para finales de siglo, probablemente no tengan un efecto letal en las especies de moluscos con caparazón, al menos durante tiempos de exposición que oscilan entre 8 y 30 días. Sin embargo, como afirman algunos de estos autores (Andersson *et al.*, 2007), el proceso más sensible a la disminución del pH parece ser la disolución del caparazón que puede ocurrir tras la exposición a valores de pH ligeramente superiores a 7,5. Una disminución en la resistencia de la concha debido

a una mayor disolución podría aumentar la presión de depredación sobre estos organismos.

Al respecto Waldbusser *et al.*, 2011 encontró, que pequeñas disminuciones en la calcificación dan como resultado un caparazón más débil o más pequeño con el tiempo, los bivalvos juveniles serán cada vez más susceptibles a la depredación u otra posible mortalidad.

2.3. Impacto de la esponja *Cliona* sp. en el cultivo de *M. gigas*.

La esponja perforadora *Cliona* sp. va formando galerías en estructuras calcáreas mientras crece. Es de color amarillo con tonalidades verdosas y las papilas son amarillentas-marrones de entre 1 y 5 mm de diámetro (Cibsub, 2021). Las esponjas del género *Cliona* comúnmente viven en una red de cavidades y túneles que excavan en sustratos de carbonato de calcio (Hoeksem, 1983), llegando a afectar cultivos de moluscos bivalvos en todo el mundo y a las operaciones comerciales de mariscos a nivel mundial (P.A, 2000). Penetran carbonato, rocas y conchas utilizando principalmente métodos químicos y mecánicos (Rutzler y Rieger 1973), lo que reduce la integridad de la concha. Los moluscos colonizados producen material de concha adicional para compensar la progresión hacia adentro de la esponja (Stefaniak, 2005).

Carballo, *et al.*, (2004), realizaron la identificación taxonómica y descripción de las esponjas de la familia *Clionidae* del Océano Pacífico de México, se estudiaron una gran colección de esponjas recolectadas en 58 localidades diferentes de la costa del Pacífico de México y se identificaron 15 especies pertenecientes a cuatro géneros.

Numerosos estudios han examinado las tasas de infestación de *C. californiana*. y las actividades de excavación en conchas de ostras (Warburton, 1958), sorprendentemente pocos han considerado el impacto sobre la condición de las ostras y las tasas de crecimiento (Schleyer, 1991).

Al respecto, Warburton (1958) sugirió que la calidad del tejido blando de los ostiones infestados podría ser menor que la de los ostiones que no estaban infestados, aunque solo unos pocos ostiones mostraron un crecimiento disminuido como resultado de una infestación intensa de esponjas. Por otro lado, el asentamiento de larvas de los ostiones parece verse obstaculizado y las tasas de mortalidad de larvas son más altas en presencia de la esponja perforadora (Barnes *et al.*, 2010) aunque estudios más recientes han sugerido solo un impacto limitado en el asentamiento de larvas de ostiones (Dunn, 2014).

Carroll *et al.* (2015) concluyeron que el crecimiento y la condición de los tejidos de los ostiones se redujeron significativamente en los ostiones colonizados en relación con los no colonizados por esponja perforadora. Por otro lado (Coleman, 2014) sugiere que a medida que la esponja perforadora infesta los ostiones, pueden volverse más vulnerables a la depredación.

En un estudio más reciente realizado por Duckworth y Peterson (2013) ellos determinan que la alta temperatura del agua tuvo poco efecto sobre el aumento de las tasas de perforación de las esponjas y un pH más bajo, disminuyó ligeramente la supervivencia de las esponjas, al mismo tiempo que influyó en gran medida en la perforación de la concha.

2.4. Descripción de las esponjas perforadoras

Clionidae es una familia de esponjas que se encuentran en todo el mundo, esta familia es conocida por perforar agujeros parasitariamente en material calcáreo como conchas de moluscos y corales, utilizando procesos tanto químicos como mecánicos (Brusca, 2002). Se incrustan por completo en el sustrato en el que excavaron, con una delgada capa de tejido marrón- amarillento (Figura 4), se pueden llegar a expandir varios metros de diámetro, y conforme la población de *Cliona* se va dispersando, tienen ósculos pequeños y discretos (López *et al.*, 2003)



Figura 4- Esponjas perforadoras afectando estructuras calcáreas

2.4.1. Reproducción de las esponjas

Los métodos de reproducción y dispersión de las esponjas son diversos. La reproducción asexual se aprovecha de la capacidad totipotente de varias células, y también se observan procesos como la gemación y la fragmentación (Voultsiadou, 2007).

La reproducción sexual tiene varios componentes importantes, las esponjas pueden ser dioicas o monoicas, dependiendo de la especie, siendo el modelo hermafrodita el más común, usualmente con producción de gametas femeninas y masculinas en períodos alternados. Cuando los espermatozoides son liberados en el flujo de agua exhalante de la esponja (dirección hacia el ósculo y expulsado hacia el exterior), penetran en otro individuo a través del flujo de agua entrante o inhalante. La fertilización ocurre predominantemente de manera interna. Los espermatozoides son incorporados (sin ser digeridos) por los coanocitos, que inmediatamente modifican su morfología y función para convertirse en células ameboides. Estas células abandonan las cámaras o canales coanocitarios y migran para transferir el espermatozoide, ahora transformado en un espermatozoide, al oocito. Después de la

fertilización, se forma un cigoto que inicia su desarrollo, a menudo dentro de la propia esponja (Schejter, 2015).

Una esponja joven, recién asentada, alcanza el caparazón de un huésped adecuado y perfora una valva del molusco (o las placas del percebe). Sus acciones de excavación de túneles debilitan la concha, siendo considerada una plaga por los criadores de vieiras y ostiones. Durante el proceso de excavación, secreta ácido que disuelve el caparazón y, posteriormente, fragmenta pequeñas piezas del mismo para transportarlas al exterior (Rutzler y Rieger, 1973). A medida que sus túneles se expanden, se extiende por la superficie de la valva formando una gruesa capa de revestimiento. Cuando su crecimiento excede las dimensiones de su huésped, se transforma en una esponja de vida libre, alcanzando una longitud de hasta 9 cm (3.5 pulgadas) y una altura de 6.5 cm (2.6 pulgadas).

2.5. Clasificación taxonómica de la especie *M. gigas*.

Es una especie de molusco bivalvo de la Familia Ostreidae (Tabla 1), las valvas de *M. gigas* son de peso significativo y variable en su forma, generalmente adopta una estructura alargada. La valva izquierda presenta una concavidad, exhibiendo costillas grandes y robustas que culminan en pliegues. Por otro lado, la valva derecha es plana, con láminas hacia los bordes. En cuanto al color externo, va desde un tono blanquecino opaco hasta un amarillo cremoso, con manchas púrpuras. Internamente, muestra un tono blanco ópalo a perla, a menudo con manchas parduzcas. La huella del músculo abductor generalmente carece de coloración (Figura 5) (Castillo-Rodríguez, 2014).

Este organismo es dioico, experimentando alternancia de sexos al concluir su ciclo reproductivo. La fecundación se lleva a cabo de manera externa. Su etapa larval es planctónica y la duración de esta fase está sujeta a la temperatura del agua, normalmente oscilando alrededor de 3 semanas a temperaturas entre 19-20 °C y aproximadamente 10 días a 27 °C. Los estadios juvenil y adulto son bentónicos, lo que implica que se fijan a un sustrato y permanecen en esa posición. El proceso de asentamiento y fijación de los juveniles está influenciado por la salinidad y las corrientes de agua.

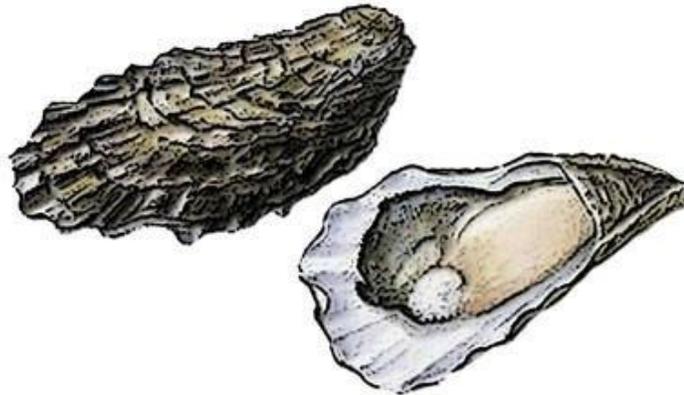


Figura 4- *M. gigas* (INAPESCA, 2018)

Tabla 1-Clasificación taxonómica de *M. gigas* (Thunberg, 1793). MolluscaBase (2024)

Reino	Animalia
Phylum	<i>Mollusca</i>
Clase	<i>Bivalva</i>
Subclase	<i>Autobranchia</i>
Infraclase	<i>Pteriomorphia</i>
Orden	<i>Ostreida</i>
Super familia	<i>Ostreoidea</i>
Subfamilia	<i>Crassostreinae</i>
Familia	<i>Ostreidae</i>
Género	<i>Magallana</i>
Especie	<i>M. gigas</i>

3. Planteamiento del problema

El incremento del CO₂ atmosférico promovido por las actividades antropogénicas, afecta el intercambio de CO₂ entre la atmósfera y el océano, favoreciendo cambios en la química del mar (disminución del pH), generando aguas corrosivas o acidificadas. La presencia de aguas corrosivas o acidificadas en el océano, tiene efectos negativos en los ecosistemas marinos, ya que ante la disminución del pH se pueden disolver estructuras formadas por CaCO₃. Este cambio supone riesgos importantes para el adecuado desarrollo de los moluscos bivalvos, debido al gasto de energía requerido para construir y mantener estructuras de CaCO₃, favoreciendo una mayor exposición a infestaciones de organismos invasores como esponjas perforadoras, que penetran las conchas utilizando métodos químicos y mecánicos, lo que reduce la integridad de la concha.

Por tal motivo el enfoque de este trabajo es determinar el efecto de la temperatura y el pH sobre la incidencia de esponjas perforadoras en ostiones de cultivo (*M. gigas*) y su relación con los factores ambientales.

Derivado de lo anterior se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es el estado actual de la incidencia de esponjas perforadoras sobre *M. gigas* de cultivo en Sinaloa?
2. ¿Cuál es el efecto de la temperatura y el pH sobre el incremento de la incidencia de esponjas perforadora?

4. IV. HIPÓTESIS

1. Las esponjas perforadoras se distribuyen en toda la costa de Sinaloa afectando a los ostiones en cultivo, la prevalencia y distribución de las esponjas perforadoras sobre los ostiones de cultivo, están estrechamente relacionados con los factores ambientales como temperatura, salinidad, pH y Alcalinidad Total.
2. La disminución del pH del agua de mar, combinada con un incremento de la temperatura, favorecerá una mayor prevalencia y un mayor nivel de infestación de las esponjas perforadoras.

