

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial *Citocromo Oxidasa subunidad 1* (COI), como marcador molecular.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIOLÓGO ACUICULTOR**

**Autor**

- Bach. Santos Rojas, Luis Enrique

**Asesor**

- Dra. Zelada Mázmela, Eliana Victoria

- Código Orcid: 0000-0002-5813-0954

**Co-asesor**

- Mg. (c). Reyes Flores, Lorenzo Eduardo

- Código Orcid: 0000-0002-1993-8010

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial *Citocromo Oxidasa subunidad 1* (COI), como marcador molecular.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIOLÓGO ACUICULTOR**

**Revisado y firmado por el Asesor y Co-asesor**

-----  
**Asesora**  
Dra. Zelada Mázmela, Eliana Victoria  
DNI: 17842746  
ORCID: 0000-0002-5813-0954

-----  
**Co-asesor**  
Mg. (C). Reyes Flores, Eduardo Lorenzo  
DNI: 32734867  
ORCID: 0000-0002-1993-8010

**Nuevo Chimbote – Perú**

**2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial *Citocromo Oxidasa subunidad 1* (COI), como marcador molecular.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIOLÓGO ACUICULTOR**

**Revisado y aprobado por el Jurado Evaluador**

-----  
**Dr. Azañero Díaz, Carlos Alberto**  
**Presidente**

DNI: 18093785

ORCID: 0000-0002-5612-4104

-----  
**Dr. Quispe Villanueva, Manuel**  
**Secretario**

DNI: 17916826

ORCID: 0000-0001-6120-8399

-----  
**Dra. Zelada Mázmeza, Eliana Victoria**  
**Integrante**

DNI: 17842746

ORCID: 0000-0002-5813-0954

**Nuevo Chimbote – Perú**  
**2023**

## ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUTENTACIÓN DE LA TESIS

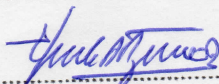
En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Aula Multimedia 3er piso de la Facultad de Ciencias siendo las 12:00 horas del día 06 de noviembre del 2023, dando cumplimiento a la Resolución N° 314-2023-UNI-FC se reunió el Jurado Evaluador presidido por Dr. Carlos Azanero Diaz, teniendo como miembros a Dr. Manuel Osipe Villanueva (secretario) (a), y Dra. Eliana Zelada Marmela (integrante), para la sustentación de tesis a fin de optar el título de Biólogo Acuicultor realizado por el, (la), (los) tesista (as)

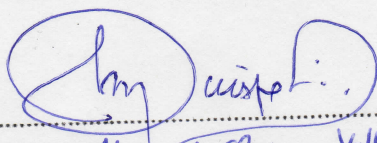
Luis Enrique Santos Rojas (Cdd. 0211222044), quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada: "Identificación de las especies de equimodermas del litoral peruano mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial Citocromo Oxidasa subunidad 1 (COI) como marcador molecular"

Terminada la sustentación, el (la), (los) tesista (as)s respondió (ieron) a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Ex celente asignándole un calificativo de Diecinueve (19) puntos, según artículo 111° del Reglamento General de Grados y Títulos vigente (Resolución N° 580-2022-CU.-R-UNS)

Siendo las 14:00 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad

  
Nombre: Carlos Azanero Diaz  
Presidente

  
Nombre: Manuel Osipe Villanueva  
Secretario

  
Nombre: Eliana Zelada Marmela  
Integrante

Distribución: Integrantes J.E 03, tesis 01 y archivo (02).





## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Luis Enrique Santos Rojas  
Título del ejercicio: TESIS  
Título de la entrega: Identificación de las especies de equinodermos del litoral p...  
Nombre del archivo: INFORME\_FINAL\_TESIS\_LEnrique.docx  
Tamaño del archivo: 22.52M  
Total páginas: 144  
Total de palabras: 34,139  
Total de caracteres: 199,897  
Fecha de entrega: 30-oct.-2023 09:33a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2211992944

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial *Citocromo Oxidasa subunidad I (COI)*, como marcador molecular.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIOLÓGO ACUICULTOR

**Autor**

- Br. Luis Enrique Santos Rojas

**Asesor**

- Blga. Eliana Victoria Zelada Mízmela Dr.

**Co-asesor**

- Blgo. Lorenzo Eduardo Reyes Flores Mg. (c).

Nuevo Chimbote – Perú

2023

# Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial Citocromo Oxidasa subunidad 1 (COI), como marcador molecular

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

12%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	1%
3	<a href="https://vdoc.pub">vdoc.pub</a> Fuente de Internet	<1%
4	<a href="https://es.wikipedia.org">es.wikipedia.org</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="https://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://www.mapress.com">www.mapress.com</a> Fuente de Internet	<1%
7	Adrian Arvizu Ruiz, Hector Reyes Bonilla. "CHARACTERISATION OF FOOD GUILDS OF THE CLASS GASTROPODA ON THE	<1%

## **DEDICATORIA**

A mis padres por la educación, amor y enseñanzas que me han proporcionado. Ustedes fueron fundamentales para la culminación de mi tesis. Sus enseñanzas las aplico día a día.

A mis queridas hermanas, Vivian y Jimena, quienes estuvieron siempre presentes acompañándome en la lucha diaria para conseguir mis metas y siendo mi soporte emocional al final del día.

**LUIS ENRIQUE SANTOS ROJAS**

## AGRADECIMIENTO

La culminación de esta tesis es el resultado a la dedicación, perseverancia y esfuerzo personal y la de mi familia. Durante esta etapa, muchas personas han brindado su apoyo, y a todas ellas quiero expresarles mi más sincera gratitud, en especial a mis tíos: Mariela Santos Rodríguez, Ricardo Santos Morales y Luis Buiza Santos, quienes en vida me apoyaron de manera incondicional durante esta etapa, siempre estaré agradecido con ellos.

A la Dra. Eliana Zelada Mázmela, asesora de este trabajo, jefa del laboratorio de Genética, Fisiología y Reproducción y una gran mentora. Siempre estaré eternamente agradecido por todas sus enseñanzas, consejos (tanto en la parte académica como la personal) y por brindarme la oportunidad de formar parte del Laboratorio y de encaminarme en el apasionante mundo de la Biología Molecular. Por ser un ejemplo de lucha y perseverancia. Mi agradecimiento y admiración por siempre.

A mi Co-asesor Eduardo Reyes Flores, por su apoyo incondicional en la recolección de organismos, en el adiestramiento en las técnicas moleculares y análisis bioinformático de la presente investigación. Gracias por la confianza, por la amistad y por todos tus aportes.

A la profesora Carmen Yzásiga Barrera por su apoyo y amistad, por la manera tan optimista, divertida y alegre de ver la vida y solucionar todo de manera práctica y de buen humor. Gracias por todo.

Al Dr. Jorge Luis Ramirez Malaver, por su ayuda en el procesamiento y presentación de los resultados.

A la Blga. Lesly Llaja, por su apoyo en la identificación taxonómica y en la elaboración de las fichas descriptivas de las especies de equinodermos. Así mismo agradecer su disposición y comentarios.

Este trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Fisiología, Genética y Reproducción de Organismos Acuáticos de la Escuela de Biología en Acuicultura de la Universidad Nacional del Santa, al cual agradezco por acogerme, darme la confianza y oportunidad de pertenecer a su maravillosa familia, para poder así seguir creciendo como profesional y como persona.



Esta investigación fue posible gracias a dos financiamientos: Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (CONCYTEC) en el marco del proyecto FONDECYT 023-2016: “Catalogando la biodiversidad marina del Perú, código de barras de ADN para el estudio, conservación y uso sostenible de los recursos”, y por el Concurso de tesis organizado por la Universidad Nacional del Santa, al cual agradezco a ambas entidades por todo el apoyo.

Al círculo de Investigación: “Catalogando la biodiversidad marina del Perú, código de barras de ADN para el estudio, conservación y uso sostenible de los recursos” y a todos sus integrantes.

A mis compañeros del Laboratorio: Julissa, Sissy, Rosmery, Irina, Claudia, Lise, Angela, Paola, Jesús, Erick, José, Sonia, Joel, Melissa, Fabiola, Francisco y Brenda. Por su apoyo en la obtención de muestras, aportes, asistencia en procedimientos moleculares, pero, sobre todo, por su amistad.

**A todos, mi eterna gratitud**

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
INDICE GENERAL.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO	
2.1. <i>Phylum Echinodermata</i> .....	6
2.1.1. Clasificación .....	6
2.1.2. Carecteres generales .....	7
2.1.3. Importancia.....	18
2.2. Definición de especie.....	22
2.3. Taxonomía tradicional.....	22
2.4. ADN mitocondrial (mtADN).....	23
2.5. Código de barras de ADN .....	24
2.6. Distancia genéticas .....	27
2.7. Delimitación de especies .....	27
2.7. <i>Barcode gap</i> .....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. Población y muestra .....	31
3.1.1. Población .....	31
3.1.2. Muestra.....	31
3.2. Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano, con base en sus características morfológicas.....	31
3.2.1. Colección de muestras .....	31
3.2.2. Identificación morfológica .....	34
3.3. Identificación de las especies de equinodermos mediante sus secuencias de un fragmento del gen mitocondrial <i>COI</i> en las bases de datos BOLD y GenBank.....	34
3.3.1. Extracción de ADN .....	34
3.3.2. Cuantificación de ADN .....	35
3.3.3. Amplificación del gen <i>COI</i> .....	35

3.3.4. Secuenciación de las muestras.....	37
3.3.5. Edición de secuencias.....	37
3.3.6. Identificación de las secuencias en las bases de datos BOLD y GenBank.....	37
3.4. Definir las agrupaciones de las secuencias de equinodermos del litoral peruano (MOTU's) a través de: métodos de delimitación, sus distancias genéticas interespecíficas e intraespecíficas y el umbral del <i>barcode gap</i> .....	38
3.4.1. Delimitación de especies .....	38
3.4.1.1. Elaboración de la matriz general de secuencias .....	38
3.4.1.2. Ingreso de datos en el BOLD SYSTEMS .....	38
3.4.1.3. Análisis filogenético.....	38
3.4.1.4. Análisis de delimitación de especies .....	39
3.4.2. Distancias genéticas.....	40
3.4.3. Análisis de <i>barcode gap</i> .....	40
<b>IV. RESULTADOS</b>	
4.1. Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano, con base en sus características morfológicas .....	41
4.2. Identificación de las especies de equinodermos mediante sus secuencias de un fragmento del gen mitocondrial <i>COI</i> en base de datos BOLD y GenBank.....	43
4.3. Definición de las agrupaciones de las secuencias de equinodermos del litoral peruano (MOTU's) a través de: métodos de delimitación de especies, sus distancias genéticas interespecíficas e intraespecíficas y el umbral del <i>barcode gap</i> .....	53
4.3.1. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de <i>barcode gap</i> en la clase Ophiuroidea .....	53
4.3.2. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de <i>barcode gap</i> en la clase Echinoidea .....	56
4.3.3. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de <i>barcode gap</i> en la clase Holothuroidea .....	59
4.3.4. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de <i>barcode gap</i> en la clase Asteroidea.....	62
<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	66
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	78
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	79
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	80
Anexo 1 .....	95
Anexo 2 .....	95

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ubicación política de los lugares de colecta, número de individuos y coordenadas de los lugares de muestreo.....	32
<b>Tabla 2.</b> Relación de oligonucleótidos empleados en la reacción en cadena de la polimerasa del gen COI, de especies de equinodermos utilizados en el presente estudio.....	36
<b>Tabla 3.</b> Clasificación taxonómica de la Clase Ophiuroidea en base a su identificación morfológica.....	41
<b>Tabla 4.</b> Clasificación taxonómica de la Clase Echinoidea en base a su identificación morfológica.....	42
<b>Tabla 5.</b> Clasificación taxonómica de la Clase Holothuroidea en base a su identificación morfológica.....	42
<b>Tabla 6.</b> Clasificación taxonómica de la Clase <i>Asteroidea</i> en base a su identificación morfológica.....	42
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de las especies que obtuvieron el porcentaje de identidad (>99%) y nuevas secuencias aportadas a las bases datos BOLD y GenBank.....	44
<b>Tabla 8.</b> Identificación de las secuencias de ofiuroides, según la base de datos de BOLD y GenBank.....	45
<b>Tabla 9.</b> Identificación de las secuencias de echinoideos, según la base de datos de BOLD y GenBank.....	47
<b>Tabla 10.</b> Identificación de las secuencias de holoturoideos, según la base de datos de BOLD y GenBank.....	49
<b>Tabla 11.</b> Identificación de las secuencias de asteroideos, según la base de datos de BOLD y GenBank.....	51
<b>Tabla 12.</b> Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) de las especies de ofiuroides.....	55
<b>Tabla 13.</b> Distancias genéticas K2P de los MOTUS generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de ofiuroides.....	55
<b>Tabla 14.</b> Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) de las especies de echinoideos.....	58
<b>Tabla 15.</b> Distancias genéticas K2P de los MOTUS generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de echinoideos.....	58
<b>Tabla 16.</b> Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) de las especies de holoturoideos.....	61
<b>Tabla 17.</b> Distancias genéticas K2P de los MOTUS generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de holoturoideos.....	61
<b>Tabla 18.</b> Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) de las especies de asteroideos.....	64
<b>Tabla 19.</b> Distancias genéticas K2P de los MOTUS generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de asteroideos .....	64

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. 1.</b> Estructura externa de <i>Astrodictyim panamensis</i> (cesta de mar).....	8
<b>Fig. 2.</b> Estructura externa de los ofiuroides.....	8
<b>Fig. 3.</b> Características morfológicas en un erizo regular de las familias <i>Cidariidae</i> .....	9
<b>Fig. 4.</b> Características morfológicas de erizos irregulares de las familias Mellitidae (A, B) y Brissidae (C, D, E, F).....	10
<b>Fig. 5.</b> Morfología general externa de los pepinos de mar.....	11
<b>Fig. 6.</b> Morfología general interna de los pepinos de mar.....	12
<b>Fig. 7.</b> Tipos de espículas representativas de los holotúridos.....	13
<b>Fig. 8.</b> Morfología general de un asteroideo en vista aboral-abactinal.....	15
<b>Fig. 9.</b> Morfología general de un asteroideo en vista oral-actinal.....	16
<b>Fig. 10.</b> Morfología general de un crinoideo lirio de mar o crinoideo pedunculado.....	17
<b>Fig. 11.</b> El genoma mitocondrial que muestra la posición del gen <i>COI</i> .....	23
<b>Fig. 12.</b> Diagrama de flujo de la identificación y validación de la calidad de la secuencia de ADNmt (gen <i>COI</i> ).....	25
<b>Fig. 13.</b> Representación esquemática hipotética del “ <i>barcode gap</i> ”.....	30
<b>Fig. 14.</b> Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de organismo de equinodermos empleados en el presente estudio.....	33
<b>Fig. 15.</b> Gel de agarosa al 1% donde se visualiza extractos de ADN de muestras de equinodermos.....	35
<b>Fig. 16.</b> Gel de agarosa al 1%, que muestra la PCR del gen <i>COI</i> .....	36
<b>Fig. 17.</b> Árbol bayesiano de la clase Ophiuroidea.....	54
<b>Fig. 18.</b> Análisis de <i>barcode gap</i> de especies de la clase ofiuroides.....	56
<b>Fig. 19.</b> Árbol bayesiano de la clase Echinoidea.....	57
<b>Fig. 20.</b> Análisis de <i>barcode gap</i> de especies de la clase echinoideos.....	59
<b>Fig. 21.</b> Árbol bayesiano de la clase Holothuroidea.....	60
<b>Fig. 22.</b> Análisis de <i>barcode gap</i> de especies de la clase holoturoideos.....	62
<b>Fig. 23.</b> Árbol bayesiano de la clase Asteroidea.....	63
<b>Fig. 24.</b> Análisis de <i>barcode gap</i> de especies de la clase asteroideos.....	65

Identificación molecular de los equinodermos del litoral peruano mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial Citocromo Oxidasa subunidad 1 (COI), como marcador molecular

## RESUMEN

Los equinodermos presentan problemas en la taxonomía, debido a su plasticidad fenotípica, a la presencia de especies críptica, que sumado a la escasez de especialistas capacitados dificulta su correcta identificación, generando clasificaciones y descripciones erróneas de estas especies. El presente estudio tuvo como objetivo identificar molecularmente los equinodermos del litoral peruano, mediante Código de barras de ADN, utilizando el gen mitocondrial *Citocromo oxidasa subunidad 1 (COI)*, como marcador molecular. Se identificaron taxonómicamente 34 especies nominales, que abarcaron un total de 21 familias, 13 órdenes, 4 subclases y cuatro clases que incluyeron a *Holothuroidea*, *Echinoidea*, *Ophiuroidea* y *Asteroidea*. Además, se identificaron 7 especímenes a nivel de género y 3 especímenes a nivel de familia. Los análisis de delimitación de especies revelaron a *Astrodictyum panamensis* y *Astrodictyum sp.*, como la misma especie y a *Ophiocomella alexandri* como especie críptica. Asimismo, demostraron la variedad de especies crípticas dentro del género *Holothuria*, respaldados por los análisis de delimitación de especies PTP y bPTP. Los resultados demuestran la eficacia de los códigos de barras de ADN, que junto con las características morfológicas permiten definir mejor la identificación de las especies de equinodermos.

**Palabras claves:** Equinodermos, Código de barras de ADN, especies crípticas, delimitación de especies.

Molecular identification of the echinoderms of the Peruvian coast by means of DNA barcoding, using the mitochondrial gene Cytochrome Oxidase subunit 1 (COI), as a molecular marker

### ABSTRACT

Echinoderms present problems in taxonomy, due to their phenotypic plasticity, the presence of cryptic species, which added to the scarcity of trained specialists makes their correct identification difficult, generating erroneous classifications and descriptions of these species. The objective of this study was to molecularly identify the echinoderm species of the Peruvian coast, by means of DNA barcoding, using the mitochondrial gene Cytochrome oxidase subunit 1 (COI), as a molecular marker. Thirty-four nominal species were taxonomically identified, encompassing a total of 21 families, 13 orders, 4 subclasses, and four classes that included Holothuroidea, Echinoidea, Ophiuroidea, and Asteroidea. In addition, 7 specimens at the genus level and 3 specimens at the family level were identified. The species delimitation analyses revealed *Astrodictyum panamensis* and *Astrodictyum sp.* as the same species and *Ophiocomella alexandri* as a cryptic species. Likewise, they demonstrated the variety of cryptic species within the genus *Holothuria*, supported by the PTP and bPTP species delimitation analyses. The results demonstrate the effectiveness of DNA barcodes, which together with morphological characteristics allow better definition of the identification of echinoderm species.

**Keywords:** Echinoderms, DNA barcode, cryptic species, species delimitation.

## I. INTRODUCCIÓN

El litoral peruano que se extiende desde la frontera con Ecuador (aproximadamente 3°23'S) hasta el sur (18°S) en la frontera con Chile, posee peculiares hábitats marinos producto de diversas variables naturales, como la geología de su línea costera, la presencia de un complejo sistema de corrientes, la existencia de uno de los sistemas de afloramiento más importantes del mundo y el fenómeno “El Niño”, que favorece la variación de las especies en su abundancia y distribución, creando una de los sistemas marinos más productivos del mundo (Tarazona *et al.*, 2003, p. 206; Hooker *et al.*, 2013, p. 281).

Los sistemas marinos se caracterizan por sus comunidades bentónicas y pelágicas. Las comunidades bentónicas que consiste de la flora y fauna sésil o de escasa movilidad, son estructuradas y asociadas a un sustrato, permitiendo que los organismos interactúen entre sí manteniendo relaciones permanentes. Por su lado, los organismos pelágicos suelen tener extensas distribuciones geográficas, experimentan amplios desplazamientos y, por ello, no son adecuados para la caracterización de zonas marinas concretas (Grande *et al.*, 2006, p. 137).

Entre los grupos taxonómicos de mayor abundancia en la estructura de las comunidades bentónicas, se encuentra el Phylum *Echinodermata*, que comprende 7.000 especies y se divide en cinco clases: *Asterozoa* (estrellas de mar), *Ophiurozoa* (ofiuros), *Crinozoa* (lirios de mar), *Echinozoa* (erizos de mar) y *Holothurozoa* (pepinos de mar) (Groombridge y Jenkins, 2002, p. 122; Pawson, 2007, p. 749). Para el Perú, Hooker *et al.* (2013) reportaron 215 especies de equinodermos: *Crinozoa* (una especie), *Asterozoa* (64 especies, distribuidas en siete órdenes y 22 familias), *Ophiurozoa* (42 especies, distribuidas en dos órdenes y 11 familias), *Echinozoa* (35 especies, distribuidas en siete órdenes y 14 familias) y *Holothurozoa* (73 especies, distribuida en seis órdenes y 16 familias) (p. 284).

De las cinco clases de equinodermos, los que presentan importancia comercial son los equinoideos y holoturoideos, y que en su mayoría se encuentran ya en condición de sobreexplotados. La importancia comercial de estos organismos se ve por ejemplo en los equinoideos, cuyas gónadas son un alimento codiciado en Japón (Arana, 2005, p. 370) y para el caso de los holoturoideos, el producto de alta demanda comercial en Hong Kong, es la pared corporal seca y salada, donde es consumido como alimento con valor



medicinal, debido a su alto contenido de colágeno, proteínas y bajo contenido en lípidos (Mantelli, 2011, p.15; Pangestuti y Arifin, 2018, p. 7).

La explotación de los equinodermos se realiza principalmente en las regiones tropicales, con la extracción de *Actinopyga agassizi* (Panamá, Venezuela), *Holothuria mexicana* (Nicaragua, Panamá, Venezuela), *H. impatiens* (México), *H. atra* (Ecuador), *H. kefersteini* (Ecuador), *H. inornata* (Costa Rica), *H. arenícola* (Nicaragua), *Isotichopus badionotus* (Cuba, Nicaragua, Venezuela), *Stichopus horrens* (Ecuador), *Astichopus multifidus* (Panamá, Región del Caribe), *I. fuscus* (Ecuador, México, Panamá, Perú), *H. theelii* (Perú), *Athyonidium chilensis* (Chile, Perú), *Patallus mollis* (Chile, Perú) (Toral, 2008, p. 214) y *Loxechinus albus* (Chile, Perú) (Paredes y Muñoz, 2010, p. 44; Yamashiro *et al.*, 1996, p. 34).

En el Perú, la explotación de equinodermos comenzó con la exportación de las gónadas del erizo rojo *L. albus*, y luego con la exportación de algunas especies de pepinos de mar a Japón (Hooker *et al.*, 2013, p. 295). La exportación legal de pepinos de mar comenzó a fines de los años noventa y se componía principalmente de *I. fuscus*, *P. mollis* y *H. theeli* (Sueiro, 2009, p. 32).

La fuerte presión extractiva por la gran demanda de equinodermos en el mundo, se hizo evidente con el aumento en los desembarques de equinodermos, que pasó de 1314 toneladas en el 2010 a 4832 toneladas en 2019 (PRODUCE, 2020, p. 48), ocasionando la extinción local de especies. Por ello, para evitar la desaparición de los equinodermos, se han establecido una serie de medidas reguladoras tales como: a) tallas mínimas de captura y tolerancia máxima de ejemplares juveniles de principales peces marinos e invertebrados (R.M. 209-2001- PE); b) la prohibición de la extracción, procesamiento, transporte, comercialización y utilización del recurso erizo en el litoral de Marcona (R.M. 100-2006-PRODUCE) y c) veda del recurso erizo en el área del litoral de San Juan de Marcona (R.M. 238-2011-PRODUCE).

Los esfuerzos por generar medidas contra la sobreexplotación de los equinodermos, se ve afectada, debido a que, las diferentes especies son difíciles de distinguir a simple vista, ya que su morfología es similar en muchas de ellos, por lo que es considerado un desafío para estudios de biodiversidad y gestión de la conservación (Uthicke *et al.*, 2010, p. 635). Sin embargo, uno de los principales problemas en Perú es la falta de taxónomos

capacitados para la identificación morfológica y que además puedan trabajar a tiempo completo revisando e identificando especímenes en colecciones biológicas (Ward *et al.*, 2008, p. 1202; Hooker *et al.*, 2013, p. 297).

La similitud morfológica que muchas especies comparten entre sí, ocasiona una identificación taxonómica errada, por lo que la necesidad de una correcta identificación de una especie en particular se ha fortalecido con la aplicación de métodos que revelan las diferencias genéticas a nivel de enzimas y ADN (Márquez, 2015, p. 36), proponiendo al Código de barras de ADN como la técnica molecular complementaria de la taxonomía tradicional. La información generada por esta técnica es importante para el desarrollo de planes de manejo y conservación, el establecimiento de áreas protegidas y proponer medidas para una explotación adecuada de las especies de importancia comercial (Robainas y García, 2012, p. 12).

En equinodermos se ha demostrado la eficiencia del código de barras de ADN para la identificación de especies de sus cinco clases, en cualquier etapa de desarrollo (Ward *et al.*, 2008, p. 1210), quedando en evidencia que, este método puede ser utilizado para identificar larvas de equinodermos (Heimeier *et al.*, 2010, p. 172; Webb *et al.*, 2006, p. 1057). Layton *et al.* (2016) identificaron 141 especies de equinodermos de las 300 registradas en Canadá (p. 5) y Uthicke *et al.* (2010) comprobaron que el uso del marcador *COI* permite la identificación de especies de holoturoideos comerciales provenientes de los océanos Índico, Pacífico y Atlántico (p. 644).

Además, el código de barras del ADN en conjunto con los datos morfológicos facilita el descubrimiento de nuevas especies (Ortega *et al.*, 2013, p.26; Neigel *et al.*, 2007, p. 496). Así, por ejemplo, Nethupul *et al.* (2022) realizaron la identificación de tres especies nuevas, de aguas profundas, pertenecientes a la clase Ophiuroidea, *Ophiacantha aster sp. nov.*, *Ophiomoeris petalis sp. nov.* y *Ophiopristis shenhaiyongshii sp. nov.* (p. 1). Okanishi *et al.* (2021) describieron morfológicamente y mediante el código de barras, una nueva especie para la clase Ophiuroidea, *Ophiomonas shinseimaruae*, recolectadas en aguas profundas de Japón (p. 12). Lee y Shin (2017) reportaron dos especies nuevas de holoturoideos del género *Psolus* para Corea (p.198). Yamana *et al.* (2022) descubrieron tres especies nuevas de la clase Holothuroidea, *Taeniogyrus albulus*, *T. flavus* y *T. rubrus*, en la infauna de la costa sur de Wakayama, Japón (p. 139). Kim *et al.* (2022) lograron identificar morfológica y molecularmente una nueva especie perteneciente a la clase

Crinoidea, *Tropiometra macrodiscus* (p. 26). Lee y Shin (2018) registraron a *Luidia sagamina sagamina* en la Isla Jeju, Corea (p. 213)

Uno de los principales problemas en la taxonomía de los equinodermos es la presencia de especies crípticas. Ante esto, el código de barra de ADN surge como un método de detección eficiente de especies crípticas (Hebert *et al.*, 2004a, p. 14817). Por ejemplo, Laakmann *et al.* (2016) identificaron 34 especies de equinodermos del Mar del Norte y diferenciaron morfológicamente dos especies similares de *Henricia*, consideradas y monitoreadas como una sola especie (p. 13). El trabajo de Bribiesca *et al.* (2013), empleando el código de barras de ADN, lograron identificar cinco especies más que la taxonomía tradicional reportadas en la cueva de Aerolito de Paraíso en México, separando a *Astropecten duplicatus*, *Copidaster lymani*, *Ophiolepis impressa*, *Ophiothrix (Ophiothrix) angulata* y *Amphipholis cf. squamata* en dos especies cada una, las cuales no presentaban ninguna diferencia morfológica (p. 4). Luego, Kim *et al.* (2013) lograron identificar molecularmente a las especies de holoturoideos del género *Bohadschia*, las cuales presentaban problemas en su identificación morfológica (p. 91).

De las 7000 especies de equinodermos conocidas (Groombridge y Jenkins, 2000, p. 122), tan solo se han identificado 2822 especies de equinodermos mediante el código de barras de ADN ([https://www.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser\\_Taxonpage?taxid=4](https://www.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=4)). En otros países se ha logrado identificar equinodermos como: *A. cf. squamata* (Bribiesca *et al.*, 2013, p. 4), *A. chilensis*, *P. mollis*, *H. arenícola*, *H. impatiens* y *I. fuscus* (Uthicke *et al.*, 2010, p. 637), especies que se encuentran distribuidas en nuestro país. Para el litoral peruano, Hooker *et al.* (2013) reportaron 215 especies de equinodermos (p. 284) y a pesar de la valiosa contribución del código de barras de ADN a la taxonomía de equinodermos, en nuestro país no se ha utilizado este método como complemento de la taxonomía tradicional.

Dada la importancia del tema y no existiendo trabajos de investigación se planteó el siguiente problema de investigación ¿Cuál es la identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano mediante ADN barcode, utilizando el gen mitocondrial *Citocromo Oxidasa subunidad 1* (COI) como marcador molecular?

Como objetivo general se propuso identificar las especies de equinodermos del litoral peruano, mediante ADN barcode, utilizando el gen mitocondrial *Citocromo oxidasa subunidad 1 (COI)*, como marcador molecular. Los objetivos específicos fueron:

- Identificar las especies de equinodermos del litoral peruano, con base en sus características morfológicas.
- Identificar las especies de equinodermos mediante sus secuencias de un fragmento del gen mitocondrial *COI*, utilizando la base de datos BOLD y GenBank.
- Definir las agrupaciones de las secuencias de equinodermos del litoral peruano (MOTU's) a través de: métodos de delimitación de especies, sus distancias genéticas interespecíficas e intraespecíficas y el umbral del *barcode gap*.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. *Phylum Echinodermata*

#### 2.1.1. Clasificación

El Phylum *Echinodermata* comprende 7000 especies y se divide en cinco clases: *Ophiuroidea*, *Echinoidea*, *Holothuroidea*, *Asteroidea* y *Crinoidea* (Groombridge y Jenkins, 2000, p. 122; Pawson, 2007, p. 749). La clase *Ophiuroidea*, conocida como estrellas frágiles o estrellas de canasta, está representada por alrededor de 2091 especies y se encuentran distribuidas en dos órdenes: Orden *Ophiurida* y Orden *Euryalida* (Stöhr *et al.*, 2020, p. 1). Para el litoral peruano, se han reportado 42 especies distribuidos en dos órdenes y 11 familias (Hooker *et al.*, 2013, p. 284).

La clase *Echinoidea* está conformada por 1.000 especies vivas, divididas en dos subclases: Subclase *Cidaroidea* y Subclase *Euechinoidea* (Brusca *et al.*, 2018, p. 1155). Para Perú, Hooker *et al.* (2013) reportan 35 especies de *Echinoidea*, distribuidos en siete órdenes y 14 familias (p. 284). Asimismo, la clase *Holothuroidea*, conocidos como pepino de mar, cuenta con 1742 especies distribuidos en seis órdenes: *Apodida*, *Aspidochirodita*, *Dendrochirodita*, *Elasipodida*, *Molpadida* (Brusca *et al.*, 2018, p. 1156; Paulay, 2020, p. 1). El litoral peruano cuenta con 73 especies de holoturoideos distribuidos en seis órdenes y 16 familias (Hooker *et al.*, 2013, p. 284).

La clase *Asteroidea*, es considerada como la más diversa dentro del Phylum *Echinodermata*, reportándose 2100 especies en el mundo (Pawson, 2007, p. 753), de las cuales, se reporta 64 especies, distribuidos en siete órdenes y 22 familias (Hooker *et al.*, 2013, p. 284). Por último, la clase *Crinoidea*, conocida como lirios y plumas de mar, representan el grupo de equinodermos con menor número de especies, conformado por 625 especies vivas distribuidas en cuatro Órdenes: *Comatulida*, *Cyrtocrinida*, *Hyocrinida* y *Isocrinida* (Brusca *et al.*, 2018, p. 1153). En el litoral peruano, solo se registra la presencia de una especie de comatúlidos: *Florometra magellanica*, recolectada en el departamento de Piura (Prieto *et al.*, 2011, p. 245).

### 2.1.2. Caracteres generales

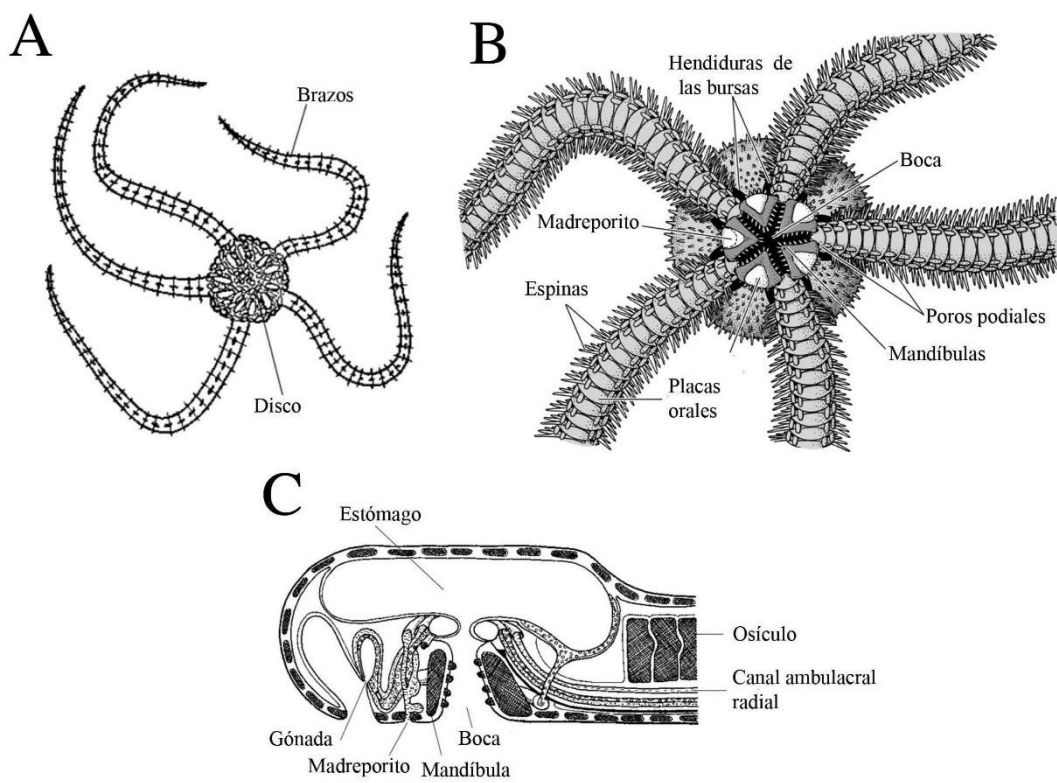
Los equinodermos están conformados exclusivamente por animales marinos que presenta como característica única entre los invertebrados una simetría pentarradial, es decir, su cuerpo está dividido en cinco partes que se disponen alrededor de un eje central. Sin embargo, esta simetría radial derivó secundariamente a partir de una simetría bilateral ancestral, por lo tanto, no están emparentados con los otros *phylum* de animales radiados (Ruppert y Barnes, 1996, p. 929). Otras características destacadas de los equinodermos incluyen la existencia de un esqueleto calcáreo interno y poroso, que está constituido por una serie de osículos; presencia de un celoma bien desarrollado; y un sistema vascular acuífero denominado sistema ambulacral (Pérez *et al.*, 2014, p. 295). Este sistema ayuda en la locomoción, adhesión, manipulación de alimentos e intercambio de gases (Santhanam *et al.*, 2019, p. 5). Por otro lado, las estructuras externas pueden variar de acuerdo a la clase, por ello que, a continuación, se describirá estas características para cada clase.

- **Clase Ophiuroidea**

Los ofiuroideos presentan un cuerpo central pequeño en forma de disco aplanado circular o pentagonal (1 a 3 cm). Muchos de los ofiuroideos presentan cinco brazos largos, excepto, las cestas de mar que sus brazos se ramifican desde la base del disco y a su vez se subdividen varias veces de manera que se forma una gran masa de brazos que parecen tentáculos (Fig. 1). La superficie aboral puede ser lisa, granulosa y presenta una serie de pequeñas placas calcáreas denominadas escudos o también lleva pequeñas espinas (Brusca *et al.*, 2018, p. 1154; Benavides *et al.*, 2011, p. 216; Ruppert y Barnes, 1996, p. 949). Por otro lado, la boca está rodeada de placas modificadas que forman unas mandíbulas interradales triangulares, cada una de ellas está formada por los escudos orales y aborales, las papilas y los dientes. El tubo digestivo es ciego y sencillo, no tienen ano, así que el alimento capturado es triturado, digerido y expulsado por la misma boca (Fig. 2) (Garcés y Romero, 2003, p. 25).



**Fig. 1.** Estructura externa de *Astrodictyum panamensis* (cesta de mar).

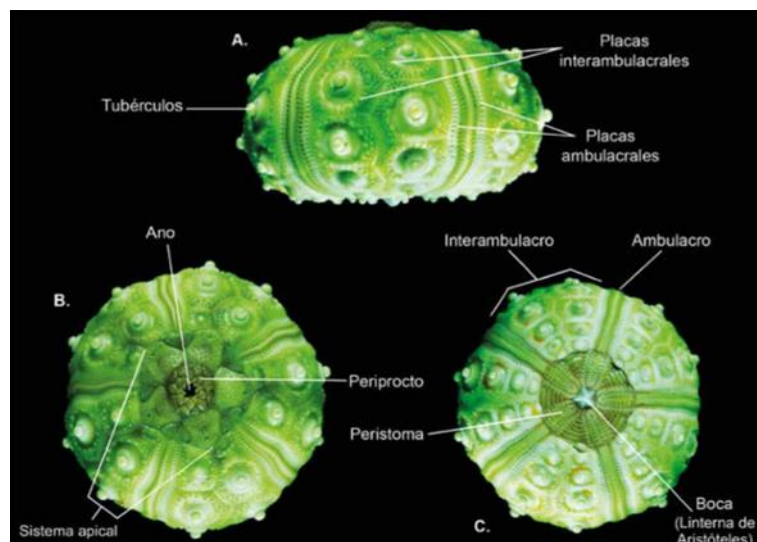


**Fig. 2.** Estructura externa de los ofiuroides. A, vista general aboral. B, Vista oral. C, disco y base de un brazo.

- **Clase Echinoidea**

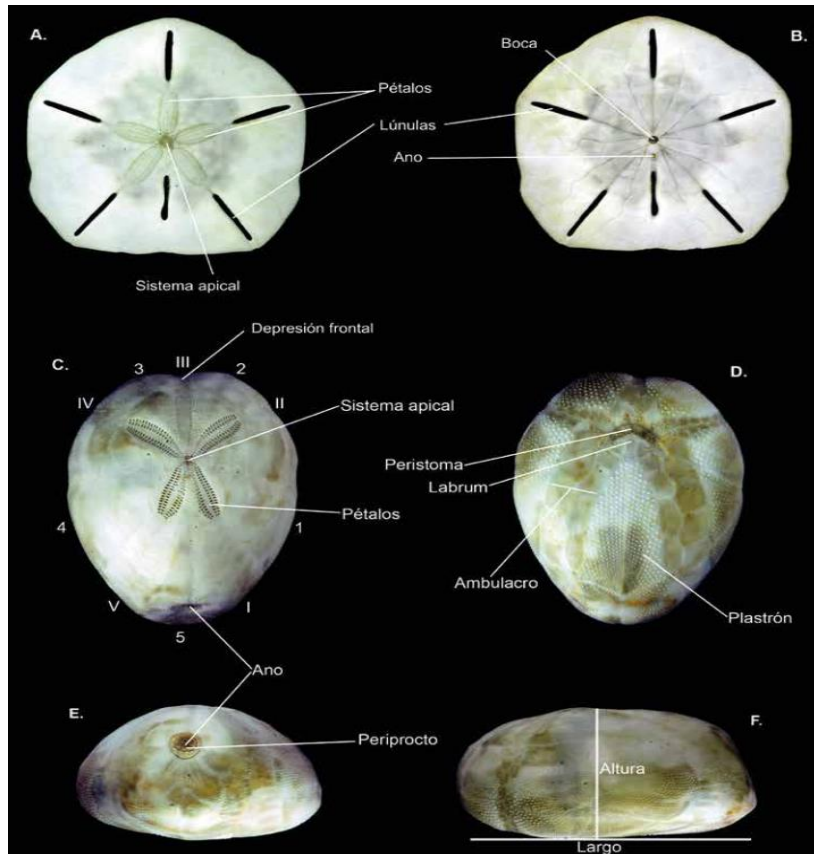
Los echinoideos se caracterizan por la presencia de un esqueleto compacto conocido como testa o caparazón, que derivó del aplastamiento y fusión de los osículos esqueléticos. El caparazón puede tener diferentes morfologías, definiendo la separación de los echinoideos en regulares y los irregulares (Borrero-Pérez *et al.*, 2012, p. 29; Ruppert y Barnes, 1996, p. 958).

Los echinoideos regulares o radiales se conocen como erizos de mar, que presentan el cuerpo hemisférico y está dotado de una serie de púas móviles y largas. Su cuerpo puede dividirse en dos hemisferios, aboral y oral, con diferentes estructuras dispuestas radialmente alrededor del eje polar (oral-aboral) (Fig. 3). En el caso de los echinoideos irregulares, está conformado por los erizos acorazonados, bizcochos de mar y dólares de mar (Fig. 4). Los erizos acorazonados (espatangoideos) son casi ovalados, con superficie oral aplanada y la aboral convexa, en cambio, los bizcochos de mar y los dólares de arena (clipeasteroideos) se distinguen de los erizos acorazonados porque las estructuras de las caras aboral y oral se encuentran en la región central de dicha superficie. No obstante, el periprocto se ha desplazado hacia la cara inferior y se encuentran en el interambulacro posterior, como en los erizos acorazonados (Ruppert y Barnes, 1996, p. 958; Borrero-Pérez *et al.*, 2012, p. 29).



**Fig. 3. Características morfológicas en un erizo regular de la familia Cidaridae.** A- Vista lateral. B- Vista aboral. C- Vista oral. (Figura tomada de Borrero-Pérez *et al.*, 2012, p. 29).

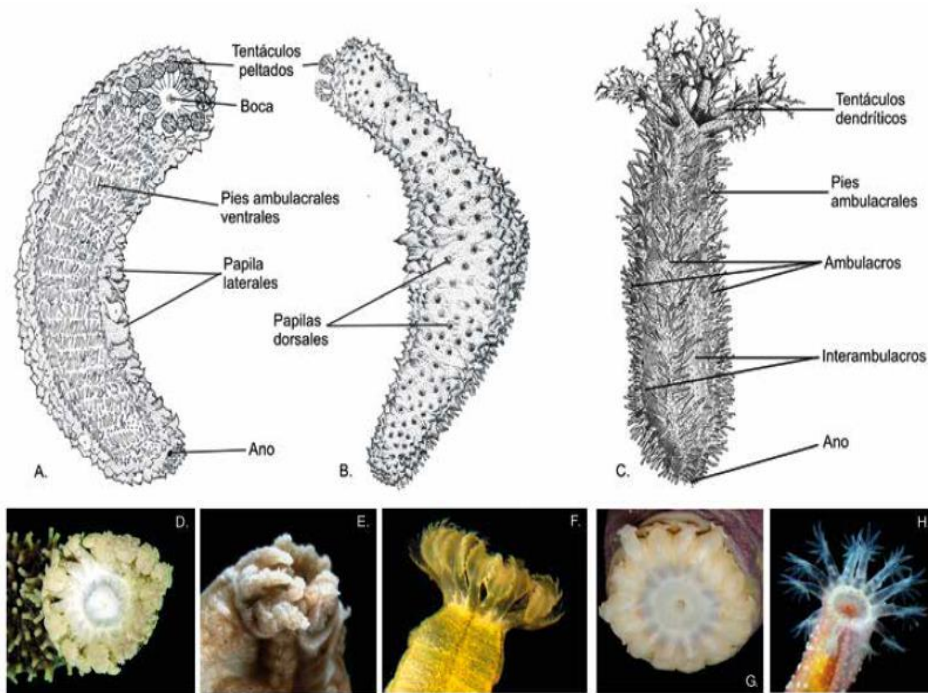




**Fig. 4. Características morfológicas de erizos irregulares de las familias *Mellitidae* (A, B) y *Brissidae* (C, D, E, F).** A- Vista aboral. B- Vista oral. C- Vista aboral. D- Vista oral. La testa se enumera antihorario, los números romanos indican las ambulacros y los arábigos los interambulacros. E- Vista posterior. F- Vista lateral, en esta figura señalan las medidas consideradas para este grupo de erizos (Figura tomada de Borrero-Pérez *et al.*, 2012, p. 31).

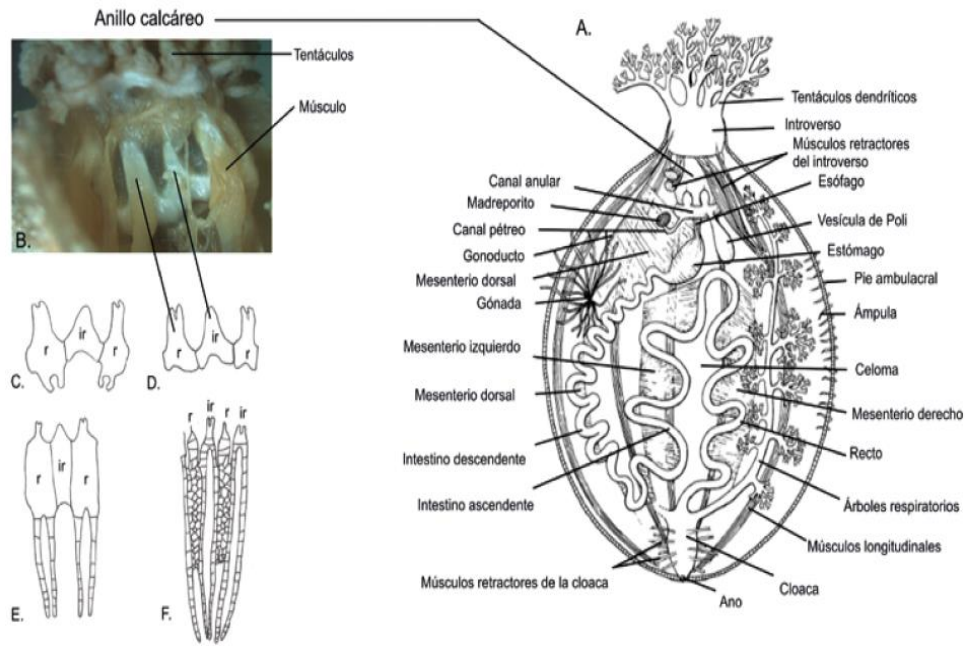
- **Clase Holothuroidea**

Los holoturoideos tienen el cuerpo cilíndrico y alargado, con la boca en un extremo, rodeado de 10 a 30 tentáculos retráctiles, y el ano en el otro. Los tentáculos pueden ser peltados (*Aspidochirotida*, *Elasipodida*), dendríticos (*Dendrochirotida*), pinnados (*Apodida*) y digitados (*Dactylochirotida*, *Apodida*, *Molpadiida*) (Fig. 5 D-H). Los pies ambulacrales están presentes en todos los órdenes, excepto en *Apodida*, pero pueden estar en diferentes disposiciones y formas (Fig. 5 A-C) (Borrero-Pérez *et al.*, 2012, p. 141).



