



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Campus Guanajuato

División de Ciencias Naturales y Exactas

Departamento de Biología

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA EXPERIMENTAL**

**“Ecología de las comunidades marinas submareales e intermareales en bahía
Colonet, Baja California”**

PRESENTA:

C. Ariadna Lotzacil de los Ángeles Cruz Rendón

DIRECTORA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

M. en C. Esmeralda Morales Domínguez

CODIRECTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Juan Pablo Huchin Mian

ASESOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera

Guanajuato, Guanajuato, México; noviembre 2025

Resumen

Bahía Colonet, localizada en la costa occidental de Baja California, representa una región de alto valor ecológico por su variedad de hábitats costeros con baja perturbación antropogénica, caracterizándose por la presencia de zonas rocosas, arenosas y formación de pozas de marea, que favorecen el establecimiento de comunidades bentónicas. En este estudio se caracterizó la diversidad y estructura de invertebrados marinos presentes en dos zonas contrastantes: el intermareal rocoso (pozas de marea) y el submareal somero; durante dos temporadas climáticas (verano y otoño) en el año de 2023. Se registraron 5, 280 individuos, pertenecientes al Dominio Eukarya y al Reino Animalia, agrupados en 13 phyla taxonómicos y distribuidos en 30 clases, 67 órdenes y 209 familias. Dentro de estos phyla, Annelida, Arthropoda, Echinodermata y Mollusca destacan como los grupos con mayor riqueza de familias y abundancia, posicionándose como los taxones estructuralmente dominantes. La zona submareal presentó mayor riqueza y abundancia, patrón que se repitió entre temporadas, con el verano como la temporada con mayor diversidad. La estructura comunitaria fue evaluada con índices ecológicos (Shannon-Wiener, Simpson y Pielou), revelando una mayor equitatividad y menor dominancia; complementariamente, se aplicaron curvas de interpolación y extrapolación (iNEXT) con base en los números de Hill ($q = 0, 1, 2$), cuyos resultados mostraron mayor diversidad efectiva en el submareal y durante el verano. Este trabajo representa el primer análisis comparativo de la fauna de invertebrados presentes en la zona submareal e intermareal de la bahía Colonet, sentando una línea base para futuros estudios de biodiversidad marina en esta región del Pacífico mexicano.

Palabras clave: Bahía Colonet, Invertebrados marinos, Zona intermareal, Zona submareal, Comunidades bentónicas.

Dedicatoria

A todas las personas que me han apoyado, por su confianza y por nunca dejar de creer en mí.

“En tu vida, inevitablemente hablarás mal, confiarás en la persona equivocada, reaccionarás insuficiente o exageradamente, herirás a personas que no lo merecen, pensarás demasiado o no pensarás en absoluto. Te autosabotearás, crearás una realidad en la que solo existe tu experiencia, arruinarás buenos momentos para ti y para los demás, negarás tus errores y no harás nada al respecto. Te sentirás culpable, dejarás que la culpa te consuma, tocarás fondo y, finalmente, abordarás el dolor que has causado, intentarás hacerlo mejor la próxima vez y volverás a empezar.

Parte de crecer y pasar a nuevos capítulos de tu vida consiste en atrapar y soltar: saber qué cosas conservar y cuáles liberar, porque no puedes cargar con todo.

La aterradora noticia es... ‘ahora estás por tu cuenta’.

Pero la buena noticia es... ‘ahora estás por tu cuenta’.”

-You're on your own, kid...

Agradecimientos

A mi directora de tesis, M.C. Esmeralda Morales, por brindarme su amistad desde el primer momento en que llegué al CICESE y a Ensenada, acompañándome durante este largo camino y orientándome en cada momento; y al Dr. Luis Calderón (LECA), por aceptarme en su equipo de trabajo durante mi estancia académica en su laboratorio, brindándome la oportunidad de participar en salidas a campo y ser mi guía en esta nueva etapa; muchas gracias Dr. por confiar en mí.

A mi comité de tesis, M.C. Gloria Magaña, M.C. Patricia Palafox, Dra. Suria Vásquez y Dra. Vianey Olmedo, quienes fueron mis maestras en la licenciatura, a cada una de ellas, gracias por inspirarme y por formar parte de este proceso académico y personal.

A mi codirector, el Dr. Juan Pablo Huchin, quien, a través de sus clases en la materia de Ecología y las salidas a campo, me ayudó a descubrir mi vocación por la ciencia.

A mis papás, Miguel y Carmen, por todo el esfuerzo que han puesto en darme lo mejor de ustedes; por apoyarme y ser una guía en mi vida. Nunca alcanzarán las palabras, ni mi vida entera, para agradecerles. De corazón, gracias por todo.

A mi hermanita Ángela, mi mejor amiga y el pilar más importante en todo este camino, escuchándome en los momentos difíciles y motivándome a jamás rendirme. Porque con el paso de los años me he dado cuenta de que he vivido días sin mi hermana pequeña, pero tú no has vivido ni un solo día sin tu hermana mayor.

A mi abuela Carmela, el pilar más importante en mi vida, mi ejemplo a seguir de una mujer fuerte y trabajadora; y a mi abuelo Chelano, mi corazón de melón, a quién, después de tanto tiempo, siempre he tenido presente en mi mente y en mi corazón.

A mi familia materna, en especial a mi tía Marina y a mi primo Rogelio, por brindarme momentos únicos y especiales en familia cada vez que regreso a mi casa, Acapulco.

A mi familia paterna, especialmente a mis tíos José, Enrique, Hugo, Aldo, Cynthia, Manuel y Monserrat; a mis padrinos, Saúl y Adela; y a mis primas, Ixchel, Nikté y Naia, por acogerme en sus hogares y brindarme un espacio cada vez que me sentía lejos de casa.