5. OBJETIVO GENERAL

Analizar la prevalencia de esponjas perforadoras sobre cultivo de ostiones *M. gigas*, en granjas con actividad ostrícola distribuidas a lo largo del estado de Sinaloa, y de manera experimental en laboratorio el efecto de la temperatura y pH sobre el incremento de la incidencia de esponjas perforadoras en *M. gigas* de cultivo en Sinaloa.

5.1. Objetivos específicos

- Identificación taxonómica de las esponjas perforadoras.
- Determinar el nivel de prevalencia de las esponjas perforadoras en *M. gigas* en cinco sitios de cultivo en Sinaloa.
- Analizar el efecto de dos condiciones de pH; 1) actual (8.1), y muy bajo (7.7) y dos niveles de temperaturas (22 y 26 °C) sobre el grado de infestación de las esponjas a ostiones adultos.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Evaluación visual de esponjas perforadoras

Durante una primera etapa del proyecto se realizaron siete muestreos mensuales (junio-diciembre 2020), en 5 sitios con actividad ostrícola (bahía El Perro, El Maviri, Huichoral y Espejo en bahía Altata y bahía de Teacapán) distribuidas a lo largo del estado de Sinaloa (Fig. 6) en la tabla 2, se indican las coordenadas de los puntos seleccionado para el estudio.

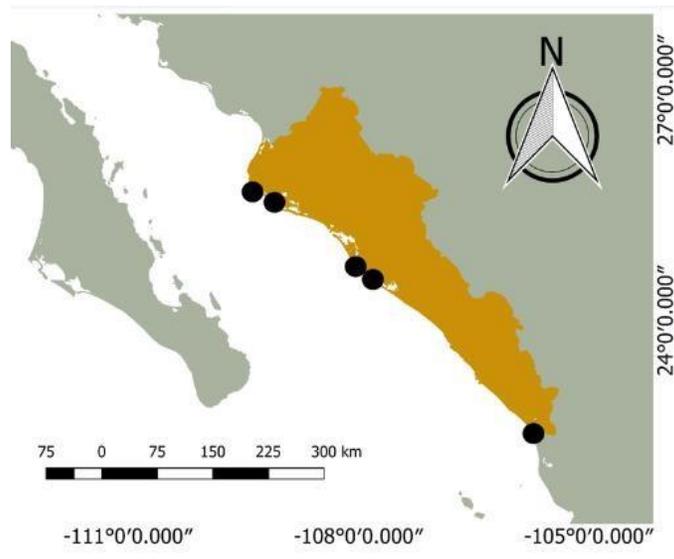


Figura 5- Distribución de lagunas costeras y áreas de ostión donde se realizó el estudio. Cinco granjas ostrícolas, bahía El Perro, Maviri, Huichoral, Espejo y Teacapán

Tabla 2- Coordenadas de los sitios de muestreo.

	LAGUNA	COORDENADAS
1	bahía El Perro	26°18'24.00" N 109° 9'6.92" O
2	El Maviri	25°34'57.87" N 109°6'59.55" O
3	bahía de Altata	24°30'34.52"N
	El Espejo	107°47'53.16"O
	Bahía de Altata	24°32'16.29"N
	El Huichoral	107°49'10.76"O
4	bahía Teacapán	22°31'55.15" N 105°44'36.96" O

6.2. Determinación de las especies de esponjas perforadoras en *M. gigas*.

6.2.1. Obtención de tejido de esponjas para su determinación taxonómica.

Para la obtención del tejido de esponja perforadoras que afectan las estructuras calcáreas de *M. gigas* en cultivo en granjas de Sinaloa, se utilizaron las valvas de 13 organismos procedentes de cinco sitios las cuales se enjuagaron con agua marina estéril con el objetivo de retirar la suciedad de estas. Posterior a este proceso se colocó la concha del organismo en una charola y se añadió agua marina estéril, con ayuda de un estereoscopio se comenzó a identificar las zonas de la concha que presentaran mayor presencia de papilas, y con ayuda de unas pinzas se comenzó a extraer el tejido de esponja, este se colocó en tubos Eppendorf con alcohol al 96% para conservar el tejido.

6.2.2. Obtención de espículas

El proceso para la obtención de las espículas de esponja se basó en la metodología descrita por Lizarazo, (2018), sin embargo, se sustituyó la utilización del hipoclorito de sodio por ácido nítrico (método de digestión acida) con el objetivo de reducir el tiempo para la obtención de las espículas como se describe a continuación.

Se colocó una muestra de tejido en tubos de ensayo, a los cuales se añadió ácido nítrico lo suficiente para cubrir la muestra de tejido.

Con ayuda de unas pinzas se sujetó el tubo de ensayo, Se colocó a fuego directo en un mechero de alcohol con el objetivo de disolver el tejido y dejar solamente las espículas de esponja perforadora. Ya eliminado el tejido se aforaron los tubos de ensayo con agua destilada y se llevaron a centrifugar a 500 rpm por un lapso de 2 minutos, posterior a esto se retiró el sobrenadante y nuevamente se aforo utilizando agua destilada, proceso que se realizó 3 veces utilizando agua destilada y 2 veces alcohol al 96 %.

6.2.3. Determinación Taxonómica.

Ya teniendo una muestra de espículas limpia sin residuos de materia orgánica con ayuda de una pipeta Pasteur se tomó una muestras de espículas de los tubos de ensayo, esta se colocó en el portaobjetos y se expusieron a temperatura ambiente

por unos 15 minutos para eliminar los residuos de alcohol, ya evaporado el alcohol se utilizó Resina Entellan® (MERCK) para fijar la muestra, para esto se añadió una gota de resina en el portaobjetos sobre la muestra de espículas y otra en el cubreobjetos con la finalidad de que la resina se extienda de manera uniforme sobre la muestra.

Para identificación las muestras obtenidas (espículas) a partir del tejido esponjoso extraído de las valvas de ostión japonés se realizó utilizando como referencia Carballo, *et al.*, (2008) identificando la estructura y forma y tamaño de las espículas.

Se procedió a realizar la observación al microscopio (UNICO G380 LED) en una resolución de 400x de las muestras montadas en los portaobjetos, para identificar con base a la estructura de las espículas a que especie de esponja perforadora pertenece y a su vez ir clasificando las muestras con el objetivo de conocer cuál es la especie que presenta mayor prevalencia en las granjas ostrícolas en las costas del pacífico.

6.3. Determinación del nivel de prevalencia

Los ostiones fueron colectados en las áreas de cultivo para determinar la prevalencia de esponjas perforadoras en *M. gigas*. En cada sitio se colectaron 30 organismos/muestreo/sitio (n=1,050 ostiones).

La presencia de las esponjas perforadoras en las conchas de los ostiones, se determinó mediante la identificación de pequeños hoyos de 1-3 mm de diámetro asociada a una coloración naranja a rojo.

Se calculó el nivel de prevalencia mediante un cálculo donde;

$$\text{Prevalencia} = \frac{\text{No. de organismos con evidencia de infección o daño}}{\text{No. total de organismos por muestra}} \times 100$$

6.4. Determinación del grado de infestación de esponjas perforadoras en *M. gigas*.

Previo al experimento para determinar el efecto del pH y la temperatura de esponjas perforadoras sobre *M. gigas* se determinó el grado de infestación, para ello se tomaron fotografías de la coloración en vivo de los organismos mediante una cámara digital Nikon Coolpix AW100 y se clasificó de acuerdo al grado de infestación (porcentaje de cobertura de la esponja), el cual se determinó de acuerdo a los criterios de Daume, *et al.*, (2009). Estos grados visuales varían de 0 a 3, donde:

0) No hay una infestación visible. La superficie de la concha es lisa, sin picaduras ni decoloración, lo que indica un 0 % cobertura de esponja

1) Infestación de bajo nivel. Solo se produce una pequeña cantidad de picaduras (20-30 %) alrededor de la región umbo de la concha.

2) Infestación media. Picaduras más extensas, la erosión comenzó a deformar el talón de la concha y grado de infestación. 30-60 % de infestación

3) Infestación severa. Superficie de la concha con abundantes orificios en un área grande de la concha, la erosión provoca un adelgazamiento de la concha. Mayor a 60%.

6.5. Bioensayo de estrés por pH, temperatura y el efecto de las esponjas perforadoras en *M. gigas*.

Para la segunda etapa del estudio, se realizó un experimento en laboratorio en condiciones controladas (Figura 7), simulando las condiciones de temperatura y acidez del agua de mar actuales y previstas para el año 2100, de acuerdo al escenario RCP 8.5 planteado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) en su informe de síntesis, Cambio climático 2014 (IPCC, 2014).

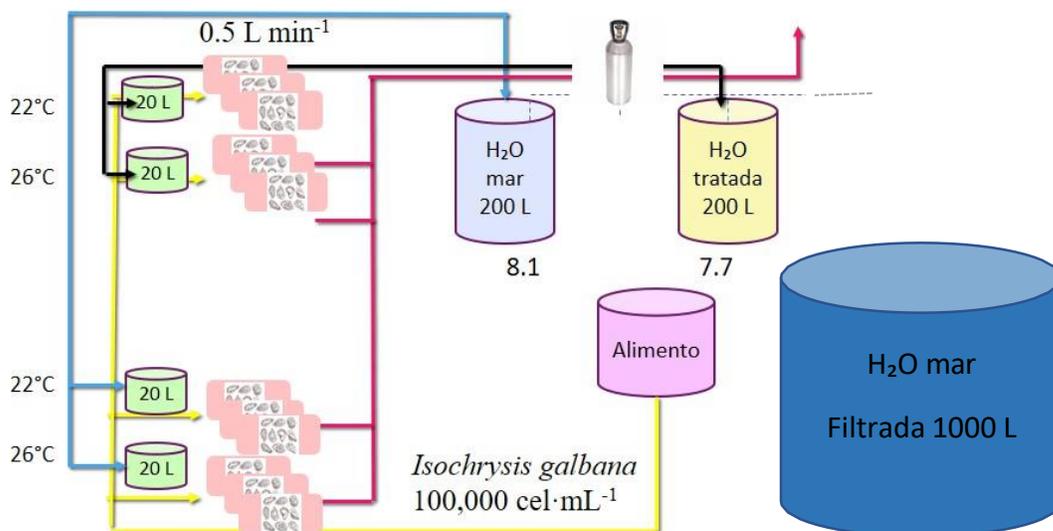


Figura 6- Esquemización del diseño experimental, Diseño aleatorio de dos factores, pH y Temperatura por triplicado, dos temperaturas 22” y 26°C, dos pH 8.1 y 7.7, con una alimentación de microalga *Isochrysis galbana*.

Dicho experimento duró 35 días utilizando 15 ostones adultos de *M. gigas* con una talla entre 5-6 cm, con grado de infestación 1 de acuerdo a los criterios de Daume, *et al.*, (2009). El cultivo se realizó en recipientes de plástico con capacidades de 20 L. Se establecieron dos niveles de pH, un tratamiento control con un pH de 8.1 (pH de control) y un pH de 7.7 (pH bajo) y dos niveles de temperaturas 22 y 26 °C cada uno con tres réplicas (Tabla 3), utilizando un diseño aleatorio con réplicas interdependientes de acuerdo a lo propuesto por Cornwall y Hurd (2015).

