



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE ESPONJAS Y SU  
RELACIÓN CON LA COMPLEJIDAD DE LA  
COMUNIDAD BENTÓNICA EN LA BAHÍA DE  
LA PAZ, B.C.S., MÉXICO.

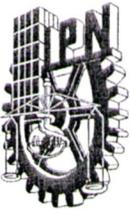
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN  
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

ISMAEL ORTIZ AGUIRRE

LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 2012



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 16 del mes de Noviembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE ESPONJAS Y SU RELACIÓN CON LA COMPLEJIDAD DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA EN LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S., MÉXICO"**

Presentada por el alumno:

**ORTIZ**  
Apellido paterno

**AGUIRRE**  
materno

**ISMAEL**  
nombre(s)

Con registro: 

B	1	0	1	4	3	4
---	---	---	---	---	---	---

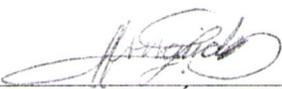
Aspirante de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**

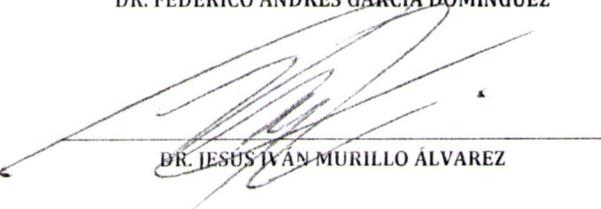
Directores de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
DRA. CLAUDIA JUDITH HERNÁNDEZ GUERRERO  
Directora de Tesis

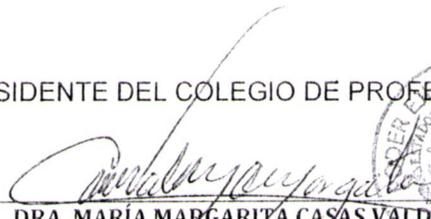
  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ MANUEL BORGES SOUZA  
2º Director de Tesis

  
\_\_\_\_\_  
DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ

  
\_\_\_\_\_  
DR. SERGIO FRANCISCO MARTÍNEZ DÍAZ

  
\_\_\_\_\_  
DR. JESÚS IVÁN MURILLO ÁLVAREZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



I.P.N.  
CICIMAR  
DIRECCIÓN



# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

## **SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

### **CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 21 del mes Noviembre del año 2012  
el (la) que suscribe BM. ISMAEL ORTIZ AGUIRRE alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro B101434 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS  
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:  
DRA. CLAUDIA JUDITH HERNÁNDEZ GUERRERO y DR. JOSÉ MANUEL BORGES SOUZA  
y cede los derechos del trabajo titulado:

"ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE ESPONJAS Y SU RELACIÓN CON LA COMPLEJIDAD DE LA  
COMUNIDAD BENTÓNICA EN LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S., MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: ortiz\_aguirre@ymail.com - cguerrer@ipn.mx - jmborges@hotmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

**BM. ISMAEL ORTIZ AGUIRRE**

*nombre y firma*

# *Dedicatoria*

*A mis padres, por contribuir a la realización de esta etapa de mi vida*

*Ma. Cristina Aguirre Cabrera & Juan Ortiz Vera*

*A mi hermano Mauricio Ortiz Aguirre por ser un ejemplo de motivación y alegría por vivir*

*A mi hermano Juan Guadalupe Ortiz Aguirre y la nueva familia (Renata Ortiz Sánchez & Dulce María Sánchez Ramírez), un ejemplo de cuando se quiere se puede*

*A mis abuelas Patricia & Carmelita por ser un ejemplo de tenacidad y esfuerzo*

## **Agradecimientos**

Un enorme y muy sincero agradecimiento a todo el comité revisor: Dra. Claudia Judith Hernández Guerrero, Dr. José Manuel Borges Souza, Dr. Jesús Iván Murillo Álvarez, Dr. Sergio Francisco Martínez Díaz y al Dr. Federico Andrés García Domínguez por todo el tiempo dedicado y sus acertados consejos, comentarios y sugerencias, gracias.

Especial agradecimiento a mis directores Dra. Claudia J. Hernández Guerrero y Dr. José M. Borges Souza, por todo el apoyo otorgado durante el desarrollo de este proyecto, por su eterna paciencia y tolerancia, así como por la confianza y amistad otorgada, en verdad muchas gracias.

A los proyectos SIP 20100862, 20111046 y 20121262 que hicieron posible el desarrollo del presente trabajo.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Programa Institucional de Formación de Investigadores–IPN y Programa Institucional de Beca de Posgrado del IPN por los apoyos económicos otorgados a través de las becas.

Especial agradecimiento a la Dra. Claire Hellio, así como a la Universidad de Portsmouth por la ayuda en la realización de las pruebas de actividad antiepibiótica, a la Dra. Bárbara González Acosta por la ayuda con las pruebas de actividad antibacteriana, a mis amigos Sonia S. Valencia y Daniel Díaz y a los Doctores Jesús I. Murillo y Claudia J. Hernández por la ayuda en la realización de los extractos orgánicos, y la separación de los organismos endobiontes, de igual manera a la Dra. Cristina Vega por la identificación taxonómica de las esponjas y al Dr. José M. Borges, Dr. Federico A. García y M.C. Alejandra Chávez por la ayuda y asesoramiento en la identificación taxonómica de los endobiontes, y finalmente al Dr. Sergio F. Martínez y al M.C. Gustavo de la Cruz Agüero por el asesoramiento en los análisis estadísticos.

Eterna gratitud, reconocimiento, apoyo y amistad a mis compañeros de laboratorio; Ruth N. Aguila, Cynthia I. Montes, Sonia S. Valencia, Karla León, Francisco Vargas, Yessica Parera, Erika D. Presa, Diana Barajas, Carlitos Lomelí, Eduardo Quiroz, Lina Zermeño y Bárbara González Acosta, por todo el apoyo brindado, y por esos buenos momentos que jamás se olvidarán, gracias.

A todos mis amigos y compañeros, alumnos y docentes del CICIMAR, Andrés Granados, Mauricio Muñoz, Humberto Ceseña Amador, Mariana Díaz, Armando Medina, María Moreno, Armando (Max), Rubén (Burro), Sonia Futema, y a todos los demás amigos que por cuestiones de espacio omitiré, pero que fueron parte importante en esta etapa de mi formación, sobre todo a mis compañeros de generación, ese denominado cardumen, el cariño y la estima serán por siempre, gracias.

A mi familia, que a pesar de la distancia, nunca estuvieron lejos, muchísimas gracias por el apoyo que han significado y por nunca dejar de confiar en mí, en verdad mil gracias.

A los viejos amigos que tras muchos años se han convertido en mi familia, a los que siguen en la ciudad, Brenda Avila, Mariana Walther, Afelandra Cibrián, Carlos Rangel, Karla Andrade, Itzia López, Cesar Avilés, Nathaniel Rivera, entre muchos otros, y por los que a causa de distintas razones están lejos, Alejandro Velázquez, Ruhama Mercado, Braulio J. León, Diana A. Zaleta, entre muchos otros, gracias por haber, ser y seguir siendo parte de mi vida.

A los nuevos amigos, ahora familia, que en poco tiempo se convirtieron en parte importante de mí, Daniel Díaz, Andrés J. Vázquez, Omar A. Aguayo, Marisol Romero, Brismar A. Díaz, y muchos amigos mas, en verdad gracias por permitirme entrar en sus vidas.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron con el desarrollo de este trabajo, gracias.

## ÍNDICE

GLOSARIO .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT .....	XIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES .....	4
III. JUSTIFICACIÓN .....	15
IV. HIPÓTESIS .....	17
V. OBJETIVOS .....	18
V.a. General .....	18
V.b. Particulares .....	18
VI. ÁREA DE ESTUDIO .....	19
VII. MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
VII. a. Obtención del material biológico .....	21
VII. b. Riqueza específica de esponjas .....	21
VII. c. Obtención de los extractos orgánicos de las esponjas .....	21
VII. d. Evaluación de la bioactividad de los extractos .....	22
VII. d. 1. Actividad antibacteriana .....	22
VII. d. 2. Actividad antiepibiótica .....	23
VII. e. Caracterización del hábitat y atributos de la comunidad macrobentónica ..	24
VII. e. 1. Obtención de datos .....	24
VII. e. 2. Análisis de las comunidades .....	25

VII. f. Riqueza específica de endobiontes de las esponjas. ....	26
VII.g. Relación entre los parámetros ambientales y la actividad biológica. ....	26
VIII. RESULTADOS .....	28
VIII.a. Riqueza específica de esponjas en las localidades .....	28
VIII. b. Actividad biológica de las esponjas .....	29
VIII. b. 1. Actividad antibacteriana .....	29
VIII. b. 2. Actividad antiepibiótica .....	30
VIII. c. Caracterización del hábitat y atributos de la comunidad bentónica. ....	34
VIII. c. 1. Patrones estructurales.....	35
VIII. c. 2. Composición específica.....	41
VIII. c. 3. Atributos de la comunidad bentónica y comparación de localidades...	46
VIII. d. Endobiontes asociados a esponjas .....	51
VIII. e. Interacción actividad biológica de extractos, organismos asociados y variables ambientales. ....	54
IX. DISCUSIÓN.....	57
IX. a. Riqueza específica de esponjas .....	57
IX. b. Actividad biológica .....	58
IX. c. Caracterización del hábitat y atributos de la comunidad bentónica. ....	60
IX. c. 1. Patrones estructurales .....	62
IX. c. 2. Composición específica.....	64
IX. c. 3. Atributos de la comunidad bentónica y comparación de localidades.....	67
IX. d. Endobiontes asociados a esponjas. ....	68
IX. e. Interacción actividad biológica de extractos, organismos asociados y variables ambientales. ....	70
X. CONCLUSIONES .....	72

XI. LITERATURA CITADA .....	75
XII. ANEXOS.....	103

## **GLOSARIO**

**Abundancia.-** Número de individuos de una especie por unidad de superficie.

**Actividad biológica.-** Expresión que describe los efectos benéficos o adversos de un compuesto sobre la materia viva.

**Alelopatía.-** La secreción de sustancias químicas de un organismo que produce un efecto perjudicial o benéfico en otro organismo.

**Antibacteriano.-** Compuesto químico que inhibe el crecimiento de bacterias.

**Antiepibiotico.-** Compuesto químico que inhibe el asentamiento de epibiontes.

**Arrecife.-** Estructura rígida que permite y favorece el establecimiento de organismos en ambientes marinos.

**Asociación.-** Grupo de poblaciones relacionadas taxonómicamente en un nivel de mayor jerarquía (ej. Asociación de equinodermos, asociación de algas rojas, etcétera).

**Bentónico.-** Organismo que viven y realizan sus funciones vitales en el fondo marino, lacustre o fluvial, asido o suelto.

**Cabeza de serie.-** Primero de una serie de fármacos de estructura química y perfil farmacológico similar.

**Citotóxico.-** Que posee la capacidad de destruir células.

**Comensalismo.-** Relación simbiótica entre dos organismos en la que una parte (comensal) se beneficia, mientras que la otra (hospedador) ni se perjudica ni se beneficia.

**Competencia.-** Interacción entre dos o más organismos o especies, en las que sus tasas de desarrollo, natalidad o supervivencia se ven afectadas de manera negativa por el hecho de utilizar recursos comunes limitados.

**Componente abiótico.-** Es un factor físico o químico que se encuentra en un ambiente determinado.

**Componente biótico.-** Se refiere a todo organismo vivo que se encuentra en el ecosistema.

**Comunidad.-** Conjunto de poblaciones que interactúan en un tiempo y espacio determinado.

**Dendograma.-** Tipo de representación gráfica o diagrama de datos en forma de árbol que organiza los datos en subcategorías, grupos o clases.

**Densidad poblacional.-** Propiedad de la población que se define con el número de organismos por unidad de área o volumen.

**Depredación.-** Relación trófica de una especie depredador sobre otra presa, traduciéndose en un efecto negativo para las presas y positivo para los depredadores.

**Diversidad biológica.-** Es una expresión de la estructura que resulta de las formas de interacción entre elementos de un sistema.

**Ecosistema.-** Conjunto formado por los seres vivos, el ámbito territorial en el que viven y las relaciones que se establecen entre ellos, tanto bióticas como abióticas.

**Endémico.-** Especies con área de distribución restringida o limitada a una localidad o región específica.

**Endobionte.-** Organismo que se encuentra viviendo dentro de otro, pudiendo ser comensal, mutualista o parásito.

**Epibionte.-** Organismo que se encuentra viviendo sobre de otro, pudiendo ser comensal, mutualista o parásito.

**Índice de Dominancia.-** Toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia. Se consideran parámetros inversos a la equidad. En el

índice de Simpson manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie.

**Índice de Equidad de Pielou.-** Proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, mas cercano a 1 corresponde a que las especies son igualmente abundantes.

**Índice de Similitud.-** Razón de semejanza entre dos conjuntos de elementos. Mide la similitud de la comunidad en base a las especies que comparten en común.

**Metabolito primario.-** Compuesto orgánico indispensable para el desarrollo fisiológico de un organismo, presente en todos los organismos por lo que se considera que son universales.

**Metabolito secundario.-** Compuesto orgánico derivado del metabolismo primario no necesario para la supervivencia del organismo pero pueden suponer una ventaja competitiva, su distribución en los organismos es más limitada y para determinados compuestos queda restringida a ciertas especies e incluso a algunos grupos dentro de una misma especie.

**Mutualismo.-** Relación simbiótica en la que se benefician ambas partes.

**Parasitismo.-** Relación simbiótica en la que una de las partes se beneficia (parásito) y la otra se perjudica (hospedador).

**Patógeno.-** Elemento o medio que origina una enfermedad en un receptor.

**Población.-** Grupo de organismos de una misma especie que habitan en un tiempo y un área determinada.

**Simbiosis.-** Relaciones inter e intra específicas de los organismos, se compone de dos partes, el organismo mayor, denominado hospedador, cuyo cuerpo proporciona un hábitat para su compañero simbiote, el organismo menor, denominado huésped.

**Taxocenosis.-** Grupo de poblaciones relacionadas taxonómicamente y que concurren en un determinado tiempo y espacio (ej. Taxocenosis de estrellas de mar).

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Listado de esponjas pertenecientes a la clase Demospongiae y su variación en las localidades y épocas muestreadas.....	28
<b>Tabla II.</b> Actividad antibacteriana de los extractos de esponjas en ambas localidades frente a la cepa de <i>Staphylococcus aureus</i> .....	29
<b>Tabla III.-</b> Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de Agua de Yépiz frente a diferentes cepas de bacterias marinas.....	31
<b>Tabla IV.-</b> Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de La Bruja frente a diferentes cepas de bacterias marinas.....	32
<b>Tabla V.-</b> Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de Agua de Yépiz frente a diferentes especies de microalgas marinas.....	33
<b>Tabla VI.</b> Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de La Bruja frente a diferentes especies de microalgas marinas.....	34
<b>Tabla VII.</b> Concentración de nutrientes (Nitratos, Nitritos y Fosfatos) en las localidades muestreadas.....	48
<b>Tabla VIII.</b> Especies observadas en asociación directa de las esponjas en Agua de Yépiz.....	53
<b>Tabla IX.</b> Especies observadas en asociación directa de las esponjas en La Bruja..	54

**Tabla X.** Asociación de variables de actividad biológica, valores de diversidad, endobiontes asociacos y fosfatos, mediante el coeficiente de correlación de Pearson.....56

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Localización de las zonas de muestreo.....	20
<b>Figura 2.-</b> Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada cálida.....	36
<b>Figura 3.-</b> Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada fría.....	36
<b>Figura 4.-</b> Porcentaje de cobertura del componente vivo en la localidad de Agua de Yépiz en las temporadas fría y cálida.....	37
<b>Figura 5.-</b> Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de La Bruja en la temporada cálida.....	38
<b>Figura 6.-</b> Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de La Bruja en la temporada fría.....	39
<b>Figura 7.-</b> Porcentaje del componente vivo en la localidad de La Bruja en ambas temporadas.....	39
<b>Figura 8.-</b> Porcentaje de la máxima cobertura registrada en las especies de corales encontradas en ambas localidades.....	41
<b>Figura 9.</b> Especies con la mayor abundancia observada.....	42
<b>Figura 10.-</b> Abundancia por especie en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada cálida.....	43
<b>Figura 11.-</b> Abundancia por especies en la localidad Agua de Yépiz en la temporada fría.....	44
<b>Figura 12.-</b> Abundancia por especie en la localidad de La Bruja en la temporada cálida.....	45

<b>Figura 13.-</b> Abundancia por especie en la localidad de La Bruja en la temporada fría.....	46
<b>Figura 14.-</b> Índices descriptivos de las comunidades muestreadas.....	48
<b>Figura 15.-</b> Riqueza observada en cada localidad y temporada muestreada y temperatura registrada en cada muestreo.....	49
<b>Figura 16.-</b> Análisis de similitud entre las especies muestreadas en las temporadas y localidades.....	50
<b>Figura 17.-</b> Correlación de las especies observadas por transecto.....	50
<b>Figura 18.-</b> Número de organismos de cada grupo taxonómico que se encuentran viviendo dentro de cada una de las esponjas en estudio.....	51
<b>Figura 19.-</b> Comparación de la actividad biológica general entre localidades y temporadas.....	55

## RESUMEN

Las esponjas tienen gran importancia ecológica en los hábitats marinos bentónicos, en estos ambientes están expuestas a fuertes presiones de depredación y competencia, por lo que desarrollan como mecanismo de defensa química la producción de metabolitos secundarios bioactivos. Sin embargo, poco se conoce sobre la presencia, distribución y actividad biológica de las especies de esponjas en costas de Baja California Sur. El objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad antibacteriana y antiepibiótica de esponjas y su relación con la estructura de la comunidad bentónica en dos hábitats costeros (La Bruja y Agua de Yépiz) durante dos épocas del año en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. De todas las especies de esponjas presentes se recolectaron tres organismos durante la temporada cálida de 2010 (octubre) y la fría de 2011 (febrero). A partir de cada ejemplar se realizaron extractos orgánicos, que fueron sometidos a pruebas de actividad antibacteriana frente a cepas patógenas de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, así como de actividad antiepibiótica frente a bacterias marinas y microalgas. Para estimar los atributos de la comunidad bentónica, se obtuvo la abundancia y cobertura de organismos mediante fototransectos, además de identificar la riqueza específica de los organismos asociados directamente a las esponjas. Los resultados mostraron la presencia de nueve especies de esponjas en las dos localidades, con una evidente variación espacio temporal, siendo *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp. las mejor representadas. En cuanto a la actividad, fueron los extractos de la temporada fría los que presentaron de manera general la mejor actividad antibacteriana frente a la cepa de *S. aureus* (halos de inhibición entre 9.3 y 11.8 mm) y antiepibiótica frente a bacterias marinas y microalgas (valores MIC entre 0.1 y 10  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ). Con respecto a la estructura de la comunidad, se caracterizaron las dos localidades, apreciando una evidente variación temporal en la riqueza específica y cobertura de organismos, siendo mayor durante la temporada fría. En La Bruja se identificaron 55 especies con una diversidad estimada de 2.1 bits individuo<sup>-1</sup> en la temporada fría, y de 1.8 bits individuo<sup>-1</sup> en la temporada cálida. Durante la temporada fría se registro una gran abundancia de corales (*Pocillopora*, *Porites* y *Pavona*), el mejillón *Modiolus capax*,

los equinodermos *Phataria unifascialis* y *Echinometra vanbrunti*, así como la esponja *Ircinia* sp. En Agua de Yépiz, la mayor diversidad se encontró en la temporada fría con un valor de 2.4 bits individuo<sup>-1</sup>, mientras que en la temporada cálida fue de 1.4 bits individuo<sup>-1</sup>. Los organismos más abundantes durante la temporada fría, además de corales (*Pocillopora* y *Porites*) y macroalgas (*Sargassum*, *Padina* y *Hydroclathrus*), corresponden al equinodermo *Phataria unifascialis* y la esponja *Ircinia* sp. Se encontró una correlación positiva entre la bioactividad frente a bacterias marinas y los endobiontes de la esponja, así como entre la bioactividad frente a microorganismos marinos y nutrientes como fosfatos y nitritos. Lo cual muestra que existen interacciones entre la producción de compuestos con actividad y las asociaciones con organismos endobiontes.

## ABSTRACT

Sponges have great ecological importance in marine benthic habitats, they are exposed to heavy predation and competition pressures in these environments, consequently they develop the chemical production of bioactive secondary metabolites as a defense mechanism. Nevertheless, little is known about the presence, distribution, and biological activity of sponge species in Baja California Sur coast. Therefore, the aim of this study was to evaluate the antifouling and antibacterial activities of sponges and its relation to the benthic community structure in two coastal habitats (La Bruja and Agua de Yépiz) during two seasons in La Paz Bay, B.C.S., Mexico. A total of three organisms were collected for each of the sponge species present in the study area during the 2010 warm season (October) and the temperate of 2011 (February). Organic extracts were made for each specimen, which were tested for antibacterial activity against pathogenic strains of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, and for antifouling activity against marine bacteria and microalgae. To estimate the benthic community attributes, abundance and coverage of the organisms was obtained with fototranssect analysis, as well as with the identification of species richness of organisms that were in direct association with the sponges. The results showed the presence of nine sponge species in the two localities, with evident spatial and temporal variation, being *Haliclona caurulea* and *Ircinia* sp. the best represented ones. According to activity, extracts of temperate season presented in general terms the greatest antibacterial activity against the strain of *S. aureus* (inhibition zones between 9.3 and 11.8 mm) and antifouling activity against marine bacteria and microalgae (MIC values between 0.1 and 10 mg ml<sup>-1</sup>). Regarding the community structure, both sites were characterized, showing an evident temporal variation in species richness and organisms coverage, being higher during the temperate season. In La Bruja 55 species were identified with estimated diversity of 2.1 bits/individual in the temperate season, and 1.8 bits/individual in the warm season. During the temperate season great abundance of coral (*Pocillopora*, *Porites* and *Pavona*), the mussel *Modiolus capax*, echinoderms *Phataria unifascialis* and *Echinometra vanbrunti*, and sponge *Ircinia* sp. was recorded. In Agua de Yépiz,

the greatest diversity was found in the temperate season with a value of 2.4 bits/individual, while in the warm season diversity was 1.4 bits/individual. The most abundant organisms during the temperate season, besides corals (*Pocillopora* and *Porites*) and macroalgae (*Sargassum*, *Padina*, and *Hydroclathrus*) correspond to echinoderm *Phataria unifascialis* and sponge *Ircinia* sp. There are a positive correlation between the bioactivity against marine bacteria and sponge endobionts. As well as, between bioactivity against bacteria and microalgae and nutrients such as phosphates and nitrites. This shows there are interactions between the production of bioactive compounds and associated endobionts.

## I. INTRODUCCIÓN

En varios ecosistemas (arrecifes coralinos y rocosos, praderas de fanerógamas marinas, mantos de macroalgas, cuevas, fondos detríticos y lagunas eurihalinas y euritérmicas), las esponjas se han identificado como uno de los componentes de mayor importancia dentro de las distintas comunidades bentónicas, no solo por constituir el principal componente de la biomasa del bentos (dada la gran longevidad y tallas que presentan) (Uriz *et al.*, 1991; Ferretti *et al.*, 2009; Teixidó *et al.*, 2009), sino también por intervenir en funciones y procesos vitales para el ecosistema, tales como la filtración de la columna de agua de manera eficiente, participar en los procesos de erosión y fijación de sustrato, en la productividad primaria neta, regeneración de nutrientes, procesos de nitrificación (gracias a los organismos simbioses fotosintéticos que muchas especies albergan como cianobacterias, dinoflagelados, diatomeas, entre otros microorganismos), así como constituir un recurso más de hábitat y alimento para diversos grupos de organismos como opistobranquios, equinodermos, crustáceos, peces y tortugas (Bergquist, 1978; Kozloff, 1983; Rutzler, 1996; Menéndez, 2005).

En los ecosistemas en que se desarrollan, las esponjas compiten frecuentemente por el espacio con otros organismos sésiles, mediante la producción de sustancias aleloquímicas para mantener el sustrato que han colonizado, siendo el número de contactos con otras especies una medida indirecta de la competencia por el área de fijación (Betancourt-Lozano, 1992; Turon *et al.*, 1996; Turon *et al.*, 2009). De igual manera están sujetas a fuertes presiones por interacciones inter e intra específicas (depredación, mutualismo, competencia) con otros miembros del ecosistema, así como a los cambios físicos y químicos del ambiente (corrientes, temperatura, salinidad, luz, entre otros). Estas interacciones han favorecido el desarrollo de metabolitos secundarios a manera de defensa química (Faulkner, 1992; Pawlik, 1993; Buitrón-Sánchez & Pantoja-Alor, 1994; Proksch, 1994). En términos ecológico-evolutivos la generación de compuestos bioactivos no es un suceso raro en la naturaleza, sino una estrategia biológica que favorece la supervivencia ante un medio con múltiples interacciones, lo que provee al organismo de una ventaja

selectiva, y cuya concentración dependen del modo de vida (móvil o sésil), hábitat, tipo de alimentación, depredadores naturales, parásitos, simbiosis y presencia de estructuras esqueléticas protectoras, entre otras (Betancourt-Lozano, 1992). Por otra parte, en términos industriales, estos metabolitos presentan un potencial biomédico ya que pueden ser utilizados como compuestos antivirales, citotóxicos, antimicrobianos, antiinflamatorios, antifúngicos, antioxidantes, neurogénicos, citoprotectores o antitumorales; así como un interés para la industria naviera y acuícola por su capacidad antiepidemiológica (Faulkner, 2000; Faulkner, 2001; Faulkner, 2002; Blunt *et al.*, 2003; Donia & Hamann, 2003; Blunt *et al.*, 2004; Gustafson *et al.*, 2004; Blunt *et al.*, 2005; Hellio *et al.*, 2005; Blunt *et al.*, 2006; Blunt *et al.*, 2007).

Diversos estudios en ecología química marina han demostrado que las esponjas son los principales productores de metabolitos secundarios, principalmente las que se agrupan en la familia Demospongiae. Estos metabolitos pertenecen a diversos tipos estructurales (terpenos, esteroides, policétidos, poliacetilenos, alcaloides, nucleósidos, péptidos, entre otros), teniendo como función ecológica los efectos de alelopatía, antiepidemiología, disuasión de depredadores y antimicrobianos, principalmente, incluso se ha demostrado que un mismo metabolito secundario puede ser utilizado en diferentes procesos, lo que le confiere una ventaja a la esponja para mediar las relaciones que se dan con otros organismos marinos (Faulkner, 2000; Faulkner, 2001; Faulkner, 2002; Blunt *et al.*, 2003; Blunt *et al.*, 2004; Blunt *et al.*, 2005; Blunt *et al.*, 2006; Blunt *et al.*, 2007; Turon *et al.*, 2009).

En algunos arrecifes rocosos las esponjas se han considerado como un grupo clave (Voogd *et al.*, 2009) y aun así el conocimiento acerca de su ecología aun es pobre y los procesos en los que se involucran no están completamente descritos ni bien definidos (Becerro, 2008; Carballo-Cenizo, 2009). En el Golfo de California los arrecifes de tipo rocoso son uno de los hábitats mejor representado en el área (Jiménez, 1999; Thomson *et al.*, 2000; Villegas, 2004).

A pesar de la importancia que tienen las esponjas desde un punto de vista ecológico y/o químico, en la zona del Golfo de California son pocos los estudios que se han realizado y la mayoría de ellos con un enfoque químico, basados en el aislamiento y caracterización de productos naturales en unas cuantas especies. Por

lo que el propósito de este estudio fue evaluar si la complejidad de la comunidad bentónica asociada a las esponjas influye en la actividad biológica, en dos zonas de la Bahía de La Paz, B.C.S.

## II. ANTECEDENTES

### Pacífico mexicano y Golfo de California

El Pacífico mexicano se ubica en la región panámica y se divide en dos provincias; del Pacífico Noreste cálido-templado (desde Punta Concepción, California, hasta Puerto Corrientes, Jalisco, incluyendo el Golfo de California), y del Pacífico Este Tropical (desde Jalisco hasta Punta Aguja, Perú, incluyendo Las islas Clipperton, Cocos y el atolón de Revillagigedo). En la fracción mexicana de la región panámica, se han Identificado y delimitado 43 áreas prioritarias para la conservación basándose en su diversidad. En general, el Pacífico mexicano ha sido un área de interés para múltiples estudios con fines de caracterizar y clasificar sus componentes biológicos, definiendo los patrones espacio-temporales de las comunidades en los ecosistemas, ya sea de invertebrados, vertebrados o macroalgas. Se ha descrito la diversidad de especies en el litoral occidental de México, tan sólo en el Golfo de California, se distribuyen más de 5,500 especies de invertebrados, vertebrados, macroalgas, entre otros, la mayoría de ellas en aguas someras o intermareales. Registrándose 768 especies endémicas de invertebrados marinos en el Golfo de California: 117 especies de crustáceos, 460 de moluscos y 80 de anélidos (Caso, 1976; Espinosa, 2004; Salazar-Vallejo & Londoño-Mesa, 2004; Díaz-de-León-Corral *et al.*, 2005; Hendrickx & Brusca, 2007).

Se han descrito 253 especies de cnidarios en el Golfo de California, correspondiendo 102 especies a la clase Anthozoa, cinco a Scyphozoa y 146 a Hydrozoa, presentando 47 especies endémicas para el phylum. De 71 especies de corales pétreos (*Anthozoa: Scleractinia*), 34 especies son corales hermatípicos y 24 se encuentran en el Golfo de California, incluyendo la especie endémica *Porites sverdrupi* (Durham, 1947), así como siete especies más del género *Porites*, nueve especies de *Pocillopora*, cinco especies de *Psammocora*, cuatro especies de *Pavona*, tres especies de *Fungia* y la especie *Gardineroseris planulata* (Dana, 1846). 37 especies corresponden a corales ahermatípicos, 13 especies se distribuyen en el Golfo de California; *Madracis pharensis* (Heller, 1868), *Astrangia costata* (Verrill,

1866), *A. dentata* (Verrill, 1866), *Coenangia conferta* (Verrill, 1870), *Heterocyathus aequicostatus* (Milne-Edwards & Haime, 1848), *Phyllangia dispersa* (Verrill, 1864), *P. consagensis* (Durham & Barnard, 1952), *Sphenotrochus hancocki* (Durham & Barnard, 1952), *Cladopsammia eguchii* (Wells, 1982), *Endopachys grayi* (Mile Edwards & Haime, 1848), *Tubastraea coccinea* (Lesson, 1829), y las especies endémicas *Astrangia californica* (Durham & Barnard, 1952) y *Ceratotrochus franciscana* (Durham & Barnard, 1952) (Carriquiry & Reyes-Bonilla, 1997; Reyes-Bonilla & Cruz-Piñón, 2000; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005a; Hendrickx & Brusca, 2007; Holguin-Quiñones *et al.*, 2008; Reyes-Bonilla *et al.*, 2008; Reyes-Bonilla *et al.*, 2010).