A Moni, Dulce y Yaz, que además de ser mis mejores amigas, fueron mis roomies en Barreno 21, convirtiéndose en mi segunda familia “Tú date”, junto a Irepan. Les agradezco todo su apoyo, amor y cariño, por acompañarnos entre sí en las buenas y en las malas, especialmente en las funas.

A mis amigas de la prepa, Regis, Tere y Ale, que, a pesar de haber tomado caminos diferentes, nuestra amistad a seguido unida y han sido un gran apoyo en los momentos difíciles.

A Julián Carbajal, una amistad inesperada pero bastante bonita, porque “a veces las buenas conexiones nacen en los momentos menos esperados”. Gracias por todo, Juls.

A mis compañeros del CICESE, especialmente a Ale Cajero, por su amistad, las charlas motivacionales en el laboratorio y su apoyo orientándome a lo largo del camino; y a Daniel López, por tu disposición, paciencia y colaboración en el trabajo.

A Luis Salgado, por tu apoyo y cariño incondicional, por motivarme a seguir avanzando con constancia y determinación en la búsqueda de mis metas, y por recordarme siempre la importancia de creer en mí

Por último, a todas las personas que me han acompañado durante este año, simplemente gracias.

Y a mí misma, por ser resiliente y no rendirme aun cuando las fuerzas flaqueaban; por ser valiente y enfrentar nuevos retos con determinación. Eres muy fuerte, Ary.

Índice de contenido

Resumen.....	2
Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
Índice de contenido	6
Índice de figuras	7
Índice de tablas.....	9
Introducción	10
Antecedentes	15
Justificación	19
Hipótesis.....	19
Objetivos	20
1. Objetivo general.....	20
2. Objetivos específicos.....	20
Materiales y Métodos	21
Área de estudio	21
Trabajo de campo.....	22
1. Zona intermareal (pozas de marea)	23
2. Zona submareal.....	24
Trabajo de laboratorio	25
Análisis de datos.....	27
Resultados	32
1. Análisis de abundancia y riqueza taxonómica	32
2. Índices ecológicos	38
3. Interpolación y extrapolación de curvas ecológicas (iNEXT)	45
Discusión	49
1. Análisis de abundancia y riqueza taxonómica	49
Comparación entre zonas de estudio (intermareal y submareal).....	52
Comparación entre temporadas de estudio (verano y otoño)	53
2. Estructura de la comunidad bentónica mediante índices ecológicos	55
3. Interpolación y extrapolación de curvas ecológicas (iNEXT)	58
Comparación por zonas de estudio (intermareal y submareal)	59

Comparación por temporadas de estudio (verano y otoño)	60
Conclusiones	61
Bibliografía	63
Anexos	73
Anexo 1. Listado taxonómico de familias de invertebrados marinos en Bahía Colonet, Baja California.	73
Anexo 2. Catálogo taxonómico de phyla y familias identificadas en Bahía Colonet, Baja California. .	84
Annelida	84
Arthropoda	85
Cnidaria	86
Echinodermata	86
Mollusca	87
Nemertea	89
Platyhelminthes	89
Porifera	90

Índice de figuras

Figura 1. Representación del intermareal en un ecosistema rocoso.	11
Figura 2. Transición entre el infralitoral y sublitoral.	12
Figura 3. Representación de (a) las costas rocosas de Baja California y (b) formación de pozas de marea en la zona intermareal.	14
Figura 4. Representación de los principales grupos taxonómicos asociados tanto a pozas de marea como a comunidades bentónicas del submareal (a, b, c). Se muestran organismos pertenecientes a los phyla Mollusca (gasterópodos y bivalvos), Arthropoda (cirrípedos), Echinodermata (erizos y ofiuroides) y Cnidaria (anémonas), representando las comunidades bentónicas asociadas a fondos blandos y rocosos.	15
Figura 5. Ubicación geográfica de Ejido Punta Colonet.	16
Figura 6. Localidad de estudio, Ejido Punta Colonet, Baja California, México.	17
Figura 7. Representación cartográfica de la región costera de Punta Colonet, Baja California.....	21
Figura 8. Ubicación de los sitios de muestreo y técnicas empleadas (pushcore, selectivo y draga Ponar) en la costa de Punta Colonet.....	23

Figura 9. Trabajo de campo en la zona intermareal: muestreo selectivo (b) y muestreo manual mediante núcleo de presión (b-c).	24
Figura 10. Trabajo de campo en la zona submareal (crucero) donde se tomaron muestras usando draga Ponar.	24
Figura 11. Representación del trabajo en laboratorio, los organismos previamente fijados en alcohol 96% se limpian para comenzar con su identificación taxonómica (a) y posteriormente su preservación en alcohol 70% (b).	25
Figura 12. Representación del trabajo en laboratorio, visualización mediante microscopio estereoscópico (a) y posterior identificación taxonómica en el orden previamente establecido (b).	26
Figura 13. Gráfico boxplot sobre la abundancia de individuos a nivel taxonómico Phylum.	33
Figura 14. Composición relativa de las familias más abundantes del phylum Annelida; además, se consideran organismos identificados únicamente hasta nivel de clase.	36
Figura 15. Composición relativa de las familias más abundantes del phylum Arthropoda; además, se consideran organismos identificados únicamente hasta nivel de clase.	37
Figura 16. Composición relativa de las familias más abundantes del phylum Mollusca; además, se consideran organismos identificados únicamente hasta nivel de clase.	38
Figura 17. Gráfico boxplot del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') en individuos a nivel taxonómico phylum.	39
Figura 18. Gráfico boxplot del índice de dominancia de Simpson (D') en individuos a nivel taxonómico phylum.	41
Figura 19. Gráfico boxplot del índice de equitatividad de Pielou (J') en individuos a nivel taxonómico phylum.	43
Figura 20. Curvas de rarefacción y extrapolación de la diversidad de grupos taxonómicos por zona de estudio (intermareal y submareal).	46
Figura 21. Curvas de rarefacción y extrapolación de la diversidad de grupos taxonómicos por temporadas de estudio (verano y otoño).	47
Figura 22. Ejemplares representativos del phylum Annelida recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Amphinomidae, B) Familia Chaetopteridae, C) Familia Cirratulidae, D) Familia Euphrosinidae, E) Familia Glyceridae, F) Familia Naididae, G) Familia Nephtyidae, H) Familia Nereididae, I) Familia Sabellaridae, J) Familia Tubificidae.	84
Figura 23. Ejemplares representativos del phylum Arthropoda recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Ampithoidae, B) Familia Metridiidae, C) Familia Caprellidae, D) Familia Cymothoidae, E) Familia Dexaminidae, F) Familia Grapsidae, G) Familia Hippidae, H) Familia Ligiidae, I) Familia Limnoriidae, J) Familia Majidae, K) Familia Paguridae, L) Familia Palaemonidae, M) Familia Scalpellidae, N) Familia Sphaeromatidae, O) Familia Talitridae.	86