Tabla 3- Tratamientos experimentales

Tratamientos	pH	Temperatura °C
T1	8.1	22
T2	8.1	26
T3	7.7	22
T4	7.7	26

El diseño experimental consistió con un reservorio de agua de mar con capacidad de 1000 L, este a su vez bombeaba agua mediante una bomba sumergible a los tanques de pH experimental con una capacidad de 200 L uno de los tanques con

ayuda de un sensor de pH era inyectado con CO₂ para lograr llevar el segundo pH experimental de 7.7, con ayuda de otra bomba llenaban a las cubetas de 20 L que mediante gravedad estas cubetas llenaban a las taras con organismos, un total de 15 organismos por tara, se utilizó un flujo continuo de 0.5 mL por minuto (Figura 8). para poder obtener la temperatura establecida de 26°C se utilizó calentadores para peceras, con una temperatura ambiente de 21°C con ayuda de aires acondicionados que permanecieron prendidos las 24 horas se pudo establecer la temperatura de 22° C en todas las taras del experimento, los ostiones fueron alimentados con la microalga *Isochrysis galbana* a una razón de 100,000 células mL⁻¹. Con la ayuda de software Imagej se determinaron el área total del ostión y el área dañada por la esponja (Figura 9) utilizando las fotografías tomadas cada semana, donde se ayudó como referencia utilizando una regla.



Figura 7- Área experimental



Figura 8- Fotografía en vivo, valvas de *M. gigas* con presencia de esponja viva *Cliona* sp.

Las muestras de agua de mar fueron colectadas en botellas de borosilicato de alta densidad de 250 mL por triplicado, todas las botellas fueron fijadas con una gota de solución de cloruro de mercurio saturado, para la medición de alcalinidad total (A_T) La A_T se estimó mediante valoración ácida, usando el método volumétrico con un punto final de fenolftaleína y naranja de metilo, y ácido sulfúrico (H_2SO_4) como titulante (APHA 1995).

Los parámetros químicos del sistema de carbonato se calcularon a partir de los valores obtenidos de A_T , pH, temperatura y salinidad medidos utilizando el macro para Excel® CO₂SYS v. 2.1 (Pierrot *et al.*, 2006) con las constantes de disociación de ácido carbónico de (Mehrbach *et al.* 1973) y readaptado en diferentes formas de función por (Dickson y Millero, 1987).

6.6. Calidad del agua

Se monitorearon diversos parámetros de la calidad del agua durante el experimento, como el pH que se determinó diario con un potenciómetro pH Basic+Satorius (precisión ± 0.001) calibrado antes de cada uso (tampones NBS 4.00 ± 0.02 , 7.00 ± 0.01 , 10.00 ± 0.02 a 25°C).

La temperatura se determinó cada 24 h mediante un termómetro de mercurio, se realizaron cambios de agua a cada tara una vez por semana, asegurando eliminar todo desecho orgánico. El cambio de alimento se realizaba cada 48 horas. Los parámetros químicos del sistema de carbonato se determinaron mediante el macro para Excel CO₂SYS, donde los parámetros determinados: Alcalinidad total, pH, Temperatura y Salinidad fueron utilizados para calcular la $p\text{CO}_2$, ΩCaCO_3 , Ω aragonita y Ω calcita y relacionar estos parámetros con la intensidad de daño de las esponjas de cada tratamiento.

6.7. Análisis estadístico

A los datos de porcentajes de daño obtenidos en cada tratamiento se le aplicó una conversión usando la raíz cuadrada de arcoseno, se utilizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene's para comprobar los supuestos estadísticos de normalidad y homocedasticidad (Figura 10). Un análisis de varianza (ANOVA) se utilizó para evaluar el efecto del pH y temperatura sobre el incremento del daño de esponjas perforadoras sobre las conchas de *M. gigas*. Para esto se utilizó en el modelo estadístico el pH y temperatura como factores fijos, la interacción pH-temperatura como factor aleatorio y los muestreos (tiempo), como mediciones repetidas. Para determinar diferencias significativas ($P < 0.05$) se realizó una comparación múltiple

mediante el método de Holm-Sidak para discernir entre ellas. (Doncaster y Davey, 2007). El análisis estadístico se realizó utilizando el software Sigmaplot 14.

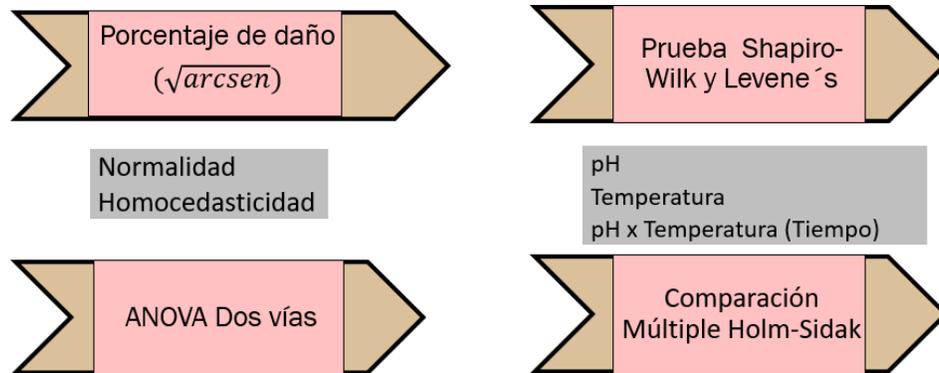


Figura 9- Esquematización del análisis estadístico. 1) Conversión de porcentaje a raíz cuadrada de arcoseno, 2) Prueba de Shapiro-Wilks y levene's, #) ANOVA de dos vías, 4) Comparación múltiple de Holm-Sidak.

Se aplicó un modelo de regresión logística para determinar la probabilidad de la presencia (1) o ausencia (0) de esponjas perforadoras, en relación a los sitios y los muestreos. El modelo de regresión logística aplicado permite definir la probabilidad para la presencia o ausencia de las esponjas perforadoras en *M gigas* de cultivo con daño. Para este análisis estadístico se utilizó un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando JMP 18 (SAS Institute Inc. Cary, NC USA).

7. RESULTADOS

7.1. Descripción de condiciones ambientales

Los valores de los parámetros ambientales registrados durante el proceso de muestreo, se muestran en las siguientes tablas: Tabla 4 (Temperatura), Tabla 5 (pH), Tabla 6 (Oxígeno disuelto), Tabla 7 (Salinidad) y Tabla 8 (Alcalinidad). Los valores más cálidos, fueron durante el muestreo 1, 2 y 3 que corresponden a los meses de junio, julio y agosto, mientras que los meses más fríos fueron en los muestreos 6 y 7 que corresponden a los meses de noviembre y diciembre, según se muestra en la Tabla 4.

El registro de pH, como se detalla en la tabla 5, revela que los valores más bajos se registraron en diciembre, mientras que los más altos se observaron en agosto. En cuanto a los datos de oxígeno disuelto, presentados en la tabla 6, se observaron los registros más bajos en diciembre y los más altos en noviembre. Respecto a los parámetros de salinidad, detallados en la tabla 7, los valores más bajos se registraron en noviembre, mientras que los más altos se encontraron en junio. Por último, los datos de alcalinidad presentados en la tabla 8 se observaron registros más bajos en diciembre y los más altos en junio.

Tabla 4. Registro de temperaturas (t°C) por sitio y por muestreo

Sitio	1	2	3	4	5	6	7
Mavirí	31.01	31.06	30.03	31.01	29.03	32.02	32.03
El perro	29.09	31.01	29.05	31.00	31.01	29.09	32.05
Huichoral	31.08	26.07	26.05	25.04	28.01	30.00	31.09
Espejo	31.06	33.01	31.00	32.02	24.04	24.03	21.02
Teacapán	23.05	26.05	31.08	27.07	32.02	26.05	25.12

Tabla 5. Registro de pH por sitio y por muestreo

Sitio	1	2	3	4	5	6	7
Mavirí	8.17	8.09	8.06	7.9	8.06	8.14	8.14
El perro	7.99	8.01	8.08	8.07	8.11	8.00	7.99
Huichoral	8.12	8.09	8.11	8.02	8.02	8.01	8.01
Espejo	8.12	8.00	8.00	7.99	8.01	8.11	7.86
Teacapán	7.87	8.03	8.01	7.99	8.02	7.98	8.02

Tabla 6- Registro de Oxígeno Disuelto por sitio y por muestreo

Sitio	1	2	3	4	5	6	7
Mavirí	6.37	5.49	5.69	5.17	5.86	6.48	6.44
El perro	5.18	5.12	6.02	4.84	4.08	5.03	4.07
Huichoral	4.88	6.66	6.65	5.85	4.98	8.05	5.86
Espejo	5.36	5.83	3.81	4.63	8.05	7.03	4.87
Teacapán	5.12	5.41	4.88	5.86	4.63	5.41	5.12

Tabla 7- Registro de salinidad por sitio y por muestreo

Sitio	1	2	3	4	5	6	7
Mavirí	35.00	35.00	35.00	40.00	37.02	32.00	37.00
El perro	41.00	36.00	35.00	34.00	34.00	35.00	37.00
Huichoral	30.00	34.04	34.01	33.02	34.00	34.08	33.02
Espejo	34.33	34.01	35.05	30.01	34.08	34.08	31.04
Teacapán	35.08	33.05	30.00	33.02	30.01	33.05	34.5

Tabla 8- Registro de alcalinidad por sitio y por muestreo

Sitio	1	2	3	4	5	6	7
Mavirí	94.00	89.33	100.00	92.66	99.33	80.66	77.33
El perro	92.66	77.33	81.33	15.33	11.33	0.00	12.66
Huichoral	16.66	6.66	6.66	12.00	11.33	25.33	10.66
Espejo	18.66	20.66	19.33	18.66	36.66	37.33	30.66
Teacapán	26.00	12.00	45.22	62.2	22.2	36	30.2

7.2. Determinación taxonómica de las especies de esponjas perforadoras en *M. gigas*.

En relación a la determinación taxonómica de las esponjas perforadoras que afectan a *M. gigas* en los cinco sitios de cultivo muestreados, se obtuvo que en El Huichoral se identificó solo una especie de esponja perforadora *Cliona amplicavata* en los tres organismos analizados, mientras que en El Espejo se determinaron dos especies de esponjas perforadoras *Cliona californiana* y *Cliona amplicavata* en 2 organismos analizados. Para la zona de El Maviri solo se determinó a *C. amplicavata* como la especie presente en una muestra de 3 organismos analizados, en bahía El Perro se determinó dos especies de esponjas perforadoras *C. californiana* y *C. amplicavata* en 1 solo, sin embargo, en bahía Teacapán se logró identificar la presencia de *Pione mazatlanensis* y *C. amplicavata* en 3 organismos analizados (Figura 11).