Los equinodermos han sido estudiados desde hace más de un siglo, se han identificado en total 500 especies en el Pacífico mexicano, de las que 262 habitan en el Golfo de California, con 16 especies endémicas. El principal componente corresponde a los asteroideos con un registro de 140 especies, 43 se distribuyen en el Golfo de California, siendo *Astropecten*, *Luidia*, *Nidorellia*, *Oreaster*, *Pharia*, *Phataria* y *Heliaster* los géneros más representativos. La estructura de la taxocenosis de las estrellas de mar en los arrecifes rocosos del Golfo de California es homogénea y no presenta cambios latitudinales evidentes, esto a causa de la presencia de las especies *Phataria unifascialis* (Gray, 1840) y *Pharia pyramidatus* (Gray, 1840) como organismos dominantes en todas las regiones evaluadas. El gremio trófico de las estrellas de mar corresponde a organismos herbívoros, carnívoros y detritívoros. La taxocenosis de erizos en la región panámica está compuesta de más de 100 especies, 37 se distribuyen en arrecifes rocosos del Golfo de California, siendo las especies más representativas; *Arbacia incisa* (Agassiz, 1842), *Eucidaris thouarsii* (Valenciennes, 1846), *Centrostephanus coronatus* (Verrill, 1867), *Diadema mexicanum* (A. Agassiz, 1863), *Tripneustes depressus* (A. Agassiz, 1841), *Toxopneustes roseus* (Agassiz, 1863) y *Echinometra vanbrunti* (Agassiz, 1863), registrando a la especie *Arbacia incisa* como dominante. Un total de 107 especies de ofiuroides se han descrito para el Pacífico mexicano de las que 37 habitan en el Golfo de California, siendo los géneros característicos *Ophioderma*, *Ophiocoma*, *Ophiactis* y *Ophiothrix*. En México hay pocos datos disponibles acerca de las

especies de holotúridos, principalmente de las especies con importancia comercial, sin embargo, se han registrado 68 especies de holotúridos en el Pacífico de México. En la parte sur del Golfo de California se ha documentado la presencia de cuatro especies de holotúridos en arrecifes rocosos; *Euapta godeffroyi* (Semper, 1868), *Holothuria fuscoscinerea* (Jaeger, 1833), *Holothuria kefersteini* e *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) (Caso, 1976; Herrero-Pérezrul, 1994; Reyes-Bonilla, 1997; Solís-Marín, 1998; Godínez-Domínguez & González-Sansón, 1999; Holguin-Quiñones *et al.*, 2000; Espinosa, 2004; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005b; Solís-Marín *et al.*, 2005; Hendrickx & Brusca, 2007; Herrero-Pérezrul, 2008; Holguin-Quiñones *et al.*, 2008; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008; Luna-Salguero & Reyes-Bonilla, 2010; Granja-Fernández & López-Pérez, 2011).

Se han descrito más de dos mil especies de moluscos para el Pacífico mexicano, pertenecientes a 132 familias y 333 géneros, mucho de este conocimiento se ha generado por el interés económico de las especies. En los fondos someros (principalmente rocosos) del Golfo de California se han identificado 2196 especies de moluscos de hábitos bentónicos, 460 endémicas. 1529 especies de la clase Gastropoda, destacando en fondos rocosos; *Astraea undosa* (Wood, 1828), *A. turbanica* (Dall, 1910), *Conus brunneus* (Wood, 1828), *C. princeps* (Linnaeus, 1758), *Muricanthus princeps* (Broderip, 1833), *Oliva* spp. y *Haliotis* spp., destacando la subclase Opisthobranchia con 50 especies. La clase Bivalvia está representada principalmente por ocho especies; *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835), *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793), *Hytissa hyotis* (Dall, 1914), *Spondylus calcifer* (Carpenter, 1857), *Pteria externa* (Gould, 1851), *Atrina maura* (Sowerby, 1835), *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1835) y *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). 13 especies de la clase Polyplacophora, siendo dominantes; *Chiton virgulatus* (Sowerby, 1840), *Lepidozona clathrata* (Reeve, 1847), *Ischnochiton tridentatus* (Pilsbry, 1893) y *Chaetopleura lurida* (Sowerby, 1832). Dentro de la clase Cephalopoda se ubica la familia Octopodidae, de la cual se han descrito nueve especies para el Pacífico mexicano y Golfo de California, destacando *Octopus hubbsorum* (Berry, 1953) por su importancia comercial. Pese al amplio conocimiento que se tiene de la distribución y diversidad

de moluscos en los litorales occidentales de México, y a causa de la explotación permanente de algunas de estas especies, con el consecuente impacto ambiental, se observan altos grados de sobreexplotación y disminución específica en este grupo (Arizpe & Félix-Uraga, 1985; Holguin-Quiñones & García-Domínguez, 1997; Vicencio-Aguilar, 1998; Godínez-Domínguez & González-Sansón, 1999; Sánchez-Ortiz, 2000; Rodríguez-Valencia *et al.*, 2002; Ramírez-Rodríguez & Naegel, 2003; Sánchez, 2005; García-Ríos & Álvarez-Ruiz, 2007; Hendrickx & Brusca, 2007; Hermosillo & Valdés, 2007; Holguin-Quiñones *et al.*, 2008; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008; Pliego-Cárdenas, 2009; CONABIO, 2012a).

Con respecto a crustáceos en fondos rocosos y blandos del Pacífico mexicano, se han identificado más de mil especies, dominando en abundancia *Portunus xantusii affinis* (Faxon, 1893) y *Trachypenaeus brevisuturæ* (Burkenroad, 1934). En el Golfo de California se distribuyen 1032 especies de crustáceos, de las que 117 son endémicas. El principal grupo es el de los crustáceos decápodos con 621 especies, pertenecientes a 53 familias y 187 géneros, observándose la mayor riqueza para los taxa Penaeoidea, Caridea, Palinura, Thalassinidea, Anomura y Brachyura (Hendrickx, 1993; Landa-Jaime *et al.*, 1997; Archiniega-Flores *et al.*, 1998; Godínez-Domínguez & González-Sansón, 1999; Hendrickx & Sánchez-Vargas, 2005; Hendrickx & Brusca, 2007).

Más de 1100 especies de anélidos se distribuyen en la región panámica, repartidos en 69 familias. 717 se han identificado en el Golfo de California, correspondiendo 716 a la clase Polychaeta, con 80 especies endémicas, mientras que de la clase Oligochaeta solo se ha enlistado una especie (Solís-Weiss, 1997; Solís-Weiss *et al.*, 2000; Espinosa, 2004; Salazar-Vallejo & Londoño-Mesa, 2004; Hernández-Alcántara *et al.*, 2008; CONABIO, 2012b).

Se han registrado 145 especies de esponjas en el Pacífico mexicano, seis especies viven en relación directa con corales del género *Pocillopora*: *Callyspongia californica* (Dickinson, 1945), *Chalinula nematiera* (de Laubenfels, 1954), *Haliclona*

*caerulea* (Hechtel, 1965), *Mycale* (*Carmia*) *cecilia* (de Laubenfels, 1936), *M. (C.) magniraphidifera* (Van-Soest, 1984) y *Amphimedon texotli* (Cruz-Barraza & Carballo-Cenizo, 2008), siete especies de cinco géneros (*Aka*, *Cliona*, *Pione*, *Cliothosa* y *Thoosa*) con hábitos perforadores en el sur del Pacífico mexicano. En el Golfo de California se distribuyen 87 especies, 16 de ellas endémicas, principalmente en áreas rocosas, ya sea debajo de ellas, o de manera incrustada. La distribución es influenciada por el tipo de roca (consolidado o canto rodado), la sedimentación, intensidad del viento, corrientes, etc. Se observa que pocas especies son las que presentan ciclos estacionales regulares. Las esponjas de tipo ramificadas (géneros como *Haliclona*, *Mycale* y *Callyspongia*) se favorecen (en cuanto a su abundancia) después de eventos de sedimentación y depositación del sustrato en ambientes rocosos del Golfo de California, dándose un cambio en la composición de especies, excluyendo a esponjas excavadoras (*Microcliona* y *Spirastrella*), que son las más abundantes en épocas de baja depositación (Carballo-Cenizo, 2002a; Cruz-Barraza & Carballo-Cenizo, 2005; Carballo-Cenizo, 2006; Carballo-Cenizo & Nava, 2007; Henrickx & Brusca, 2007; Bell & Carballo-Cenizo, 2008; Carballo-Cenizo *et al.*, 2008a; Carballo-Cenizo *et al.*, 2008b; Carballo-Cenizo & Cruz-Barraza, 2008; Carballo-Cenizo, 2009; Aguilar-Camacho & Carballo-Cenizo, 2010).

Las interacciones que llevan a cabo las esponjas pueden ser de tipo competitivo, se ha documentado la importancia bioerosiva mediante agentes químicos que desintegran a ciertos organismos, ya sea para ganar espacio o para defenderlo, en consecuencia, se ha argumentado que los grandes volúmenes de sedimento de los mares tropicales son el resultado de la acción perforadora de esponjas, que también producen clastos grandes al socavar químicamente las partes frontales y posteriores de las estructuras arrecifales, llegando a remover hasta el 20% del sustrato coralino (Buitrón-Sánchez & Pantoja-Alor, 1994). Las relaciones mutualistas se han observado con poliquetos, en donde los gusanos completan su ciclo de vida dentro de la esponja, y se alimentan de ella (Humann, 1992), con artrópodos, principalmente cangrejos, beneficiándose el cangrejo al tener camuflaje y protección química, mientras que la esponja obtiene un sustrato con movilidad

accediendo a lugares con distinta disponibilidad de alimento y oxígeno (Sanford, 1994), con ofiuroides, donde equinodermo limpia la superficie de la esponja, mientras se alimenta, y se protege de sus depredadores (Hendler, 1984), briozoarios; *Smittina cervicornis* (Pallas, 1766) con la esponja *Halisarca dujardini* (Johnston, 1842), la esponja puede habitar en zonas más someras, mientras que los briozoarios obtienen alimento particulado a través de las corrientes de agua generadas por las esponjas (Hamerlin *et al.*, 1994), con macroalgas entre la esponja *Haliclona caerulea* y la macroalga *Jania adhaerens* (Lamouroux), mencionando que incluso la presencia de cada una de las especies se puede ver perjudicada en caso de no existir la asociación (Ávila & Carballo-Cenizo, 2004), con esponjas entre las especies *Haliclona sonorensis* (Cruz-Barraza & Carballo, 2006) con *Geodia media* (Bowerbank, 1873), encontrando siempre a la primer especie en asociación con la segunda, mientras que a *G. media* si se le ha observado individualmente (Cruz-Barraza & Carballo-Cenizo, 2006), también se han encontrado muchas especies de esponjas presentando asociaciones con microorganismos como hongos, como en el caso de la esponja *Haliclona simulans* (Johnston, 1842), de la cual se aislaron 80 hongos, con actividad antimicrobiana, clasificados como miembros de *Agaricomycotina*, *Mucoromycotina*, *Saccharomycotina* y *Pezizomycotina* (Baker *et al.*, 2009), microalgas, cianobacterias y bacterias (Taylor *et al.*, 2007).

Otros invertebrados que se distribuyen en la zona del Golfo de California, pero con una menor riqueza específica son: phylum Ctenophora con cuatro especies (dos endémicas), Platyhelminthes 22 especies (nueve endémicas), Nemertea 17 especies (dos endémicas), Spincula 11 especies, Echiura cuatro especies (una endémica), Brachiopoda cinco especies (cuatro endémicas), Cirripedia 43 especies (ocho endémicas), Pycnogonida 15 especies, Bryozoa 169 especies (11 endémicas), Pogonophora una especie, ascidiacea 16 especies (tres endémicas), Appendicularia 21 especies, Chaetognatha 20 especies (Hendrickx & Brusca, 2007).

Se han identificado más de 300 especies de macroalgas para la zona del Golfo de California (incluyendo las costas occidentales de la península de Baja

California). La mayor riqueza observada corresponde a macroalgas de la división Rhodophyta, seguida de las macroalgas Heterokontophyta y finalmente Chlorophyta. La mayor riqueza se observa en primavera, seguido de otoño, después invierno y finalmente verano. Las asociaciones de macroalgas pueden ocupar una gran variedad de hábitats en la zona intermareal y submareal sobre el sustrato rocoso, fondos blandos y sobre el esqueleto de otros organismos. Se ha demostrado la variación espacial y temporal de las especies, sin embargo, en áreas rocosas se han descrito como dominantes a los géneros *Porphyra*, *Amphiroa*, *Dictyota*, *Jania*, *Padina* y *Gracilaria*, mientras que *Sargassum* spp. ha sido descrito como el principal formador de bosques en arrecifes rocosos del submareal superior (Aguilar-Rosas, 1999; Sánchez-Rodríguez & Cervantes-Duarte, 1999; Mateo-Cid *et al.*, 2000; Rivera, 2003; Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2005; Saad-Navarro & Riosmena-Rodríguez, 2005; Readdie *et al.*, 2006; Pacheco-Ruíz *et al.*, 2008; Aguilar-Rosas *et al.*, 2010; Ortiz-Aguirre *et al.*, 2012).

### **Bahía de La Paz**

La Bahía de La Paz, morfológicamente, es una depresión asociada estructuralmente a una fosa tectónica, se ubica sobre el margen suroriental de la península de Baja California al suroeste del Golfo de California. Se ha definido como un área de riqueza específica alta por la protección a corrientes y gran heterogeneidad de hábitats. Se distribuyen 26 especies de corales escleractineos, de estos 17 corresponde a corales hermatípicos de los géneros; *Pocillopora*, *Porites*, *Pavona*, *Psammocora*, *Fungia* y *Leptoseris*. Nueve son especies de corales azooxantelados; *Madracis pharensis* (Heller, 1868), *Astrangia dentata* (Verrill, 1866), *Oulanguia bradleyi* (Verrill, 1866), *Ceratotrochus franciscana* (Durham y Barnard, 1952), *Coenocyathus bowersi* (Vaughan, 1906), *Cladospsammia eguchii* (Wells, 1982), *Dendrophylla oldroydae* (Oldroyd, 1924), *Endopachys grayi* (Milne Edwards y Haime, 1848) y *Tubastraea coccinea* (Lesson, 1829). Se han registrado 92 especies de equinodermos; 21 de la clase Asteroidea [una especie endémica de la Bahía; *Mithrodia enriquecasoi* (Caso, 1975)], 18 de Ophiuroidea, 26 de Echinoidea y 27 de

Holothuroidea [una especie endémica de la Bahía: *Laetmogone scotoeides* (H.L. Clark, 1913)], siendo las especies más abundantes *Phataria unifascialis*, *Tripneustes depressus* y *Holothuria fuscoscinerea*, la especie menos abundante de equinodermos es *Isostichopus fuscus*. El número de especies conocidas de moluscos para la Bahía de La Paz es de 306, 120 de bivalvos, 173 de gasterópodos, ocho cefalópodos, tres poliplacóforos y dos escafópodos. En las playas rocosas se distribuyen principalmente los géneros *Littorina*, *Nerita*, *Lithophaga*, *Thais*, *Chama*, *Isognomon*, *Chiton*, *Cyprea*, *Olivia*, *Conus* y *Thais*, en cambio, en playas de tipo arenosas, fangosas, destaca la abundancia de géneros como *Cardita*, *Chione*, *Semele*, *Tagelus* y *Protothaca*. En la Bahía de La Paz se han identificado 73 especies de crustáceos, agrupadas en tres subclases y seis órdenes; anfípodos con 39 especies, decápodos con 13, isópodos con nueve, cumáceos con siete, tanaidáceos con cuatro y estomatópodos con una especie. Se destacan por su abundancia las especies *Platymera gaudichaudii* (H. Milne Edwards, 1837), *Cancer johngarthi* (Carvacho, 1989), *Excrolana braziliensis* (H. Richardson, 1912) y *Pseudosphyrapus* sp. Dos especies de Platyhelminthes se han documentado en la Bahía, *Pericelis* spp. y *Pseudobiceros* spp. 22 especies de poliquetos, algunos son; *Glycera papillosa* (Grube, 1857), *Haplosyllis spongicola* (Grube, 1855), *Syllis cornuta* (Rathke, 1843) y *S. prolifera* (Krohn, 1852). Se han identificado 14 especies de esponjas en la Bahía (cuatro Haplosclerida, tres Poecilosclerida, cuatro Dictyoceratida, dos Verongida y una Clathrinida), dos en arrecifes rocosos en el archipiélago Espíritu Santo (*Aplysina fistularis* Pallas 1766 y *Aplysina gerardogreeni* Gomez & Bakus, 1992) y el resto como epibiontes en la porción basal de la macroalga *Sargassum* spp., sin embargo, solo siete fueron identificadas a nivel especie; *Callyspongia californica*, *Haliclona caerulea*, *Haliclona turquoisia*, *Hyatella intestinalis* (Lamarck, 1814), *Lissodendoryx isodictyalis* (Carter, 1882), *Mycale Cecilia* y *Mycale magniraphidifera*, las cinco restantes a nivel orden; tres Dictyoceratida, una Clathrinida y una Haplosclerida. Las especies más frecuentes en mantos de *Sargassum* son *Callyspongia californica* y *Haliclona turquoisia*, observando una variación temporal en la abundancia de las esponjas, siendo mayor de junio a noviembre (posterior al periodo de crecimiento de *Sargassum*). La asociación de

macroalgas en la Bahía de La Paz se compone por 284 especies, correspondiendo el 62% a algas rojas, 15% a algas cafés y 23% a algas verdes. Entre los géneros dominantes se enlistan *Ulva*, *Padina*, *Caulerpa*, *Laurencia* y *Sargassum*, este último como el componente más conspicuo de la ficoflora en la Bahía de La Paz, cubriendo hasta 194 hectáreas distribuidos en un total de 33 mantos. Estos mantos están conformados por *Sargassum horridum* (Setchell & Gardner) en un 96% y 4% de *S. lapazeanum* (Setchell & Gardner) (Hernández-Carmona *et al.*, 1990; Fajardo-León, 1994; Solís-Weiss, 1997; Álvarez *et al.*, 1997; Casas-Valdez *et al.*, 1997; Domínguez-Orozco & Tripp-Quezada, 1997; Holguin-Quiñones & García-Domínguez, 1997; Reyes-Bonilla, 1997; Sánchez-Ortiz *et al.*, 1997; Solís-Marín *et al.*, 1997; Siqueiros-Beltrones & Riosmena-Rodríguez, 1998; Aguila-Ramírez *et al.*, 2005; Paul-Chávez, 2005; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005a; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005b; González-Medina *et al.*, 2006; Paul-Chávez *et al.*, 2006; García-Ríos & Álvarez-Ruiz, 2007; Blancas-Gallangos, 2008; Herrero-Pérezrul, 2008; Suárez-Castillo, 2008; Ávila *et al.*, 2010; Carballo-Cenizo & Cruz-Barraza, 2010; Reyes-Bonilla *et al.*, 2010; Torres-Alfaro, 2010).

En la metodología para realizar el análisis de la comunidad bentónica, determinar los patrones estructurales, describir los atributos y parámetros comunitarios como la riqueza, equidad y abundancia, entre otros, se ha implementado el uso de los fototransectos desde hace unos 30 años. Este tipo de metodología permite maximizar la obtención de información, reduciendo los costos económicos en esfuerzo y en tiempo, identificando principalmente especies de taxa conspicuos (Jokiel *et al.*, 2005; Phinn *et al.*, 2006; Borges-Souza & Chávez, 2007; Burt *et al.*, 2009). Con estos métodos se han determinado los patrones estructurales de varias comunidades bentónicas, resaltando entre estas, poblaciones de esponjas, corales y macroalgas (Borges-Souza & Chávez, 2007).

### **Productos naturales y ecología química marina de esponjas**

Los ecólogos han estudiado por siglos cómo los organismos interactúan entre sí, pero recientemente se ha mostrado interés en cómo los procesos químicos

influyen en estas interacciones. Habitualmente los organismos marinos sintetizan metabolitos secundarios derivados del metabolismo primario, estos compuestos (metabolitos secundarios), han presentado actividad biológica funcionando como mecanismos de defensa química contra potenciales depredadores y competidores. En el medio natural estos metabolitos secundarios juegan un papel ecológico importante, ya que se producen como un mecanismo de defensa, actuando como modificadores de sitios de reconocimiento, modificadores de palatabilidad o agentes citotóxicos, en respuesta a presiones de competencia, depredación o colonización (Bakus *et al.*, 1986; Uriz *et al.*, 1991; Pawlik, 1993). En el caso específico de organismos sésiles, que compiten frecuentemente por espacio y alimento, adoptan estos mecanismos, para mantener su disponibilidad de espacio y para evitar el asentamiento de organismos epibiontes (Pawlik, 1993; Becerro *et al.*, 1997; Arias *et al.*, 2006). Sin embargo, la síntesis de estos compuestos representa un gasto energético para el organismo por lo que estos se sintetizan en mayor medida ante situaciones de estrés, provocadas por interacciones con otros organismos o con el medio (Fagerstrom *et al.*, 1987) lo que puede permitir el desarrollo de un patrón temporal en la producción de compuestos y en la bioactividad (Turon *et al.*, 1996; Page *et al.*, 2005; Ferretti *et al.*, 2009; Turón *et al.*, 2009).

Las esponjas son uno de los principales productores de sustancias con actividad biológica (Amade *et al.*, 1987; Newbold *et al.*, 1999) y se ha documentado la variabilidad en la producción de metabolitos secundarios a nivel inter e intra-específico (Turon *et al.*, 2009). Dentro de los factores que pueden influir en esta variación se pueden mencionar aspectos genéticos, biológicos y ambientales. El componente genético aún no ha sido estudiado ampliamente, los factores ambientales (luz, disponibilidad de nutrientes, contaminantes) y las presiones bióticas (competencia por espacio, epibiosis o depredación) a las que están expuestas las esponjas sí han sido estudiados. Así, estudios realizados en esponjas indican que los metabolitos bioactivos pueden variar entre las diferentes estaciones del año dependiendo no sólo de las características ambientales sino también de las interacciones con otros organismos (Turon *et al.*, 1996; Page *et al.*, 2005), pero esta

relación va a depender de los factores específicos de cada localidad. Así algunos géneros han mostrado la mayor actividad citotóxica durante periodos fríos (Ferretti *et al.*, 2009), otras especies presentan la mayor bioactividad en meses más cálidos (Betancourt-Lozano *et al.*, 1998) y otras durante finales de verano y otoño (Turon *et al.*, 1996). A pesar de estas variaciones, una cuestión en común, es que la mayor bioactividad se presenta como resultado de un aumento en el número de organismos asociados, ya sean competidores u organismos que utilizan a la esponja para asentarse y fijarse (Turon *et al.*, 2009; Duckworth & Battershill, 2001; Betancourt-Lozano *et al.*, 1998).

Dentro del Golfo de California se han realizado diversos estudios con esponjas para aislar e identificar compuestos bioactivos. Algunos de ellos con actividad citotóxica (Hernández-Guerrero *et al.*, 2006; Hernández-Guerrero *et al.*, 2007; Zubía *et al.*, 2008a, Zubía *et al.*, 2008b), antimicobacteriana (Encarnación *et al.*, 2000, Encarnación *et al.*, 2003), antimicrobiana (Bobzin & Faulkner, 1989; León-Deniz, 2003) y antidepredatoria (Bobzin & Faulkner, 1989). En cuanto a la variación estacional de la actividad biológica, se han realizado dos trabajos en los que se observó que existe una evidente variación estacional de la actividad antibiótica (Betancourt-Lozano, 1992; Betancourt-Lozano *et al.*, 1998; Montes-Plascencia *et al.*, 2010).

### III. JUSTIFICACIÓN

Diversos estudios realizados en el Caribe, Mediterráneo y Atlántico Europeo han puesto de manifiesto la importancia que presentan las esponjas en los ecosistemas marinos. Son animales sésiles abundantes y diversos en fondos marinos, dominando en ambientes como cuevas, arrecifes rocosos, arrecifes coralinos (debajo de los 20 m), praderas de fanerógamas marinas, manglar, paredes verticales y zonas de cantos rodados. Juegan un importante papel ecológico en términos de abundancia, riqueza de especies y por las funciones ecológicas que realizan: transfiriendo la productividad de la columna de agua al bentos, contribuyendo a la productividad en sí (gracias a sus microorganismos simbioses), captura y acumulación de silicio regulando el flujo de este en el mar, proveen rugosidad, complejidad y refugio para otras especies (Sarà & Vacelet, 1973; Rutzler, 1976; Rutzler & Feller, 1987; Turon *et al.*, 1996; Zea, 1998; Maldonado, 1999; Parra-Velandia & Zea, 2003; Teixidó *et al.*, 2009; Turon *et al.*, 2009; Núñez-Flores *et al.*, 2010; Rivero-Calle, 2010).

Las comunidades de esponjas pueden ser muy dinámicas, en el tiempo y espacio, en ambientes de aguas someras, dadas las frecuentes perturbaciones de origen natural y antropogénico (Pauls, 2001; Carballo-Cenizo & Nava, 2007; Carballo-Cenizo *et al.*, 2008b). Aunado a las interacciones con el medio abiótico (corrientes, tipo de sustrato, concentración de nutrientes y gases disueltos, luz, temperatura, etcétera), las relaciones inter e intra específicas que realizan las esponjas (competencia por espacio, evasión/tolerancia de endobiontes y epibiontes, evasión de depredadores, alimentación), han favorecido el desarrollo de herramientas químicas, que les ofrecen una ventaja adaptativa frente a su entorno (Rutzler, 1976; Rutzler, 1978; Pawlik, 1993; Turon *et al.*, 1996; Uriz *et al.*, 1996; Pawlik, 2000; Valderrama & Zea, 2003; Turon *et al.*, 2009). Estas interacciones colocan a las esponjas como el principal productor de compuestos bioactivos, teniendo un gran número de aplicaciones industriales, farmacéuticas y ecológicas (Gustafson *et al.*, 2004; Hellio *et al.*, 2005; Blunt *et al.*, 2007; Turon *et al.*, 2009), sin

embargo, el conocimiento sobre las esponjas y sus relaciones ecológicas es escaso (en relación a otros grupos como corales, macroalgas, moluscos, equinodermos y artrópodos) a nivel mundial, siendo más evidente en los litorales mexicanos (Carballo-Cenizo, 2002b; Cruz-Barraza, 2004; Becerro, 2008; Carballo-Cenizo, 2009).

En las costas de Baja California Sur, poco se conoce acerca de la presencia y distribución de las especies de esponjas. Con respecto a los estudios químicos realizados en el Golfo de California la mayoría se han centrado en especies del litoral de Sonora, Sinaloa, Nayarit y Jalisco. Por otro lado, los trabajos de bioactividad de extractos y aislamiento de compuestos en su mayoría se han enfocado al género *Aplysina* (Betancourt-Lozano *et al.*, 1998; Encarnación *et al.*, 2000; León-Deniz, 2003; Montes-Plascencia *et al.*, 2010; Valencia-Agamí, 2010). En el caso de las interacciones de las esponjas con otros organismos y el efecto en la actividad, solo existe un trabajo realizado en la esponja *Aplysina fistularis*. Por lo que resulta interesante incrementar el conocimiento de las relaciones ecológicas que estimulan las modificaciones en la producción de metabolitos secundarios bioactivos.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Las esponjas presentan múltiples interacciones en el ambiente marino, compiten por espacio y nutrientes con otros organismos bentónicos, son depredadas por una gama diversa de especies, además de las muchas y variadas relaciones simbióticas dentro y sobre su cuerpo. Estudios de ecología química demuestran que las interacciones inter e intra específicas ha promovido el desarrollo de un sofisticado sistema de defensa; la producción de moléculas bioactivas. Bajo este esquema se planteó la siguiente pregunta: ¿La actividad antibacteriana y antiepibiótica de las esponjas que habitan en la zona de Pichilingue y San Juan de la Costa, dentro de la Bahía de La Paz, se verá modificada por la complejidad estructural de la comunidad en la que habitan? Por lo que la hipótesis de trabajo es: Existe una relación entre la complejidad de la estructura de la comunidad y la actividad biológica, así a mayor número de especies asociadas a las esponjas, estas presentarán una mayor actividad antibacteriana y antiepibiótica.

## **V. OBJETIVOS**

### **V.a. General**

Determinar si existe relación entre la actividad antibacteriana y antiepibiótica de las esponjas con la estructura de la comunidad bentónica en dos hábitats costeros durante dos épocas del año en la Bahía de La Paz, B.C.S., México.

### **V.b. Particulares**

- 1.- Determinar la riqueza específica de esponjas en las localidades de La Bruja (Pichilingue) y Agua de Yépiz (San Juan de la Costa) dentro de la Bahía de La Paz, B.C.S., en dos épocas del año (cálida y fría).
- 2.- Evaluar la actividad antibacteriana de las esponjas frente a las cepas *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, así como la actividad antiepibiótica frente a cepas de bacterias marinas y microalgas que producen incrustación.
- 3.- Caracterizar los atributos de la comunidad bentónica en las dos localidades y épocas de estudio.
- 4.- Determinar la riqueza específica de los endobiontes de las esponjas estudiadas.
- 5.- Determinar la relación entre la bioactividad de las esponjas y los organismos asociados a ellas.

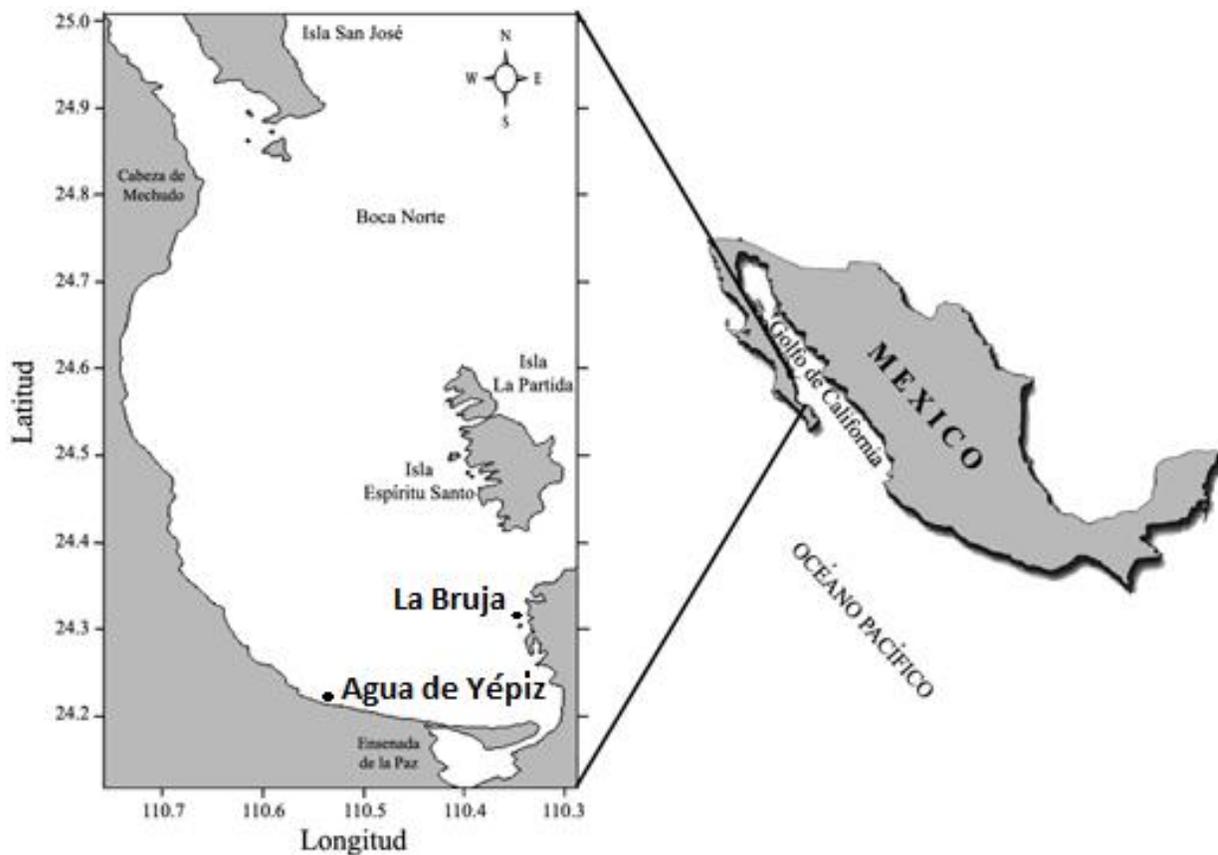
## VI. ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en la Bahía de La Paz, B.C.S., México, localidad ubicada en la costa sureste de la península de Baja California. Es un cuerpo de agua relativamente somero con una superficie de 2800 km<sup>2</sup>, cuyo relieve del margen costero está caracterizado por lomeríos bajos de topografía abrupta, con procesos erosivos en los márgenes oriental y occidental, mientras que en el límite sur el relieve es de planicies y valles con predominio de procesos de depósito, cuenta con un talud poco profundo en la sección sur (50 m en promedio), con presencia de caletas, cubiertas en su mayoría por arena, la profundidad se incrementa gradualmente, llegando a 400 m en la cuenca Alfonso al norte de la Bahía.