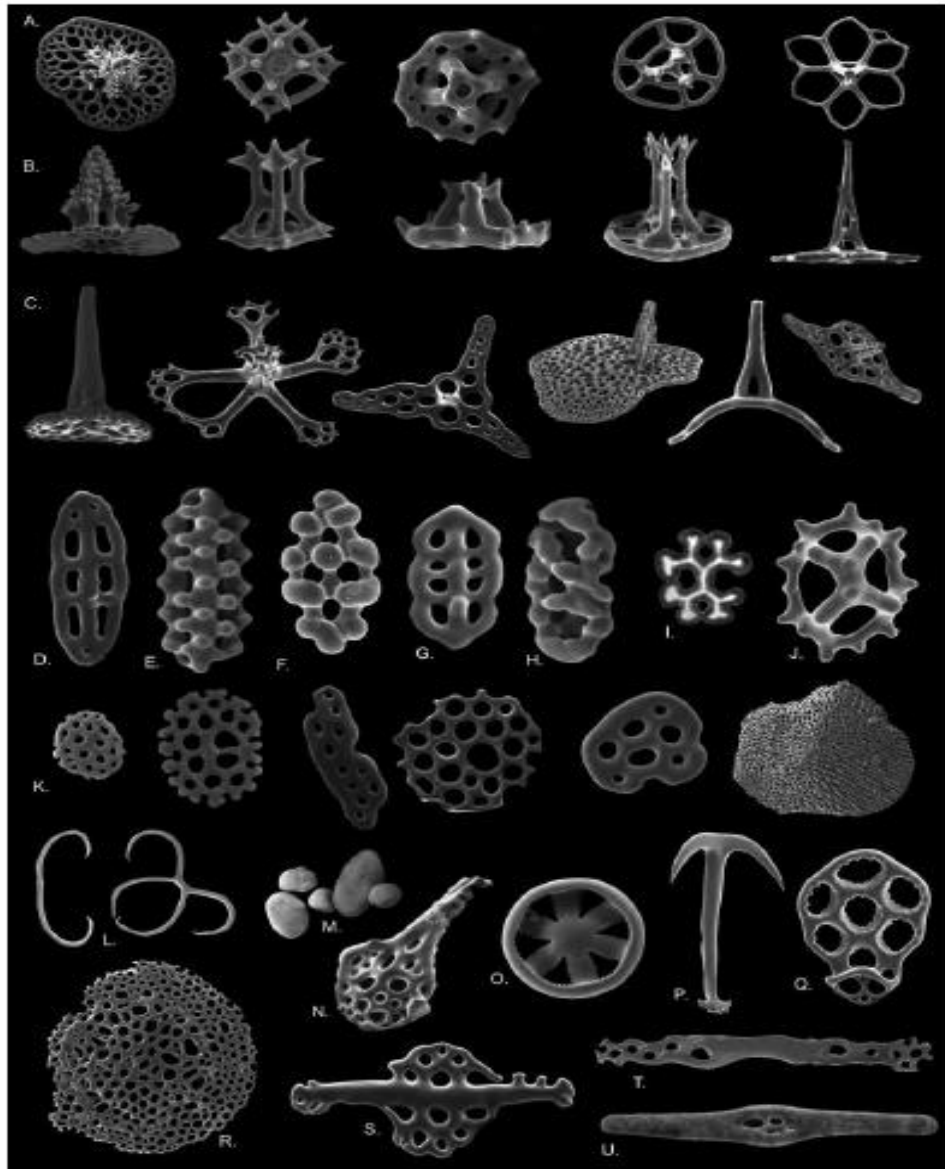
**Fig. 5. Morfología general externa de los pepinos de mar.** A, B- Vista ventral y dorsal de un representante del orden *Aspidochirotida* donde se observan los tentáculos peltados, los ambulacros ventrales que forman la suela y presentan pies ambulacrales largos y cilíndricos, las papilas laterales (A) y dorsales (B). C- Vista general de un representante del orden *Dendrochirotida* donde se observan los tentáculos dendríticos y los pies ambulacrales dispuestos en hileras restringidas a las ambulacros. D-H- Tipos de tentáculos característicos de los diferentes órdenes de la clase *Holothuroidea*. D- Peltados (orden *Aspidochirotida*). E- Dendríticos (orden *Dendrochirotida*). F- Pinnados (orden *Apodida*). G- Digitados (orden *Molpadiida*). H- Digitados (*Molpadiida* y *Apodida*) (A, B- Modificados de Pérez-Ruzafa, 1984. C- Modificado de Pawson *et al.*, 2010. D-H- Fotografías tomadas por Milena Benavides-Serrato, Giomar Borrero-Pérez, Juan Felipe Lazarus).

Para la descripción de especies, se considera la forma del anillo calcáreo, forma y número de madreporitas, forma y número de vesículas de Poli, número de penachos de las gónadas, presencia-ausencia de árboles respiratorios y órganos de Cuvier (Fig. 6). El anillo calcáreo rodea a la faringe dándole soporte y está compuesto por 10 o más placas (cinco radiales y cinco interradales), debajo de anillo calcáreo se encuentra el canal anular que forma parte del sistema hidrovascular. De este canal parten dos tipos de apéndices, las vesículas de Poli y el canal pétreo. Las vesículas de Poli son sacos ovoides que cuelgan en la cavidad celómica y funciona como un reservorio de expansión del sistema acuífero. El canal pétreo es un tubo de paredes calcificadas que une el anillo acuífero con la madreporita, que es un pequeño engrosamiento lleno de canales y perforaciones (Borrero-Pérez *et al.*, 2012, p. 241; Gonzáles, 2012, p. 22).



**Fig. 6. Morfología general interna de los pepinos de mar.** A- Estructuras internas. B-Detalle de un anillo calcáreo. C-F- Tipos de anillos calcáreos mostrando algunas de las placas radiales e interradiales que lo componen. C- Anillo calcáreo con proyecciones posteriores cortas. D- Anillo calcáreo sin proyecciones posteriores. E- Anillo calcáreo con proyecciones posteriores largas y fragmentadas. F- Anillo calcáreo compuesto de numerosas piezas pequeñas y con proyecciones posteriores largas. r: placa radial; ir: placa interradial (Borrero-Pérez et al., 2012)

Sin embargo, el carácter taxonómico más importantes para la identificación de estos organismos, es la forma y combinación de los osículos, que son los componentes esqueléticos del cuerpo, tentáculos y pies ambulacrales de los holoturoideos (Toral-Granda *et al.*, 2005, p.4; Gonzáles, 2012, p. 22; Pérez *et al.*, 2014, p. 308). Las formas de los osículos son variadas, similares a mesas, botones, canastas, anclas, ruedas, barrotes placas y otras formas (Fig. 7). La presencia de los osículos permite que el cuerpo sea rígido y áspero al tacto; en algunos casos, los osículos pueden ser grandes como en la Familia *Psolidae* y en especies del orden *Dactylochirotida*, y en otros holoturoideos de zonas profundas carecen de espículas (Orden *Elasipodida*) (Borrero-Pérez *et al.*, 2012, p. 142).

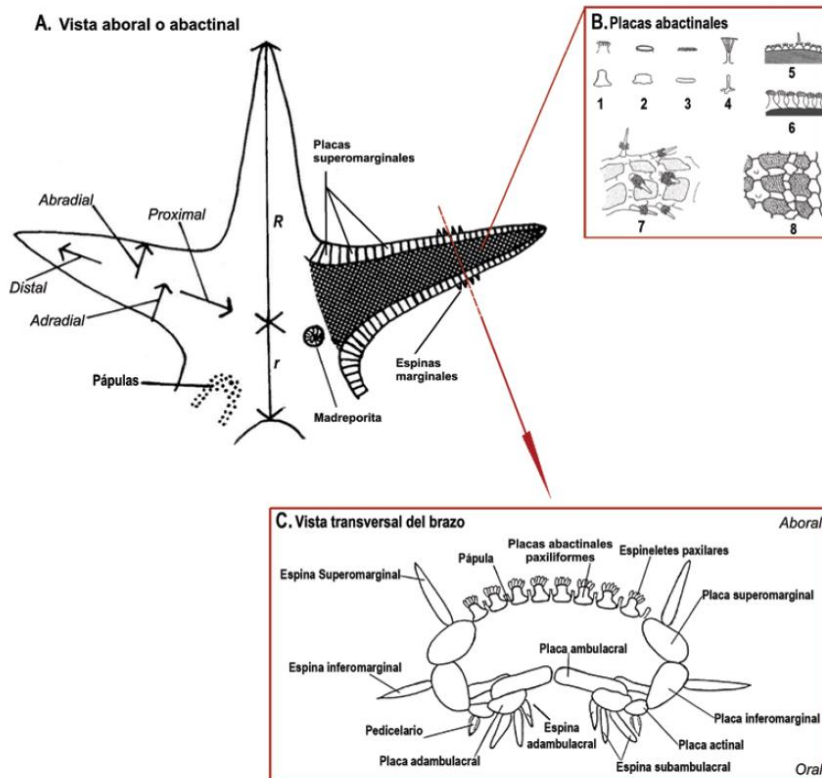


**Fig. 7. Tipos de espículas representativas de los holotúridos.** A, B- Primera y segunda fila, mesas en vista superior y lateral mostrando diferentes tipos de espiras. C- Tercera fila, mesas en diferentes posiciones, mostrando variaciones en la morfología del disco. D- Botón liso. E-G- Botones con protuberancias. H. Botón modificado, elipsoide festonado. I- Roseta. J- Canasta. K- Quinta fila, diferentes morfologías de placas perforadas. L. Cuerpos en forma de "C" y otras formas. M- Cuerpos fosfáticos. N- Espículas en forma de raqueta. O-Rueda. P- Ancla. Q- Placa de Ancla. R- Placa terminal. S- Barrote con perforaciones en el centro. T- Barrote con perforaciones en los extremos. U- Barrote fusiforme (Las espículas no están a escala) (Borrero-Pérez et al., 2012).

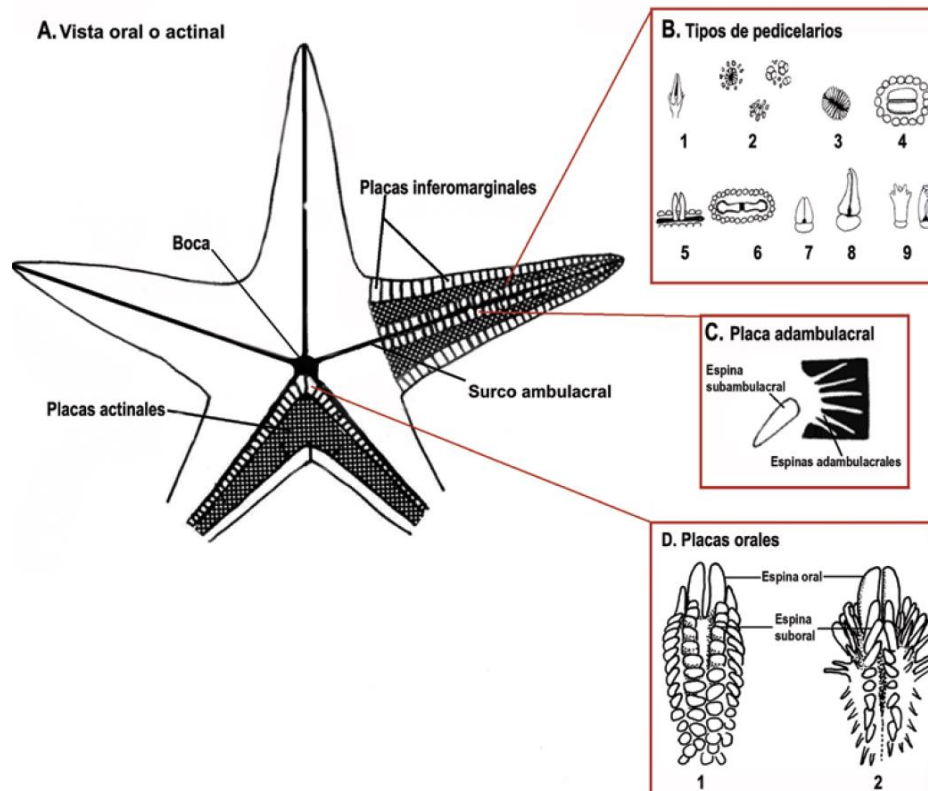
- **Clase Asteroidea**

Los Asteroideos se caracterizan por ser pentámeras, debido que las mayorías de las especies presentan cinco brazos, excepto, las estrellas sol que poseen de 7 a 40 brazos. Los brazos no se diferencian del disco central, es decir, se convierten poco a poco en el disco central y algunas especies presentan brazos muy cortos. La superficie oral está conformada por la boca, que se ubica en el centro de la cara inferior del disco, y por la superficie inferior de los brazos. Desde la boca parte radialmente un surco (surco ambulacral) hacia cada uno de los brazos. Cada surco presenta dos o cuatro filas de pequeños apéndices tubulares, denominados pies ambulacrales o podios. En la superficie aboral (superior) se pueden diferenciar el ano, situado en el centro del disco y el madreporito en forma de botón y localizada en unos de los lados del disco, entre la salida de dos de los brazos. Toda la superficie del cuerpo puede aparecer con un aspecto liso o recubierta por espinas, tubérculos o crestas (Ruppert y Barnes, 1996, p. 950; Pérez *et al.*, 2014).

Los caracteres morfológicos de importancia taxonómica en esta clase son las siguientes: forma general del cuerpo, disposición y forma de los pies ambulacrales, disposición y forma de las espinas, número y forma de los radios, canales radiales, pedicelarios, ubicación y forma del cuerpo madreporito, tamaño, forma y disposición de las bases de las placas abactinales, presencia, o ausencia y ubicación del ano (Fig. 8 y 9) (Benavides *et al.*, 2011, p. 88; Morales, 2011, p. 19).



**Fig. 8. Morfología general de un asteroideo en vista aboral-abactinal.** A- Esquema de la morfología general donde además de las diferentes partes de la estrella, se indican en letra cursiva las direcciones que se utilizan en las descripciones de las especies y las medidas radio mayor (R) y radio menor (r). B- Diferentes tipos de placas abactinales: Vista lateral intacta (superior) y desnuda (inferior) de placas paxiliformes (1), tabuladas (2), planas (3), elongadas (presentes en *Pteraster*) (4), sección abactinal donde se muestra la disposición de paxilas parapaxiliformes (5) y paxilas paxiliformes (6), superficie abactinal con las placas formando estructuras en forma de costillas y con espacios grandes entre ellas, presentes en la familia *Labidiasteridae* (7) y superficie abactinal reticulada, presente en algunas familias como *Echinasteridae* (8). C- Vista transversal del brazo de una estrella (Figura tomada de Benavides *et al.*, 2011, p. 87).



**Fig. 9. Morfología general un asteroideo en vista oral-actinal.** A- Esquema de la morfología general. B- Diferentes tipos de pedicelarios que se pueden encontrar sobre las placas actinales y las placas abactinales: recto y fasciculado, encontrados especialmente en Luidiidae y Astropectinidae (1, 2), pectinado presente en la familia Benthopectinidae (3), bivalvado, presente en algunos representantes de Goniasteridae (4), vista oblicua y vertical de un pedicelario "sugar-tongs" en algunos representantes de la familia Ophidiasteridae (5), recto y en forma de pico de pato presentes en el orden Forcipulatida (6, 7), felipedal, presente en Asteridae (8). C- Detalle de una placa adambulacral. D- Placas orales de *Psilaster cassiope* (Figura tomada de Benavides *et al.*, 2011, p. 88).

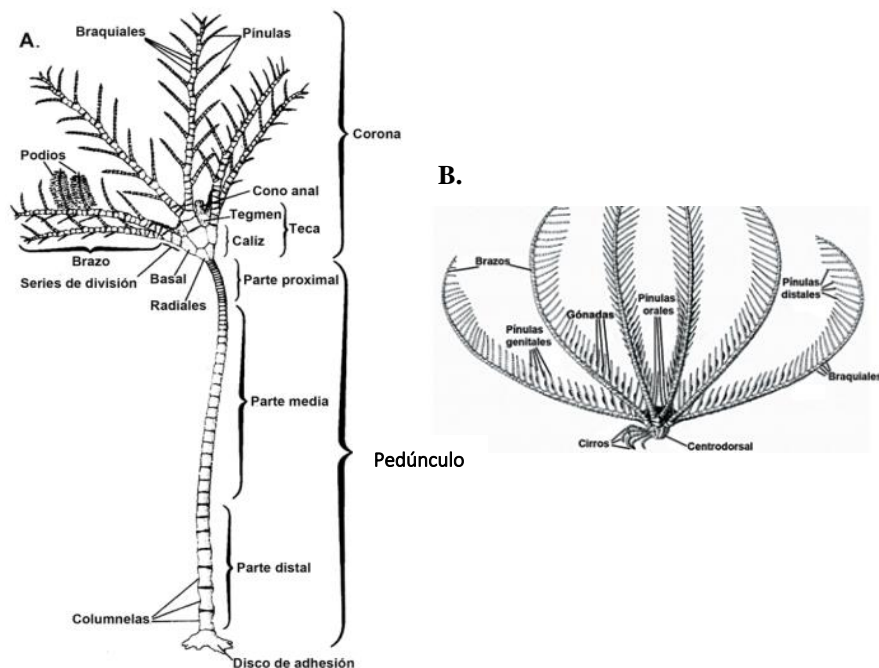
- **Clase Crinoidea**

El cuerpo de un crinoideo está formado por un pedúnculo dividido en segmentos que sostiene la corona, la cual está formada por el disco y cinco radios. El disco o cáliz, está cubierto con una piel gruesa que contiene placas calcáreas (tegmen), donde se encuentran la boca, el ano y los hidroporos (Benavides-Serrato *et al.*, 2011, p. 27).

Existen dos tipos de crinoideos: lirios de mar (crinoideos pedunculados) que presentan pedúnculo durante toda su vida y plumas de mar (crinoideos no pedunculados o comatúlidos) que incluyen la mayoría de los crinoideos vivientes, retienen el pedúnculo hasta el estado post larval y después lo pierden, adoptando

la vida libre como juveniles y adultos (Fig. 10) (Benavides-Serrato *et al.*, 2011, p. 26).

Sus cinco brazos flexibles irradian desde la cavidad central y se ramifican para formar muchos otros brazos, cada uno con muchos pináculos laterales. Las formas sésiles tienen un pedúnculo articulado largo, adherido a la superficie aboral del cuerpo, y compuesto por placas con bisagras y cirros. La madreporita, espinos y pedicelarios están ausentes. La superficie superior contiene la boca, que se abre hacia adentro en un esófago corto, desde el cual un intestino largo con divertículos continúa aboralmente por una distancia y luego da un giro completo al ano. Los surcos ambulacrales son ciliados y sirven para llevar la comida a la boca (Fig. 10B). Algunos presentan pies tubulares sin ventosas (recubren los surcos ambulacrales) que se extienden hasta las pínulas y con la ayuda de filamentos mucosos, recolectan pequeños organismos de las aguas circundantes (Brusca *et al.*, 2018, p. 1164; Hickman *et al.*, 2016, p. 782).



**Fig. 10. Morfología de general de un crinoideo lirio de mar o crinoideo pedunculado.** A- Estructura de un lirio de mar. B- Estructura de una pluma de mar (Benavides-Serrato *et al.*, 2011, p. 27).



### 2.1.3. Importancia

- **Clase Ophiuroidea**

Durante el siglo XVIII, los habitantes de Indonesia incluían a los Ofiuroideos dentro de su alimentación (Garcés y Romero, 2003, p. 20). Estos organismos son importante fuente de producción primaria en los arrecifes de coral, contribuyen con el 0.05% y 0.07% de la producción primaria neta en los niveles tróficos (Pomory y Lawrence, 2001, p. 667). Los ofiuroideos también son populares en el comercio de acuarios como, por ejemplo, la estrella de serpiente *Ophioderma longicauda* que es una especie importante para la venta en la tienda de acuarios portugueses (Calado, 2006, p. 395).

Actualmente, se han identificado compuestos biológicamente activos con efectos anticancerígenos, como por ejemplo el extracto de diclorometano, que es rico en grasa, inhibió el crecimiento de células de melanoma y la apoptosis inducida (Baharara *et al.*, 2015, p. 76); además, el extracto de metanol, presentes en *Ophiocoma erinaceus*, mostraron una actividad antiproliferativa en células *HeLa* de cáncer cervical humano (Baharara *et al.*, 2016, p. 33). Por otro lado, gracias a su mecanismo de coordinación entre sus brazos y resistencia al daño corporal, han sido utilizados como modelo para la creación de robots resistentes a entornos inhóspitos (Kano *et al.*, 2017, p. 11).

- **Clase Echinoidea**

Los erizos de mar desempeñan un papel importante en las cadenas alimentarias marinas, aceleran y extienden la exportación de carbono al capturar el 50% de los detritos de algas marinas y, además, sirven de alimento para cangrejos, estrellas de mar, peces, mamíferos y aves (Parvez *et al.*, 2016, p. 95; Fillbee-Dexter, 2020, p. 11). Por otro lado, estos organismos, al disminuir la biomasa de algas, mejora las condiciones para el reclutamiento de corales y, así, mantiene la estructura y el funcionamiento del ecosistema de los arrecifes de coral (Steneck, 2020, p. 260).

Los erizos de mar son especies marinas que se procesan comercialmente en la industria alimentaria (Hou *et al.*, 2020, p. 1), siendo las gónadas de estos organismos las que son consumidas con mayor demanda en Japón, debido a su

efecto estimulante en la actividad sexual (Yur'eva *et al.*, 2003, p. 192; Stefánsson *et al.*, 2017, p. 4). En la pesquería artesanal de Perú, principalmente en la región centro y sur, la especie de mayor exportación es *Loxechinus albus* que presenta una gran demanda en Estados Unidos con el 90% del valor exportado, seguido de Japón con el 13% (Bendita, 2016, p.1; Proexpansión, 2016).

Se ha demostrado que estos organismos tienen un gran potencial para en la industria farmacéutica, dado que, se ha descubierto que presentan moléculas bioactivas con importantes actividades antioxidante, anticancerígenas, antivirales, antiprotozoarias y antifúngicas (Stabili *et al.*, 2018, p. 1). Por ejemplo, *Strongylocentrotus droebachiensis* presentan glucopéptidos efectivos contra bronquitis y responsable de la inhibición bacteriana, hongos y levaduras (Li *et al.*, 2010, p. 965; Shikov *et al.*, 2019, p. 8). Los extractos de fluidos celómicos libres de células de *Arbacia lixula* deterioran el potencial mitocondrial, bloqueo del ciclo celular, estimulan la producción de especies reactivas de oxígeno y la actividad autofágica en células de cáncer de mama MDA-MB231 (Luparello *et al.*, 2020, p.10). Los pigmentos astaxantina y polihidroxi-1,4-naftoquinona aislados en *A. lixula* y *Evechinus chloroticus* respectivamente, presentan actividad antioxidante (Cirino *et al.*, 2017, p.2; Hou *et al.*, 2020, p. 16).

- **Holothuroidea**

Los holoturoideos tienen una gran importancia económica y se encuentran en su mayoría en condición de sobreexplotados, debido a su gran demanda en Hong Kong. El producto principal de exportación es la pared corporal seca y salada, donde es valorada como alimento con un alto valor medicinal, debido a su elevado contenido de colágeno, proteínas y bajo contenido en lípidos (Mantelli, 2011, p.15; Pangestuti y Arifin, 2018, p. 7). La explotación de estos organismos se realiza principalmente en las regiones tropicales, con la extracción de *Actinopyga agassizi* (Panamá, Venezuela), *Holothuria mexicana* (Nicaragua, Panamá, Venezuela), *H. impatiens* (México), *H. atra* (Ecuador), *H. kefersteini* (Ecuador), *H. inornata* (Costa Rica), *H. arenicola* (Nicaragua), *Isotichopus badionotus* (Cuba, Nicaragua, Venezuela), *Stichopus horrens* (Ecuador), *Astichopus multifidus* (Panamá, Región del Caribe), *I. fuscus* (Ecuador, México, Panamá, Perú), *H. theelii* (Perú),

*Athyonidium chilensis* (Chile, Perú), *Patallus mollis* (Chile, Perú) (Toral, 2008, p. 214).

Por otro lado, los pepinos de mar son considerados como organismos bioturbadores y son utilizados en cultivos multitróficos, ya que contribuyen al reciclaje de nutrientes, convirtiendo el nitrógeno orgánico en formas inorgánicas, lo que a su vez sirven como fuentes de nutrientes para los productores primarios (Purcell *et al.*, 2016, p. 369; Watanabe *et al.*, 2017, p. 84; Wolfe *et al.*, 2018, p. 22). Además, la presencia de estos organismos ayuda a la oxigenación del sedimento, lo que facilita la descomposición y mineralización de la materia orgánica, reduciendo posteriormente la concentración de fósforo orgánico (Lee *et al.*, 2017, p. 59; Hou *et al.*, 2018, p. 209).

Los pepinos de mar son usados en la medicina tradicional en países asiáticos, debido que, son una fuente importante de compuestos activos naturales (Chen, 2003, p. 18; Bordbar *et al.*, 2011, p. 1770). Entre los diferentes tipos de compuestos naturales presentes, las saponinas son las más abundantes (Kamyab *et al.*, 2020, p. 8), con una amplia gama de actividades biológicas como: antioxidantes (Mohamed *et al.*, 2020, p. 237), hemolíticas, citotóxicas (Shadi y Oujifard, 2019, p. 5937), antifúngicas (Bahrami *et al.*, 2018, p. 21), anticáncer (Malyarenko *et al.*, 2020, p. 5), antibacterial y antifouling (Kamyab *et al.*, 2020, p. 9; Soliman *et al.*, 2016, p. 87).

- **Clase Asteroidea**

Las especies de estrellas de mar son especies clave en las comunidades marinas y depredadores importantes en los ecosistemas marinos, actuando además actúan como controladores biológicos (Rahman *et al.*, 2018, p. 4; Menge y Sanford, 2013, p. 80). En Canadá, *Asterias rubens* es un importante depredador de juveniles de *Placopecten magellanicus* (vieiras mar) (Barbeau y Scheibling, 1994, p. 308).

Asimismo, pueden generar pérdidas en maricultura, debido que tiene como alimento a especies con importancia comercial como, por ejemplo, el caso de *Mizuhopecten yessoensis*, una de las especies de vieira más importantes del mundo, tiene como depredadores a las estrellas de mar *Asterias amurensis* y

*Distolasterias nipon*, ocasionando un impacto negativo en la cosecha de vieiras (Miyoshi *et al.*, 2019, p. 8). En el océano Atlántico oriental, *Marthasterias glacialis* y *Astropecten aranciacus* (estrella de peine rojo) tienen como presa a *Venus verrucosa* (almeja venosa) (Güler y Lök, 2015, p. 99) y en Australia, *A. amurensis* tiene un gran impacto en la supervivencia de los bivalvos juveniles de *Fulvia tenuicostata* (Ross *et al.*, 2002, p. 104).

Además, las estrellas de mar presentan gran variedad de componentes químicos: 30 esteroides, 148 glucosídicos esteroideos, 24 gangliósidos, cuatro carotenoides y 10 oligoglucosidos; que participan en muchas actividades biológicas (Xia *et al.*, 2020, p. 29; Sumitha *et al.*, 2017, p. 4). Por ejemplo, los Anthenosides J y K, presentes en *Anthenea aspera*, son esteroides que poseen actividad inhibidora en la formación de colonias de células de melanoma humano, cáncer de mama y carcinoma colorrectal e induce apoptosis en células HT-29 de carcinoma colorrectal (Malyarenko *et al.*, 2018, p. 9). Las saponinas presentes en *A. indicus* muestran alta actividad antimicrobiana contra aislamientos patógenos de *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumonia*, también, mostró actividad moderada para *Salmonella paratyphi*, *S. typhi*, *Streptococcus sp.* y *Escherichia coli* (Chamundeewari *et al.*, 2012, p. 126). Por otro lado, el lisado de celomocitos de *Echinaster sepositus*, mostraron una actividad similar a las lisozimas, ejerció una actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Candida famata* (Stabili *et al.*, 2018, p. 6).

- **Clase Crinoidea**

La mayoría de los Crinoidea existentes son plumas de mar, con una gran cantidad de braquiópodos flexibles de varios colores, que proporcionan hábitats adecuados para microorganismos marinos (Zhang *et al.*, 2016, p. 1). Además, también proporcionan hábitats a seis clases de otros filos del reino animal: *Polychaeta*, *Gastropoda*, *Malacostraca*, *Ophiuroidea*, *Actinopterygii* (Britayev *et al.*, 2016, p. 668) y *Ostrácoda* (Tanaka *et al.*, 2020, p. 1).

Por otro lado, los equinodermos presentan metabolitos secundarios, que pueden subdividirse en esteroides, glucósidos y compuestos derivados, y son específicos para cada clase (Marmouzi *et al.*, 2018, p. 575). En el caso de la *Clase*

*Crinoidea*, se ha demostrado que estos metabolitos secundarios presentan actividades biológicas, por ejemplo, el extracto de crudo de acetona y acetato de etilo de *Capillaster multiradiatus* mostraron actividad antibacteriana contra cepas patógenas humanas como: *Bacillus cereus*, *Enterobacter aerogenes*, *Streptococcus pneumoniae* y cepas patógenas de peces como *Vibrio damselli*, *V. logii*, *V. cambelli*, *V. minicus* y *Aeromonas formicans* (Jebasingh *et al.*, 2015, p. 273). Asimismo, *C. multiradiatus* presenta cinco naftopironas, que inhiben la replicación *in vitro* del VIH-1 (Lum *et al.*, 2019, p. 7). Por otro lado, Wätjen *et al.* (2017) aislaron antraquinona 1'desoxirodoptilometrino y rodoptilometrino presentes en *Comanthus sp*, que muestran efectos citotóxicos contra glioma de rata y células de carcinoma de colon humano *in vitro* (p. 1493).

## **2.2. Definición de especie**

Desde el punto de vista biológico, definen a “especie” como organismos individuales que pueden reproducirse de manera natural y que resulta en una descendencia viable y fértil (De Queiroz, 2007, p. 880). En taxonomía, se define a especie, como el rango básico de clasificación, donde los taxónomos agrupan a las especies en géneros, familias, órdenes y reinos, mientras que los ecólogos agrupan las especies en estructuras superiores, como comunidades y ecosistemas (Mallet, 2001, p. 3).

## **2.3. Taxonomía tradicional**

La taxonomía tradicional está basada en función de las características morfológicas de las especies, es decir en el fenotipo, denominándose por ello taxonomía fenotípica y que a menudo representa una tarea desafiante (Maturana *et al.*, 2011, p.36; Boero y Bernardi, 2014, p. 63), dado que, requiere taxonomistas experimentados para la identificación de especies (Pečnikar y Buzan 2014, p. 43).

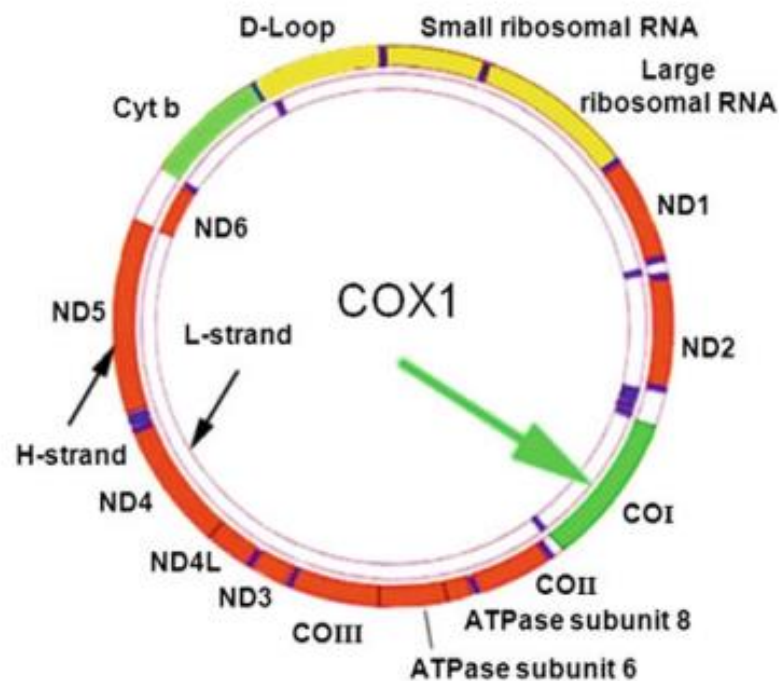
Durante 250 años solo se ha descubierto el 10% de la diversidad y es probable que ningún avance tecnológico permita describir el 90% restante en un período de tiempo más corto (Packer *et al.*, 2009, p.47), debido que, la taxonomía tradicional presenta limitaciones importantes, que conducen a una incorrecta identificación como por ejemplo: la plasticidad fenotípica de las especies, variabilidad genética en los caracteres empleados, falta de experiencia para el uso correcto de claves

taxonómicas (Hebert *et al.* 2003a, p. 313) y falta de claves morfológicas para todo el ciclo de vida (Pečnikar y Buzan, 2014, p. 43).

## 2.4. ADN mitocondrial (mtADN)

Las mitocondrias son organelos especializados presente en las células eucariotas, con importantes funciones esenciales, tales como: producción de energía en forma de ATP mediante la respiración aeróbica, la biosíntesis de precursores metabólicos de macromoléculas (lípidos, proteínas, ADN y ARN) y producción de subproductos metabólicos (especies reactivas de oxígeno y amoníaco) (Spinelli y Haigis, 2018, p.1).

El ADNmt es una molécula circular cerrada, de 16 a 17 kilobases de tamaño, conformado por 37 genes, incluyendo 13 genes codificadores de proteínas (PCG), dos ARN ribosomales (12S ARNr y 16S ARNr), 22 ARN de transferencia y una región de control que contiene sitios para la replicación y el inicio de la transcripción (Fig. 11) (Sato *et al.*, 2016, p. 2; Xie *et al.*, 2015, p. 1; Alcántara, 2007, p. 444).



**Fig. 11.** El genoma mitocondrial que muestra la posición del gen *COI* (Figura tomada de Trivedi *et al.*, 2014, p. 8).

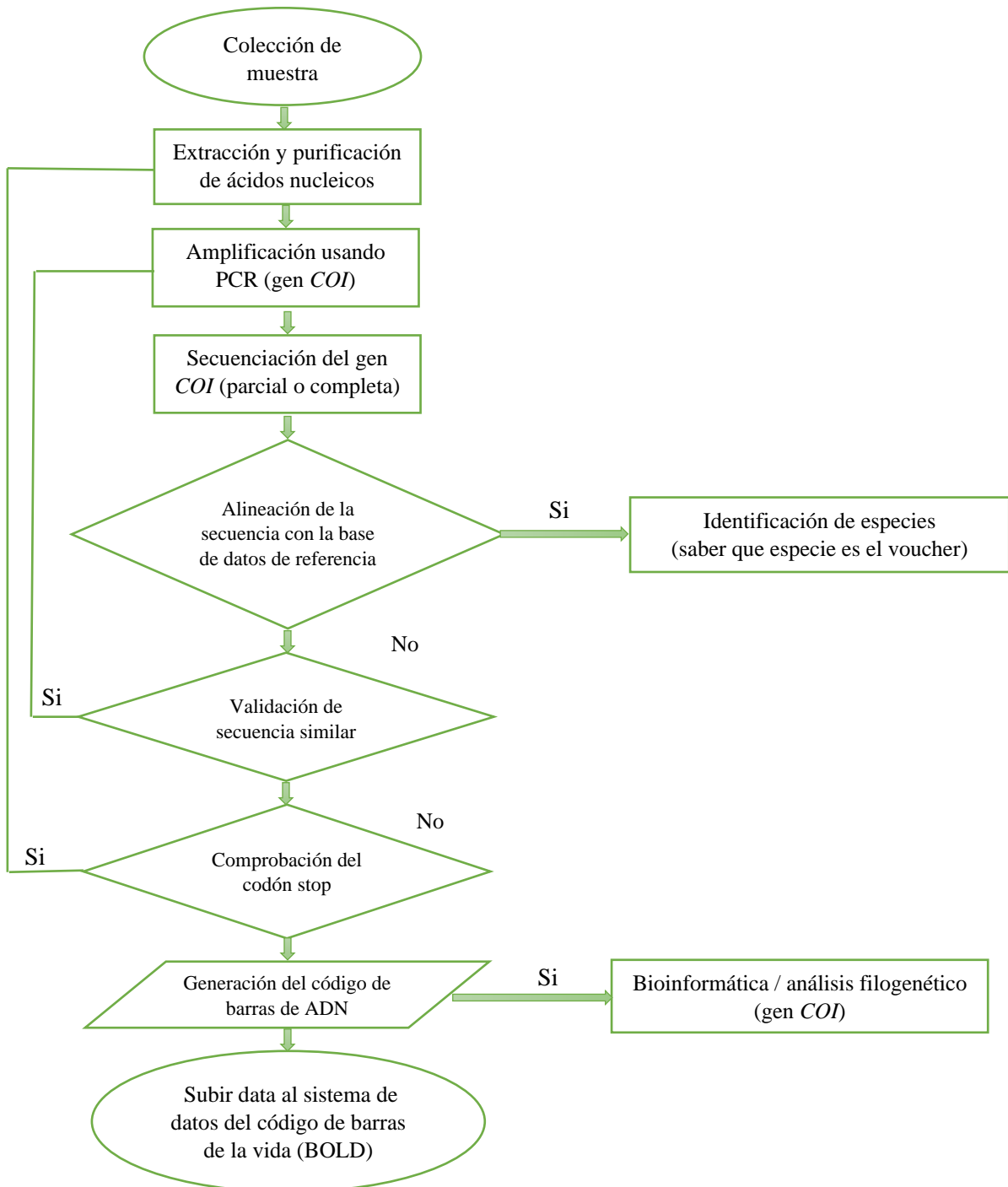
El ADNmt se está utilizando como marcadores moleculares en la identificación de especies (códigos de barras de ADN), así como en la genética de poblaciones, biología de la conservación, filogenia molecular y procesos evolutivos (Cole *et al.*, 2019, p. 785; Miya *et al.*, 2013, p. 9). Está siendo usada en estos estudios, debido a, las siguientes razones: (a) presenta genes conservados, esto quiere decir que, se puede generar muchos primers universales que amplificarán regiones de las mitocondrias en una amplia variedad de vertebrados e invertebrados; (b) posee alta tasa de mutación que permite altos niveles de polimorfismo y, así, revela múltiples linajes genéticos tanto dentro como entre poblaciones; (c) presenta baja recombinación, esto significa que, la descendencia tendrá el mismo genoma mitocondrial que la madre; (d) son haploides y se hereda uniparentalmente (Freeland, 2005, p.32).

## **2.5.Código de barras de ADN (ADN Barcode)**

La identificación taxonómica es una tarea desafiante, dado que, la mayor parte de la identificación de especies se ha basado en la morfología, pero con el avance de las técnicas moleculares, se ha desarrollado un método, conocido como Código de barras de ADN (Fig. 12) (Trivedi *et al.*, 2014, p. 7). En 2003, un grupo de investigadores en la Universidad de Guelph, Ontario, Canadá, generaron la iniciativa “DNA barcode” (<http://www.barcoding.si.edu>), con la idea de crear un sistema universal para organismos eucariotas basado en un sistema molecular estándar, idea que fue promovida gracias a la iniciativa internacional “Consortium for the Barcode of Life” (CBOL) en 2004. A partir de esta iniciativa, se generaron ambiciosos proyectos encaminados a identificar todas las especies dentro de grupos específicos, entre ellos peces (FISH-BOL, - [www.fishbol.org](http://www.fishbol.org)), aves (ABBI, [www.barcodingbirds.org](http://www.barcodingbirds.org)) y lepidópteros ([www.lepbarcoding.org](http://www.lepbarcoding.org)) (Vera *et al.*, 2012, p. 198).

El código de barras de ADN está basado en el gen citocromo c oxidasa sub unidad I (COI), región que se encuentra presente en las mitocondrias (Hebert *et al.*, 2003b, p. 98). Este gen es heredado principalmente a través de la línea materna y permite la identificación taxonómica de especies de animales (Purty y Chatterjee, 2016, p. 2). Su alta eficiencia ha sido comprobada en moluscos (Borges *et al.*, 2016, p.2), poliquetos (Lobo *et al.*, 2016, p. 302), artrópodos (Raupach *et al.*, 2015, p.12), cnidarios (Sinniger *et al.*, 2008, p. 1254), equinodermos (Ward *et al.*, 2008, p. 1210),

mamíferos (Hajibabaei *et al.*, 2007, p. 3), peces (Ward y Holmes, 2007, p. 906) y aves (Hebert *et al.*, 2004b, p. 1662).



**Fig. 12. Diagrama de flujo de la identificación y validación de la calidad de la secuencia de ADNmt (gen COI).** El diagrama de flujo explica todo el procedimiento, desde la recolección de muestras hasta el sistema de verificación de la calidad de los datos, para su posterior estudio (Bhattacharya *et al.*, 2016, p. 4).



En la aplicación de este método, se tiene en cuenta que los perfiles *COI* deben ser únicos para cada especie, los haplotipos de la especie deben pertenecer a un mismo grupo y la distancia genética interespecífica debe ser mayor que la intraespecífica. (Galimberti *et al.*, 2013, p. 56; Davison *et al.*, 2009, p. 1097; Hebert *et al.*, 2003a, p. 314; Hebert *et al.*, 2004b, p. 1660); es decir, mientras mayor sea la diferencia entre estas distancias, la discriminación de especies será eficiente (Toffoli *et al.*, 2008, p. 333; Meyer y Paulay, 2005, p. 2229).

El código de barras de ADN presenta aplicaciones prácticas que incluyen protección de especies en peligro de extinción, autenticación de productos, control de especies invasoras y plagas, monitoreo de la biodiversidad, análisis de dietas, vinculación de larvas de desarrollo con etapas adultas y el descubrimiento de nuevas especies (Bleidorn, 2017, p. 36). Además, contribuye en la conservación de una serie de organismos, ya que, el estado amenazado o en peligro de extinción de una especie solo puede determinarse si ésta es reconocida e identificable (Neigel *et al.*, 2007, p. 496). Por ejemplo, se pudo conocer la biodiversidad de los arrecifes de coral a través de código de barras de ADN identificando corales escleractinios duros en la costa egipcia del mar Rojo, el sur del golfo de Arabia y Taiwán (Mohammed *et al.*, 2018, p. 56; Hsu *et al.*, 2014, p. 8) y larvas de peces presente en el arrecife de coral del indio-Pacífico y la isla de la Sociedad del Pacífico (Hubert *et al.*, 2014, p. 8; Hubert *et al.*, 2010, p. 1196).

Este método también es utilizado en sistemas de fiscalización de alimentos (Galimberti *et al.*, 2013, p. 57). Marín *et al.* (2018) demostraron, mediante código de barras ADN, que 35 (26.72%) de las 131 muestras de mariscos comerciales vendidos en Perú estaban mal etiquetadas, la mayoría provienen de especies clasificadas como en peligro de extinción, vulnerables y casi amenazada (p. 27). Veneza *et al.* (2018) detectaron, mediante código de barras de ADN, que el 22% de los peces vendidos en Brasil como *Lutjanus purpureus*, corresponde a *Rhomboplites aurorubens*, especie con menor importancia comercial (p. 5). Günther *et al.* (2016) encontraron discrepancias en el etiquetado del producto de peces, como el caso de *Reinhardtius hippoglossoides*, etiquetado como *Hippoglossus hippoglossus* y *Ruvettus pretiosus* como *Lepidocybium flavobrunneum*, en ambos casos vendidos a mayor precio (p. 6). Debenedetti *et al.* (2014) demostraron que el código de barras de ADN puede ser utilizada para el control del fraude comercial de las especies de *Octopus* (p. 198).

## 2.6. Distancias genéticas

La distancia genética mide la diferencia en las frecuencias alélicas (diferencias de nucleótidos) y proporciona la comprensión de las relaciones genéticas entre poblaciones (Giuliano *et al.*, 2014, p. 4; Aremu, 2011, p. 81). Generalmente, se estima una matriz de distancias genéticas por pares entre un conjunto de poblaciones y se visualiza con fenogramas, gráficos de aislamiento por distancia, análisis de componentes principales o gráficos de escala multidimensional. Cada una de estas distancias genéticas tiene propiedades estadísticas y evolutivas únicas, y las relaciones evolutivas inferidas de cada distancia genética pueden ser diferentes (Kalinowski, 2002, p. 1263).

En el Código de Barras de ADN, el principio básico es tener una baja divergencia de secuencias de ADN entre individuos de la misma especie que entre las especies; es decir, la distancia genética entre individuos de la misma especie, denominada distancia intraespecífica, debería ser baja en comparación con la distancia genética entre especies diferentes, denominada distancia interespecífica (Akbar *et al.*, 2016, p. 126).

## 2.7. Delimitación de especie

Es el acto de identificar la diversidad biológica a nivel de especie y se divide en dos fases: descubrimiento de especies y validación de especies (Carstens *et al.*, 2013, p. 6). En la fase de descubrimiento de especies, se forman hipótesis sobre las posibles especies y normalmente se utiliza una única fuente de datos, por ejemplo, morfología o códigos de barras de ADN. En la fase de validación, se prueba estas hipótesis en base a datos adicionales y análisis sofisticados. En la mayoría de los estudios, esta división entre el descubrimiento y la validación de especies no se establece explícitamente, sino que está implícita (Martinsson y Erséus, 2021, p. 2).

Entre las fuentes de datos que se utilizan en la delimitación de especies, el código de barras de ADN surge como la solución práctica para reducir la brecha entre el deseo y necesidad de identificar y describir la diversidad (Hebert *et al.*, 2003b, p. 97). Este método utiliza secuencias de ADN de un gen y las agrupa en unidades taxonómicas operativas moleculares (MOTU) (Floyd *et al.*, 2002, p. 840). Los MOTUs son grupos de secuencias que actúan como representantes de los genomas

de los que se derivan y pueden ser analizados de la misma manera que una especie verdadera (Jones *et al.*, 2011, p. 1).

A medida que los datos genéticos se han convertido más accesibles y menos costosos de recopilar, han surgido una gran variedad de metodologías para la delimitación de especies (Carstens *et al.*, 2013, p. 4369), entre los que se encuentran:

- **Modelo coalescente general mixto de Yule (GMYC; Pons *et al.*, 2006)**

El modelo GMYC toma como entrada un árbol ultramétrico estimado a partir de un solo *locus* genético. El método intenta modelar el punto de transición entre la cladogénesis y la coalescencia de alelos utilizando la suposición de que la primera ocurrirá a una tasa mucho más baja que la última (Carstens *et al.*, 2013, p. 4), lo que da como resultado un cambio en la tasa de ramificación en un árbol ultramétrico, que refleja la transición entre los procesos macroevolutivos a nivel de especie (como la especiación y extinción) y los procesos microevolutivos a nivel de población (coalescencia de alelos) (Carstens *et al.*, 2013, p. 4; Fujisawa y Barraclough, 2013, p. 5).

- **Método de Árboles por Procesos de Poisson (PTP; Zhang *et al.*, 2013)**

El PTP está diseñado para árboles no ultramétricos que modela la especiación y los eventos coalescentes en relación con el número de sustituciones en lugar del tiempo, y utiliza algoritmos heurísticos para identificar la clasificación más probable de ramas en procesos de población y de especie (Tang *et al.*, 2014, p. 1087). La idea fundamental de PTP es que el número de sustituciones entre especies ha de ser significativamente más elevado que el número de sustituciones dentro de una especie. Así, el método asume que: (i) cada sustitución tiene una pequeña probabilidad de generar especiación; (ii) hay una distribución Poisson que describe especiación y otra independiente que describe la ramificación intraespecífica; (iii) en ambos casos, el número de sustituciones hasta el siguiente evento de ramificación sigue una distribución exponencial (Cadena, 2016, p. 57).