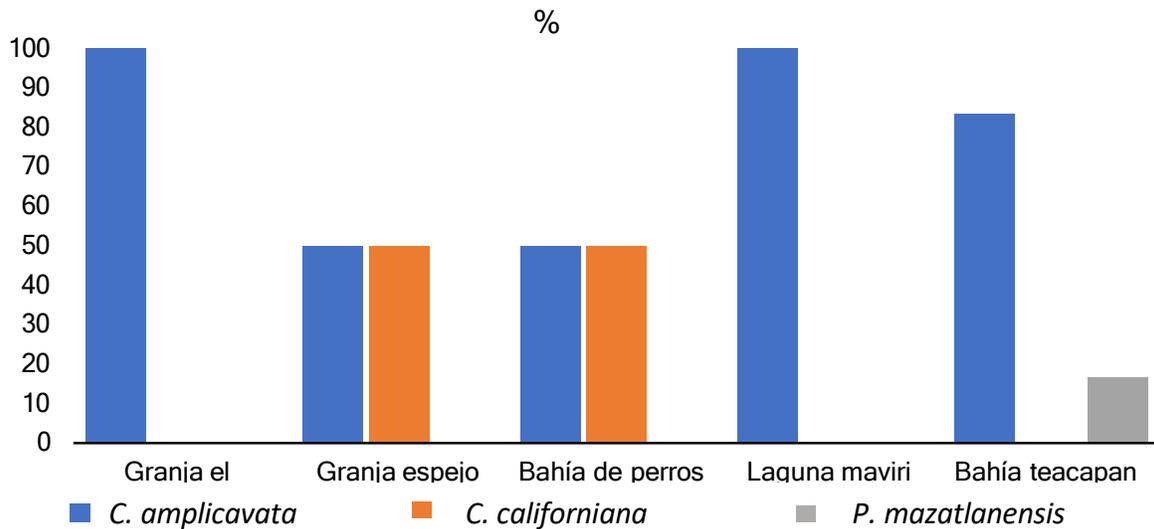


Figura 10. Porcentaje de abundancia de las principales esponjas perforadoras presentes en cultivos de ostión japonés (*M. gigas*), de las localidades estudiadas.

7.3. Nivel de prevalencia por esponjas perforadoras entre sitios y época de muestreo

Durante todos los muestreos y en todos los sitios, se encontraron esponjas perforando conchas de los ostiones *M. gigas* muestreados, lo que indica una presencia de esponjas perforadoras en las áreas de cultivo de *M. gigas*.

La prevalencia varió a lo largo de los muestreos y entre los sitios, sin embargo, en los sitios de El Huichoral y El espejo ubicados en la bahía de Altata, las prevalencias se mantienen relativamente estables a lo largo del estudio con prevalencia máximas y mínima en El Huichoral de 33.33 % en julio y 10 % en octubre, para el sitio El Espejo el valor máximo fue de 36 % en agosto y un valor mínimo de 20 % en septiembre, mientras que los valores de prevalencias observadas en los sitios bahía El Perro, El Maviri y Teacapán se incrementaron notoriamente para los meses finales del estudio a partir del mes de septiembre. El Maviri tuvo una prevalencia máxima en diciembre 80 % y mínima en Julio con un valor del 10 %, el sitio de bahía El Perro tuvo una prevalencia máxima en octubre 77.41 % y mínima en julio con un

valor de 6.66 %, mientras que el sitio de Teacapán tuvo una prevalencia máxima en noviembre y diciembre del 99.99 % y una prevalencia mínima de 25 % en junio (Figura 16). El análisis de RM ANOVA, realizado a los datos de prevalencia indica que hay diferencias significativas ($F=10.284$ $P < 0.001$) entre el sitio de Teacapán y todos los demás sitios (Tabla 9).

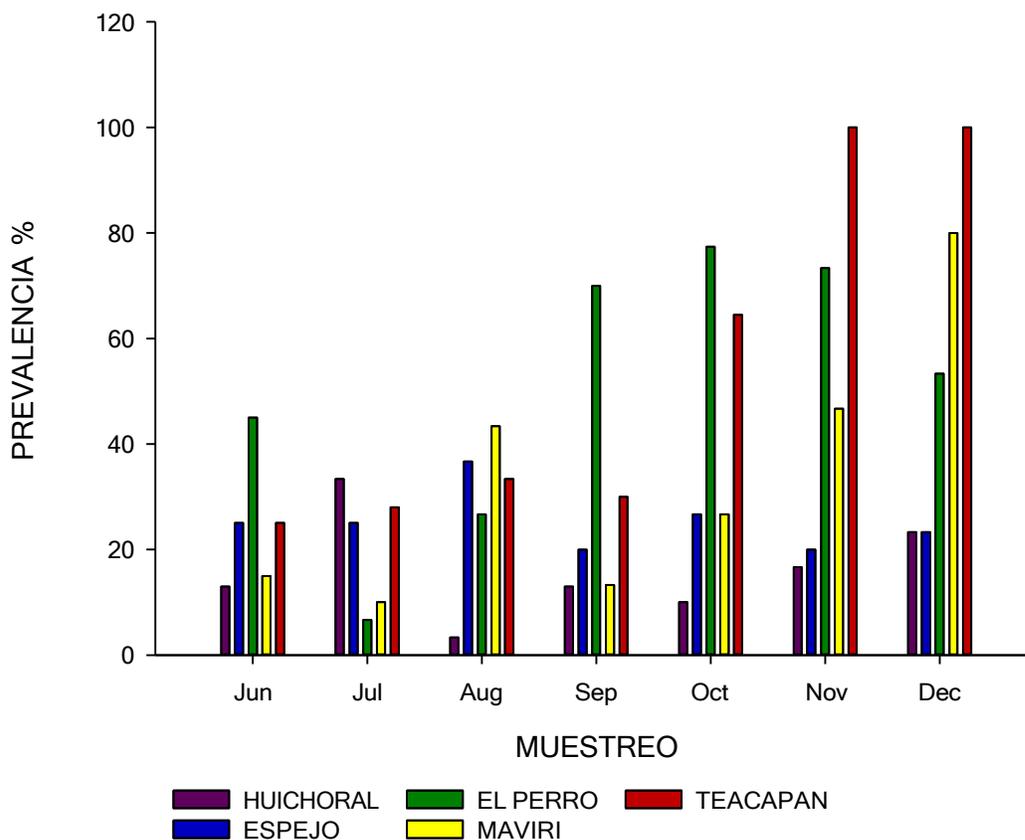


Figura 11- Nivel de prevalencia por sitio de muestreo

Tabla 9- Comparación estadística de los sitios de muestreo con la prueba de ANOVA de Dos Vías. El color rojo indica el lugar estadísticamente diferente a los demás.

COMPARACIÓN	DIFERENCIA DE MEDIOS	T	P
Huichoral Vs. Teacapán	0.664	5.518	<0.001
Huichoral Vs El Perro	0.108	0.894	1
Huichoral Vs Maviri	0.0873	0.725	1
Huichoral Vs. Espejo	0.0481	0.4	1
Espejo Vs. Teacapán	0.616	5.118	<0.001
Espejo Vs. El Perro	0.0595	0.495	1
Espejo Vs. Maviri	0.0392	0.326	1
Maviri Vs. Teacapán	0.577	4.792	<0.001
Maviri Vs. El Perro	0.0203	0.169	1
El Perro Vs. Teacapán	0.556	4.623	<0.001

La regresión logística aplicada a los datos de prevalencia arrojo que la probabilidad de presencia de esponjas perforadoras en el mes de diciembre fue de 7.086 veces ($P < 0.0001$) en diciembre contra el mes de agosto siendo la relación de Razón de Probabilidad más grande determinada, le sigue la razón de posibilidades de 5.89 veces mayor probabilidad de presencia de esponjas perforadoras en el mes de diciembre en relación a julio ($p < 0.0001$), mientras que para los meses de diciembre contra junio fue de 4.248 ($p < 0.0001$) y la razón de posibilidades para el mes de diciembre VS Septiembre fue de 3.533 veces la probabilidad de la presencia de esponjas perforadoras ($p < 0.0001$), estos datos marcan una estacionalidad clara sobre la presencia de esponjas perforadoras mostrando que en los meses de invierno más “frios” presentan mayor probabilidad de presencia de las esponjas perforadoras que los meses cálidos (Tabla 11).

Tabla 10. a. Resultados de la regresión logística que describen la relación entre el sitio y el muestreo sobre la probabilidad de presencia de esponjas perforadoras en *M. gigas* y b. Prueba de efectos de Wald sobre los factores sitio y muestreo en la presencia de esponjas perforadoras en *M. gigas* durante el periodo de muestreo

a. Prueba del modelo completo				
Modelo	-Log-verosimilitud	GL	X ²	P
Diferencia	97.442	10.000	194.885	<0.0001
Completo	579.548			
Reducido	676.990			

b. Prueba de efectos de Wald				
Modelo	-Log-verosimilitud	GL	X ²	P
Muestreo	6	6	91.0576823	<0.0001
Sitio	4	4	94.2052025	<.0001*

La regresión logística aplicada en relación a los muestreos señala que los sitios de bahía El Perro y Teacapan obtuvieron los valores más altos de razón de probabilidad de presencia de esponjas perforadoras contra cualquier sitio de muestreo, por ejemplo: Teacapan presenta 7.461 veces más probabilidad de presencia que en Huichoral ($p < 0.0001$), y 3.965 veces más probabilidad de presencia de esponjas perforadoras que en Espejo ($p < 0.0001$), mientras que el sitio de El Perro tiene 2.937 ($p < 0.0001$) veces de presencia de esponjas perforadoras que en Espejo y 5.528 ($p < 0.0001$) veces más probabilidad que el Huichoral (Tabla 12).

Tabla 11. Probabilidades de presencia de esponjas perforadoras *M. gigas* función del sitio de muestreo. La tabla también contiene el intervalo de confianza (IC) en la relación a la probabilidad de presencia de las esponjas y se visualiza el valor p resultante. Solo se muestran los valores significativos ($p < 0.05$).