El patrón de corrientes es de norte a sur, al presentar un libre intercambio de agua con el Golfo de California, con entrada en la porción norte (entre punta Mechudo e isla Partida), donde el agua entra a profundidades de hasta 350 m, permitiendo la oxigenación del cuerpo de agua, observando los menores valores de oxígeno en la porción sur, en donde se da la salida de agua desde la Bahía hacia el Golfo de California por el canal San Lorenzo. La circulación dentro de la Bahía se ha registrado por giros ciclónicos y anticiclónicos, aunque se ha observado estratificación de agua, esto debido al área expuesta a los cambios estacionales, distinguiendo dos temporadas, una fría que va de noviembre a abril, dominada por fuertes vientos del noroeste que tienden a producir una gruesa capa de mezcla, y un aporte de nutrientes por surgencias. En esta temporada se registran los mayores valores de clorofila, causada por el florecimiento fitoplanctónico. La segunda temporada es la correspondiente a la cálida, cuando los vientos del sur son débiles y la evaporación del agua genera una estratificación de la columna de agua. Se observa una disminución en los valores de clorofila, asociada a la baja abundancia de organismos fitoplanctónicos (Álvarez *et al.*, 1997; Jiménez-Illescas *et al.*, 1997; Verdugo-Díaz, 2004; Aguíñiga *et al.*, 2010).

Los muestreos se realizaron en dos zonas (Figura 1); la primera ubicada en el arrecife rocoso La Bruja, a una longitud de 110°20' W y latitud de 24°17' N. El cual

presenta una profundidad entre 90 cm a 8 m. Está constituido por comunidades alternadas de macroalgas, principalmente Heterokontophytas, diversas especies de esponjas, principalmente de los géneros *Haliclona* e *Ircinia*, parches de corales de *Porites* y *Pocillopora*, así como otros invertebrados y peces. La segunda zona se encuentra en Agua de Yépiz, San Juan de la Costa, ubicada al oeste de la Bahía de La Paz, a los 110° 38' W y 24° 17' N. En este sitio se localiza el manto de *Sargassum* spp. más extenso y denso de la zona, ocupando un área total de 131 224 m<sup>2</sup> localizado cerca de la costa, con profundidades de 1 a 6 m y se caracteriza por tener una playa rocosa de cantos rodados de 10 a 50 cm, entre los que se pueden observar parches de arena entre las rocas; hasta una profundidad de 3 a 4 m, en donde solo se observa arena (Hernández-Carmona *et al.*, 1990; Blancas-Gallangos, 2008; Ávila *et al.*, 2010).



**Figura 1.-** Localización de las zonas de muestreo.

## **VII. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **VII. a. Obtención del material biológico.**

Se recolectaron manualmente ejemplares de las diferentes especies de esponjas presentes en el área de estudio mediante buceo autónomo durante la temporada cálida de 2010 (octubre) y la fría de 2011 (febrero) en las localidades de La Bruja y Agua de Yépiz. Se seleccionaron de manera aleatoria tres organismos por especie de esponja, a lo largo de cada localidad, separados al menos un metro entre sí. En algunos casos no fue posible recolectar tres organismos debido a la poca abundancia de las especies. Se registró la temperatura del agua de mar (°C) y se tomaron muestras de agua para el análisis de nutrientes. Las esponjas se transportaron en hielo al Laboratorio de Microbiología del CICIMAR, donde se mantuvieron congeladas a -20°C hasta su estudio. Un ejemplar de cada especie se preservó para su confirmación taxonómica por personal del Laboratorio de Bentos, del ICMYL- UNAM. El análisis de nutrientes se realizó en un laboratorio certificado para obtener los datos de nitritos, nitratos y fosfatos.

### **VII. b. Riqueza específica de esponjas.**

Las esponjas fueron identificadas hasta el menor taxa posible por la Dra. Cristina Vega Juárez, del Laboratorio de Bentos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (Campus Mazatlán). La clasificación usada fue la propuesta en el Sistema Porifera (Hooper & Soest, 2002), y para la identificación de las especies se utilizaron claves y bibliografía publicada para el Pacífico oriental sobre taxonomía de esponjas (Hooper & Soest, 2002; Gómez *et al.*, 2002; Cruz-Barraza & Carballo-Cenizo, 2008; Carballo-Cenizo & Cruz-Barraza, 2010).

### **VII. c. Obtención de los extractos orgánicos de las esponjas.**

A cada ejemplar de esponja, se le retiraron todos los simbiontes asociados, posteriormente se registró su peso húmedo. La extracción se llevó a cabo con una mezcla acetona/MeOH (1:1) a temperatura ambiente. El tejido se maceró y trituró en

un mortero de porcelana agregando la mezcla de disolventes. La disolución resultante se pasó a través de filtros de celulosa (Whatman número 1: 11  $\mu\text{m}$ ) para retener y eliminar el tejido no triturado. El filtrado obtenido fue evaporado a presión reducida en un rota-evaporador (YAMATO RE800) dando lugar al extracto crudo.

En caso de contar con suficiente cantidad de extracto, se procedió a realizar una separación líquido-líquido. Para lo cual al extracto crudo (C) se le agregaron 50 ml de agua y 50 ml de éter en un embudo de decantación (PYREX 250 ml) haciendo una agitación vigorosa y liberando la presión por gases. Posteriormente se dejó en reposo durante 30 minutos aproximadamente para permitir la formación de dos fases (inferior fase acuosa, superior fase etérea), este procedimiento se repitió tres veces (3 x 100 ml). La fase etérea fue concentrada en un rota-evaporador (YAMATO RE800), para obtener de este forma el extracto etéreo (E). A la fase acuosa del proceso anterior, se le agregaron 50 ml de butanol en un embudo de decantación (PYREX 250 ml) para realizar nuevamente una separación líquido-líquido siguiendo el procedimiento anterior hasta obtener el extracto butanólico (B).

En algunos casos la cantidad de extracto no fué suficiente para realizar la separación, por lo que los ensayos de actividad se realizaron con el extracto crudo (C).

#### **VII. d. Evaluación de la bioactividad de los extractos.**

##### **VII. d. 1. Actividad antibacteriana.**

Se realizaron pruebas de actividad antibacteriana frente a una cepa Gram negativa *Escherichia coli* (ATCC BAA-196) y una Gram positiva *Staphylococcus aureus* (ATCC BAA-42) utilizando el método de difusión en agar en sensidiscos.

Preparación de material.- Los medios de cultivo, sensidiscos, puntas para micropipetas y solución salina al 0.85 ‰, fueron esterilizados en una autoclave marca Market forge sterilmatic a 240° C y 15 lb/in<sup>2</sup>. Las pinzas de acero, cajas petri de vidrio, probetas de 1, 5 y 10 ml y papel aluminio se esterilizaron en un horno

eléctrico (Thelco 160DN) a 180 °C por 3 horas. El medio de cultivo se sometió a prueba de esterilidad por un periodo de 24 h en una incubadora marca Blue M.

Preparación de sensidiscos.- 24 h antes del bioensayo, en una campana de flujo laminar, los discos de papel filtro estériles (6 mm de diámetro) fueron impregnados con 25  $\mu$ l de una dilución de cada extracto a una concentración de 80 mg/ml. Se dejaron secar y fueron guardados en cajas de Petri estériles.

Para el bioensayo se preparó un pre-inoculo de cada cepa patógena en medio Tripticasa Soya Caseina (TSA), los cuales fueron incubados por 24 h a 35° C. Con la finalidad de obtener células en etapa exponencial de crecimiento. Posteriormente se preparó una suspensión celular con las cepas patógenas y se ajustó a una densidad óptica de 1 a una  $\lambda$  de 580 nm lo que corresponde aproximadamente a  $1 \times 10^8$  células  $\text{ml}^{-1}$ . Esta suspensión fue sembrada masivamente en placas con agar Müller-Hinton. En cada placa se colocaron tres discos con los extractos a probar, un disco de control positivo (tetraciclina 30  $\mu$ g) y un disco de control negativo (disolvente MeOH o acetona). Todos los ensayos se realizaron con tres réplicas. Las placas mantuvieron en refrigeración por 40 min con la finalidad de retardar el crecimiento bacteriano y permitir la difusión del extracto en el medio de cultivo. Posteriormente se incubaron a una temperatura de 35° C por 24 h. Los resultados se expresan como halos de inhibición medidos en milímetros.

#### **VII. d. 2. Actividad antiepibiótica.**

##### **Bioensayo frente a microalgas.**

Se evaluaron los extractos frente a cinco cepas de microalgas marinas (*Chlorarachnion reptans*, *Cylindrotheca cloisterium*, *Exanthemachrysis gayraliae*, *Navicula jeffreyi* y *Chlorarachnion globosum*). Se realizaron bajo condiciones controladas en un cuarto con temperatura constante 18° C. Todos los experimentos se realizaron con seis réplicas y su control. Para ello, se colocaron 100  $\mu$ l del cultivo de las microalgas en placas de 96 pozos con los extractos y medio de cultivo F2 agar

al 12.5 %. Después de 48 h, se determinó la densidad óptica relativa de la suspensión de la muestra a 600 nm y se compararon las muestras con el control de agua de mar.

### **Bioensayo frente a bacterias marinas; método de dilución en caldo.**

Se evaluaron los extractos frente a cinco cepas de bacterias marinas obtenidas de la colección de la Universidad de Portsmouth, *Shewanella putrefasciens*, *Pseudomonas fluorescens*, *Polibacter ingensii*, *Vibrio aestuarianus* y *Pseudoalteromonas elyakovii*. Se realizaron cinco diluciones de los extractos (0.1, 1, 10, 50, 100  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) a partir de una concentración de 1  $\text{mg ml}^{-1}$ . 50  $\mu\text{l}$  de cada concentración se adicionaron a la placa de 96 pozos previamente inoculadas con solución de agua de mar, la bacteria ( $1 \times 10^8$  células  $\text{ml}^{-1}$ ) y peptona (seis réplicas de cada tratamiento/extracto evaluado). Se realizan dos controles, uno con el disolvente (metanol) y otro con medio sin bacterias. En todos los casos se deja evaporar el disolvente. Las placas (inoculadas con solución + extracto) se incubaron por 48 horas a 35° C. Transcurrido el tiempo se compararon con los controles y se observó la inhibición de crecimiento mediante la turbidez en un colorímetro DR/890 (HACH).

## **VII. e. Caracterización del hábitat y atributos de la comunidad macrobentónica.**

### **VII. e. 1. Obtención de datos.**

En el presente estudio se realizó el análisis de 34 fototransectos (Lirman *et al.*, 2006). Se colocó un transecto de 30 metros de largo de manera aleatoria en cada localidad estudiada, se tomaron 30 fotografías (separadas por 1.6 m) a lo largo de cada transecto, repitiendo esto varias ocasiones en cada localidad. Se estableció una distancia del substrato a la cámara de 1 m, controlada con ayuda de un bastón fijo a la cámara, tomando la foto de manera perpendicular al sustrato, mediante buceo autónomo, obteniendo así un cuadrante de 0.33  $\text{m}^2$ , aproximadamente. Las fotografías se analizaron con el método de conteo de puntos al azar para estimar la abundancia, sobreponiendo en la imagen una matriz de puntos distribuidos al azar, cada punto se identificó visualmente, con apoyo en tablas y guías de identificación,

así como comparando con material recolectado en la localidad. Se analizaron en total 488 m<sup>2</sup> para la localidad de Agua de Yépiz y 525 m<sup>2</sup> en La Bruja, mediante el uso del programa CPCe (Kolher & Gill, 2006). Se analizó la calidad del inventario y la confiabilidad de este mediante la función de Clench con ayuda de los programas EstimateS Win 7.51 y Statistica 8. Para la obtención de la cobertura se utilizó el método de área/longitud. En cada fotografía se digitalizó el área que ocupa cada organismo o sustrato, empleando el programa CPCe. Con el uso de esta herramienta se generó una base de datos con el número de observaciones para cada especie, así como el porcentaje de cobertura de cada grupo taxonómico (macroalgas, corales, esponjas, etc.) y el tipo de sustrato.

## **VII. e. 2. Análisis de las comunidades.**

La descripción de la comunidad se realizó por medio del análisis del espectro de la diversidad evaluado mediante una curva acumulada basada en el índice de diversidad de Shannon y Weaner  $\mathcal{H} = -\sum p_i (\log_2 p_i)$  (Margalef, 1974). Se calculó la equidad con el método de J' de Pielou  $J' = (\mathcal{H}' / \mathcal{H}'_{max})$  (Pielou, 1966). Y la dominancia, a través del análisis "simper" del programa Primer v 6.1. Usando el promedio del índice de similitud o disimilitud de Bray-Curtis, entre grupo de muestras. Con la finalidad de detectar los patrones predominantes de la comunidad bentónica para las zonas estudiadas, se realizó un análisis de afinidad usando datos de abundancia, y similitud de Bray-Curtis transformando los datos a raíz cuarta. La matriz de datos fue de tipo Q (Margalef, 1974); se hizo uso del programa Primer V.6.1, y Past (Palaeontological Statistics) V.1.38, desarrollado por Hammer *et al.* (2001), que permite la aplicación de una amplia variedad de técnicas de análisis ecológico.

De igual manera se realizó un análisis del coeficiente de correlación de Pearson con la finalidad de medir la similitud entre las especies observadas en cada transecto.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

El coeficiente de correlación de Pearson es una covarianza estandarizada por la desviación estándar de las dos variables comparadas, lo cual produce valores entre -1 y 1 (Rodríguez-Salazar *et al.*, 2001).

#### **VII. f. Riqueza específica de endobiontes de las esponjas.**

En el Laboratorio de Microbiología del CICIMAR, las esponjas recolectadas con suficiente biomasa para obtener un extracto, se cortaron en láminas delgadas para facilitar la obtención de los macroorganismos endobiontes, los cuales fueron examinados en un microscopio estereoscópico marca Zeiss, y mediante el uso de claves de identificación y guías fotográficas se identificaron hasta nivel de especie. Los organismos pertenecientes a la macrofauna asociada se separaron utilizando un tamiz de 500  $\mu\text{m}$  de luz, obteniendo al final las especies asociadas a cada esponja, por localidad y por temporada del año.

Las claves utilizadas para la identificación fueron; para macroalgas (Setchell & Gardner, 1924; Taylor, 1945; Hollenberg & Dawson, 1961; Abbott & Hollenberg, 1976; Norris & Johanson, 1981; Gabrielson *et al.*, 2000; Paul-Chávez, 2000; O'Clair & Lindstrom, 2001; Van Den Hoek *et al.*, 2002; Mondragon & Mondragon, 2003) y para invertebrados (Keen, 1971; Abbott, 1991; Veron, 2000a; Veron, 2000b; Veron, 2000c; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005a; Kerstitch & Bertsch, 2007; Sánchez-Alcántara, 2007).

#### **VII.g. Relación entre los parámetros ambientales y la actividad biológica.**

Para comparar las medias de actividad biológica se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía, usando como factor la agrupación de localidad y época. Cabe aclarar que debido a la poca cantidad de datos de actividad

antibacteriana, no fueron considerados en este análisis. Utilizando únicamente los datos de actividad antiepibiótica expresados como valores MIC  $\mu\text{g ml}^{-1}$ .

Se construyó una base de datos con los valores de actividad biológica frente a cada una de las cepas de prueba (a excepción de las cepas *C. reptans*, *N. jeffreyi* y *C. globosum* debido a que no se tenía la base completa), la cobertura total de las principales taxa de la comunidad bentónica (equinodermos, macroalgas y corales), riqueza específica, diversidad, dominancia, endobiontes, temperatura, fosfatos, nitratos y nitritos.

La relación entre los valores de actividad biológica, los atributos de la comunidad bentónica y parámetros ambientales se determinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson empleando el programa Statistica 8.

## VIII. RESULTADOS

### VIII.a. Riqueza específica de esponjas en las localidades

Se observaron un total de nueve especies de esponjas en las localidades de estudio, pertenecientes a cuatro órdenes y seis familias (Tabla I). La riqueza específica mostró una variación tanto espacial como temporal, presentando el mayor número de especies en la temporada cálida en ambas localidades. Algunas especies fueron características de una zona o época determinada, mientras que las esponjas *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp. siempre estuvieron presentes (Tabla I).

**Tabla I.** Listado de esponjas pertenecientes a la clase Demospongiae y su variación en las localidades y épocas muestreadas. El acomodo de las especies se presenta siguiendo el criterio de Hooper & Soest (2002).

Orden	Familia	Género o Especie	Localidad			
			La Bruja Cálida	La Bruja Fría	Agua de Yépiz Cálida	Agua de Yépiz Fría
Astrophorida	Geodiidae	<i>Geodia media</i>	X			
Poecilosclerida	Coelosphaeridae	<i>Lissodendoryx schmidti</i>	X			
	Mycalidae	<i>Mycale cecilia</i>			X	
		<i>Mycale ramulosa</i> *	X	X		
Haplosclerida	Callyspongiidae	<i>Callyspongia californica</i> *			X	X
		<i>Callyspongia</i> sp.*	X	X		
	Chalinidae	<i>Haliclona caerulea</i> *	X	X	X	X
		<i>Haliclona turquoisia</i> *			X	X
Dictyoceratida	Irciniidae	<i>Ircinia</i> sp. *	X	X	X	X

## VIII. b. Actividad biológica de las esponjas

### VIII. b. 1. Actividad antibacteriana

A partir de los diferentes ejemplares de los que se obtuvieron extractos (crudo, éter y butanol), se realizaron los ensayos de actividad antibacteriana frente a la cepa patógena *S. aureus*. El control negativo (disolvente) no presentó inhibición frente a la cepa patógena, el control positivo (tetraciclina) presentó un halo de inhibición de 35 mm. Los resultados de actividad frente a la cepa patógena de *S. aureus*, mostraron que de las esponjas de la localidad de Agua de Yépiz solamente los extractos de éter y butanol de *Ircinia* sp. recolectada en la temporada fría, mostraron actividad con halos de inhibición de 11.8 mm y 9.3 mm, respectivamente (Tabla II). En el caso de los extractos de La Bruja, los extractos etéreos de *Ircinia* sp. y *Haliclona caerulea* recolectadas en la temporada fría, así como el extracto crudo de *Ircinia* sp. de la temporada cálida mostraron actividad con halos de inhibición de 11.3 mm, 10.3 mm y 12.6 mm, respectivamente (Tabla II).

En cuanto a los resultados de los ensayos frente a la cepa patógena *E. coli* ninguno de los extractos mostró actividad.

**Tabla II.** Actividad antibacteriana de los extractos de esponjas en ambas localidades frente a la cepa *Staphylococcus aureus*\*.

Especie	Extracto	Agua de Yépiz		La Bruja	
		Temporada fría	Temporada cálida	Temporada fría	Temporada cálida
<i>Ircinia</i> sp	E	11.8 ± 1.1	--	11.3 ± 0.7	--
	B	9.3 ± 1	--	--	--
	C	--	--	--	12.6 ± 1.4
<i>Haliclona caerulea</i>	E	--	--	10.3 ± 1.2	--
	B	--	--	--	--

\*Diámetro de los halos de inhibición en mm., -- prueba negativa, E= extracto de éter;

B= Extracto de butanol; C= Extracto crudo; valor promedio ± D.S.

## VIII. b. 2. Actividad antiepibiótica

### Ensayos frente a bacterias marinas.

Para la localidad de Agua de Yépiz durante la temporada fría (TF) se observaron los mejores resultados con los extractos de las esponjas *Haliclona caerulea*, *H. turquoisa* e *Ircinia* sp. con valores MIC de entre 0.1 y 10  $\mu\text{g ml}^{-1}$ . *H. turquoisa* también presentó buena actividad frente a *P. eliakovii*, *V. aestuarianus*, *H. marina* y *S. putrefasciens* (MIC = 0.1, 10, 1 y 10  $\mu\text{g ml}^{-1}$  respectivamente). En el caso de *Haliclona caerulea* se presentó una MIC de 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a *Holomonas marina* y *Shewanella putrefasciens*.

Durante la temporada cálida (TC) debido a la cantidad de extracto obtenido de las esponjas, las pruebas de actividad se realizaron únicamente con el extracto crudo, obteniendo en todos los casos una MIC de 50  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a las diferentes cepas (Tabla III).

En la localidad de La Bruja durante la temporada fría (TF) los extractos tanto etéreo como butanólico de las esponjas *H. caerulea* y *Mycale ramulosa* presentaron los mejores resultados con valores MIC de entre 0.1 y 1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a prácticamente todas las cepas de prueba a excepción de *Polibacter ingensii*. En el caso de *Ircinia* sp., sí bien fue activa, se requirió de una mayor concentración (MIC = entre 50 y 10  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) para inhibir a las cepas de prueba.

**Tabla III.** Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de Agua de Yépiz frente a diferentes cepas de bacterias marinas\*.

Especie	Extracto	P1		P2		P3		P4		P5	
		TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF
	E	n	<b>1</b>	n	<b>0.1</b>	n	50	n	<b>1</b>	n	<b>0.1</b>
<i>Haliclona caerulea</i>	B	n	<b>1</b>	n	<b>1</b>	n	50	n	<b>0.1</b>	n	<b>1</b>
	C	50	n	50	n	50	n	50	n	50	n
	E	n	20	n	20	n	50	n	<b>10</b>	n	10
<i>Ircinia sp.</i>	B	n	20	n	50	n	50	n	50	n	50
	C	50	n	50	n	50	n	50	n	50	n
<i>Haliclona turquoisia</i>	E	n	<b>10</b>	n	<b>10</b>	n	50	n	50	n	<b>1</b>
	B	n	<b>0.1</b>	n	<b>10</b>	n	<b>1</b>	n	<b>1</b>	n	<b>10</b>
<i>Callyspongia californica</i>	C	50	n	50	n	50	n	50	n	50	n

\* Análisis frente a bacterias marinas; B= Butanólico, E=Etéreo, C=Crudo, n=no presentes, P1 = *Pseudoalteromonas elyakovii*, P2 = *Vibrio aestuarianus*, P3 = *Polibacter ingensii*, P4 = *Holomonas marina*, P5 = *Shewanella putrefasciens*, TC = Temporada cálida, TF= Temporada fría

Por otra parte durante la temporada cálida (TC) *H. caerulea* fue la especie más activa con valores MIC=  $1 \mu\text{g ml}^{-1}$  frente a todas las cepas, seguida de *Callyspongia sp.* que fue activa frente a *Pseudoalteromonas elyakovii* y *Polibacter ingensii* con un MIC de  $1 \mu\text{g ml}^{-1}$  (Tabla IV).

**Tabla IV.** Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de La Bruja frente a diferentes cepas de bacterias marinas\*.

Especie	Extracto	P1		P2		P3		P4		P5	
		TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF
La Bruja	E	1	1	1	0.1	1	50	1	1	1	0.1
	B	1	1	1	0.1	1	50	1	0.1	1	0.1
<i>Haliclona caerulea</i>	E	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50
	B	100	10	100	10	100	50	100	20	100	20
<i>Ircinia sp.</i>	C	100	n	100	n	100	n	100	n	100	n
	C	1	n	100	n	1	n	100	n	100	n
<i>Callyspongia sp.</i>	E	n	1	n	0.1	n	50	n	0.1	n	1
	B	n	1	n	0.1	n	50	n	0.1	n	1
<i>Mycale ramulosa</i>	C	1	n	1	n	100	n	100	n	100	n

\* Análisis frente a bacterias marinas; B= Butanólico, E=Etéreo, C=Crudo, n=no presentes, P1 = *Pseudoalteromonas elyakovii*, P2 = *Vibrio aestuarianus*, P3 = *Polibacter ingensii*, P4 = *Holomonas marina*, P5 = *Shewanella putrefaciens*, TC= Temporada cálida, TF= Temporada fría.

### Ensayos frente a microalgas marinas.

En el caso de la localidad de Agua de Yépiz, durante la temporada fría, los extractos butanólico y etéreo de *Haliclona caerulea* e *Ircinia sp.*, así como el extracto etéreo de *H. turquoisia* presentaron valores MIC de  $0.1 \mu\text{g ml}^{-1}$  frente a *Cylindrotheca closterium*. Para la microalga *Chlorarachnion globosum* los extractos butanólico y etéreo de *Ircinia sp.* y el etéreo de *H. caerulea* presentaron una MIC de  $1 \mu\text{g ml}^{-1}$ , y para *N. jeffreyi* sólo el extracto etéreo de *H. caerulea* presentó una MIC de  $1 \mu\text{g ml}^{-1}$ . En la temporada cálida ninguno de los extractos de esponjas presentó valores MIC menores a  $10 \mu\text{g ml}^{-1}$  (Tabla V).

**Tabla V.** Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de Agua de Yépiz frente a diferentes especies de microalgas marinas\*.

Especie	Extracto	P1		P2		P3		P4		P5	
		TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF
<i>Haliclona caerulea</i>	E	n	10	n	1	n	1	n	10	n	1
	B	n	10	n	1	n	1	n	10	n	1
	C	50	n	50	n	50	n	50	n	50	n
<i>Ircinia sp.</i>	E	n	10	n	10	n	20	n	20	n	20
	B	n	50	n	50	n	50	n	50	n	50
	C	50	n	50	n	50	n	50	n	50	n
<i>Haliclona turquoisia</i>	E	n	1	n	1	n	0.1	n	1	n	1
	B	n	50	n	50	n	50	n	50	n	50
<i>Callyspongia californica</i>	C	50	n	50	n	50	n	50	n	50	n

\* Análisis frente a Microalgas, E= Etéreo, B= Butanólico, C= Crudo, n= no presentes, P1 = *Chlorarachnion reptans*, P2 = *Cylindrotheca cloisterium*, P3 = *Exanthemachrysis gayraliae*, P4 = *Navicula jeffreyi*, P5 = *Chlorarachnion globosum*, TC= Temporada cálida, TF= Temporada fría.

Finalmente el bioensayo frente a microalgas marinas de los extractos de esponjas presentes en la localidad de La Bruja mostró que en la temporada fría los extractos de *Haliclona caerulea* y *Mycale ramulosa* fueron activos frente a todas las cepas con valores MIC = 1 y 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a *Navicula jeffreyi* y *Cylindrotheca cloisterium*, respectivamente. Mientras que durante la temporada cálida (TC) los extractos no fueron activos (Tabla VI).

**Tabla VI.** Valores de la mínima concentración inhibitoria (MIC en  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) de los extractos de esponjas de La Bruja frente a diferentes especies de microalgas marinas\*.

Especie	Extracto	P1		P2		P3		P4		P5	
		TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF	TC	TF
<i>Haliclona caerulea</i>	E	n	1	100	1	10	1	n	1	n	1
	B	n	1	100	1	100	1	n	0.1	n	1
	E	n	50	100	50	100	50	n	50	n	50
<i>Ircinia sp.</i>	B	n	20	100	20	100	50	n	50	n	50
	C	n	n	100	n	100	n	n	n	n	n
<i>Callyspongia sp.</i>	C	n	N	100	n	100	n	n	n	n	n
	B	n	1	100	1	100	1	n	1	n	1
<i>Mycale ramulosa</i>	E	n	1	100	0.1	100	10	n	1	n	1
	C	n	N	100	n	100	n	n	n	n	n

\* Análisis frente a Microalgas, E= Etéreo, B= Butanólico, C= Crudo, n= no presentes, P1 = *Chlorarachnion reptans*, P2 = *Cylindrotheca cloisterium*, P3 = *Exanthemachrysis gayraliae*, P4 = *Navicula jeffreyi*, P5 = *Chlorarachnion globosum*, TC= Temporada cálida, TF= Temporada fría.

### VIII. c. Caracterización del hábitat y atributos de la comunidad bentónica.

Se analizó la comunidad bentónica de las dos zonas de estudio situadas en ecosistemas costeros dentro de la Bahía de La Paz, identificando un total de 64 especies, (tres peces, 11 macroalgas, 11 cnidarios, 18 equinodermos, tres anélidos, tres artrópodos, nueve poríferos y seis moluscos, Anexo 1). Cabe aclarar que las especies *Mithrodia bradleyi*, *Nidorellia armata*, *Tubastraea coccinea*, *Psammocora stellata*, *Eugorgia Rubens* y *Ulva lactuca*, aun cuando se encuentran en la zona, no

se observaron en las unidades muestrales, por lo que no fueron consideradas en los análisis. Es importante recalcar que la calidad del inventario faunístico fue de 87.2 % y 81.9 % para La Bruja y Agua de Yépiz, respectivamente, con una confiabilidad del mismo, estimada mediante la función de Clench de valor de pendiente = 0.03 para La Bruja y 0.03 para el inventario de Agua de Yépiz, esto indica que los datos son robustos y sustenta los análisis presentados en este estudio (Anexo 2).