Figura 24. Ejemplares representativos del phylum Cnidaria recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Actiniidae, B) Familia Metridiidae.....	86
Figura 25. Ejemplares representativos del phylum Echinodermata recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Ophiactidae, B) Familia Ophiothricidae, C) Familia Strongylocentrotidae, D) Indeterminado-Clase Echinoidea.	86
Figura 26. Ejemplares representativos del phylum Mollusca recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Chaetopleuridae, B) Familia Columbellidae, C) Familia Conidae, D) Familia Epitoniidae, E) Familia Fissurellidae, F) Familia Hiatellidae, G) Familia Littorinidae , H) Familia Lottiidae, I) Familia Marginellidae, J) Familia Mytilidae, K) Familia Octopodidae, L) Familia Olividae, M) Familia Onchidorididae, N) Familia Semelidae, O) Familia Tegulidae, P) Familia Thaisidae, Q) Familia Trochidae, R) Familia Turbinidae.....	88
Figura 27. Ejemplares representativos del phylum Nemertea recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Baseodiscidae, B) Familia Carinomidae, C) Familia Lineidae, D) Familia Tubulanidae.	89
Figura 28. Ejemplares representativos del phylum Platyhelminthes recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Leptoplanidae, B) Familia Pseudoceridae.	89
Figura 29. Ejemplares representativos del phylum Platyhelminthes recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Clathrinidae, B) Familia Halichondriidae.	90

Índice de tablas

Tabla 1. Abundancia de individuos por phyla, diferenciada por zona (intermareal y submareal) y temporada (verano y otoño) en Bahía Colonet, Baja California. N = número de familias e individuos identificados de cada phyla.	32
Tabla 2. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) de los datos de abundancia por phylum.	34
Tabla 3. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H').	40
Tabla 4. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) del índice de dominancia de Simpson (D').	42
Tabla 5. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) del índice de equitatividad de Pielou (D').	44

Introducción

Los ecosistemas marinos albergan entre el 70-80% de la riqueza de especies del mundo, con características de ser altamente dinámicos y estar interconectados por múltiples redes de corrientes superficiales y profundas, proporcionando una variedad de servicios ambientales esenciales, siendo considerados como una fuente inexplorada e inagotable de recursos fundamentales para el bienestar humano, además de servir como sumidero de los residuos generados por el rápido incremento de la población y el desarrollo tecnológico (Rodríguez & Ruíz, 2010).

México se ubica geográficamente entre las influencias del océano Atlántico centro-occidental y del Pacífico centro oriental, lo que explica su vasta diversidad biológica y ecosistémica. Además, se posiciona como el décimo segundo país con mayor extensión de litorales y superficie marina, abarcando tanto la región del Pacífico mexicano, que incluye los golfos de California y Tehuantepec, como la región del Atlántico, con el Golfo de México y el Mar Caribe (Lara Lara et al., 2008).

De acuerdo con Lara y colaboradores (2008), los organismos asociados a ecosistemas marinos se clasifican como pelágicos (relacionados a las masas de agua) y bentónicos (asociados a fondos marinos), que a su vez se relacionan con los biotopos (fondos y litorales arenosos, rocosos, fondos fangosos, praderas de pastos marinos, etc.) y las biocenosis (ecosistemas de arrecifes coralinos, de manglares, bosques de macroalgas, praderas fanerógamas, etc.); asimismo, se plantea una clasificación que distingue entre la zona costera (nerítica) y la zona oceánica o marina, que dependen de su ubicación con respecto a la plataforma continental.

La zona intermareal se define como una zona de transición y adaptación con cambios extremos entre los ecosistemas terrestres y marinos, representada como una línea entre el mar y la tierra que es afectada constantemente por el ascenso y descenso de la marea. Esta dinámica influye significativamente en las especies que habitan la zona puesto que requieren adaptaciones específicas para su supervivencia. La zona intermareal (Figura 1) suele dividirse en tres secciones descritas como **supralitoral** o intermareal alto, la parte más crítica ya que solo se cubre en mareas altas; **mesolitoral** o intermareal medio, donde predominan la formación de pozas de marea, puesto que pasa menos tiempo descubierta y el **infralitoral** o intermareal bajo, ubicado bajo el nivel del mar, con la mayor diversidad biológica de la zona intermareal (Araujo et al., 2024; Escamilla, 2015).



Figura 1. Representación del intermareal en un ecosistema rocoso.

En la zona intermareal se desarrolla un ecosistema caracterizado por su alta riqueza biológica, dado que alberga una gran variedad de plantas y animales. Además, desempeña funciones ecológicas relevantes, como servir de fuente de alimentación para aves, peces y otros organismos; contribuir en la disponibilidad de nutrientes a través de los sedimentos, favorecer la productividad en la zona costera y aportar a la estabilidad y absorción del agua, protegiendo contra la erosión y tormentas que impactan severamente el litoral (Araujo et al., 2024; Pedraza, 2013).