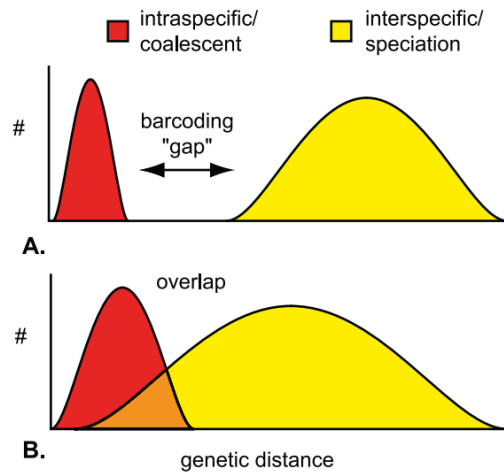
- **La implementación bayesiana del método PTP (bPTP; Zhang *et al.*, 2013)**

El método bPTP incorpora valores de soporte bayesiano para las especies delimitadas (Zhang *et al.*, 2013, p. 2869); también incorpora el número de sustituciones en el modelo de especiación y asume que la probabilidad de que una sustitución da lugar a un evento de especiación sigue una distribución de Poisson. En el árbol de entrada, las longitudes de las ramas del árbol de entrada son generadas por dos clases independientes de eventos de Poisson, una correspondiente a la especiación y la otra a la coalescencia (Grabowski *et al.*, 2017, p. 275).

Además, existe otro método que está siendo usado para la delimitación de especies denominado *The Barcode Index Number* (BIN). Este método es un algoritmo de cluster que se obtiene en la plataforma del BOLD SYSTEM y trabaja con las unidades taxonómicas operativas (OTU), las cuales asigna a cada espécimen, basándose en tres características reconocidas como deseables en un sistema taxonómico provisional: la unicidad global de los nombres, la estabilidad del nombre asignado a cada espécimen y el uso de un léxico distintivo para evitar la confusión con los nombres linneanos (Ratnasingham y Hebert, 2013, p. 3).

## **2.8.Barcode gap**

En la determinación exacta del rango taxonómico para los especímenes bajo diagnóstico; el *barcode gap* es la diferencia entre la distancia intraespecífica más alta y la distancia interespecífica más baja (Fig. 13) (DeSalle y Goldstein, 2019, p. 7). La ausencia de “*barcode gap*” en el código de barras, se debe a una identificación errónea, contaminación del ADN o antecedentes evolutivos reales como: hibridación, clasificación incompleta del linaje, especiación reciente (Gebhardt y Knebelberger, 2015, p. 263).



**Fig. 13. Representación esquemática hipotética del “barcode gap”.** La distribución de la variación intraespecífica se muestra en rojo y la divergencia interespecífica en amarillo. (A) Ideal para los códigos de barras, con distribuciones discretas y sin superposición. (B) Distribuciones superpuestas entre variación intra e interespecífica y sin barcode gap (Meyer y Paulay, 2005, p. 2230).

### **III.MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1.Población y muestra**

##### **3.1.1. Población**

La población lo conforman las especies de equinodermos que habitan en el litoral peruano, con posibilidad de captura.

##### **3.1.2. Muestra**

Conformado por 164 especímenes recolectados aleatoriamente, de la zona costera de los departamentos de Tumbes hasta Ica.

#### **3.2. Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano, con base en sus características morfológicas.**

##### **3.2.1. Colección de muestras**

Las muestras obtenidas en este estudio, fueron recolectadas en diferentes departamentos del litoral peruano y de la colección del Laboratorio de Biología Marina de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (Tabla 1 y Fig. 14). Estas muestras fueron extraídas mediante buceo realizado en la zona submareal, luego, fueron colocados en recipientes de plástico de 20 litros y transportados al Laboratorio de Genética, Fisiología y Reproducción (LGFyR) de la Universidad Nacional del Santa.

Para el procesamiento de las muestras recolectadas, se realizó el siguiente procedimiento: (a) las muestras fueron agrupadas por especies; (b) cada organismo fue individualizado en recipientes de plásticos de un litro; (c) un único código PEMAR fue asignado a cada muestra; (d) se tomó un ejemplar de cada grupo como voucher; (e) se hizo un registro fotográfico a los organismo voucher, con una cámara Canon PowerShot G1X (Canon USA, Melville, New York, USA); (f) un pedazo de tejido de cada muestra fue separada y agregada en tubos Eppendorf de 1.5 ml, lleno de alcohol al 96% y (g) los tejidos fueron trasladados y almacenados en una congeladora a -20°C.

**Tabla 1.** Ubicación política de los lugares de colecta, número de individuos y coordenadas de los lugares de muestreo.

<b>Estación</b>	<b>Departamento</b>	<b>Provincia</b>	<b>Lugar de colecta</b>	<b>n°</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	Tumbes	Tumbes	Manglar-Puerto Pizarro	1	-3.503	-80.414
2	Tumbes	Tumbes	La Cruz - Plataforma	2	-3.556	-81.606
3	Tumbes	Contralmirante Villar	Cancas	1*	-3.946	-80.943
4	Tumbes	Contralmirante Villar	Punta Sal	8	-3.981	-80.981
6	Piura	Talara	La Punta	1	-4.18	-81.138
7	Piura	Talara	Las Pocitas	3	-4.116	-81.084
8	Piura	Talara	Cabo Blanco	3*	-4.251	-81.232
9	Piura	Sechura	Bayóvar - La pared	1	-5.794	-81.086
10	Ancash	Santa	Bahía Samanco	1	-9.163	-78.567
11	Ancash	Casma	Playa La Gramita	2	-9.724	-78.296
12	Ancash	Casma	Playa Campanario	2	-9.494	-78.393
13	Ancash	Casma	Bahía Tortugas-Isla Tortugas	3	-9.38	-78.435
14	Ancash	Santa	Bahía Tortugas-El Mero	1	-9.362	-78.420
15	Ancash	Huarmey	Puerto Huarmey- Pacayal	1	-10.111	-78.182
16	Lima	Lima	Pucusana	1	-12.474	-76.803
17	Lima	Lima	Quebrada verde	2*	-12.270	-76.909
18	Lima	Cañete	Playa Melchorita	1	-13.253	-76.307
19	Ica	Nazca	SJ. Marcona - Playa Hermosa	3	-15.3556	-75.1706

n°: Número de especies colectadas en cada estación de muestreo.

\*: especies de la colección del Laboratorio de Biología Marina de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

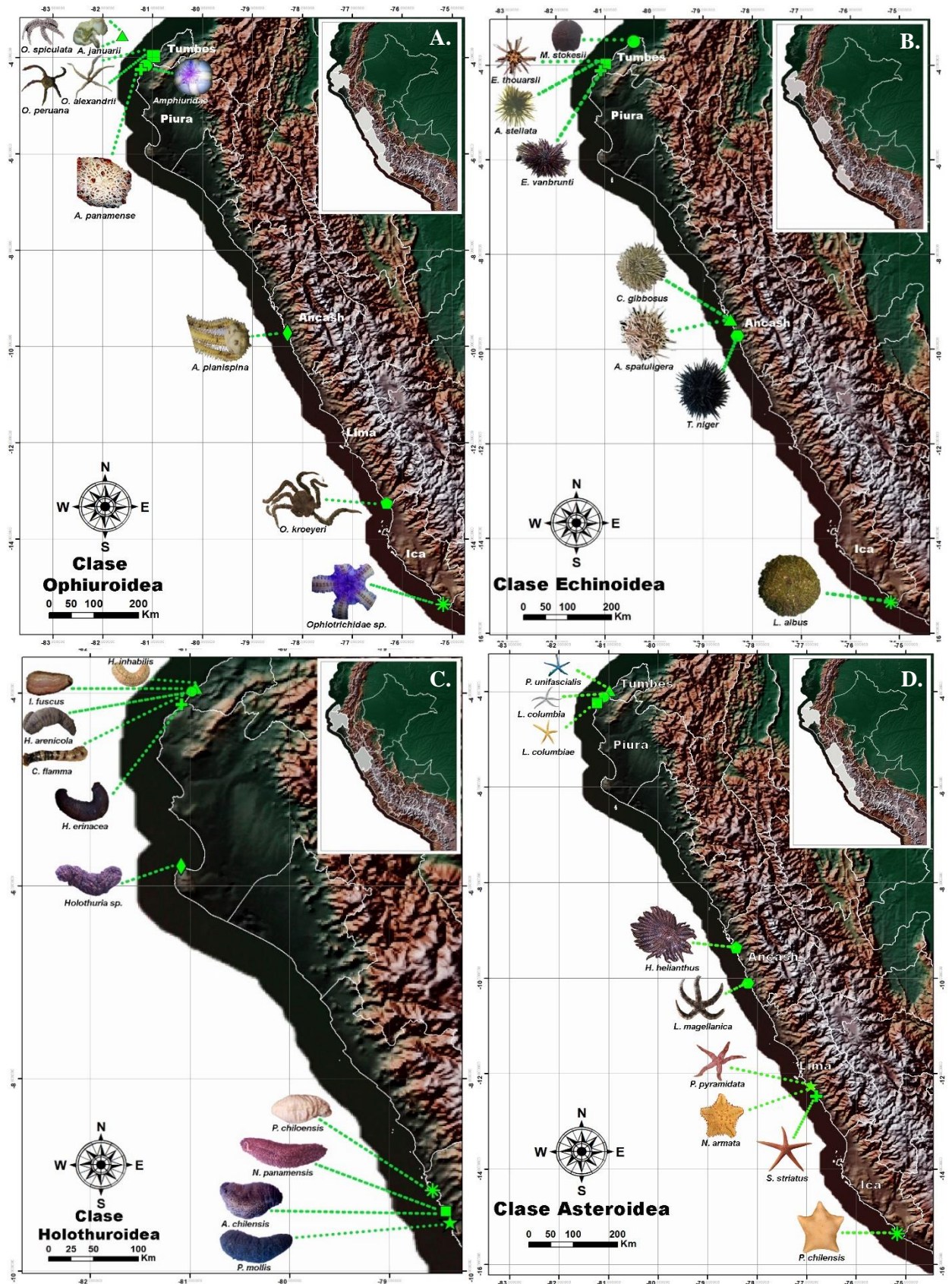


Fig. 14. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de organismo de equinodermos empleados en el presente estudio. A. Clase Ophiuroidea. B. Clase Echinoidea. C. Clase Holothuroidea. D. Clase Asteroidea. Los puntos están de acuerdo a la Tabla 2.



### **3.2.2. Identificación morfológica**

Los organismos vouchers se almacenaron en frascos llenos de formol al 10% y depositados en la Colección Científica del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao- Perú, donde fueron identificados por taxónomos especialistas, utilizando claves morfológicas por cada especie registradas (Clark, 1910; Deichmann, 1958; Hooker *et al.*, 2005; Hernández-Herrejón *et al.*, 2008; Prieto, 2010; Morales, 2011; Gondim *et al.*, 2013; Hooker *et al.*, 2013). La identificación morfológica fue además complementada con la base de datos de *The World Register of Marine Species* (WORMS) (<http://www.marinespecies.org/>). En algunos casos, los especímenes no pudieron ser identificados a nivel de especie, ya sea, porque no se logró evaluar los caracteres taxonómicos de diagnóstico, debido a una mala conservación de los especímenes o porque existió diferencias entre descripciones del espécimen y de la especie. En estos casos, se les asignó el rango taxonómico de mayor confianza (Por ejemplo, Amphiuroidae sp.).

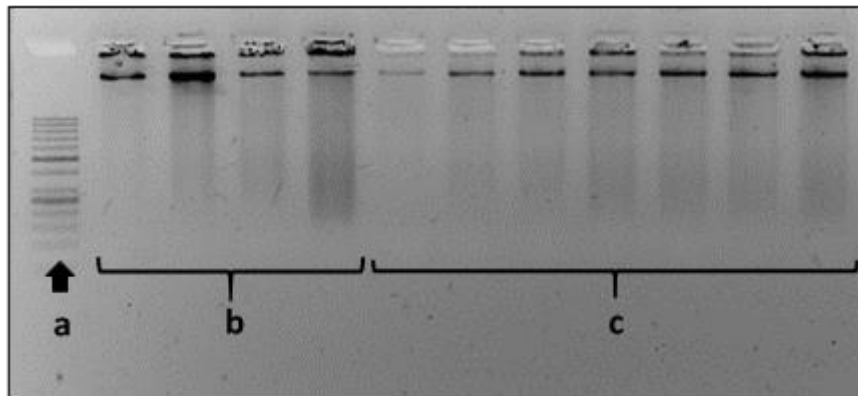
### **3.3. Identificación de las especies de equinodermos mediante sus secuencias de un fragmento del gen mitocondrial *COI*, utilizando la base de datos BOLD y GenBank.**

#### **3.3.1. Extracción de ADN**

Se extrajo el ADN genómico de todas las muestras recolectadas utilizando el método tradicional Fenol-Cloroformo (modificado de Taggart *et al.*, 1992, p. 963) y CTAB-Fenol-Cloroformo (modificado de Zuccarello y Lokhorst, 2005, p. 384). Para ello, se utilizó tejido de los Asteroideos (región del podio), Echinoideos (cerca del peristoma y gónadas), Holoturoideos (superficie del cuerpo) y Ofiuroideos (segmentos de los brazos) (Layton *et al.*, 2016, p. 16; Bribiesca *et al.*, 2013, p. 2).

Con la finalidad de evaluar la calidad e integridad del ADN, se realizó electroforesis en geles de agarosa al 1%, empleando una cámara electroforética marca Cleaver con una dilución de buffer TBE al 0.5 X (Tris-HCL, Ácido Bórico, EDTA), luego fue conectado a una fuente de poder modelo CS-300V y configurado por 40 minutos a 80 voltios. Además, se utilizó GelRed Nucleic Acid Gel Stain como agente intercalante y MassRuler ADN Ladder low range de 10000 pb como

marcador. Los geles de agarosa fueron visualizados en un fotodocumentador Thermo Scientific, mediante la exposición a luz ultravioleta (Fig. 15).



**Fig. 15.** Gel de agarosa al 1% donde se visualiza extractos de ADN de muestras de equinodermos: (a) Ladder; (b) tres muestras de *Arbacia spatuligera*, colectadas en Isla Tortugas; (c) siete muestras de *Amphipholis januarii*, procedentes de Manglar-Puerto Pizarro (Tumbes). Se observan bandas de ADN íntegras, definidas y de alto peso molecular.

### 3.3.2. Cuantificación de ADN

La calidad del ADN genómico obtenido fue cuantificada por espectrofotometría, utilizando el equipo Epoch Biotek, con una medición de la relación de absorbancia a 260 y 280 nm de longitud de onda, donde valores entre 1.8 y 2, se consideró óptima. Luego, las muestras fueron diluidas a una concentración promedio de 20 ng/ul como stock de trabajo y almacenadas a -20 °C para su posterior empleo en los experimentos. (Teare *et al.*, 1997, p.1170).

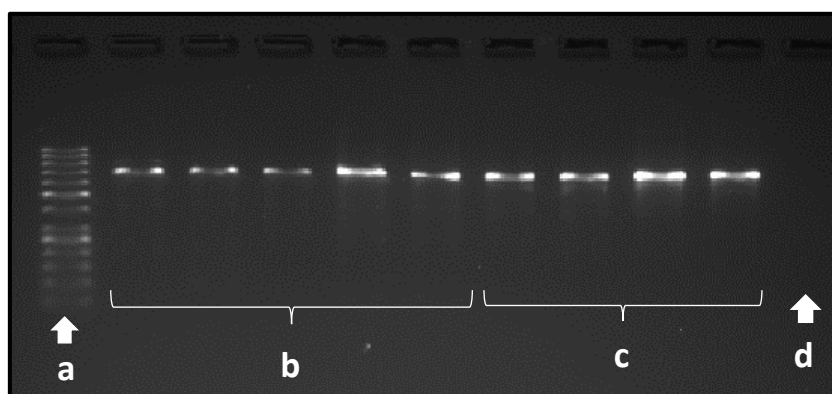
### 3.3.3. Amplificación del gen *COI*

La amplificación del gen *COI* se realizó mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR), para lo cual se usaron los oligonucleótidos descritos en la Tabla 2. Las reacciones de PCR se llevaron a cabo en un termociclador marca Veriti 96 Well Thermal Cycler, empleando las siguientes condiciones: una desnaturalización inicial de 94 °C por 2 min, seguido de 35 ciclos a 94 °C por 30s, annealing de 50 °C por 90s, extensión a 72 °C durante 1 min y una extensión final de 72 °C por 10 min (Ward *et al.*, 2008, p. 1203).

**Tabla 02.** Relación de *oligonucleótidos* empleados en la reacción en cadena de la polimerasa del gen *COI*, de especies de equinodermos utilizados en el presente estudio.

<i>Primers</i>	<i>Secuencias de amplificación</i>	<i>Referencia bibliográfica</i>
EchinoF1	5'TTTCAACTAATCATAAGGACATTGG 3'	Ward <i>et al.</i> , 2008, p. 1203
HCO2198	5'TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA 3'	Folmer <i>et al.</i> , 1994, p. 294
EchinoF1	5'TTTCAACTAATCATAAGGACATTGG 3'	Ward <i>et al.</i> , 2008, p.1203
COieR1	5'GCTCGTGTRTCTACRTCCAT 3'	Arndt <i>et al.</i> , 1996, p. 427
EchinoF1	5'TTTCAACTAATCATAAGGACATTGG 3'	Ward <i>et al.</i> , 2008, p.1203
EchinoR1	5'CTTCAGGGTGTCAAAAAATCA 3'.	Ward <i>et al.</i> , 2008, p.1203
COieF1	5'ATAATGATAGGAGGRTTTGG 3'	Arndt <i>et al.</i> , 1996, p. 427
COieR1	5'GCTCGTGTRTCTACRTCCAT 3'	Arndt <i>et al.</i> , 1996, p. 427
dgLCOF	5'GGTCAACAAATCATAAAGAYATYGG 3'	Meyer, 2003, p. 404
dgLCOR	5'TAAACTTCAGGGTGACCAARAAYCA 3'	Meyer, 2003, p. 404
LCOech1aF1	5'TTTTTTCTACTAAACACAAGGATATTGG 3'	Layton <i>et al.</i> , 2016, p. 4
HCO2198	5'TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA 3'	Folmer <i>et al.</i> , 1994, p. 294

Las reacciones de PCR tuvieron un volumen final de 18  $\mu$ L y una composición de 10.98  $\mu$ L de agua de PCR, 1.72  $\mu$ L de Taq Buffer KCl-MgCl<sub>2</sub> (10x), 1.31  $\mu$ L de MgCl<sub>2</sub> (25 mM), 0.85  $\mu$ L dNTPs (2.5 mM), 0.18  $\mu$ L de los oligonucleótidos forward y reverse (50  $\mu$ M), 0.18  $\mu$ L de Máximo *Taq DNA Polymerase* (5 U  $\mu$ L<sup>-1</sup>) y 2.6  $\mu$ L de DNA. Para muestras de difícil amplificación, se utilizó 3.59  $\mu$ L de buffer TBT- PAR 5X, compuesto por 1 mg mL<sup>-1</sup> BSA, 1% Tween 20, 8.5 mM Tris HCL pH 8 (Samarakoon *et al.*, 2013, p.1-3). El éxito de la amplificación se visualizó en geles de agarosa al 1%, utilizando GelRed Nucleic Acid Gel Stain como agente intercalante y MassRuler ADN Ladder low range de 10000 pb como marcador para determinar el tamaño del fragmento amplificado (Fig. 16).



**Fig. 16.** Gel de agarosa al 1%, que muestra la PCR del gen *COI*, (a) Ladder; (b) cinco muestras de *Isostichopus fuscus*; (c) cuatro muestras de *Holothuria portovallartensis*; (d) control negativo (agua de PCR).

### **3.3.4. Secuenciación de las muestras**

Los productos de amplificación obtenidos mediante la técnica de PCR con los oligonucleótidos forward y reverse, fueron enviados a la empresa MACROGEN (USA), para su respectiva secuenciación por electroforesis capilar. Los resultados obtenidos fueron dos archivos tipo ab1 que representaron la secuencia forward y reverse de cada muestra enviada.

### **3.3.5. Edición de secuencias**

Los archivos tipo ab1 de cada muestra fueron ensambladas y editadas mediante el programa CodonCode Aligner v. 8.0.1. Las secuencias se trabajaron manualmente, eliminándose las regiones flanqueantes de los oligonucleótidos, lugares de baja calidad y corrección de nucleótidos ambiguos generados por el proceso de secuenciación. Al final, se obtuvo una secuencia consenso en formato fasta.

### **3.3.6. Identificación de las secuencias en las bases de datos BOLD y GenBank**

Para verificar que las secuencias nucleotídicas corresponden a la amplificación del gen *COI* de las especies en estudio, se utilizó: a) el Sistema de identificación BOLD (<http://www.boldsystems.org>), utilizando la base de datos de "registros de códigos de barras a nivel de especie" y b) la Herramienta Básica de Búsqueda de Alineación Local (BLAST) del Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI, <http://www.blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>), empleando el motor de identificación BLASTn. Para la identificación de las secuencias de nucleótidos a nivel de especie, fue considerado un porcentaje de identidad mínima al 99% (Alcudia-Catalma *et al.*, 2020, p. 338).

### **3.4. Definir las agrupaciones de las secuencias de equinodermos del litoral peruano (MOTU's) a través de: métodos de delimitación de especies, sus distancias genéticas interespecíficas e intraespecíficas y el umbral del *barcode gap*.**

#### **3.4.1. Delimitación de especies**

##### **3.4.1.1. Elaboración de la matriz general de secuencias**

Cuatro matrices fueron elaboradas con las secuencias consenso de equinodermos, las cuales representaron las cuatro clases en que se dividieron, matriz Ophiuroidea, Echinoidea, Holothuroidea y Asteroidea. Cada matriz fue procesada empleando un alineamiento múltiple utilizando el algoritmo Clustal W (Thompson *et al.*, 1994, p. 4673-4680), implementado en el programa Mega v.7 (Kumar *et al.*, 2016, p.1870-1874), los extremos en cada una de las matrices fueron eliminadas.

##### **3.4.1.2. Ingreso de datos en el BOLD SYSTEMS**

Para el ingreso de datos en la plataforma del Bold Systems (<http://www.boldsystems.org/>), se tuvo en cuenta los siguientes datos: el código PEMAR asignado, la información taxonómica de cada espécimen identificado y la información geográfica del lugar de colecta. Posterior a ello, la plataforma asigno a cada espécimen con un código PMINV, lo cual permitió el ingreso de las secuencias consenso y los electroferogramas en archivos tipo ab1. Luego del ingreso de los archivos, la plataforma asignó The Barcode Index Number System (BIN), que se usó en los análisis posteriores.

##### **3.4.1.3. Análisis filogenético**

Para el análisis filogenético, los modelos de sustitución nucleotídica fueron obtenidos, utilizando el programa informático jModeltest 2 (Darriba *et al.*, 2012, p.772), siguiendo el criterio Bayesiano - Bayesian Information Criterion, BIC. Los modelos seleccionados para cada matriz de nucleótidos fueron GTR+I+G, HKY+G, GTR+I+G y HKY+I+G en la clase Ophiuroidea, Echinoidea, Holothuroidea y Asteroidea respectivamente.

Una vez obtenidos los modelos de sustitución, se generó cuatro árboles ultramétricos utilizando el programa BEAUti (Bayesian Evolutionary Analysis Utility) para la configuración de los parámetros requeridos por el programa Beast 2.4.3 (Bouckaert *et al.*, 2014). Se utilizaron los siguientes parámetros: a) El Modelo de Reloj fue “Relaxed clock Log Normal”; b) los modelos de sustitución nucleotídica obtenidos anteriormente y c) el Tree Prior utilizado fue “Birth Death Model”. Además, se generaron 200 millones de generaciones de Markov Chain Monte Carlo (MCMC) con un muestreo cada 200000 generaciones para cada matriz.

La visualización por gráficas de las cadenas generadas MCMC se realizó en Tracer v1.7.1 y se observó que el tamaño de muestra alcanzada (ESS) fue superior a 200. Todos los árboles generados fueron fusionados para obtener un árbol consenso con Tree Annotator 2.6.3 (Bouckaert *et al.*, 2019, p. 1-28), indicando un 25% burn-in para eliminar la fase inicial no estable de la cadena.

El árbol generado se visualizó en el programa FigTree v1.4.1 (Rambaut *et al.*, 2018, p. 1-3), exportándose en formato Newick (NWK) para su posterior uso en los análisis de delimitación de especies.

#### **3.4.1.4. Análisis de delimitación de especies**

Para generar unidades taxonómicas moleculares operativas (MOTUs), se utilizó the Generalized Mixed Yule Coalescent model (GMYC) (Fujisawa y Barraclough, 2013, p.707), the Poisson Tree Processes model (PTP) (Zhang *et al.*, 2013) y the Bayesian implementation of the Poisson Tree Processes model (bPTP) (Zhang *et al.*, 2013). Todos estos análisis fueron calculados mediante el desarrollo de un programa escrito en Python (Ramirez *et al.*, 2023, p. 1), que genera una delimitación por consenso (MOTU por consenso).

Adicionalmente, se utilizó algoritmos de cluster, the Barcode Index Number System (BIN) (Ratnasingham y Hebert, 2013, p. 1) que fue determinado automáticamente en BOLD Workbench.

### **3.4.2. Distancias genéticas**

Los análisis de distancia fueron estimados utilizando el modelo de sustitución nucleotídica Kimura 2-parámetros (K2P) (Kimura, 1980, p.111- 120). Estos valores se utilizaron para calcular el promedio, máximos y mínimos de las distancias intraespecíficas e interespecíficas. Todos estos resultados fueron calculados mediante el desarrollo de un programa escrito en Python (Ramirez *et al.*, 2023, p. 1).

### **3.4.3. Análisis de *barcode gap***

A partir de los datos obtenidos de las distancias genéticas, se realizó el análisis de *barcode gap* mediante el desarrollo de un programa escrito en Python (Ramirez *et al.*, 2023, p. 1).

## IV.RESULTADOS

### 4.1 Identificación de las especies de equinodermos del litoral peruano, con base en sus características morfológicas.

Se identificaron 37 especies, que abarcaron un total de 21 familias, 13 órdenes, 4 subclases y 4 clases que incluyen a *Ophiuroidea*, *Echinoidea*, *Holothuroidea* y *Asteroidea*. De estas 37 especies, cuatro no pudieron ser asignadas a ninguna especie descrita y se les dio un nombre provisional.

La clase *Ophiuroidea*, conformada por una subclase, tres órdenes, cinco familias y diez especies. De las cuales, tres fueron identificadas con nombres provisionales (*Amphiuridae* sp., *Ophiotrichidae* sp. y *Astrodictyum* sp.) (Tabla 3). *Echinoidea* representada por dos subclases, cuatro órdenes, cinco familias y ocho especies (Tabla 4). *Holothuroidea* representada por una subclase, tres órdenes, cinco familias y 10 especies, de las cuales, una se identificó con nombre provisional (*Holothuria* sp.) (Tabla 5). Por último, la clase *Asteroidea*, representada por tres órdenes, seis familias y nueve especies (Tabla 6).

**Tabla 3.** Clasificación taxonómica de la Clase *Ophiuroidea* en base a su identificación morfológica.

Clase	Subclase	Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Amphilepidida	Amphiuridae	<i>Amphipholis cf. januarii</i>	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Amphilepidida	Amphiuridae	<i>Amphiodia planispina</i>	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Amphilepidida	Amphiuridae	<i>Amphiuridae</i> sp *	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Amphilepidida	Ophiotrichidae	<i>Ophiotrichidae</i> sp *	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Amphilepidida	Ophiotrichidae	<i>Ophiothrix spiculata</i>	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Amphilepidida	Ophiactidae	<i>Ophiactis kroeyeri</i>	Estrella serpenteante marina
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Ophiacanthida	Ophiodermatidae	<i>Ophioderma peruana</i>	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Ophiacanthida	Ophiodermatidae	<i>Ophiocomella alexandri</i>	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Euryalida	Gorgonocephalidae	<i>Astrodictyum panamensis</i>	
Ophiuroidea	Myophiuroidea	Euryalida	Gorgonocephalidae	<i>Astrodictyum</i> sp *	

\* Identificación provisional



**Tabla 4.** Clasificación taxonómica de la Clase Echinoidea en base a su identificación morfológica.

Clase	Subclase	Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común
Echinoidea	Euechinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbacia spatuligera</i>	-
Echinoidea	Euechinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbacia stellata</i>	-
Echinoidea	Euechinoidea	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Tetrapyrgus niger</i>	Erizo negro
Echinoidea	Euechinoidea	Camarodonta	Echinometridae	<i>Caenocentrotus gibbosus</i>	Erizo de espinas largas
Echinoidea	Euechinoidea	Camarodonta	Echinometridae	<i>Echinometra cf. vanbrunti</i>	-
Echinoidea	Euechinoidea	Camarodonta	Parechinidae	<i>Loxechinus albus</i>	Erizo verde
Echinoidea	Euechinoidea	Clypeasteroidea	Mellitidae	<i>Mellitella stokesii</i>	Dólar de mar
Echinoidea	Cidaroida	Cidaroida	Cidaridae	<i>Euclidaris thouarsii</i>	-

**Tabla 5.** Clasificación taxonómica de la Clase Holothuroidea en base a su identificación morfológica.

Clase	Subclase	Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común
Holothuroidea	Actinopoda	Dendrochirotida	Cucumariidae	<i>Pattalus mollis</i>	Ancoco
Holothuroidea	Actinopoda	Dendrochirotida	Cucumariidae	<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	Burrowing shaggy seacucumber
Holothuroidea	Actinopoda	Dendrochirotida	Sclerodactylidae	<i>Neothyone panamensis</i>	-
Holothuroidea	Actinopoda	Dendrochirotida	Phyllophoridae	<i>Pentamera chiloensis</i>	-
Holothuroidea	Actinopoda	Holothuriida	Holothuriidae	<i>Holothuria erinacea</i>	-
Holothuroidea	Actinopoda	Holothuriida	Holothuriidae	<i>Holothuria arenicola</i>	-
Holothuroidea	Actinopoda	Holothuriida	Holothuriidae	<i>Holothuria sp.*</i>	-
Holothuroidea	Actinopoda	Dendrochirotida	Cucumariidae	<i>Cucumaria flamma**</i>	-
Holothuroidea	Actinopoda	Holothuriida	Holothuriidae	<i>Holothuria aff. inhabilis</i>	-
Holothuroidea	Actinopoda	Synallactida	Stichopodidae	<i>Isostichopus fuscus</i>	Pepino de mar pardo

\* Identificación provisional

\*\* Identificado molecularmente

**Tabla 6.** Clasificación taxonómica de la Clase Asteroidea en base a su identificación morfológica.

Clase	Subclase	Orden	Familia	Nombre científico	Nombre común
Asteroidea	-	Forcipulatida	Heliasteridae	<i>Heliaster helianthus</i>	Sol de mar
Asteroidea	-	Forcipulatida	Stichasteridae	<i>Stichaster striatus</i>	Estrella de mar
Asteroidea	-	Paxillosida	Luidiidae	<i>Luidia magellanica</i>	Estrella negra
Asteroidea	-	Paxillosida	Luidiidae	<i>Luidia columbia</i>	Estrella de arena
Asteroidea	-	Valvatida	Ophiasteridae	<i>Phataria unifascialis</i>	Estrella espinosa de arena
Asteroidea	-	Valvatida	Ophiasteridae	<i>Pharia pyramidata</i>	-
Asteroidea	-	Valvatida	Ophiasteridae	<i>Linckia columbiae</i>	-
Asteroidea	-	Valvatida	Asterinidae	<i>Patiria chilensis</i>	Estrella chica
Asteroidea	-	Valvatida	Oreasteridae	<i>Nidorellia armata</i>	-

#### **4.2. Identificación de las especies de equinodermos mediante sus secuencias de un fragmento del gen mitocondrial *COI*, utilizando la base de datos BOLD y GenBank.**

Con la amplificación del gen mitocondrial *COI*, se confirmaron un total de 164 secuencias, de las cuales 34 pertenecieron a Ofiuroideos, 39 a equinoideos, 48 a holotúridos y 43 a asteroideos.

En el caso de la clase Ophiuroidea, se identificaron nueve especímenes pertenecientes a dos especies (20%): *Ophiocomella alexandri* y *Ophiothrix spiculata*, con un porcentaje de identidad mayor a 99% según la base de datos BOLD, mientras que, con la plataforma GenBank, se identificó ocho especímenes mayores a 99% pertenecientes a *Ophiocomella alexandri* y *Ophiothrix spiculata* (Tabla 7). No se consideró las secuencias de *Ophioderma peruana*, a pesar de mostrar 99.40% de coincidencia con las secuencias de *O. teres* de la base de datos BOLD, debido que presentan inconsistencias en la identificación taxonómica de este trabajo, con la identificación de las secuencias de la base de datos BOLD (Tabla 8).

Con respecto a la clase Echinoidea, BOLD y GenBank identificó 35 especímenes (87.50%), siendo la especie *Caenocentrotus gibbosus* la única que no superó el porcentaje de identidad requerido (Tabla 7 y 9). Estos resultados demostraron que la identificación morfológica de los especímenes fue más concordante con los resultados arrojados por las dos bases de datos y permitió confirmar la identidad taxonómica de las especies de esta clase.

Por otro lado, para la clase Holothuroidea se identificó doce especímenes pertenecientes a tres especies (30%): *Athyonidium chilensis*, *Holothuria arenícola* y *Holothuria sp2*, con porcentaje de identidad superior a 99% en BOLD, en tanto GenBank identificó seis especímenes pertenecientes a *Athyonidium chilensis* (10%) con porcentaje mayor a 99% (Tabla 7). Cabe señalar que, las secuencias de Cucumariidae obtuvieron identidad promedio de 99.45% con las secuencias de *Cucumaria flamma* de la base de datos BOLD (Tabla 10). Por ello, se evidenció que la base de datos BOLD permitió designar la identidad hasta nivel de especie de las secuencias de *Holothuria sp2*. Por otro lado, se evidenció inconsistencia entre las secuencias de *Isostichopus fuscus* y *Holothuria*

*erinacea* con las secuencias de *Isostichopus fuscus* y *Holothuria portovallartensis* de las bases de datos GenBank.

En relación a la clase Asteroidea, la base de datos BOLD identificó 28 especímenes pertenecientes a siete especies (77.77%): *Phataria unisfacialis*, *Nidorellia armata*, *Pharia pyramidata*, *Patiria chilensis*, *Linckia clombiae*, *Heliaster helianthus* y *Stichaster striatus*, con porcentaje de identidad superior a 99%, en tanto, GenBank 19 especímenes pertenecientes a cuatro especies (44.44%) con porcentaje mayores a 99% (Tabla 7, 11). En el caso de *P. chilensis*, se incluyó a pesar de tener un 98% de identidad promedio para ambas bases de datos.

**Tabla 7.** Porcentaje y número de especies que obtuvieron: el porcentaje de identidad (>99%) y nuevas secuencias aportadas a la base de datos BOLD y GenBank.

Clase	Número de especies	Identificación de especies mediante sus secuencias de un fragmento del gen mitocondrial			
		BOLD (%)		GenBank (%)	
		Identidad	Nuevas secuencias	Identidad	Nuevas secuencias
<b>Ophiuroidea</b>	10	20% (2)	70% (7)	20% (2)	80% (8)
<b>Echinoidea</b>	8	87.50% (7)	12.5% (1)	87.50% (7)	12.5% (1)
<b>Holothuroidea</b>	10	30% (3)	60% (6)	10% (1)	80% (8)
<b>Asteroidea</b>	9	77.77% (7)	22.22% (2)	44.44% (4)	55.55% (5)
<b>Total</b>	37	51.40% (19)	43.24% (16)	37.80% (14)	59.50% (22)

**Tabla 8.** Identificación de las secuencias de ofiuroides, según la base de datos de BOLD y GenBank.

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
* <i>Amphipholis cf. januarii</i>	PEMAR_I1144	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Ophiophragmus acutispina</i>	84.70	<i>Ophiocentrus aspera</i>	84.84	ADR1045
* <i>Amphipholis cf. januarii</i>	PEMAR_I1146	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Ophiophragmus acutispina</i>	84.54	<i>Ophiocentrus aspera</i>	84.68	ADR1045
* <i>Amphipholis cf. januarii</i>	PEMAR_I1710	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Ophiophragmus acutispina</i>	84.70	<i>Ophiocentrus aspera</i>	84.84	ADR1045
* <i>Amphipholis cf. januarii</i>	PEMAR_I1711	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Ophiophragmus acutispina</i>	84.70	<i>Microphiopholis atra</i>	83.90	ADR1045
* <i>Amphipholis cf. januarii</i>	PEMAR_I1712	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Ophiophragmus acutispina</i>	84.54	<i>Ophiocentrus aspera</i>	84.68	ADR1045
* <i>Amphipholis cf. januarii</i>	PEMAR_I1713	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Ophiophragmus acutispina</i>	84.86	<i>Ophiocentrus aspera</i>	84.68	ADR1045
* <i>Amphipholis cf. januarii</i>	PEMAR_I1714	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Ophiophragmus acutispina</i>	84.38	<i>Ophiocentrus aspera</i>	84.52	ADR1045
* <i>Ophiactis kroeyeri</i>	PEMAR_I0318	Playa Melchorita	<i>Ophiactis simplex</i>	92.27	<i>Ophiactis simplex</i>	91.61	ACC6904
* <i>Ophiactis kroeyeri</i>	PEMAR_I0319	Playa Melchorita	<i>Ophiactis simplex</i>	92.27	<i>Ophiactis simplex</i>	91.61	ACC6904
* <i>Ophiotrichidae sp</i>	PEMAR_I2617	Marcona	No match	-	<i>Ophionereis dubia</i>	80.16	-
* <i>Ophiotrichidae sp</i>	PEMAR_I2618	Marcona	No match	-	<i>Ophionereis dubia</i>	80.16	-
<i>Ophioderma peruana</i>	PEMAR_I1287	Punta Sal	<i>Ophioderma teres</i>	99.37	<i>Ophioderma cinérea</i>	91.93	Privado
<i>Ophioderma peruana</i>	PEMAR_I2210	Punta Sal	<i>Ophioderma teres</i>	99.37	<i>Ophioderma cinérea</i>	92.09	Privado
<i>Ophioderma peruana</i>	PEMAR_I2211	Punta Sal	<i>Ophioderma teres</i>	99.21	<i>Ophioderma cinérea</i>	91.93	Privado
<i>Ophioderma peruana</i>	PEMAR_I2212	Punta Sal	<i>Ophioderma teres</i>	99.37	<i>Ophioderma cinérea</i>	92.09	Privado
<i>Ophioderma peruana</i>	PEMAR_I2213	Punta Sal	<i>Ophioderma teres</i>	99.69	<i>Ophioderma cinérea</i>	92.09	Privado
<i>Ophiocomella alexandri</i>	PEMAR_I2237	Punta Sal	<i>Ophiocomella alexandri</i>	99.68	<i>Ophiocoma alexandri</i>	96.82	-
<i>Ophiocomella alexandri</i>	PEMAR_I2238	Punta Sal	<i>Ophiocomella alexandri</i>	99.68	<i>Ophiocoma alexandri</i>	99.39	-
* <i>Amphiodia planispina</i>	PEMAR_I2288	Playa La Gramita	<i>Ophiophragmus chilensis</i>	98.40	<i>Amphioplus depressus</i>	83.39	Privado
* <i>Amphiodia planispina</i>	PEMAR_I2289	Playa La Gramita	<i>Ophiophragmus chilensis</i>	98.08	<i>Ophiophragmus wurdemanii</i>	83.92	Privado
* <i>Amphiodia planispina</i>	PEMAR_I2290	Playa La Gramita	<i>Ophiophragmus chilensis</i>	98.43	<i>Ophiophragmus wurdemanii</i>	83.23	Privado
<i>Ophiothrix spiculata</i>	PEMAR_I1679	La Cruz-Plataforma	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.81	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.78	ACC6919
<i>Ophiothrix spiculata</i>	PEMAR_I1680	La Cruz-Plataforma	<i>Ophiothrix spiculata</i>	100	<i>Ophiothrix spiculata</i>	100	ACC6919
<i>Ophiothrix spiculata</i>	PEMAR_I1681	La Cruz-Plataforma	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.44	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.11	ACC6919
<i>Ophiothrix spiculata</i>	PEMAR_I1682	La Cruz-Plataforma	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.81	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.78	ACC6919
<i>Ophiothrix spiculata</i>	PEMAR_I1683	La Cruz-Plataforma	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.26	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.11	ACC6919
<i>Ophiothrix spiculata</i>	PEMAR_I1684	La Cruz-Plataforma	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.11	<i>Ophiothrix spiculata</i>	98.89	ACC6919

\*Nuevo registro para BOLD

**Tabla 8.** Identificación de las secuencias de ofiuroides, según la base de datos de BOLD y GenBank (continuación)

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
<i>Ophiothrix spiculata</i>	PEMAR_I1685	La Cruz-Plataforma	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.55	<i>Ophiothrix spiculata</i>	99.55	ACC6919
* <i>Astrodictyum panamensis</i>	PEMAR_I2875	Cabo Blanco	No match	-	<i>Astrosierra microconus</i>	85.13	-
* <i>Astrodictyum panamensis</i>	PEMAR_I2876	Cabo Blanco	No match	-	<i>Astrosierra microconus</i>	84.96	-
* <i>Astrodictyum sp</i>	PEMAR_I2873	Cabo Blanco	No match	-	<i>Astrosierra microconus</i>	84.96	-
* <i>Astrodictyum sp</i>	PEMAR_I2874	Tumbes	No match	-	<i>Astrosierra microconus</i>	84.96	-
* <i>Astrodictyum sp</i>	PEMAR_I2877	Cabo Blanco	No match	-	<i>Astrosierra microconus</i>	84.96	-
* <i>Amphiuridae sp</i>	PEMAR_I2246	La Punta	No match	-	<i>Amphioplus andreae</i>	83.04	-

\*Nuevo registro para BOLD

**Tabla 9.** Identificación de las secuencias de echinoideos, según la base de datos de BOLD y GenBank.

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
<i>Arbacia spatuligera</i>	PEMAR_I0086	Bahía Tortugas	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	ADN4453
<i>Arbacia spatuligera</i>	PEMAR_I0087	Isla Tortuga	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	ADN4453
<i>Arbacia spatuligera</i>	PEMAR_I0089	Isla Tortuga	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	ADN4453
<i>Arbacia spatuligera</i>	PEMAR_I0090	Isla Tortuga	<i>Arbacia spatuligera</i>	99.84	<i>Arbacia spatuligera</i>	99.84	ADN4453
<i>Arbacia spatuligera</i>	PEMAR_I0810	Puerto Huarmey	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	ADN4453
<i>Arbacia spatuligera</i>	PEMAR_I0811	Pucusana	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	<i>Arbacia spatuligera</i>	100	ADN4453
<i>Tetrapygyus niger</i>	PEMAR_I0365	Playa La Gramita	<i>Tetrapygyus niger</i>	100	<i>Tetrapygyus niger</i>	100	ACQ3802
<i>Tetrapygyus niger</i>	PEMAR_I0651	Playa La Gramita	<i>Tetrapygyus niger</i>	100	<i>Tetrapygyus niger</i>	100	ACQ3802
<i>Tetrapygyus niger</i>	PEMAR_I0652	Playa La Gramita	<i>Tetrapygyus niger</i>	100	<i>Tetrapygyus niger</i>	100	ACQ3802
<b>*Caenocentrotus gibbosus</b>	PEMAR_I0092	Isla Tortugas	<i>Loxechinus albus</i>	87.1	<i>Sterechinus neumayeri</i>	85.37	AAX6523
<b>*Caenocentrotus gibbosus</b>	PEMAR_I0841	Puerto Huarmey	<i>Loxechinus albus</i>	86.88	<i>Sterechinus neumayeri</i>	85.37	AAX6523
<b>*Caenocentrotus gibbosus</b>	PEMAR_I0842	Puerto Huarmey	<i>Loxechinus albus</i>	87.1	<i>Sterechinus neumayeri</i>	85.05	AAX6523
<b>*Caenocentrotus gibbosus</b>	PEMAR_I1536	Punta Sal	<i>Loxechinus albus</i>	86.67	<i>Sterechinus neumayeri</i>	85.05	AAX6523
<i>Mellitella stokesii</i>	PEMAR_I1259	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Mellitella stokesii</i>	99.51	<i>Mellitella stokesii</i>	99.40	ADX2372
<i>Mellitella stokesii</i>	PEMAR_I1260	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	ADX2372
<i>Mellitella stokesii</i>	PEMAR_I1261	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	ADX2372
<i>Mellitella stokesii</i>	PEMAR_I1262	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Mellitella stokesii</i>	99.51	<i>Mellitella stokesii</i>	99.40	ADX2372
<i>Mellitella stokesii</i>	PEMAR_I1263	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	ADX2372
<i>Mellitella stokesii</i>	PEMAR_I1264	Manglar-Puerto Pizarro	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	<i>Mellitella stokesii</i>	99.52	ADX2372
<i>Arbacia stellata</i>	PEMAR_I1538	Punta Sal	<i>Arbacia stellata</i>	99.78	<i>Arbacia stellata</i>	99.78	ABA1980
<i>Arbacia stellata</i>	PEMAR_I1539	Punta Sal	<i>Arbacia stellata</i>	99.57	<i>Arbacia stellata</i>	99.57	ABA1980
<i>Arbacia stellata</i>	PEMAR_I1571	La Cruz-Ladrilleras	<i>Arbacia stellata</i>	99.78	<i>Arbacia stellata</i>	99.79	ABA1980
<i>Arbacia stellata</i>	PEMAR_I1572	La Cruz-Ladrilleras	<i>Arbacia stellata</i>	99.78	<i>Arbacia stellata</i>	99.79	ABA1980
<i>Arbacia stellata</i>	PEMAR_I1573	La Cruz-Ladrilleras	<i>Arbacia stellata</i>	99.57	<i>Arbacia stellata</i>	99.57	ABA1980
<i>Arbacia stellata</i>	PEMAR_I1574	La Cruz-Ladrilleras	<i>Arbacia stellata</i>	99.78	<i>Arbacia stellata</i>	99.79	ABA1980
<i>Arbacia stellata</i>	PEMAR_I1575	La Cruz-Ladrilleras	<i>Arbacia stellata</i>	99.78	<i>Arbacia stellata</i>	99.79	ABA1980