### **VIII. c. 1. Patrones estructurales.**

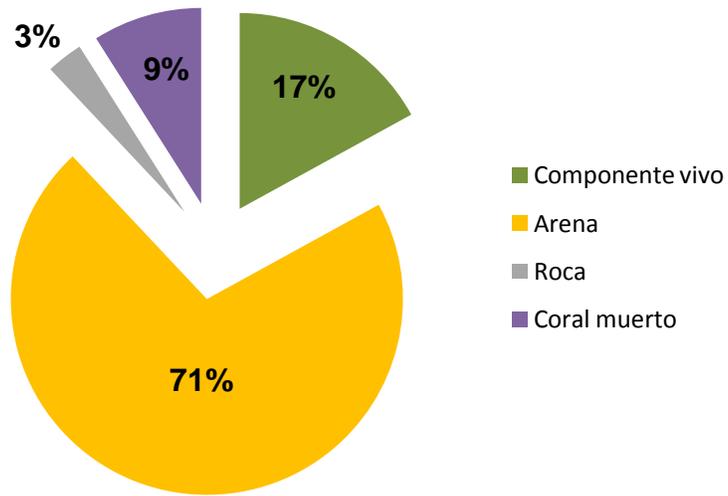
Para la caracterización del hábitat se analizaron en total 488 m<sup>2</sup> para la localidad de Agua de Yépiz y 525 m<sup>2</sup> en la La Bruja, en cada una de las temporadas muestreadas.

#### **Agua de Yépiz**

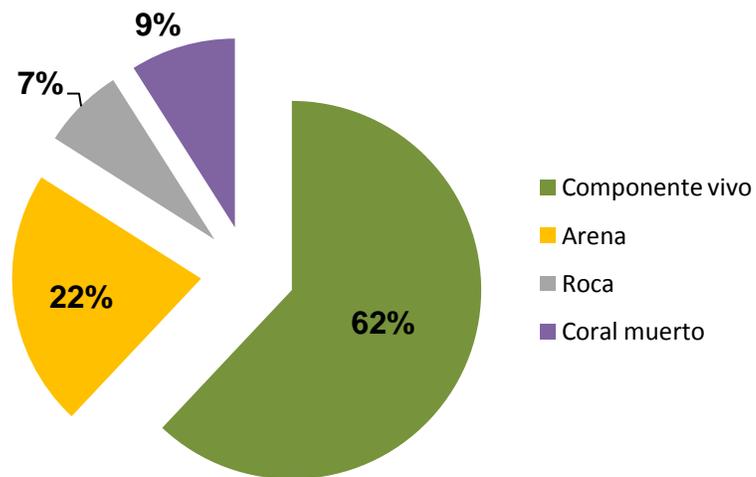
En esta localidad la mayor parte del sustrato está representado por arena (71% temporada cálida, 22% temporada fría), seguido del componente vivo (17% temporada cálida, 62% temporada fría), roca (9% en ambas temporadas) y coral muerto (3% temporada cálida, 7% temporada fría) (Figuras 2 y 3).

Se observó una variación estacional en la cobertura de organismos vivos, específicamente la asociación de macroalgas con un incremento en la temporada fría de los géneros *Sargassum*, *Padina* e *Hydroclathrus*, ocupando 195.2 m<sup>2</sup>. En esta misma temporada los corales ocuparon un área de 99.6 m<sup>2</sup>, mientras que el resto de los organismos bentónicos solo 9 m<sup>2</sup> (Figura 4).

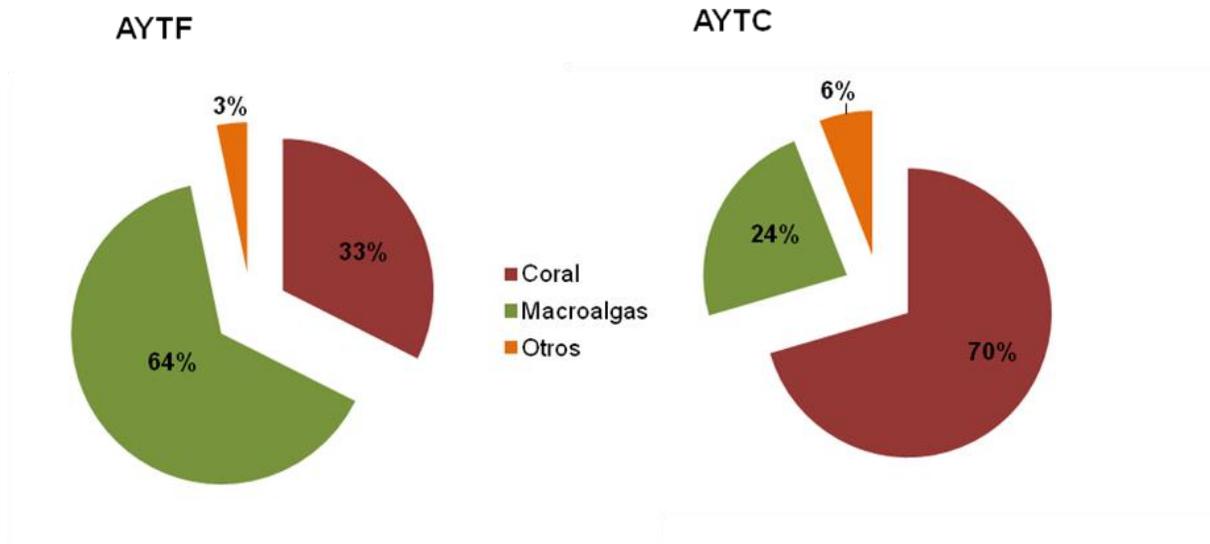
En la temporada cálida el porcentaje de cobertura de los organismos fue menor respecto a la temporada fría, ocupando solo 82.9 m<sup>2</sup> en total. Los corales ocuparon la mayor parte de esta área, con 58 m<sup>2</sup>, el área cubierta por macroalgas fue menor respecto a la temporada fría, ocupando únicamente 19.9 m<sup>2</sup>, mientras que el resto de los organismos bentónicos solo ocuparon 4.9 m<sup>2</sup> (Figura 4).



**Figura 2.-** Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada cálida.



**Figura 3.-** Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada fría.



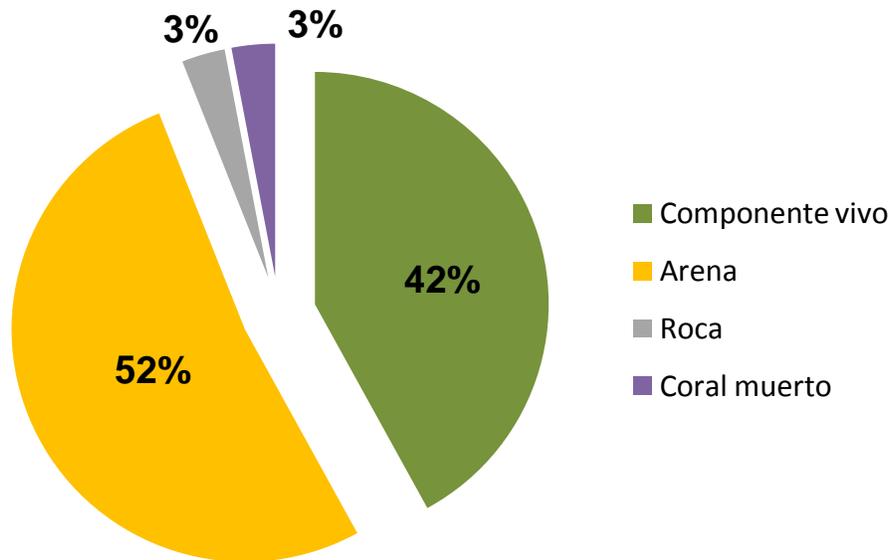
**Figura 4.-** Porcentaje de cobertura del componente vivo en la localidad de Agua de Yépiz en las temporadas fría y cálida. AYTF = Agua de Yépiz Temporada Fría, AYTC = Agua de Yépiz Temporada Cálida.

### La Bruja

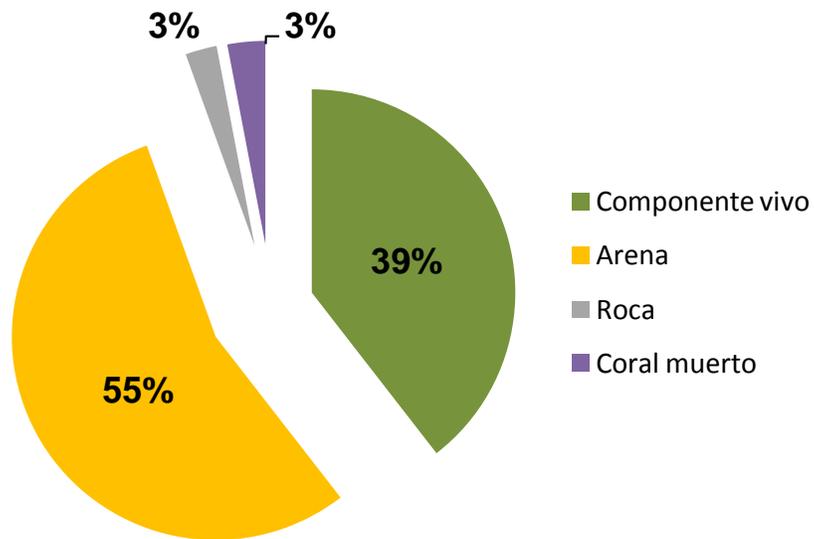
La mayor parte del sustrato en esta localidad corresponde a arena (52% temporada cálida, 55% temporada fría), seguido del componente vivo (42% temporada cálida, 39% temporada fría), mientras que la roca y el coral muerto en las dos temporadas representaron el 3% (Figuras 5 y 6).

No se observó una variación estacional evidente en la cobertura de organismos vivos, ocupando 220.5 m<sup>2</sup> en la temporada cálida y 204.7 m<sup>2</sup> en la temporada fría. En la temporada cálida los corales ocuparon la mayor área con 189.6 m<sup>2</sup>, presentando la misma tendencia en la temporada fría con 190.3 m<sup>2</sup>. Con el resto

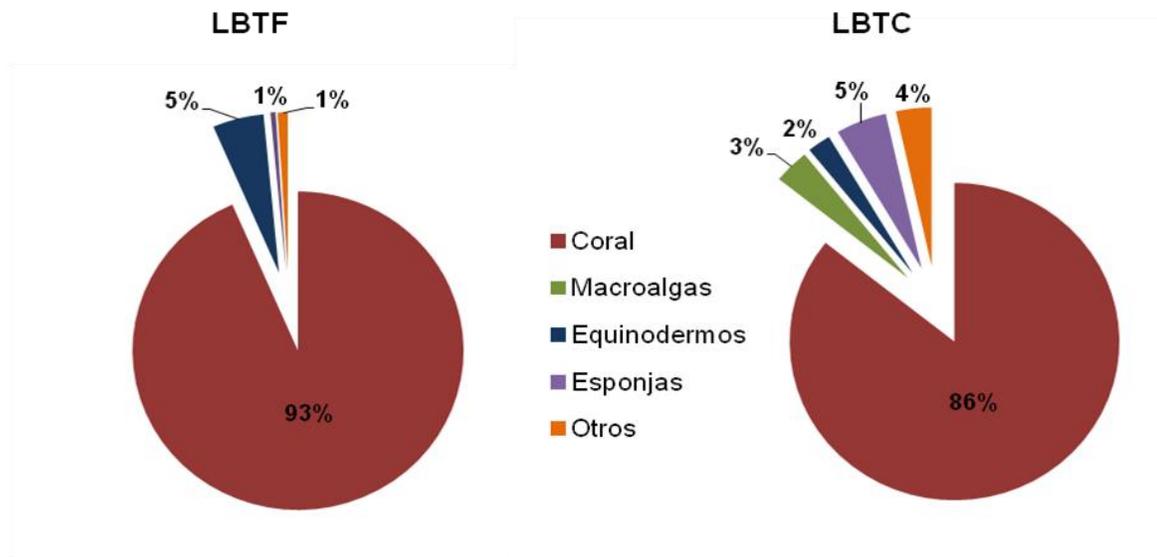
de los grupos se observaron cambios evidentes; la cobertura de equinodermos se incrementó de 4.4 m<sup>2</sup> en la temporada cálida a 10.2 m<sup>2</sup> en la temporada fría, mientras que la cobertura de esponjas disminuyó de 11 m<sup>2</sup> en la temporada cálida a 2 m<sup>2</sup> en la temporada fría, y las macroalgas en la temporada cálida ocuparon un área de 6.6 m<sup>2</sup>, pero en la temporada fría su cobertura fue menor a 1%, por lo que se agruparon junto con el resto de organismos bentónicos, que en conjunto ocuparon un área de 8.8 m<sup>2</sup> en la temporada cálida y 2 m<sup>2</sup> en la temporada fría (Figura 7).



**Figura 5.-** Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de La Bruja en la temporada cálida.



**Figura 6.-** Porcentaje de cobertura de los componentes bentónicos en la localidad de La Bruja en la temporada fría.

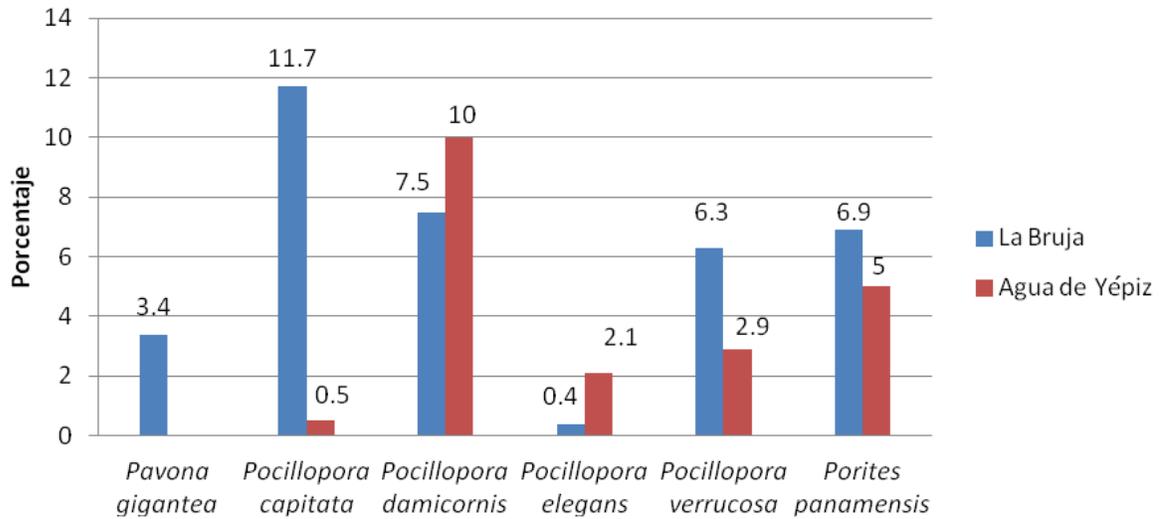


**Figura 7.-** Porcentaje del componente vivo en la localidad de La Bruja en ambas temporadas. LBTF = La Bruja Temporada Fría, LBTC = La Bruja Temporada Cálida.

## Corales

El principal componente vivo corresponde a los corales (exceptuando la temporada fría en Agua de Yépiz). En total se encontraron nueve especies; *Pocillopora capitata*, *P. damicornis*, *P. elegans*, *P. verrucosa*, *Porites panamensis* y *Pavona gigantea*, observadas en las unidades muestreadas. *Tubastraea coccinea*, *Psammocora stellata* y *Eugorgia rubens* no se observaron en las unidades muestreadas, pero se observó su presencia en la zona de trabajo. Las especies del género *Pocillopora* y *Porites panamensis* se observaron en ambas localidades y temporadas muestreadas. En Agua de Yépiz, además de estas especies, se observó *Psammocora stellata* (sin datos de cobertura y abundancia, por no aparecer en las unidades muestreadas). En la Bruja se distribuyen un mayor número de especies de coral; las especies del género *Pocillopora*, *Porites panamensis*, *Pavona gigantea* y las especies *Tubastraea coccinea* y *Eugorgia rubens* (las dos últimas sin datos de cobertura y abundancia, por no aparecer en las unidades muestreadas).

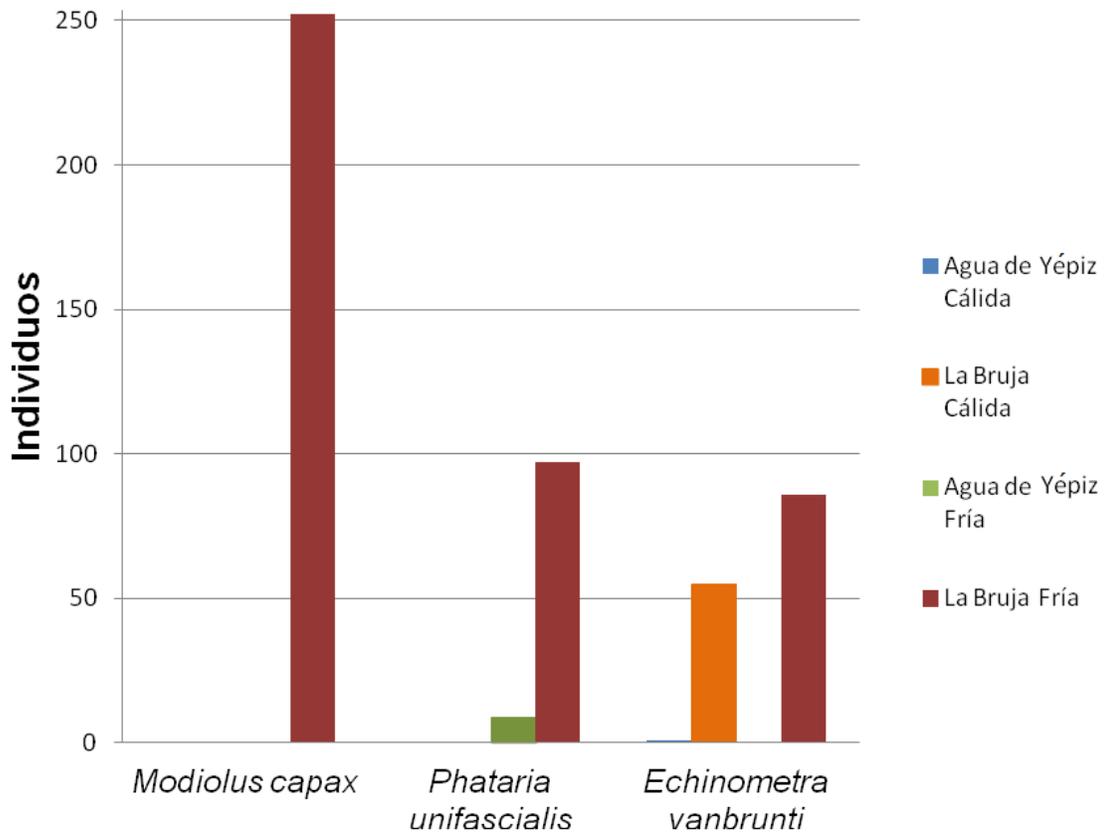
La cobertura coralina fue mayor en la localidad de La Bruja ocupando un área máxima de 190.3 m<sup>2</sup> mientras que en Agua de Yépiz su área máxima de cobertura fue de 99.6 m<sup>2</sup>. Las coberturas máximas registradas por especie de coral fueron; *Pocillopora capitata* con un área de 61.4 m<sup>2</sup> en La Bruja y 2.4 m<sup>2</sup> en Agua de Yépiz, *Pocillopora damicornis* con 39.2 m<sup>2</sup> en La Bruja y 48.8 m<sup>2</sup> en Agua de Yépiz, *Porites panamensis* con 36.3 m<sup>2</sup> en La Bruja y 24.3 m<sup>2</sup> en Agua de Yépiz, *Pocillopora verrucosa* con 33 m<sup>2</sup> en La Bruja y 14.2 m<sup>2</sup> en Agua de Yépiz, *Pavona gigantea* (solo en la localidad de La Bruja) con 18 m<sup>2</sup> y *Pocillopora elegans* con 2.2 m<sup>2</sup> en La Bruja y 10.2 m<sup>2</sup> en Agua de Yépiz (Figura 8).



**Figura 8.-** Porcentaje de la máxima cobertura registrada en las especies de corales encontradas en ambas localidades.

### VIII. c. 2. Composición específica.

Para el análisis de la composición específica se omitieron las especies de los corales (géneros *Pocillopora*, *Porites* y *Pavona*) y de las macroalgas (*Sargassum*, *Padina* e *Hydroclathrus*) por presentar una alta abundancia, con la finalidad de esquematizar las especies que presentan menos abundancia respecto a estas. Dentro de los 34 fototransectos analizados (16 en la localidad de Agua de Yépiz y 18 en La Bruja) se encontraron 25 especies. *Modiolus capax* fue la especie con mayor abundancia con 252 individuos, seguida de *Phataria unifascialis* con 97 individuos y *Echinometra vanbrunti* con 86 individuos, las tres en la localidad de La Bruja temporada fría (figura 9).

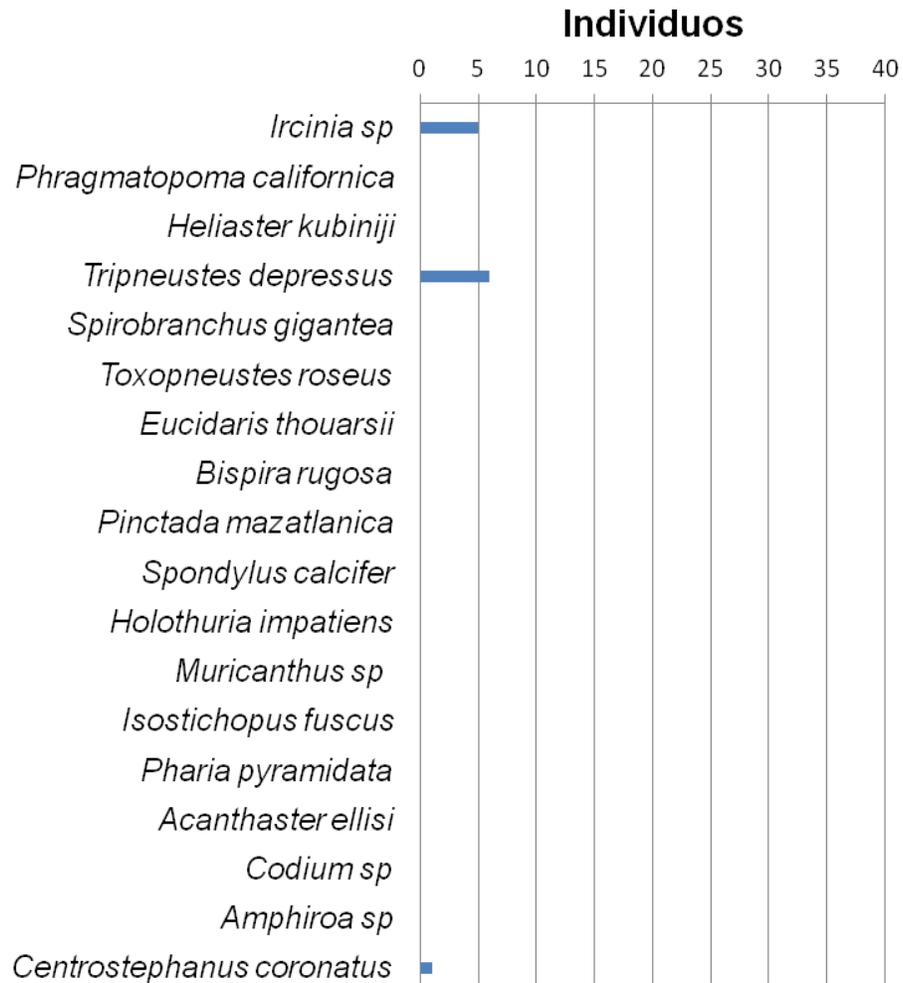


**Figura 9.** Especies con la mayor abundancia observada.

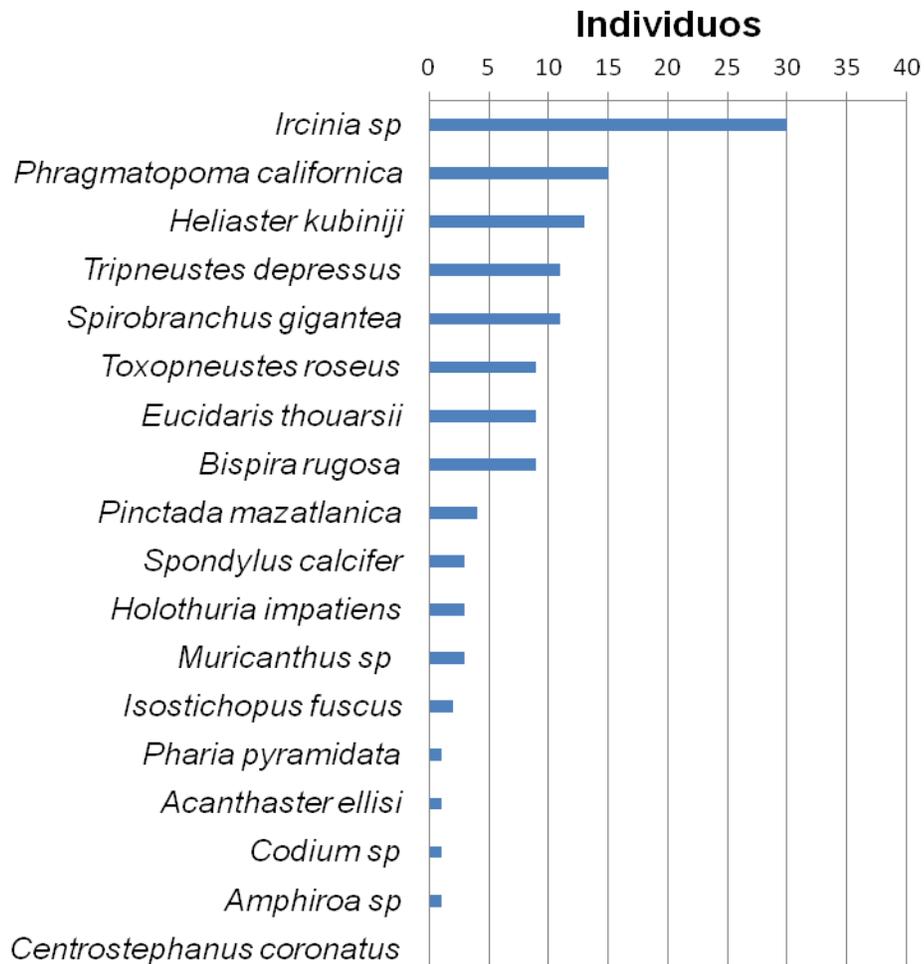
### Agua de Yépiz

En la localidad de Agua de Yépiz se encontraron 21 especies dentro de las unidades muestreadas. En la temporada cálida se encontraron cuatro de estas especies, siendo en orden de importancia por su abundancia *Tripneustes depressus* con seis individuos, *Ircinia* sp. con cinco y *Echinometra vanbrunti* y *Centrostephanus coronatus* con uno. El número de especies observadas fue mayor en la temporada fría, respecto a la cálida, con un total de 16 especies en la temporada fría. Las más abundantes fueron *Ircinia* sp. con 30 individuos, *Phragmatopoma* sp. con 15,

*Heliaster kubiniji* con 13, *Tripneustes depressus* con 11 y *Spirobranchis gigantea* con 11 (Figuras 10 y 11).



**Figura 10.-** Abundancia por especie en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada cálida.

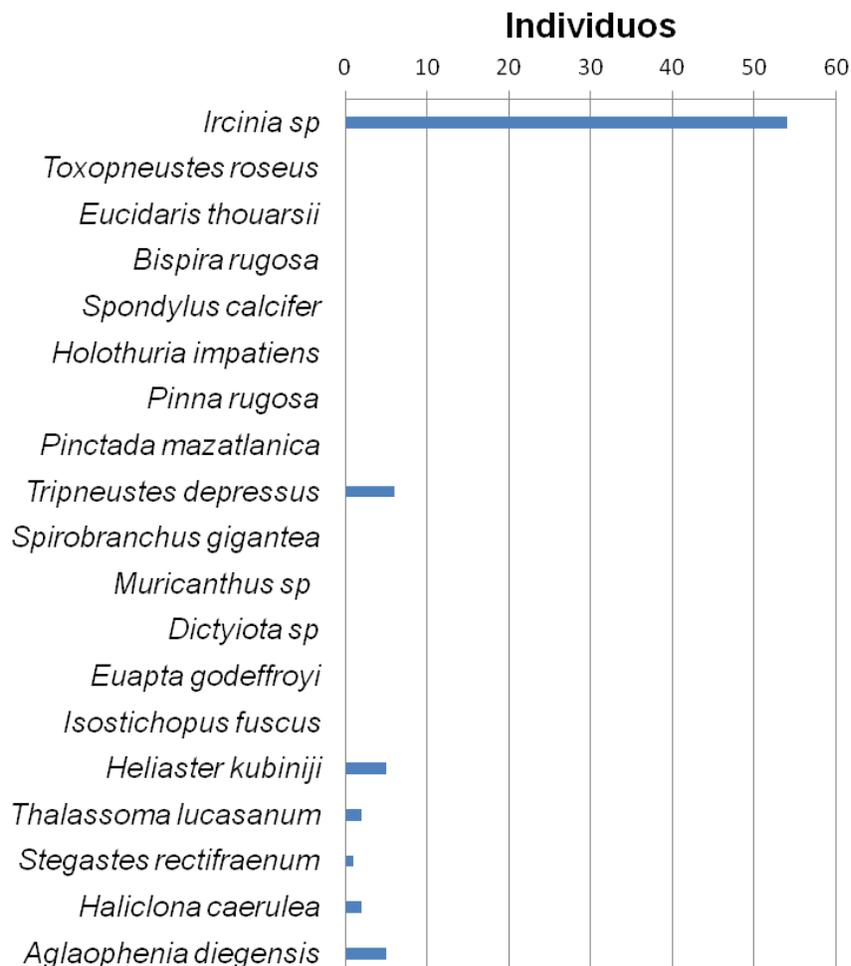


**Figura 11.-** Abundancia por especie en la localidad Agua de Yépiz en la temporada fría.

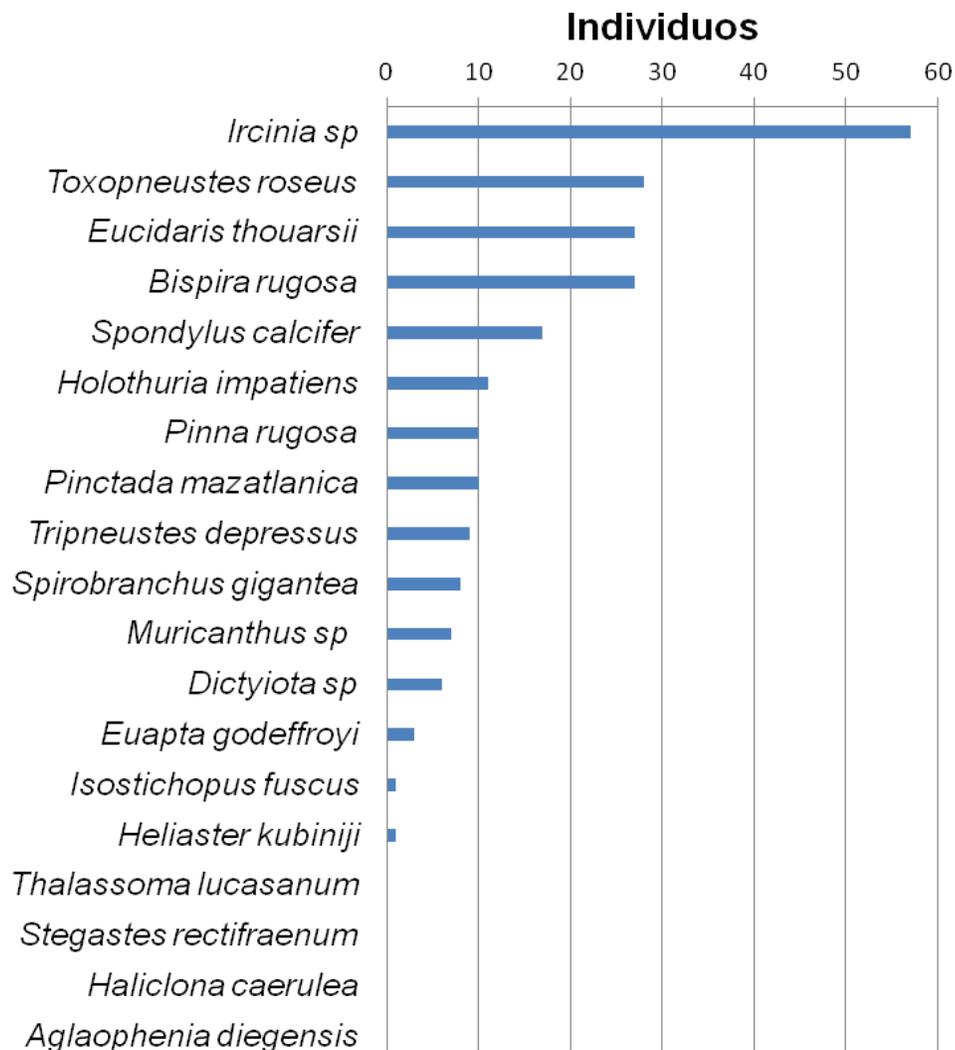
### La Bruja

En la localidad de La Bruja se encontraron 22 especies. Las especies con más de 60 individuos (*Modiolus capax*, *Phataria unifascialis* y *Echinometra vanbrunti*) se graficaron aparte, para no enmascarar la abundancia de las especies con menor número de individuos. De las especies restantes, en la temporada cálida se documentaron siete especies, en orden de abundancia son; *Ircinia sp.* con 54

individuos, *Tripneustes depressus* con seis individuos, *Heliaster kubiniji* y *Aglophenia diegensis* con cinco individuos respectivamente, *Haliclona caerulea* con dos individuos, y los peces *Thalassoma lucasanum* con dos individuos y *Stegastes rectifraenum* con un individuo, que aun cuando no son de hábitos bentónicos, aparecieron en el muestreo (puntos al azar) dentro de las unidades muestreadas. En la temporada cálida se encontraron 16 de estas especies. Las más abundantes, en orden de importancia (abundancia) corresponden a *Ircinia* sp. con 57 individuos, *Toxopneustes roseus* con 28, *Eucidaris thouarsii* y *Bispira rugosa* con 27 individuos cada una, *Spondylus calcifer* con 17 individuos y *Holothuria impatiens* con 11 (figuras 12 y 13).