La zona submareal, o también conocida como **sublitoral**, se identifica por ubicarse debajo de la zona intermareal. Es aquella parte del océano que no se expone en condiciones de marea baja y se extiende hasta el límite con la plataforma continental, alcanzando profundidades de hasta 200 metros (Riera et al., 2012b) (Figura 2). Esta estabilidad promueve una alta diversidad biológica y estructura ecológica, favoreciendo la formación de diversos microhábitats, como fondos rocosos o arenosos, donde se distribuyen especies adaptadas a diferentes sustratos, y nichos ecológicos, generando una alta diversidad funcional (Corgos et al., 2014).

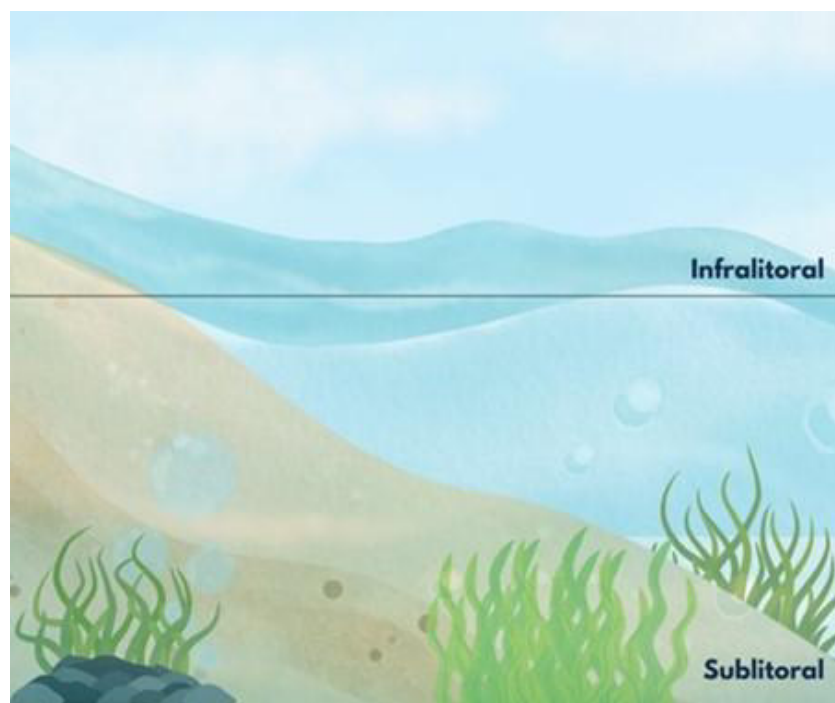


Figura 2. Transición entre el infralitoral y sublitoral.

Además, la zona submareal cumple funciones ecológicas fundamentales proporcionando hábitats como áreas de refugio y fuente de alimento. Asimismo, se destaca por mantener condiciones ambientales relativamente estables de temperatura, salinidad y presión, y por recibir una amplia incidencia de la luz solar, lo que favorece los procesos fotosintéticos y el desarrollo de comunidades bentónicas (Sebens, 1985). Debido a su nivel de productividad y diversidad biológica, es considerada como una región clave para la conservación de la fauna costera y la provisión de servicios ecosistémicos (Corgos et al., 2014).

Las costas rocosas representan uno de los ambientes más desafiantes del mundo debido a la variación de factores como la acción del oleaje, cambios extremos de temperatura, desecación durante la marea baja, disponibilidad de alimento, salinidad, y entre otros factores que favorecen el desarrollo de comunidades costeras (González, 2013; Pedraza, 2013).

En Baja California, el intermareal rocoso es uno de los ecosistemas costeros más representativos, ya que cuenta con una alta diversidad de especies. En esta región predominan las pozas de marea, las cuales se forman a partir de los sustratos rocosos por efecto de la marea baja, ofreciendo un microambiente menos estresante en comparación a superficies emergidas gracias a una baja amplitud de fluctuaciones fisicoquímicas, en comparación a los sustratos emergentes (Figura 3a) (Legrand et al., 2018; Pedraza, 2013).

Las pozas de mareas desempeñan un papel ecológico crucial en la protección de la costa, actuando como refugios temporales para diversas especies durante la marea baja y fuentes de alimentación, además de que contribuyen a prevenir la erosión costera y la reducción de la energía del oleaje, en estos microambientes existe una estrecha relación entre los factores fisicoquímicos y los procesos biológicos, lo que genera un ambiente altamente estructurado y competitivo (Figura 3b) (González, 2024; Legrand et al., 2018).



Figura 3. Representación de (a) las costas rocosas de Baja California y (b) formación de pozas de marea en la zona intermareal.

La flora y fauna intermareal se encuentran adaptados para soportar cambios bruscos como el oleaje y la desecación, debido a una alta exposición de periodos consecutivos de inmersión y emersión dependientes del oleaje. La distribución y abundancia de las especies está determinada tanto por condiciones abióticas como por interacciones biológicas como la depredación y la competencia (Legrand et al., 2018). Entre los grupos taxonómicos asociados tanto a pozas de marea como a la zona submareal se encuentran algas, equinodermos, crustáceos, poliquetos, gasterópodos, esponjas y algunos peces; los cuales se han adaptado para soportar los constantes cambios bruscos como el oleaje y la desecación, convirtiendo principalmente a los invertebrados marinos como una interesante oportunidad de estudio (Figura 4) (Araujo et al., 2024).



Figura 4. Representación de los principales grupos taxonómicos asociados tanto a pozas de marea como a comunidades bentónicas del submareal (a, b, c). Se muestran organismos pertenecientes a los phyla Mollusca (gasterópodos y bivalvos), Arthropoda (cirrípedos), Echinodermata (erizos y ofiuroides) y Cnidaria (anémonas), representando las comunidades bentónicas asociadas a fondos blandos y rocosos.