\*Nuevo registro para BOLD

**Tabla 9.** Identificación de las secuencias de echinoideos, según la base de datos de BOLD y GenBank (continuación).

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
<i>Echinometra cf. vanbrunti</i>	PEMAR_I2276	Playa Las Pocitas	<i>Echinometra vanbrunti</i>	100	<i>Echinometra vanbrunti</i>	100	ADE4472
<i>Echinometra cf. vanbrunti</i>	PEMAR_I2277	Playa Las Pocitas	<i>Echinometra vanbrunti</i>	100	<i>Echinometra vanbrunti</i>	100	ADE4472
<i>Echinometra cf. vanbrunti</i>	PEMAR_I2279	Playa Las Pocitas	<i>Echinometra vanbrunti</i>	99.82	<i>Echinometra vanbrunti</i>	99.82	ADE4472
<i>Echinometra cf. vanbrunti</i>	PEMAR_I2280	Playa Las Pocitas	<i>Echinometra vanbrunti</i>	99.64	<i>Echinometra vanbrunti</i>	99.64	ADE4472
<i>Loxechinus albus</i>	PEMAR_I2270	Ica	<i>Loxechinus albus</i>	100	<i>Loxechinus albus</i>	99.84	AAX6523
<i>Loxechinus albus</i>	PEMAR_I2272	Ica	<i>Loxechinus albus</i>	100	<i>Loxechinus albus</i>	99.84	AAX6523
<i>Loxechinus albus</i>	PEMAR_I2273	Ica	<i>Loxechinus albus</i>	100	<i>Loxechinus albus</i>	99.84	AAX6523
<i>Loxechinus albus</i>	PEMAR_I2274	Ica	<i>Loxechinus albus</i>	100	<i>Loxechinus albus</i>	99.84	AAX6523
<i>Loxechinus albus</i>	PEMAR_I2608	Marcona	<i>Loxechinus albus</i>	100	<i>Loxechinus albus</i>	99.84	AAX6523
<i>Loxechinus albus</i>	PEMAR_I2609	Marcona	<i>Loxechinus albus</i>	100	<i>Loxechinus albus</i>	99.84	AAX6523
<i>Eucidaris thouarsii</i>	PEMAR_I2204	Punta Sal	<i>Eucidaris thouarsii</i>	100	<i>Eucidaris thouarsii</i>	100	ABU6580
<i>Eucidaris thouarsii</i>	PEMAR_I2205	Punta Sal	<i>Eucidaris thouarsii</i>	99.68	<i>Eucidaris thouarsii</i>	99.68	ABU6580
<i>Eucidaris thouarsii</i>	PEMAR_I2207	Punta Sal	<i>Eucidaris thouarsii</i>	99.68	<i>Eucidaris thouarsii</i>	99.68	ABU6580

**Tabla 10.** Identificación de las secuencias de holoturoideos, según la base de datos de BOLD y GenBank

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
* <i>Pattalus mollis</i>	PEMAR_I0205	Isla Tortuga	<i>Phyrella cf. thyonoides</i>	84.4	<i>Pentamera pediparva</i>	84.94	ABA6387
* <i>Pattalus mollis</i>	PEMAR_I0246	Puerto Casma	<i>Phyrella cf. thyonoides</i>	84.4	<i>Pentamera pediparva</i>	84.94	ABA6387
* <i>Pattalus mollis</i>	PEMAR_I0247	Puerto Casma	<i>Phyrella cf. thyonoides</i>	84.4	<i>Pentamera pediparva</i>	84.94	ABA6387
* <i>Pattalus mollis</i>	PEMAR_I0248	Puerto Casma	<i>Phyrella cf. thyonoides</i>	84.4	<i>Pentamera pediparva</i>	84.94	ABA6387
* <i>Pattalus mollis</i>	PEMAR_I0249	Morrocape	<i>Phyrella cf. thyonoides</i>	84.4	<i>Pentamera pediparva</i>	84.94	ABA6387
* <i>Pattalus mollis</i>	PEMAR_I0250	Morrocape	<i>Phyrella cf. thyonoides</i>	84.4	<i>Pentamera pediparva</i>	84.94	ABA6387
* <i>Pattalus mollis</i>	PEMAR_I0288	Morrocape	<i>Phyrella cf. thyonoides</i>	84.4	<i>Pentamera pediparva</i>	84.94	ABA6387
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0239	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.18	<i>Cucumaria curata</i>	87.22	AAE7780
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0240	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.35	<i>Cucumaria curata</i>	87.39	AAE7780
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0241	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.35	<i>Cucumaria curata</i>	87.39	AAE7780
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0242	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.52	<i>Cucumaria curata</i>	87.56	AAE7780
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0244	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.35	<i>Cucumaria curata</i>	87.39	AAE7780
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0229	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.52	<i>Cucumaria curata</i>	87.56	AAE7780
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0237	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.35	<i>Cucumaria curata</i>	87.39	AAE7780
* <i>Pentamera chilensis</i>	PEMAR_I0238	Bahía Samanco	<i>Cucumaria curata</i>	87.18	<i>Cucumaria curata</i>	87.22	AAE7780
<i>Holothuria erinacea</i>	PEMAR_I2260	Playa Las Pocitas	<i>Holothuria portovallartensis</i>	98.66	<i>Holothuria portovallartensis</i>	99.30	Privado
<i>Holothuria erinacea</i>	PEMAR_I2263	Playa Las Pocitas	<i>Holothuria portovallartensis</i>	98.66	<i>Holothuria portovallartensis</i>	99.30	Privado
<i>Holothuria erinacea</i>	PEMAR_I2264	Playa Las Pocitas	<i>Holothuria portovallartensis</i>	98.88	<i>Holothuria portovallartensis</i>	99.53	Privado
<i>Holothuria erinacea</i>	PEMAR_I2266	La Punta	<i>Holothuria portovallartensis</i>	98.76	<i>Holothuria portovallartensis</i>	99.34	Privado
<i>Holothuria erinacea</i>	PEMAR_I2829	Máncora	<i>Holothuria portovallartensis</i>	98.88	<i>Holothuria portovallartensis</i>	99.07	Privado
<i>Holothuria erinacea</i>	PEMAR_I2832	Máncora	<i>Holothuria portovallartensis</i>	98.23	<i>Holothuria portovallartensis</i>	98.83	Privado
<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	PEMAR_I0733	Puerto Casma	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	AAE4615
<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	PEMAR_I0734	Puerto Casma	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	AAE4615
<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	PEMAR_I0735	Puerto Casma	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	AAE4615
<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	PEMAR_I0736	Puerto Casma	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.23	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.23	AAE4615
<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	PEMAR_I0737	Puerto Casma	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.39	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.39	AAE4615
<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	PEMAR_I0738	Puerto Casma	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	<i>Athyonidium chilensis</i>	99.54	AAE4615



**Tabla 10.** Identificación de las secuencias de holotúridos, según la base de datos de BOLD y GenBank (continuación)

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I1308	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	90.98	<i>Stichopus horrens</i>	91.41	Privado
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I1309	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	90.98	<i>Stichopus horrens</i>	91.41	Privado
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I1310	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	90.98	<i>Stichopus horrens</i>	91.41	Privado
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I2267	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	91.03	<i>Stichopus horrens</i>	91.48	Privado
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I2268	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	90.98	<i>Stichopus horrens</i>	91.41	Privado
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I2269	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	90.98	<i>Stichopus horrens</i>	91.41	Privado
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I2837	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	90.98	<i>Stichopus horrens</i>	91.41	Privado
<i>*Isostichopus fuscus</i>	PEMAR_I2839	Punta Sal	<i>Isostichopus fuscus</i>	90.98	<i>Stichopus horrens</i>	91.41	Privado
<i>Holothuria arenicola</i>	PEMAR_I1311	Punta Sal	<i>Holothuria arenicola</i>	99.84	<i>Holothuria arenicola</i>	87.36	ABA1778
<i>Holothuria arenicola</i>	PEMAR_I1312	Punta Sal	<i>Holothuria arenicola</i>	99.79	<i>Holothuria arenicola</i>	87.03	ABA1778
Cucumariidae	PEMAR_I2253	Punta Sal	<i>Cucumaria flamma</i>	99.51	<i>Cucumaria sp</i>	83.66	AEG6286
Cucumariidae	PEMAR_I2254	Punta Sal	<i>Cucumaria flamma</i>	99.51	<i>Cucumaria sp</i>	83.66	AEG6286
Cucumariidae	PEMAR_I2255	Punta Sal	<i>Cucumaria flamma</i>	99.27	<i>Cucumaria sp</i>	83.66	AEG6286
Cucumariidae	PEMAR_I2256	Punta Sal	<i>Cucumaria flamma</i>	99.51	<i>Cucumaria sp</i>	83.66	AEG6286
<i>*Neothyone panamensis</i>	PEMAR_I0206	Isla Tortuga	<i>Thyone benti</i>	86.67	<i>Sclerodactyla briareus</i>	85.24	Privado
<i>*Neothyone panamensis</i>	PEMAR_I0231	Bayóvar	<i>Thyone benti</i>	86.67	<i>Sclerodactyla briareus</i>	85.24	Privado
<i>*Holothuria aff. inhabilis</i>	PEMAR_I2836	Cancas	<i>Holothuria cubana</i>	87.47	<i>Holothuria leucospilota</i>	85.56	Privado
<i>*Holothuria sp</i>	PEMAR_I1315	Bayóvar	<i>Holothuria inornata</i>	98.27	<i>Holothuria inornata</i>	98.47	Privado
<i>*Holothuria sp</i>	PEMAR_I2257	La Punta	<i>Holothuria inornata</i>	98.62	<i>Holothuria inornata</i>	98.81	Privado
<i>*Holothuria sp</i>	PEMAR_I2258	La Punta	<i>Holothuria inornata</i>	97.29	<i>Holothuria inornata</i>	97.30	Privado
<i>*Holothuria sp</i>	PEMAR_I2259	La Punta	<i>Holothuria inornata</i>	97.29	<i>Holothuria inornata</i>	97.63	Privado

\*Nuevo registro para BOLD

**Tabla 11.** Identificación de las secuencias de asteroideos, según la base de datos de BOLD y GenBank.

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
* <i>Luidia magellanica</i>	PEMAR_I0837	Puerto Huarmey	<i>Luidia clathrata</i>	83.75	<i>Crossaster squamatus</i>	82.03	Privado
* <i>Luidia magellanica</i>	PEMAR_I0839	Puerto Huarmey	<i>Luidia clathrata</i>	83.58	<i>Crossaster squamatus</i>	82.03	Privado
* <i>Luidia magellanica</i>	PEMAR_I0840	Puerto Huarmey	<i>Luidia clathrata</i>	83.75	<i>Crossaster squamatus</i>	82.03	Privado
* <i>Luidia magellanica</i>	PEMAR_I0856	Puerto Huarmey	<i>Luidia clathrata</i>	83.75	<i>Crossaster squamatus</i>	82.03	Privado
* <i>Luidia magellanica</i>	PEMAR_I0857	Puerto Huarmey	<i>Luidia clathrata</i>	83.75	<i>Crossaster squamatus</i>	82.03	Privado
* <i>Luidia magellanica</i>	PEMAR_I1313	Pucusana	<i>Luidia clathrata</i>	83.58	<i>Crossaster squamatus</i>	82.03	Privado
* <i>Luidia magellanica</i>	PEMAR_I1314	Pucusana	<i>Luidia clathrata</i>	83.16	<i>Crossaster papposus</i>	82.01	Privado
<i>Phataria unifascialis</i>	PEMAR_I1279	Punta Sal	<i>Phataria unifascialis</i>	99.19	<i>Linckia laevigata</i>	86.00	ADP1153
<i>Phataria unifascialis</i>	PEMAR_I1281	Punta Sal	<i>Phataria unifascialis</i>	99.68	<i>Linckia laevigata</i>	86.00	ADP1153
<i>Phataria unifascialis</i>	PEMAR_I1282	Punta Sal	<i>Phataria unifascialis</i>	99.68	<i>Linckia laevigata</i>	86.12	ADP1153
<i>Phataria unifascialis</i>	PEMAR_I2247	Punta Sal	<i>Phataria unifascialis</i>	99.14	<i>Linckia laevigata</i>	85.76	ADP1153
<i>Phataria unifascialis</i>	PEMAR_I2248	Punta Sal	<i>Phataria unifascialis</i>	100.00	<i>Linckia laevigata</i>	86.12	ADP1153
<i>Phataria unifascialis</i>	PEMAR_I2249	Punta Sal	<i>Phataria unifascialis</i>	99.83	<i>Linckia laevigata</i>	85.85	ADP1153
<i>Patiria chilensis</i>	PEMAR_I2611	Marcona	<i>Patiria chilensis</i>	98.46	<i>Patiria chilensis</i>	97.77	AAX1766
<i>Patiria chilensis</i>	PEMAR_I2612	Marcona	<i>Patiria chilensis</i>	99.23	<i>Patiria chilensis</i>	98.51	AAX1766
<i>Patiria chilensis</i>	PEMAR_I2613	Marcona	<i>Patiria chilensis</i>	98.46	<i>Patiria chilensis</i>	97.77	AAX1766
<i>Patiria chilensis</i>	PEMAR_I2614	Marcona	<i>Patiria chilensis</i>	98.85	<i>Patiria chilensis</i>	98.14	AAX1766
<i>Patiria chilensis</i>	PEMAR_I2615	Marcona	<i>Patiria chilensis</i>	98.27	<i>Patiria chilensis</i>	97.58	AAX1766
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2866	Cabo Blanco	<i>Luidia clathrata</i>	86.01	<i>Luidia clathrata</i>	85.90	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2867	Cabo Blanco	<i>Luidia clathrata</i>	85.66	<i>Luidia clathrata</i>	85.58	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2868	Cabo Blanco	<i>Luidia clathrata</i>	85.84	<i>Luidia clathrata</i>	85.69	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2878	Máncora	<i>Luidia clathrata</i>	86.01	<i>Luidia clathrata</i>	85.85	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2879	Máncora	<i>Luidia clathrata</i>	86.01	<i>Luidia clathrata</i>	85.90	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2880	Máncora	<i>Luidia clathrata</i>	86.01	<i>Luidia clathrata</i>	85.85	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2881	Máncora	<i>Luidia clathrata</i>	85.66	<i>Luidia clathrata</i>	85.53	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2882	Máncora	<i>Luidia clathrata</i>	85.84	<i>Luidia clathrata</i>	85.69	ABU6422
* <i>Luidia columbia</i>	PEMAR_I2883	Máncora	<i>Luidia clathrata</i>	85.84	<i>Luidia clathrata</i>	85.69	ABU6422
<i>Nidorellia armata</i>	PEMAR_I2871	Quebrada verde	<i>Nidorellia armata</i>	99.82	<i>Iconaster longimanus</i>	82.36	ADP1891
<i>Pharia pyramidata</i>	PEMAR_I2872	Quebrada verde	<i>Pharia pyramidata</i>	99.48	<i>Linckia laevigata</i>	82.99	ADK8826
<i>Linckia columbiae</i>	PEMAR_I2869	Cabo Blanco	<i>Linckia columbiae</i>	99.00	<i>Linckia columbiae</i>	99.00	AAC3176

\*Nuevo registro para BOLD

**Tabla 11.** Identificación de las secuencias de asteroideos, según la base de datos de BOLD y GenBank (continuación)

Especie	Sample ID	Lugar de colecta	BOLD		GenBank		BIN
			Especie	ID (%)	Especie	ID (%)	
<i>Heliaster helianthus</i>	PEMAR_I0084	Bahía Tortugas	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	ACQ0655
<i>Heliaster helianthus</i>	PEMAR_I0085	Bahía Tortugas	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	ACQ0655
<i>Heliaster helianthus</i>	PEMAR_I0648	Puerto Santa	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	ACQ0655
<i>Heliaster helianthus</i>	PEMAR_I0649	Puerto Santa	<i>Heliaster helianthus</i>	99.84	<i>Heliaster helianthus</i>	99.82	ACQ0655
<i>Heliaster helianthus</i>	PEMAR_I0650	Puerto Santa	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	ACQ0655
<i>Heliaster helianthus</i>	PEMAR_I0813	Puerto Huarmey	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	ACQ0655
<i>Heliaster helianthus</i>	PEMAR_I0814	Puerto Huarmey	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	<i>Heliaster helianthus</i>	100.00	ACQ0655
<i>Stichaster striatus</i>	PEMAR_I0185	Bahía Tortugas	<i>Stichaster striatus</i>	99.82	<i>Stichaster striatus</i>	99.82	ACQ5524
<i>Stichaster striatus</i>	PEMAR_I1869	Pucusana	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	ACQ5524
<i>Stichaster striatus</i>	PEMAR_I1870	Pucusana	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	ACQ5524
<i>Stichaster striatus</i>	PEMAR_I1871	Pucusana	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	ACQ5524
<i>Stichaster striatus</i>	PEMAR_I1872	Pucusana	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	ACQ5524
<i>Stichaster striatus</i>	PEMAR_I1873	Pucusana	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	<i>Stichaster striatus</i>	100.00	ACQ5524

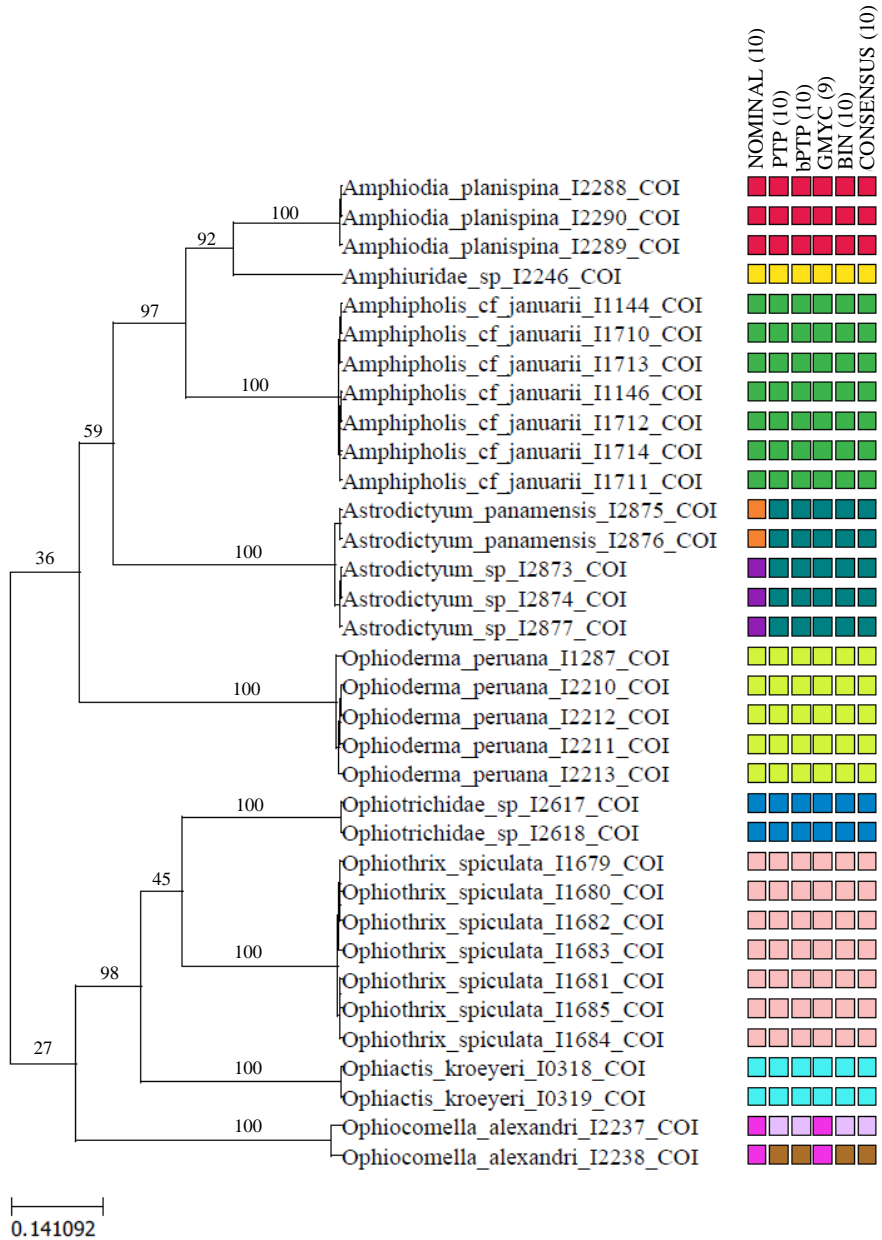
#### **4.3. Definición de las agrupaciones de las secuencias de equinodermos del litoral peruano (MOTU's) a través de: métodos de delimitación de especies, sus distancias genéticas interespecíficas e intraespecíficas y el umbral del *barcode gab*.**

El alineamiento múltiple de las secuencias del gen *COI* en ofiuroides resultó en 581 pares de bases, presentando 352 sitios informativos. Para los equinoideos, resultó en 445 presentando 290 sitios informativos. En el caso de los holotúridos, resultó en 375 pares de bases, mostrando 229 sitios informativos. Finalmente, el alineamiento múltiple para los asteroideos resultó en 433 pares de bases, mostrando 271 sitios informativos. Además, se incluyeron secuencias de un fragmento del gen *COI* de una especie de holoturoideos y una especie de asteroideos disponibles en BOLD (Anexo 1), para hacer más robusto el árbol filogenético.

Por otro lado, en los análisis de distancias se obtuvieron valores en porcentaje de las distancias medias intraespecíficas, máximas intraespecíficas, el vecino más cercano (NN) y la distancia mínima interespecífica, tanto para los análisis PTP, bPTP y GMYC MOTUs, así como para especies nominales y BIN de las especies de equinodermos.

##### **4.3.1. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de *barcode gab* en la clase Ophiuroidea**

Para la matriz de la clase Ophiuroidea, el análisis consenso considera la existencia de 10 MOTUs, con la presencia de dos incongruencias: en el género *Astrodictyum* y *Ophiocomella alexandri*. En el caso del género de *Astrodictyum*, la designación nominal consideró que está conformada por dos especies, pero, los cuatros análisis de delimitación consideraron que solo está conformada por una especie. Para el caso de *O. alexandri*, la designación nominal, respaldado por el análisis GMYC consideran las muestras PEMAR\_I2237 y PEMAR\_I2238 como la misma especie, pero los análisis PTP, bPTP y BIN, divieron en dos MOTUs, considerando que serían dos especies distintas. Dichos clústeres de los MOTUs se muestran en la Fig. 17.



**Fig. 17. Árbol bayesiano de la clase Ophiuroidea.** Se muestra la agrupación de los MOTUs obtenidos por los análisis de delimitación de especies. Los números por encima de las ramas reflejan las probabilidades posteriores bayesianas expresadas en porcentaje.

Para los análisis de distancias, la media general de las distancias máxima intra-MOTU fue de 0.49%, la distancia máxima intra-MOTU fue de 1.93% correspondiente a *Astrodictyum panamense* y *Astrodictyum sp.*, los cuales fueron considerados como un solo MOTU, y la media de las distancias inter-MOTU fue de 25.17%. Los valores más bajos y altos de las distancias interespecíficas fueron de 3.01 y 31.39% respectivamente (Tabla 12).

**Tabla 12.** Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) de las especies de ofiuroideos.

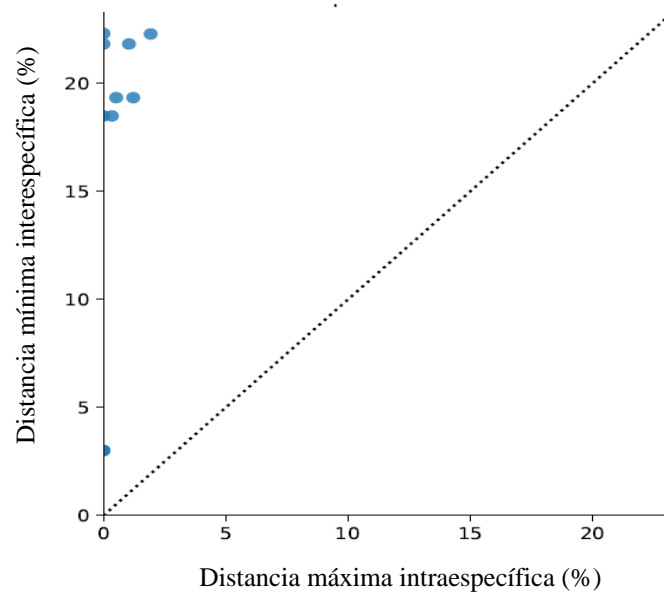
	Mínima	Media	Máxima
<b>Distancia Intra-MOTU</b>	0	0.49	1.93
<b>Distancia Inter-MOTU</b>	3.01	25.17	31.39

**Tabla 13.** Distancias genéticas K2P de los MOTUS generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de ofiuroideos.

PTP, bPTP y GMYC MOTUs	Mean	Max.	NN	Min.
	Intra	Intra		Inter.
<i>Amphipholis cf. januarii</i>	0.25	0.52	<i>Ophioderma peruana</i> _I2213	19.34
<i>Amphiodia planispina</i>	0.23	0.35	<i>Amphiuridae_sp</i> _I2246	18.49
<i>Ophiotrichidae sp</i>	0.00	0.00	<i>Ophiothrix spiculata</i> _I1684	21.82
<i>Amphiuridae sp</i>	-	-	<i>Amphiodia planispina</i> _I2288	20.69
<i>Ophiactis kroeyeri</i>	0.00	0.00	<i>Ophioderma peruana</i> _I2210	22.31
<i>Ophioderma peruana</i>	0.55	1.22	<i>Amphipholis cf. januarii</i> _I1711	19.34
<i>Ophiothrix spiculata</i>	0.53	1.04	<i>Ophiotrichidae_sp</i> _I2617	21.82
<i>Astrodictyum panamense</i> y <i>Astrodictyum sp</i>	1.01	1.93	<i>Ophioderma peruana</i> _I2213	22.28
<i>Ophiocomella alexandri</i>	3.01	3.01	<i>Ophioderma peruana</i> _I1287	25.43
<b>PTP y bPTP MOTUs</b>				
<i>Ophiocomella alexandri</i> (I2237)	-	-	<i>Ophiocomella alexandri</i> _I2238	3.01
<i>Ophiocomella alexandri</i> (I2238)	-	-	<i>Ophiocomella alexandri</i> _I2237	3.01
<b>Nominal</b>				
<i>Astrodictyum panamense</i>	0.35	0.35	<i>Astrodictyum_sp</i> _I2873	1.22
<i>Astrodictyum sp</i>	0.23	0.35	<i>Astrodictyum panamense</i> _I2875	1.22

-: No posee distancia intraespecífica por ser secuencia única.

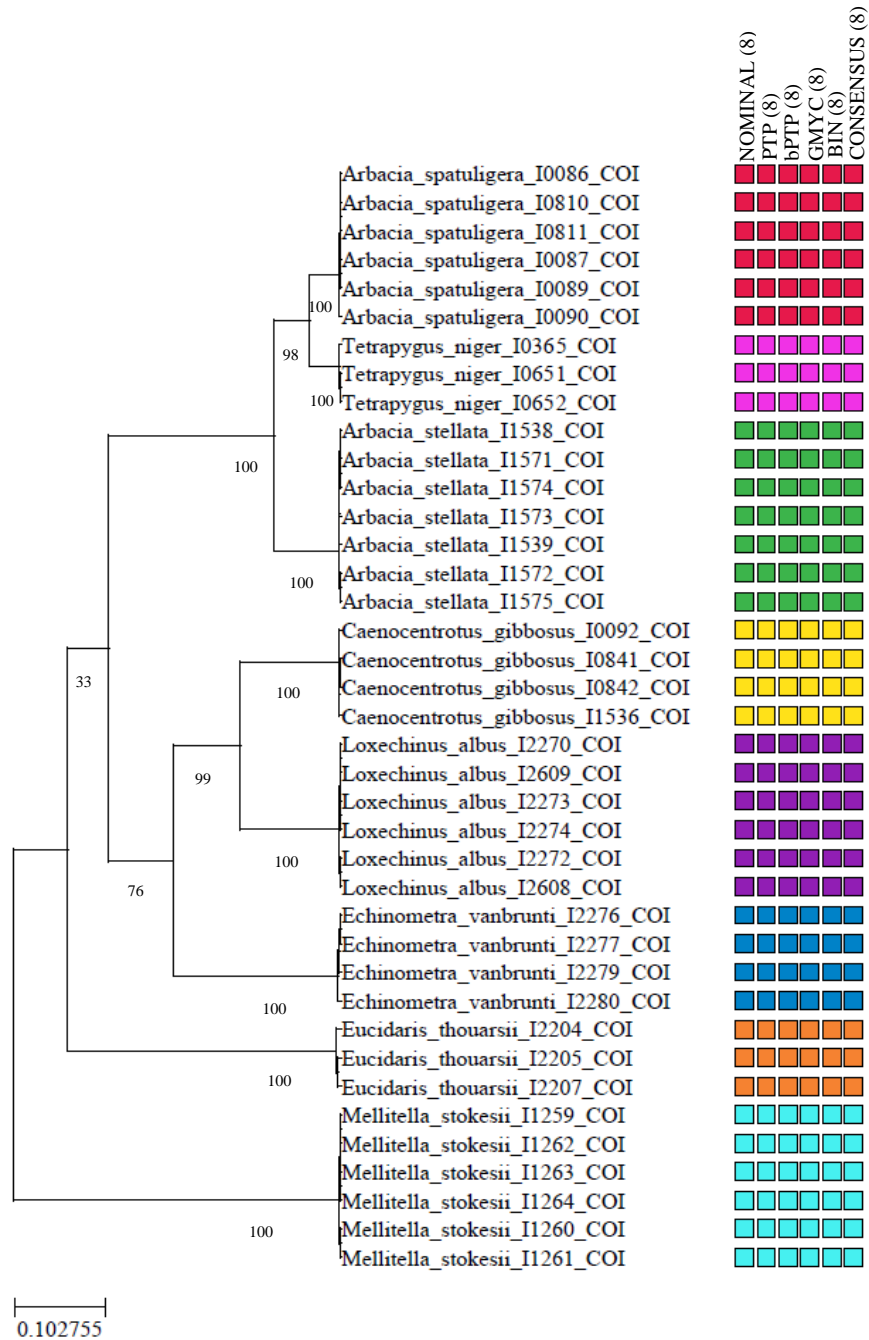
Asimismo, las distancias intra e inter específicas en la clase Ophiuroidea confirman la existencia de un *barcode gap* mediante diagramas de dispersión (Fig. 18), lo cual apoya la formación de los MOTUs.



**Fig. 18. Análisis de *barcode gap* de especies de la clase ofiuroideos.** Los puntos por encima de la línea punteada representan los linajes en los que la mínima distancia interespecífica es mayor que la máxima intraespecífica.

#### 4.3.2. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de *barcode gap* en la clase Echinoidea

Con respecto a los echinoideos, los análisis PTP, bPTP y GMYC fueron concordantes entre sí, indicando la existencia de ocho MOTUs. Hubo correspondencia entre designación nominales y MOTUs. Asimismo, *BOLD system* determinó ocho BINs, mostrando concordancia con los MOTUs obtenidos con los análisis PTP, bPTP y GMYC. Los resultados son mostrados en la Fig 19.



**Fig. 19. Árbol bayesiano de la clase Echinoidea.** Se muestra la agrupación de los MOTUs obtenidos por los análisis de delimitación de especies. Los números por encima de las ramas reflejan las probabilidades posteriores bayesianas expresadas en porcentaje



La media general de las distancias intra-MOTU de la clase Echinoidea fue de 0.16%, la distancia máxima intraespecífica fue de 1.37% correspondiente a *E. thouarsii*, y la media de las distancias inter-MOTU fue de 21.34%. Los valores más bajos y más altos de las distancias interespecíficas fueron 6.91 y 27.11%, respectivamente (Tabla 14). El análisis de distancias PTP, bPTP y GMYC, fueron concordantes con la designación nominal, por lo cual no se consideró en la Tabla 15.

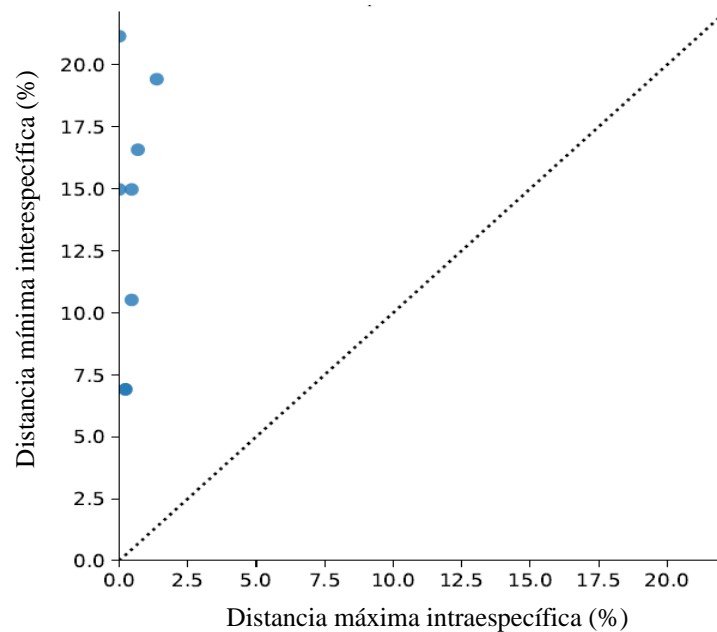
**Tabla 14.** Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) de las especies de echinoideos.

	Mínima	Media	Máxima
<b>Distancia Intra-MOTU</b>	0	0.16	1.37
<b>Distancia Inter-MOTU</b>	6.91	21.34	27.11

**Tabla 15.** Distancias genéticas K2P de los MOTUS generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de echinoideos.

PTP, bPTP y GMYC MOTUs	Mean Intra	Max. Intra	NN	Min. Inter.
<i>Arbacia spatuligera</i>	0.08	0.23	<i>Tetrapygyus_niger_I0651</i>	6.91
<i>Arbacia stellata</i>	0.24	0.45	<i>Tetrapygyus_niger_I0651</i>	10.51
<i>Caenocentrotus gibbosus</i>	0.34	0.45	<i>Loxechinus_albus_I2270</i>	14.97
<i>Echinometra vanbrunti</i>	0.34	0.68	<i>Caenocentrotus_gibbosus_I0841</i>	16.57
<i>Eucidaris thouarsii</i>	1.06	1.37	<i>Echinometra_vanbrunti_I2279</i>	19.42
<i>Loxechinus albus</i>	0.00	0.00	<i>Caenocentrotus_gibbosus_I0092</i>	14.97
<i>Mellitella stokesii</i>	0.00	0.00	<i>Echinometra_vanbrunti_I2276</i>	21.15
<i>Tetrapygyus niger</i>	0.15	0.23	<i>Arbacia_spatuligera_I0086</i>	6.91

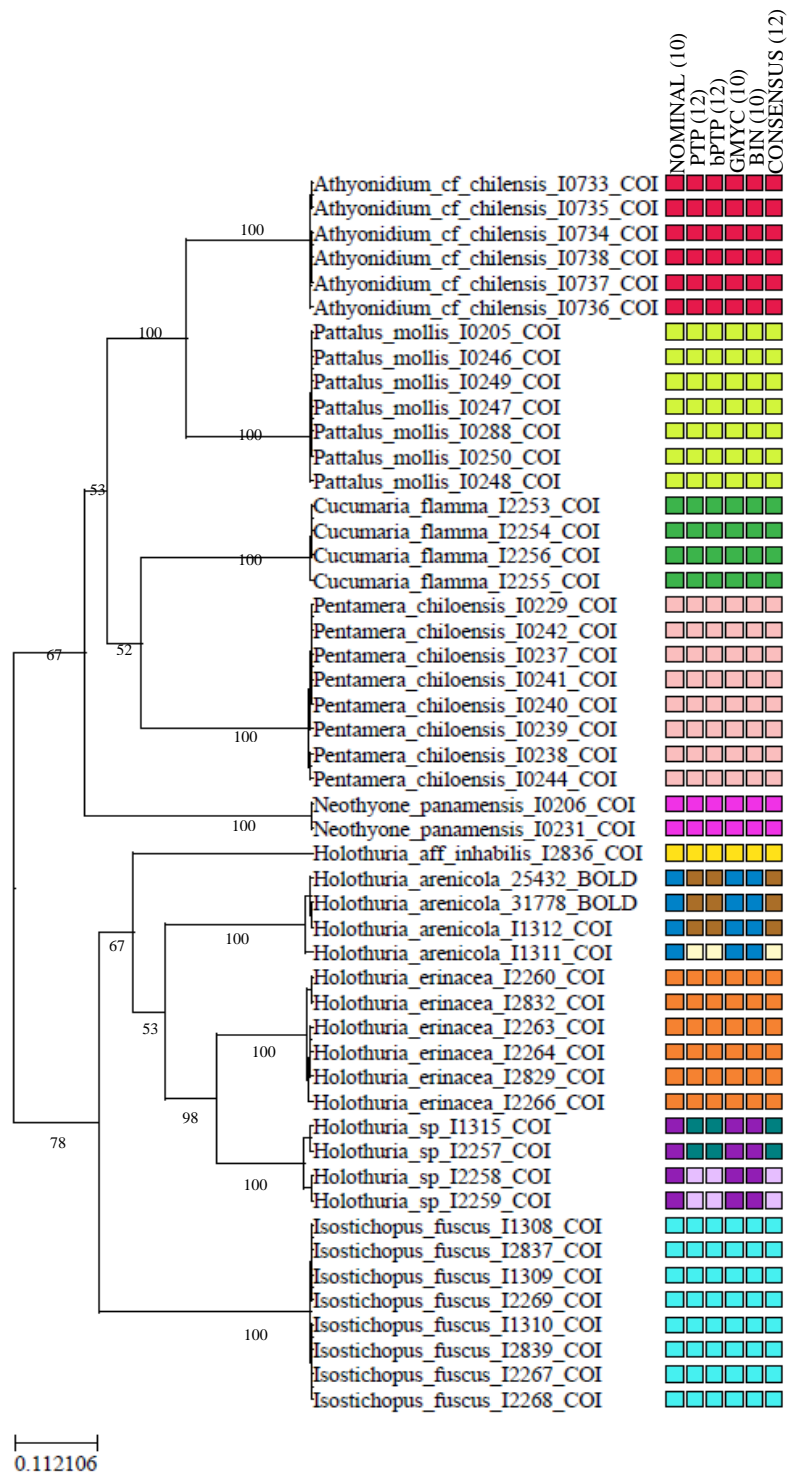
Además, el gráfico de la distancia máxima intraespecífica vs la distancia mínima interespecífica de esta clase, confirman la existencia de un *barcode gap*, lo cual facilitó identificar los MOTUs y asegurar su formación (Fig. 20).



**Fig. 20. Análisis de *barcode gap* de especies de la clase echinoideos.** Los puntos por encima de la línea punteada representan los linajes en los que la mínima distancia interespecífica es mayor que la máxima intraespecífica.

#### 4.3.3. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de *barcode gap* en la clase **Holothuroidea**

Para la matriz de la clase Holothuroidea, el análisis consenso agrupó las secuencias en 12 MOTUS, con la presencia de dos incongruencias: en *Holothuria arenícola* y *Holothuria sp* (Fig. 21). Para el caso de *H. arenícola*, la designación nominal presentó un solo MOTU a las secuencias de esta especie, esto respaldado con los análisis GMYC y BIN, pero, los análisis PTP y bPTP dividieron dos MOTUs, considerando que trataría de dos especies distintas. En el caso de *Holthuria sp*, la designación nominal junto con los análisis GMYC y BIN agruparon en un solo MOTU a las secuencias de esta especie, pero, los análisis PTP y bPTP indicaron la existencia de dos MOTUs.



**Fig. 21. Árbol bayesiano de la clase Holothuroidea.** Se muestra la agrupación de los MOTUs obtenidos por los análisis de delimitación de especies. Los números por encima de las ramas reflejan las probabilidades posteriores bayesianas expresadas en porcentaje

La media general de las distancias intra-MOTU de la clase Holothuroidea fue de 0.28%, la distancia máxima intra-MOTU fue de 1.90% (*H. erinacea*) y la media de las distancias inter-MOTU fue de 24.28%. Los valores más bajos y más altos de las distancias inter-MOTU fueron 1.35 y 31.04%, respectivamente (Tabla 16).

**Tabla 16.** Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de holoturoideos.

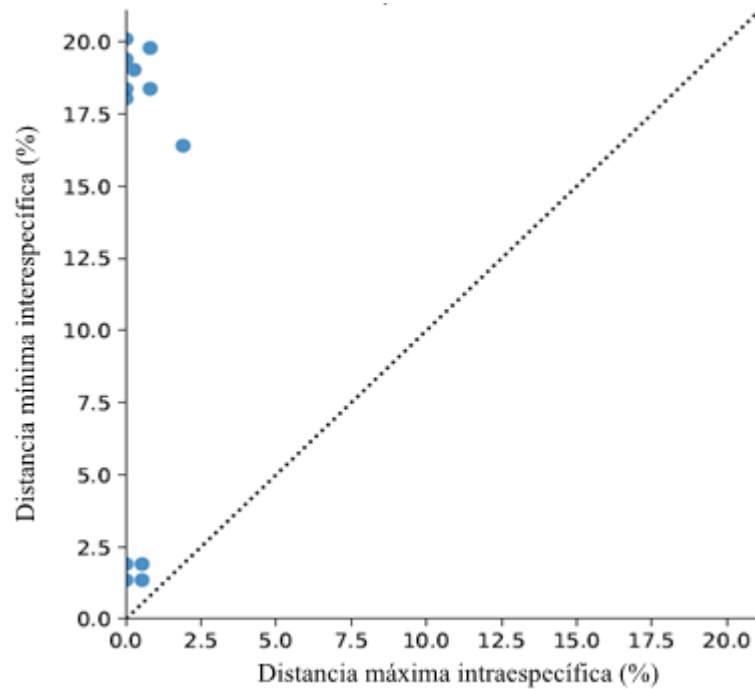
	Mínima	Media	Máxima
<b>Distancia Intra-MOTU</b>	0	0.28	1.90
<b>Distancia Inter-MOTU</b>	1.35	24.28	31.04

**Tabla 17.** Distancias genéticas K2P de los MOTUs generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de holoturoideos.

PTP, bPTP y GMYC MOTUs	Mean Intra	Max. Intra	NN	Min. Inter.
<i>Athyonidium cf. chilensis</i>	0.32	0.81	<i>Pattalus mollis</i> _I0205	18.37
<i>Holothuria aff. inhabilis</i>	-	-	<i>Holothuria arenicola</i> _I1311	18.04
<i>Holothuria erinacea</i>	1.13	1.90	<i>Holothuria sp</i> _I2257	16.40
<i>Cucumaria flamma</i>	0.13	0.27	<i>Pattalus mollis</i> _I0205	19.03
<i>Isostichopus fuscus</i>	0.00	0.00	<i>Neothyone panamensis</i> _I0206	20.10
<i>Neothyone panamensis</i>	0.00	0.00	<i>Holothuria sp</i> _I1315	19.40
<i>Pattalus mollis</i>	0.00	0.00	<i>Athyonidium cf. chilensis</i> _I0733	18.37
<i>Pentamera chilensis</i>	0.32	0.81	<i>Neothyone panamensis</i> _I0206	19.79
<b>PTP y bPTP MOTUs</b>				
<i>Holothuria arenicola</i> (I1312, 25432_BOLD, 31778_BOLD,)	0.36	0.54	<i>Holothuria arenicola</i> _I1311	1.35
<i>Holothuria arenicola</i> (I1311)	-	-	<i>Holothuria arenicola</i> _25432_BOLD	1.35
<i>Holothuria sp</i> (I1315, I2257)	0.54	0.54	<i>Holothuria sp</i> _I2258	1.90
<i>Holothuria sp</i> (I2258, I2259)	0.00	0.00	<i>Holothuria sp</i> _I2257	1.90
<b>Nominal y GMYC MOTUs</b>				
<i>Holothuria sp</i>	1.54	2.46	<i>Holothuria erinacea</i> _I2260	16.40
<i>Holothuria arenicola</i>	1.00	1.90	<i>Holothuria erinacea</i> _I2832	16.45

: - No posee distancia intraespecífica por ser secuencia única.

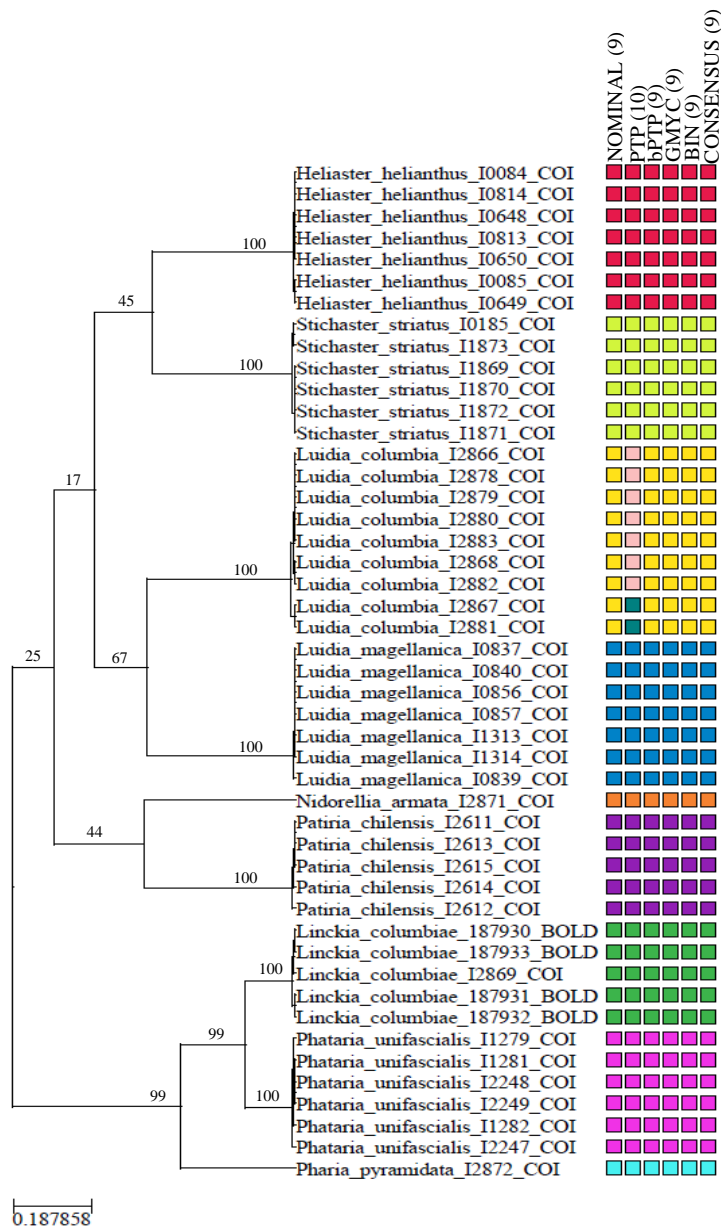
De igual manera, los datos de la distancia máxima intraespecífica vs la distancia mínima interespecífica de la clase Holothuroidea, confirman la existencia de un *barcode gap*, lo cual facilitó identificar los MOTUs mediante sus distancias del gen *COI* (Fig. 22).



**Fig. 22. Análisis de *barcode gap* de especies de la clase holoturoideos.** Los puntos por encima de la línea punteada representan los linajes en los que la mínima distancia interespecífica es mayor que la máxima intraespecífica.

#### 4.3.4. Delimitación de especies, distancias genéticas y el umbral de *barcode gap* en la clase Asteroidea

En el caso de la matriz de la clase Asteroidea, el análisis consenso indicó la existencia de 9 MOTUs, con la presencia de una inconsistencia. Esta inconsistencia fue en las secuencias de *Luidia columbia*, debido que, la designación nominal junto con los análisis bPTP, GMYC y BIN formaron solo un MOTU, mientras que, el PTP dividió en dos MOTUs a las secuencias de esta especie.



**Fig. 23. Árbol bayesiano de la clase Asteroidea.** Se muestra la agrupación de los MOTUs obtenidos por los análisis de delimitación de especies. Los números por encima de las ramas reflejan las probabilidades posteriores bayesianas expresadas en porcentaje.