**Figura 12.-** Abundancia por especie en la localidad de La Bruja temporada cálida.



**Figura 13.-** Abundancia por especie en la localidad de La Bruja en la temporada fría.

### VIII. c. 3. Atributos de la comunidad bentónica y comparación de localidades.

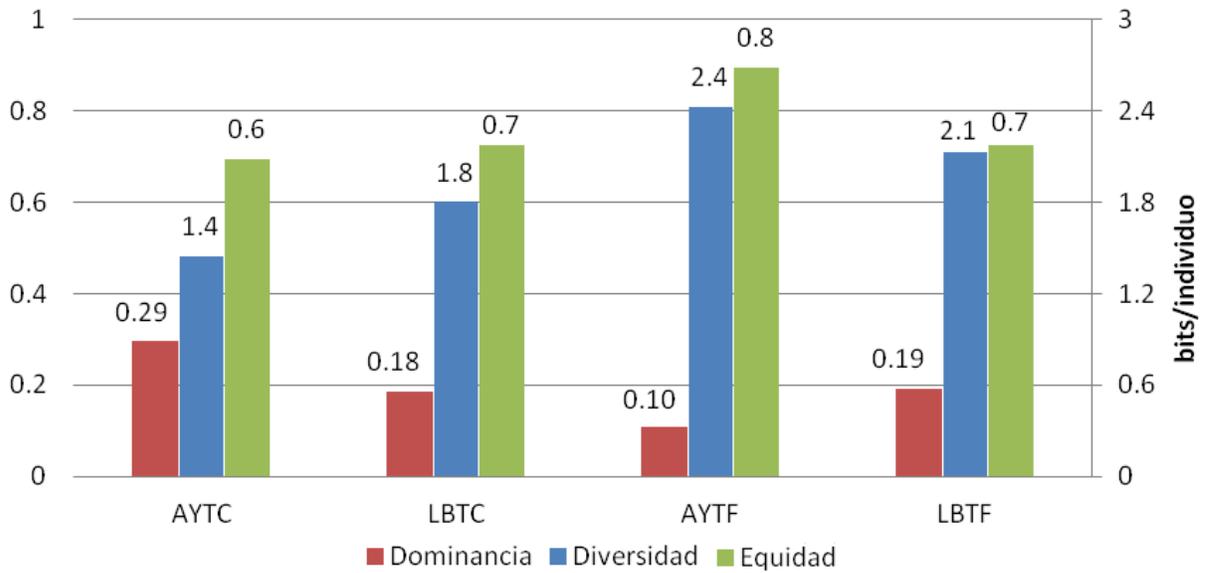
La composición específica de las localidades muestreadas (incluyendo especies observadas dentro y fuera de las unidades muestrales o fototransectos) comprende 64 especies en total (55 especies observadas en La Bruja y 37 en Agua

de Yépiz, compartiendo 28 especies para ambas localidades). La mayor diversidad se observó en Agua de Yépiz durante la temporada fría.

### **Indicadores estructurales de la comunidad**

El espectro de diversidad, dominancia, equidad, y la riqueza se analizaron con la matriz generada por el método de área/cobertura. Los indicadores estructurales de la comunidad (diversidad, equidad y dominancia) reflejan poca fluctuación espacial y temporal. La diversidad estimada se considera de moderada a baja (valores entre 1.4 y 2.4 bits/individuo, figura 14). Los valores más altos de diversidad se encontraron en la temporada fría, correspondiendo a Agua de Yépiz y La Bruja, mientras que el menor valor se observó en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada cálida (Figura 14). Se observa una relación directa de la diversidad con la concentración de nitratos, correspondiendo el valor más alto a la localidad de Agua de Yépiz temporada fría ( $1.39 \mu\text{M}$ ), seguido de La Bruja en la temporada fría ( $0.86 \mu\text{M}$ ), La Bruja temporada cálida ( $0.58 \mu\text{M}$ ) y finalmente la menor concentración en Agua de Yépiz temporada cálida ( $0.29 \mu\text{M}$ ). Los nitritos y fosfatos presentaron la mayor concentración en la localidad de Agua de Yépiz en la temporada fría, seguido de Agua de Yépiz en la temporada cálida, La Bruja temporada fría y finalmente la menor concentración en La Bruja temporada cálida (Tabla VII).

La riqueza observada mostró una variación espacial y temporal y una relación inversa con la temperatura. El mayor valor de riqueza se observó en la localidad de La Bruja, consecuentemente con el menor valor de temperatura registrado. En orden decreciente del valor de riqueza se corresponden a la localidad de La Bruja temporada fría, Agua de Yépiz temporada fría, La Bruja temporada cálida y Agua de Yépiz temporada cálida, siendo en esta última localidad donde se registró la mayor temperatura del estudio (figura 15).

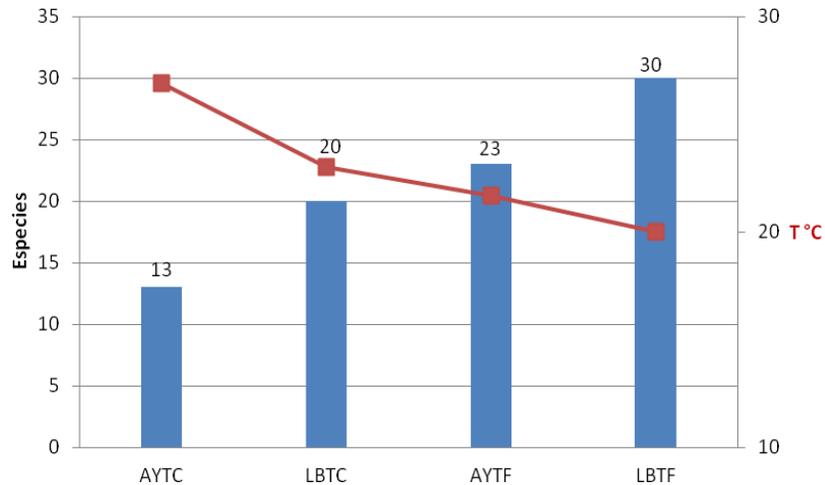


**Figura 14.-** Índices descriptivos de las comunidades muestreadas. AYTC = Agua de Yépiz Temporada Cálida, LBTC = La Bruja Temporada Cálida, AYTF = Agua de Yépiz Temporada Fría, LBTF = La Bruja Temporada Fría.

**Tabla VII.-** Concentración de nutrientes (Nitratos, Nitritos y Fosfatos) en las localidades muestreadas.

Localidad	Temporada	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>
La Bruja	Cálida	0.58	0.02	0.9
	Fría	0.86	0.09	0.24
Agua de Yépiz	Cálida	0.29	0.12	0.29
	Fría	1.39	0.14	0.52

Valores en  $\mu\text{M}$



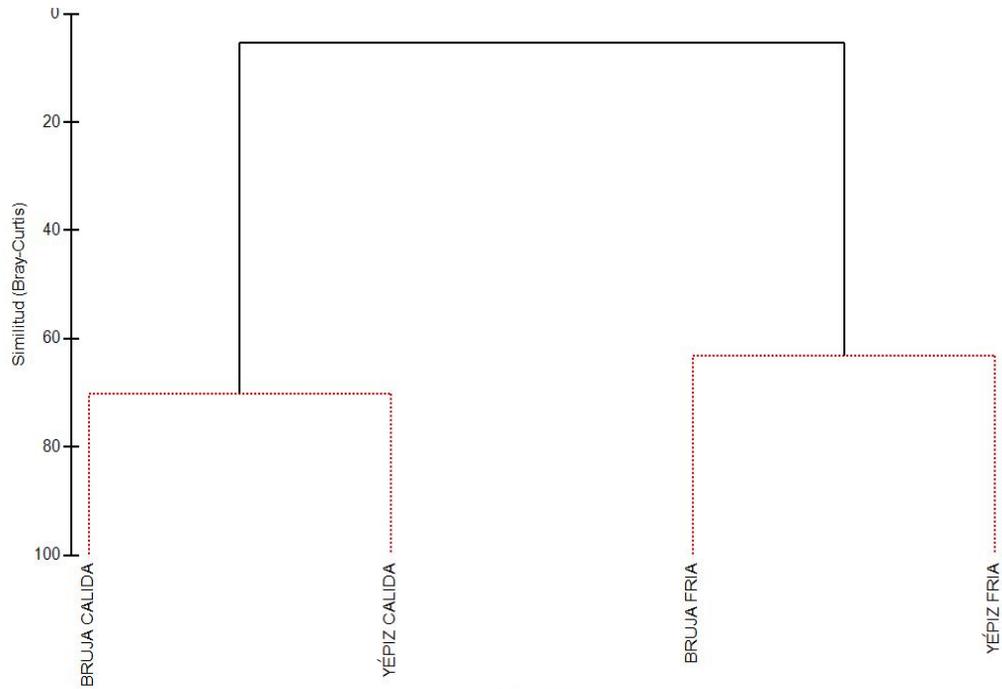
**Figura 15.-** Riqueza observada en cada localidad y temporada muestreada y temperatura registrada en cada muestreo. AYTC = Agua de Yépiz Temporada Cálida, LBTC = La Bruja Temporada Cálida, AYTF = Agua de Yépiz Temporada Fría, LBTF = La Bruja Temporada Fría.

### **Análisis de similitud de las localidades**

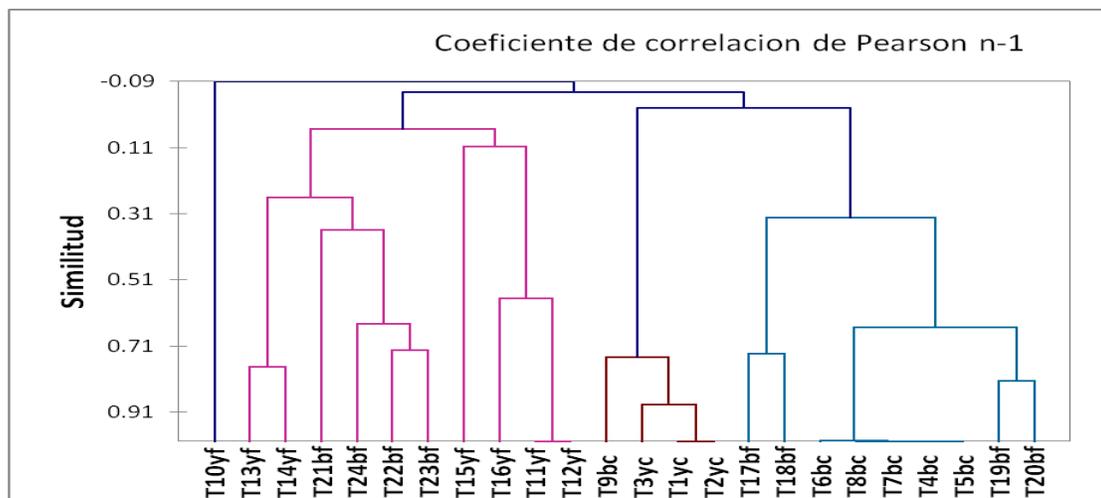
El análisis de similitud de Bray-Curtis entre las localidades muestreadas indica una clara separación entre las temporadas, formándose dos grupos, uno constituido por La Bruja y Agua de Yépiz de la temporada cálida y el otro formado por La Bruja y Agua de Yépiz de la temporada fría (figura 16).

El análisis de coeficiente de correlación de Pearson permitió observar la correlación entre las especies observadas en cada transecto. El denominado transecto 10 de la localidad de Agua de Yépiz en la temporada fría no presentó correlación con ningún otro transecto, esto causado por la ausencia de especies observadas en el análisis de los cuadrantes (fotografías). Se puede observar que transectos de ambas localidades en la temporada fría forman un clado (con distintos niveles de correlación), de igual manera se agrupan transectos de ambas localidades pero de la temporada cálida, con un coeficiente de correlación alto, finalmente se

forma un clado con transectos de ambas localidades y ambas épocas, los agrupamientos se deben a las especies que se comparten en los distintos transectos (figura 17).



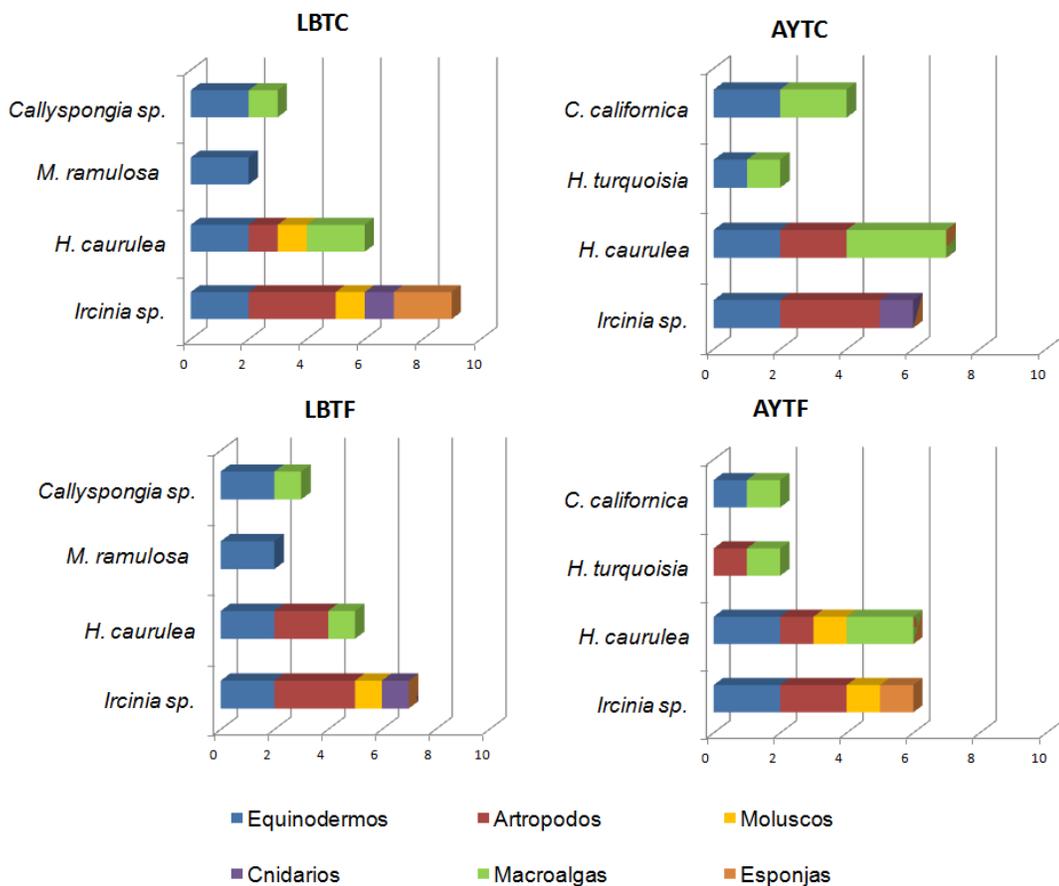
**Figura 16.-** Análisis de similitud entre las especies muestreadas en las temporadas y localidades.



**Figura 17.-** Correlación de las especies observadas por transecto.

### VIII. d. Endobiontes asociados a esponjas

La mayor cantidad de especies simbiontes se encontraron en la esponja *Ircinia* sp. con un máximo de nueve especies en la temporada cálida de la localidad de La Bruja. En esta misma localidad pero en la temporada fría se encontraron siete especies en relación directa con *Ircinia* sp., la esponja *Haliclona caerulea* presentó seis especies asociadas en la temporada cálida, y cinco en la temporada fría, *Callyspongia* sp. y *Mycale ramulosa* presentaron dos y una especie asociadas, respectivamente, en ambas temporadas (figura 18).



**Figura 18.-** Número de organismos de cada grupo taxonómico que se encuentran viviendo dentro de cada una de las esponjas en estudio. AYTC = Agua de Yépiz Temporada Cálida, LBTC = La Bruja Temporada Cálida, AYTF = Agua de Yépiz Temporada Fría, LBTF = La Bruja Temporada Fría.

En la localidad de Agua de Yépiz en la temporada cálida, la esponja *Haliclona caerulea* fue la que presentó el mayor número de especies viviendo en relación directa con ella, con un total de siete especies; seguida de la esponja *Ircinia* sp. con seis especies, *Callyspongia californica* con cuatro y *Haliclona turquoisia* con solo dos especies. Mientras que en la temporada fría las esponjas *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp. presentaron seis especies relacionadas directamente a ellas, mientras que *Callyspongia californica* y *Haliclona turquoisia* solo dos (figura 18).

En la localidad de Agua de Yépiz se encontraron 11 especies en relación directa a las esponjas, de las cuales *Sargassum* spp. y *Porites panamensis* se consideran como sustrato para el crecimiento de la esponja. La especie *Ophiocoma alexandri* se encontró en todas las esponjas estudiadas, para el caso de *O. panamenses* estuvo presente en todas las esponjas menos en *Haliclona turquoisia*. *Jania adhaerens*, *Callyspongia californica* y *Tetraclicla stalactifera* se encontraron solo en una especie de esponja, en *Haliclona caerulea* la primera y en *Ircinia* sp. las otras dos, notando que en esta última especie de esponja es donde se encontró *Porites panamensis* (tabla VIII).

En la localidad de La Bruja se encontraron 11 especies en relación directa a las esponjas, considerando como sustrato a *Porites panamensis*. Las especies *Ophiocoma alexandri* y *O. panamense* se encontraron en todas las esponjas estudiadas. *Jania adhaerens*, *Mycale ramulosa*, *Callyspongia* sp. y *Tetraclicla stalactifera* se encontraron solo en una especie de esponja, en *Haliclona caerulea* la primera, y en *Ircinia* sp. las otras tres, notando que en esta última especie de esponja es donde se encontró *Porites panamensis* (tabla IX).

**Tabla VIII.-** Especies observadas en asociación directa de las esponjas en Agua de Yépiz.

Agua de Yépiz	<i>Haliclona caerulea</i>		<i>Haliclona turquoisia</i>		<i>Callyspongia californica</i>		<i>Ircinia sp.</i>	
	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría
<i>Jania adhaerens</i>	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Acanthophora spicifera</i>	1	0	0	0	1	1	0	0
<i>Cycloxanthops vittatus</i>	1	0	0	1	0	0	1	1
<i>Diodora inaequalis</i>	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Ophiocoma alexandri</i>	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Ophioderma panamense</i>	1	1	0	0	1	0	1	1
<i>Porites panamensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Synalpheus digueti</i>	1	1	0	0	0	0	1	1
<i>Sargassum spp</i>	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Callyspongia californica</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Tetraclita stalactifera</i>	0	0	0	0	0	0	1	0

Presencia o ausencia de las especies simbiotes en Agua de Yépiz.

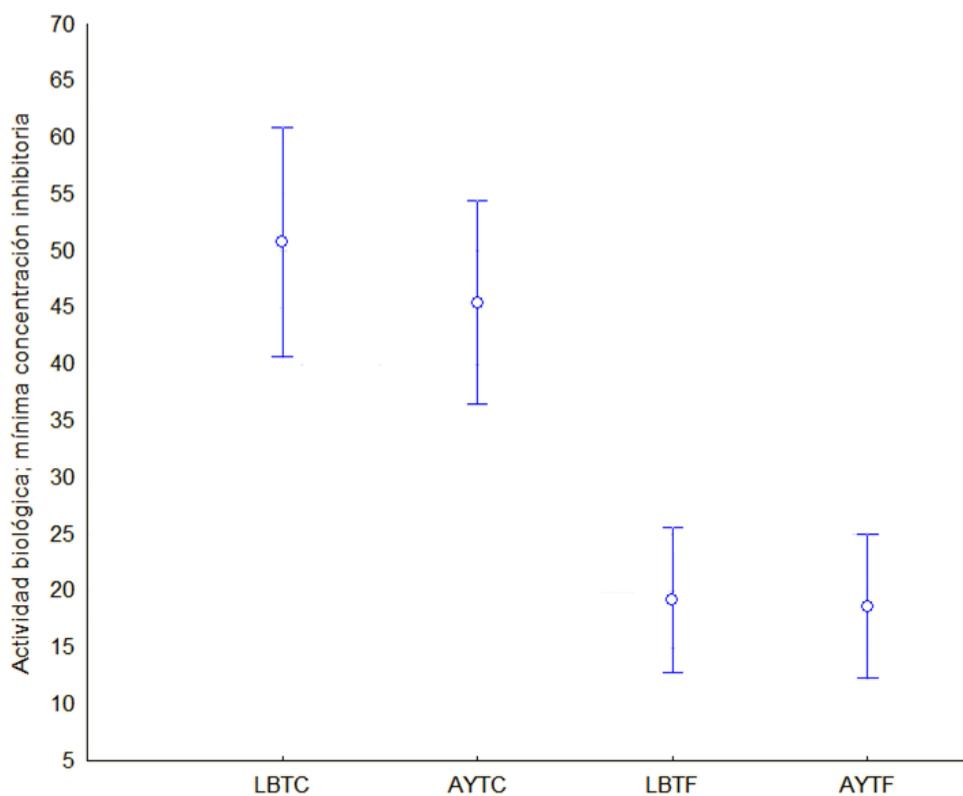
**Tabla IX.-** Especies observadas en asociación directa de las esponjas en La Bruja.

La Bruja	<i>Haliclona caerulea</i>		<i>Callyspongia</i> sp.		<i>Ircinia</i> sp.		<i>Mycale ramulosa</i>	
	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría	Cálida	Fría
	<i>Jania adhaerens</i>	1	1	0	0	0	0	0
<i>Acanthophora spicifera</i>	1	0	1	0	1	0	0	0
<i>Cycloxanthops vittatus</i>	0	1	0	0	1	1	0	0
<i>Diodora inaequalis</i>	1	0	0	0	1	1	0	0
<i>Mycale ramulosa</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Ophiocoma alexandri</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ophioderma panamense</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Porites panamensis</i>	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Synalpheus digueti</i>	1	1	0	0	1	1	0	0
<i>Callyspongia</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Tetraclita stalactifera</i>	0	0	0	0	1	1	0	0

Presencia o ausencia de las especies simbiotes en La Bruja.

#### **VIII. e. Interacción actividad biológica de extractos, organismos asociados y variables ambientales.**

Al comparar los valores de actividad biológica (antiepiibiótica) en las diferentes localidades y épocas del año, resulta evidente una variación, siendo mejor la actividad durante la época fría en las dos localidades ( $F_{0.95, (3, 187)}$  g.l.,  $p > 0.05$ ) (Figura 19).



**Figura 19.** Variación de la actividad biológica (MIC) entre localidades y temporadas (Datos expresados como media y desviación estándar). LBTC = La Bruja Temporada Cálida, AYTC = Agua de Yépiz Temporada Cálida, LBTF = La Bruja Temporada Fría, AYTF = Agua de Yépiz temporada Fría.

Al relacionar los valores de actividad biológica obtenidos frente a las diferentes cepas de prueba mediante el coeficiente de correlación de Pearson se observó que los valores de actividad frente a cepas marinas y microalgas se correlacionaron significativamente, mientras que los valores de actividad frente a la cepa patógena *S. aureus* no se correlacionó con alguna de las otras cepas (Anexo 3).

Por otra parte, al relacionar los valores de los atributos de la comunidad (riqueza específica, dominancia, diversidad, coberturas de coral, macroalgas y equinodermos), endobiontes, temperatura y nutrientes (fosfatos, nitratos y nitritos) se observó una correlación significativa entre los atributos de la comunidad, la

temperatura y los nitratos. Mientras que los endobiontes no se correlacionaron con alguna de las variables. En el caso de los nitritos y fosfatos se correlacionan significativamente entre sí (anexo 4).

En resumen, estos resultados permitieron formar los siguientes grupos: 1) *S. aureus*, 2) cepas de bacterias marinas representado por *P. elyakovii*, 3) cepas de microalgas representado por *E. gayraliae*, 4) atributos de la comunidad, temperatura y nitratos representado por la diversidad, 5) fosfatos y nitritos representado por los fosfatos y 6) endobiontes. Los resultados de las correlaciones entre estos grupos se muestran en la tabla X.

El coeficiente de correlación de Pearson permitió establecer correlaciones positivas entre la bioactividad y los endobiontes asociados, con una mayor asociación en la cepa *P. elyakovii* ( $r=0.45$ ;  $p<0.05$ ). Entre la bioactividad y fosfatos también se observó una correlación positiva, siendo la actividad frente a la microalga *E. gayraliae* la que presentó la mejor asociación ( $r=0.73$ ;  $p<0.05$ ). Mientras que la correlación entre la bioactividad y la diversidad no fue significativa (Tabla X).

**TABLA X.** Asociación de variables de actividad biológica, valores de diversidad, endobiontes asociados y fosfatos, mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

Actividad frente	Endobiontes	Fosfatos	Diversidad
<i>S. aureus</i>	0.33	-0.07	-0.21
<i>P. elyakovii</i>	0.45*	0.42*	-0.41
<i>E. gayraliae</i>	0.34	0.73*	-0.30
<b>N = 22</b>			

\*Estadísticamente significativo con  $p<0.05$ .

## IX. DISCUSIÓN

### IX. a. Riqueza específica de esponjas

En los últimos años se han incrementado los estudios acerca de la riqueza, composición, estructura y patrones estacionales de comunidades de esponjas en el Pacífico este (Carballo-Cenizo *et al.*, 2002; Carballo-Cenizo, 2006; Carballo-Cenizo & Nava, 2007; Carballo-Cenizo, 2009). Sin embargo, aun existen zonas que han sido poco estudiadas, tal es el caso de la Bahía de La Paz, en la que sólo existen dos trabajos que describen la riqueza específica de esponjas asociadas a mantos del alga *Sargassum* spp. (Blancas-Gallangos, 2008; Ávila *et al.*, 2010) y un estudio que aborda la taxonomía histórica del género *Mycale*, incluyendo la Bahía de La Paz (Carballo-Cenizo & Cruz-Barraza, 2010), así como algunos estudios químicos de esponjas en los que de manera indirecta se describe a las esponjas presentes en la zona (Betancourt-Lozano, 1992; Betancourt-Lozano *et al.*, 1998; León-Deniz, 2003).

En este trabajo se observaron nueve especies de esponjas para las localidades estudiadas. En específico para Agua de Yépiz, de las cinco especies presentes, sólo cuatro (*Mycale cecilia*, *Callyspongia californica*, *Haliclona caerulea* y *Haliclona turquoisia*) ya habían sido reportadas en la misma localidad asociadas a los talos del alga *Sargassum* spp. (Blancas-Gallangos, 2008; Ávila *et al.*, 2010). En el caso de la esponja *Ircinia* sp., no había sido reportada anteriormente aun cuando es una de las esponjas más abundantes en la localidad, probablemente debido a que el hábitat en el que se distribuye es sobre rocas y corales principalmente, quedando fuera del área de estudio del trabajo anterior, pero tampoco ha sido reportada en otros hábitats rocosos del sureste del Golfo de California.

Para la localidad de La Bruja no existen antecedentes previos, comparte dos especies en común con Agua de Yépiz (*H. caerulea* e *Ircinia* sp.) y el resto de las esponjas presentes ya han sido reportadas en costas de Baja California Sur (Carballo-Cenizo, 2009; Carballo-Cenizo & Cruz-Barraza, 2010).

Existe poca variación temporal de las esponjas en las dos localidades, siendo una o dos especies que sólo se presentan en la temporada cálida en ambas localidades. Las especies más abundantes, *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp. están

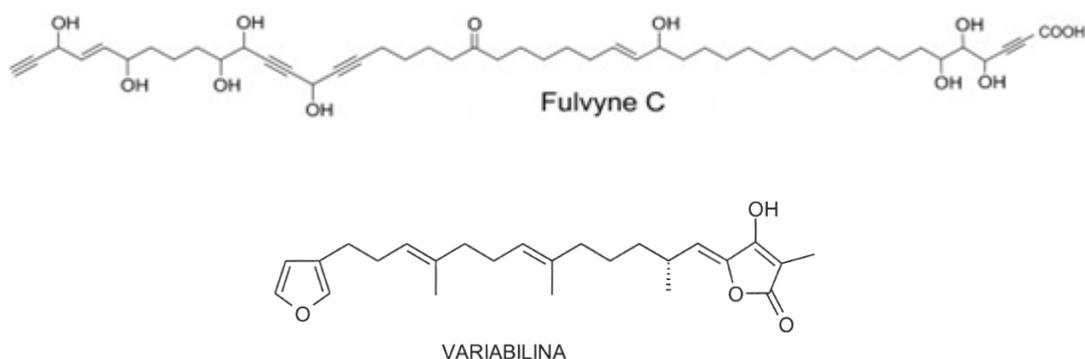
presentes en las dos épocas del año, estas esponjas se encuentran principalmente en rocas consolidadas o corales, mientras que *Mycale cecilia*, que mostró una variación estacional, se encuentra en una zona de cantos rodados. Esto es consistente con lo que se ha descrito en poblaciones de esponjas, donde las variaciones se presentan en zonas de cantos rodados, mientras el ensamble con menor variación se distribuye en zonas de rocas consolidadas (Carballo-Cenizo & Nava, 2007). Otros factores como el viento y la sedimentación, son determinantes en las variaciones anuales de estos organismos, mientras que a una mayor escala los fenómenos como el ENSO, las mareas y corrientes, juegan papeles determinantes para la variación de las esponjas del Golfo de California (Carballo-Cenizo, 2006; Bell & Carballo-Cenizo, 2008; Carballo-Cenizo *et al.*, 2008b).