Antecedentes

El Ejido Punta Colonet (Punta Colonet) es una localidad situada en la costa meridional del municipio de Ensenada que limita con San Quintín, en el estado de Baja California (Figura 5). Esta región costera se caracteriza por su clima seco-semidesértico y su riqueza de ecosistemas, que van desde líneas costeras con cantiles y acantilados hasta extensas playas arenosas y rocosas, formadas de grava, guijarros y cantos rodados, lo que posibilita un enriquecimiento considerable de biodiversidad gracias a procesos de interacciones oceanográficas (Figura 6) (Jiménez, 2009; Santes & Riemann, 2013).

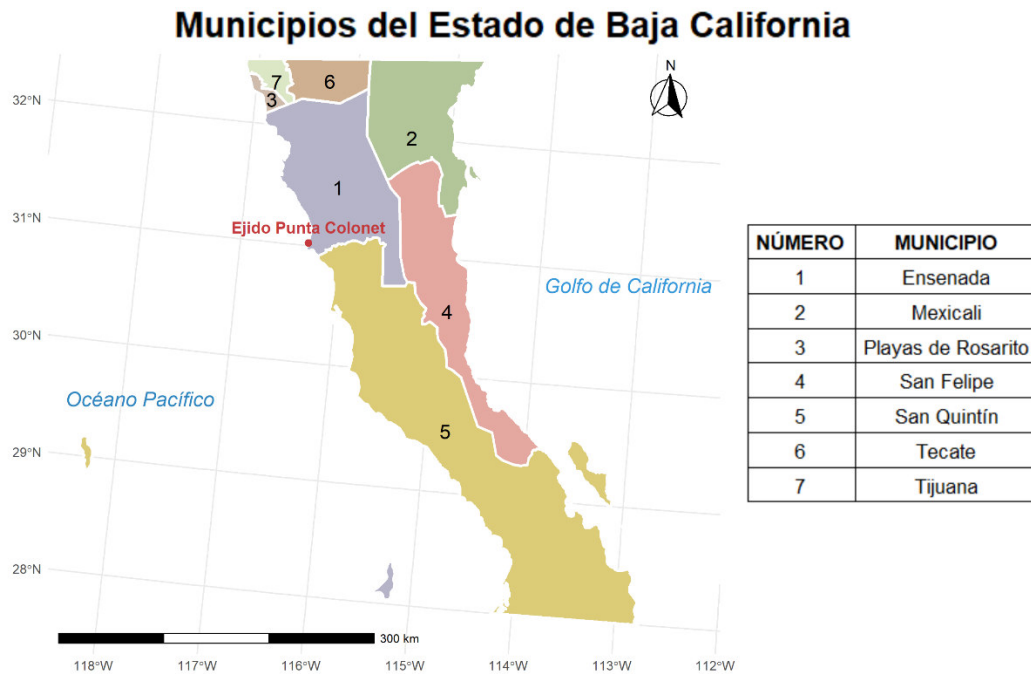


Figura 5. Ubicación geográfica de Ejido Punta Colonet.

Además, sus costas contribuyen, de manera importante, a la presencia de diversos hábitats submareales e intermareales, donde destacan la presencia de pozas de marea caracterizadas por la combinación de especies marinas templadas y subtropicales. Estas desempeñan funciones claves como interacciones ecológicas, producción de biomasa, fijación del carbono, entre otras funciones de desarrollo antropogénico (*i.e.* agricultura de riego, ganadería, pesca ribereña y de altura, aprovechamiento de recursos pétreos y turismo) (Santes & Riemann, 2013).



Figura 6. Localidad de estudio, Ejido Punta Colonet, Baja California, México.

En la región de Punta Colonet, los trabajos de investigación han sido escasos y mayormente enfocados en organismos específicos o procesos oceanográficos.

Torres y Acosta (1986), identificaron la presencia de eventos de surgencia costera y la contracorriente subsuperficial en la región de Colonet a partir de análisis de fosfatos y oxígeno disuelto, subrayando la relevancia oceanográfica de la zona.

Escudero (2015), caracterizó la diversidad taxonómica y genética del género *Branchinecta* (Phylum Arthropoda → Clase Branchiopoda → Orden Anostraca) en pozas temporales del norte de Baja California, incluyendo Punta Colonet, enfocándose en especies endémicas como *Branchinecta sandiegonensis*. Su trabajo evidenció una fuerte estructuración genética a nivel regional, con baja diversidad y alta conectividad local, aspectos clave para la conservación de estos hábitats efímeros.

Asimismo, Gálvez (2024), estudió la variación estacional y espacial de eufáusidos frente a Punta Banda y Punta Colonet, encontrando diferencias significativas entre fases de desarrollo larval asociadas a condiciones oceanográficas como La Niña, con implicaciones importantes para entender patrones de distribución del zooplancton.

Finalmente, la investigación de González (2024), enfocada en el estudio de caracterización y ensamblaje de peces asociados a la costa y bosques de kelp en Punta Colonet, representan los pocos estudios realizados en esta área, particularmente en pozas de marea.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se enfoca en la caracterización de fauna submareal e intermareal presente en las pozas de marea de la región, contribuyendo al conocimiento de estos ecosistemas y su importancia ecológica.

La diversidad biológica constituye una medida clave para caracterizar la estructura y funcionalidad de las comunidades biológicas, haciendo referencia a la variedad de unidades presentes tanto en una determinada escala (*i.e.* localidad, paisaje, región) como en un nivel de organización biológica (*i.e.* poblaciones, comunidades, ecosistemas), que se compone de tres elementos: 1) riqueza (número de unidades taxonómicas), 2) abundancia (número de individuos por unidad taxonómica, y 3) composición (identidad de las unidades). Cabe resaltar que, la riqueza es considerada como una medida de diversidad empleada de acuerdo con el nivel de organización o escala de interés, siendo empleado en estudios de ecología de comunidades y biodiversidad (Cultid & Escobar, 2019).