Nivel Muestreo	Razón de Posibilidades	P	Inferior	Superior
Ago VS Sep	0.498	0.0166*	0.282	0.881
Ago VS Oct	0.284	<.0001*	0.163	0.495
Ago VS Nov	0.174	<.0001*	0.100	0.303
Ago VS Dic	0.141	<.0001*	0.080	0.246
Dic VS Jun	4.248	<.0001*	2.531	7.129
Dic VS Jul	5.890	<.0001*	3.430	10.115
Dic VS Ago	7.086	<.0001*	4.059	12.369
Dic VS Sep	3.533	<.0001*	2.126	5.871
Dic VS Oct	2.015	0.0049*	1.236	3.283
Jul VS Oct	0.342	<.0001*	0.199	0.586
Jul VS Nov	0.209	<.0001*	0.122	0.359
Jul VS Dic	0.169	<.0001*	0.098	0.291
Jun VS Oct	0.474	0.0047*	0.282	0.795
Jun VS Nov	0.291	<.0001*	0.173	0.487
Jun VS Dic	0.235	<.0001*	0.140	0.394
Nov VS Jun	3.435	<.0001*	2.051	5.750
Nov VS Jul	4.762	<.0001*	2.780	8.158
Nov VS Ago	5.729	<.0001*	3.290	9.976
Nov VS Sep	2.857	<.0001*	1.723	4.735
Nov VS Oct	1.629	0.0492*	1.001	2.649
Oct VS Jun	2.108	0.0047*	1.257	3.535
Oct VS Jul	2.923	<.0001*	1.704	5.013
Oct VS Ago	3.516	<.0001*	2.017	6.129
Oct VS Sep	1.753	0.0300*	1.055	2.912
Oct VS Nov	0.613	0.0492*	0.377	0.998
Oct VS Dic	0.496	0.0049*	0.304	0.808
Sep VS Ago	2.005	0.0166*	1.134	3.543
Sep VS Oct	0.570	0.0300*	0.343	0.947
Sep VS Nov	0.350	<.0001*	0.211	0.580
Sep VS Dic	0.282	<.0001*	0.170	0.4701

Tabla 12. Probabilidades de presencia de esponjas perforadoras *M. gigas* función del sitio de muestreo. La tabla también contiene el intervalo de confianza (IC) en la relación a la probabilidad de presencia de las esponjas y se visualiza el valor p resultante. Solo se muestran los valores significativos ($p < 0.05$).

Nivel Sitio	Razón de Posibilidades	P	Inferior	Superior
El Perro VS El Maviri	2.441	<0.0001*	1.593	3.741
El Huichoral VS El Maviri	0.442	0.0012*	0.270	0.723
Teacapan VS El Maviri	3.295	<0.0001*	2.147	5.057
El Espejo VS El Perro	0.340	<0.0001*	0.220	0.526
El Huichoral VS El Perro	0.181	<0.0001*	0.112	0.293
El Maviri VS El Perro	0.410	<0.0001*	0.267	0.628
El Huichoral VS El Espejo	0.531	0.0132*	0.322	0.876
Teacapan VS El Espejo	3.965	<0.0001*	2.560	6.140
El Perro VS El Espejo	2.937	<0.0001*	1.900	4.541
Teacapan VS El Huichoral	7.461	<0.0001*	4.604	12.092
El Maviri VS El Huichoral	2.265	<0.0012*	1.383	3.708
El Perro VS El Huichoral	5.528	<0.0001*	3.418	8.940
El Espejo VS El Huichoral	1.882	0.0132*	1.142	3.102
Teacapan VS El Maviri	0.304	<0.0001*	0.198	0.466
Teacapan VS El Espejo	0.252	<0.0001*	0.163	0.391
Teacapan VS El Huichoral	0.134	<0.0001*	0.083	0.217

7.4. Efecto de la Temperatura y pH sobre el incremento del daño de esponjas perforadoras sobre *M. gigas*.

Del experimento realizado para determinar el efecto de la temperatura y el incremento del daño de esponjas perforadoras sobre *M. gigas*. En el tratamiento 1 (Tabla 13) presento un incremento del lado de la concha del 22.47 ± 10.57 (n= 45), mientras que en el tratamiento 2 el incremento del daño fue de 25.07 ± 12.96 (n= 45), el tratamiento 3 presento un daño del 30.16 ± 13.03 (n= 45) y el tratamiento 4 de 26.10 ± 2.32 (n= 45).

El análisis de la varianza de dos vías muestra que las diferencias en los resultados del incremento en daño relacionado con la temperatura no muestran diferencias estadísticamente significativas ($P = 0,068$ y $F= 3.376$). La diferencia en los valores medios entre los niveles de pH es mayor de lo que se esperaría de manera aleatoria, por lo que estadísticamente hay una diferencia significativa ($P = 0,009$ y $F= 7. 013$).

El efecto de los diferentes niveles de temperatura no depende del nivel de pH presente. No existe un efecto en el incremento del daño de la concha provocado por las esponjas perforadas atribuible a la interacción entre el pH y la temperatura ($P = 0,773$ y $F=0.08$)

Tabla 9. Porcentaje de daño de las conchas de *M. gigas* sometidos a dos niveles de pH (8.1 y 7.7) y dos niveles de temperatura (22 y 26 °C). Análisis de Varianza de dos vías $\alpha=0.05$. $n=45$ Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas por efecto del pH. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas por efecto de la temperatura.

Tratamientos	1	2	3	4
Cobertura de daño (%)	22.47±10.57 ^{Aa}	25.07 ± 12.96 ^{Aa}	30.16 ± 13.03 ^{Ba}	26.10 ± 2.32 ^{Ba}

En el presente trabajo se realizó una prueba de correlación de Pearson el coeficiente de correlación puede tomar un rango de valores de +1 a -1. Un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que 0 indica una asociación positiva. Es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye. Los parámetros ambientales durante el experimento se observa un efecto directo del pH sobre el incremento del porcentaje de daño, mientras que no se observa un efecto por la temperatura en el incremento de daño en los ostiones experimentales. Así mismo, el pH tuvo una correlación negativa respecto a la prevalencia año por esponjas perforadoras, ($p= -0.0386$). (Tabla 15).

Tabla 10 Química del agua. Dos niveles de pH (8.1 y 7.7) y dos niveles de temperatura (22 y 26 °C).

Química del agua	T1	T2	T3	T4
pH	7.75± 0.11	7.74±0.17	7.67±0.17	7.61±0.1005
AT μM/kgSW	2,619.1± 304.97	2,731.4±378.46	2,873.12±445.32	2,975.0±418.15
pCO ₂ (μatm)	1,005.6± 317.74	1,202.7±849.68	1,459.7±941.25	1,659.8±697.03
HCO ₃ (μmol/kgSW)	2,298.4± 254.83	2,362.6±386.17	2,566.4±417.32	2,667.9±370.78
CO ₃ (μmol/kgSW)	133.8±38.42	154.7±51.52	129.7±48.16	131.1±43.26
Ωcal	3.21±0.92	3.73±1.24	3.11±1.16	3.16±1.04
Ωar	2.10±0.60	2.46±0.82	2.04±0.760	2.09±0.69

Tabla 15. Correlación de pearson de los factores ambientales en relación a el porcentaje de daño de las conchas de *M. magallana* (r^2 , valor de p, n=30). En rojo se muestran las correlaciones estadísticamente significativas $\alpha= 0.05$.

	Temperatura	pH	O ₂	Salinidad	AT
Prevalencia	-0.28	-0.03	0.18	-0.28	0.32
	0.12	0.84	0.32	0.12	0.07
Temperatura		0.31	-0.25	0.10	0.22
		0.09	0.17	0.57	0.23
pH			0.51	-0.17	0.13
			0.0036	0.35	0.49
O ₂				0.02	0.14
				0.88	0.45
Salinidad					-0.32
					0.07

8. DISCUSIÓN.

8.1. Identificación taxonómica de las esponjas perforadoras.

Existe la presencia de esponjas perforadoras a lo largo de la costa del océano Pacífico de México, específicamente en el estado de Sinaloa, afectando los cultivos de ostión, desafortunadamente no existe una evaluación de los impactos negativos de estas esponjas en la actividad ostrícola.

En el presente trabajo se identificaron tres especies de esponjas perforadoras pertenecientes a la familia Clionidae: *Cliona amplicavata* Rützler, 1974, *Cliona californiana* Laubenfels, 1932 y *Pione mazatlanensis* Hancock, 1867, de acuerdo a Carballo *et al.*, 2004. *C. amplicavata* se distribuye desde el océano Pacífico hasta el mar Mediterráneo, *C. californiana* se encuentra en diversas localidades a lo largo de la costa del Pacífico mexicano, desde Baja California hasta el Golfo de Tehuantepec Oaxaca, mientras que *Pione mazatlanensis* se halla en Sinaloa, Colima y Sonora. Este tipo de información es valiosa para entender la biodiversidad marina y la distribución de especies en la región. La presencia de estas esponjas perforadoras en las zonas de cultivo indica condiciones adecuadas para su desarrollo, las cuales se encuentran a lo largo de toda el área de estudio

Existen tres factores en la distribución de los organismos marinos de acuerdo con Jones (1950), los cuales son: temperatura, sustrato y salinidad. Generalmente se reconoce que la temperatura es el factor principal para determinar la distribución de los organismos marinos en provincias biogeográficas marinas, mientras que el sustrato adecuado favorece el reclutamiento de larvas competentes a ambiente bentónico y la salinidad se convierte en un factor importante en las zonas estuarinas, donde el agua dulce fluye hacia el agua de mar y se mezcla con ella.

Las esponjas perforadoras exhiben la capacidad de perforar las conchas de los moluscos bivalvos, como se señala en el estudio de Rosell *et al.* (1999), quienes identificaron la presencia de las esponjas perforadoras en cultivos de *Ostrea edulis*, identificando dos especies de esponjas perforadoras *Cliona viridis* y *Cliona celata*. La presencia de estas esponjas sobre *Ostrea edulis*, no solo afecta las conchas calcáreas de los moluscos, sino que también incide en su crecimiento, dando lugar

a individuos de menor tamaño (Carroll et al., 2015). Estos autores también indican una reducción significativa en el crecimiento y el índice de condición de los tejidos de los ostiones colonizados en comparación con aquellos no afectados por la esponja perforadora. Siendo más susceptibles a la depredación a medida que la esponja perforadora infesta a los ostiones (Coleman, 2014).

Los moluscos que albergan esponjas perforadoras tienen conchas debilitadas (Stefaniak, McAtee y Shulman, 2005), un crecimiento más lento, una condición reducida y una menor supervivencia que los moluscos que carecen de estos colonos bioerosionadores (Carroll et al., 2015).

El desarrollo normal, de los moluscos bivalvos se ha reconocido que se puede encontrar comprometido por los cambios físicos y químicos asociados con las variables ambientales estresantes, teniendo efectos perjudiciales en los procesos fisiológicos normales de moluscos, la asignación de energía para la calcificación, la supervivencia y crecimiento (Dorfmeier, 2012).

Las esponjas suelen ser altamente sensibles a cambios en las condiciones ambientales (Reiswig 1974). Existen evidencias de que, en muchas especies, el aumento de la temperatura del agua desencadena un período de crecimiento y reproducción sexual (Ereskovsky 2000; Carballo y Ávila 2004; Uriz et al., 2006). La presencia de la esponja perforadora en estructuras calcáreas plantea preocupaciones significativas, especialmente en relación con los cultivos de moluscos bivalvos y las operaciones comerciales de mariscos a nivel mundial. El impacto de estas esponjas en los moluscos y en el entorno marino es diverso y complejo.

Las esponjas son organismos marinos que se encuentran en diversos entornos acuáticos, desde aguas poco profundas hasta las profundidades del océano. El ambiente marino favorece a las esponjas de varias maneras, ya que proporciona las condiciones adecuadas para su desarrollo, alimentación y reproducción.

Por otro lado, la diversidad de hábitats marinos, desde aguas poco profundas hasta las profundidades del océano, proporciona a las esponjas la oportunidad de

adaptarse a una amplia variedad de condiciones ambientales (Van Soest *et al.*, 2012). Esto resalta la versatilidad de las esponjas para colonizar diferentes entornos marinos.