## **IX. b. Actividad biológica**

### **Antibacteriana**

De las esponjas evaluadas en el presente estudio, únicamente *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp., presentaron una moderada actividad frente a la cepa resistente de *Staphylococcus aureus* (halos de inhibición entre 9.3 y 12.6 mm) y no fueron activas frente a la cepa patógena *Escherichia coli*. Un patrón de actividad antibacteriana similar ha sido documentado para esponjas de estos géneros en otras localidades y sitios del mundo (Selegim *et al.*, 2007). Los extractos de diclorometano y etanol de *Haliclona viscosa* de costas de Marruecos han mostrado actividad frente a cepas patógenas (El-Amraoui *et al.*, 2010). De igual manera *Haliclona* sp. recolectada en Malasia presentó actividad frente a *S. aureus* (halos de inhibición de 11 a 17 mm), mientras que frente a *E. coli* no fue activa (Darah *et al.*, 2011). Por otra parte el extracto de *Ircinia campana* de Costa Rica presentó halos de inhibición de 14.6 mm frente a *S. aureus* y 18.7 mm en la fracción más activa (Rojas-Brenes *et al.*, 2012). Resulta evidente que los extractos de esponjas marinas presentan una actividad más frecuente para el control de bacterias Gram positivas, lo cual ha sido observado en otras especies (Mora-Cristancho *et al.*, 2009).

A partir de estos géneros (*Haliclona* e *Ircinia*) se han aislado compuestos que presentan actividad antibacteriana. Tal es el caso de las fulvinas A-C que fueron aisladas de *Haliclona fulva* del Mediterráneo y son activas frente a cepas resistentes de *Bacillus subtilis* (Nuzzo *et al.*, 2012). Los compuestos variabilina y sus enantiómeros extraídos de la esponja *Ircinia felix* de Colombia, fueron activos frente a las cepas *S. aureus* con halos de inhibición de 12.3 y de 7.7 mm frente a *E. coli*, (Salama *et al.*, 2001).



## Antiepiibiótica

Las esponjas han desarrollado un mecanismo de defensa química que les permite inhibir el asentamiento de micro y macroorganismos, lo cual puede ser utilizado como una alternativa potencial para la prevención del biofouling en embarcaciones o estructuras sumergidas en el mar (Tsoukatou *et al.*, 2007). Los promisorios resultados de actividad antiepiibiótica de la presente tesis muestran que *Haliclona caerulea*, *H. turquoisia*, *Ircinia* sp., *Mycale ramulosa* y *Callyspongia* sp. tienen potencial en la búsqueda de compuestos antiepiibióticos.

Esponjas de los géneros *Haliclona* e *Ircinia* han mostrado actividades muy significativas frente a organismos epibiontes (Limna-Mol *et al.*, 2009; Tsoukaotu *et al.*, 2007).

Dentro de las bacterias marinas de interés para evitar su asentamiento se encuentran *Pseudoalteromonas* y *Vibrio*. Este último es uno de los más abundantes dentro del bacterioplancton al ser la forma cultivable del grupo SAR 11, los cuales

colonizan las superficies con los que entran en contacto (González *et al.*, 2008). De igual manera *Pseudoalteromonas* es otro importante grupo que se encuentra asociados a superficies recubiertas por biofouling (Marchand, 2002). Por lo que diversos estudios buscan que los extractos inhiban el asentamiento de dichos organismos en el medio natural. Los resultados de esta tesis mostraron que los extractos de *Haliclona caerulea* y *Mycale ramulosa* presentaron valores MIC de 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a *Vibrio*, *Pseudomonas* y *Pseudoalteromonas* evidenciando la potente actividad mostrada. Se ha observado que compuestos aislados de la esponja *Dysidea* sp. también son activos (MIC=1  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) frente a *Vibrio* y *Pseudoalteromonas* (Tsoukatou *et al.*, 2007).

Son pocos los estudios en los que se reporta actividad antiepibiótica frente a microalgas, siendo principalmente estudios realizados con extractos de macroalgas, dando lugar a resultados promisorios ya que presentan valores de actividad con un MIC de 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (Hellio *et al.*, 2005; Plouguerné *et al.*, 2008). Respecto a trabajos con esponjas, Hellio *et al.* (2005) reportan la actividad antiepibiótica de *Ircinia* spp, frente a *Amphora* y *Cylindrotheca closterium* con valores MIC de 30  $\mu\text{g ml}^{-1}$ . En el presente estudio *Mycale ramulosa*, *H. caerulea* e *Ircinia* sp. presentaron la mejor actividad con valores MIC de 0.1, 1 y 20  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a *C. closterium* respectivamente. Para el caso de *Amphora* todas las esponjas evaluadas en el presente estudio presentaron actividad moderada.

### **IX. c. Caracterización del hábitat y atributos de la comunidad bentónica.**

#### **Método empleado**

Las diferencias en las metodologías empleadas en la descripción de las comunidades bentónicas y la caracterización de hábitats en la Bahía de La Paz, impiden comparar directamente los resultados obtenidos en el presente estudio con los presentados en estudios similares (Casas-Valdez *et al.*, 1997; Willott, 2001; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005b; Blancas-Gallangos, 2008; Suárez-Castillo, 2008; Ávila *et al.*, 2010), ya que se han empleado otro tipo de metodologías y las localidades no siempre corresponden con las del revisadas en este trabajo, siendo el presente

estudio el único que ha implementado la técnica de fototransectos en la Bahía de La Paz. Cada metodología va dirigida sobre un propósito y fin deseado, y la elección de la misma está basada en varios factores como el equipo requerido y sus costos, el tiempo empleado para la toma y procesamiento de las muestras, nivel de experiencia en campo de los observadores, entre otros, sin embargo, no todas tienen el mismo nivel de precisión. Se ha documentado que varios métodos pueden generar datos similares para la riqueza, abundancia y cobertura en arrecifes coralinos y rocosos (ejemplo arrecifes coralinos del archipiélago hawaiano) (Jokiel *et al.*, 2005; Macedo *et al.*, 2006), sin embargo, esto aun no ha sido probado en las costas de la Bahía de La Paz. El método de fototransecto ofrece ciertas ventajas frente a otras metodologías, como un costo intermedio del equipo y software necesario para toma y análisis de muestra, tiempo y procesamiento de muestra corto, capacidad de almacenaje de las muestras para análisis o corroboraciones futuras y un sesgo del 30% en la subestimación del número de especies registradas, menor al encontrado en otros métodos (Ohlhorst *et al.*, 1988; Borges-Souza, 2003; Jokiel *et al.*, 2005; Macedo *et al.*, 2006), considerándose que estos pueden ser complementados con registros visuales durante el buceo y video transectos, para obtener una mayor confiabilidad en los resultados (Kenyon *et al.*, 2006), de igual manera a pesar de las diferencias entre las metodologías y la inviabilidad de comparar directamente los datos obtenidos, se pueden hacer algunas observaciones.

Tomando en cuenta que a menudo resulta imposible registrar la totalidad de las especies presentes en un área determinada. Las curvas de acumulación de especies pueden permitir valorar la calidad de los inventarios biológicos, sobre todo cuando se trabaja con especies raras o conspicuas, siendo el valor de Clench un indicador de la confiabilidad de un inventario. En este sentido se obtuvo un valor de Clench de 0.03 en ambas localidades, al ser menor a 0.1, indica que el inventario es bastante completo y altamente fiable, de igual manera la proporción de las especies registradas también nos da una idea de la calidad del inventario, siendo en este caso del 87.2% para La Bruja y 81.9% para Agua de Yépiz, valores altos que consideran altamente confiable el inventario registrado en las localidades estudiadas. Para lograr

un mayor grado de fiabilidad del inventario (95%), el esfuerzo necesario para aumentar la proporción de especies puede ser desproporcionalmente elevado (Willott, 2001; Jiménez-Valverde & Hortal, 2003). Como en el caso de este estudio que se debería de incrementar 105 fotocuadrantes para la localidad de Agua de Yépiz y 473 fotocuadrantes para La Bruja, esto debido a que el inventario se va completando conforme se incrementa el esfuerzo de muestreo, haciendo más difícil observar especies nuevas.

### **IX. c. 1. Patrones estructurales**

En la Bahía de La Paz se han documentado zonas rocosas, playas arenosas, lagunares, antiestuarios, manglares y comunidades coralinas, lo que genera una gran heterogeneidad ambiental, llevando aparejada la ocurrencia de un número importante de hábitats, lo que se traduce en una elevada riqueza (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997; Torres-Alfaro, 2010; Mendoza-Salgado *et al.*, 2011). En el presente estudio, la localidad de Agua de Yépiz presentó principalmente un sustrato de arena con pocos parches de coral y roca en la temporada cálida, posteriormente remplazada por cobertura macroalgal en la temporada fría. Mientras que en La Bruja las proporciones de sustrato de arena, roca y coral (vivo y muerto) se mantienen en ambas temporadas, además se cuenta con la presencia de mangles en la zona somera, mientras que en la parte profunda (más de 8 m de profundidad; obs. personal) se presentan pastos marinos, indicando un ambiente más complejo. Estas características ayudan a explicar las diferencias encontradas respecto a la riqueza, abundancia y cobertura de especies en cada localidad (Solís-Marín *et al.*, 1997; Mendoza-Salgado *et al.*, 2011).

## **Riqueza, abundancia y cobertura de especies**

Se registraron un total de 64 especies en la Bahía de La Paz, de las cuales 18 corresponden a equinodermos, 11 a macroalgas, 11 a cnidarios, nueve a poríferos, seis a moluscos, tres a artrópodos, tres a peces y tres a anélidos.

Agua de Yépiz presentó la menor riqueza específica, con un total de 36 especies, la cual fue menor a la registrada por Suárez-Castillo (2008) en un área aledaña a la localidad (El Sausozo), registrando un total de 54 especies de invertebrados pertenecientes a la macrofauna asociada a mantos de *Sargassum* spp, las diferencias pueden deberse no solo al esfuerzo de muestreo y al método empleado en cada uno de los trabajos, sino también al periodo de muestreo, ya en dicho estudio se analizó un total de 204 cuadrantes en la zona de mantos de *Sargassum* de febrero a agosto del 2008, registrando todo lo contenido en cada cuadrante, incluso dentro de oquedades de piedras y bajo macroalgas, mientras que en el presente estudio se analizaron cuadrantes fotográficos tomados a una distancia de 1 m del sustrato, lo que impide documentar especies como nudibranquios u organismos crípticos que se encuentren debajo de piedras, entre grietas y entre las macroalgas y corales. En los dos trabajos solo se comparten 17 especies, nueve de los cuales corresponden a equinodermos.

La Bruja presentó 55 especies de invertebrados, siete de macroalgas y tres de peces, siendo este trabajo la primera aproximación sobre este arrecife rocoso.

## **Corales**

Los corales fueron el principal componente a excepción de la temporada fría en Agua de Yépiz. Reyes-Bonilla *et al.* (2010) reportan un total de 17 especies de corales pétreos que se distribuyen en la Bahía de La Paz, de las cuales sólo siete coinciden con las encontradas en el presente estudio (*Pocillopora capitata*, *P. elegans*, *P. damicornis*, *P. verrucosa*, *Porites panamensis*, *Pavona gigantea* y *Psammocora stellata*), la diferencia puede argumentarse a la metodología empleada, ya que se tomaron en cuenta datos bibliográficos sobre los registros de las especies

de corales pétreos en las costas de Baja California Sur, incluyendo la Bahía de La Paz, así como una revisión de las colecciones científicas que contuvieran muestras de la zona. Los corales azooxantelados y los octocorales no fueron observados en los transectos analizados, sin embargo, se observó la presencia de la especie *Tubastraea coccinea* (azooxantelado) y *Eugorgia Rubens* (Octocoral) en la localidad de La Bruja, coincidiendo con los registros de Reyes-Bonilla *et al.* (2005a) y Calderón-Aguilera (2006). Por otro lado, la cobertura de coral evaluada para otros sitios en el Golfo de California ha sido del 38%, manejándose como una cobertura de coral alta, siendo *Pocillopora damicornis* la especie dominante (Carriquiry & Reyes-Bonilla, 1997), lo cual coincide con lo observado en el presente estudio, donde la cobertura de coral para ambas localidades y temporadas, muestran un porcentaje similar.

### **Macroalgas**

Para la Bahía de La Paz, se cuenta con un registro de entre 84 (Casas-Valdez *et al.*, 1997; Riosmena-Rodríguez & Paul-Chavez, 1997) a 126 especies de macroalgas (Cruz-Ayala, 1996 y Cruz-Ayala *et al.*, 2005). En el presente estudio únicamente se identificaron 11 géneros de macroalgas dentro de la zona de estudio (siete para la localidad de Agua de Yépiz y cinco para La Bruja). En isla Gaviota, localidades aledaña a La Bruja se presentan nueve especies (Cruz-Ayala *et al.*, 2005), Mientras que en la localidad de Punta León (cercana a Agua de Yépiz) se tienen registrado un máximo de 23 especies, siendo el género *Sargassum* el de mayor biomasa, principalmente en invierno (Casas-Valdez *et al.*, 1997). La variabilidad de los registros de especies de macroalgas en localidades dentro de la Bahía es alta, respondiendo a la capacidad de adaptación de cada una de las especies (Cruz-Ayala *et al.*, 2005).

### **IX. c. 2. Composición específica**

La composición de especies en las localidades de estudio mostró una evidente variación en la composición específica tanto por localidad como por época del año

pero resulta evidente que después de los corales y macroalgas, fueron los equinodermos y moluscos los que presentan las mayores abundancias.

Dentro de los equinodermos, en la localidad de Agua de Yépiz se registraron 11 especies (tres estrellas, cuatro erizos, dos pepinos y dos ofiuos), siendo las de mayor abundancia *Tripneustes depressus* y *Heliaster kubiniji*. Mientras que para La Bruja se registraron 12 especies (dos estrellas, cuatro erizos, cuatro pepinos y dos ofiuos), siendo las más abundantes *Phataria unifacialis* y *Echinometra vanbrunti*. En la Bahía de La Paz se han registrado un total de 92 especies, de las cuales la mayoría suelen ser registradas únicamente en alguna localidad determinada, siendo raras las especies que habitan en toda la Bahía (Solís-Marín *et al.*, 1997). En las islas San José, Cerralvo y Espíritu Santo, se han registrado un total de 23 especies: 12 estrellas, siete erizos y cuatro pepinos de mar (Herrero-Pérezrul, 2008). Las estrellas de mar y erizos registrados en este estudio coinciden con los resultados de Herrero-Pérezrul (2008), mientras que para los holotúridos o pepinos de mar solo coincidieron dos especies. Respecto a los asteroideos Reyes-Bonilla *et al.* (2005b) identificaron la diversidad y abundancia de especies de estrellas de mar en el Golfo de California, registrando un total de 12 especies, de las cuales seis se localizan en la Bahía de La Paz. En el presente estudio se identificaron cuatro especies de estrellas de mar, aunque cabe aclarar que se observaron otras dos especies fuera de los fototransectos por lo que no se tomaron en cuenta en el análisis. Por otro lado Suárez-Castillo (2008), observó tres especies de estrellas de mar, que también fueron documentadas en el presente estudio.

La mayor cobertura de este grupo se observó en la temporada fría de la localidad La Bruja con 10.2 m<sup>2</sup>, mientras que en la temporada cálida solo ocuparon 4.4 m<sup>2</sup>. En la localidad de Agua de Yépiz las coberturas fueron menores al 1% por lo que se agruparon con otros organismos bentónicos, estas diferencias observadas pueden estar determinadas por el tipo de sustrato, en La Bruja el sustrato presenta una proporción similar entre arena y sustratos consolidados como corales y roca, además que se vuelve una zona con mayor heterogeneidad de hábitat, mientras que en Agua de Yépiz la mayor proporción del sustrato es arenosa, que se coloniza con

macroalgas en temporada fría, lo cual favorece la presencia de equinodermos herbívoros, aunque se ha observado que sustratos más blandos, como arena y limos no permiten el desplazamiento de especies de equinodermos (Ríos-Jara *et al.*, 2008). Otro factor que se debe tomar en cuenta al momento de observar las variaciones respecto a las especies y abundancias de equinodermos es la gran variabilidad en el reclutamiento año tras año, el cual puede cambiar incluso en varios órdenes de magnitud en años consecutivos, lo que genera variaciones en la observación de estos individuos, siendo en algunas especies común observarse a lo largo del Golfo de California como el caso de la estrella *Phataria unifascialis*, el equinoideo *Tripneustes depressus* y el holoturido *Holothuria fuscocinerea*, mientras que la especie menos abundante de equinodermos en la Bahía de La Paz es *Isostichopus fuscus* (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005b; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008; Holguin-Quiñones *et al.*, 2008; Suárez-Castillo, 2008), lo que coincide con lo observado en el presente trabajo pues *P. unifascialis* es una de las especies más abundantes dentro de las localidades muestreadas, mientras que *Isostichopus fuscus* presentó la menor abundancia.

Respecto a los moluscos en la localidad de Agua de Yépiz se registraron cuatro especies, siendo *Pinctada mazatlanica* la de mayor abundancia. Mientras que para La Bruja se registraron seis especies, siendo la más abundante *Modiolus capax*. De los moluscos observados cinco coinciden con lo reportado por Herrero-Pérezrul (2008). La especie más abundante (dejando a un lado macroalgas y corales), fue *Modiolus capax*, molusco bivalvo presente en la localidad de La Bruja sobre sustrato arenoso, esto coincide con lo reportado por Holguin-Quiñones & García-Domínguez (1997), quienes mencionan que respecto a la proporción de moluscos, la mayor parte de las especies corresponde a bivalvos, seguida de gasterópodos, y tomando en cuenta que muchos de estos se encuentran enterrados, se explica la baja riqueza observada, pues solo se observaron siete de las 360 especies de moluscos registradas para la Bahía de La Paz.

### **IX. c. 3. Atributos de la comunidad bentónica y comparación de localidades. Indicadores estructurales de la comunidad**

La gran abundancia y cobertura de corales y macroalgas en la zona, monopolizan el área reduciendo la uniformidad (equidad) del ecosistema, sin embargo los valores obtenidos para los parámetros de diversidad y equidad (AYTF 2.4 y 0.8; LBTF 2.1 y 0.7; AYTC; 1.4 y 0.6; LBTC 1.8 y 0.7) se encuentran por arriba de la media encontrada en otros arrecifes del Pacífico Americano (ejemplo Cabo Pulmo; diversidad 0.43, equidad 0.78), sin embargo, la comparación de este índice solo se puede realizar directamente si las comunidades analizadas tienen la misma riqueza o si se conoce la varianza del estimador, en caso contrario sólo se pueden realizar observaciones. Al comparar los valores de de diversidad registrados para las localidades de Agua de Yépiz y La Bruja, con ambientes distintos a arrecifes rocosos, se consideran con una diversidad de moderada a baja comparándolo con ambientes como fondos blandos de la zona central del Pacífico mexicano (Carriquiry & Reyes-Bonilla, 1997; Godínez-Domínguez & González-Sansón, 1999; Holguin-Quiñones *et al.*, 2008). Al comparar los datos de diversidad con valores previamente registrados en áreas cercanas a las muestreadas se observa que la diversidad encontrada en Agua de Yépiz fue superior a la registrada por Suárez-Castillo (2008) para la localidad el Sauzoso (aledaña a Agua de Yépiz) pues el registra un valor de 0.81 bits individuo<sup>-1</sup>. Domínguez-Orozco & Tripp-Quezada (1997) encontraron un valor de 2.3 bits individuo<sup>-1</sup> en la localidad de Balandra (área cercana a La Bruja), valor similar a lo registrado en la localidad de La Bruja en el presente estudio. Las variaciones observadas denotan que la localidad de Agua de Yépiz presenta una gran diferencia entre sus valores, a causa de la riqueza específica y el efecto del sustrato sobre la misma.

#### **Análisis de similitud de las localidades**

El análisis de similitud, y coeficiente de correlación de Pearson sugieren la presencia de factores que determinan la estructura macrobentónica, como son el tipo

de sustrato, la temperatura y la concentración de nutrientes (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997). En este caso el análisis mostró que la comunidad macrobentónica se agrupa principalmente por la temperatura, ya que la Bahía de La Paz es un cuerpo de agua relativamente estable respecto a las condiciones ambientales, con solo dos estaciones evidentes al año (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997).

El coeficiente de correlación de Pearson muestra que el factor sustrato es importante, ya que transectos caracterizados por presentar casi exclusivamente arena, sin ninguna especie, se separaron completamente del resto de los transectos muestreados. Se ha identificado que los factores físicos (como mareas, corrientes, sedimentación) determinan la estructura de la comunidad bentónica en áreas poco profundas, mientras que el tipo de sustrato es un factor importante en el asentamiento de organismos marinos (Cortés, 1997; Domínguez-Orozco & Tripp-Quezada, 1997; Zapata *et al.*, 2010).

#### **IX. d. Endobiontes asociados a esponjas.**

Existen diversos organismos asociados a esponjas que las utilizan como hábitat o refugio, presentándose relaciones de tipo mutualista o comensalista. Estudios realizados entre la esponja *Haliclona caerulea* y la macroalga *Jania adhaerens*, han indicado una relación mutualista en la cual ambas especies se ven beneficiadas para colonizar un mayor número de hábitats (bosques de *Sargassum*, rocas, corales) mientras que cuando la esponja sirve como refugio para los organismos endobiontes, se considera una interacción de tipo comensalista (Ávila & Carballo-Cenizo, 2004; Blancas-Gallangos, 2008; Ávila *et al.*, 2010). Este tipo de relaciones ya se ha identificado en esponjas de otros ecosistemas en distintas partes del mundo, siendo común encontrar endozooarios viviendo dentro de las esponjas, muchas de estas relaciones se consideran de tipo mutualistas, o en algunos casos como inquilinismo o comensalismo (Rutzler, 1976; Betancourt-Lozano, 1992). De tipo mutualista se ha observado con moluscos bivalvos, artrópodos ofiuroides briozoarios, macroalgas, otras esponjas además de microorganismos. En el presente

estudio se infiere que la asociación *H. caerulea* y *J. adhaerens* es de tipo mutualista, pero para el resto de las asociaciones es difícil indicar que tipo de asociación se tiene sin realizar estudios específicos, ya que en algunos casos las especies endobióticas reciben protección, hábitat e incluso alimento, pues se sabe que algunas especies de poliquetos completan su ciclo de vida dentro de esponjas y se alimentan de ella (Humann, 1992; Hamerlin *et al.*, 1994; Sanford, 1994; Godínez-Domínguez & González Sansón, 1999; Pansini *et al.*, 1999; Ávila & Carballo-Cenizo, 2004; Cruz-Barraza & Carballo-Cenizo, 2006; Taylor *et al.*, 2007; Baker *et al.*, 2009). Pero en otros como con los ofiuroideos que fueron los organismos que se encontraron en todas las especies de esponjas, en ambas localidades y temporadas, estudios previos han demostrado que el equinodermo limpia la superficie de la esponja, mientras se alimenta y se protege de sus depredadores (Hendler, 1984). Tres especies más se observaron de manera esporádica en relación a las esponjas, un caballito de mar (*Hippocampus ingens*), el cual se encontró en muestras de *Mycale ramulosa* en la temporada cálida en la localidad de La Bruja, algunos ejemplares (3) de *Modiolus capax* se encontraron dentro del tejido de *Ircinia* sp. en la localidad de La Bruja en ambas temporadas (dos en la cálida y uno en la fría), mientras que alrededor de cuatro especies de anelidos poliquetos se observaron en las esponjas *Ircinia* sp. y *Haliclona caerulea*, sin embargo, al momento del análisis y la identificación se encontraban en mal estado, fragmentados y sin la porción frontal, por lo que no pudieron ser identificadas. En este sentido, Betancourt-Lozano (1992) y Betancourt-Lozano *et al.* (1998) documentaron un total de 43 grupos diferentes de endobiontes para la esponja *Aplysina fistularis* del archipiélago Espíritu Santo, obteniendo el número de individuos y observaciones por un periodo de 14 meses (muestreos mensuales), sin embargo, mencionan que solo son nueve los grupos principales por la incidencia y abundancia dentro de la esponja, de igual manera es importante aclarar que ningún grupo fue identificado a nivel especie o género, mencionando que un mayor número de especies endobioticas se encontraron en los meses cálidos, lo cual se observa también en las esponjas de las localidades Agua de Yépiz y La Bruja analizadas en el presente estudio.

### **IX. e. Interacción actividad biológica de extractos, organismos asociados y variables ambientales.**

Vale la pena aclarar que la actividad *in vitro* no necesariamente representa un papel equivalente en el medio natural. Los metabolitos secundarios pueden tener consecuencias ecológicas de gran significado, pero éstos no actúan por sí solos sino que dependen del ambiente físico y biológico del medio circundante (Puyana *et al.*, 2002).

Resulta evidente que la actividad biológica mostró una variación significativa en las dos épocas del año. De manera general la bioactividad fue mejor en la época fría, cuando la estructura de la comunidad presentó una mayor diversidad y riqueza específica. Algunos estudios han mostrado una variación estacional en la bioactividad de extractos de esponjas, tal es el caso de *Aplysina fistularis* de la isla Espíritu Santo, B.C.S. que presentó mayor actividad durante meses cálidos (Betancourt-Lozano *et al.*, 1998), mientras que esponjas de los géneros *Agelas* y *Petrosia* del mar Mediterraneo y *Latrunculia* sp. nov. de Nueva Zelanda presentaron la mayor actividad citotóxica durante épocas frías (Ferretti *et al.*, 2009; Duckwoth & Battershill, 2001). En estos trabajos la temperatura no fue un factor en común para obtener una mejor actividad, pero si lo fue, un aumento en la cantidad de organismos asociados ya sea competidores u otros organismos que utilizaban a la esponja para su asentamiento y fijación (Turón *et al.*, 2009). Lo que desencadena la producción de metabolitos con actividad antiepibiótica o alelopática para disuadir el paso de erizos o la colonización por macroalgas (Turón *et al.*, 1996).

En el presente trabajo se observó una correlación positiva entre la bioactividad frente a bacterias marinas y los endobiontes, Turón *et al.*, (1996) mencionan que una mayor concentración de compuestos se presenta en la periferia de la esponja en función de una mayor competencia con organismos circundantes.

De igual manera se encontró una correlación positiva entre los fosfatos (y nitritos) con la actividad biológica frente a las cepas de microorganismos marinos, en este sentido algunos trabajos han mencionado el efecto de los nutrientes y su concentración como promotores en la generación de metabolitos bioactivos sintetizados por organismos bentónicos, sin embargo, solo se ha comprobado dicho

efecto en macroalgas y fanerógamas marinas, donde se ha identificado una correlación entre la concentración de nitrógeno asimilable y la concentración de metabolitos secundarios bioactivos (Arnold *et al.*, 1995; Schupp *et al.*, 1999; Cronin & Lodge, 2003; Valdés-Iglesias *et al.*, 2010).

Con respecto a la actividad biológica y la diversidad de organismos se observó una correlación negativa, sin embargo, esta no fue estadísticamente significativa. Turon *et al.* (2009), encontraron una correlación negativa entre la bioactividad de esponjas y el número de especies asociadas indicando que la bioactividad juega un papel importante en la micro-estructuración de las comunidades bentónicas.

En este trabajo la diversidad y los parámetros ambientales fueron evaluados a mayor escala y no fue posible correlacionar estos valores a nivel de cada individuo, por lo que se requieren hacer estudios a menor escala, que permitan evaluar de manera más difecta la relación de la actividad de cada individuo con su ambiente.

## X. CONCLUSIONES

- Se observaron nueve especies de esponjas en las localidades de estudio (*Geodia media*, *Lissodendoryx schmidti*, *Mycale cecilia*, *M. ramulosa*, *Callyspongia californica*, *Callyspongia* sp., *Haliclona turquoisia*, *H. caerulea* e *Ircinia* sp.), de las cuales seis se presentan en La Bruja y cinco en Agua de Yépiz, siendo *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp., las más abundantes y representativas de las dos localidades.
- La mayoría de las especies de esponjas ya habían sido reportadas en trabajos anteriores para áreas de estudio cercanas, con excepción de la esponja *Ircinia* sp., que es el primer registro para la Bahía de La Paz.
- Los extractos de *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp., de la temporada fría de ambas localidades presentaron actividad moderada frente a la cepa patógena de *Staphylococcus aureus* con halos de inhibición de entre 9.3 y 12.6 mm de diámetro. Frente a *Escherichia coli* ningún extracto fue activo.
- Para Agua de Yépiz, los mejores resultados de actividad antiépibiótica frente a cepas de bacterias marinas se observaron en los extractos de las esponjas *Haliclona caerulea*, *H. turquoisia* e *Ircinia* sp., de la época fría con valores MIC de entre 0.1 y 10  $\mu\text{g ml}^{-1}$ . Mientras que para La Bruja los extractos de *H. caerulea* y *Mycale ramulosa* presentaron los mejores resultados con valores MIC de entre 0.1 y 1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a prácticamente todas las cepas de prueba a excepción de la de *Polibacter ingensii*.
- Los extractos de las esponjas también mostraron una buena actividad antiépibiótica frente a microalgas. En Agua de Yépiz, durante la temporada fría, los extractos de *Haliclona caerulea*, *H. turquoisia* e *Ircinia* sp., presentaron valores MIC de 1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a *Cylindrotheca closterium*. Por otra parte en La Bruja los extractos de la temporada fría de *H. caerulea* y *Mycale ramulosa* fueron activos frente a todas las cepas con valores MIC de 1 y 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  frente a *Navicula jeffreyi* y *Cylindrotheca closterium*. Los extractos de la temporada cálida no fueron activos.