La media global de las distancias intraespecíficas de la clase Asteroidea fue de 0.63% y la distancia máxima intraespecífica fue de 2.12% (*S. striatus*) y la media de las distancias inter-MOTU fue de 24.28%. Los valores más bajos y más altos de las distancias interespecíficas fueron 13.84 y 29.36%, respectivamente (Tabla 18).

**Tabla 18.** Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de asteroideos.

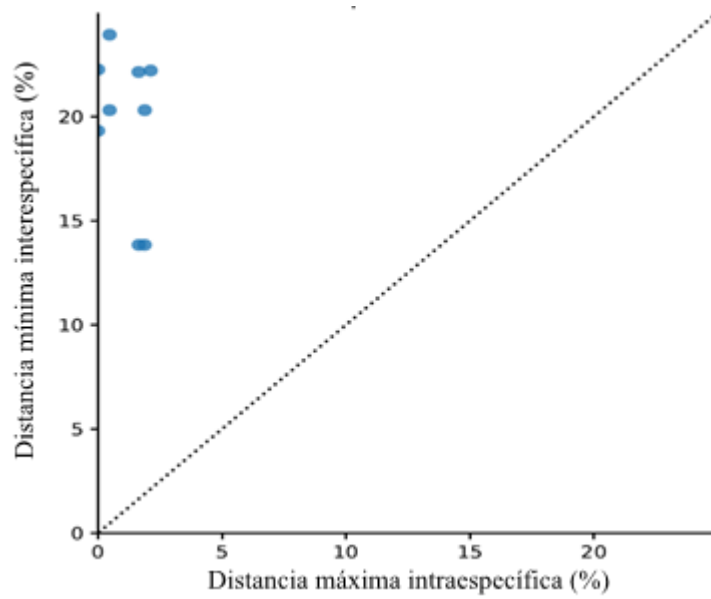
	Mínima	Media	Máxima
<b>Distancia Intra-MOTU</b>	0	0.63	2.12
<b>Distancia Inter-MOTU</b>	13.84	24.28	29.36

**Tabla 19.** Distancias Inter e Intra-MOTU (máxima, mínima y media) generados por los análisis PTP, bPTP y GMYC de las especies de asteroideos.

PTP, bPTP y GMYC MOTUs	Mean Intra	Max. Intra	NN	Min. Inter.
<i>Heliaster helianthus</i>	0.22	0.46	<i>Luidia_columbia_I2867</i>	20.31
<i>Linckia columbiae</i>	0.84	1.64	<i>Phataria_unifascialis_I1279</i>	13.84
<i>Luidia magellanica</i>	0.20	0.46	<i>Luidia_columbia_I2868</i>	23.93
<i>Nidorellia armata</i>	-	-	<i>Stichaster_striatus_I1872</i>	22.26
<i>Patiria chilensis</i>	0.79	1.64	<i>Heliaster_helianthus_I0084</i>	22.14
<i>Pharia pyramidata</i>	-	-	<i>Phataria_unifascialis_I2247</i>	19.32
<i>Phataria unifascialis</i>	0.90	1.88	<i>Linckia_columbiae_187930_BOLD</i>	13.84
<i>Stichaster striatus</i>	0.95	2.12	<i>Luidia_columbia_I2867</i>	22.21
<i>Luidia columbia</i>	0.78	1.88	<i>Heliaster_helianthus_I0084</i>	20.31
<b>PTP MOTUS</b>				
<i>Luidia columbia</i> (I2866, I2880, I2878, I2879, I2883, I2868, I2882)	0.18	0.46	<i>Luidia_columbia_I2867</i>	1.64
<i>Luidia columbia</i> (I2867, 2881)	0.00	0.00	<i>Luidia_columbia_I2866</i>	1.64

- : No posee distancia intraespecífica por ser secuencia única.

De igual modo, el *barcode gap*, reafirmo los resultados obtenidos para la clase Asteroidea, por tanto, el gráfico de los valores de las distancias intra e inter específicas, confirman la presencia del *barcode gap*, lo cual generó la buena identificación de los MOTUs.



**Fig. 24. Análisis de *barcode gap* de especies de la clase asterozoos.** Los puntos por encima de la línea punteada representan los linajes en los que la mínima distancia interespecífica es mayor que la máxima intraespecífica.



## V. DISCUSIÓN

Los equinodermos son un grupo de invertebrados muy diversos y de mayor abundancia en la estructura de las comunidades bentónicas, pero, la dificultad con su taxonomía es un problema desafiante para: la identificación de especies que la componen, los estudios de biodiversidad, la gestión de la conservación y su comercio (Uthicke *et al.*, 2010, p. 635). Por lo tanto, el uso de herramientas moleculares como los códigos de barras de ADN, contribuye a ampliar el conocimiento sobre la biodiversidad, la identificación de especies, las relaciones genéticas y para el monitoreo de la distribución de estos organismos (Utzeri *et al.*, 2020, p. 6).

La aplicación del código de barras de ADN en equinodermos se ha demostrado en otros trabajos (Eichsteller *et al.*, 2022, p. 5; Sulardiono *et al.*, 2022, p. 926; Jossart *et al.*, 2021, p.7; Alcludia-Catalma, *et al.*, 2020, p. 338; Lee y Shin, 2018, p. 213; Lee y Shin, 2017, p. 198; Layton *et al.*, 2016, p. 5; Uthicke *et al.*, 2010, p. 644; Ward *et al.*, 2008, p. 1210; Heimeier *et al.*, 2010, p. 172; Webb *et al.*, 2006, p. 1057; Laakmann *et al.*, 2016, p. 13; Bribiesca *et al.*, 2013, p.4; Kim *et al.*, 2013, p. 91). Sin embargo, este es el primer esfuerzo para realizar un registro de código de barras de ADN para especies de equinodermos en Perú, dado que, los equinodermos peruanos están representados por 215 especies, distribuidos en cinco clases: Holothuroidea (73 especies, distribuido en seis órdenes y 16 familias), Echinoidea (35 especies, distribuido en siete órdenes y 14 familias), Ophiuroidea (42 especies, distribuidos en dos órdenes y 11 familias), Asteroidea (64 especies, distribuidas en siete órdenes y 22 familias) y Crinoidea (1 especie) (Hooker *et al.*, 2013, p. 284).

### **Identificación morfológica e identificación de las secuencias en BOLD y GenBank**

En el presente estudio, se logró identificar taxonómicamente 37 especies, que abarcaron un total de 21 familias, 13 órdenes, 4 subclases y 4 clases que incluyen a Ophiuroidea, Echinoidea, Holothuroidea y Asteroidea. De las 37 especies, cinco se le asignó nombre provisional (Amphiuridae sp., Ophiotrichidae sp., *Astrodictyum* sp., Cucumariidae, *Holothuria* sp). Además, se obtuvieron de uno a siete especímenes que resultaron en 164 secuencias, las cuales se depositaron en BOLD y GenBank, lo mismo recomendado por Ward *et al.* (2018; p. 1203). BOLD y GenBank son las principales plataformas que almacenan los registros de

muestras y secuencias de todos los estudios de código de barras (Ratnasingham y Hebert, 2007, p. 356; Benson *et al.*, 2013, p. 15). Se contribuyó a la base de datos de BOLD con 16 especies nuevas de equinodermos: siete especies de ofiuroides, una especie de los echinoideos, seis especies para los holotúridos y dos especies para asteroideos. Asimismo, se contribuyó con 22 especies a la base de datos GenBank: ocho especies perteneciente a la clase ofiuroides, una especie para los echinoideos, ocho para los holotúridos y cinco especies para la clase asteroidea (Tabla 7).

Una de las principales ventajas de los códigos de barras de ADN es la generación de bibliotecas de referencia de secuencias para los diferentes taxones, que facilita la identificación de especie de una secuencia desconocida (Ratnasingham y Hebert, 2007, p. 355; Meiklejohn, *et al.*, 2019, p. 2). Es así que, las bases de datos BOLD y GenBank, permitió comparar las secuencias y al considerar un porcentaje de identidad mínimo de 99% para identificar a nivel de especie (Alcudia-Catalma *et al.*, 2020, p. 338), se obtuvo que el 51.40% de las secuencias de equinodermos coincidieron con las secuencias disponibles en la base de datos BOLD. Mientras que, el 37.80% de las secuencias fueron coincidentes con las disponibles en la base de datos GenBank (Tabla 7).

En teoría, todas las secuencias de códigos de barras contenidas en cualquiera de las bases de datos deberían derivar de un espécimen con voucher, que inicialmente fue identificado por un experto en taxonomía (Meiklejohn *et al.*, 2019, p.2). Sin embargo, se observaron algunas inconsistencias entre la identificación taxonómica y sus secuencias, con las secuencias de referencia del BOLD y GenBank. En el caso de *Ophioderma peruana*, tuvieron identidad promedio de 99.40% con las secuencias de referencia de *O. teres* de la base de datos BOLD (Tabla 11), pudiendo tratarse de una identificación errónea de las muestras subidas a la base de datos o un error en la designación nominal de las secuencias presente en esta base de datos. *O. peruana* es una especie nueva reportada para el litoral peruano, que se diferencia de otras especies de *Ophioderma* por la forma y tamaño de las escamas de los tentáculos y por la forma de las espinas. Asimismo, *O. peruana* y *O. teres* son reportados en las mismas localidades de Perú (Pineda-Enríquez *et al.* 2013, p. 59). Teniendo en cuenta, su distribución y sus datos moleculares, *O. peruana* y *O. teres* serían las mismas especies y las diferencias morfológicas

que presentan, se tratarían de una plasticidad fenotípica marcada, pero es necesario disponer de individuos de *O. teres* para ampliar los análisis tanto morfológicos como moleculares. Se define plasticidad fenotípica como cambios en la estructura morfológica de una especie en respuestas a diferentes cambios ambientales y se ha evidenciado este fenómeno en equinodermos: *Ophiocomina nigra* (Leiva *et al.*, 2023, p. 8), *Psammechinus miliaris* (Hughes *et al.*, 2012, p. 8), *Arbacia dufresnii* (Epherra *et al.*, 2015, p. 348), *Eucidaris tribuloides* (Escarcega *et al.*, 2019, p. 1154).

En el caso de *Isostichopus fuscus* obtuvieron la misma designación nominal con las secuencias de referencia de las bases de datos, pero la identidad promedio fue 90.98% y 91.03% para la base de BOLD y GenBank respectivamente, tratándose de dos especies distintas que tuvieron una designación nominal errónea. Lo mismo ocurrió con las secuencias de *H. erinacea*, obtuvo una identidad promedio de 99.22 con las secuencias de referencia de *H. portovallartensis* de la base de datos GenBank, tratándose de un error en la designación nominal (Tabla 10). Referente a esto, algunos autores mencionan errores en la designación de la identidad taxonómica de secuencias en las bases de datos como el BOLD y el GenBank (Sonet *et al.*, 2022, p. 18; Sundberg *et al.*, 2016, p. 15; Pentinsaari *et al.*, 2020, p. 4; Ekrem *et al.*, 2006, p.541), estos errores pueden generarse debido a una designación nominal errónea de las muestras y/o a una contaminación cruzada en el manejo de las muestras. Por ello, es necesario ser cuidadoso en la designación de la identidad taxonómica, para evitar datos erróneos que generen confusión y problemas en los análisis posteriores.

Por otro lado, las secuencias de *Patiria chilensis* tuvieron una identidad promedio de 98.7% y 98% con las secuencias de referencia de *P. chilensis* de BOLD y GenBank respectivamente, no cumpliendo con la identidad mínima de 99% para identificar a nivel de especie (Alcudia-Catalma *et al.*, 2020, p. 338), sin embargo, fueron consideradas como la misma (Tabla 11). Con respecto a esto, diversos trabajos mencionaron que, con un 97% de similitud es suficiente para identificar la identidad de las secuencias con las bases de datos BOLD y GenBank, este porcentaje representa la variación dentro la especie y error de la secuencia (Baena-Bejarano *et al.*, 2023, p. 5; Morinière *et al.*, 2016, p. 6).

En algunos casos, la taxonomía basada en morfología no permite la identificación a nivel de especie, debido, al tamaño de los ejemplares (juveniles) y/o mala conservación de las muestras que no permite la observación de los caracteres importantes para su identificación (Jossart *et al.*, 2021, p. 4). Por ejemplo, en el caso de los Holotúridos, en las muestras de *Cucumaria flamma*, no se logró inicialmente la identificación a nivel de especie; sin embargo, las secuencias de estos organismos tuvieron coincidencia de 99.45% con las secuencias de referencia *C. flamma* de la base datos BOLD. Teniendo en cuenta que, la base de datos BOLD se ha validado como el principal depósito de secuencias de código de barras de ADN obtenidas a partir del gen *COI* (Marín *et al.*, 2018, p. 5) y considerando nivel de coincidencia  $\geq 99\%$  en la similitud de secuencias para denominar posibles identificaciones (Alcudia-Catalma *et al.*, 2020, p. 338), se pudo identificar estas muestras hasta nivel de especie. Asimismo, en el caso de las especies con nombre provisional, ninguna de las secuencias de estos especímenes tuvo  $\geq 99\%$  de nivel de coincidencia con las secuencias de las bases de datos (Tabla 8 y 10), lo que indicaría que, se tratarían de secuencias de especies aún no caracterizadas.

Por otra parte, una mala conservación del voucher no permite esclarecer su identidad, utilizándose frecuentemente los términos *affinis* (*aff.*) y/o *confer* (*cf.*) precediendo al nombre de una especie, cuando su identificación no es completamente segura. Donde, el término *aff.* significa que la muestra es una nueva especie no descrita previamente y el término *cf.* indica que la identificación es incierta (tratándose de una nueva especie) o provisional, debido, a una mala conservación de la muestra (Bengtson, 1988, p. 224), como es en el caso de las siguientes muestras: *Amphipholis cf. januarii*, *Echinometra cf. vanbrunti*, *Athyonidium cf. chilensis* y *Holothuria aff. inhabilis*. Teniendo en cuenta, que el nivel de coincidencia  $\geq 99\%$  en la similitud de secuencias permite denominar posibles identificaciones (Alcudia-Catalma *et al.*, 2020, p. 338), las secuencias *E. cf. vanbrunti* y *A. cf. chilensis* obtuvieron una identidad promedio de 99.87% y 99.46% con las secuencias de referencia de *E. vanbrunti* y *A. chilensis* respectivamente, para la base de datos BOLD y GenBank. Por lo tanto, se confirma que las muestras *E. cf. vanbrunti* y *A. cf. chilensis* serían *E. vanbrunti* y *A. chilensis* respectivamente. Sin embargo, las secuencias de *A. cf. januarii* y *H. aff. inhabilis* no tuvieron coincidencia con secuencias de referencia de la base de datos BOLD y GenBank, lo que significa que, se tendrían

que realizar más estudios taxonómicos y moleculares de estas muestras para esclarecer su identidad.

### **Delimitación de especies, distancias genéticas y *barcode gap***

Para los ofiuroides, se logró identificar diez especies nominales: *Amphipholis cf. januarii*, *Amphiodia planispina*, *Ophiactis kroeyeri*, *Ophiothrix spiculata*, *Ophioderma peruana*, *Ophiocomella alexandri*, *Astrodictyum panamense*, *Astrodictyum sp.*, Amphiuridae (Familia) y Ophiotrichidae (Familia). Asimismo, los análisis de delimitación presentaron dos incongruencias: en el género *Astrodictyum* y *Ophiocomella alexandri*. En el caso del género *Astrodictyum*, la designación nominal considera dos especies: *Astrodictyum panamense* y *Astrodictyum sp* (Fig. 17), pero todos los análisis de delimitación: PTP, bPTP, GYMC y BIN agrupan a los especímenes del género *Astrodictyum* en un solo linaje genético, resultados respaldados por las distancias genéticas y el *barcode gap*.

Un aspecto importante en el análisis de ADN barcode es el umbral de distancia genética usada para definir los MOTUs (Ramirez *et al.*, 2017, p.9). El umbral para la identificación de especies de equinodermos muestra valores entre 0 a 2% (Ward *et al.*, 2008, p. 1207), valores mayores de 2% indicaría especie críptica no descritas. Así mismo, Boissin *et al.* (2017) utilizaron distancias de 2.2% para delimitar especies de ofiuroides (p. 7). Teniendo en cuenta como referencia estos criterios, la distancia mínima inter-MOTU de los cuatro análisis de delimitación fue 22.28% perteneciente a *Ophioderma peruana* como vecino más cercano, valor que estuvo por encima del criterio tomado (2.2%), demostrando que los especímenes de *Astrodictyum panamense* y *Astrodictyum sp* son la misma especie.

El género *Astrodictyum* está conformada por una sola especie (<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=242530>) y reside en arrecifes del suroeste de Baja California, y también a lo largo del oeste tropical de México, en el norte de Costa Rica y en el Ecuador continental (Ayala-Bocos *et al.*, 2011, p. 2). Actualmente, se ha reportado esta especie en aguas peruanas (Fernández y Hooker, 2020, p. 542).

Los especímenes de *A. panamense* y *Astrodictyum sp.* fueron separados inicialmente en dos grupos por presentar diferencias en las espinas branquiales (Anexo 3, ficha taxonómica *Astrodictyum sp.*), siendo estas espinas, un carácter morfológico importante para la identificación a nivel de especies en ofiuroides (Benavides-Serrato *et al.*, 2011, p. 218). Sin embargo, los análisis de delimitación indicarían que se tratarían de la misma especie y las diferencias morfológicas que estas presentan, se debería a una plasticidad fenotípica. Algunos autores mencionan que, la plasticidad fenotípica dentro de una misma especie en equinodermos, es resultado de las adaptaciones al ambiente heterogéneo. Epherra *et al.*, (2015) visualizaron que *Arbacia dufresnii* presento mandíbulas grandes en áreas con menor disponibilidad de alimento, dado que, la fuerza de forrajeo aumenta cuando el recurso es escaso (p. 348). Asimismo, Escarcega *et al.*, (2019) observaron que la linterna de Aristóteles (aparato masticador) de *Eucidaris tribuloides* presentó variación morfológica (linternas más grandes) en respuesta al cambio en la disponibilidad del alimento y a la salinidad del agua (p. 1154), lo que indica que esta variabilidad influenciada por el ambiente pueden generar confusiones taxonómicas.

Para el caso de *O. alexandri*, la designación nominal, respaldado por el análisis GMYC consideran las muestras PEMAR\_I2237 y PEMAR\_I2238 como la misma especie, pero los análisis PTP, bPTP y BIN, dividieron en dos MOTUs, esto ultimo fue respaldado las distancias genéticas. La distancia genética intra-MOTU de los análisis PTP, bPTP y BIN para la secuencia PEMAR\_I2237, pertenecientes a *O. alexandri*, fue 3.01 teniendo como vecino más cercano a la muestra PEMAR\_I2238, pertenecientes a *O. alexandri* (Tabla 13). Esta especie subdivida en dos MOTUs con una distancia genética intra-MOTU mayor al 2.2%, puede tratarse de un potencial complejo críptico, lo que indica la necesidad de más estudios taxonómicos.

Las muestras PEMAR\_I2237 y PEMAR\_I2238 fueron identificadas taxonómicamente como *O. alexandri*, presentando los principales caracteres morfológicos de la especie: color pardo con franjas más oscuras en los brazos, disco oral redondeado cubierto de gránulos alargados que cubren totalmente la placa radial, base de los brazos y que se proyectan al lado ventral del disco, pero en menor número (Anexo 3, ficha taxonómica de *Ophiocomella alexandri*). Sin embargo, la diversidad de los ofiuroides es difícil de discriminar, dado que,

estas especies presentan alta variabilidad morfológica; sumado a ello, la escasez de especialistas taxonómicos, puede generar confusión en su identificación taxonómica (Ward *et al.*, 2008, p. 1202; Stöhr *et al.*, 2012, p. 10). El género *Ophiocomella* cuenta con tres especies: *O. alexandri*, *O. ophiactoides* y *O. pumila* (O'Hara *et al.*, 2019, p. 32). Para el litoral peruano, solo se ha reportado *O. alexandri* (Fernández y Hooker, 2020, p. 549), lo que evidencia la presencia de dos linajes de ofiuroides del género *Ophiocomella* que viven simpátricamente, lo cual requieren una consideración especial para su conservación y manejo, debido a que, la prevalencia de complejos crípticos en especies nominales que están en peligro o amenazadas, pueden estar conformadas de múltiples especies, que son incluso más raras de lo que se presume (Schönrogge *et al.*, 2002, p. 298).

Por ello, es de suma importancia la aplicación de herramientas moleculares, como el ADN Barcode, dado que, permiten resolver conflictos en la identificación de organismos con alta variabilidad fenotípica como los ofiuroides. La identificación molecular de dos taxones simpátricos que conviven en el mismo lugar, sería un paso importante para la gestión sostenible de estos organismos de importancia ecológica.

Con respecto a los echinoideos, para el litoral peruano se ha reportado la presencia de 35 especies, distribuido en siete órdenes y 14 familias (Hooker *et al.*, 2013, p. 284). En el presente trabajo, se logró identificar nominalmente cinco familias (*Arbaciidae*, *Echinometridae*, *Parechinidae*, *Mellitidae* y *Cidaridae*), cuatro órdenes (*Arbacioida*, *Camarodonta*, *Clypeasteroidea* y *Cidaroida*) y ocho especies (*Arbacia spatuligera*, *Arbacia stellata*, *Caenocentrotus gibbosus*, *Echinometra vanbrunti*, *Eucidaris thouarsii*, *Loxechinus albus*, *Mellitella stokesii* y *Tetrapygyus niger*). Así mismo, los análisis de delimitación de especies (PTP, bPTP, GMYC y BIN) identificaron ocho MOTUs (Fig. 19). Estos resultados son respaldados por el análisis de inferencia bayesiana (BI) que mostraron una topología que agrupa a diez especies (Probabilidad posterior bayesiana del 100%) (Fig. 19). Asimismo, fue respaldado por las distancias genéticas (Tabla 15), en todos los casos las distancias fueron mayores a 2 y la presencia de *barcode gap*, lo cual facilitó identificar los MOTUs y asegurar su formación (Fig. 20).

Con relación a la máxima distancia intra-MOTU, esta varió entre 0 y 1.37% para *L. albus* y *E. thouarsii*, respectivamente. Se ha reportado distancias intraespecíficas similares para *Amblypneustes pallidus* (0%) (Ward *et al.*, 2008, p. 1208) y para *Diadema savignyi* (1.11%) (Chow *et al.*, 2016, p. 11). Así mismo la distancia mínima inter-MOTU, osciló entre 6.91 y 27.11% (Tabla 15). Estos valores fueron similares a los reportados por Hoareau y Boissin (2010) para *Astropyga sp* y *Echinothrix diadema* que mostraron una distancia interespecífica de 15.8 a 19.7% (p. 964).

Por otra parte, los holoturoideos son un importante recurso con gran demanda y un elevado valor comercial para los mercados asiáticos. En este estudio, se identificaron taxonómicamente diez especies: *Athyonidium chilensis*, *Pattalus mollis*, *Cucumaria flamma*, *Pentamera chilensis*, *Holothuria aff. inhabilis*, *H. arenícola*, *H. erinacea*, *Holothuria sp*, *Isostichopus fuscus* y *Neothyone panamensis*. Así mismo, los análisis consenso agruparon doce MOTUs, esta diferencia se debe a que, los análisis PTP y bPTP dividieron a las muestras de *H. arenícola* y *Holothuria sp*. en dos linajes genéticos diferentes a cada uno. (Fig. 21).

Los Holotúridos se distribuyen en todo el mundo, principalmente en zonas tropicales, subtropicales y templadas, usualmente en arrecifes de coral y áreas arenosas adyacentes (Nisperuza-Pérez *et al.*, 2019, p. 139). Esta clase se encuentra conformada por cuatro subclases: *Arthrochirotaea*, *Synaptacea*, *Elpidiacea* y *Holothuriacea* (Smirnov, 2012, p. 808). Dentro de la subclase *Holothuriacea*, se encuentra la familia *Holothuriidae* con 200 especies validas, clasificadas en cinco géneros: *Actinopyga*, *Bohadschia*, *Labidodemas*, *Pearsonothuria* y *Holothuria*, este último genero está conformado por 160 especies (Honey-Escandon *et al.*, 2012, p. 109). Para nuestro país está reportado siete especies del género *Holothuria*: *H. inhabilis*, *H. kefersteini*, *H. lubrica*, *H. imitans*, *H. arenícola*, *H. impatiens* y *H. zacaе* (Prieto, 2010, p. 11).

La identificación morfológica más importante es a través de las observaciones microscópicas utilizando los osículos, debido a sus formas únicas para cada especie. Los osículos son pequeños trozos de material calcificado que forman parte del esqueleto de los holotúridos. La identificación de especies mediante el examen de los osículos es un método



que requiere mucho tiempo y requiere de especialistas altamente capacitados (Madduppa *et al.*, 2017, p. 893). Las muestras PEMAR\_I1311 y PEMAR\_I1312 fueron identificadas taxonómicamente como *H. arenicola* y las muestras PEMAR\_I1315, I2257, PEMAR\_I2258, PEMAR\_I2259 como *Holothuria sp.*, sin observarse caracteres potenciales que las definan como otra especie (Anexo 3, ficha taxonómica de *Holothuria arenicola* y *Holothuria sp.*).

El género *Holothuria* es considerado morfológicamente complejo con la presencia de diferentes tipos de osículos y está conformado por una gran variedad de especies crípticas (Massin *et al.*, 2000, p. 89; Alcudia-Catalma *et al.*, 2020, p. 342). Por lo tanto, la identificación taxonómica debe ser confirmada por los datos del código de barras de ADN (Honey-Escandón *et al.*, 2015, p. 35). En el presente estudio, la muestra PEMAR\_I1312 se agrupa con las muestras agregadas de la base de datos BOLD y se separa con la muestra PEMAR\_I1311, lo cual significa que se trataría de otra especie. Sin embargo, la distancia mínima interespecífica calculada para *H. arenicola* (PEMAR\_I1311) y *H. arenicola* (PEMAR\_I1312) fue 1.35% (PTP y bPTP) (Tabla 17), valor que estuvo debajo del 2% que se ha tomado como referencia para delimitar especies en equinodermos utilizando el *COI* como marcador molecular (Ward *et al.*, 2008, p. 1207). Por lo tanto, los resultados basados en las distancias interespecíficas menores al 2% y los análisis de delimitación de especies nominal, GYMC y BIN sugieren la posibilidad de que *H. arenicola* (PEMAR\_I1311) y *H. arenicola* (PEMAR\_I1312) se tratarían de una misma especie, esto significa que, la información proporcionada por el gen *COI* no es suficiente para delimitar especies crípticas en *Holothuria arenicola*. Por el contrario, se ha demostrado el uso del gen *COI* para identificar especies crípticas. Por ejemplo, Kim *et al.*, (2013) evidenciaron variedad de especies críptica en el género *Bohadschia*, utilizando el gen *COI* como marcador molecular (p. 89). Uthicke *et al.* (2010) mediante el uso del gen *COI*, demostraron la presencia de especies crípticas en el género *Holothuria* (p. 643).

Para el caso de *Holothuria sp.* (PEMAR\_I1315, PEMAR\_I2257) y *Holothuria sp.* (PEMAR\_I2258, PEMAR\_I2259), la distancia mínima interespecífica calculada para los análisis PTP y bPTP fue 1.90%. Estos resultados basados en las distancias interespecíficas menores al 2% y los análisis de delimitación de especies (GYMC y BIN), sugieren que *Holothuria sp.* (PEMAR\_I1315, PEMAR\_I2257) y *Holothuria sp.* (PEMAR\_I2258,

PEMAR\_I2259) serían la misma especie. Sin embargo, la distancia interespecífica para los análisis GYMC y BIN fue 2.46% (Tabla 17), valor que estuvo por encima del 2%, criterio tomado como referencia para delimitar especies (Ward *et al.*, 2008, p. 1207). Por lo tanto, las distancias intraespecíficas GYMC y BIN, con los análisis de delimitación de especies PTP y bPTP sugieren que *Holothuria sp* (PEMAR\_I1315, PEMAR\_I2257) y *Holothuria sp* (PEMAR\_I2258, PEMAR\_I2259) serían especies distintas.

Por lo tanto, los datos obtenidos en la presente investigación resultan insuficientes para resolver el estado taxonómico del género *Holothuria*, por ello existe la necesidad de realizar más estudios utilizando mayor cantidad de muestras y otros genes que puedan dar un mayor soporte a los resultados obtenidos. El enfoque específico del uso de otros genes para esclarecer problemas taxonómicos en este género ya se ha demostrado. Por ejemplo, al combinar marcadores mitocondriales y nucleares, Michonneau *et al.*, (2015) concluyeron que *H. impatiens* es un complejo de especies que comprende al menos 13 especies (p. 17).

En relación a los asteroideos, cuentan con 1900 especies descritas, distribuidas en 38 familias (Mah y Blake, 2012, p. 3; Mah *et al.*, 2015, p. 96), de las cuales, para el litoral peruano se ha reportado 64 especies distribuidas en 14 familias (Hooker *et al.*, 2013, p. 284). En la presente investigación, se logró identificar nueve especies taxonómicamente: *Heliaster helianthus*, *Stichaster striatus*, *Luidia magellanica*, *L. columbia*, *Phataria unisfacialis*, *Pharia pyramidata*, *Linckia columbiae*, *Patiria chilensis* y *Nidorellia armata*. Así mismo, los análisis consenso identificaron nueve MOTUs diferentes (Fig. 23), evidenciándose una incongruencia en los análisis bPTP, identificaron diez MOTUs. Esta diferencia se debe a la separación de *L. columbia* en dos linajes genéticos.

Las muestras (PEMAR\_I2866, PEMAR\_I2880, PEMAR\_I2878, PEMAR\_I2879, PEMAR\_I2883, PEMAR\_I2868, PEMAR\_I2882, PEMAR\_I2867 y PEMAR\_I2881), fueron identificadas taxonómicamente como *L. columbia*, observándose los principales caracteres morfológicas de la especie: Disco aplanado, superficie abactinal (superior) con series longitudinales de áreas paxilares cuadradas y granuladas a cada lado del radio y a medida que se aproximan a la parte media disminuyen de tamaño y adquieren una forma y disposición

irregular, los bordes de los brazos con una espina cónica puntiaguda. Cada placa ambulacral con una espina en forma de sable que se ubica en el mismo surco. Pies ambulacrales sin ventosas (Morales, 2011, p. 28) (Anexo 3, ficha taxonómica de *Luidia columbia*). Por lo tanto, después de los análisis moleculares, se recomienda examinar con mayor exhaustividad las muestras morfológicas y así identificar nuevos caracteres potenciales que se pueden utilizar como características de diagnóstico para definir especies moleculares que antes no estaban diferenciadas basándose únicamente en la morfología (Jossart *et al.*, 2021, p. 8).

Por otra parte, la mínima distancia interespecífica calculada para *L. columbia* (PEMAR\_I2866, PEMAR\_I2880, PEMAR\_I2878, PEMAR\_I2879, PEMAR\_I2883, PEMAR\_I2868 y PEMAR\_I2882) y *L. columbia* (PEMAR\_I2867 y PEMAR\_I2881) fue 1.64% para el análisis de delimitación de especies PTP (Tabla 19), valor que estuvo debajo del 2% que se ha tomado como referencia para delimitar especies en equinodermos (Ward *et al.*, 2008, p. 1207), tratándose de la misma especie. Por lo tanto, los resultados basados en: la designación nominal, en las distancias interespecíficas menores al 2% y en los análisis de delimitación de especies bPTP, GMYC y BIN demostraron que *L. columbia* (PEMAR\_I2866, PEMAR\_I2880, PEMAR\_I2878, PEMAR\_I2879, PEMAR\_I2883, PEMAR\_I2868 y PEMAR\_I2882) y *L. columbia* (PEMAR\_I2867 y PEMAR\_I2881) son la misma especie.

Las discrepancias entre las delimitaciones morfológicas y genéticas se han observado en otros trabajos. Por ejemplo, las dos entidades genéticas que reúnen distintas especies nominales: el grupo formado por *Hymenaster coccinatus/densus/praecoquis* y *Diplopteraster peregrinator/semireticulatus/verrucosus*, no se difieren genéticamente, lo cual significa que se ha sobreestimado la diversidad del género *Hymenaster* y *Diplopteraster*. Este problema taxonómico está relacionado con la insuficiencia de los caracteres morfológicos utilizados para discriminar especies (Jossart *et al.*, 2021, p. 8). Por su parte, Bribiesca *et al.* (2013) mencionan que el espécimen asignado como *A. duplicatus* de la cueva, representa una especie separada del espécimen recolectado en las profundidades marinas de Yucatán (403 m). Sin embargo, no presenta ninguna diferencia en las características morfológicas de diagnóstico propuestas para *A. duplicatus*, que ayuden a distinguir esta nueva especie putativa (p. 4).

Por otra parte, se requiere un “*barcode gap*” claro entre las distancias intra e inter-específica para la correcta identificación de especies y la detección de nuevas especies (Meyer y Paulay, 2005, p. 2229). La ausencia de “*barcode gap*” en el código de barras, se debe a una identificación errónea, contaminación del ADN o antecedentes evolutivos reales como: hibridación, clasificación incompleta del linaje, especiación reciente (Gebhardt y Knebelsberger, 2015, p. 263). Los valores de las distancias intra e inter-específica demostró la existencia de *barcode gap* que permitió identificar con éxito todos los MOTUs que usan la distancia *COI* para los cuatro clases de los equinodermos del litoral peruano (Fig. 18, 20, 22 y 24).

Finalmente, se debe mencionar que, en la presente investigación los estudios de diversidad utilizando el código de barras de ADN, han resultado ser efectivos para identificar molecularmente en su mayoría, las especies de equinodermos del litoral peruano en las bases de datos *BOLD System* y *GenBank*. Así mismo, con esta herramienta, se pudo revelar la presencia de complejos crípticos en los siguientes organismos: *Ophiocomella alexandri*, *Luidia columbia* y en el género *Holothuria*, poniendo en evidencia la necesidad de estudios con otros genes utilizados en la identificación molecular, además de requerir estudios integrativos en la identificación y descubrimiento de especies. Por ello, es una necesidad continuar los estudios moleculares tanto de identificación como de filogenia, ya que éstos permitirán conocer con mayor claridad y de manera más exacta lo que está ocurriendo en el ambiente marino, y así poder generar estrategias de conservación y gestión.

## VI. CONCLUSIONES

- Se identificó nominalmente a 37 especies de equinodermos que corresponden a cuatro clases.
- El código de barras de ADN resultó ser eficiente para la identificación molecular de equinodermos, al confirmar la identidad taxonómica de 17 especies en la base de datos del *BOLD System* y de 12 especies en la base de datos del GenBank.
- Se contribuyó con secuencias nuevas, correspondientes a 16 especies y 21 especies, a la base de datos BOLD y GenBank respectivamente. Además, se identificó problemas con la identificación nominal entre *Ophioderma peruana* y *O. tere* de la base de datos BOLD, tratándose de una misma especie con una plasticidad fenotípica marcada.
- El consenso de los análisis de delimitación definieron 39 MOTUs de las 37 especies de equinodermos identificadas nominalmente. Asimismo, los análisis de delimitación señalaron que: a) Las dos especies de *Astrodictyum* serían la misma especie con plasticidad fenotípica, respaldado por la distancia genética y el *barcode gap*; b) *Ophiocomella alexandri* como una posible especie críptica, respaldados por la distancia genética.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el rango de la recolecta de muestras, para abarcar los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna, en los cuales no se realizaron muestreos.
- Realizar recolectas de organismos de la isla Lobos y un reemuestreo en los departamentos de Piura y Tumbes, donde se reporta mayor diversidad de especies de equinodermos.
- Efectuar estudios de taxonomía clásica, análisis de código de barras de ADN y análisis filogenéticos con un mayor número de organismos y con el uso de otros marcadores moleculares, empleando un enfoque bioecológico para: *O. alexandri*, *L. columbia*, *Holothuria arenicola* y *Holothuria sp*, que permitan resolver de manera exacta su identidad, o determinar la existencia de un complejo de especies, pero cercanamente relacionados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Akbar John B., Sheikh H.I., Jalal K.C.A., Zaleha K., Kamaruzzaman B.Y. 2016. Revised Phylogeny of Extant Xiphosurans (Horseshoe Crabs). In: Trivedi S., Ansari A., Ghosh S., Rehman H. (eds) DNA Barcoding in Marine Perspectives. *Springer, Cham*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41840-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41840-7_7)
- Alcántara, M. 2007. Breve revisión de los marcadores moleculares. *Ecología molecular*, 541-566.
- Alcudia-Catalma, M., Diaz, M., Garcia, R., Ocampo, P., Laurena, A. y Tecson-Mendoza, E. 2020. DNA Barcoding and Diversity Analysis of 19 Economically Important Philippine Sea Cucumbers (Holothuroidea). *Philippine Journal of Science*, 149(2), 335-346.
- Aremu, C. 2011. Genetic diversity: a review for need and measurements for intraspecies crop improvement. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 1(2), 80-85.
- Arana, P. 2005. Demografía y pesquería del erizo *Loxechinus albus* (Echinodermata: Echinoidea) en la región sur-austral de Chile. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 53(3): 367-382.
- Arndt, A., Márquez, C., Lambert, P. y Smith, M. 1996. Molecular phylogeny of eastern Pacific Sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea) based on mitochondrial DNA sequence. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 6: 425–437.
- Ayala-Bocos, A., Reyes-Bonilla, H., Herrero-Pérezrul, M., Walther-Mendoza, M., y de Lara, V. 2011. New records and range extensions of *Astrodictyum panamense* (Ophiuroidea: Gorgonocephalidae) in the eastern Pacific Ocean. *Marine Biodiversity Records*, 4.
- Baena-Bejarano, N., Reina, C., Martínez-Revelo, D., Medina, C., Tovar, E., Uribe-Soto, S., ... y Gonzalez, M. 2023. Taxonomic identification accuracy from BOLD and GenBank databases using over a thousand insect DNA barcodes from Colombia. *Plos one*, 18(4), e0277379.
- Baharara, J., Amini, E., Nikdel, N. y Afzali, M. 2015. The pro apoptotic effect of brittle star dichloromethane extract on B16F10 melanoma cell line. *Archives of Advances in Biosciences*, 6(3), 72-78.
- Baharara, J., Amini, E. y Namvar, F. 2016. Evaluation of the anti-proliferative effects of *Ophiocoma erinaceus* methanol extract against human cervical cancer cells. *Avicenna journal of medical biotechnology*, 8(1), 29.
- Bahrami, Y., Zhang, W. y Franco, C. 2018. Distribution of saponins in the sea cucumber *Holothuria lessoni*; the body wall versus the viscera, and their biological activities. *Marine drugs*, 16(11), 423.
- Barbeau, M. y Scheibling, R. 1994. Procedural effects of prey tethering experiments: predation of juvenile scallops by crabs and sea stars. *Marine Ecology Progress Series*.
- Bhattacharya, M., Sharma, A., Patra, B., Sharma, G., Seo, E., Nam, J. S., ... y Lee, S. 2016. DNA barcoding to fishes: current status and future directions. *Mitochondrial DNA Part A*, 27(4), 1-9.
- Benavides-Serrato, M., Borrero, G y Diaz, C. 2011. Equinodermos del Caribe colombiano I: Crinoidea,

Asteroidea y Ophiuroidea. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar 22. Santa Marta, 384 p.

- Bendita, H. 2016. Determinación del ciclo reproductivo del " Erizo Verde" *Loxechinus albus*, asociados a periodos estacionales en la zona de Punta Coles-Ilo, 2015. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Pesquero.
- Bengtson, P. 1988. Open nomenclature. *Palaeontology*, 31(1), 223-227.
- Benson, D., Cavanaugh, M., Clark, K., Karsch-Mizrachi, I., Lipman, D., Ostell, J. y Sayers, E. 2013. GenBank. *Nucleic acids research*, 41(D1), D36-D42.
- Boissin, E., Hoareau, T., Paulay, G. y Bruggemann, J. 2017. DNA barcoding of reef brittle stars (Ophiuroidea, Echinodermata) from the southwestern Indian Ocean evolutionary hot spot of biodiversity. *Ecology and Evolution*, 7(24), 11197-11203.
- Boero, F. y Bernardi, G. 2014. Phenotypic vs genotypic approaches to biodiversity, from conflict to alliance. *Marine genomics*, 17, 63-64.
- Bordbar S, Anwar, F. y Saari, N. 2011 High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods – a review. *Marine Drugs*, 9:1761–1805.
- Bleidorn, C. 2017. Phylogenomics. Cham: Springer International Publishing, 1-227.
- Borges, L., Hollatz, C., Lobo, J., Cunha, A., Vilela, A., Calado, G., Coelho, R., Costa, A., Ferreira, M., Costa, M. y Costa, F. 2016. With a little help from DNA Barcoding: investigating the diversity of Gastropoda from the Portuguese coast. *Scientific Reports*. 6(1): 1-11.
- Borrero-Pérez, G., Benavides-Serrato, M., y Díaz-Sánchez, C. 2012. Equinodermos del Caribe colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar, 30, 250.
- Bouckaert, R., Heled, J., Kühnert, D., Vaughan, T., Wu, C., Xie, D., Suchard, M., Rambaut, A. y Drummond, A. 2014. BEAST 2: A Software Platform for Bayesian Evolutionary Analysis. *PLoS Computational Biology*. 10 (4): 1-7.
- Bouckaert, R., Vaughan, T., Barido-Sottani, J., Duchêne, S., Fourment, M., Gavryushkina, A., ... y Drummond, A. 2019. BEAST 2.5: An advanced software platform for Bayesian evolutionary analysis. *PLoS computational biology*, 15(4), e1006650.
- Bribiesca, G., Solís, F., Laguarda, A. y Zaldívar, A. 2013. Identification of echinoderms (Echinodermata) from an anchialine cave in Cozumel Island, Mexico, using DNA barcodes. *Molecular Ecology Resources*.
- Britayev, T., Beksheneva, L., Deart, Y. y Mekhova, E. 2016. Structure and variability of symbiotic assemblages associated with feather stars (Crinoidea: Comatulida) *Himerometra robustipinna*. *Oceanology*, 56(5), 666-674.
- Brusca, R., Moore, W y Shuster, S. 2018. Invertebrados, 3a edição. Saraiva Academic Press, São Paulo.



[Edición en portugués]

- Cadena, G. 2016. Eliminación de impedimentos taxonómicos y ecológicos en "hot-spots" de biodiversidad mediante herramientas moleculares: los Chrysomelidae y sus asociaciones tróficas en el bosque seco tropical de Nicaragua.
- Calado, R. 2006. Marine ornamental species from European waters: a valuable overlooked resource or a future threat for the conservation of marine ecosystems?. *Scientia Marina*, 70(3), 389-398.
- Carstens, B., Pelletier, T., Reid, N. y Satler, J. 2013. How to fail at species delimitation. *Molecular ecology*, 22(17), 4369-4383.
- Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52(17): 321-358.
- Cirino, P., Brunet, C., Ciaravolo, M., Galasso, C., Musco, L., Vega, T., Sansone, C. y Toscano, A. 2017. The sea urchin *Arbacia lixula*: A novel natural source of astaxanthin. *Marine drugs*, 15(6), 187.
- Chamundeeswari, K., Saranya, S. y Rajagopal, S. 2012. Exploration of potential antimicrobial activity of sea star *Astropecten indicus*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(7), 125.
- Chen, J. 2003. Overview of sea cucumber farming and sea ranching practices in China. SPC beche-de-mer *Information Bulletin*, 18, 18-23.
- Chow, S., Konishi, K., Mekuchi, M., Tamaki, Y., Nohara, K., Takagi, M., ... & Kiyomoto, S. 2016. DNA barcoding and morphological analyses revealed validity of *Diadema clarki* Ikeda, 1939 (Echinodermata, Echinoidea, Diadematidae). *ZooKeys*, (585), 1.
- Cole, T., Ksepka, D., Mitchell, K., Tennyson, A., Thomas, D., Pan, H., ... y Waters, J. 2019. Mitogenomes uncover extinct penguin taxa and reveal island formation as a key driver of speciation. *Molecular biology and evolution*, 36(4), 784-797.
- Darriba, D., Taboada, G., Doallo, R. y Posada, D. 2012. JModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nature Methods*, 9: 772.
- Davison, A., Blackie, R. y Scothern, G. 2009. DNA barcoding of stylommatophoran land snails: a test of existing sequences. *Molecular Ecology Resources*. 9: 1092–1101.
- Debenedetti, F., Dalmaso, A., Bottero, M., Gilli, M., Gilli, S., Tepedino, V. y Civera, T. 2014. Application of DNA barcoding for controlling of the species from Octopus genus. *Italian Journal of Food Safety*. 3 (4521): 96-199.
- Deichmann E (1958) The Holothurioidea collected by the Velero III and IV during the years 1932 to 1954.

Part II. Aspidochirota. Allan Hancock Pac Exp 11:253–349.

- De Queiroz, K. 2007. Species concepts and species delimitation. *Systematic biology*, 56(6), 879-886.
- DeSalle, R. y Goldstein, P. 2019. Review and interpretation of trends in DNA barcoding. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 302.
- Eichsteller, A., Taylor, J., Stöhr, S., Brix, S. y Martínez Arbizu, P. 2022. DNA Barcoding of Cold-Water Coral-Associated Ophiuroid Fauna from the North Atlantic. *Diversity*, 14(5), p. 1-15.
- Ekrem, T., Willassen, E. y Stur, E. 2006. A comprehensive DNA sequence library is essential for identification with DNA barcodes. *Mol Phylogenet Evol.*, 43(2): 530–542. doi:10.1016/j.ympev.2006.11.021
- Escarcega, A., Granados, A., González, C., Epherra, L., Marín-Hernández, M. y Crespi-Abril, A. 2019. Variación fenotípica del erizo *Eucidaris tribuloides* (Cidaroida: Cidaridae) en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 67(6), 1146-1159.
- Epherra, L., Crespi-Abril, A., Meretta, P. E., Cledón, M., Morsan, E. M. Rubilar, T. 2015. Morphological plasticity in the Aristotle's lantern of *Arbacia dufresnii* (Phymosomatoida: Arbaciidae) off the Patagonian coast. *Revista de Biología Tropical*, 63, 339-351.
- Fernández, R. y Hooker, Y. 2020. Revisiting the diversity and distribution of the ophiuroids (Echinodermata: Ophiuroidea) from Peru. *Zootaxa*, 4766(4), p. 539-556.
- Floyd, R., Abebe, E., Papert, A., & Blaxter, M. 2002. Molecular barcodes for soil nematode identification. *Molecular ecology*, 11(4), 839-850.
- Freeland, J., Kirk, H. y Petersen, S. 2005. Molecular markers in ecology. *Molecular ecology*, 31-62.
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R. y Vrijenhoek, R. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. and Biotech.* 3: 294–299.
- Fujisawa, T. y Barraclough, T. 2013. Delimiting Species Using Single-Locus Data and the Generalized Mixed Yule Coalescent Approach: A Revised Method and Evaluation on Simulated Data Sets. *Systematic Biology*. 62 (5): 707–724.
- Galimberti, A., De Mattia, F., Losa, A., Bruni, I., Federici, S., Casiraghi, M., Martellos, S. y Labra, M. 2013. *Food Research International*. 50: 55–63.
- Garcés, N. y Romero, C. 2003. Caracterización estructural de la comunidad de ofiuros (Echinodermata: Ophiuroidea) presente en la zona norte de la bahía de Gaira (Caribe colombiano), asociada al mesolitoral rocoso. Tesis para optar el título de Biólogo Marino.
- Gebhardt, K. y Knebelberger, T. 2015. Identification of cephalopod species from the North and Baltic Seas

- using morphology, COI and 18S rDNA sequences. *Helgoland Marine Research*, 69(3), 259-271.
- Gondim, A., Alonso, C., Dias, T., Manso, C. y Christoffersen, M. 2013. A taxonomic guide to the brittle-stars (Echinodermata, Ophiuroidea) from the State of Paraíba continental shelf, Northeastern Brazil. *ZooKeys*, (307), 45.
- González Navarro, P. 2012. Biología y ecología de las holoturias [Echinodermata: Holothuroidea] de la isla de Gran Canaria (Atlántico Centro-Oriental) (Doctoral dissertation).
- Grabowski, M., Wysocka, A. y Mamos, T. 2017. Molecular species delimitation methods provide new insight into taxonomy of the endemic gammarid species flock from the ancient Lake Ohrid. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 181(2), 272-285.
- Grande, J., Manrique, M. y León, B. (Eds.). 2006. *Identificación de las áreas compatibles con la figura de "Parque Nacional" en España*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente.
- Groombridge, B. y Jenkins, M. 2002. World Atlas of Biodiversity: Earth's living resources in the 21st century. Cambridge: World Conservation Press.
- Giuliano, P., Spilimbergo, A. y Tonon, G. 2014. Genetic distance, transportation costs, and trade. *Journal of Economic Geography*, 14(1), 179-198.
- Günther, B., Raupach, M. y Kneibelsberger. 2016. Full-length and mini-length DNA barcoding for the identification of seafood commercially traded in Germany. *Food Control*. 73: 1-8.
- Güler, M. y Lök, A. 2015. Foraging behaviors of sea stars, *Marthasterias glacialis* and *Astropecten aranciacus* (Asteroidea) and predator-prey interactions with warty venus clam, *Venus verrucosa* (Bivalvia). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 465, 99-106.
- Hajibabaei, M., Singer, G., Clare, E. y Hebert, P. 2007. Design and applicability of DNA arrays and DNA barcodes in biodiversity monitoring. *BMC Biology*. 5 (24): 1-7.
- Hebert, P., Cywinska, A., Ball, S. y deWaard, J. 2003a. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. R. Soc. Lond. B*. 270: 313-321.
- Hebert, P., Ratnasingham, S. y De Waard, J. 2003b. Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1), S96-S99.
- Hebert, P., Penton, E., Burns, J., Janzen, D. y Hallwachs, W. 2004a. Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astrartes fulgerator*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(41), 14812-14817.
- Hebert, P., Stoeckle, M., Zemlak, T y Francis, C. 2004b. Identification of Birds through DNA Barcodes.