Así, mismo la disponibilidad de sustratos para la fijación de las larvas durante el reclutamiento como rocas, conchas o corales, es crucial para la fijación de las esponjas. La diversidad de sustratos en el ambiente marino ofrece una gran variedad de opciones para la fijación de las esponjas, permitiéndoles crecer y desarrollarse adecuadamente (Maldonado, 2006).

La capacidad de las esponjas para reproducirse sexual y asexualmente, así como la liberación de gametos al agua, facilita la fertilización externa y la dispersión de larvas en el ambiente marino (Riesgo *et al.*, 2012). Este proceso contribuye a la colonización y supervivencia de las esponjas en diferentes áreas marinas. En el presente estudio se determinó una mayor prevalencia de las esponjas perforadoras durante los muestreos que corresponden a los meses más fríos (M6 y M7), y coinciden con las épocas de reproducción reportadas para *Cliona vermifera*, donde se reporta que la espermatogénesis se presenta en los meses de julio a noviembre, junto con picos de maduración de los ovocitos, y desoves de embriones los mismos meses, sin presentar actividad gamética en los meses siguientes de diciembre a febrero (Nava, y Carballo 2008). La capacidad de adaptarse a una amplia gama de condiciones ambientales, incluyendo variaciones en temperatura y salinidad, permite a las esponjas prosperar en entornos marinos diversos (Bell & Barnes, 2001). Esto destaca la resistencia y plasticidad de las esponjas frente a condiciones ambientales cambiantes.

En conjunto, la información respaldada por estas referencias subraya la capacidad de las esponjas para aprovechar las características específicas del ambiente marino. Desde la obtención de nutrientes hasta la adaptación a diferentes hábitats y la interacción con la biodiversidad circundante, las esponjas han evolucionado para prosperar en los diversos entornos que ofrece el medio marino.

8.2. Factores ambientales

Las lagunas costeras son ecosistemas importantes que desempeñan un papel fundamental en el medio ambiente. Su alta productividad primaria, generación de energía por las mareas, circulación oceánica y altas concentraciones de nutrientes las convierten en lugares ideales para la vida marina y la acuicultura (Arreola, 2003). Además, estas lagunas son muy sensibles a los cambios ambientales, ya que son afectadas por el clima, los vientos, las lluvias, los ríos y las mareas. Estos cambios pueden alterar los ciclos biogeoquímicos y la dinámica de nutrientes de las lagunas (Yáñez-Arancibia *et al.*, 2010).

En este estudio, el único sitio estadísticamente diferente a los demás fue Teacapán, es importante mencionar que el clima de la región es cálido y seco, con temperaturas promedio que van de los 26 °C en las zonas altas a los 31 °C en la región costera. Los meses más calurosos son julio y agosto, y los más fríos son diciembre a febrero. La precipitación anual promedio es de 334 mm, con los meses de julio, agosto, septiembre y octubre como los más lluviosos.

En el presente estudio mediante la regresión logística se observó que en los muestreos realizados las condiciones frías presentaban una mayor probabilidad de la presencia de las esponjas perforadoras, así como los sitios de Teacapán y bahía de El Perro presentaron las más altas razones de probabilidad.

Uno de los efectos negativos en los ostiones es la alta erosión que se puede observar en las conchas, se ha explorado la forma de mitigar el impacto de la esponja perforadora y reducir el riesgo de afectación, eliminando la esponja antes de que cause una degradación grave de las valvas de los ostiones infectados. Para lo cual, se han recomendado tratamientos que incluyen, baños en agua dulce, durante 12 a 16 h, sumergirlas en formalina y exponerlas a condiciones de secado en la playa, esta última una opción más práctica y sencilla que los ostricultores en la costa del Océano Pacífico del norte de México aplican de manera rutinaria.

A pesar que en el presente trabajo no se evaluó la intensidad de la incidencia de esponjas sobre las valvas, se ha observado en trabajos previos un efecto negativo de esponjas perforadoras *Cliona* sp. sobre valvas de *Nodipecten subnodosus*

encontrando que los niveles de prevalencia fueron mayores durante los meses de marzo, mayo, julio, agosto y noviembre.

8.3. Nivel de prevalencia por esponjas perforadoras entre sitios de muestreo

Cuando la temperatura superó los 25°C, se observaron valores elevados de prevalencia en *Cliona* sp. y se estableció una confirmación positiva entre estas dos variables. El aumento de la temperatura tiene un efecto notable en el crecimiento, desarrollo y reproducción de *Cliona* sp. A medida que la temperatura se incrementa, se favorece la actividad reproductiva, como la aceleración de la maduración de los oocitos a temperaturas superiores a 20°C, y el crecimiento de los organismos (Guida 1976; Duckworth y Peterson, 2013; Gonzáles-Ortiz y Hernández-Alcántara, 2021).

El ostión japonés experimenta dificultades para mantener un equilibrio metabólico cuando se cultiva en condiciones tropicales, como en Teacapán (Wisshak *et al.*, 2014). En el presente trabajo la presencia de esponjas perforadoras se mantuvo durante los 7 muestreos y en todas las granjas en diversos niveles, esto sugiere, que los cambios esperados motivados por las actividades antropogénicas como la OA, acelerará la bioerosión de las esponjas y se puede esperar que un aumento en la distribución y de la bioerosión de las esponjas, teniendo un impacto significativo en el ciclado de CO₃ global y pueda resultar en efectos negativos generalizados, sobre la estabilidad de las poblaciones de moluscos bivalvos silvestres en zonas tropicales.

El estrés térmico en estas condiciones requiere que el organismo incremente el gasto de energía en el mantenimiento, defensa y reparación de los daños en diferentes niveles, para restaurar la homeostasis y asegurar su supervivencia (Bautista-Romero, 2018). Además, Toral-Osuna en 2022 descubrió que hubo una conexión positiva entre la temperatura y la prevalencia de *Cliona* sp. cuando la temperatura superó los 25°C, coincidiendo con registros ambientales de la bahía de Teacapán con temperaturas más cálidas a lo largo del año. Finalmente, en el mismo trabajo, la prevalencia de *Cliona* sp. presentó una correlación negativa con la alcalinidad total (AT), esto tiene otras implicaciones directamente para los ostiones,

ya que bajos niveles de alcalinidad, así como de Ω calcita y Ω aragonita hace que los ostiones se presenten a mayores retos fisiológicos en sus tasas de calcificación.

8.4. Efecto de la Temperatura y pH sobre el incremento del daño de esponjas perforadoras sobre *M. gigas*.

Las esponjas perforadoras utilizan un sistema químico y mecánico para perforar las conchas del ostión japonés, lo que causa daños sustanciales (Gonzales y Hernández, 2021). En el presente estudio, no se encontró un efecto significativo de la temperatura utilizada en el experimento (27.2 ± 0.54) en el aumento del porcentaje de daño causado por esponjas perforadoras en las conchas de *M. gigas*. En estudios anteriores, se comprobó que una temperatura alta del agua (26°C) tuvo poco efecto en el aumento de las tasas de perforación de las esponjas perforadoras en las conchas de una especie de vieira, mientras que un pH más bajo de 7.8 afectó negativamente en la supervivencia de las esponjas (83 %) lo que tuvo un gran impacto en la perforación de las conchas (Duckworth y Peterson, 2012).

Aunque la temperatura del agua puede tener poca influencia directa en las perforaciones por las esponjas, un pH bajo si tuvo diferencia significativa como lo muestran los resultados de este estudio, puesto que, a un pH = 7.7 las esponjas perforaron el doble de orificios papilares que a un pH = 8.1. Sin embargo, en estudios previos se ha demostrado que cuando se incrementan las temperaturas se favorecen tanto la actividad reproductiva (aceleración de la maduración de los oocitos a temperaturas $>20^{\circ}\text{C}$) como el crecimiento de los organismos; agregado con el pH se aceleran las tasas de perforación de las esponjas (Guida 1976; Duckworth y Petron, 2013; Gonzáles-Ortiz y Hernández-Alcántara, 2021).

La prueba de correlación de Pearson reveló la influencia estadísticamente significativa del pH en el porcentaje de daño provocado por las esponjas perforadoras. Se observó que las estructuras calcáreas de los bivalvos marinos experimentan cambios cuando las condiciones ambientales, especialmente el pH del agua de mar, disminuyen. Este fenómeno afecta la biomineralización de las conchas, un proceso esencial en la formación de minerales, conduciendo a una disminución en el crecimiento y la supervivencia. En ambientes con pH inferior a

8.1, las conchas desarrollan una menor dureza y resistencia, obteniendo conchas más débiles (Meng *et al.*, 2018).

Se prevé que, con el tiempo, las conchas de los bivalvos se debilitarán aún más a medida que el pH se acidifica, resultando en una mayor porosidad en las estructuras calcáreas debido a la reducción en la tasa de calcificación y la escasez de energía en entornos ácidos de acuerdo a los resultados de Meng *et al.*, (2018). Investigadores como Dickinson *et al.* (2013) han destacado que el área del poro aumenta con niveles más bajos de pH, un patrón que se observa en estudios como el de Meng *et al.* (2018), donde la técnica predominante para medir esta variable es la microscopía electrónica de barrido (SEM).

La reducción del pH en el agua de mar afecta la disponibilidad de compuestos como el carbonato (CO_3), disminuyendo su capacidad de unirse a minerales como el calcio (Ca^{+2}). Este fenómeno obstaculiza los procesos de calcificación en organismos que dependen de la unión de estos compuestos para formar estructuras, como el carbonato de calcio (CaCO_3). Como consecuencia, se observan crecimientos más lentos e incluso la mortalidad de estos organismos. La disminución en la cantidad de carbonato disponible impide que estos seres vivos lo utilicen del agua para la construcción de sus exoesqueletos, resultando en una mayor disolución de sus cuerpos (Ramos, 2023).

Las aguas frías y profundas, con mayores concentraciones de dióxido de carbono (CO_2), presentan una menor presencia de carbonato cálcico, resultando en aguas más ácidas en comparación con las aguas cálidas. Esto se debe a que estas aguas se vuelven insaturadas y comienzan a disolver los minerales presentes en ellas (Oñate, 2013). Los resultados obtenidos en el presente trabajo aunque no muestran un claro efecto del incremento de la temperatura, sobre la tasa de perforación de esponjas pero si de un efecto consistente de niveles de pH bajos (7.4), lo que sugiere que una disminución del pH favorezcan el incremento de las tasas de perforación de esponjas silvestres en un futuro en condiciones de agua de mar más ácida.

9. CONCLUSIONES

El estudio identificó la presencia de tres especies distintas de esponjas perforadoras que afectan a los ostiones cultivadas; *Cliona amplicavata*, *Cliona californiana* y *Pione mazatlanensis*.

Se encontró que todas las granjas analizadas presentan infestaciones de estas esponjas, y en muchos casos, los niveles de infestación son significativamente altos, lo que representa una amenaza constante para la producción. Además, se observa que existen ciertos períodos del año en los que, debido a características ambientales específicas, la infestación por esponjas perforadoras tiende a incrementarse, teniendo una mayor prevalencia en Teacapán del 100% y bahía El Perro del 73.33%.