- Dentro de los atributos de cada localidad, se puede mencionar que Agua de Yépiz esta caracterizada por presentar sustrato básicamente arenoso, la mayor diversidad se encontró en la temporada fría con un valor de 2.4 bits individuo<sup>-1</sup>, mientras que en la temporada cálida fue de 1.4 bits individuo<sup>-1</sup>. Los organismos más abundantes durante la temporada fría, además de corales (*Pocillopora* y *Porites*) y macroalgas (*Sargassum*, *Padina* y *Hydroclathrus*), corresponden al equinodermo *Phataria unifascialis* y la esponja *Ircinia* sp.
- La localidad de La Bruja es un arrecife rocoso bien constituido, con un total de 55 especies con una diversidad estimada de 2.1 bits individuo<sup>-1</sup> en la temporada fría, y de 1.8 bits individuo<sup>-1</sup> en la temporada cálida. En el ecosistema se registra una gran abundancia de corales (*Pocillopora*, *Porites* y *Pavona*), el mejillón *Modiolus capax*, los equinodermos *Phataria unifascialis* y *Echinometra vanbrunti*, así como la esponja *Ircinia* sp.
- Dentro de los organismos endobiontes de esponjas se encuentran equinodermos, artrópodos, moluscos, cnidarios, macroalgas y otras esponjas. La mayor cantidad de especies endobiontes se presentan en *Haliclona caerulea* e *Ircinia* sp. Los cuales no presentaron una variación evidente entre las dos épocas del año.
- De manera general los valores de actividad fueron más altos en los extractos de la época fría, cuando la estructura de la comunidad presentó una mayor diversidad y riqueza específica. En cuanto a los organismos endobiontes no se observó una variación evidente con respecto a las dos épocas, pero las esponjas con mayor número de organismos asociados son las que presentan la mejor actividad tanto antibacteriana como antiepibiótica.
- Existe una correlación positiva entre la bioactividad frente a bacterias marinas y los endobiontes de la esponja. De igual forma se observó una correlación positiva entre la bioactividad frente a bacterias marinas y microalgas con la concentración de fosfatos y nitritos.

- El presente trabajo es una primera aproximación de la relación que existe entre la actividad biológica de esponjas con parámetros ambientales en costas de Baja California Sur, el cual puede ser utilizado como base para el desarrollo e implementación de métodos específicos, que permitan identificar los factores que influyen en la actividad biológica de las esponjas.

## XI. LITERATURA CITADA

- Abbott, I.L. & G.J. Hollenberg. 1976. *Marine Algae of California*. Stanford University Press, Stanford, 827 p.
- Abbott, R.T. 1991. *Seashells of the Northern hemisphere*. Gallery Books, Nueva York, 191 p.
- Aguila-Ramírez, R.N., M. Casas-Valdez, C.J. Hernández-Guerrero & A. Marín-Álvarez. 2005. Biomasa de *Ulva* spp. (Chlorophyta) en tres del malecón de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 40(1): 55–61.
- Aguilar-Camacho, J.M. & J.L. Carballo-Cenizo. 2010. First record of *Cladocroce* (*Porifera: Haplosclerida: Chalinidae*) from the Eastern Pacific ocean with the description of *Cladocroce reina* sp. nov. *Zootaxa*, 2603: 65–68.
- Aguilar-Rosas, L.E. 1999. *Estudio florístico de las algas marinas de la parte del Golfo de California, México*. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto H191.
- Aguilar-Rosas, R., L.E. Aguilar-Rosas, G.E. Ávila-Serrano, O. González-Yajimovich & F. Becerril-Bobadilla. 2010. Macroalgas submareales de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 601–618.
- Aguíñiga, S., A. Sanchez & N. Silverberg. 2010. Temporal variations of C, N,  $\delta^{13}\text{C}$ , and  $\delta^{15}\text{N}$  in organic matter collected by a sediment trap at Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, SW Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 30: 1692–1700.

- Álvarez, A.A.D., S.H. Rojas & M.J.J. Prieto. 1997. Geología de la Bahía de La Paz y áreas adyacentes, 13–30. En; Urbán, R.J. & M.R. Ramírez (Eds). La Bahía de La Paz, investigación y conservación. *UABCS – CICIMAR – SCRIPPS*, 345 p.
- Amade, P.C., C. Charroin & J. Vacelet. 1987. Antimicrobial activities of marine sponges from the Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 94: 271–275.
- Archiniega-Flores, J., V. Landa-Jaime & G. González-Sansón. 1998. Distribución y abundancia de los crustáceos estomatópodos de fondos blandos en las costas de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas*, 24 (2): 169–181.
- Arias, J., S. Zea, F. Newmark & M. Santos-Acevedo. 2006. Determinación de la capacidad antiépibiótica de los extractos orgánicos crudos de las esponjas marinas *Cribrochalina infundibulum* y *Biemna cribaría*. *Boletín Investigaciones Marinas*, 35(1): 91-101.
- Arizpe, C.O. & R. Félix-Uraga. 1985. Crecimiento de *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835) en la Bahía de La Paz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Universidad Nacional Autónoma de México*, 13(2): 167-172.
- Arnold, T.M., C.E. Tanner & W.I. Hatch. 1995. Phenotypic variation in polyphenolic content of the tropical Brown alga *Lobophora variegata* as a function of nitrogen availability. *Marine Ecology Progress Series*, 123: 177-183.
- Ávila, E.T. & J.L. Carballo-Cenizo. 2004. Growth and standing stock biomass of a mutualistic association between the Sponge *Haliclona caerulea* and the Red Alga *Jania adherens*. *Symbiosis*, 36: 225–243.
- Ávila, E., N.I. Blancas-Gallangos, R. Riosmena-Rodríguez & L. Paul-Chávez. 2010. Sponges associated with *Sargassum* spp. (Phaeophyceae: Fucales) from the south-western Gulf of California. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(1): 193–202.

- Baker, P.W., J. Kennedy, A.D.W. Dobson & J.R. Marchesi. 2009. Phylogenetic diversity and antimicrobial activities of Fungi associated with *Haliclona simulans* isolated from Irish Coastal Waters. *Marine Biotechnology*, 11(4): 540-547.
- Bakus, G.J., N.M. Targett & B. Schulte. 1986. Chemical ecology of marine organisms: an overview. *Journal of Chemical Ecology*, 12(5): 951–987.
- Becerro, M.A., M.J. Uriz & X. Turon. 1997. Chemically-mediated interactions in benthic organisms: the chemical ecology of *Crambe crambe* (Porifera, Poesilosclerida). *Hydrobiologia*, 356: 77–89.
- Becerro, M.A. 2008. Quantitative trends in sponge ecology research. *Marine Ecology*, 29: 167–177.
- Bell, J.J. & J.L. Carballo-Cenizo. 2008. Patterns of sponge biodiversity and abundance across different biogeographic regions. *Marine Biology*, 155(6): 563-570.
- Bergquist, P.R. 1978. *Sponges*. Editorial Hutchinson, Los Angeles. 268 p.
- Betancourt-Lozano, M. 1992. Variación de la actividad antimicrobiana de la esponja *Aplysina fistularis* (Porifera: Aplysinidae) y su relación con la fauna asociada. *Tesis de maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional*, 88 p.
- Betancourt-Lozano, M., F. González-Farías, B. González-Acosta, A. García-Gasca & J.R. Bastida-Zavala. 1998. Variation of antimicrobial activity of the sponge *Aplysina fistularis* (Pallas 1776) and its relation to associated fauna. *Journal Experimental Marine Biology Ecolog.*, 223: 1–18.

- Blancas-Gallangos, N.I. 2008. *Determinación de la abundancia de las interacciones Sargassum/esponja en la costa suroeste del Golfo de California, México*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 62 p.
- Blunt, J.W., B.R. Copp, M.H.G. Munro, P.T. Northcote & M.R. Prinsep. 2003. Marine natural products. *Natural Products Report*, 20: 1–48.
- Blunt, J.W., B.R. Copp, M.H.G. Munro, P.T. Northcote & M.R. Prinsep. 2004. Marine natural products. *Natural Products Report*, 21: 1–49.
- Blunt, J.W., B.R. Copp, M.H.G. Munro, P.T. Northcote & M.R. Prinsep. 2005. Marine natural products. *Natural Products Report*, 22: 15–61.
- Blunt, J.W., B.R. Copp, M.H.G. Munro, P.T. Northcote & M.R. Prinsep. 2006. Marine natural products. *Natural Products Report*, 23: 26–78.
- Blunt, J.W., B.R. Copp, M.H.G. Munro, P.T. Northcote & M.R. Prinsep. 2007. Marine natural products. *Natural Products Report*, 24: 31–86.
- Bobzin, S.C. & D.J. Faulkner. 1989. Diterpenes from the marine sponge *Aplysilla polyrhaphis* and the dorid nudibranch *Chromodoris norrisi*. *Journal of Organic Chemistry*, 54(16): 3902–3907.
- Borges-Souza, J.M. 2003. *Estructura y composición de la comunidad bentónica de los arrecifes de Quintana Roo, México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 99 p.
- Borges-Souza, J.M. & E. A. Chávez. 2007. Patterns of the benthic community structure in coral reefs of the north western Caribbean. *59<sup>th</sup> Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 52: 405-413.

- Buitrón-Sánchez, B.E. & J. Pantoja-Alor. 1994. Esponjas perforantes de moluscos del Cretácico temprano en la región centrooccidental de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11(2): 222–231.
- Burt, J., A. Bartholomew, A. Bauman, A. Saif & P.F. Sale. 2009. Coral recruitment and early benthic community development on several materials used in the construction of artificial reefs and breakwaters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 373: 72–78.
- Calderón-Aguilera, L.E. 2006. *Distribución y aspectos taxonómicos de los corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico mexicano*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Informe final SNIB-CONABIO proyecto AS007.
- Carballo-Cenizo, J.L. 2002a. *Biodiversidad de esponjas del Mar de Cortés: bases para su conservación y valoración como recursos marinos*. Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto S019.
- Carballo-Cenizo, J.L. 2002b. *Los organismos marinos y las moléculas bioactivas. Perspectiva actual*. Editorial Laborda AJ. El mar como fuente de moléculas. Universidad de León, 83–115.
- Carballo-Cenizo, J.L. 2006. Effect of natural sedimentation on the structure of tropical rocky sponge assemblages. *Écoscience*, 13(1): 119–130.
- Carballo-Cenizo, J.L. 2009. *Nuevos registros de esponjas del Pacífico Mexicano, Mar de Cortés y Archipiélago Revillagigedo*. UABC. ICML-UNAM. Informe final SNIB-CONABIO proyecto DJ007.
- Carballo-Cenizo, J.L. & J.A. Cruz-Barraza. 2008. First record of *Axinyssa* Lendenfeld, 1897 (Demospongiae, Halichondrida) from the East Pacific Ocean, with the description of *Axinyssa Isabela* sp. nov. *Zootaxa*, 1784: 58–68.

- Cenizo, J.L. & J.A. Cruz-Barraza. 2010. A revision of the genus *Mycale* (Poecilosclerida: Mycalidae) from the Mexican Pacific Ocean. *Contributions to Zoology*, 79(4): 165–191.
- Carballo-Cenizo, J.L. & H. Nava. 2007. A comparison of sponge assemblage patterns in two adjacent rocky habitats (tropical Pacific Ocean, Mexico). *Écoscience*, 14(1): 92–102.
- Carballo-Cenizo, J.L., Z.L. Hernández-Inda, P. Pérez & M.D. García-Grávalos. 2002. A comparison between two brine shrimp assays to detect in vitro cytotoxicity in marine natural products. *BioMed Central Biotechnology*. 2(17): 1-5.
- Carballo-Cenizo, J.L., E. Bautista-Guerrero & G.E. Leyte-Morales. 2008a. Boring sponges and the modeling of coral reefs in the east Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 356: 113–122.
- Carballo-Cenizo, J.L., C. Vega, J.A. Cruz-Barraza, B. Yáñez, H. Nava, E.T. Ávila & M. Wilson. 2008b. Short- and long- term patterns of sponge diversity on a rocky tropical coast: evidence of large-scale structuring factors. *Marine Ecology*, 29: 216–236.
- Carriquiry, J.D. & H. Reyes-Bonilla. 1997. Estructura de la comunidad y distribución geográfica de los arrecifes coralinos de Nayarit, Pacífico de México. *Ciencias Marinas*, 23(002): 227–248.
- Casas-Valdez, M.M., M.B. Cruz-Ayala & G.E. López. 1997. Algas marinas bentónicas más abundantes en la Bahía de La Paz, B.C.S. 83–92. En: Urbán, R.J., & M.R. Ramírez (Eds.). *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS – CICIMAR – SCRIPPS, 345 p.
- Caso, M.E. 1976. El estado actual del estudio de los equinodermos de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Universidad Nacional Autónoma de México*, 2: 1–56.

- CONABIO. 2012a. Colección de Referencia de Moluscos del Pacífico Mexicano, (ICMyL-MAZ, UNAM). Consulta realizada en: <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/icmyl-maz-unam-mollusks.html>
- CONABIO. 2012b. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del Pacífico Mexicano. Consulta realizada en: <http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos.cgi?Letras=B&Numero=57>
- Cortés, J. 1997. Biology and geology of Eastern Pacific coral reefs. *Coral Reefs*, 16: 39–46.
- Cronin, G. & D.M. Lodge. 2003. Effects of light and nutrient availability on the growth, allocation, carbón/nitrogen balance, phenolic chemistry, and resistance to herbivory of two freshwater macrophytes. *Oecologia*, 137: 32-41.
- Cruz-Ayala, M.B. 1996. *Variación espacio-temporal de la ficoflora y su abundancia relativa en la Bahía de La Paz, B.C.S., México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 108 p.
- Cruz-Ayala, M.B., R.A. Núñez-López & G.E. López. 2005. Seaweeds in the Southern Gulf of California. *Botanica Marina*, 44(2): 187–197.
- Cruz-Barraza, J.A. 2004. *Taxonómia y distribución de las esponjas marinas (Porifera:Demospongiae) del margen continental del Golfo de California*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, 371 p.
- Cruz-Barraza, J.A. & J.L. Carballo-Cenizo. 2005. First record of *Plakortis* Schulze (Porifera: Homosclerophorida) from the Northeast Pacific coast, with the description of *Plakortis albicans* sp. nov. *Zootaxa*, 868: 1–12.
- Cruz-Barraza, J.A. & J.L. Carballo-Cenizo. 2006. A new species of *Haliclona* (Demospongiae: Haplosclerida) living in association with *Geodia media* Bowerbank (Mexican Pacific coast). *Zootaxa*, 1343: 43–54.

- Cruz-Barraza, J.A. & J.L. Carballo-Cenizo. 2008. Taxonomy of Sponges (Porifera) Associated with Corals from the Mexican Pacific Ocean. *Zoological Studies*. 47(6): 741–758.
- Darah, I., C.L. Lim, Z. Nurul-Aili, S. Nor-Afifah & S. Shaida-Fariza. 2011. Effects of methanolic extract of a soft sponge, *Haliclona* sp. on bacterial cells: Structural degeneration study. *Pharmacide Globale*, 2(7): 1–6.
- Díaz-de-León-Corral, A., G. Alcántar-López, P. Álvarez-Torres, L. Gutiérrez-Mariscal & D. Pedroza-Páez. 2005. Valoración, uso y perspectivas de la biodiversidad marina: compartiendo experiencias entre México y Latinoamérica. 59–104. En: Figueroa, B.E. (Ed.) *Biodiversidad Marina: Valoración, Usos y Perspectivas, ¿Hacia dónde va Chile*. Editorial Universitaria: 59 - 103.
- Domínguez-Orozco, A.L. & A. Tripp-Quezada. 1997. Estructura de la comunidad de macromoluscos bentónicos de la caleta de Balandra, Bahía de La Paz, B.C.S. 119–127. En: Urbán, R.J. & M.R. Ramírez (Eds.). *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS – CICIMAR – SCRIPPS, 345 p.
- Donia, M. & M.T. Hamann. 2003. Marine natural products and their potential applications as anti-infective agents. *Lancet Infected Dis.*, 3: 338–348.
- Duckworth, A.R. & C.N. Battershill. 2001. Population dynamics and chemical ecology of New Zealand Demospongiae *Latrunculia* sp. nov. and *Polymastia croceus* (Poecilosclerida: Latrunculiidae: Polymastidae). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 35: 935–949.
- El-Amraoui, B., J.F. Biard, M.J. Uriz, S. Rifai & A. Fassouane. 2010. Antifungal and antibacterial activity of Porifera extracts from the Moroccan Atlantic coasts. *Journal of Medical Mycology*, 20(1): 70-74.

- Encarnación, R.D., E. Sandoval, J. Malmstrom & C. Christophersen. 2000. Calafianin, a bromotyrosine derivative from the marine sponge *Aplysina gerardogreeni*. *Journal Natural Products*, 63: 874–875.
- Encarnación, R.D., M.R. Ramírez & J. Luna-Herrera. 2003. Aerothionin, a bromotyrosine derivative with antimycobacterial activity from the marine sponge *Aplysina gerardogreeni* (Demospongia). *Pharmaceutical Biology*, 41(5): 384–387.
- Espinosa, H. 2004. El Pacífico mexicano. *Ciencias*, 76: 14–21.
- Fagerstrom, T., S. Larsson & O. Tenow. 1987. On optimal defense in plants. *Functional Ecology*, 1: 73–81.
- Fajardo-León, M. 1994. *Evaluación de biomasa y determinación de especies de los mantos del género Sargassum spp. Agardh, 1821 (Fucales: Phaeophyta) en la Bahía de La Paz, B.C.S., México, en primavera de 1988*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Intituto Politécnico Nacional, 78 p.
- Faulkner, D.J. 1992. Marine natural products. *Natural Products Report*, 9: 323–364.
- Faulkner, D.J. 2000. Marine Natural products. *Natural Products Report*, 17: 7–55.
- Faulkner, D.J. 2001. Marine Natural products. *Natural Products Report*, 18: 1–49.
- Faulkner, D.J. 2002. Marine Natural products. *Natural Products Report*, 19: 1–48.
- Ferretti, C., S. Vacca, C. De Ciucis, B. Marengo, A.R. Duckworth, R. Manconi, R. Pronzato & C. Domenicotti. 2009. Growth dynamics and bioactivity variation of the Mediterranean demosponges *Agelas oroides* (Agelasida, Agelasidae) and *Petrocia ficiformis* (Haplosclerida, Petrodidae). *Marine Ecology*, 30: 327–336.

- Gabrielson P.W. T.B. Widdowson, S.C. Lindstrom, M.W. Hawkes & R.F. Scagel. 2000. Keys to the benthic marine algae and seagrasses of British Columbia, southeast Alaska, Washington and Oregon. *Phycological contribution*, 5: 189.
- García-Ríos, C.I. & M. Álvarez-Ruiz. 2007. Comunidades de quitones (Mollusca: Polyplacophora) de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 55(1): 177–182.
- Godínez-Domínguez, E. & G. González-Sansón. 1999. Diversidad de macroinvertebrados de fondos blandos de la plataforma continental de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas*, 25(4): 609–627.
- Gómez, P., J.L. Carballo-Cenizo, L.E. Vázquez & J.A. Cruz-Barraza. 2002. New records for the sponge fauna (Porifera: Demospongiae) of the Pacific coast of Mexico. *Proceedings of Biological Society. Washington*, 115(1): 223–237.
- González, J.M., C. Pedrós-Alió & J.M. Gasol. 2008. Plancton bacteriano de los océanos. *Investigacion y Ciencia*, 76–84.
- González-Medina, F., O. Holguin-Quiñones & G. de-la-Cruz-Agüero. 2006. Variación espaciotemporal de algunos macroinvertebrados (Gastropoda, Bivalvia y Echinodermata) de fondos someros del archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 32(1): 33-44.
- Granja-Fernández, M.R. & R.A. López-Pérez. 2011. Nuevos registros de ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) para de Zihiatanejo (Guerrero) u Puerto Escondido (Oaxaca), Pacífico mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 1320–1323.
- Gustafson, K.R., N. Oku & D.J. Milanowski. 2004. Antiviral marine natural products. *Curren Medical Chemestry: Anti-Infective Agents*, 3: 233–249.

- Hamerlin, J.G., N. Boury-Esnault & J. Vacelet. 1994. A bryozoans-sponge symbiosis: the association between *Smittina cervicornis* and *Halisarca* cf. *dujardini* in the Mediterranean. 69–74. En: Hayward, P.J., J.S. Ryland & P.D. Taylor (Eds.) *Biology and Paleobiology of Bryozoans*. Proceedings of the Ninth International Bryozoology Conference, Swansea, Wales, 240 p.
- Hammer, O., D.A.T. Harper & D. Ryan. 2001. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica*, 4(1): 9.
- Hellio C., M. Tsoukatou, M. Jean-Philippe, N. Aldred, C. Beaupoil, A.S. Clare, C. Vagias & V. Roussis. 2005. Inhibitory effects of Mediterranean sponge extracts and metabolites on larval settlement of barnacle *Balanus amphitrite*. *Marine Biotechnology*, 7: 297–305.
- Hendler, G. 1984. The association of *Ophiothrix linéate* and *Callyspongia vaginalis*: a brittlestar-sponge cleaning simbiosis?. *Marine Ecology*, 5: 9–27.
- Hendrickx, E.M. 1993. Crustáceos decápodos bentónicos del sur de Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Universidad Nacional Autónoma de México*, 64(1): 1–16.
- Hendrickx, E.M. & R.C. Brusca. 2007. *Distribución de invertebrados marinos endémicos en el Golfo de California, México*. XII Congreso Latino-Americano de Ciencias do Mar – XII COLACMAR Florianópolis.
- Hendrickx, E.M. & P. Sánchez-Vargas. 2005. Estomatópodos del género *Squilla* (Hoplocarida: Stomatopoda: Squillidae) recolectados frente a la costa de Sinaloa, en el SE del Golfo de California, México, en los cruceros CEEMEX C1-C2-C3. *Ciencias Marinas*, 31(001): 31–41.
- Hermosillo, A. & A. Valdés. 2007. Five new species of aeolid nudibranchs (Mollusca, Opisthobranchia) from tropical eastern Pacific. *American Malacological Bulletin*, 22(1): 119–137.

- Hernández-Alcántara, P., M.A. Tovar-Hernández & V. Solís-Weiss. 2008. Polychaetes (Annelida: Polychaeta) described for the Mexican Pacific: an historical review and an updated checklist. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36(1): 37–61.
- Hernández-Carmona, G., M.M. Casas-Valdez, C. Fajardo-León, I. Sánchez-Rodríguez. & E. Rodríguez-Montesinos. 1990. Evaluación de *Sargassum* spp. en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 5(1): 11–18.
- Hernández-Guerrero, C.J., E. Zubía, M.J. Ortega & J.L. Carballo-Cenizo. 2006. Sesterterpene metabolites from the sponge *Hyatella intestinalis*. *Tetrahedron*, 62(23): 5392–5400.
- Hernández-Guerrero, C.J., E. Zubía, M.J. Ortega & J.L. Carballo-Cenizo. 2007. Cytotoxic dibromotyrosine-derived metabolites from the sponge *Aplysina gerardogreeni*. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 15(15): 5275-5282.
- Herrero-Pérezrul, M.D. 1994. *Estudio comparativo de la reproducción de Isostichopus fuscus (Ludwing, 1875) y Neothyone gibbosa (Deichmann, 1941) (Echinodermata: Holoturoidea), en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 100 p.
- Herrero-Pérezrul, M.D. 2008. Diversity and abundance of reef macro invertebrates (Mollusca; Echinodermata) in the southern Gulf of California, México. Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Florida.
- Herrero-Pérezrul, M.D., H. Reyes-Bonilla, A. González-Azcárraga, C. Cintra-Buenrostro & A. Rojas-Sierra. 2008. Equinodermos. 339-357. En: Danemann, G.D. & E. Ezcurra (Eds.). *Bahía de los Ángeles: Recursos naturales y comunidad: línea base 2007*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

- Naturales, San Diego Natural history Museum. Instituto Nacional de Ecología, 740 p.
- Hollenberg, G.J. & E.Y. Dawson. 1961. Marine red algae of Pacific Mexico: V the Genus *Polysiphonia*. *Pacific Naturalist*, 2: 345–775.
- Holguin-Quiñones, O.E. & F.A. García-Domínguez. 1997. Lista anotada de las especies de moluscos recolectadas en la Bahía de La Paz, B.C.S. 93–117. En: Urbán, R.J. & M.R. Ramírez (Eds.). *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS – CICIMAR – SCRIPPS, 345 p.
- Holguin-Quiñones, O.E., H. Wrigt-López & F. Solís-Marín. 2000. Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea en fondos someros de la Bahía de Loreto, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(4): 749–757.
- Holguin-Quiñones, O.E., F. de J.González-Medina, F. Solís-Marín & E.F. Félix-Pico. 2008. Variación espacio-temporal de *Scleractinia*, *Gorgonacea*, *Gastropoda*, *Bivalvia*, *Cephalopoda*, *Asteroidea*, *Echinoidea* y *Holothuroidea*, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 56(3): 1189–1199.
- Hooper, J.N.A. & R.W.M. Soest van. 2002. *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic. Plenum Publishers, Nueva York, 1101 p.
- Humann, P. 1992. *Reef creature identification: Florida, Caribbean, Bahamas*. New World Publications, Inc. Jacksonville, Florida. 344 p.
- Jiménez, S.V. 1999. *Abundancia y estructura comunitaria de peces de arrecife rocoso en la zona de isla Cerralvo, B.C.S., México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 91 p.

- Jiménez-Illescas, A.R., M. Obeso-Nieblas & D.A. Salas-de León. 1997. Oceanografía física de la Bahía de La Paz, B.C.S. 31–42. En: Urbán, R.J. & M.R. Ramírez (Eds.). *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS – CICIMAR – SCRIPPS, 345 p.
- Jiménez-Valverde, A. & J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8: 151–161.
- Jokiel, P.L., S. Ku’ulei, E.K. Brown, J.C. Kenyon, G. Aeby, W.R. Smith & F. Farrell. 2005. *Comparison of Methods Used to Estimate Coral Cover in the Hawaiian Islands*. National Ocean Service, 22 p.
- Keen, A.M. 1971. *Sea shells of tropical West America. Marine Mollusks from Baja California to Perú*. California: Stanford University Press, Stanford 1064 p.
- Kenyon, J.C., P.S. Vroom, K.N. Page, M.J. Dunlap, C.B. Wilkinson & G.S. Aeby. 2006. Community structure of hermatypic corals at French Frigate Shoals, Northwestern Hawaiian Islands: Capacity for resistance and resilience to selective stressors. *Pacific Science*, 60(2): 153–175.
- Kerstitch, A. & H. Bertsch. 2007. *Sea of Cortez marine invertebrates*. Sea Challengers. 124 p.
- Kolher, K.E. & S.M. Gill. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences*, 32: 1259–1269.
- Kozloff, E.N. 1983. *Seashore life the Northern Pacific Coast: an illustrated guide to Northern California, Oregon, Washington, and British Columbia*. University of Washington Press, Seattle, 95 p.

- Landa-Jaime, V., J. Archiniega-Flores, R.G.de Quevedo-Machain, J.E. Michel-Morfin & G. González-Sansón. 1997. Crustáceos decápodos y estomatópodos de fondos blandos de la plataforma continental de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas*. 23(4): 403–417.
- León-Deniz, L.V. 2003. *Aislamiento, purificación, identificación y evaluación de la actividad antimicrobiana de un compuesto de Aplysina gerardogreeni, Gómez y Bakus, 1992 (Porifera: Demospongia)*. Tesis maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 77 p.
- Limna-Mol, V.P., T.V. Raveendran & P.S. Parameswaran. 2009. Antifouling activity exhibited by secondary metabolites of the marine sponge, *Haliclona exigua* (Kirkpatrick). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63: 67–72.
- Lirman, D., N.R. Gracias, B.E. Gintert, A.C.G. Rodge, R.P. Reid, S. Negahdaripour & P. Kramer. 2006. Development and application of a video-mosaic survey technology to document the status of coral reef communities. *Environmental Monitoring Assessment*, 125(3): 59–73.
- Luna-Salguero, B.M. & H. Reyes-Bonilla. 2010. Estructura comunitaria y trófica de las estrellas de mar (Echinodermata: Asteroidea) en arrecifes rocosos de Loreto, Golfo de California, México. *Hidrobiológica*, 20(2): 127–134.
- Macedo, I.M., B.P. Masi & I.R. Zalmon. 2006. Comparison of rocky intertidal community sampling methods at the northern coast of Rio de Janeiro state, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 54(2/3): 147–154.
- Maldonado, M. 1999. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Nota sobre estudio acerca de esponjas y absorción de sílice. <http://www.dicat.csic.es/maldonad.html>

- Marchand, P.E.O. 2002. *Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima metropolitana*. Tesis de licenciatura Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Universidad de Perú. 71 p.
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Editorial Omega, Barcelona. 951 p.
- Mateo-Cid, L.E., A.C. Mendoza-González, G.C. Galicia & M.L. Huerta. 2000. Contribución al estudio de las algas marinas bentónicas de Punta Arena y Cabo Pulmo, Baja California Sur, México. *Acta Botanica Mexicana*, 52: 55–73.
- Mendoza-Salgado, R.A., C.H. Lechuga-Devéze, E. Amador & S. Pedrín-Avilés. 2011. La calidad ambiental de manglares de B.C.S. 9–26. En: Félix-Pico, E.F., E. Serviere-Zaragoza, R. Riosmena-Rodríguez & J. León-de-la-Luz (Eds.). *Los manglares de la península de Baja California*. CICIMAR – CIB – UABCS, 326 p.
- Menéndez, V.J.L. 2005. Los Poríferos o esponjas. *Asturnatura.com* [en línea] Num. 30. 04/07/2005. <<http://www.asturnatura.com/articulos/porifera/inicio.php>> ISSN 1887-5068.
- Mondragon, J. & J. Mondragon. 2003. *Seaweeds of the Pacific coast*. Sea Challengers, Monterey, 97 p.
- Montes-Plascencia, C.I., C.J. Hernández-Guerrero, B. González-Acosta & R.N. Aguila-Ramírez. 2010. Seasonal variation of the antibacterial activity of *Aplysina gerardogreeni* from the Gulf of California. *Oceánides*, 25(1): 75–81.
- Mora-Cristancho J., S. Zea & D.L. Gil-Agudelo. 2009. Actividad antagónica entre bacterias epibióticas aisladas de esponjas marinas del Caribe colombiano y su relación con la macroepibiosis. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 38(1): 25-38.