Justificación

La investigación sobre ecosistemas marinos es fundamental para comprender procesos ecológicos que regulan la distribución, adaptación y dinámica de las comunidades que lo habitan. Las zonas intermareal y submareal se caracterizan por presentar condiciones físicas contrastantes: mientras que las pozas de marea enfrentan variaciones extremas de temperatura, salinidad, oxigenación y exposición, los fondos submareales ofrecen un entorno más estable.

Bahía Colonet, ubicada en la costa occidental de Baja California, destaca como un área de relevancia ecológica por su heterogeneidad estructural, condiciones oceanográficas particulares y escasa intervención humana. Este estudio constituye el primer análisis comparativo entre ambas zonas de la región, enfocándose en invertebrados marinos, organismos particularmente sensibles a cambios ambientales y útiles como indicadores ecológicos.

Hipótesis

La diversidad y riqueza de invertebrados en la zona submareal es mayor que en los microhábitats de la zona intermareal debido a la estabilidad ambiental. Entonces, en bahía Colonet, al destacar su heterogeneidad estructural, relevancia ecológica y condiciones oceanográficas particulares, que favorecen al desarrollo de comunidades marinas, no se esperaría una diferencia entre temporadas y zonas.

Objetivos

1. Objetivo general

Analizar y comparar la diversidad y riqueza de especies de invertebrados en la zona submareal y en la zona intermareal de bahía Colonet, durante las temporadas de verano y otoño, con el fin de evaluar el efecto de la estabilidad ambiental en la distribución y abundancia de las comunidades biológicas.

2. Objetivos específicos

- Identificar taxonómicamente las especies de invertebrados presentes en la zona submareal e intermareal durante las temporadas de verano y otoño.
- Comparar la diversidad y riqueza de especies entre la zona submareal e intermareal en ambas temporadas.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Bahía Colonet se localiza aproximadamente 130 kilómetros (km) al sur del centro de la población de Ensenada, en el estado de Baja California. Se encuentra delimitado al norte por Punta Colonet y al sur por Punta San Telmo (Cuatro Casas), dentro del litoral del Pacífico mexicano (Figura 7). Esta región se conforma principalmente por bloques de roca volcánica basáltica y andesítica, en donde la costa se destaca por su particular formación de guijarros y cantos rodados, y con pocas zonas arenosas. Además, se caracteriza por conectar con dos arroyos: 1) San Rafael, que nace de la Sierra Juárez y se mueve hacia el suroeste, desembocando al norte de la bahía y fluye solo durante la temporada de lluvias que ocurre en invierno (diciembre a febrero); y 2) San Telmo, que nace de la Sierra de San Pedro Mártir, formando afluentes en sus corrientes que se dirigen hacia el suroeste de Colonet y desembocan al sur de la bahía (Jiménez, 2009; Santes & Riemann, 2013).

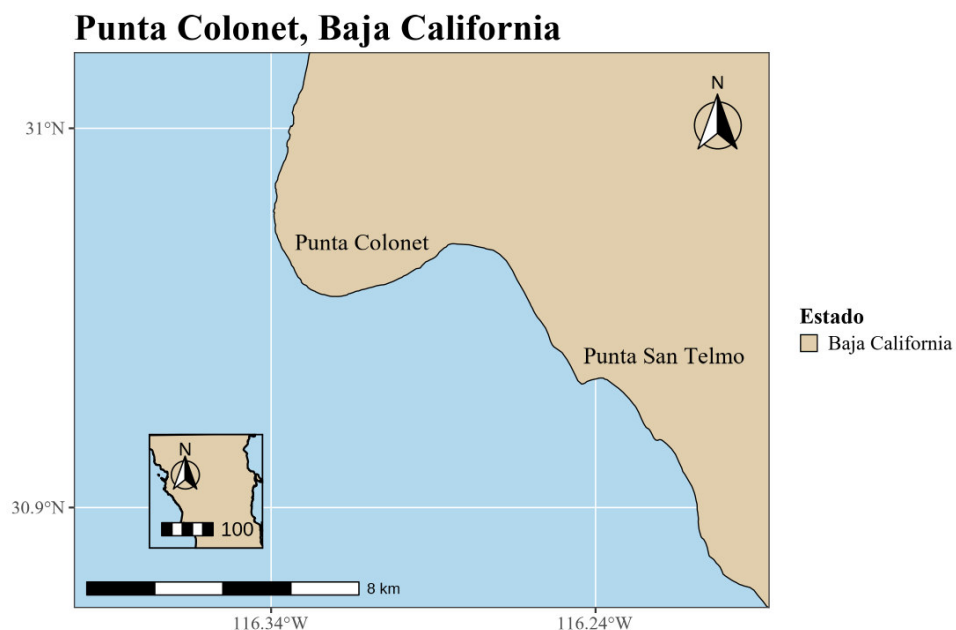


Figura 7. Representación cartográfica de la región costera de Punta Colonet, Baja California.

Trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en la región costera de la bahía Colonet. Esta área forma parte de la Región Marina Prioritaria número 1 ‘Ensenadense’, de acuerdo con la clasificación biogeográfica de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2025a). Esta región comprende parte del litoral de Baja California, delimitada entre los 32°31'48" y 29°45'36" N de latitud, y los 117°58'12" y 115°42' O de longitud, con una extensión aproximada de 27, 453 km² (CONABIO, 2025b). Además, se encuentra georreferenciado por el sistema de proyección UTM (Universal Transverse Mercator), en la zona 11N y bajo el datum horizontal WGS84 (EPSG.io, 2025).