*Plos Biology*. 2 (10): 1657-1663.

Heimeier, D., Lavery, S. y Sewell, M. 2010. Using DNA barcoding and phylogenetics to identify Antarctic invertebrate larvae: Lessons from a large scale study. *Marine Genomics*. 3: 165-177.

Hernández-Herrejón, L., Solís-Marín, F. y Laguarda-Figueras, A. 2008. Ofiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) de las aguas mexicanas del golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 83-167.

Hickman, C., Roberts, L. y Keen, S. 2016. Principios integrados de zoología. Grupo Gen-Guanabara Koogan.

Hoareau, T. y Boissin, E. 2010. Design of phylum-specific hybrid primers for DNA barcoding: addressing the need for efficient COI amplification in the Echinodermata. *Molecular ecology resources*, 10(6), 960-967.

Honey-Escandon, M., Laguarda-Figueras, A. y Solis-Marin, F. 2012. Molecular phylogeny of the subgenus *Holothuria* (Selenkothuria) Deichmann, 1958 (Holothuroidea: Aspidochirotida). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 165(1), 109-120

Honey-Escandón, M., Arreguín-Espinosa, R., Solís-Marín, F. y Samyn, Y. 2015. Biological and taxonomic perspective of triterpenoid glycosides of sea cucumbers of the family Holothuriidae (Echinodermata, Holothuroidea). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 180, 16-39.

Hooker, Y., Solís, F. y Llellish, M. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera. *Rev. peru. biol.* 12(1): 77-82.

Hooker, Y., Prieto, E. y Solís, F. 2013. Echinoderms of Peru. In Alvarado, J. y Solís, F. (Eds.), *Echinoderm Research and Diversity in Latin America* (pp. 277-299). Berlin: Springer-Verlag.

Hou, Y., Sun, Y., Gao, Q., Dong, S., Wen, B., Pan, Z., y Liu, C. 2018. Bioturbation by sea cucumbers *Apostichopus japonicus* affects sediment phosphorus forms and sorption characteristics. *Aquaculture Environment Interactions*, 10, 201-211.

Hou, Y., Carne, A., McConnell, M., Bekhit, A., Mros, S., Amagase, K. y Bekhit, A. 2020. In vitro antioxidant and antimicrobial activities, and in vivo anti-inflammatory activity of crude and fractionated PHNQs from sea urchin (*Evechinus chloroticus*). *Food Chemistry*, 126339.

Hsu, C., de Palmas, S., Kuo, C., Denis, V. y Chen, A. 2014. Identification of Scleractinian Coral Recruits using Fluorescent Censusing and DNA Barcoding Techniques. *PLOS ONE*. 9(9): 1-13.

Hubert, N., Delreiu, E., Irisson, J., Meyer, C. y Planes, S. 2010. Identifying coral reef fish larvae through DNA barcoding: A test case with the families Acanthuridae and Holocentridae. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 55 (3): 1195–1203.

Hubert, N., Espiau, B., Meyer, C. y Planes, S. 2014. Identifying the ichthyoplankton of a coral reef using

- DNA barcodes. *Molecular Ecology Resources*. 15(1): 1-20.
- Hughes, A., Brunner, L., Cook, E., Kelly, M. y Wilson, B. 2012. Echinoderms display morphological and behavioural phenotypic plasticity in response to their trophic environment.
- Jebasingh, S., Rajesh, R., Raja, P. y Lakshmikandan, M. 2015. Presence of antibacterial activity in feather star, *Capillaster multiradiatus* extract against human and fish bacterial pathogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85(1), 271-276.
- Jones, M., Ghoorah, A., y Blaxter, M. 2011. jMOTU and taxonator: turning DNA barcode sequences into annotated operational taxonomic units. *PLoS one*, 6(4), e19259.
- Jossart, Q., Kochzius, M., Danis, B., Saucède, T. y Moreau, C. 2021. Diversity of the Pterasteridae (Asteroidea) in the Southern Ocean: a molecular and morphological approach. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 192(1), 105-116.
- Kalinowski, S. 2002. Evolutionary and statistical properties of three genetic distances. *Molecular Ecology*, 11(8), 1263-1273.
- Kamyab, E., Goebeler, N., Kellermann, M., Rohde, S., Reverter, M., Striebel, M., y Schupp, P. 2020. Anti-Fouling Effects of Saponin-Containing Crude Extracts from Tropical Indo-Pacific Sea Cucumbers. *Marine drugs*, 18(4), 181.
- Kano, T., Sato, E., Ono, T., Aonuma, H., Matsuzaka, Y. y Ishiguro, A. 2017. A brittle star-like robot capable of immediately adapting to unexpected physical damage. *Royal Society open science*, 4(12), 171200.
- Kim, S., Kerr, A. y Paulay, G. 2013. Colour, confusion, and crossing: resolution of species problems in Bohadschia (Echinodermata: Holothuroidea). *Zoological Journal of the Linnean Society*. 168: 81–97.
- Kim, P., Lee, T. y Shin, S. 2022. New record of the unstalked crinoid *Tropiometra macrodiscus* (Crinoidea: Comatulida: Tropiometridae) from Korea. *Journal of Species Research*, 11(1), 22-28.
- Kimura, M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rate of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *J. Mol. Evol.* 16: 111-120.
- Kumar, S., Stecher, G. y Tamura, K. 2016. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 7.0 for Bigger Datasets. *Mol. Biol. Evol.* 33(7): 1870–1874.
- Laakmann, S., Boos, K., Knebelberger, T., Raupach, T. y Neumann, H. 2016. Species identification of echinoderms from the North Sea by combining morphology and molecular data. *Helgol Mar Res.* 70: 1-18.
- Layton, K., Corstorphine, E. y Hebert, P. 2016. Exploring Canadian Echinoderm Diversity through DNA Barcodes. *PLOS ONE*. 11(11): 1-16.
- Leiva, C., Pérez-Sorribes, L., González-Delgado, S., Ortiz, S., Wangensteen, O. y Pérez-Portela, R. 2023. Exceptional population genomic homogeneity in the black brittle star *Ophiocomina nigra*

- (Ophiuroidea, Echinodermata) along the Atlantic-Mediterranean coast. *Scientific Reports*, 13(1), 12349.
- Lee, T. y Shin, S. 2017. A Newly Recorded Sea Cucumber of the Genus *Psolus* (Holothuroidea: Dendrochirotida: Psolidae) from the East Sea of Korea. *Anim. Syst. Evol. Divers.* Vol. 33 (3): 195-199.
- Lee, S., Ferse, S., Ford, A., Wild, C. y Mangubhai, S. 2017. Effect of sea cucumber density on the health of reef-flat sediments. Wildlife Conservation Society.
- Lee, T. y Shin, S. 2018. A Newly Recorded Sea Star of the Genus *Luidia* (Asteroidea, Paxillosida, Luidiidae) from Jeju Island, Korea, Based on Morphological and Molecular Analysis. *Anim. Syst. Evol. Divers.* Vol. 34 (4): 208-214.
- Li, C., Haug, T., Moe, M., Styrvold, O. y Stensvåg, K. 2010. Centrocins: isolation and characterization of novel dimeric antimicrobial peptides from the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Developmental & Comparative Immunology*, 34(9), 959-968.
- Lobo, J., Teixeira, M., Borges, L., Ferreira, M., Hollatz, C., Gomes, P., Sousa, R., Ravara, A., Costa, M. y Costa, F. 2016. Starting a DNA barcode reference library for shallow water polychaetes from the southern European Atlantic coast. *Molecular Ecology Resources*. 16: 298–313.
- Lum, K., Carroll, A., Ekins, M., Read, S., Haq, Z., Tietjen, I., John, J. y Davis, R. 2019. Capillasterin A, a Novel Pyrano [2, 3-f] chromene from the Australian Crinoid *Capillaster multiradiatus*. *Marine drugs*, 17(1), 26.
- Luparello, C., Ragona, D., Asaro, D., Lazzara, V., Affranchi, F., Arizza, V., y Vazzana, M. 2020. Cell-Free Coelomic Fluid Extracts of the Sea Urchin *Arbacia lixula* Impair Mitochondrial Potential and Cell Cycle Distribution and Stimulate Reactive Oxygen Species Production and Autophagic Activity in Triple-Negative MDA-MB231 Breast Cancer Cells. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(4): 1-13.
- Madduppa, H., Subhan, B., Anggraini, N., Fadillah, R. y Tarman, K. 2017. DNA barcoding reveals vulnerable and not evaluated species of sea cucumbers (Holothuroidea and Stichopodidae) from Kepulauan Seribu reefs, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(3), 893-898.
- Mah, C. y Blake, D. 2012. Global diversity and phylogeny of the Asteroidea (Echinodermata). *PLoS one*, 7(4), e35644.
- Mah, C., Linse, K., Copley, J., Marsh, L., Rogers, A., Clague, D. y Foltz, D. 2015. Description of a new family, new genus, and two new species of deep-sea Forcipulatacea (Asteroidea), including the first known sea star from hydrothermal vent habitats. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 174(1), 93-113.
- Malyarenko, T., Malyarenko, O., Kicha, A., Ivanchina, N., Kalinovsky, A., Dmitrenok, P., ... y Stonik, V. 2018. In vitro anticancer and proapoptotic activities of steroidal glycosides from the starfish *Anthenea*

*aspera*. *Marine drugs*, 16(11), 420.

Mallet, J. 2001. Species, concepts of. *Encyclopedia of biodiversity*, 5, 427-440.

Malyarenko, O., Ivanushko, L., Chaikina, E., Kusaykin, M., Silchenko, A., Avilov, S., ... y Ermakova, S. 2020. In Vitro and In Vivo Effects of Holotoxin A1 From the Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* During Ionizing Radiation. *Natural Product Communications*, 15(6), 1-9.

Mantelli, J. 2011. Factibilidad de exportación de pepinos de mar a Hong Kong. Tesis de Magister. Universidad de Chile.

Marmouzi, I., Tamsouri, N., El Hamdani, M., Attar, A., Kharbach, M., Alami, R., ... y Faouzi, M. 2018. Pharmacological and chemical properties of some marine echinoderms. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28, 575-581.

Marín, A., Serna, J., Robles, C., Ramírez, B., Reyes, L., Zelada, E., Sotil, G. y Alfaro, R. 2018. A glimpse into the genetic diversity of the Peruvian seafood sector: Unveiling species substitution, mislabeling and trade of threatened species. *PLoS ONE*. 13(11): 1-34.

Márquez, C. 2015. Aplicación de los códigos de barras de DNA en el descubrimiento de la diversidad animal marina. *CICIMAR Océánides*. 30(2): 35-52.

Martinsson, S. y Erséus, C. 2021. Cryptic Clitellata: Molecular Species Delimitation of Clitellate Worms (Annelida): An Overview. *Diversity*, 13(2), 36.

Massin, C., Mercier, A. y Hamel, J. 2000. Ossicle change in *Holothuria scabra* with a discussion of ossicle evolution within the Holothuriidae (Echinodermata). *Acta Zoologica*, 81(1), 77-91.

Maturana, C., Moreno, R., Labra, F., González-Wevar, C., Rozbaczylo, N., Carrasco, F. y Poulin, E. 2011. DNA barcoding of marine polychaetes species of southern Patagonian fjords. *Revista de biología marina y oceanografía*, 46(1), 35-42.

Meiklejohn, K., Damaso, N. y Robertson, J. 2019. Assessment of BOLD and GenBank—Their accuracy and reliability for the identification of biological materials. *PLoS one*, 14(6), p. 1-14.

Meyer, C. 2003. Molecular systematics of cowries (Gastropoda: Cypraeidae) and diversification patterns in the tropics. *Biological Journal of the Linnean Society*. 79: 401–459.

Meyer, C. y Paulay, G. 2005. DNA Barcoding: Error Rates Based on Comprehensive Sampling. *PLoS Biology*. 3(12): 2229-2238.

Menge, B. y Sanford, E. 2013. Ecological role of sea stars from populations to meta-ecosystems, in: Lawrence, J.M. (Ed.) *Starfish: Biology and ecology of the Asteroidea*. pp. 67-80.

Michonneau, F. 2015. Cryptic and not-so-cryptic species in the complex “*Holothuria* (*Thymiosycia*)

- imaptiens”(Forsskål, 1775)(Echinodermata: Holothuroidea: Holothuriidae). *Biorxiv*, 014225.
- Miya, M., Friedman, M., Satoh, T., Takeshima, H., Sado, T., Iwasaki, W., ... y Nishida, M. 2013. Evolutionary origin of the Scombridae (tunas and mackerels): members of a Paleogene adaptive radiation with 14 other pelagic fish families. *PloS one*, 8(9), e73535.
- Miyoshi, K., Kuwahara, Y. y Chiba, S. 2019. Interactions between predatory sea stars (*Asterias amurensis* and *Distolasterias nipon*) and Japanese scallops (*Mizuhopecten yessoensis*) and implications for scallop seeding in mariculture. *Aquaculture Research*, 50(9), 2419-2428.
- Mohammed, A., Mohammed, I., Fedekar, F. y Mahmoud, H. 2018. Using DNA Barcoding Technique to Identify Some Scleractinian Coral Species along the Egyptian Coast of the Red Sea and Southern of Arabian Gulf. *Journal of Environmental Science and Public Health*. 2(1): 53-63.
- Mohamed, A., Fahmy, S. y Elsayed, A. 2020. Formulation and Evaluation of the sea cucumber, *Holothuria arenicola* extract incorporated skin cream. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 13(2), 232-239.
- Morales, M. 2011. Revisión taxonómica de los asteroideos del mar peruano. Tesis para título. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Morinière, J., Cancian de Araujo, B., Lam, A., Hausmann, A., Balke, M., Schmidt, S., ... y Haszprunar, G. 2016. Species identification in malaise trap samples by DNA barcoding based on NGS technologies and a scoring matrix. *PloS one*, 11(5), e0155497.
- Neigel, J., Domingo, A. y Stake, J. 2007. DNA barcoding as a tool for coral reef conservation. *Coral Reefs*. 26: 487-499.
- Nethupul, H., Stöhr, S. y Zhang, H. 2022. New species, redescription and new records of deep-sea brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) from the South China Sea, an integrated morphological and molecular approach. *European Journal of Taxonomy*, 810, 1-95.
- Nisperuza-Pérez, C., Quirós-Rodríguez, J. y Solís-Marín, F. 2019). Primeros registros e intervalos de distribución de *Holothuria* (Theelothuria) *princeps* Selenka, 1867 (Echinodermata: Holothuroidea: Holothuriidae) en el golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. *Revista de biología marina y oceanografía*, 54(1), 139-143.
- O'Hara, T., Hugall, A., Cisternas, P., Boissin, E., Bribiesca-Contreras, G., Sellanes, J., ... y Byrne, M. 2019. Phylogenomics, life history and morphological evolution of ophiocomid brittlestars. *Molecular phylogenetics and evolution*, 130, 1-41.
- Okanishi, M., Matsuo, T. y Fujita, T. 2021. A New Species of the Genus *Ophiomonas* Djakonov (Echinodermata: Ophiuroidea: Amphilepididae) from the Deep-Sea of Japan. *Zoological Studies*, 60 (59), p. 1-13.
- Ortega, Y., Martínez, N. y Agapito, J. 2013. Código de barras de ADN en *Dactylopius coccus* Costa “cochinilla del carmín” (Hemiptera: Dactylopiidae): Estudio preliminar. Informe Científico



Tecnológico, 13:25-30.

Packer, L., Gibbs, J., Sheffield, C. y Hanner, R. 2009. DNA barcoding and the mediocrity of morphology. *Molecular Ecology Resources*, 9, 42-50.

Pangestuti, R. y Arifin, Z. 2018. Medicinal and health benefit effects of functional sea cucumbers. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*. 8(3): 341–351.

Paredes, J. y Muñoz, J. 2010. Variabilidad de las exportaciones del *Loxechinus albus* en la Región de Magallanes durante el periodo 2007-2009. Tesis para título. Universidad de Magallanes.

Parvez, M., Rahman, M., y Yusoff, F. 2016. Status, prospects, and potentials of echinoid sea urchins in Malaysia. *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences*, 4(1), 93-97.

Paulay G. 2020. WoRMS Holothuroidea: World List of Holothuroidea (version 2019-03-05). In: Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2020-04-16 Beta (Roskov Y.; Ower G.; Orrell T.; Nicolson D.; Bailly N.; Kirk P.M.; Bourgoin T.; DeWalt R.E.; Decock W.; Nieuwerkerken E. van; Penev L.; eds.). Digital resource at [www.catalogueoflife.org/col](http://www.catalogueoflife.org/col). Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands. ISSN 2405-8858.

Pawson D. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, 1668: 749-764.

Pečnikar, Ž. y Buzan, E. 2014. 20 years since the introduction of DNA barcoding: from theory to application. *Journal of applied genetics*, 55(1), 43-52.

Pérez, A., Gil, D. y Rubilar, T. 2014. Echinodermata. In: In: Calcagno, J.A. (Ed.), Los invertebrados marinos. Fundación de Historia Natural Félix de Azara Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires, Argentina, pp. 295–316.

Pentinsaari, M., Ratnasingham, S., Miller, S. y Hebert, P. 2020. BOLD and GenBank revisited—Do identification errors arise in the lab or in the sequence libraries?. *PLoS One*, 15(4), e0231814.

Pineda-Enríquez, T., Solís-Marín, F., Hooker, Y. y Laguarda-Figueras, A. 2013. Ophioderma peruana, a new species of brittlestar (Echinodermata, Ophiuroidea, Ophiodermatidae) from the Peruvian coast. *ZooKeys*, (357), 53.

Prieto, E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Prieto, E., Valdés, M., Solís, F. y Laguarda, A 2011. Primer registro de *Florometra magellanica* (Bell, 1882) (Echinodermata: Crinoidea) para el Perú. *Rev. peru. biol.* 18(2), pp. 245 – 248.

PRODUCE. 2020. Anuario estadístico pesquero y acuícola.

Proexpansión, 2016. Recuperado el 20 de octubre de 2018, de

[http://proexpansion.com/es/articulos\\_oe/2016-erizo-de-mar-oportunidad-perdida](http://proexpansion.com/es/articulos_oe/2016-erizo-de-mar-oportunidad-perdida).

- Pomory, C. y Lawrence, J. 2001. Arm regeneration in the field in *Ophiocoma echinata* (Echinodermata: Ophiuroidea): effects on body composition and its potential role in a reef food web. *Marine Biology*, 139(4), 661-670.
- Purcell, S., Conand, C., Uthicke, S. y Byrne, M. 2016. Ecological roles of exploited sea cucumbers. *Oceanography and marine biology*, 54: pp. 375-394.
- Purty, R. y Chatterjee, S. 2016. DNA Barcoding: An Effective Technique in Molecular Taxonomy. *Austin Journal of Biotechnology & Bioengineering*. 3(1): 1-10.
- Rahman, M. A., Molla, M. H. R., Megwalu, F. O., Asare, O. E., Tchoundi, A. y Shaikh, M. 2018. The Sea Stars (Echinodermata: Asteroidea): Their Biology, Ecology, Evolution and Utilization. *SF J Biotechnol Biomed Eng*; 1 (2), 1007.
- Rambaut, A., Drummond, A., Xie, D., Baele, G., Suchard, M. 2018. Posterior summarisation in Bayesian phylogenetics using Tracer 1.7. *Syst. Biol.* 00(0): 1–3.
- Ramirez, J., Birindelli, J., Carvalho, D., Affonso, P., Venere, P., Ortega, H., ... y Galetti Jr, P. 2017. Revealing hidden diversity of the underestimated neotropical ichthyofauna: DNA barcoding in the recently described genus *Megaleporinus* (Characiformes: Anostomidae). *Frontiers in Genetics*, 8, 149.
- Ramirez, J., Valdivia, P., Rosas-Puchuri, U. y Valdivia, N. 2023. SPdel: A pipeline to compare and visualize species delimitation methods for single-locus datasets. *Molecular Ecology Resources*.
- Ratnasingham, S. y Hebert, P. 2007. BOLD: The Barcode of Life Data System ([www.barcodinglife.org](http://www.barcodinglife.org)). *Molecular Ecology Notes*. 7(3): 355-364.
- Ratnasingham, S. y Hebert, P. 2013. A DNA-Based Registry for All Animal Species: The Barcode Index Number (BIN) System. *PLOS ONE*. 8(8): 1-16.
- Raupach, M., Barco, A., Steinke, D., Beermann, J., Laakmann, S., Mohrbeck, I., Neumann, H., Kihara, T., Pointner, K., Radulovici, A., Segelken-Voigt, A., Wesse, C. y Knebelberger, T. 2015. The Application of DNA Barcodes for the Identification of Marine Crustaceans from the North Sea and Adjacent Regions. *PLoS ONE*. 10(9): 1-23.
- Robainas, A. y García, E. 2012. Código de barras de ADN. Una Alternativa para documentar la diversidad biológica. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, Vol 1(1): 8 - 18.
- Ross, D., Johnson, C. y Hewitt, C. 2002. Impact of introduced seastars *Asterias amurensis* on survivorship of juvenile commercial bivalves *Fulvia tenuicostata*. *Marine Ecology Progress Series*, 241, 99-112.
- Ruppert, E. y Barnes, R. 1996. *Zoología de los Invertebrados* (6 Edición).
- Samarakoon, T., Wang, S. y Alford, M. 2013. Enhancing PCR amplification of DNA from recalcitrant plant

- specimens using a trehalose-based additive. *Applications in Plant Sciences*, 1(1), 1200236.
- Santhanam, R., Ramesh, S. y David, S. 2019. *Biology and Ecology of Pharmaceutical Marine Life: Echinoderms*. CRC Press. Primera edición. London-New York.
- Satoh, T., Miya, M., Mabuchi, K. y Nishida, M. 2016. Structure and variation of the mitochondrial genome of fishes. *BMC genomics*, 17(1), 1-20.
- Schönrogge, K., Barr, B., Napper, E., Gardner, M., Breen, J., Elmes, G. y Thomas, J. 2002. When rare species become endangered: cryptic speciation in myrmecophilous hoverflies. *Biol. J. Linn. Soc.*, 75:291–300. doi:10.1046/j.1095-8312.2002.00019.x
- Shikov, A., Pozharitskaya, O., Faustova, N., Kosman, V., Makarov, V., Razzazi-Fazeli, E., y Novak, J. 2019. Pharmacokinetic study of bioactive glycopeptide from *Strongylocentrotus droebachiensis* after intranasal administration to rats using biomarker approach. *Marine drugs*, 17(10), 577.
- Sinniger, F., Reimer, J. y Pawlowski, J. 2008. Potential of DNA Sequences to Identify Zoanthids (Cnidaria: Zoantharia). *ZOOLOGICAL SCIENCE*. 25: 1253–1260.
- Shadi, A. y Oujifard, A. 2019. Antibacterial, cytotoxic and hemolytic activity of *Holothuria parva* sea cucumber from north Persian Gulf. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(10), 5937-5944.
- Smirnov, A. 2012. System of the class Holothuroidea. *Paleontological Journal*, 46(8), 793-832.
- Spinelli, J. y Haigis, M. 2018. The multifaceted contributions of mitochondria to cellular metabolism. *Nature cell biology*, 20(7), 745-754.
- Stabili, L., Acquaviva, M., Cavallo, R., Gerardi, C., Narracci, M., y Pagliara, P. 2018. Screening of three echinoderm species as new opportunity for drug discovery: Their bioactivities and antimicrobial properties. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*.
- Stefánsson, G., Kristinsson, H., Ziemer, N., Hannon, C. y James, P. 2017. Markets for sea urchins: A review of global supply and markets. *Skýrsla Matís*, 45
- Steneck, R. 2020. Regular sea urchins as drivers of shallow benthic marine community structure. In *Developments in aquaculture and fisheries science* (Vol. 43, pp. 255-279). Elsevier.
- Stöhr, S., O'Hara, T. D. y Thuy, B. 2012. Global diversity of brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea). *Plos one*, 7(3), 1-14.
- Stöhr, S., O'Hara, T., Thuy, B. (Eds) (2020). Base de datos mundial de Ofiuroidea. Acceso en <http://www.marinespecies.org/ophiuroidea> el 2020-01-29. doi: 10.14284 / 358
- Soliman, Y., Ibrahim, A., Tadros, H., Abou-Taleb, A., Moustafa, A. y Hamed, M. 2016. Antifouling and antibacterial activities of marine bioactive compounds extracted from some red sea

cucumber. *Contemp Appl Sci*, 3, 83-103.

- Sonet, G., Smitz, N., Vangestel, C. y Samyn, Y. 2022. DNA barcoding echinoderms from the East Coast of South Africa. The challenge to maintain DNA data connected with taxonomy. *Plos one*, 17(10), e0270321.
- Sueiro, J. 2009. Estudio de la actividad extractiva y de comercialización de invertebrados bentónicos en el litoral sur del Perú. ICON-INSTITUT GmbH Private Sector, Proyecto Asistencia Técnica para los Planes Operativos Sectoriales (POS), Lima.
- Sulardiono, B., Hartoko, A., Aini, A., Wulandari, D. y Budiharjo, A. 2022. Genetic diversity of commercial sea cucumbers *Stichopus* (Echinoderm: Stichopodidae) based on DNA Barcoding in Karimunjawa, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(2), p. 922-927.
- Sumitha, R., Parvathi, V. D. y Banu, N. 2017. Cytotoxicity testing of star fish *Stellaster equestris* extracts on Pa1 celline. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 10(9), 2851-2856.
- Sundberg, P., Kvist, S. y Strand, M. 2016. Evaluating the utility of single-locus DNA barcoding for the identification of ribbon worms (phylum Nemertea). *PLoS One*, 11(5), e0155541.
- Tang, C., Humphreys, A., Fontaneto, D. y Barraclough, T. 2014. Effects of phylogenetic reconstruction method on the robustness of species delimitation using single-locus data. *Methods in ecology and evolution*, 5(10), 1086-1094.
- Taggart, J., Hynes, R., Prodo, P. y Ferguson, A. 1992. A simplified protocol for routine total DNA isolation from salmonid fishes. *J. Fish. Biol.*, 40: 963-965.
- Tanaka, H., Sodeyama, F. y Kohtsuka, H. 2020. A New Species of Ostracod (Crustacea) Associated with a Feather Star: First Report of Ostracoda from Crinoidea. *Zoological science*, 37(5), 1-8.
- Tarazona, J., Gutiérrez, D., Paredes, C y Indacochea, A. 2003. Una revisión y desafíos para la investigación en biodiversidad marina en Perú. *Gayana*. 67(2): 206-231.
- Teare, J., Islam, R., Flanagan, R., Gallagher, S., Davies, M. y Grabau, C. 1997. Measurement of nucleic acid concentrations using the DyNA Quant™ and the GeneQuant™. *Biotechniques*, 22(6), 1170-1174.
- Thompson, J., Higgins, D. y Gibson, T. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res.*, 22, 4673-4680.
- Trivedi, S., Rehman, H., Saggu, S., Panneerselvam, C., Abbas, Z., Ahmad, I., ... y Ghosh, S. 2016. DNA barcoding in the marine habitat: an overview. *DNA barcoding in marine perspectives*, 3-28.
- Toffoli, D., Hrbek, T., Araújo, M., Almeida, M., Charvet, P. y Farias, I. 2008. A test of the utility of DNA barcoding in the radiation of the freshwater stingray genus *Potamotrygon* (Potamotrygonidae,

- Myliobatiformes). *Genet. Mol. Biol.* 31(1): 324–336.
- Toral, V. 2008. Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in Latin America and the Caribbean. pp. 213-229 In: Toral, V., Lovatelli, A. y Vasconcellos, M (eds). Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 516: 213-219.
- Toral-Granda, M., Rasolofonirina, R., Jangoux, M., Purwati, P., Dwiono, S., y Samyn, Y. 2005. The use of calcareous spicules for the identification of the Galápagos Sea cucumber *Isostichopus fuscus* on the international market. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 22, 3-5.
- Uthicke, S., Byrne, M. y Conand, C. 2010. Genetic barcoding of commercial Bêche-de-mer species (Echinodermata: Holothuroidea). *Molecular Ecology Resources*. 10: 634-646.
- Utzeri, V., Ribani, A., Bovo, S., Taurisano, V., Calassanzio, M., Baldo, D. y Fontanesi, L. 2020. Microscopic ossicle analyses and the complete mitochondrial genome sequence of *Holothuria* (Roweothuria) *polii* (Echinodermata; Holothuroidea) provide new information to support the phylogenetic positioning of this sea cucumber species. *Marine genomics*, 51, 100735.
- Veneza, I., Silvas, R., Freitas, L., Silvas, S., Martins, K., Sampaio, I., Schneider, H. y Gomes, G. 2018. Molecular authentication of Pargo fillets *Lutjanus purpureus* (Perciformes: Lutjanidae) by DNA barcoding reveals commercial fraud. *Neotropical Ichthyology*. 16(1): 1-6.
- Vera, S., Jiménez, P. y Franco-Lara, L. 2012. Uso de herramientas bioinformáticas en la evaluación de secuencias “DNA barcode” para la identificación a nivel de especie. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 8(2), 196-209.
- Watanabe, S., Kodama, M., Sumbing, J. y Lebata-Ramos, M. 2017. Development of integrated multi-trophic aquaculture using sea cucumber. In US-Japan Aquaculture Panel Symposium (p. 80).
- Wätjen, W., Ebada, S., Bergermann, A., Chovolou, Y., Totzke, F., Kubbutat, M., ... y Proksch, P. 2017. Cytotoxic effects of the anthraquinone derivatives 1'-deoxyrhodoptilometrin and (S)-(-)-rhodoptilometrin isolated from the marine echinoderm *Comanthus sp.* *Archives of toxicology*, 91(3), 1485-1495.
- Ward, R., Holmes, B. y O'Hara. 2008. DNA barcoding discriminates echinoderm species. *Molecular Ecology Resources*. 8: 1202–1211.
- Ward, R. y Holmes, B. 2007. An analysis of nucleotide and amino acid variability in the barcode region of *cytochrome c oxidase I (cox1)* in fishes. *Molecular Ecology Notes*. 7: 899–907.
- Webb, K., Barnes, D., Clark, M. y Bowden, D. 2006. DNA barcoding: A molecular tool to identify Antarctic marine larvae. *Deep-Sea Research II*. 53: 1053-1060.
- Wolfe, K., Vidal-Ramirez, F., Dove, S., Deaker, D. y Byrne, M. 2018. Altered sediment biota and lagoon habitat carbonate dynamics due to sea cucumber bioturbation in a high-pCO<sub>2</sub> environment. *Global*

*change biology*, 24(1), 1-45.

- Xia, J., Miao, Z., Xie, C., Zhang, J. y Yang, X. 2020. Chemical Constituents and Bioactivities of Starfishes: An Update. *Chemistry & Biodiversity*, 17: 1-32.
- Xie, Z., Li, S., Yao, M., Lu, D., Li, Z., Meng, Z., ... & Lin, H. 2015. The complete mitochondrial genome of the *Trachinotus ovatus* (Teleostei, Carangidae). *Mitochondrial DNA*, 26(4), 644-646.
- Yamashiro, C., Benites, C., Zeballos. y Tafur, R. 1996. Algunos aspectos biológico-pesquero del recurso erizo *Loxechinus albus* (Molina, 1782). Informe Progresivo N°38: 30-46.
- Yamana, Y., Tanaka, H., Hirabayashi, I., Dan, I., Hirai, A. y Ogawa, A. 2022. Three New Infaunal Species of *Taeniogyrus* (Echinodermata: Holothuroidea: Apodida: Chiridotidae: Taeniogyrinae) from Southern Coast of Wakayama, Japan. *Species Diversity*, 27(1), 139-158.
- Yur'eva, M., Lisakovskaya, O., Akulin, V. y Kropotov, A. 2003. Gonads of sea urchins as the source of medication stimulating sexual behavior. *Russian Journal of Marine Biology*, 29 (3), 189-193.
- Zhang, J., Kapli, P., Pavlidis, P. y Stamatakis, A. 2013. A general species delimitation method with applications to phylogenetic placements. *Bioinformatics*. 29: 2869–2876.
- Zhang, L., Wang, H., Xu, J., Li, J. y Liu, L. 2016. A new secondary metabolite of the crinoid (*Comanthina schlegeli*) associated fungus *Alternaria brassicae* 93. *Natural product research*, 30(20), 2305-2310.
- Zuccarello, G. y Lokhorst, G. 2005. Molecular phylogeny of the genus *Tribonema* (Xanthophyceae) using *rbcL* gene sequence data: monophyly of morphologically simple algal species. *Phycologia*. 44 (4): 384–392.

**ANEXO 1:** Información de secuencias *COI* disponibles en GenBank y BOLD, incluidas en el análisis.

<b>MOTU</b>	<b>Lugar de colecta</b>	<b>BIN</b>	<b>GenBank</b>	<b>Museum ID</b>
<i>Holothuria arenicola</i>	México	ABA1778	-	-
<i>Holothuria arenicola</i>	México	ABA1778	-	-
<i>Linckia columbiae</i>	-	AAC3176	-	-
<i>Linckia columbiae</i>	-	AAC3176	-	-
<i>Linckia columbiae</i>	-	AAC3176	-	-
<i>Linckia columbiae</i>	-	AAC3176	-	-

**ANEXO 2:** Fichas descriptivas de las especies de equinodermos del litoral peruano.



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Dendrochirotida

**Familia:** Cucumariidae

**Género:** *Pattalus*

**Especie:** *mollis*

### Bibliografía

Deichmann E. 1941. The holothuroidea collected by the *Velero III* during the years 1932 to 1938. Part I. *Dendrochirota*. Allan Hancock Pac. Exped. 8(3): 61-195.

García J.L.E., C.D Pariona & R. P. Londoño. 2017. Actividad antiinflamatoria in vitro de los polisacáridos sulfatados de *Patallus mollis* extraídos mediante digestión enzimática. *Rev. Peru. Med. Integrativa*. 2(3): 759-64.

Fernández E. & A. Saletti. 2015. Desarrollo Embrionario y Morfología Larval de Pepino de Mar *Patallus mollis* (Holothuroidea: Dendrochirotida). Tesis licenciatura. Universidad Nacional del Santa. 28pp.

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 71pp.

Ramírez A., F. Ganoza & R. Gonzales. 2017. Prospección del pepino de mar *Patallus mollis* Selenka, 1868 entre los islotes Tartaca y Lachay, Huacho. *Mayo 2012. Inf Inst Mar Perú*. 44(4): 552-559.

Selenka E. 1868. Nachtrag zu den Beiträgen zur Anatomie und Systematik der Holothurien. *Zeitschrift Wissenschaftliche Zoologische*. 18: 109-119.

Verrill A. E. 1868. Supplementary note on the echinoderms of the west coast of America. *Trans. Ct. Acad. Arts Sci.* 1: 376.

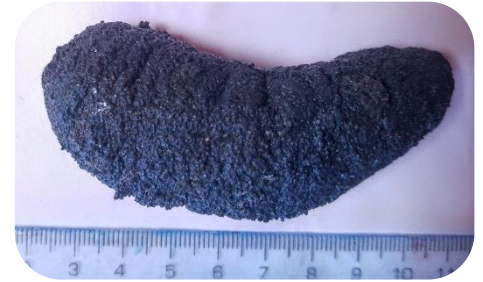
WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species.

# *Pattalus mollis* Selenka, 1868

“Pepino de mar, ancoco”

## Descripción y diagnosis de la especie

Organismos de 20cm o más. Piel de textura muy suave con numerosos pies ambulacrales. Hasta 20 tentáculos grandes de similar tamaño. internamente con varillas pequeñas, compactas y dispersas de forma algo variable. Hasta cinco pares de fuertes músculos retractores. Árbol del pulmón finamente ramificado pero no irrigado. Dorsalmente, un largo canal pétreo con una pequeña cabeza; numerosas vesículas de Poli colgando como el borde de un mantel, alrededor del canal anular; unas pocas vesículas de poli pueden estar divididas en dos. Color en espécimen fijado, púrpura grisáceo.



## Biología de la especie

Tiempo de desarrollo embrionario y larval, bajo condiciones de laboratorio, es de 13 días.

## Hábitat

Intermareal rocoso compuesto de rocas compactas agrietadas con partículas de conchuela y arena hasta los 13m de profundidad.

## Distribución

Perú y Chile.

## Observaciones

### Nombres sinónimos

*Pattalus peruvianus* Verrill, 1868

Los polisacáridos de la piel, tienen actividades antiinflamatorias.

## CÓDIGO DE BARRAS





# *Athyonidium cf. chilensis* (Semper, 1868)

“Pepino de mar”

“Burrowing shaggy sea cucumber”



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Dendrochirotida

**Familia:** Cucumariidae

**Género:** *Athyonidium*

**Especie:** *chilensis*

## Bibliografía

Arriaga J.A. 2007. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. Tesis Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 172pp.

Deichmann E. 1941. The holothuroidea collected by the Veleró III during the years 1932 to 1938. Part I. Dendrochirotida. Allan Hancock Pac. Exped. 8(3): 61-195.

Peters-Didier J., L. Pardo, O. Garrido & C. Gallardo. 2018. Reproductive biology of the commercial sea cucumber *Athyonidium chilensis* (Holothuroidea: Dendrochirotida) in southern Chile. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 98(2): 311-323.

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 71pp.

Ruiz J.F., C.M. Ibáñez & C.W. Cáceres. 2007. Morfometría del tubo digestivo y alimentación del pepino del mar *Athyonidium chilensis* (Semper, 1868) (Echinodermata: Holothuroidea). Revista de Biología Marina y Oceanología. 42(3): 269-274.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2019-08-27. Doi: 10.14284/170..

## Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo de color grisáceo con la parte ventral pálida (especimen fijado). Presencia de pies ambulacrales y papilas. Con músculos retractores. Placa terminal de los pies ambulacrales circular con varios orificios. Piel con abundantes gránulos miliares. No se pudo contabilizar los tentáculos por estar muy contraídos o probablemente incompletos, tampoco se pudo evidenciar las rosetas en los tentáculos.



## Biología de la especie

Se alimenta de macroalgas, microalgas, invertebrados y detritus. Desove durante todo el año, con picos mayores en primavera. Madurez sexual en macho a los 21.2 g y hembras, 43.7 g, ambos pesos eviscerados.

## Hábitat

Intermareal hasta los 13m de profundidad. En pozas de mareas.

## Distribución

Perú a Punta Gaviota, Chile.

## Observaciones

### Nombres sinónimos

*Thyone (Stolus) chilensis* Semper, 1868 (combinación original); *Eucyclus chilensis* (Semper, 1868); *Eucyclus duplicatus* Lampert, 1885.

## CÓDIGO DE BARRAS



# *Neothyone panamensis* (Ludwing, 1886)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Dendrochirotida

**Familia:** Sclerodactylidae

**Género:** Neothyone

**Especie:** panamensis

## Bibliografía

Deichmann E. 1941. The holothuroidea collected by the Velero III during the years 1932 to 1938. Part I. Dendrochirota. Allan Hancock Pac. Exped. 8(3): 61-195.

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 71pp.

Ramírez P., J. De La Cruz & J. Castro. 2016. Evaluación poblacional de *Argopecten purpuratus*, *Transennella pannosa* y prospección de *Octopus mimus*. Isla lobos de tierra, 2015. Inf Inst Mar Perú. 43 (3): 298-316.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2019-08-22. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnosis de la especie

Dorso negro y vientre blanco, salvo hacia los extremos. Pies ambulacrales cilíndricos en el vientre y mayormente papiliformes en el dorso 7 tentáculos. Anillo calcáreo con cortas prolongaciones posteriores. Capa externa de la piel con oscículos en forma de canastas y la interna, con botones pequeños de cuatro huecos, fuertemente nudosos (abollonados). Pie ventral con numerosos botones lisos. Introverso con botones delicados con varias proyecciones en el lado externo.



## Biología de la especie

No determinado.

## Hábitat

Intermareal a submareal somero.

## Distribución

Panamá a islas Lobos de Afuera y Lobos de Tierra; Samanco, Perú.

## Observaciones

## Nombres sinónimos

*Thyone panamensis* (Ludwing, 1886) (combinación original).

## CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Dendrochirotida

**Familia:** Dendrochirotida

**Género:** Pentamera

**Especie:** chilensis

### Bibliografía

Arriaga J.A. 2007. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Deichmann E. 1941. The holothuroidea collected by the Velero III during the years 1932 to 1938. Part I. Dendrochirota. Allan Hancock Pac. Exped. 8(3): 61-195.

Del Castillo K.M. 2014. Variación estacional de la asociación de holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del submareal de Bahía de Navidad, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. 66pp.

Häussermann V. & G. Försterra. 2009. Marine benthic fauna of Chilean Patagonia. Santiago, Nature in Focus. 1000 p.

Olguín C., F.A. Solís & A. Laguarda-Figureas. 2015. Revisión de la familia Phylloporidae (Holothuroidea: Dendrochirotida) de las aguas mexicanas. Rev. Biol. Trop. 63(2): 77-85.

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 71pp.

Ruppert E.E., R.S. Fox & R.D. Barnes. 2004. Invertebrate Zoology. A functional evolutionary approach. 7th Ed. Brooks/Cole, Thomson Learning learning, Inc. 990 p.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species.

## *Pentamera chilensis* (Ludwig, 1887)

### Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo en forma de huso con los extremos truncados. De coloración blanquecina, con piel rugosa y delgada. Pies ambulacrales grandes, distribuidos en cinco bandas dobles, bien diferenciadas. Los osículos en forma de tabla con disco oval a cuadrado, con cuatro u ocho huecos. Las espiras tienen dos pilares con uno o dos tablillas cruzadas y unos pocos dientes cortos en la cima. Pies ambulacrales con grandes láminas terminales y numerosas placas curvadas de soporte con espiras bajas con dos pilares y unos pocos dientes planos en la cima.



### Biología de la especie

Como miembro de la clase Holothuroidea, es gonórica (de sexo separado) con una sola gónada. Fertilización externa. Larvas auricularia (plantotrófica) y luego, doliolaria (en forma de barril) para luego transformarse en pepinos juveniles

### Hábitat

Sustrato arenoso de fino a muy gruesas, de 6 a 124 m.

### Distribución

Golfo de California, México; Piura, Bahía Independencia, Perú; isla Chiloé Chile y Argentina.

### Observaciones

### Nombres sinónimos

*Cucumaria chilensis* Ludwig, 1886 (combinación original); *Cucumaria tabulifera* Perrier R., 1904.

### CÓDIGO DE BARRAS



# *Holothuria (Selenkothuria) erinacea* Semper, 1868



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Holothurida

**Familia:** Holothuridae

**Género:** *Holothuria*

**Especie:** *erinacea*

## Bibliografía

Alvarado JJ, J.L. Chacón-Monge, F. A. Solís-Marín, T. Pineda-Enríquez, A.A. Caballero-Ochoa, S. Solano & R. Romero. 2017. Rev. Biol. Trop. 65 (1): S272-S287.

Parr C.S., N. Wilson, P. Leary, K.S. Schulz, K. Lans, L. Walley, J. A. Hammock, A. Goddard, J. Rice, M. Studer, J.T.G. Holmes & R.J. Corrigan, Jr. 2014. The Encyclopedia of Life v2: Providing Global Access to Knowledge About Life on Earth. Biodiversity Data Journal 2: e1079, doi:10.3897/BDJ.2.e1079. Accessed on 2020-06-22.

Thandar A.S. 2007. Additions to the aspidochirotid, molpadid and apodid holothuroids (Echinodermata: Holothuroidea) from the east coast of southern Africa, with descriptions of new species. Zootaxa 1414: 1-62.

WoRMS. Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2020-06-22. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Especimen fijado de color marrón oscuro. Papilas distribuidas por todo el cuerpo. Nueve tentáculos peltados. Tegumento de la parte dorsal con oscículos tipo placoideos, placa terminal. Varillas de soporte espinosos y perforados en los extremos.

## Biología de la especie

Detritívoro.

## Hábitat

En pozas rocosas de marea.

## Distribución

Indo-Pacífico occidental, aún no registrado en Hawai, India Occidental, Pakistán, China y Japón.

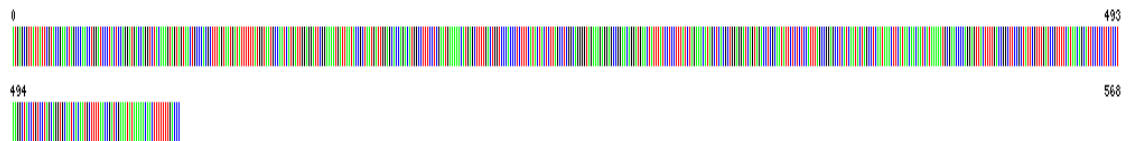
## Observaciones

## Nombres sinónimos

### Sinónimos

*Holothuria (Selenkothuria) erinaceus* var. *pygmaea* Semper, 1868, *Holothuria andersoni* Bell, 1886, *Holothuria erinaceus* Semper, 1868, *Holothuria erinaceus* var. *pygmaea* Semper, 1868, *Holothuria marenzelleri* Ludwig, 1883.