En el contexto del experimento realizado, se asumen que los efectos negativos de estas esponjas sobre los ostiones están más estrechamente vinculados a la disminución del pH del agua que a las variaciones de temperatura, al menos dentro del rango de temperaturas evaluadas. Este hallazgo resalta la importancia de monitorear y controlar los niveles de pH en los sistemas de cultivo como una estrategia clave para mitigar los impactos de las esponjas perforadoras.

10. REFERENCIAS

- Acuña, J. T. (2018). Cambio climático y el escaso conocimiento de las repercusiones de las emisiones de CO₂ en el océano peruano. *Accelerating the world's research*, 110-118.
- Alagarswami, K., Chellam, A. (1976). On fouling and boring organisms and mortality of pearl oysters in the farm at Veppalodai, Gulf of Mannar. *Indian Journal of Fisheries*, 23, 10-22.
- Andersson, A. J., Bates, N. R., & Mackenzie, F. T. (2007). Dissolution of carbonate sediments under rising pCO₂ and ocean acidification: observations from Devil's Hole, Bermuda. *Aquatic Geochemistry*, 13, 237-264.
- Arreola, J. (2003). *Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales (Orientación en Ecología)*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Tesis de doctorado. 76 pp.
- Barnes, B. B., Luckenbach, M. W., & Kingsley-Smith, P. R. (2010). Oyster reef community interactions: The effect of resident fauna on oyster (*Crassostrea* sp.) larval recruitment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 391(1-2), 169-177.
- Barros, P., Sobral, P., Range, P., Chicharo, L., Matias, D. (2013). Effects of seawater acidification on fertilization and larval development of the oyster *Magallana gigas*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 440, 200-206.
- Bamber, R. N. (1990). The effects of acidic seawater on 3 species of lamellibranch mollusc. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 143, 181-191.
- Barker, S., & Elderfield, H. (2002). Foraminiferal calcification response to glacial-interglacial changes in atmospheric CO₂. *Science*, 297(5582), 833-836.
- Bell, J. J., & Barnes, D. K. (2001). The distribution and prevalence of sponges in relation to environmental gradients within a temperate sea lough: inclined cliff surfaces. *Diversity and Distributions*, 7(4), 223-234.

- Brusca, R. C., & Brusca, G. J. (2002). *Invertebrados Segunda edición*. Sinauer Associates.
- Caldeira, K., & Wickett, M. E. (2003). Anthropogenic Carbon and Ocean pH. *Nature*, 425, 365.
- Cao, L., & Caldeira, K. (2008). Atmospheric CO₂ stabilization and ocean acidification. *Geophysical Research Letters*, 35(19).
- Carballo, J. L., Cruz-Barraza, J. A., & Gómez, P. (2004). Taxonomy and description of *Clionaid* sponges (Hadromerida Clionidae) from the Pacific Ocean of Mexico. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 141, 353-397.
- Carballo-Cenizo, J. J. L. (2009). Nuevos registros de esponjas del Pacífico mexicano, Mar de Cortés y Archipiélago Revillagigedo. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DJ007.
- Carroll, M., O'Shaughnessy, D., Diedrich, G. A., & Finelli, C. M. (2015). Are oysters being bored to death? Influence of *Cliona celata* on *Crassostrea virginica* condition, growth and survival. *Diseases of Aquatic Organisms*, 117, 31-44.
- Carver, T. (2010). Infection of cultured eastern oysters *Crassostrea virginica* by the boring sponge *Cliona celata*, with emphasis on sponge life history and mitigation strategies. *Journal of Shellfish Research*, 29(4), 905-915.
- Castillo-Rodríguez, Z. G. (2014). Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 419-430.
- Cibsub. (2021). *Cliona* sp. Retrieved from https://www.cibsub.cat/bioespecie_es-cliona_celata-36884.
- Coleman, S. (2014). The effects of boring sponge on oyster soft tissue, shell integrity and predator-related mortality. University of North Carolina.
- CMNUCC. (2022). ¿Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático? Retrieved from <https://unfccc.int/es/process-and->

meetings/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico.

De Voogd, Nueva Jersey; Álvarez, B.; Boury-Esnault, N.; Carballo, JL; Cárdenas, P.; Díaz, M.-C.; Dohrmann, M.; Downey, R.; Hajdu, E.; Hooper, JNA; Kelly, M.; Klautau, M.; Manconi, R.; Mañana, CC Pisera, AB; Ríos, P.; Rützler, K.; Schönberg, C.; Vacelet, J.; van Soest, RWM (2022). Base de datos mundial de Porifera. *Cliona* spde Laubenfels, 1932. Consultado en: <https://www.marinespecies.org/porifera/porifera.php?p=taxdetails&id=170431> el 2023-01-18.

Daume, S., Fromont, J., Parker, F., Davidson, M., Murphy, D., y Hart, A. (2009). Quantifying sponge erosions in Western Australian pearl oyster shells. *Aquaculture Research*, 41(9), e260-e267.

De Voogd, N.J.; Alvarez, B.; Boury-Esnault, N.; Cárdenas, P.; Díaz, M.-C.; Dohrmann, M.; Downey, R.; Goodwin, C.; Hajdu, E.; Hooper, J.N.A.; Kelly, M.; Klautau, M.; Lim, S.C.; Manconi, R.; Morrow, C.; Pinheiro, U.; Pisera, A.B.; Ríos, P.; Rützler, K.; Schönberg, C.; Turner, T.; Vacelet, J.; van Soest, R.W.M.; Xavier, J. (2024). World Porifera Database. *Cliona* sp de Laubenfels, 1932. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=170431> on 2024-01-10

Dickson, A. G., y Millero, F. J. (1987). A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 34(10), 1733-1743.

Dickinson, G. H., Matoo, O. B., Tourek, R. T., Sokolova, I. M., y Beniash, E. (2013). Environmental salinity modulates the effects of elevated CO₂ levels on juvenile hard-shell clams, *Mercenaria mercenaria*. *Journal of Experimental Biology*, 216(14), 2607-2618.

Duarte C.M., Alonso S., Benito G., Dachs J., Montes C., Pardo M., Ríos A.F., Simó R. y Valladares F. 2006. Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre

- el sistema Tierra. Consejo Superior De Investigaciones Científicas. Madrid, España. 166 pp.
- Dunn, E. (2014). Effects of substrate type on demographic rates of eastern oyster. *J Shellfish Res*,33(1), 177-185.
- Duckworth, A. R., Peterson, B. J. (2013). Effects of seawater temperature and pH on the boring rates of the sponge *Cliona celata* in scallop shells. *Marine Biology*, 160, 27-35.
- Dove, P.M., De Yoreo, J.J., Weiner, S. (Eds.). (2003). Biomineralization, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, Vol. 543, 84 pp.
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., y Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Annual review of marine science*, 1, 169-192.
- Doncaster, C. P., Davey, A. J. (2007). *Analysis of variance and covariance: how to choose and construct models for the life sciences*. Cambridge University Press.
- Dorfmeier E. M. 2012. Ocean acidification and disease: How will a changing climate impact *Vibrio tubiashii* growth and pathogenicity to Pacific oyster larvae? Thesis Master of Science. School of Aquatic and Fishery Sciences. University of Washington.
- EIA (2007). *Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2006*, DOE/EIA0573(2006).
- Ereskovsky. A. L. 2000. *Reproduction Cycles and Strategies of the Cold-Water Sponges Halisarca dujardini (Demospongiae, Halisarcida), Myxilla incrustans and Iophon piceus (Demospongiae, Poecilosclerida) From the White Sea*. *The Biological Bulletin*. 198:77-87
- Fabry J., Seibel B., Feely A. J Orr Fabry, VJ, Seibel, BA, Feely, RA, y Orr, JC 2008. Los efectos de la acidificación del océano en la fauna marina y los procesos de los ecosistemas. - *CIEM Revista de Ciencias del Mar*, 65: 414-432

- Feely R.A., Sabine C.L., Hernandez-Ayón J.M., Ianson D., Hales D. (2008) Evidence for Upwelling of Corrosive “Acidified” Water onto the Continental Shelf. *Science*, 320(5882), 1490-1126.
- Feely, R. A., Sabine, C. L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V. J., y Millero, F. J. (2004). Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science*, 305(5682), 362-366.
- Flores-Higuera F.A., Reyes-Bonilla, H. Luis-Villaseñor I.E., Mazón-Suástegui, J.M., Estrada-Godinez, J.A., Hernandez-Cortés, P., Audelo-Naranjo J.M. (2020). Effect of seawater acidity on the initial development of Kumamoto Oyster larvae *Crassostrea sikamea* (Amemiya, 1928). *J. of Shellfish Research*, 39(1):21-30. <https://doi.org/10.2983/035.039.0103>
- Gazeau, F., Parker, L.M., Comeau, S., Gattuso, J.-P., O'Connor, W.A., Martin, S., Pörtner, H.-O., Ross, P.M., 2013. Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. *Mar. Biol.* 160, 2207-2245.
- Gehlen, M., Gangstø, R., Schneider, B., Bopp, L., Aumont, O., y Éthé, C. (2007). The fate of pelagic CaCO₃ production in a high CO₂ ocean: a model study. *Biogeosciences*, 4(4), 505-519.
- Gonzales O. Hernández A. (2021). Infestación de *Nodipecten subnodosus* (Mollusca: Bivalvia) por la esponja perforadora *Cliona sp* en la laguna Ojo de Liebre, noroeste de México. *Rev. Mex. Biodiv.* vol.92
- Guida, V.G. (1976). Sponge predation in the oyster reef community as demonstrated with *Cliona celata* Grant. *ScienceDirect*, 25(2), 109-122.
- Haigler S. (1969). Boring Mechanism of *Polydora websteri* Inhabiting *Crassostrea virginica*. *AM. Zoologist*, 9:821-828.
- Heral M., Deslous-Paoli J-M. (1991). Oyster culture in European countries. En: *Estuarine y marine bivalve mollusk culture*. Ed: Menzel, W. CRC Press. 13, 54-190.