Se llevaron a cabo dos muestreos correspondientes a las temporadas de verano (julio) y otoño (octubre) de 2023. Para la zona intermareal, las salidas se realizaron los días 14, 15 y 20 de julio de 2023, así como el 9, 10, 11 y 12 de octubre de 2023, a lo largo de la bahía Colonet y Punta San Telmo, lugar donde predomina la formación de pozas de marea (Figura 8).

Las jornadas de trabajo se efectuaron aproximadamente entre las 12:00 y 17:00 h, coincidiendo con los periodos de marea baja (picos entre las 13:30 y 15:10 h), según los registros de los calendarios gráficos mensuales de mareas proporcionados por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) para maximizar la exposición del intermareal y condiciones óptimas de colecta.

En el caso de la zona submareal, el muestreo se realizó los días 11 y 12 de julio de 2023, y 13 y 14 de octubre de 2023 a lo largo de la bahía (Figura 8). Las actividades se desarrollaron a lo largo de toda la jornada diurna y nocturna, sin un horario fijo, debido a las condiciones de navegación y logística en mar abierto.

Distribución espacial de los sitios de muestreo en Bahía Colonet, Baja California

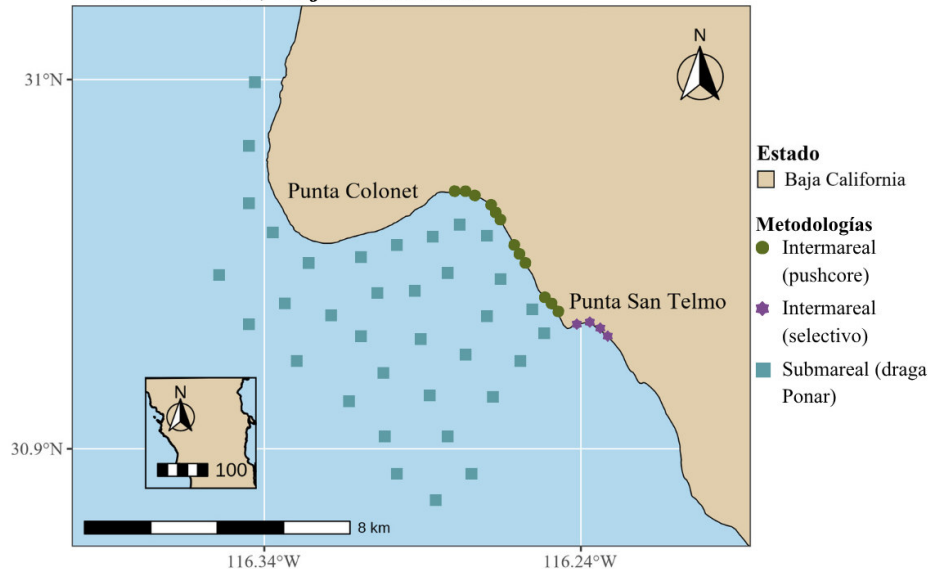


Figura 8. Ubicación de los sitios de muestreo y técnicas empleadas (pushcore, selectivo y draga Ponar) en la costa de Punta Colonet.

1. Zona intermareal (pozas de marea)

La recolección de muestras se llevó a cabo en condiciones de marea baja para cada temporada (verano y otoño) en los días establecidos, aplicando dos metodologías:

- Muestreo selectivo: se recolectaron organismos basándose en características como tamaño, color, cobertura o considerando un grupo taxonómico de interés (Figura 9a).
- Muestreo de sedimento: empleando la técnica manual núcleo de presión “pushcore” para coleccionar 1 l de volumen de sedimento, tomando tres réplicas por unidad de muestreo del infralitoral, es decir, cuando la parte más baja de la costa se encontraba expuesta (Figura 9b-c). Cada muestra se filtró en tamices con luz de malla de 0.05 milímetros (mm).



Figura 9. Trabajo de campo en la zona intermareal: muestreo selectivo (b) y muestreo manual mediante núcleo de presión (b-c).

2. Zona submareal

Mediante cruceros costeros durante las temporadas de verano y otoño; se empleó una draga Ponar para la recolección de muestras, donde se realizaron entre 1-3 lances desde la embarcación en 35 estaciones a profundidades entre 10 y 60 m aproximadamente (Figura 10). El sedimento fue tamizado en campo utilizando tamices con luz de malla de 0.05 milímetros (mm).



Figura 10. Trabajo de campo en la zona submareal (crucero) donde se tomaron muestras usando draga Ponar.

Para cada metodología, las muestras colectadas fueron fijadas en formol al 10% para su preservación temporal, y almacenadas en frascos de plástico debidamente etiquetadas con código, fecha y coordenadas geográficas.

Trabajo de laboratorio

Las muestras recolectadas y fijadas en formol al 10%, fueron transferidas en alcohol al 70% para su preservación prolongada (Figura 11 a-b). Para realizar la identificación de taxones se realizó utilizando equipo de disección especializado (bisturí, pinzas finas, agujas de insulina, cucharillas, etc.), y se emplearon cajas de Petri para una manipulación cómoda bajo el microscopio estereoscópico. La primera separación preliminar se hizo agrupando los organismos por semejanza morfológica a nivel de phylum y clase (Figura 12 a-b).



Figura 11. Representación del trabajo en laboratorio, los organismos previamente fijados en alcohol 96% se limpian para comenzar con su identificación taxonómica (a) y posteriormente su preservación en alcohol 70% (b).