## CÓDIGO DE BARRAS



Varillas de soporte espinosos del tegumento dorsal

# *Holothuria (Thymiosycia) arenicola* Semper, 1868



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Holothurida

**Familia:** Holothuridae

**Género:** Holothuria

**Especie:** arenicola

## Bibliografía

Abdel Razek F.A., S.H. Abdel Rahman, M.H. Mona, M.M. El-Gamal & R.M. Moussa. 2007. An observation on the effect of environmental conditions on induced fission of the Mediterranean sand sea cucumber, *Holothuria arenicola* (Semper, 1868) in Egypt. SPC Beche de Mer Information Bulletin. (26): 33-34.

Caballero A.A. 2011. Zoogeografía de holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) Del Pacífico mexicano. Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 92pp.

Deichmann E. 1958. The Holothuroidea collected by the Velero III and IV during the years 1932 to 1954. Part. II Aspidochirota. Allan Hancock Pac. Exped., 11(2):253-348.

Hendler G., J.E. Miller, D.L. Pawson, & P.M. Kier. 1995. Sea Stars, sea urchins and Allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press. 390 pp.

Hooker Y., F.A. Solís-Marín & M. Llëshish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Revista Peruana de Biología. 12(1): 77-82.

WoRMS. Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2020-06-22. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Especimen fijado de color plumizo con manchas negras. Pies ambulacrales tubulares. Catorce tentáculos orales peltados. Verrugas en todo el lado dorsal del cuerpo. Osículos del tegumento de la parte dorsal en forma de discos, botones lisos de 6 agujeros, barras de soporte lisos; en el tegumento de la parte ventral, abundantes botones lisos, placa terminal en los pies y bastón tentacular.

## Biología de la especie

Presenta reproducción sexual y asexual por fisión.

## Hábitat

Desde el intermareal a 121m de profundidad. Enterrada en sustrato arenoso con partículas de conchuela debajo de rocas de derrumbe.

## Distribución

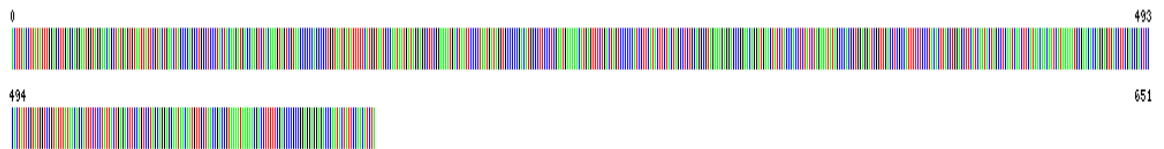
Florida (Estados Unidos), Golfo de México, Golfo de California (México) a Chile. Indo-Pacífico y en el Atlántico centro occidental.

## Observaciones

### Sinónimos

*Holothuria brandtii* Selenka, 1867, *Holothuria humilis* Selenka, 1867, *Holothuria monsuni* Heding, 1939, *Sporadipus (Acolpos) aculatus* Brandt, 1835, *Thymiosycia arenicola* Semper.

## CÓDIGO DE BARRAS



Discos y botones lisos de 6 agujeros del tegumento de la parte ventral.



## *Holothuria Linnaeus, 1767*

**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Holothurida

**Familia:** Holothuridae

**Género:** *Holothuria*

### Bibliografía

Arriaga J.A. 2007. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. Tesis Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. 172pp.

Deichmann E. 1941. The holothuroidea collected by the Velero III during the years 1932 to 1938. Part I. Dendrochirota. Allan Hancock Pac. Exped. 8(3): 61-195.

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 71pp.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2019-08-27. Doi: 10.14284/170.

### Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo marrón, piel gruesa (especimen fijado). Presencia de pies ambulacrales y papilas. Pies ambulacrales ventrales cilíndricos, dorsales papiliformes, lo que le dan una apariencia rugosa. Espícula del pie ambulacral ventral delgado con algunas proyecciones laterales. 18 tentáculos peltados. No se pudo evidenciar las espículas del tentáculo y la piel.



### Biología de la especie

No determinado

### Hábitat

Su presencia se reporta desde los 12m (*H. inhabilis*) a los 121m de profundidad (*H. arenicola*).

### Distribución

Las especies del género reportados para Perú tienen amplia distribución desde el Atlántico Occidental, de México a Perú.

### Observaciones

Para Perú se reportan 7 especies de *Holothuria*: *H. arenicola*, *H. impatiens*, *H. lubrica*, *H. imitans*, *H. inhabilis*, *H. zaca* y *H. kefersteini*, aunque con esta última especie, *Holothuria sp.* no coincide la espícula del pie ambulacral ventral.

### CÓDIGO DE BARRAS



# *Cucumaria flamma* Solís-Marín & Laguarda-Figueras, 1999



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Dendrochirotida

**Familia:** Cucumariidae

**Género:** *Cucumaria*

**Especie:** *flamma*

## Bibliografía

Hooker, Y., Solís-Marín, F. A., & Lleellish, M. (2005). Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Revista Peruana de Biología, 12(1), 77-82.

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 71pp.

Sánchez-Alonzo, D., Solís-Marín, F. y Conejeros-Vargas, C.A. 2021. Nuevos registros de la familia Cucumariidae (Holothuroidea: Dendrochirotida) en el Pacífico mexicano. Revista de Biología Tropical, 69(S1), 375-38

Solís-Marín, F. A. & Laguarda-Figueras, A. 1999. *Cucumaria flamma*, a new species of sea cucumber from the central eastern Pacific (Echinodermata: Holothuroidea). Proc. Biol. Soc. Wash., 112(4):778-786.

Solís-Marín, F., Arriaga-Ochoa, J., Laguarda-Figueras, A., Frontana-Uribe, S. y Durán-González, A. 2009. Holothuroideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. 1ra. Edición. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – Universidad Nacional Autónoma de México - CONABIO. 177 pp.

WoRMS (2022). *Cucumaria flamma* Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 1999. Consultado el: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=529159> el 19-01-2022.

## Descripción y diagnosis de la especie

Cuerpo curvado y tamaño mediano, 5 a 15 cm; boca y ano en posición terminal, dirigidos hacia arriba. Piel lisa y blanda. Pies ambulacrales grandes, blandos, contraídos, particularmente abundantes en la superficie ventral, no se distribuyen en bandas, también se presentan en los interambulacros. Un surco muy profundo y conspicuo en la superficie dorsal que se extiende desde la base de los tentáculos hasta el ano. Diez tentáculos dendríticos de base gruesa, suave, con ramificaciones abundantes de color naranja con manchas blancas. Anillo calcáreo simple, pequeño y muy sólido con proyecciones anteriores, piezas radiales e interradales casi del mismo tamaño. Una vesícula de Poli, cilíndrica y pequeña. Osículos de la piel ventral en forma de botones abollonados (110 – 150  $\mu\text{m}$ ) y abundantes placas perforadas lisas (200  $\mu\text{m}$ ). Osículos de la piel dorsal en forma de placas perforadas lisas y botones lisos con dos orificios centrales muy grandes. Introverso con osículos en forma de estrella (~340  $\mu\text{m}$ ) o placas perforadas elongadas o irregulares (200  $\mu\text{m}$ ). Osículos de los tentáculos de dos formas: barrotes perforados largos, robustos, ramificados y placas perforadas ovaladas con márgenes festoneados.

## Biología de la especie

No determinado

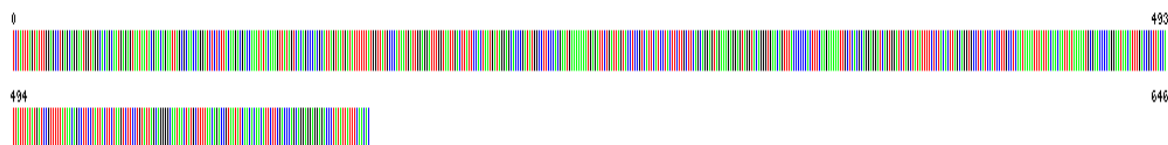
## Hábitat

Su presencia se reporta en sustrato rocoso, desde los 6 – 33 m de profundidad.

## Distribución

Costas del Pacífico mexicano, Playa La Pedregosa, Zihuatanejo, Guerrero, México. En Perú se ha registrado en Tumbes, Punta Sal, Mancora, Isla Focas y Isla Lobos de Afuera.

## CÓDIGO DE BARRAS



# *Holothuria (Cystipus) inhabilis* Selenka, 1867



**Phylum:**  
Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Holothuriida

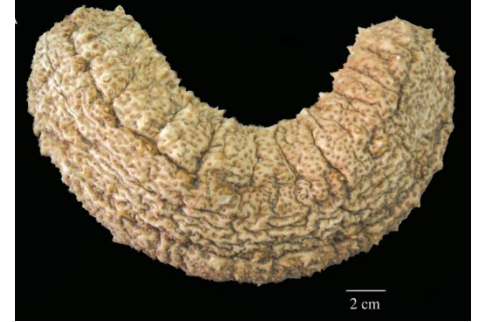
**Familia:** Holothuriidae

**Género:** Holothuria

**Especie:** inhabilis

## Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo subcilíndrico, grande, de 8 a 19 cm; superficies dorsal y ventral bien diferenciadas; el tegumento es grueso y rugoso. Pies ambulacrales ventrales numerosos y pequeños, dispuestos irregularmente; papilas dorsales pequeñas, cónicas y numerosas. Veinte tentáculos. Osículos de la capa externa de la piel en forma de tablas que presentan abollonaduras en el margen; espira corta con algunas espinas en la cúspide; en individuos mayores las tablas se reducen o son escasas; la capa interna de la pared corporal está compuesta de botones abollonados más o menos regulares con seis o siete orificios. Papilas dorsales con pequeñas placas terminales y en su mayoría barrotes. Pies dorsales con placa terminal y algunas placas de soporte. Tentáculos con barrotes cortos y espinosos, algunos de ellos con los extremos aplanados y perforados.



## Biología de la especie

No determinado

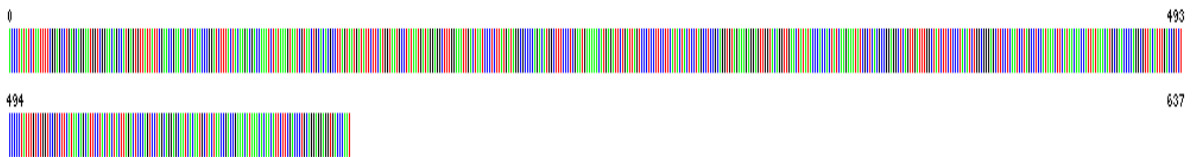
## Hábitat

Su presencia se reporta en sustrato rocoso, desde los 15 – 85 m de profundidad.

## Distribución

Hawai; Australia; Golfo de California, México; Isla del Coco, Costa Rica; Panamá e Islas Galápagos, Ecuador y Perú (Máncora y Órganos).

## CÓDIGO DE BARRAS



## Bibliografía

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 71 pp.

Solis-Marín, F., Arriaga-Ochoa, J., Laguarda-Figueroa, A., Frontana-Urbe, S. y Durán-González, A. 2009. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. Ira. Edición. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – Universidad Nacional Autónoma de México - CONABIO. 177 pp.

WoRMS (2022). *Holothuria (Cystipus) inhabilis* Selenka, 1867. Consultado el: [https://www.marinespecies.org/ap\\_hia.php?p=taxdetails&id=241825](https://www.marinespecies.org/ap_hia.php?p=taxdetails&id=241825) el 19-01-2022





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Holothuroidea

**Orden:** Sinaletactida

**Familia:** Stichopodidae

**Género:** *Isostichopus*

**Especie:** *fuscus*

### Bibliografía

Hooker, Y., Solís-Marín, F. A., & Lleellish, M. (2005). Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12(1), 77-82.

Prieto E. 2010. Taxonomía de Holothuroidea (Echinodermata) del mar del Perú. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 71pp.

Solís-Marín, F., Arriaga-Ochoa, J., Laguarda-Figueras, A., Frontana-Urbe, S. y Durán-González, A. 2009. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. 1ra. Edición. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología – Universidad Nacional Autónoma de México - CONABIO. 177 pp.

Toral-Granda, M. V., & Martínez, P.C. (2007). Biología reproductiva y estructura poblacional del pepino de mar *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875)(Holothuroidea) en Caamaño, Islas Galápagos, Ecuador. *Biología Marina*, 151(6), 2091-2098.

WoRMS (2021). *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875). Consultado el: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=529516> el 19-01-2022

## *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875)

### Descripción y diagnóstico de la especie

Forma plano-convexa, robusta, de bordes gruesos, longitud de 60 a 280 mm. Boca dirigida hacia la superficie ventral; piel muy gruesa y rígida; superficie dorsal con papilas romas dispuestas irregularmente; superficie ventral con pies ambulacrales dispuestos en bandas densas. Anillo calcáreo bajo, con radios e interradios casi del mismo tamaño, de forma rectangular. Una sola vesícula de Poli de gran tamaño. Árboles respiratorios a lo largo del cuerpo, es más largo el de la superficie ventral. Osículos en distintas modalidades: tablas de disco reducido, espira cuadrangular con pequeños dientes en el borde, placas perforadas, cuerpos con forma de “C” y barrotes en forma de horqueta. Tentáculos con barrotes curvados o en forma de horqueta. Superficie dorsal pardo, superficie ventral más clara.



### Biología de la especie

Es una especie gonocórica sin dimorfismo sexual externo.

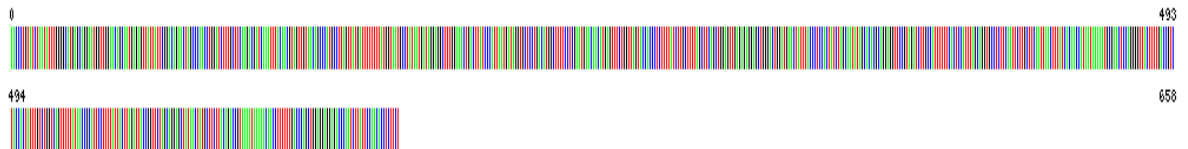
### Hábitat

Su presencia se reporta en sustrato rocoso, desde los 3 - 15 m de profundidad.

### Distribución

Golfo de California, México; Isla Socorro; El Salvador; Isla del Coco, Costa Rica; Colombia; Panamá; Islas Galápagos, Ecuador y Perú (Punta Mero, Punta Sal y Máncora)

### CÓDIGO DE BARRAS



# *Arbacia spatuligera* (Valenciennes, 1846)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Arbacioida

**Familia:** Arbaciidae

**Género:** Arbacia

**Especie:** spatuligera

## Bibliografía

Alvarado, J. J., & Solís-Marín, F. A. (2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. In Echinoderm Research and Diversity in Latin America (pp. 1-9). Springer Berlin Heidelberg.

Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52 (17):321-358.

Hooker, Yuri, Solís-Marín, Francisco A., & Llellish, Miguel. (2005). Echinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Revista Peruana de Biología, 12(1), 77-82. Recuperado en 04 de julio de 2018, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332005000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000100005&lng=es&tlng=es).

Uribe, R, Rubio J., Carbajal P. y Berrú P. 2013. Invertebrados Marinos bentónicos del Litoral de la Región Áncash, Perú. Bol Inst Mar Perú, 28 / Nos 1 y 2 / Enero - diciembre 2013.

WoRMS Editorial Board (2017). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2017-07-09. doi: 10.14284/170

## Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo globoso, pardo a marrón oscuro, achatado en la zona oral, con dos tipos de espinas, unas tubulares relativamente largas y romas, y otras gruesas, cilíndricas ubicadas en el área aboral. Las placas de la zona aboral y zonas desnudas adyacentes son finamente granuladas tomando un aspecto aterciopelado, de colores llamativos. Usualmente sin placa ocular (a veces una) en el periprocto. Ano verticalmente opuesto a la boca. Periprocto cubierto por cuatro placas de iguales proporciones.

## Biología de la especie

Detritívoros y onmívoros. En fondos blandos se les observó compartiendo hábitat con *Tagelus dombeii*, *Diopatra rhizoicola*, *Prunum curtum* y *Tonicia elegans*. En el intermareal bajo se les observó compartiendo hábitat con *Crepidatella dilatata*, y *Tegula spp.*

## Hábitat

Intermareal bajo arenoso con conchuela y rocas. Submareal arenoso con macroalgas. Profundidad: 3-15 m.

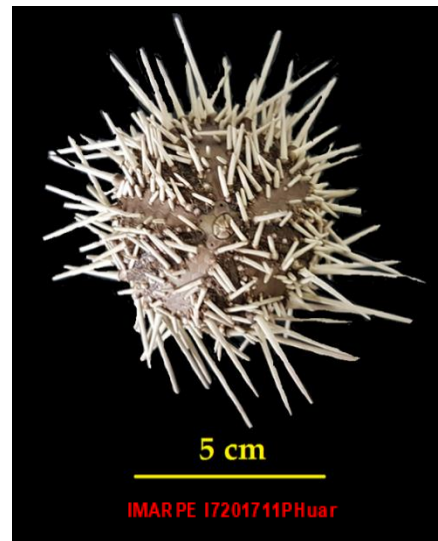
## Distribución

Puerto Huarmey, Antamina. Desde Guayaquil (Ecuador) al sur de Chile. Localidades en la Región Áncash: Isla Santa y Casma. Otras localidades en el Perú: Pacasmayo, Pucusana, Paracas, Bahía Independencia, Matarani, Ilo.

## Observaciones

De moderada frecuencia y abundancia.

## CÓDIGO DE BARRAS



Erizo

# *Arbacia stellata* (Blainville, 1825; Gmelin, 1791)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Arbacioida

**Familia:** Arbaciidae

**Género:** *Arbacia*

**Especie:** *stellata*

## Bibliografía

Brusca R. C. 1980. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. Second edition. University of Arizona Press, Tucson, USA.

Caso M.E. 1990. The species of the genus *Hesperocidaris* Mortensen, *Astropyga* Gray, *Arbacia* Gray and *lytechinus* Agassiz, collected on the cortes 1, 2, 3 oceanographic surveys on board of the O/B "El Puma" vessel. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Clark H. L. 1948. A report on the echini of the warmer eastern Pacific, based on the collections of the Vellero III. Allan Hancock Pacific Expeditions 8: 225-352.

Hooker Y., F. A. Solís-Marín & M. Llellish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Revista Peruana de Biología. 12(1): 77-82.

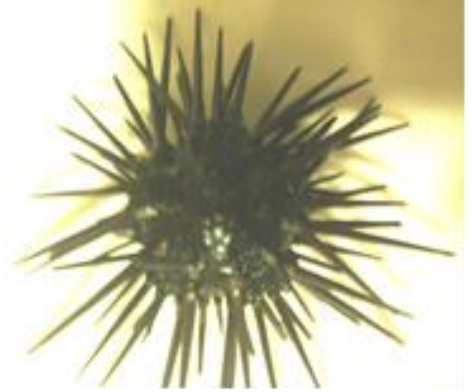
Houston R. S. 2006. Natural history guide to the northwestern Gulf of California and adjacent desert. Xlibris, Bloomington, Indiana, USA

Mortensen T. 1935. A monograph of the Echinoidea, Vol. II. C. A. Reitzel, Copenhagen, Denmark.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-19. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Caparazón orbicular algo arqueado y ligeramente deprimido ventralmente. Los especímenes vivos presentan coloración violeta grisáceo, mientras que los fijados grisáceos o pardo rojizos. Espinas cilíndricas afiladas, menores que el diámetro del caparazón, con extremos libres acanalados, pulidos y cortados a bisel. Aparato apical situado sobre una estrella roja oscura. Arcos interambulacrales desnudos, con granulaciones finas y manchas rojizas angulares a lo largo de la línea media ambulacral. Área anal ovalada con cuatro placas prominentes.



## Biología de la especie

Fecundación en verano.

## Hábitat

Intermareal rocoso, pozas de marea, paredes verticales de acantilados submarinos y arrecifes rocosos, en aguas poco profundas; en hábitat de *Macrocytis pyrifera*.

## Distribución

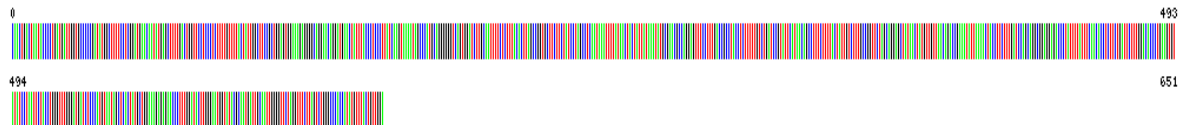
Golfo de California a Perú e islas Galápagos.

## Observaciones

## Nombres sinónimos

*Arbacia incisa* (A. Agassiz, 1863), *Echinocidaris* (*Agarites*) *stellatus* (Blainville, 1825; Gmelin, 1791), *Echinocidaris incisa* A. Agassiz, 1863, *Echinocidaris longispina* Lütken, 1864, *Echinocidaris stellatus* (Blainville, 1825; Gmelin, 1791), *Echinus stellatus* Gmelin, 1791.

## CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Arbacioida

**Familia:** Arbaciidae

**Género:** Tetrapigus

**Especie:** niger

### Bibliografía

Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52 (17):321-358.

Mabin, Clova A., Wilson, John R.U. and Robinson Tamara B. 2015. The Chilean black urchin, *Tetrapigus niger* (Molina, 1782) in South Africa: gone but not forgotten. BioInvasions Records Volume 4, Issue 4: 261-264

WoRMS Editorial Board (2017). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2017-07-09. doi: 10.14284/170

# *Tetrapigus niger* (Molina, 1782)

“erizo negro”

## Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo globoso, violeta intenso a negro, aplanado en la zona oral. Espinas cortas y relativamente gruesas hacia la zona oral, con numerosas espinas secundarias. Cuatro placas anales triangulares que se cierran herméticamente. Ano verticalmente opuesto a la boca, la cual se encuentra en el centro, con presencia de fuertes dientes. Periprocto cubierto por cuatro placas de igual tamaño.

## Biología de la especie

Herbívoros. Su principal depredador es *H. helianthus*. En bosques de macroalgas se alimentan de sus esporas adheridas a las rocas.

## Hábitat

Intermareal rocoso y submareal rocoso en bosques de macroalgas, entre 0 – 12 metros de profundidad.

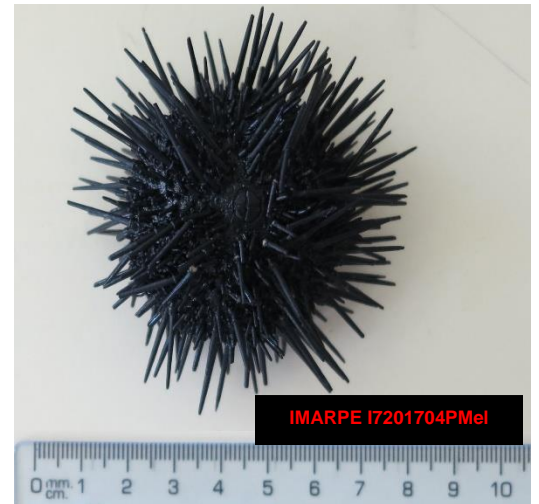
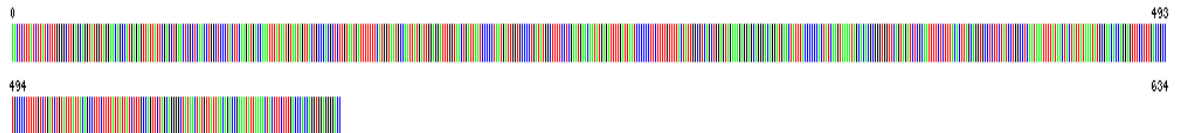
## Distribución

Playa Melchorita, en sustrato duro a 0 m de profundidad. Paita, Bahías Ferrol y Samanco, Los Chimus, Casma y Huarmey, Pacasmayo, Pucusana, Paracas, Bahía Independencia, Matarani, Ilo (Perú) al Estrecho de Magallanes (Chile).

## Observaciones

Son los equinodermos más conspicuos en la zona. De alta frecuencia y alta abundancia.

## CÓDIGO DE BARRAS



# *Caenocentrotus gibbosus* (L. Agassiz in L. Agassiz & Desor, 1846)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Camarodonta

**Familia:** Echinometridae

**Género:** Caenocentrotus

**Especie:** gibbosus

## Bibliografía

Alvarado, J. J., & Solís-Marín, F. A. (2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. In *Echinoderm Research and Diversity in Latin America* (pp. 1-9). Springer Berlin Heidelberg.

Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University*. 52 (17):321-358.

Hooker, Yuri, Solís-Marín, Francisco A., & Llellish, Miguel. (2005). Echinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). *Revista Peruana de Biología*, 12(1), 77-82. Recuperado en 04 de julio de 2018, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332005000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332005000100005&lng=es&tlng=es)

Uribe, R, Rubio J., Carbajal P. y Berrú P. 2013. Invertebrados Marinos bentónicos del Litoral de la Región Áncash, Perú. *Bol Inst Mar Perú*, 28 / Nos 1 y 2 / Enero - Diciembre 2013.

WoRMS Editorial Board (2017). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2017-07-09. doi: 10.14284/170

## Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo globoso, rojo oscuro. Espinas largas, pardas y con puntas rojizas relativamente gruesas y puntiagudas, hacia la zona oral con numerosas espinas secundarias. Ambulacros con cuatros (a veces mas) pares de poros en cada arco. Ano verticalmente opuesto a la boca, la cual se encuentra en el centro, con presencia de fuertes dientes. Periprocto cubierto por muchas placas de desigual tamaño. Placas oculares en contacto con el Periprocto.

## Biología de la especie

Herbívoros. Es común encontrar a pequeños crustáceos como comensales de esta especie. Se les observó compartiendo hábitat con otros erizos como *A. spatuligera* y *T. niger* en zonas someras.

## Hábitat

Submareal rocoso, entre 2 – 12 metros de profundidad.

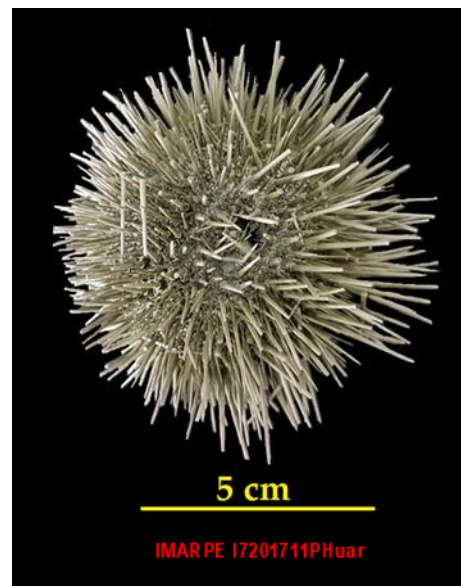
## Distribución

Puerto Huarney, Pacayal. Desde Panamá hasta el sur de Chile e Islas Galápagos (Ecuador). Localidades en la Región Áncash: Bahías Samanco y Tortugas. Otras localidades en el Perú: Bahía Independencia.

## Observaciones

De baja frecuencia y alta abundancia.

## CÓDIGO DE BARRAS



Erizo de espinas largas

# *Echinometra cf. vanbrunti* A. Agassiz, 1863



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Camarodonta

**Familia:** Echinometridae

**Género:** Echinometra

**Especie:** vanbrunti

## Bibliografía

Bronstein O. & Y. Loya. 2013. The Taxonomy and Phylogeny of Echinometra (Camarodonta: Echinometridae) from the Red Sea and Western Indian Ocean. PLoS ONE 8 (10), e77374: 1-13.

Calva L.G. 2003. Hábitos Alimenticios de Algunos Equinodermos. Parte 2. ContactoS. 47: 54-63.

Clark H.L. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52(17): 321-358.

Galarza D.C. 2014. Modularidad y heterocronía en dos eventos del desarrollo embrionario de dos especies de erizos de mar (Familia: Echinometridae) con desarrollo planctotrófico y diferente tamaño de huevo. Tesis Licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador. 99pp.

Lee T. & Shin S. 2012. New Record of a Sea Urchin *Echinometra mathaei* (Echinoidea: Camarodonta: Echinometridae) from Jeju Island, Korea and Its Molecular Analysis. Anim. Syst. Evol. Divers. 28 (3): 178-184.

Lessios H.A. 1981. Reproductive periodicity of the Echinoids *Diadema* and *Echinometra* on the two Coasts of Panama. J. Exp Mar Biol Ecol 50: 47-61.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo discoidal (más largo que ancho) de color violáceo en el hemisferio aboral (superior) y verdoso en el hemisferio oral, con algunas espinas con puntas violetas. Ano verticalmente opuesto a la boca. Espinas primarias grandes y gruesas, de longitud mayor al diámetro de la testa (caparazón), espinas secundarias, más delgadas y pequeñas ambos tipos truncos con líneas longitudinales en toda su extensión y de aspecto granuloso. Sistema apical (placas alrededor del periprocto) monocíclico. Periprocto cubierto por algunas pequeñas placas desiguales. Espículas sigma (en forma de hoz) en los pies ambulacrales. 2 filas de poros ambulacrales en forma ondulante, distribuidos en 5 pares de poros en un arco. Ejemplar sin peristoma (tejido que rodea a la boca)

## Biología de la especie

Se reproduce varias veces al año. Importante en el proceso de bioerosión el sustrato por su actividad alimenticia, al alimentarse de organismos incrustantes, particularmente de esponjas, macroalgas y masas calcáreas. En Panamá se reportó temporada de desove de setiembre a noviembre.

## Hábitat

Intermareal.

## Distribución

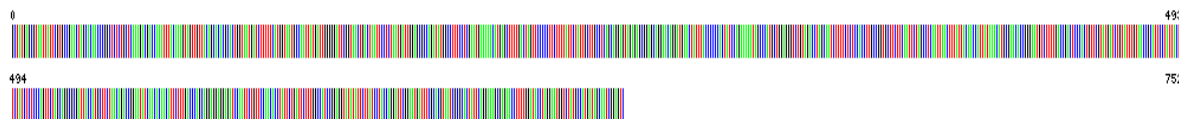
México al centro sur de Chile.

## Observaciones

### Nombres sinónimos

*Echinometra macrostoma* (Lütken, 1864); *Echinometra rupicola* A. Agassiz, 1863; *Echinometra van brunti* A. Agassiz, 1863; *Ellipsechinus macrostomus* Lütken, 1864; *Heliocidaris stenopora* H.L. Clark, 1912; *Toxicidaris stenopora* (H.L. Clark, 1912).

## CÓDIGO DE BARRAS



“Erizo negro”

“Sea Urchin”



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Camarodonta

**Familia:** Parechinidae

**Género:** Loxechinus

**Especie:** albus

### Bibliografía

Ayerbe R, S. Zeballos, V. Castañeda, F. Lope, H. Bendita, Y. Vizcarra & L. Sanz. 2018. Manual: Commercial sea urchin *Loxechinus albus* cultivation in Moquegua region. Inf Inst Mar Peru. 45(2): 210-241.

Contreras S. & J.C. Castilla. 1987. Feeding behavior and morphological adaptations in two sympatric sea urchin species in central Chile. Marine Ecology Progress Series. 38: 217-224.

Larraín A. 1975. Los equinoideos regulares fósiles y recientes de Chile. Gayana (Zool.)

Moreno C.A & C. Molinet. 2013. El paradigma de la distribución batimétrica de *Loxechinus albus* (Molina) en Chile. Revista Chilena de Historia Natural 86: 225-227.

Yamashiro C., C. Benites, J. Zeballos & R. Tafur. 1996. Algunos aspectos biológicos – pesqueros del recurso erizo *Loxechinus albus* (Molina, 1782). Instituto del Mar del Perú. Informe Progresivo N° 38.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2019-05-22. Doi: 10.14284/170.

# *Loxechinus albus* (Molina, 1782)

“Erizo verde”

## Descripción y diagnóstico de la especie

Esqueleto rígido (testa) hemisférico. Simetría pentaradial. 6-11 placas ambulacrales, cada una con un tubérculo primario. Numerosas placas periproctales (alrededor del ano) grandes. Ano central. Espinas primarias cortas en adultos, cónicas; espinas secundarias muy numerosas. Pedicelarios globíferos con un cuello entre el vástago y la cabeza, con válvulas grandes.

## Biología de la especie

Especie sedentaria, de conducta gregaria. Su dieta consiste básicamente de las algas *Lessonia*, *Macrocystis*, *Ulva*, *Polysiphonia*. Especie dioica, sin dimorfismo sexual. Primera madurez sexual con 40 a 50 mm de diámetro de la testa. Ciclo e vida, determinado en laboratorio, de 37 días.

## Hábitat

Intermareal hasta los 340 m de profundidad, sobre fondos duros cubiertos de algas.

## Distribución

Isla Lobos de Afuera, Perú a las islas del extremo sur austral de Chile (57°58'00"S).

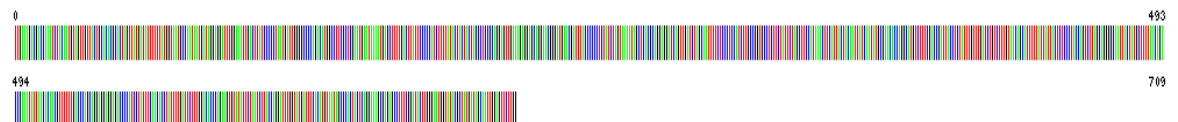
## Observaciones

## Nombres sinónimos

*Echinus albus* Molina, 1782; *Echinus porosus* Valenciennes, 1846; *Heliocidaris alba* (Molina, 1782); *Heliocidaris antarctica* Philippi, 1892; *Loxechinus bullatus* (Bell, 1881); *Strongylocentrotus albus* (Molina, 1782); *Strongylocentrotus bullatus* Bell, 1881; *Toxocidaris bullata* (Bell, 1881).  
Especie de importancia comercial.



## CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Clypeasteroidea

**Familia:** Mellitidae

**Género:** Mellitella

**Especie:** stokesii

### Bibliografía

Agassiz L. 1841. Monographies d'Echinodermes vivans et fossiles. Échinites. Famille des Clypéasteroïdes. 2 (Seconde Monographie). Des Scutelles. Neuchâtel, Switzerland. I-IV: 1-151.

Dexter D.M. 1977. A natural history of the sand dollar *Encope stokesii* L. Agassiz in Panama. Bull. Mar. Sci. 27: 544-551.

Mortensen T. 1948. A Monograph of the Echinoidea, Vol. IV, Part 2. Clypeastroïda, Clypeastroïdae, Arachnoïdae, Fibularidae, Laganidae,

and Scutellidae. C. A. Reitzel, Copenhagen. 471 pp.

Reese E. S. 1966. The complex behavior of echinoderms. In R. A. Booloottian ed. Physiology of Echinodermata. Interscience, New York. Pp. 157-218.

Smith A.B & J. Ghiold. 1982. Roles for holes in sand dollars (Echinoidea): a review of lunule function and evolution. Paleobiology. 8(3): 242-253.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-22. Doi: 10.14284/170.

## *Mellitella stokesii* (L. Agassiz, 1841)

“Dólar de mar”

### Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo comprimido dorsoventralmente con la base plana. Borde moderadamente delgado y redondeado. Con 5 lúnulas (agujeros que penetran la testa) bien marcadas y una lúnula anal de margen pequeño y casi posterior. Pétalos débilmente arqueados y distalmente convergentes. Ranuras para alimentarse que se bifurcan. Superficie cubierta con suaves espinas que dan la apariencia de vellos.

### Biología de la especie

Reclutamiento de individuos se produce todo el año. *E. stokesii*. presenta un rápido ascenso hacia la superficie justo antes de la marea baja, migración asociada a su alimentación, momento donde se evidencia una fina película orgánica compuesta por una combinación de diatomeas y detritus. *Dissodactylus nitidis* y *D. Xantusi* viven en asociación con *E. Stokesii*.

### Hábitat

Intermareal a 500m de profundidad, con mayor abundancia hasta los 110m. En sustrato arenoso, fangoso, en manglares, enterrado justo debajo de la superficie, esta actividad puede ocurrir en individuos de profundidad, aunque no es usual.

### Distribución

Punta Arena, México a Tumbes, Perú e islas Galápagos, Ecuador.

### Observaciones

#### Nombres sinónimos

*Encope stokesii* L. Agassiz, 1841 (combinación original).

### CÓDIGO DE BARRAS





# *Eucidaris thouarsii* (L. Agassiz & Desor, 1846)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Orden:** Cidaroida

**Familia:** Cidaridae

**Género:** Eucidaris

**Especie:** thouarsii

## Bibliografía

Bertsch H. & L. E. Aguilar-Rosas. 2016. Invertebrados Marinos del Noroeste de México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas,

Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada. 423 pp. En Jangoux M. & J.M. Lawrence (eds.). Echinoderm Studies. Volume 3.

Glynn P.W., G.M. Wellington & C. Birkeland. 1978. Coral reef growth in the Galapagos: limitation by sea urchins. Science. 203: 47-49.

Hernández-Almaraz P. L. Méndez-Rodríguez, T. Zenteno-Savín, T.M. O'Hara, J.R. Harle & E. Serviere-Zaragoza. 2016. Concentrations of trace elements in sea urchins and macroalgae commonly present in Sargassum beds: implications for trophic transfer. Ecological Research 31: 785-798.

Hooker Y., F. A. Solís-Marín & M. Llellish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Revista Peruana de Biología. 12(1): 77-82.

Reyes-Bonilla H. 1995. Asteroidea and Echinoidea (Echinodermata) of Isla San Benedicto, Revillagigedo Archipiélago, México. Rev. Inv. Cient. Ser. Cienc. Mar. UABCS. 6: 29-38.

Encyclopedia of Life. <http://eol.org/pages/600977/overview>. Accessed on 2018-10-19.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-19. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Mide entre 32-70 mm de diámetro de testa con pocas y grandes placas interambulacrales y pequeñas y numerosas placas ambulacrales. Las placas superiores forman un patrón regular pentarradial. 10 hileras verticales de 5-8 espinas gruesas de hasta 16 cm de largo, cada una rodeada de dos anillos de cortas espinas aplanadas fuertes y conspicuas. Las gruesas espinas de estos erizos comúnmente presentan organismos incrustantes, como esponjas, gusanos tubícolas, briozoarios, etc.

## Biología de la especie

Herbívoro, omnívoro determinado mediante el análisis de isótopos estables. Organismo bioerosionador que ayuda al balance de carbonatos en los ecosistemas. Afecta el reclutamiento y sobrevivencia de corales juveniles.

## Hábitat

Rocoso y submareal rocoso hasta los 140m con mayor abundancia hasta los 20m; bajo las rocas, en las grietas, entre *Pocillopra spp.*, corales.

## Distribución

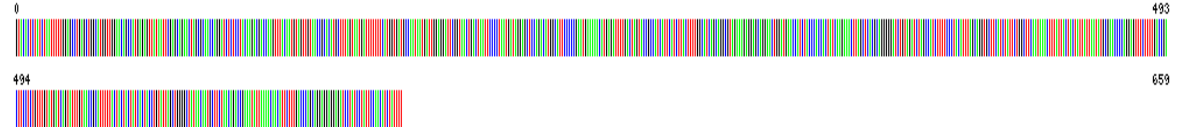
Golfo de Panamá a Isla Lobos de Afuera e islas del Coco y Galápagos.

## Observaciones

### Nombres sinónimos

*Cidaris* (*Eucidaris*) *thouarsii* (L. Agassiz & Desor, 1846); *Cidaris* (*Gymnocidaris*) *thouarsii* (L. Agassiz & Desor, 1846); *Cidaris callao* Perrier, 1869; *Cidaris danae* L. Agassiz in L. Agassiz & Desor, 1846; *Cidaris thouarsii* L. Agassiz & Desor, 1846; *Eucidarus thouarsii* (L. Agassiz Desor, 1846) (misspelling of parent genus); *Leiocidaris danae* (L. Agassiz in L. Agassiz & Desor, 1846); *Leiocidaris thouarsii* (L. Agassiz & Desor, 1846).

## CÓDIGO DE BARRAS



# *Amphipholis cf. januarii* Ljungman, 1866



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Amphilepidida

**Familia:** Amphiuroidae

**Género:** Amphipholis

**Especie:** januarii

## Bibliografía

Hendler G., J.E. Miller, D.L. Pawson & P.M. Kier. 1995. Sea Stars, Sea Urchins, and Allies - Echinoderms of Florida and the Caribbean. Washington D. C. 390pp. Smithsonian Institution Press.

Hernández-Herrejón L.A., F.A. Solís-Marín & A. Laguarda-Figueras. 2008. Ophiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) de las aguas mexicanas del golfo de México. Rev. Biol. Trop. 56 (Suppl. 3): 83-167.

Lima M.L.F., M.D. Correia, H.H. Sovierzoski & C.I.C. Manso. 2011. New records of Ophiuroidea (Echinodermata) from shallow waters off Maceió, State of Alagoas, Brazil. Marine Biodiversity Recordsdoi. 4: 1-10.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-20. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

En promedio el disco mide 4mm, de forma redonda, con puntos negros, e incluyendo los brazos alcanzan los 40-50mm de longitud total. Brazos con un ancho aprox. de 1mm, con 3 a 4 espinas dentadas por cada segmento y bandas incompletas de color gris oscuro. Escamas pequeñas y del mismo tamaño con papilas orales operculares, escudos orales pentagonales casi ovalados. El arreglo de las escamas del lado oral se proyecta al lado aboral.

## Biología de la especie

Reproducción partenogenética.

## Hábitat

Intermareal a sublitoral hasta los 55m. En lecho de algas marinas, en colonia de briozoos, en grietas de las rocas, en grava, en corales, conchuela, sustaro fangoso y arenoso.

## Distribución

Carolina del Sur, EE. UU; el Caribe, Brasil.

## Observaciones

## Nombres sinónimos

*Amphipholis pachyactra* H.L. Clark, 1918.

## CÓDIGO DE BARRAS



# *Amphiodia planispina* (v. Martens, 1867)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Amphilepidida

**Familia:** Amphiuroidae

**Género:** Amphiodia

**Especie:** planispina

## Bibliografía

Calva L.G. 2002. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 1. Estrellas de mar y estrellas serpiente. ContactoS. 46: 59-68.

dos Santos R.A., M. de Lima. M. Di Domenico & M. Borges. 2016. Annotated checklist of Echinoderms from Araçá Bay, Southeastern Brazil. Check List 12(1): 1836.

Gondim A.I., C. Alonso, T.L.P. Dias, C.L.C. Manso & M.L. Christoffersen. 2013. A taxonomic guide to the brittle-stars (Echinodermata, Ophiuroidea) from the State of Paraíba continental shelf, Northeastern Brazil. ZooKeys. 307: 45-96.

Hernández-Herrejón L.A., F.A. Solís-Marín & A. Laguarda-Figueroa. 2008. Ophiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) de las aguas mexicanas del golfo de México. Rev. Biol. Trop. 56 (3): 83-167.

WoRMS. Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2020-06-15. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Especie frágil de brazos largos. Disco sin espinas, incluido el borde, y cubierto de pequeñas escamas imbricadas, las primarias (centrales) no son evidentes. Escudos radiales ligeramente separados, unidos en su extremo distal. 3 pares de papilas orales, continuas en cada mandíbula, la distal no es de forma opercular. 3 pares de espinas aplanadas base y de punta roma en cada segmento del brazo. 2 escamas tentaculares.

## Biología de la especie

Representantes de la familia son micrófagos, se alimentan de pequeñas partúclas del sustrato o las que se encuentran suspendidas en el agua, con ayuda de la segregación de mucus a través de glándulas ubicadas en las espinas y en los podios.

## Hábitat

Desde los 0 a 300m de profundidad. En sustrato arenoso, fangoso, grava y asociado a algas.

## Distribución

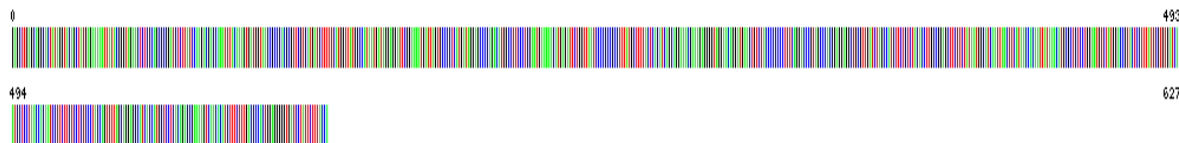
Islas del sur de Florida, Los Antilles, Panamá, Brasil y Mar del Plata, Argentina.

## Observaciones

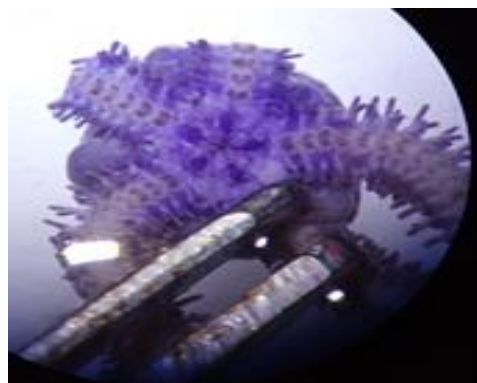
## Nombres sinónimos

*Amphiura planispina* v. Martens, 1867 (combinación original); *Diamphiodia planispina* (v. Martens, 1867).

## CÓDIGO DE BARRAS



Lado aboral



Lado oral



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Amphilepida

**Familia:** Amphiuridae

### Bibliografía

Buchanan J.B. 1964. A comparative study of some features of the biology of *Amphiura filiformis* and *Amphiura chiajei* (Ophiuroidea) considered in relation to their distribution. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 44: 565-576.

Gondim A.I., C. Alonso, T.L.P. Dias, C.L.C. Manso & M.L. Christoffersen. 2013. A taxonomic guide to the brittle-stars (Echinodermata, Ophiuroidea) from the State of Paraíba continental shelf, Northeastern Brazil. *ZooKeys*. 307: 45-96.

Hendler G. 1996. Taxonomic Atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Class Ophiuroidea. Santa Barbara Museum Natural History. Santa Barbara, California. 14: 113-179.

Stöhr S., T.D. O'Hara & B. Thuy. 2012. Global Diversity of Brittle Stars (Echinodermata: Ophiuroidea). *PLoS ONE* 7(3): e31940. Doi:10.1371/journal.pone.0031940.

Tortonese E. 1965. Echinodermata. Fauna d'Italia. Calderini. Bologna.

WoRMS. Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2020-06-20. Doi: 10.14284/170.

## *Amphiuridae* Ljungman, 1867

### Descripción y diagnóstico de la especie

Lado aboral con la piel desgarrada por lo que no se evidencian las escamas. Placa braquial (escama del brazo) superior de forma elongada y de la parte inferior, cuadrangular. Dos escamas tentaculares. Tres espinas en cada extremo del brazo. Dos pares de papilas orales. Un par de papilas infradentales

### Biología de la especie

Las especies de la familia Amphiuridae pueden ser suspensívoras o coleccionar partículas alimenticias de la capa de sedimento superficial. Algunas especies como *Amphipholis squamata* presentan hermafroditismo, viviparidad y luminiscencia.

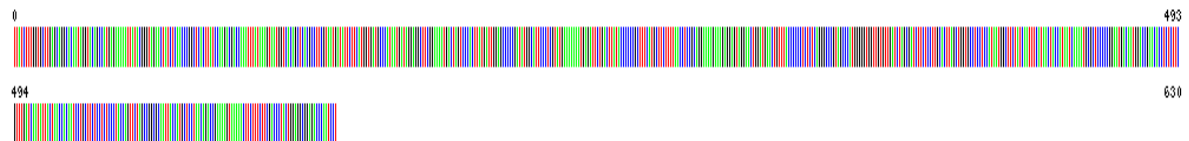
### Hábitat

Algunas especies de la familia habitan en sustratos blandos con adaptaciones para vivir en madrigueras y otras, son epizoicas de corales blandos y esponjas, incluso de erizos de mar, crinoideos, medusas, entre otros.