- Newbold, R.W., P.R. Jensen, W. Fenical & J.R. Pawlik. 1999. Antimicrobial activity of Caribbean sponges extracts. *Aquatic Microbiology Ecology*, 19: 279–284.
- Norris, J.N. & H.W. Johanson. 1981. Articulated coralline algae of the Gulf of California, Mexico, I: *Amphiroa* Lamouroux. *Smithsonian contributions to the marine sciences*. 9: 1-29.
- Núñez-Flores, M., J.G. Rodríguez-Quintal & M.C. Díaz. 2010. Distribución de esponjas (Porifera) a lo largo de un gradiente de profundidad en un arrecife coralino, Parque Nacional San Esteban, Carabobo, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*. 58(3): 175–187.
- Nuzzo, G., M.L. Ciavatta, G. Villani, E. Manzo, A. Zanfardino, M. Varcamonti & M. Gavagnin. 2012. Fulvynes, antimicrobial polyoxygenated acetylenes from the Mediterranean sponge *Haliclona fulva*. *Tetrahedron*, 68(2): 754–760.
- O'Clair, R.M. & S.C. Lindstrom. 2001. *North Pacific Seaweeds*. Plant Press, 161 p.
- Ohlhorst, S.L., W.D. Liddell, R.J. Taylor & J.M. Taylor. 1988. Evaluation of reef census techniques. 319–324. En: Choat, J.H., D. Barnes, M.A. Borowitzka, J.C. Coll, P.J. Davies, P. Flood, B.G. Hatcher, D. Hopley, P.A. Hutchings, D. Kinsey, G.R. Orme, M. Pichon, P.F. Sale, P. Sammarco, C.C. Wallace, C. Wilkinson, E. Wolanski & O. Bellwood (Eds.). *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium*. Vol. 2: Contributed Papers. Townsville.
- Ortiz-Aguirre, I., R.N. Aguila-Ramírez & C.J. Hernández-Guerrero. 2012. *Macroalgas y peces herbívoros en arrecifes rocosos: Relación de la herbivoría de peces y la biomasa de macroalgas en arrecifes rocosos*. Editorial Académica Española, Saarbrücken, 66 p.
- Pacheco-Ruíz, I., J.A. Zertuche-González, J. Esponzoza-Ávalos, R. Riosmena-Rodríguez, L. Galindo-Bect, A. Gálvez-Télles, A.E. Meling-López & J. Orduña-Rojas. 2008. Macroalgas. 179–214. En: Danemann, G.D. & E. Ezcurra (Eds.).

- Bahía de los Ángeles: Recursos naturales y comunidad: línea base 2007.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, San Diego Natural History Museum. Instituto Nacional de Ecología, 345 p.
- Page, M., L. West, P. Nothcote, C. Battershill & M. Kelly. 2005. Spatial and temporal variability of cytotoxic metabolites in populations of the New Zealand sponge *Mycale hentscheli*. *Journal of Chemical Ecology*, 31(5): 1161-1174.
- Pansini, M., R. Cattanea-Vietti & S. Shiaprelli. 1999. Relationship between sponges and a taxon of obligatory inquilines: the siliquariid molluscs. *Memorial Queensland Museum*, 44: 427–437.
- Parra-Velandia, F.J. & S. Zea. 2003. Comparación de la abundancia y distribución de algunas características de las esponjas del género *Ircinia* (Porifera: Demospongiae) en dos contrastantes del área de Santa Marta, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 32: 75–91.
- Paul-Chávez, L. 2000. *Evaluación taxonómica de las especies del género Padina Adanson 1763 (Dictyotales: Phaeophyta) para el Golfo de California*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 93 p.
- Paul-Chávez, L. 2005. *Taxonomía y dinámica poblacional del complejo Sinicola (Fucales; Phaeophyta) para el Suroeste del Golfo de California*. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 174 p.
- Paul-Chávez, L., M. del C. Ceseña-Arce, E.F. Rosas-Alquicira & R. Riosmena-Rodríguez. 2006. Estructura poblacional y fenología de *Padina caulescens* (Dictyotales: Phaeophyta) para la boca de la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *Ciencia y Mar*, 10(30): 11–20.

- Pauls, S. M. 2001. *Variación temporal en la estructura de una pequeña comunidad de esponjas, en el archipiélago de Los Roques, Venezuela*. Resumen ampliado en el IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. San Andrés Isla, Colombia.
- Pawlik, J.R. 1993. Marine invertebrate chemical defenses. *Chemistry Review*, 93: 1911–1922.
- Pawlik, J.R. 2000. Marine Chemical Ecology. *Marine Ecology Progress Series*, 207: 225–226.
- Phinn, S.R., C.M. Roelfsema, A.G. Dekker, V.E. Brando, J. Anstee & P. Daniel. 2006. *Remote sensing for coastal ecosystem indicators assessment and monitoring*. Reporte técnico. Cooperative Research Centre for Coastal Zone, Estuary & Waterway Management, 24 p.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretic Biology*, 13: 131–144.
- Pliego-Cárdenas, R. 2009. *Biología reproductiva del pulpo Octopus hubbsorum Berry, 1953 (Cephalopoda, Octopodidae) en la Isla Espíritu Santo, Golfo de California, México*. Tesis de maestría Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 53 p.
- Plougerné, E., C. Hellio, E. Deslandes, B. Véron & V. Stiger-Pouvreau. 2008. Anti-microfouling activities in extracts of two invasive algae: *Grateloupia turuturu* and *Sargassum muticum*. *Botanica Marina*, 51: 202–208.
- Proksch, P. 1994. Defensive roles for secondary metabolites from marine sponges and sponge-feeding nudibranchs. *Toxicon*, 32(6): 639–655.
- Puyana, M., N.V. Petrichcheva, A.L. Morales, C. Duque & S. Zea. 2002. Algunos aspectos de ecología química de las esponjas del Caribe *Axinyssa ambrosia* y

- Aplysina insularis*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias, Química*, 26(101): 556–574.
- Ramírez-Rodríguez, M. & L.C.A. Naegel. 2003. Crecimiento del caracol de tinte *Plicopurpura pansa* en Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 29(3): 283–290.
- Readdie, M.D., M. Ranelletti & R.M. McCourt. 2006. *Algas comunes del Golfo de California*. Sea Challengers, 104 p.
- Reyes-Bonilla, H. 1997. *Biología poblacional de Isostichopus fuscus (Ludwig, 1875) (Echinodermata: Holothuridea) en el sur del Golfo de California*. Informe final de Proyecto H216.
- Reyes-Bonilla, H. & G. Cruz-Piñón. 2000. Biogeografía de los corales Ahermatípicos (Scleractinia) del Pacífico de México. *Ciencias Marinas*, 26(3): 511–531.
- Reyes-Bonilla, H., L.E. Calderón-Aguilera, G. Cruz-Piñón, R.P. Medina, P.R.A. López, M.D. Herrero-Pérezrul, M.G.E. Leyte, M.A.L. Cupul & B.J.D. Carriquiry. 2005<sup>a</sup>. *Atlas de corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico mexicano*. Editorial Triciclo, Guadalajara, 124 p.
- Reyes-Bonilla, H., A. González-Azcárraga & A. Rojas-Sierra. 2005b. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 53(3): 233-244.
- Reyes-Bonilla, H., S. González-Romero, G. Cruz-Piñón & L.E. Calderón-Aguilera. 2008. Corales Pétreos. 291–317. En: Danemann, G.D., & E. Ezcurra (Eds.). *Bahía de Los Ángeles: Recursos naturales y comunidad: línea base 2007*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, San Diego Natural history Museum. Instituto Nacional de Ecología, 740 p.

- Reyes-Bonilla, H., L.E. Calderón-Aguilera, G. Cruz-Piñón, R.A. López-Pérez & P. Medina-Rosas. 2010. Evaluación de la diversidad gama de corales arrecifales (Scleractinia) en el Pacífico de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81: 113–121.
- Ríos-Jara, E., C.M. Galván-Villa & F.A. Solís-Marín. 2008. Equinodermos del Parque Nacional Isla Isabel, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 131–141.
- Riosmena-Rodríguez, R. & L. Paul-Chávez. 1997. Sistemática y biogeografía de macroalgas de la Bahía de La Paz, B.C.S. 59-82. En: Urbán, R.J. & M.R. Ramírez (Eds.). *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS – CICIMAR – SCRIPPS, 345 p.
- Riosmena-Rodríguez, R., G. Hinojosa-Arango, J.M. López-Vivas, K. León-Cisneros & E. Holguin-Acosta. 2005. Caracterización espacial y biogeográfica de las asociaciones de macroalgas de Bahía del Rincon, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical*, 53(1-2): 97–109.
- Rivera, M.G. 2003. *Estructura y dinámica poblacional de Sargassum lapazeanum (Phaeophyceae, Fucales) del suroeste del Golfo de California, México*. Tesis de maestría Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 91 p.
- Rivero-Calle, S. 2010. *Ecological aspects of sponges in mesophotic coral ecosystems*. Tesis maestría. University of Puerto Rico, 85 p.
- Rodríguez-Salazar, M.E., S. Álvarez-Hernández & E. Bravo-Núñez. 2001. *Coeficientes de asociación*. Editorial Plaza y Valdez, México Distrito Federal, 173 p.
- Rodríguez-Valencia, J.A., F. Caballero-Alegría, F. Uribe-Osorio & A. Arano-Castañón. 2002. Abundancia y asociaciones de dos gasterópodos (*Astraea* y *Haliotis*)

- comercialmente importantes en isla San Jerónimo, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 28(1): 49–66.
- Rojas-Brenes, R., H. Borbón-Alpizar, V. Bagnarello-Madrigal, R. Viquez-Portuguez, R. Soto-Fallas, I. Vega-Guzmán & J. Herrera-Núñez. 2012. Determinación de la actividad antibacterial de la esponja marina *Ircinia campana* recolectada en Punta Uva Limón contra *Staphylococcus aureus*. *Uniciencia*, 26: 91–97.
- Rutzler, K. 1976. Ecology of Tunisian commercial sponges. *Tethys*, 7(2-3): 249–264.
- Rutzler, K. 1978. Sponges in coral reefs. 299–313. En: Stoddart, D.R., & R.E. Johannes (Eds.). *Coral Reefs: Research Methods*. UNESCO, 439.
- Rutzler, K. 1996. Sponge diving – professional but not for profit. 183–205. En: Lang, M.A. & C.C. Baldwin (Eds.). *Methods and techniques of underwater research*. Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences Scientific Diving Symposium.
- Rutzler, K. & C. Feller. 1987. Mangrove swamp communities. *Oceanus*, 30(4): 16–24.
- Saad-Navarro, G. & R. Riosmena-Rodríguez. 2005. Variación espacial y temporal de la riqueza florística de macroalgas en la zona rocosa de Bahía de Muertos B.C.S. México. *Ciencia y Mar*, 9(26): 19–32.
- Salama, A.M., M. Gamboa-Estrada & M. Pinzón-Orjuela. 2001. Actividad antimicrobiana y antitumoral de la variabilina y sus enantiómeros aislados de *Ircinia felix*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 30: 74-80.
- Salazar-Vallejo, S.I. & M.H. Londoño-Mesa. 2004. Lista de especies y bibliografía de poliquetos (Polychaeta) del Pacífico Oriental Tropical. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Series Zoología*, 75(1): 9–97.

- Sánchez, M. 2005. *Ecología, biología y cultivo extensivo de la Madreperla de Calafia, Pinctada mazatlanica (Hanley 1856), y la Concha Nácar Arcoíris, Pteria sterna (Gould 1852) en Bahía de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreoeste, 132 p.
- Sánchez-Alcántara, I. 2007. *Guía de identificación de invertebrados de Bahía de La Paz, Baja California Sur. México*. IV Congreso Mexicano de Arrecifes Coralinos. La Paz, Baja California Sur, México.
- Sánchez-Ortiz, C.A., I.C. Huerta, J.L. Cervantes & J. Fiol. 1997. Crustáceos decápodos de aguas profundas de la Bahía de La Paz, B.C.S. 129–137. En: Urbán, R.J. & M.R. Ramírez (Eds.). *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS – CICIMAR – SCRIPPS, 345 p.
- Sánchez-Ortiz, C.A. 2000. *Biodiversidad de moluscos opisthobranchios (Mollusca: Opisthobranchiata), del Pacífico mexicano: Isla Cedros-Vizcaíno e islas del Golfo de California parte Sur*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto L136.
- Sánchez-Rodríguez, I. & R. Cervantes-Duarte. 1999. Longitud y biomasa de *Sargassum horridum* Setchell et Gardner (Phaeophyta) en Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Hidrobiológica*, 9(2): 117-124.
- Sanford, F. 1994. The Florida hermit-crab sponge, a little know “mobile” sponge from the NE corner of the Gulf of Mexico, and its hermit crab associates. 273–278. En: Van-Soest, R.W.M., T.M.G. Kempen van, J.C. Braekman & A.A. Balkmas (Eds.). *Sponges in time and space*, 264 p.
- Sará, M. & J. Vacelet. 1973. Écologie des Démosponges. *Traité de Zoologie*, 3(1): 462–576.

- Schupp, P., C. Eder, V. Paul & P. Proksch. 1999. Distribution of secondary metabolites in the sponge *Oceanapia* sp. and its ecological implications. *Marine Biology*, 135: 573-580.
- Selegim, M.H.R., S.P. Lira, M.H. Kossuga, T. Batista, R.G.S. Berlinck, E. Hajdu, G. Muricy, R.M. Da-Rocha, G.G.F. Do-Nascimento, M. Silva, E.F. Pimenta, O.H. Thiemann, G. Oliva, B.C. Cavalcanti, C. Pessoa, M.O. De-Moures, F.C.S. Galetti, C.L. Silva, A.O. De-Souza & S. Peixinho. 2007. Antibiotic, cytotoxic and enzyme inhibitory activity of crude extracts from Brazilian marine invertebrates. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 17(3): 287–318.
- Setchell, W.A. & N.L. Gardner. 1924. Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921. *Proceeding of the California Academy of Sciences*, 12: 695–949.
- Siqueiros-Beltrones, D.A., & R. Riosmena-Rodríguez. 1998. *Macroalgas marinas de Baja California Sur, Parte 1: Bahía de La Paz y Bahía de La Ventana*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. P103.
- Solís-Marín, F.A. 1998. *Catálogo de los equinodermos recientes de México (Fase I)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO. G010.
- Solís-Marín, F.A., H. Reyes-Bonilla, M.D. Herrero-Pérezrul, O. Arizpe-Covarrubias & A. Laguarda-Figueras. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la Bahía de La Paz. *Ciencias Marinas*, 23(2): 249–263.
- Solís-Marín, F.A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, C. Gust-Ahearn & J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 53(3): 123-137.

- Solís-Weiss, V. 1997. *Atlas de anélidos poliquetos de la plataforma continental del Golfo de California, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto B113.
- Solís-Weiss, V., J.A. León-González & L. González-Ortíz. 2000. Un análisis biogeográfico de los poliquetos (Annelida: Polychaeta) del Golfo de Tehuantepec, México. *Revista Peruana de Biología*, 7(1):
- Suárez-Castillo, A.N. 2008. *Fauna asociada a mantos de Sargassum (Ochrophyta: Fucales) en el Sauzoso, Baja California Sur, México*. Tesis de maestría Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional. 145 p.
- Taylor, R.W. 1945. Pacific marine algae of the Allan Hancock expeditions to the Galapagos Islands. *The University of Southern California Publications*. 10: 780.
- Taylor, M.W., R. Radax, D. Steger & M. Wagner. 2007. Sponge-Associated Microorganisms: Evolution, Ecology, and Biotechnological Potential. *Microbiology Molecular Biological Review*, 71(2): 295–347.
- Teixidó, N., M.C. Pineda & J. Garabou. 2009. Decadal demographic trends of a long-lived temperate encrusting sponge. *Marine Ecology Progress Series*, 375: 113–124.
- Thomson D.A., L.T. Findley & A.N. Kerrstich. 2000. *Reef fishes of the Sea of Cortez*. University of Texas Press. 353 p.
- Torres-Alfaro, G.M. 2010. *Ecología de la taxocenosis de peracáridos macrobentónicos en playas arenosas protegidas: análisis multiescala de los patrones ecológicos y consideraciones para el manejo sustentable*. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, 110 p.

- Tsoukatou, M., J.P. Maréchal, C. Hellio, I. Novakovic, S. Tufegdžic, D. Sladic, M.J. Gasic, A.S. Clare, C. Vagias & V. Roussis. 2007. Evaluation of the activity of the sponge metabolites Avarol and Avarone and their synthetic derivatives against fouling micro- and macroorganisms. *Molecules*, 12: 1022–1034.
- Turon, X., M.A. Becerro & M.J. Uriz. 1996. Seasonal patterns of toxicity in benthic invertebrates: the encrusting sponge *Crambe crambe* (Poecilosclerida). *Oikos*, 75: 33–40.
- Turon, X., R. Martí & M.J. Uriz. 2009. Chemical bioactivity of sponges along an environmental gradient in a Mediterranean cave. *Scientia Marina*, 73(2): 387–397.
- Uriz, M.J., D. Martín & D. Rosell. 1991. Relationships of biological and taxonomic characteristics to chemically mediated bioactivity in Mediterranean littoral sponges. *Marine Biology*, 113: 287-297.
- Uriz, M.J., M.A. Becerro & X. Turon. 1996. Location of toxicity within the Mediterranean sponge *Crambe crambe* (Demospongiae, Poecilosclerida). *Marine Biology*, 124: 583–590.
- Valderrama, D. & S. Zea. 2003. Patterns of reef sponge distribution in the north-west Urabá Gulf, Southern Caribbean, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 32(1): 37–56.
- Valdés-Iglesias, O., R. Pérez-Gil & Y. Colom. 2010. Actividad antitumoral de los organismos marinos. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 10(19): ISSN-1683-8904.
- Valencia-Agamí, S.S. 2010. *Actividad antibacteriana del extracto y fracciones semipurificadas de la esponja Aplysina gerardogreeni*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 44 p.

- Van Den Hoek, C., D.G. Mann & H.M. Jahns. 2002. *Algae, An introduction to phycology*. Editorial Cambridge, Melbourne, 623 p.
- Verdugo-Díaz, G. 2004. *Respuesta ecofisiológica del fitoplancton ante la variabilidad ambiental en una Bahía subtropical de Baja California Sur, México*. Tesis de doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, 138 p.
- Veron, J. 2000a. *Corals of the world*. Volumen 1. World Life Library, Stillwater, 463 p.
- Veron, J. 2000b. *Corals of the world*. Volumen 2. World Life Library, Stillwater, 429 p.
- Veron, J. 2000c. *Corals of the world*. Volumen 3. World Life Library, Stillwater, 490 p.
- Vicencio-Aguilar, M.D. 1998. *Estructura de la Comunidad de Moluscos de Cabo Pulmo, B.C.S., México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 77 p.
- Villegas, S.C.A. 2004. *Ictiofauna de arrecifes rocosos en la isla San José, B.C.S., México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, 98 p.
- Voogd, N.J., L.E. Becking & D.F.R. Cleary. 2009. Sponge community composition in the Derawan Islands, NE Kalimantan, Indonesia. *Marine Ecology Progress Series*, 396: 169–180.
- Willott, S.J. 2001. Species accumulation curves and the measure of sampling effort. *Journal of Applied Ecology*, 38: 484–486.
- Zapata, F.A., A. Rodríguez-Ramírez, C. Caro-Zambrano & J. Garzón-Ferreira. 2010. Mid-term coral-algal dynamics and conservation status of a Gorgona Island (Tropical Eastern Pacific) coral reef. *Revista de Biología Tropical*, 58(1): 81–94.

- Zea, S. 1998. Estado actual del conocimiento en sistematica de esponjas marinas (Porifera) del Caribe Colombiano. *Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales*, 33: 45–59.
- Zubía, E., M.J. Ortega & J.L. Carballo-Cenizo. 2008a. Sesquiterpenes from the sponge *Axinyssa Isabela*. *Journal of Natural Products*, 71(12): 2004–2010.
- Zubía, E., M.J. Ortega, C.J. Hernández-Guerrero & J.L. Carballo-Cenizo. 2008b. Isothiocyanate sesquiterpenes from a sponge of the genus *Axinyssa*. *Journal of Natural Products*, 71(4): 608–614.

## XII. ANEXOS

### Anexo 1. Listado taxonómico

#### MACROALGAS

##### Rhodophyta

###### Florideophyceae

###### Corallinales

###### Corallinaceae

*Amphiroa* sp J.V. Lamouroux, 1812

*Jania adhaerens* J.V. Lamouroux, 1816

###### Ceramiales

###### Rhodomelaceae

*Laurencia* sp Lamouroux , 1813

*Acanthophora spicifera* (M. Vahl) Borgesen, 1910

##### Heterokontophyta

###### Phaeophyceae

###### Dictyotales

###### Dictyotaceae

*Dictyota* sp J.V. Lamouroux , 1809

*Padina* sp Adanson , 1763

###### Ectocarpales

###### Scytosiphonaceae

*Hydrpclathrus clathratus* (C. Agardh) M.A. Howe, 1920

###### Fucales

###### Sargassaceae

*Sargassum* sp C. Agardh , 1820

Chlorophyta

Ulvophyceae

Ulvales

Ulvaceae

*Ulva lactuca* Linnaeus, 1753

Bryopsidophyceae

Bryopsidales

Bryopsidaceae

*Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh, 1873

Codiaceae

*Codium* sp. Stackhouse, 1797

**INVERTEBRADOS**

Porifera

Demospongiae

Astrophorida

Geodiidae

*Geodia media* Bowerbank, 1873

Dictyoceratida

Irciniidae

*Ircinia* sp Nardo, 1833

Haplosclerida

Callyspongiidae

*Callyspongia* sp. Duchassaing & Michelloti, 1864

*Callyspongia californica* Dickinson, 1945

Chalinidae

*Haliclona caerulea* Hechtel, 1965

*Haliclona turquoisia* de Laubenfels, 1954

Poecilosclerida

Coelosphaeridae

*Lissodendoryx schmidti* Ridley, 1884

Mycalidae

*Mycale (Carmia) cecilia* de Laubenfels, 1936

*Mycale ramulosa* Bowerbank, 1875

Cnidaria

Anthozoa

Alcyonacea

Gorgoniidae

*Eugorgia rubens* Verrill, 1868

Scleractinia

Agariciidae

*Pavona gigantea* Verrill, 1869

Dendrophylliidae

*Tubastraea coccinea* Lesson, 1829

Pocilloporidae

*Pocillopora capitata* Verrill, 1864

*Pocillopora damicornis* Linnaeus, 1758

*Pocillopora elegans* Dana, 1846

*Pocillopora verrucosa* Ellis & Solander, 1786

Poritidae

*Porites panamensis* Verrill, 1866

Siderastreidae

*Psammocora stellata* Verrill, 1866

Zoanthidea

Zoanthidae

*Palythoa* sp. Lamouroux, 1816

Hydrozoa

Leptothecatae

Aglaopheniidae

*Aglaophenia diegensis* Torrey, 1904

Mollusca

Bivalvia

Mytiloida

Mytilidae

*Modiolus capax* Conrad, 1837

Pterioida

Pteriidae

*Pinctada mazatlanica* Hanley, 1856

Pteriomorpha

Pinnidae

*Pinna rugosa* Sowerby, 1835

Spondylidae

*Spondylus calcifer* Carpenter, 1857

Gastropoda

Archaeogastropoda

Fissurellidae

*Diodora inaequalis* Sowerby, 1835

Neogastropoda

Muricidae

*Muriacanthus* sp. Swainson, 1840

Annelida

Polychaeta

Canalipalpata

Sabellidae

*Bispira rugosa* Sasakawa, 2005

....*Phragmatopoma californica* Kinberg, 1867

*Spirobranchus giganteus* Pallas, 1766

Arthropoda

Malacostraca

Decapoda

Alpheidae

*Synalpheus digueti* Coutiere, 1909

Carpiliidae

*Cycloxanthops vittatus* Stimpson, 1860

Maxillopoda

Sessilia

Tetraclitidae

*Tetraclita stalactifera* Lamarck, 1818

Echinodermata

Asteroidea

Forcipulatida

Heiasteridae

*Heliaster kubiniji* Xantus, 1860

Spinulosida

Acanthasteridae

*Acanthaster ellisi* Voss, 1932

Mithrodiidae

*Mithrodia bradleyi* Fisher, 1906

Valvatida

Ophidiasteridae

*Pharia pyramidata* Gray, 1840

*Phataria unifascialis* Gray, 1849

Oreasteridae

*Nidorellia armata* Gray, 1840

Echinoidea

Arbacioida

Arbaciidae

*Arbacia incisa* A. Agassiz, 1872

Cidaroida

Cidaridae

*Eucidaris thouarsii* Valenciennes, 1846

Diadematoida

Diadematidae

*Centrostephanus coronatus* Verill, 1867

Echinoida

Echinometridae

*Echinometra vanbrunti* Agassiz, 1863

Temnopleuroida

Toxopneustidae

*Toxopneustes roseus* A. Agassiz, 1863

*Tripneustes depressus* A. Agassiz, 1841

Holothuroidea

Apodida

Synaptidae

*Euapta godeffroyi* Semper, 1868

Aspidochirotida

Holothuriidae

*Holothuria impatiens* Forskaal, 1775

*Holothuria zaca* Deichmann, 1937

Stichopodidae

*Isostichopus fuscus* Ludwig, 1875

Ophiuroidea

Ophiurida

Ophiocomidae

*Ophiocoma alexandri* Lyman, 1860

Ophiodermatidae

*Ophioderma panamense* Lutken, 1859

## **PECES**

Chordata

Actinopterygii

Gasterosteiformes

Syngnathidae

*Hippocampus ingens* Girard, 1859

Perciformes

Labridae

*Thalassoma lucasanum* Gill, 1862

Pomacentridae

*Stegastes rectifraenum* Gill, 1862

Chordata

En este listado se muestran las macroalgas a nivel de especie, o genero dependiendo el caso, encontradas en Punta Arena de la Ventana, mostrando División/Phyllum, Clase, Orden, Familia, y finalmente genero y/o especie, con el año y la autoridad que la describió

**Anexo 2.** Calidad del inventario mediante curvas los valores de curva de acumulación de especies y function de Clench.

Localidad	Pendiente de Clench	Calidad del inventario	Esfuerzo necesario para llegar al 95% de las especies
<b>Agua de Yepiz</b>	0.0303	81.90%	105 fototransectos más
<b>La Bruja</b>	0.0303	87.20%	473 fototransectos más

Se muestran los valores obtenidos para los inventarios faunísticos de las evaluadas, de igual manera se observa el esfuerzo necesario para obtener un inventario del 95% de las especies.

**Anexo 3.** Valores de correlación para las variables ambientales.

	Med	D. Es.	End	C CO	C MA	C EQ	Te	Fos	Nitra	Nitri	Ri	Do	Eq	Dv
<b>End</b>	5.227	2.467	1.00	0.045	-0.144	-0.111	0.172	0.186	-0.200	-0.197	-0.211	0.207	-0.229	-0.281
<b>C CO</b>	147.30	53.981		1.000	-0.604	0.742	-0.582	0.322	-0.185	-0.766	0.642	-0.310	0.233	0.273
<b>C MA</b>	58.401	85.929			1.000	-0.411	-0.148	-0.072	0.868	0.729	-0.228	-0.260	0.330	0.272
<b>C EQ</b>	5.120	3.381				1.000	-0.806	-0.377	0.076	-0.187	0.900	-0.202	0.188	0.442
<b>Te</b>	22.359	2.190					1.000	0.197	-0.619	-0.045	-0.820	0.492	-0.497	-0.669
<b>Fos</b>	0.533	0.279						1.000	-0.150	-0.707	-0.340	-0.262	0.183	-0.125
<b>Nitra</b>	0.837	0.390							1.000	0.597	0.229	-0.455	0.513	0.552
<b>Nitri</b>	0.085	0.049								1.000	-0.086	0.095	0.008	0.148
<b>Ri</b>	21.681	6.244									1.000	-0.570	0.568	0.775
<b>Do</b>	0.193	0.062										1.000	-0.994	-0.918
<b>Eq</b>	0.695	0.065											1.000	0.939
<b>Dv</b>	1.900	0.349												1.000

**p < 0.05; N=22**

Se muestran los valores de la correlación de Pearson para las variables ambientales obtenidas con el programa Statistica 8. Med = Media, D. Es.= Desviación estándar, End = Endobiontes, C CO = Cobertura coralina, C MA = Cobertura macroalgal, C EQ = Porción del área que ocuparon los equinodermos, Te = Temperatura, Fos = Fosfatos, Nitra = Nitratos, Nitri = Nitritos, Ri = Riqueza, Do = Dominancia, Eq = Equidad, Dv = Diversidad.

**Anexo 4.** Valores de correlación entre la actividad biológica por cepa evaluada.

	Med	D. Es	<i>S. aureus</i>	<i>P. elyakovii</i>	<i>V. aes</i>	<i>P. ingensii</i>	<i>H. marina</i>	<i>S. put</i>	<i>C. clo</i>	<i>E. gayraliae</i>
<i>S. aureus</i>	2.514	4.777	1.000	0.232	0.212	0.174	0.141	0.044	-0.139	0.025
<i>P. elyakovii</i>	36.727	36.989		1.000	0.672	0.808	0.830	0.789	0.468	0.643
<i>V. aes</i>	37.841	37.032			1.000	0.383	0.871	0.827	0.506	0.674
<i>P. ingensii</i>	52.409	28.515				1.000	0.556	0.551	0.113	0.333
<i>H. marina</i>	42.468	38.313					1.000	0.961	0.623	0.803
<i>S. put</i>	40.736	38.913						1.000	0.660	0.781
<i>C. clo</i>	44.459	43.327							1.000	0.744
<i>E. gayraliae</i>	52.364	34.764								1.000
<b>p&lt;0.05, N=22</b>										

Se muestran los valores de la correlación de Pearson para las variables ambientales obtenidas con el programa Statistica 8. Med = Media, D. Es.= Desviacion estandar, *V. aes* = *Vibrio aestuarianus*, *S. put* = *Shewanella putrefasciens*, *C. clo* = *Cylindrotheca cloisterium*.

**Anexo 5.** Correlación entre la actividad biológica y las variables ambientales.

	Med	D. Es.	<i>S. aureus</i>	<i>P. elyakovii</i>	<i>V. aestuarianus</i>	<i>P. ingensii</i>	<i>H. marina</i>	<i>S. putrefasciens</i>	<i>C. cloisterium</i>	<i>E. gayraliae</i>	End	Fosf	Dv
<i>S. aureus</i>	2.514	4.777	1.000	0.232	0.212	0.174	0.141	0.044	-0.139	0.025	0.329	-0.071	-0.214
<i>P. elyakovii</i>	36.727	36.989		1.000	0.672	0.808	0.830	0.789	0.468	0.643	0.449	0.415	-0.395
<i>V. aestuarianus</i>	37.841	37.032			1.000	0.383	0.871	0.827	0.506	0.674	0.449	0.434	-0.365
<i>P. ingensii</i>	52.409	28.515				1.000	0.556	0.551	0.113	0.333	0.296	0.116	-0.025
<i>H. marina</i>	42.468	38.313					1.000	0.961	0.623	0.803	0.252	0.552	-0.375
<i>S. putrefasciens</i>	40.736	38.913						1.000	0.660	0.781	0.210	0.545	-0.266
<i>C. cloisterium</i>	44.459	43.327							1.000	0.744	0.252	0.780	-0.330
<i>E. gayraliae</i>	52.364	34.764								1.000	0.336	0.726	-0.301
Endobiontes	5.227	2.468									1.000	0.186	-0.282
Fosfatos	0.533	0.279										1.000	-0.126
Diversidad	1.900	0.349											1.000

**p < 0.05; N=22**

Se muestran los valores de la correlación de Pearson para la actividad biológica respect a las variables ambientales obtenidas con el programa Statistica 8. Med = Media, D. Es.= Desviación estandar, End = Endobiontes, C CO = Cobertura coralina, C MA = Cobertura macroalgal, C EQ = Porción del área que ocuparon los equinodermos, Te = Temperatura, Fos = Fosfatos, Nitra = Nitratos, Nitri = Nitritos, Ri = Riqueza, Do = Dominancia, Eq = Equidad, Dv = Diversidad.