- Hofmann, E., Ford, S., Powell, E. y Klinck, J. (2001). Modeling studies of the effect of climate variability on MSX disease in eastern oyster (*Crassostrea virginica*) populations. En J. W. Porter (ed.), *The Ecology and Etiology of Newly Emerging Marine Diseases* (pp. 195-212). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3284-0_18.
- Jones, N. S. (1950). Marine bottom Communities. *Biol.Rev.* 23: 283-313.
- Kimura, R., Takami, H., Ono, T., Onitsuka, T. y Nojiri, Y. (2011). Effects of elevated pCO₂ on the early development of the commercially important gastropod, Ezo abalone *Haliotis discus hannai*. *Fisheries Oceanography*, 20(5), 357-366. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2011.00589.x>.
- Kolieb H., Savitz J. (2009). Acidificación: ¿Cómo afecta el CO₂ a los océanos? *OCEANA*. Segunda edición. www.oceana.org/climate. 29 pp.
- Kurman, M. D., Gomez, C. E., Georgian, S. E., Lunden, J. J., y Cordes, E. E. (2017). Intra-specific variation reveals potential for adaptation to ocean acidification in a cold-water coral from the Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 4, 111.
- INAPESCA (2018) <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-ostion-japones>. Consulta: 19/11/2024.
- IPCC. (2014). https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml. Consulta: 13/01/2022.
- Laubenfels. M.W. (1947). Ecology of the Sponges of a Brackish Water Environment,) at Beaufort, N. C. *Ecological Monographs*. 17. 31-64
- Liu, S., Shi, W., Guo, C., Zhao, X., Han, Y., Peng, C., Chai, X., Liu, G. (2016). Ocean acidification weakens the immune response of blood clam through hampering the NF-kappa β and toll-like receptor pathways. *Fish. Shellfish Immunol.* 54, 322-327.
- Lizarazo-Rodríguez N. P. (2018). Esponjas asociadas al ecosistema rocoso (riscales y morros) del pacífico norte chocoano, Colombia. Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

- Lluch-Cota, S. E., Salvadeo, C., Lluch-Cota, D. B., Saldívar-Lucio, R. y Díaz, G. P. (2017). Impacts of climate change on mexican Pacific fisheries. En B. F. Phillips and M. Pérez-Ramírez (eds.), *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture* (pp. 219-238). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119154051.ch9>.
- Lüthi D., Le Floch M., Bereiter B., Blunier T., Barnola J.-M., Siegenthaler U., Raynaud D., Jouzel J., Fischer H., Kawamura K., Stocker T.F. (2005). High resolution in carbon dioxide concentration record 650,000- 800,000 years before present. *Nature*. 453, 379-382.
- Lovejoy, T. E. (2005). *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press, New Haven, 418 pp.
- Maldonado, M. (2006). "The ecology of the sponge larva." *Canadian Journal of Zoology*, 84(2), 175-194.
- Mehrbach, C., Culberson, C. H., Hawley, J. E., y Pytkowicz, R. M. (1973). Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure 1. *Limnology and oceanography*, 18(6), 897-907.
- Meng, Y., Guo, Z., Fitzer, S. C., Upadhyay, A., Chan, V. B., Li, C., ... y Thiyagarajan, V. (2018). Ocean acidification reduces hardness and stiffness of the Portuguese oyster shell with impaired microstructure: a hierarchical analysis. *Biogeosciences*, 15(22), 6833-6846.
- Miossec, L., Le Deuff R.-M., Gouletquer P. (2009). Alien species alert: *Magallana gigas* (Pacific oyster). ICES Cooperative Research Report. 299, 42.
- Millero, F. J. (1996). *Chemical oceanography*. CRC press.
- Millero, F. J., Graham, T. B., Huang, F., Bustos-Serrano, H., y Pierrot, D. (2006). Dissociation constants of carbonic acid in seawater as a function of salinity and temperature. *Marine Chemistry*, 100(1-2), 80-94.

- MolluscaBase eds. (2024). MolluscaBase. *Magallana gigas* (Thunberg, 1793). Acceso a través de: World Register of Marine Species en: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=836033> on 2024-01-10
- NASA. (2021). <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>. (Consulta 19/11/2021)
- Nava, H. y J. L. Carballo. 2008. Chemical and mechanical reefs. *Journal of Experimental Biology* 211:2827-2831.
- Neumann, A. C. (1966) Observations on coastal erosion in Bermuda and measurements of the boring rate of the sponge *Cliona lampa*. *Limnology and Oceanography*. 11, 92-108.
- Pabón, J. D. (2003). El Cambio Climático Global Y Su Manifestación En Colombia. Universidad Nacional De Colombia. 7(1-2), 111-119.
- Pomponi. S.A. (1980). Cytological Mechanisms of calcium carbonate excavation by boring sponges. *ScienceDirect*. 65, 301-319.
- Orr J. C., Fabry V. J., Aumont O., Bopp L., Doney S.C., Feely R.A., Gnanadesikan A., Gruber N., Ishida A., Joos F., Key R.M., Lindsay K., Maier-Reimer E., Matear R., Monfray P., Mouchet A., Najjar R.G., Plattner G.K., Rodgers K.B., Sabine C.L., Sarmiento J.L., Schlitzer R., Slater R.D., Totterdell I. Weirig M.F., Yamanaka Y., Yool A. (2005). Anthropogenic Ocean Acidification Over the Twenty-first Century and its Impact on Calcifying Organisms, *Nature*. 437, 681-686.
- Oñate Núñez V.S. (2013). Determinación indirecta del contenido de carbonato en el anfípodo *Orchestoidea tuberculata*. Universidad Austral de Chile.
- Rodríguez-Quiroz G., García-Ulloa M., Domínguez-Orozco A., Valenzuela-Hernández T., Nava-Pérez E., Góngora-Gómez A. (2016). Relación del crecimiento, condición y supervivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* y las variables ambientales, cultivado en suspensión en el sistema

lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 51: 3 541-551.

Sabine, C.L., Feely R.A., Gruber N., Key R.M., Lee K., Bullister J.L., Wanninkhof R., Wong C. S., Wallace D.W.R., Tilbrook B., Millero F.J., Peng T-H., Kozyr A., Ono T., Rios A.F. (2004). The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science* 305 (5682), 367-371.

Sabine, C.L., Feely R. (2007). The Oceanic Sink for Carbon Dioxide. In *Greenhouse Gas Sinks*. Reay D., Hewitt N., Grace J., Smith .K. (Eds.), CABI Publishing, Oxfordshire, UK, 31-49.

Schleyer. (1991). Shell-borers in the oyster, *Striostrea margaritacea*: Pets or Symbionts? *Symbiosis*. 10, 135-144.

Siegenthaler, U. S., Stocker T,F., Monnin E., Lüthi D., Schwander J., Stauffer B., Raynaud D., Barnola J-M., Fischer H., Masson-Delmotte V., Jouzel J. (2005). Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene. *Science*.310 (5752), 1313 -1317.

Simpson, T. L., & van Soest, R. W. (2012). "Biological and Biomedical Applications of the Porifera." Springer Science & Business Media.

Stefaniak L.M., McAtee J., Shulman M.J. (2005). The costs of being bored: effects of a clinoid sponge on the gastropod *Littorina littorea* (L). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 327:103114DOI 10.1016/j.jembe.2005.06.007.

Torres, J.M., López A., (2018) Estimación del impacto del cambio climático sobre los principales cultivos de 14 países del Caribe. CEPAL.

Thomas, P A (2000) Sponges - systematics, as pests of molluscs, agents of bioerosión and a source of bioactive compounds. In: *Marine Fisheries Research and Management*. CMFRI; Kochi, Kochi, pp. 109-123.

- Turley, C.M., Roberts J.M., Guinotte J.M. (2007). Corals in deepwater: Will the unseen hand of ocean acidification destroy cold-water ecosystems? *Coral Reefs*. 26, 445- 448.
- Trischler, H. (2017). El Antropoceno ¿Un concepto geológico o cultural, o ambos?. *Desacatos*, (54), 40-57.
- Uriz M. J., Turon X. and Alcoverro. T. (2006). Dispersal strategies in sponge larvae: integrating the life. *Oecologia*. 149:174-184.
- Van Soest, R. W., Boury-Esnault, N., Vacelet, J., Dohrmann, M., Erpenbeck, D., De Voogd, N. J., & Hooper, J. N. (2012). Global diversity of sponges (Porifera). *PLoS one*, 7(4), e35105.
- Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. Eds. (2022). Diagnóstico de la acuicultura en México. ISBN: 978-607-99061-5-3. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. México.
- Ramos, G. M. E. (2023). Acidificación oceánica: una consecuencia preocupante del aumento de CO₂ en la atmósfera. *Revista de Divulgación Científica AQUACIENCIA-ICMARES*, 2(1), 10-14.
- Raven, J. (2005). *Ocean Acidification due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*, The Royal Societ. The Clyvedon Press Ltd, Cardiff, UK 60 pp.
- Rodolfo-Metalpa, R., Houlbrèque, F., Tambutté, É., Boisson, F., Baggini, C., Patti, F. P. y Hall-Spencer, J. M. (2011). Coral and mollusc resistance to ocean acidification adversely affected by warming. *Nature Climate Change*, 1(6), 308-312.
- Roleda MY, Cornwall CE, Feng Y, McGraw CM, Smith AM, *et al.* (2015). Effect of Ocean Acidification and pH Fluctuations on the Growth and Development of Coralline Algal Recruits, and an Associated Benthic Algal Assemblage. *PLOS ONE* 10(10): e0140394. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140394>

- Rützler, K., Rieger, G. Sponge burrowing: Fine structure of *Cliona lampa* penetrating calcareous substrata. *Marine Biology* 21, 144-162 (1973). <https://doi.org/10.1007/BF00354611>.
- Reiswig. H. M. (1974). Water transport, respiration and energetics of three tropical marine sponges. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 14:231-249.
- Riesgo, A., Taylor, M. W., & Hentschel, U. (2012). "Importance of microbial symbionts in the ecology of the sponge." *Advances in microbial ecology*, 61, 57-86.
- Royal Society, (2005) Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide, consulta; 07/09/2021.
- Stefaniak LM, M. J. (2005). The costs of being bored: effects of a clionid sponge on the gastropod *Littorina littorea*. *Mar Biol Eco*, 327(1):103-114.
- Warburton. (1958a). The effects of boring sponges on oysters. *Fish Res Board Can Prog Rep Atl Coast St.* 68, 3-8.
- Warburton. (1958b). The manner in which the sponge *Cliona* bores in calcareous objects. *Can J Zool.* 36, 555-562.
- Wallace, A.F. *et al.* (2013). Eukaryotic Skeletal Formation en: Knoll, A.H., Canfield, D.E., y K.O. Konhauser, *Fundamentals of Geobiology*, Wiley-Backwell Publ., 443 pp.
- Waldbusser, G. G., Voigt, E. P., Bergschneider, H., Green, M. A., y Newell, R. I. (2011). Biocalcification in the eastern oyster (*Crassostrea virginica*) in relation to long-term trends in Chesapeake Bay pH. *Estuaries and coasts*, 34, 221-231.
- Webster, N. S. Y Taylor, M. W. (2012). Sponges and microbial diversity: a close relationship. In *Advances in Microbial Ecology*. 61, 57-86. Springer.

- Yáñez-Arancibia, A., Day, J., Twilley, R., Day, R. (2014). Manglares: ecosistema Centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y Bosques*. 20: 39-75.
- Hoeksem W., (1983). Excavation Patterns and Spiculae Dimensions of the Boring Sponge *Cliona celata* from the SW Netherlands. 15, 1-3, 55-85.
- Zamora, M. E., Huerta, A. H., Maqueo, O. P., Badillo, G. B., & Bernal, S. I. (2016). Cambio global: el Antropoceno. *CIENCIA ergo-sum*, 23(1), 67-75.