### Distribución

Amplia distribución y al no tener la especie no se podría especificar la distribución.

### CÓDIGO DE BARRAS



Lado aboral



Lado oral



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Amphilepida

**Familia:** Amphiuridae

### Bibliografía

Buchanan J.B. 1964. A comparative study of some features of the biology of *Amphiura filiformis* and *Amphiura chiajei* (Ophiuroidea) considered in relation to their distribution. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 44: 565-576.

Gondim A.L., C. Alonso, T.L.P. Dias, C.L.C. Manso & M.L. Christoffersen. 2013. A taxonomic guide to the brittle-stars (Echinodermata, Ophiuroidea) from the State of Paraíba continental shelf, Northeastern Brazil. *ZooKeys*. 307: 45-96.

Hendler G. 1996. Taxonomic Atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Class Ophiuroidea. Santa Barbara Museum Natural History. Santa Barbara, California. 14: 113-179.

Stöhr S., T.D. O'Hara & B. Thuy. 2012. Global Diversity of Brittle Stars (Echinodermata: Ophiuroidea). *PLoS ONE* 7(3): e31940. Doi:10.1371/journal.pone.0031940.

Tortonese E. 1965. Echinodermata. Fauna d'Italia. Calderini. Bologna.

WoRMS. Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2020-06-20. Doi: 10.14284/170.

Hernández-Herrejón, L. A., Solís-Marín, F. A., & Laguarda-Figueras, A. (2008). Ophiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) de las aguas mexicanas del golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 83-167.

## *Amphiuridae* Ljungman, 1867

### Descripción y diagnóstico de la especie

Presencia de tres pares de papilas orales en cada mandíbula. Cuatro o más papilas orales en cada mandíbula. Disco con presencia de espinas.

### Biología de la especie

Las especies de la familia Amphiuridae pueden ser suspensívoras o coleccionar partículas alimenticias de la capa de sedimento superficial. Algunas especies como *Amphipholis squamata* presentan hermafroditismo, viviparidad y luminiscencia.

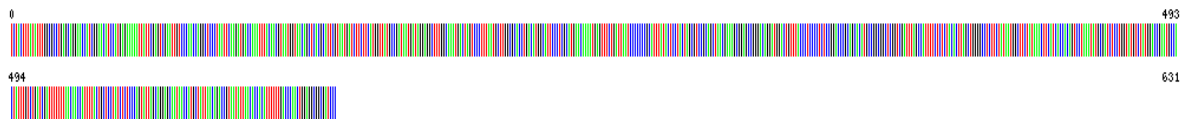
### Hábitat

Algunas especies de la familia habitan en sustratos blandos con adaptaciones para vivir en madrigueras y otras, son epizoicas de corales blandos y esponjas, incluso de erizos de mar, crinoideos, medusas, entre otros.

### Distribución

Amplia distribución y al no tener la especie no se podría especificar la distribución.

### CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Ophiurida

**Familia:** Ophiactidae

**Género:** Ophiactis

**Especie:** kroeyeri

### Bibliografía

Alvarado, J. J., & Solís-Marín, F. A. (2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. In Echinoderm Research and Diversity in Latin America (pp. 1-9). Springer Berlin Heidelberg.

Lütken, C. F. (1856). Bidrag til kundskab Om Slangstjerne. II. Oversigt over de vestindiske Ophiurer. Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistorisk Forening i Kjøbenhavn 1856. 7, 1-19.

WoRMS Editorial Board (2017). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2017-07-09. doi: 10.14284/170

Castillo Alarcón Jorge G. 1968. Contribución al conocimiento de los Ofiuroideos Chilenos. Revista Gayana Instituto Central de Biología – Zoología 1968 N° 14, pág. 367, Universidad de Concepción – Chile.

## *Ophiactis kroeyeri* (Lütken, 1856)

“estrella serpenteante marina”

### Descripción y diagnóstico de la especie

Disco circular, robusto y cubierto de escamas imbricadas. Una papila infradental y dos a cuatro papilas orales laterales en cada mandíbula. Espinas braquiales sólidas, fuertes y lisas. Las placas adórales son pequeñas, rectangulares y ampliamente separadas. Las placas orales son gruesas con una protuberancia en su parte proximal. La papila infradental tiene forma de bloque. Las papilas orales laterales, una en cada placa oral, son escamiformes y bien separadas de la papila infradental. Los brazos son cortos y gruesos, aunque bastante frágiles. Las placas braquiales dorsales son cortas, gruesas, contiguas y ovaladas. Las placas braquiales ventrales son tan largas como anchas y hexagonales con los lados algo convexos. Las placas braquiales laterales son gruesas. Las aberturas bursales son pequeñas.



### Biología de la especie

Se encuentra dentro de las colonias de mejillones intermareales, debajo de las rocas con acumulaciones de detritus, dentro de los canales de exhalación de esponjas grandes, y principalmente a profundidades mayores a 60 m porque la disminución de oxígeno reduce su abundancia.

### Hábitat

*Ophiactis kroeyeri*, es una especie que habita una gran diversidad de hábitats y profundidades en alta concentraciones.

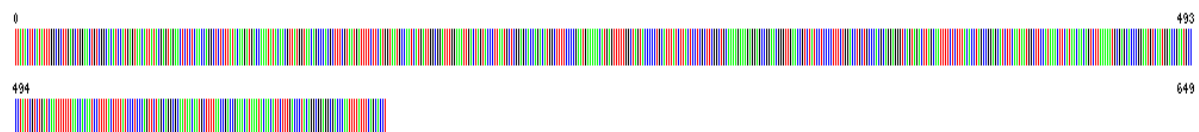
### Distribución

Playa Melchorita a 5 m de profundidad. Costa de América Central (El Salvador) y el sur de Chile.

### Observaciones

Se requieren grandes cantidades de materia orgánica para sustentar sus vastas agregaciones.

### CÓDIGO DE BARRAS



# *Ophiothrix (Ophiothrix) spiculata* Le Conte, 1851



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Amphilepidida

**Familia:** Ophiotrichidae

**Género:** Ophiothrix

**Especie:** spiculata

## Bibliografía

Alvarado J.J., F.A. Solís-Marín & C.G. Ahearn CG. 2010. Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America. *Marine Biodiversity*, 40: 45-56.

Booolootian R.A. & D. Leighton. A key to the species of Ophiuroidea (brittle stars) of the Santa Monica bay and adjacent areas. *Contributions in Science*, (93): 1-22.

Clark H.L. 1911. North Pacific Ophiurans in the Collection of the United States National Museum. *Smithsonian Institution United States National Museum Bulletin* 75: 1-302.

Granja-Fernández R., M.D. Herrero-Pérezrul, R. A. López-Pérez, L. Hernández, F. A. Rodríguez-Zaragoza, R.W. Jones & R. Pineda-López. 2014. Ophiuroidea (Echinodermata) from coral reefs in the Mexican Pacific. *ZooKeys* 406: 101-145.

Hooker Y., F. A. Solís-Marín & M. Llellish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). *Rev. peru. biol.* 12(1): 77-82.

Neira R. & Cantera J.R. 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico Colombiano. *Revista de Biología Tropical* 53(3): 195-206.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-22. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Disco con proyección interr radial y cubierto con espinas o espínulas. Placa radial con una fila de espínulas. Lado ventral del disco con pequeñas espinas y placas adheridas espaciadamente. Brazos con 7 a 8 espinas serradas, hialinas y quebradizas. El lado dorsal puede presentar diferentes colores (azul, púrpura, amarillo, naranja, marrón). El ejemplar estudiado tiene coloración gris con puntos rojos en el disco. Madreporito notorio. Papila oral ausente. Un grupo de papilas dentales en el ápex de la mandíbula. Placas dorsales del brazo pentagonales con borde redondeado, mientras que las placas ventrales son más amplias que largas en el borde distal.

## Biología de la especie

Forma agregaciones masivas como protección contra depredadores, capacidad de alimentación y maximizar la fertilización durante el desove.

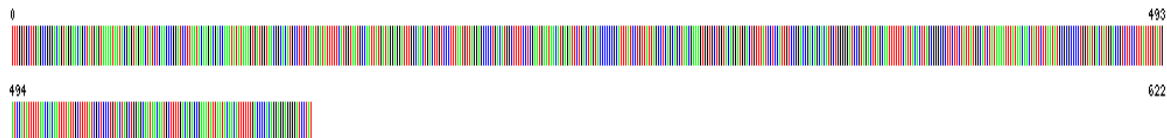
## Hábitat

Intermareal a 2059m. En corales pétreos vivos, muertos, en rocas, asociado a algas, rodolitos y en esponjas y en rizoides de *Macrocystis*.

## Distribución

Bering Sea, USA a Chile e islas Galápagos.

## CÓDIGO DE BARRAS



# *Ophioderma peruana* (Pinea-Enriquez, Solis-Marin, Hooker & Laguarda-Figueras, 2013)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Ophiacanthida

**Familia:** Ophiodermatidae

**Género:** Ophioderma

**Especie:** peruana

## Bibliografía

Fenaux L. 1969. Le développement larvaire chez *Ophioderma longicauda* (Retzius). Cahier de Biologie Marine. 10: 59-62.

Tania Pineda-Enríquez T., F.A. Solís-Marín, Y. Hooker & A. Laguarda-Figueras. 2013. *Ophioderma peruana*, a new species of brittlestar

(Echinodermata, Ophiuroidea, Ophiodermatidae) from the Peruvian coast. ZooKeys 357: 53-65.

Warner G. 1982. Food and feeding mechanisms: Ophiuroidea. In Jangoux & Lawrence (eds). Echinoderm Nutrition. Balkema, Rotterdam. Pp.: 161-181.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-22. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Disco pentagonal, elevado y cubierto de placas pequeñas redondeadas. Placas radiales con una pequeña porción descubierta. Placas dorsales de los brazos, frangmentados con puntos blanquecinos y la zona ventral con placas tentaculares. Nueve o diez papilas orales elongadas y aplanadas. Diez espinas del brazo, la ventral es la más grande. Área oral de apariencia rugosa. Placas orales triangulares.

## Biología de la especie

Los representantes de la familia son carnívoros, carroñeros y depredadores. Para las especies del género, tiene dentro de su ciclo vital a una larva pelágica vitelaria.

## Hábitat

Intermareal y submareal, de 9 a 14m. Bajo las rocas.

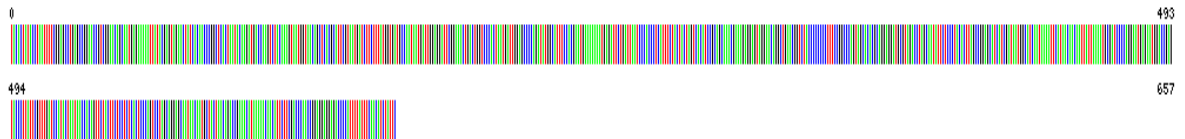
## Distribución

Isla Lobos de Afuera (localidad tupi; Quebrada Verde, El Ñuro, Punta Sal, Perú).

## Observaciones

*O. peruana* es similar a *O. panamensis* y *O. teres* que se encuentran en el mismo hábitat, pero difieren en la forma y tamaño de las placas tentaculares. *O. teres* es más pequeño y los gránulos del disco son más densos.

## CÓDIGO DE BARRAS







# *Ophiocomella alexandri* (Lyman, 1860)

**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Ophiacanthida

**Familia:** Ophiocomidae

**Género:** Ophiocomella

**Especie:** alexandri

## Bibliografía

Alvarado J.J., Solís-Marín & F.A. Ahearn C.G. 2010. Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America. *Marine Biodiversity*, 40: 45-56.

Benítez-Villalobos F., C. Aguilar-Duarte & O.H. Ávila-Poveda. 2012. Reproductive biology of *Ophiocoma aethiops* and *O. alexandri* (Echinodermata: Ophiuroidea) from Estacahuite Bay, Oaxaca, Mexico. *Aquatic Biology*, 17: 119-128.

Granja-Fernández R., M.D. Herrero-Pérezrul, R.A. López-Pérez, L. Hernández, F.A. Rodríguez-Zaragoza, R. Wallace & R. Pineda-López. 2014. Ophiuroidea (Echinodermata) from coral reefs in the Mexican Pacific. *ZooKeys* 406: 101-145.

Maluf L.Y. 1988. Composition and distribution of the Central Eastern Pacific Echinoderms. *Natural History Museum of Los Angeles County, Technical Reports*, 2: 1-242.

Ziesenhenné F.C. 1937. Echinoderms from the West Coast of Lower California, the Gulf of California and Clarion Island. *Zoologica* 22(15): 209-239.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-22. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

De color pardo claro con franjas más oscuras en los brazos. Disco oral redondeado cubierto de gránulos alargados que cubren totalmente la placa radial, base de los brazos y que se proyectan al lado ventral del disco, pero en menor número. Cinco espinas en cada segmento de los brazos y dos escamas tentaculares. Lado ventral del brazo con una raya clara longitudinal. Cinco papilas orales en cada lado de la mandíbula. Grupo de papilas dentales redondeadas en el ápex de la mandíbula. Placas dorsales de los brazos en forma de corazón, más anchos que largos.

## Biología de la especie

Desove de hembras de mayo a diciembre, mientras que en los machos es todo el año.

## Hábitat

Intermareal a 70m de profundidad. En arrecifes de corales pétreos vivos, muertos, en rocas, asociados a algas, y rodolitos.

## Distribución

Estados Unidos a Colombia e islas Galápagos, Ecuador.

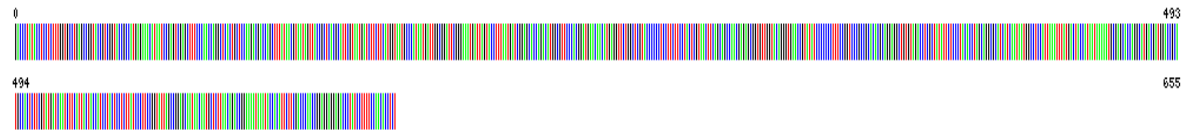
## Observaciones

### Nombres sinónimos

*Ophiocoma alexandri* Lyman, 1860.

*Ophiocoma alexandri* podría confundirse con *Ophiocomella alexandri*, pero se diferencia porque *O. alexandri* presenta las bandas en los brazos que son más largos, mientras que *O. aethiops* presenta el disco más grande y de coloración oscura.

## CÓDIGO DE BARRAS



# *Astrodictyum panamense* (Verrill, 1867)



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Euryalida

**Familia:** Gorgonocephalidae

**Género:** *Astrodictyum*

**Especie:** panamense

## Bibliografía

Alvarado J.J., Solís-Marín & F.A. Ahearn C.G. 2010. Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America. *Marine Biodiversity*, 40: 45-56.

Caso-Muñoz, M., Laguarda-Figueras A., Solís-Marín F.A., Ortega-Salas A. and Durán-González, A. 1996. Contribución al conocimiento de la ecología de las comunidades de Equinodermos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 22, 101-111.

Clark H. 1913. Echinoderms from Lower California, with descriptions of new species. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 32, 185-236.

Neira R. and Cantera J. 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical* 53, 195-206.

Solís-Marín F., Laguarda-Figueras A., Durán-González A., Ahearn C. and Vega J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*. 53, 123-137.

Stöhr, S.; O'Hara, T.; Thuy, B. (Eds) 2022. World Ophiuroidea Database. *Astrodictyum panamense* (Verrill, 1867). Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=243191> on 2022-04-08.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Disco grande cubierto con gránulos, espinas o piel desnuda. Radios simples o desnudos. Radios simples o ramificados y, por lo menos, sobre las ramificaciones más finas, llevan anillos de ganchos muy pequeños, microscópicos. Papilas bucales espiniformes. Espinas radiales -o escamas tentaculares pequeñas-. Una o cinco madreporitas. Las complejas ramificaciones de los brazos permiten que estos organismos se aferren a los gorgonios y otros sustratos.

## Biología de la especie

Esta especie generalmente se asocia con Octocorales (más comúnmente *Muricea spp*), así como con otros ophiuroideos como *Ophionereis Annulata*, *Ophiocoma aethiops*, *Ophioderma sodipalles*, *Ophiolepis pacifica* y *Ophiactix Simplex*.

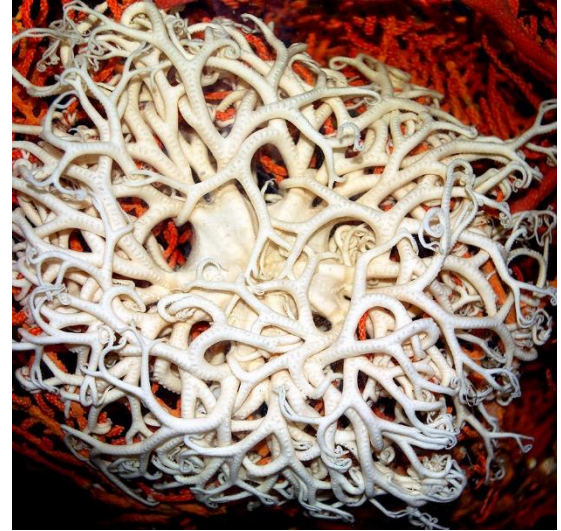
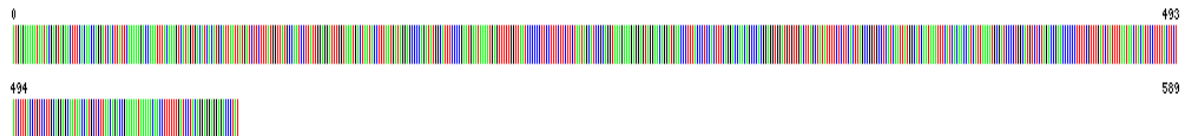
## Hábitat

Se encuentra de 3 a 64 m de profundidad en corales y arrecifes rocosos.

## Distribución

Perú (Zorritos), Panamá, la isla oceánica de Malpelo, Colombia y en varias áreas del Golfo de California, incluyendo Sonora (costa nororiental del Golfo), La Paz y Mazatlán.

## CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Ophiuroidea

**Orden:** Euryalida

**Familia:** Gorgonocephalidae

**Género:** Astrodictyum

**Especie:** sp

### Bibliografía

Alvarado J.J., Solís-Marín & F.A. Ahearn C.G. 2010. Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America. *Marine Biodiversity*, 40: 45-56.

Caso-Muñoz, M., Laguarda-Figueras A., Solís-Marín F.A., Ortega-Salas A. and Durán-González, A. 1996. Contribución al conocimiento de la ecología de las comunidades de Equinodermos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 22, 101-111.

Clark H. 1913. Echinoderms from Lower California, with descriptions of new species. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 32, 185-236.

Neira R. and Cantera J. 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical* 53, 195-206.

Solís-Marín F., Laguarda-Figueras A., Durán-González A., Ahearn C. and Vega J. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*. 53, 123-137.

Stöhr, S.; O'Hara, T.; Thuy, B. (Eds) 2022. World Ophiuroidea Database. *Astrodictyum panamense* (Verrill, 1867). Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=243191> on 2022-04-08.

## *Astrodictyum* sp (Verrill, 1867)

### Descripción y diagnóstico de la especie

Disco grande cubierto con gránulos, espinas o piel desnuda. Radios simples o desnudos. Radios simples o ramificados y, por lo menos, sobre las ramificaciones más finas, llevan anillos de ganchos muy pequeños, microscópicos. Papilas bucales espiniformes. Espinas radiales -o escamas tentaculares pequeñas-. Una o cinco madreporitas. Las formas de las espinas de estos organismos difieren de *A. panamense*, lo que se trataría de otra especie.

### Biología de la especie

Esta especie generalmente se asocia con Octocorales (más comúnmente *Muricea spp*), así como con otros ophiuroideos como *Ophionereis Annulata*, *Ophiocoma aethiops*, *Ophioderma sodipalles*, *Ophiolepis pacifica* y *Ophiactix Simplex*.

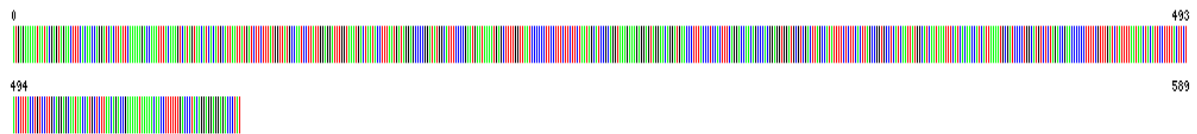
### Hábitat

Se encuentra de 3 a 64 m de profundidad en corales y arrecifes rocosos.

### Distribución

Perú (Zorritos), Panamá, la isla oceánica de Malpelo, Colombia y en varias áreas del Golfo de California, incluyendo Sonora (costa nororiental del Golfo), La Paz y Mazatlán.

### CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Forcipulatida

**Familia:** Heliasteridae

**Género:** Heliaster

**Especie:** helianthus

### Bibliografía

Alvarado, J. J., & Solís-Marín, F. A. (2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. In Echinoderm Research and Diversity in Latin America (pp. 1-9). Springer Berlin Heidelberg.

Porter C. C. M. Z. S., F. E. S. Los Heliasteridae de Chile. Revista Chilena de Historia Natural.

WoRMS Editorial Board (2017). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2017-07-09. doi: 10.14284/170

## *Heliaster helianthus* (Lamarck, 1816)

### Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo grande deprimido o achatado con numerosos brazos cortos unidos en la parte central. El ejemplar presenta 33 brazos.

### Biología de la especie

Es un competidor y depredador en bancos naturales de recursos de importancia comercial. Especie también reportada como comensal con pequeños crustáceos juveniles.

### Hábitat

Especie fue encontrada sobre sustrato rocoso fácilmente visible por vivir a escasa profundidad. Del Intermareal y submareal rocoso expuestos al oleaje.

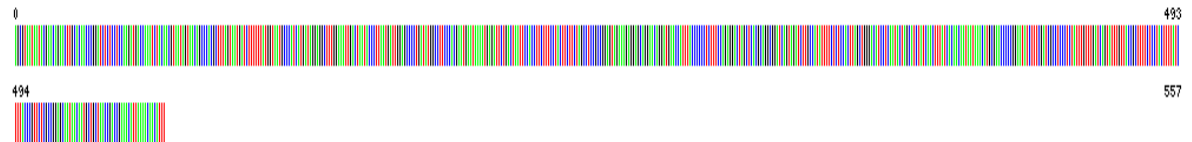
### Distribución

De Bahía Tortugas. Ancash - Perú; sin embargo, se encuentra desde Ecuador hasta Chile.

### Observaciones

De moderada presencia y abundancia.

### CÓDIGO DE BARRAS



Estrella de mar - Sol de mar

Sea-star

# *Stichaster striatus* Müller & Troschel, 1840



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Forcipulatida

**Familia:** Stichasteridae

**Género:** Stichaster

**Especie:** striatus

## Bibliografía

Alvarado, J. J., & Solís-Marín, F. A. (2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. In Echinoderm Research and Diversity in Latin America (pp. 1-9). Springer Berlin Heidelberg.

Uribe, R, Rubio J., Carbajal P. y Berrú P. 2013. Invertebrados Marinos bentónicos del Litoral de la Región Áncash, Perú. Bol Inst Mar Perú, 28 / Nos 1 y 2 / Enero - Diciembre 2013.

WoRMS Editorial Board (2017). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2017-07-09. doi: 10.14284/170

## Descripción y diagnóstico de la especie

Cuerpo conformado por cinco brazos cilíndricos largos con relación al centro del cuerpo que presenta un disco pequeño. Espinas en forma de gránulos redondeados dispuestos sobre placas aborales en notorias filas lineales. Con cuatro filas de pies ambulacrales. Surco ventral de los brazos muy angostos.

## Biología de la especie

Su alimentación se basa en bivalvos, cirrípedos, poliquetos y gasterópodos. También se alimentan de pequeños erizos.

## Hábitat

Intermareal rocoso y submareal arenoso y rocoso, expuestos a oleaje.

## Distribución

De Bahía Tortugas. Ancash – Perú. Casma y Huarney. Otras localidades Puerto Morín, Huacho, Callao, Pucusana, Pisco, Bahía Independencia, Atico, Matarani e Ilo. Desde Isla Santa (Perú) al Estrecho de Magallanes (Chile) e Islas Malvinas (Argentina).

## Observaciones

Constituyen depredadores topes en el cinturón intermareal. Con alta frecuencia y abundancia. Existe reportes de ejemplares de hasta 6 brazos.

## CÓDIGO DE BARRAS



Estrella de mar

Sea star



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Paxillosida

**Familia:** Luidiidae

**Género:** Luidia

**Especie:** magellanica

### Bibliografía

Alvarado, J. J., & Solís-Marín, F. A. (2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. In Echinoderm Research and Diversity in Latin America (pp. 1-9). Springer Berlin Heidelberg.

Madsen F. 1956. Asteroidea (With a survey of the Asteroidea of the Chilean shelf). Reports Lund University Chile Expedition 1948-1949. 24: 1-53.

Morales M. 2011. Revisión taxonómica de los Asteroideos del Mar Peruano. Tesis. Universidad Mayor de San Marcos-Perú. 158 pp.

WoRMS Editorial Board (2017). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2017-07-09. doi: 10.14284/170.

## *Luidia magellanica* Leopoldt, 1895

### Descripción y diagnóstico de la especie

De gran tamaño, zona aboral negruzca con manchas amarillas y parte oral amarillenta. Con cinco dientes alrededor de la boca. Brazos largos y cilíndricos, Ausencia de espinas axilares. Placas inferiores marginales espatuladas.

### Biología de la especie

Comparte hábitat con el poliqueto sabélidos el onúfido *Diopatra rhizoicola*, *Tetrapygus niger*, ofiuros, *Argopecten purpuratus* y *Ensis macha*. Junto a los cangrejos de los géneros *Cancer* y *Romaleon* es uno de los principales depredadores de bivalvos y erizos.

### Hábitat

Submareal con conchuela y *Rhodymenia sp.* Sobre discos de macroalgas pardas. Profundidad: 5-12 m.

### Distribución

De Puerto Huarmey – Pacayal. Desde Perú al Estrecho de Magallanes (Chile). Localidades en la Región Áncash: Isla Santa, Casma. Otras localidades: Huacho, Pisco, Bahía Independencia, Atico, Matarani, Ilo.

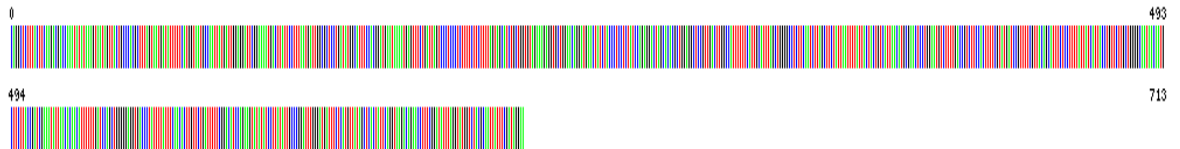
### Observaciones

Especie clave e importante en la estructuración de las comunidades bentónicas en fondos blandos. Pueden localizar presas enterradas.

Puede confundirse con *L. bellonae*. De moderada frecuencia y baja abundancia.

Estructura sólida con alto contenido de calcita de magnesio.

### CÓDIGO DE BARRAS



Estrella negra

# *Luidia columbia* (Gray, 1840)

“estrella de arena”



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Paxillosida

**Familia:** Luidiidae

**Género:** *Luidia*

**Especie:** *columbia*

## Bibliografía

Calva L.G. 2002. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 1. Estrellas de mar y estrellas serpiente. ContactoS. 46: 59-68.

Hooker Y., F. Solís & M. Llellish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Revista Peruana de Biología. 12(1): 77-82.

Morales M. 2011. Revisión taxonómica de los asteroideos del mar peruano. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 158pp.

WoRMS Editorial Board (2021). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2021-03-27. Doi: 10.14284/170.

## Descripción y diagnóstico de la especie

Disco aplanado. Superficie abactinal (superior): 4 series longitudinales de áreas paxilares cuadradas y granuladas a cada lado del radio y a medida que se aproximan a la parte media disminuyen de tamaño y adquieren una forma y disposición irregular. Borde de los brazos con una espina cónica puntiaguda. Las placas inferomarginales (de la superficie inferior) sobresalen de las placas superomarginales (de la superficie superior), principalmente en las bases de los brazos. Placas inferomarginales con espinas escamiformes ligeramente imbricadas. El surco, de donde salen los pies, rodeado de espinas grandes y pequeñas. Cada placa ambulabral con una espina en forma de sable que se ubica en el mismo surco. Pies ambulacrales sin ventosas.

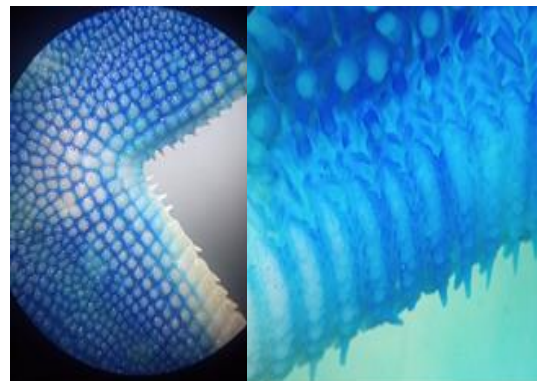


Imagen izquierda. Áreas paxilares cuadradas. Imagen derecha. Placas inferomarginales con espinas escamiformes ligeramente imbricadas.

## Biología de la especie

Las especies del género no pueden evertir el estómago, pero ésta es expansible que permite capturar presas grandes. Dentro del género existen especies que pueden excavar para capturar presas de la infauna, tragar sedimento para alimentarse de la materia orgánica y microfauna. Se alimentan, además, de moluscos, crustáceos y otros equinodermos.

## Hábitat

Común sobre sustratos arenosos, areno-rocosos y eventualmente sobre sustratos rocosos con algas. Intermareal a submareal somero hasta los 17m de profundidad.

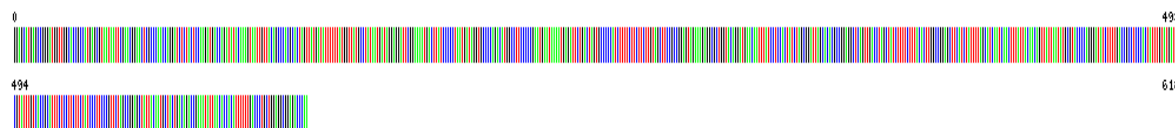
## Distribución

California, Estados Unidos a isla Lobos de Afuera, Perú.

## Observaciones

*Petalaster columbia* Gray, 1840 (nombre original); *Luidia brevispina* Lutken, 1871; *Luidia marginata* Koehler, 1911; *Petalaster columbia* Gray, 1840.

## CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Paxillosida

**Familia:** Luidiidae

**Género:** Luidia

**Especie:** armata

### Bibliografía

Alvarado, J. J., & Solís-Marín, F. A. 2013. Echinoderm research and diversity in Latin America. In Echinoderm Research and Diversity in Latin America (pp. 1-9). Springer, Berlin, Heidelberg.

Calva L.G. 2002. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 1. Estrellas de mar y estrellas serpiente. ContactoS. 46: 59-68.

Martínez, A., Ríos, E., Solís-Marín, F., Galván, C., Buitrón, B. Laguarda-Figuera, A. 2018. Principios para identificación de equinodermos. Primera edición, D.R.

Mah, C.L. (2022). World Asteroidea Database. *Luidia armata* Ludwig, 1905. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=368106> on 2022-04-21

## *Luidia cf. armata* (Ludwig, 1905)

“estrella de arena de mosaico”

### Descripción y diagnóstico de la especie

El cuerpo firme con presencia de placas actinales con pedicelarios. Espinas marginales afiladas, fusionadas con las paxilas laterales. No hay espinas dorsales y las espinas laterales son cortas y están restringidas al borde oral del rayo y están ausentes en las puntas. Los brazos están claramente escindidos. No existe presencia de disco central real. La madreporita fácil de observar.

### Biología de la especie

Las especies dentro de este género pueden excavar para capturar presas de la infauna, tragar sedimento para alimentarse de la materia orgánica y microfauna. Se alimentan, además, de moluscos, crustáceos y otros equinodermos.

### Hábitat

Sustratos arenosos y ocasionalmente sobre sustratos rocosos con algas. Profundidad: 33-126m.

### Distribución

México, Panamá, Costa Rica (Isla de los Cocos) y Perú (Los Organos)

### Observaciones

En este trabajo se reporta la presencia de esta especie para Perú.

### CÓDIGO DE BARRAS







**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Valvatida

**Familia:** Ophidiasteridae

**Género:** Phataria

**Especie:** unifascialis

### Bibliografía

Alvarado J. J. & Solís-Marín F. A. 2013). Echinoderm research and diversity in Latin America. Springer Berlin Heidelberg. 9pp.

Hooker Y., F. A. Solís-Marín & M. Llellish. 205. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Rev. peru. biol. 12(1): 77-82 .

Martín-Cao-Romero C., F. A. Solís-Marín, A. Laguarda-Figuera & B. E. Buitrón. 2017. Phataria unifascialis (Valvatida: Ophidiasteridae) from the Eastern Pacific: Redescription and skeletal morphology. Rev. Biol. Trop. 65(1): S258-S271 .

Mortensen T. 1921. Studies of the development and larval forms of echinoderms. Gad.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Checklist dataset <https://doi.org/10.14284/170> accessed via GBIF.org on 2018-10-19. Doi: 10.14284/170.

## Phataria unifascialis (Gray, 1840)

### Descripción y diagnóstico de la especie

Cinco brazos. Área papular sólo en la superficie abactinal (vista superior) en tres filas longitudinales a lo largo de los brazos, siendo la central la más grande. Tres filas longitudinales de placas carinales (\*) a lo largo de los brazos. Superficies abactinal y actinal con gránulos. Ano en el centro del disco con un madreporito (placa) redondeado y estriaciones radiales. Una fila de espinas ambulacrales.



### Biología de la especie

Reproducción por fertilización.

### Hábitat

Intermareal a 50m de profundidad, sobre sustrato rocoso, en arrecifes de coral.

### Distribución

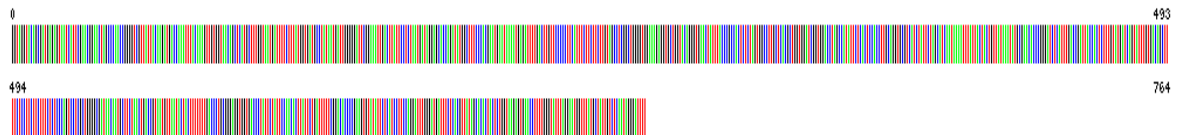
México a Perú.

### Observaciones

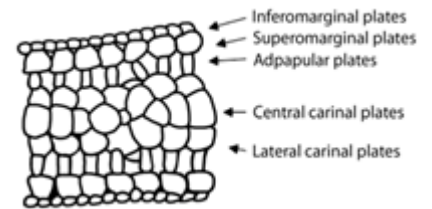
#### Nombres sinónimos

*Linckia (Phataria) bifascialis* Gray, 1840; *Linckia (Phataria) unifascialis* Gray, 1840; *Linckia bifascialis* Gray, 1840; *Ophidiaster suturalis* Müller & Troschel, 1842; *Phataria bifascialis* (Gray, 1840).

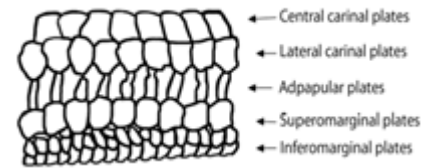
### CÓDIGO DE BARRAS



### Placas de los brazos de *P. unifascialis*



Vista abactinal



Vista lateral

**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Valvatida

**Familia:** Ophidiasteridae

**Género:** Phataria

**Especie:** pyramidata

### Bibliografía

Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52(17):321-358.

Caso, M. 1987. Asteroideos, Ofiuroideos y Equinoideos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Pub. Esp. 11: 1-214.

Hickman, C. P. Jr. 1998. A field guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galápagos. Galápagos Marine Life Series. Sugar Spring Press. Lexington, Virginia. 83pp

Hooker Y., Solís-Marín, F & Lleellish, M. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). Rev. peru. biol. 12(1): 77-82.

Lasso, S. 2005. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Sitio Ramsar Parque Nacional Machalilla (Zona Marina). Ministerio del Ambiente. Quito – Ecuador.

Mah, C. 2022. Base de datos Mundial asteroidea. *Pharia pyramidata* (Gray, 1840). Accedido a través de: Registro Mundial de Especies Marinas en: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=292795> el 2022-01-28

Sánchez, V. 2010. Dinámica poblacional y ciclo reproductivo de *Pharia pyramidata* (Gray, 1840) en La Bahía de la Paz, Baja California Sur, México. Seminario Departamental de Pesquerías y Biología Marina.

# *Pharia pyramidata* (Gray, 1840)

“estrella pirámide”

## Descripción y diagnóstico de la especie

Radios robustos, triangulares, de extremos distales romos y angostos, con 8 hileras de zonas papulares: 4 abactinales, 2 laterales y 2 actinales; las zonas papulares confluyen hacia los lados. Superficie irregular. Cuerpo cubierto de gránulos de forma variable y de colores diversos; la granulación de la superficie dorsal grande y poliédrica; los poros de las zonas papulares, más grandes que los gránulos que tapizan a las zonas papulares; cada zona papular tiene de 10 a 33 poros. Las espinas adambulacrales, varían de aspecto según se trate de ejemplares pequeños o ejemplares grandes. Cuerpo madreporico, grande compuesto de forma irregular, aplanado o ligeramente cóncavo, con 2 a 9 lóbulos.



## Biología de la especie

La estrella de mar *Pharia pyramidata* juega un papel importante en el ecosistema al ser controlador de la biomasa de algas. No presenta dimorfismo sexual externo y la proporción sexual es de 1:1. Ciclo reproductivo continuo con el pico máximo de madurez durante el verano.

## Hábitat

Hábitos epifaunales. En sustratos arenosos, arenos-rocinos, rocosos, arenoso con algas y en asociación a plataformas de arena coralina fina, fondos rocosos y parches de coral del género *Tubastrea* y del género *Pocillopora*.

## Distribución

México, Panamá y Perú.

## Observaciones

### Nombres sinónimos

*Ophidiaster pyramidatus* Gray, 1840; *Ophidiaster porosissimus* Lütken, 1859, *Ophidiaster pyramidatus* Gray, 1840.

## CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Valvatida

**Familia:** Ophidiasteridae

**Género:** Linckia

**Especie:** columbiae

### Bibliografía

Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52(17):321-358.

Hickman, C. P. Jr. 1998. A field guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galápagos. Galápagos Marine Life Series. Sugar Spring Press. Lexington, Virginia. 83pp.

Mah, C.L. (2022). World Asteroidea Database. *Linckia columbiae* Gray, 1840. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=378630> on 2022-02-07.

McAlary, F. 1988. Population structure and reproduction of the fissiparous seastar, *Linckia columbiae* Gray, on Santa Catalina Island, California. Third California Island Symposium. 9pp. Disponible en: [http://repository.library.csuci.edu/jspui/bitstream/10139/3393/1/McAlary\\_1987\\_PopulationStructure-.pdf](http://repository.library.csuci.edu/jspui/bitstream/10139/3393/1/McAlary_1987_PopulationStructure-.pdf)

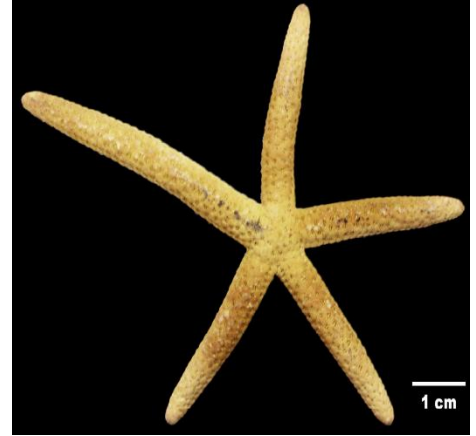
Morales M. 2011. Revisión taxonómica de los asteroideos del mar peruano. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 158pp.

## *Linckia columbiae* (Gray, 1840)

“estrella cometa del Pacífico”

### Descripción y diagnóstico de la especie

Cinco radios de forma cilíndrica, aunque ligeramente triangulares, terminan en punta roma. Superficie irregular con entrantes y salientes; frecuentemente el disco sobresale de los radios. Las zonas papulares son de tamaño menor que las placas abactinales adyacentes, con 8 a 15 poros cada una. Las zonas papulares dorsales y laterales están distribuidas de modo irregular entre las placas abactinales y las marginales, respectivamente. Las zonas papulares actinales están colocadas entre las hileras terceras de placas actinales e inferomarginales. Espinas adambulacrales de dos tamaños, con aspecto granuliforme y dispuestas en una hilera. Cuerpo madreporico de forma ovoide y de tamaño variable, por lo general presentan uno.



### Biología de la especie

Alimentación ciliar. Se alimenta de la película de microorganismos adheridos a las superficies duras. Reproducción asexual por autonomía durante todo el año, principalmente en verano.

### Hábitat

Sustratos rocosos, areno-rocosos, arrecifes de coral.

### Distribución

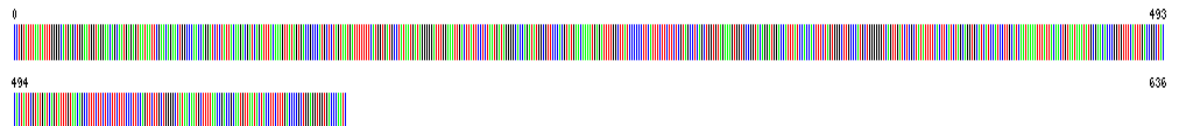
Distintas localidades de California, La Paz, Baja California; Mazatlán, Sinaloa en las Islas Galápagos, en las costas de Colombia y en Perú (Piura e Isla Lobos de Afuera).

### Observaciones

#### *Nombres sinónimos*

*Linckia diplax* Perrier, 1875; *Ophidiaster colombiae* Müller & Troschel, 1842; *Phataria fascialis* Monks, 1904.

### CÓDIGO DE BARRAS





**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asteroidea

**Orden:** Valvatida

**Familia:** Asterinidae

**Género:** Patiria

**Especie:** chilensis

### Bibliografía

Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52(17):321-358.

Mah, C.L. (2022). World Asteroidea Database. *Patiria chilensis* (Lutken, 1859). Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=382124> on 2022-02-07

Mutschke, E. & Mah, Ch. 2009 Capítulo: Asteroidea – Estrellas de Mar. En: HÄUSSERMANN, Vreni & FÖRSTERRA, Günter. Fauna Marina Bentónica de la Patagonia Chilena. 1ra edición – 2009. Nature In Focus Chile. 1000pp.

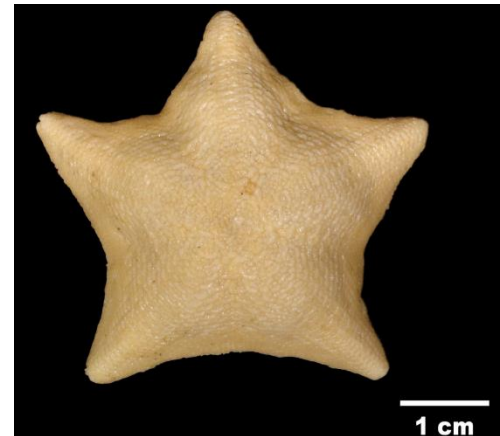
Morales M. 2011. Revisión taxonómica de los asteroideos del mar peruano. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 158pp.

## *Patiria chilensis* (Lütken, 1859)

“estrella chica”

### Descripción y diagnóstico de la especie

Pequeñas especies pentagonales con una superficie dorsal libre de tubérculos o espinas conspicuas, con los lados más o menos cóncavos y los ángulos redondeados, los bordes del cuerpo cóncavos, muy delgados, limitados por dos hileras de placas marginales muy delgadas. Grosor del cuerpo más grueso en el disco, menor en los bordes. Cuerpo cubierto por grupo de pequeñas espinas dorsales romas, dispuestas con marcado patrón en forma de media luna y adyacentes a grupos de espinas más pequeñas, redondas. Placas actinales intermedias generalmente con 2 espinas, cada una. Placas adambulacrales con 3 espinas surcales. Cuerpo madreporítico bastante grande.



### Biología de la especie

Se alimenta de manera oportunista de moluscos y detritos. Sólo tienen un ciclo reproductivo anual. Los gametos masculinos se forman a principios del verano, los femeninos a principios del invierno. El desove ocurre durante la primavera. Desarrollo planctotrófico.

### Hábitat

Fondos duros (entre grietas, debajo y sobre rocas) y en rizoides de *Lessonia nigrescens*.

### Distribución

Se distribuye en la zona de mareas del oeste de América del sur, desde Paita, en el norte del Perú, hasta Talcahuano, en Chile.

### Observaciones

#### **Nombres sinónimos**

*Asterina chilensis* Lütken, 1859; *Asterina gayi* Perrier, 1875; *Asteriscus calcaratus* Valenciennes in Gay, 1854; *Asterina calcarata* Perrier, 1876; *Patiriella calcarata* (Perrier, 1869); *Patiria gayi* Perrier, 1875.

### CÓDIGO DE BARRAS



**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Asterozoa

**Orden:** Valvatida

**Familia:** Oreasteridae

**Género:** *Nidorellia*

**Especie:** *armata*

### Bibliografía

Caso, M., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F., Ortega, A. & Durán, A. 1996. Contribución al conocimiento de la ecología de las comunidades de equinodermos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Revista: Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. 22 (1): 101-120.

Clark, H. 1910. The Echinoderms of Peru. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard University. 52(17):321-358.

Hickman, C. P. Jr. 1998. A field guide to Sea Stars and other Echinoderms of Galápagos. Galápagos Marine Life Series. Sugar Spring Press. Lexington, Virginia. 83pp.

Mah, C.L. (2022). World Asterozoa Database. *Nidorellia armata* (Gray, 1840). Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=254919> on 2022-02-07.

Morales M. 2011. Revisión taxonómica de los asterozoos del mar peruano. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 158pp.

## *Nidorellia armata* (Gray, 1840)

“estrella choco chip”

### Descripción y diagnóstico de la especie

Forma pentagonal, brazos cortos, anchos, cuerpo robusto, de forma estrellada; superficie ventral ligeramente cóncava. Superficie dorsal convexa, reticulada y con espinas cónicas. Superficie ventral tapizada de gránulos y pequeñas espinas. Pedicelarios sésiles, valvados, de tamaños muy diversos; distribuidos muy irregularmente sobre las placas dorsales y las superomarginales. Cuerpo madreporico grande, de forma irregular y situado muy cerca del centro del disco.

### Biología de la especie

Se alimenta de manera oportunista de moluscos y Especie carnívora. Se alimentan principalmente de algas bentónicas, pequeños gasterópodos e invertebrados sésiles.

### Hábitat

Epifaunal. Comúnmente en fondos rocosos y arrecifes de coral; pero también se les puede encontrar en sustratos arenosos y areno-rocosos con muchas algas.

### Distribución

Desde el Golfo de California; en Mazatlán, Sinaloa, hasta Zorritos, Perú, e Islas Galápagos.

### Observaciones

#### *Nombres sinónimos*

*Goniodiscus armata* Lütken, 1859; *Goniodiscus conifer* Möbius, 1859; *Goniodiscus michelini* Perrier, 1869; *Goniodiscus stella* Verill, 1870; *Nidorellia michelini* (Perrier, 1869); *Oreaster armatus* Müller & Troschel, 1842; *Pentaceros armatus* Gray, 1840.

### CÓDIGO DE BARRAS