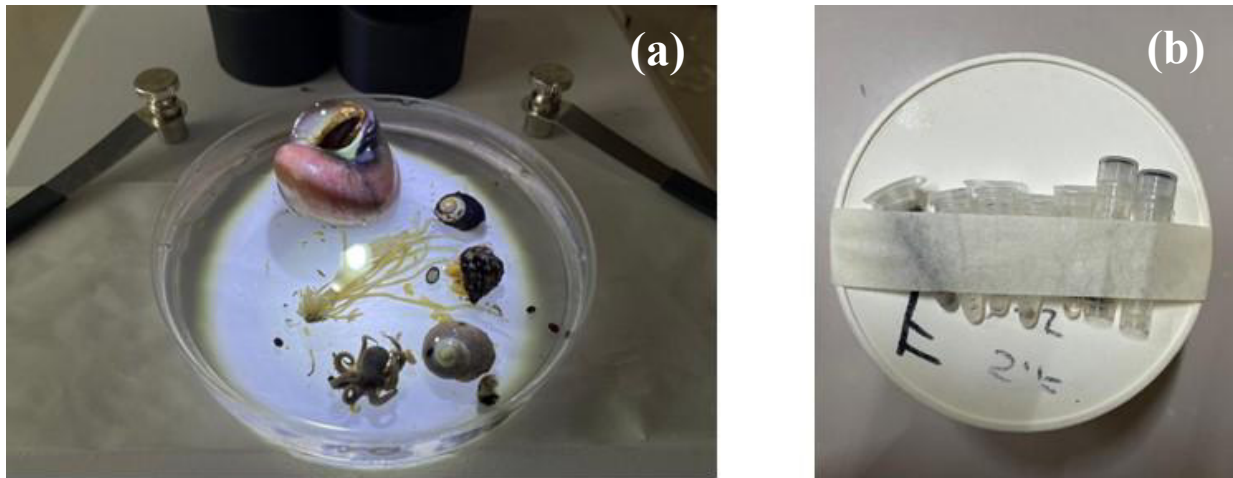


Figura 12. Representación del trabajo en laboratorio, visualización mediante microscopio estereoscópico (a) y posterior identificación taxonómica en el orden previamente establecido (b).

La identificación taxonómica se realizó principalmente por morfología externa, usando literatura especializada como Brusca y Brusca (2003); Mille, Parra y Pérez (1993); Morris, Abbott y Haderlie (1980); y Bertsch y Aguilar (2016). Para corroborar la correcta identificación taxonómica, se complementó con el Listado del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de Invertebrados (CONABIO, 2025) filtrando y seleccionando los datos que pertenezcan únicamente a la región 11N, previamente georreferenciados por el sistema UTM (Universal Transverse Mercator), y complementando con la base de datos World Register of Marine Species (WoRMS, <https://www.marinespecies.org/>).

Finalmente, la información recopilada fue registrada en una base de datos estructurada en el programa Excel. Inicialmente se clasificaron por tipo de muestreo (selectivo, pushcore, draga) y se codificaron según la etiqueta de campo. Posteriormente, se organizaron de acuerdo con su jerarquía taxonómica (Phylum → Clase → Orden → Familia). Este inventario también sirvió como una base para elaborar un listado taxonómico de referencia (**Anexo 1**) y un catálogo taxonómico (**Anexo 2**).

Análisis de datos

Con el objetivo de evaluar la estructura, diversidad y composición de las comunidades bentónica en función de la temporada y las zonas de estudio, se aplicaron los índices ecológicos como el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, el Índice de Dominancia de Simpson y el Índice de Equitatividad de Pielou; los análisis se realizaron mediante el uso del software estadístico *RStudio* (R Core Team, 2025), utilizando paqueterías como *Vegan* (Oksanen et al., 2025), *BiodiversityR* (Kindt, 2025), *Ggplot2* (Wickham et al., 2016) y *iNEXT* (Hsieh et al., 2016).

Para visualizar la diversidad esperada entre zonas y temporadas bajo diferentes órdenes de diversidad (Hill $q = 0, 1$ y 2), se generaron curvas de interpolación y extrapolación (*iNEXT*) basadas en el número de individuos y cobertura de muestra. Los resultados obtenidos se interpretaron a partir de su significancia ecológica, respaldados por el análisis de normalidad y homocedasticidad, con el fin de detectar diferencias entre zonas, temporadas y phyla predominantes.

Sobre la utilización de los métodos empleados para medir la riqueza de especies se encuentra el Índice de Shannon-Wiener (1948) para medir la diversidad específica de una comunidad, considerando factores como la equitatividad y la abundancia; Índice de Simpson (1949), que se utiliza para determinar el dominio de ciertas especies en el ecosistema y el Índice de Equitatividad de Pielou (1966), que mide el grado de distribución de las especies dentro de una comunidad. Estos índices permiten obtener información sobre la estructura de una comunidad biológica (Cultid & Escobar, 2019; Pineda, 2019).

El Índice de Shannon-Wiener (H') es una medida que integra tanto la equitatividad como la abundancia, y se expresa como:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Donde:

- S es el número total de especies (o familias).
- p_i representa la proporción de individuos de la especie i respecto al total.

Este índice es sensible a la presencia de especies raras y refleja la incertidumbre esperada al predecir la identidad de un individuo extraído al azar. En comunidades con valores altos de H' , la diversidad es mayor porque existe un mayor número de taxones distribuidos de manera relativamente equitativa (Cultid & Escobar, 2019).

El Índice de Simpson (D') se enfoca en la dominancia, calculando la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, y se expresa como:

$$D' = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde:

- S es el número total de especies (o familias).
- p_i representa la proporción de individuos de la especie i respecto al total.

En este caso, el índice es más sensible a las especies dominantes y menos afectado por las extrañas. Para facilitar su interpretación como una medida de diversidad efectiva, se emplea la transformación $1-D'$ (diversidad de Simpson) o $1/D'$ (número efectivo de especies de orden $q = 2$). Valores cercanos a 0 indican alta diversidad y equitatividad, mientras que valores próximos a 1 indican que una sola especie domina la comunidad (Cultid & Escobar, 2019).

El Índice de Equitatividad de Pielou (J') deriva de H' y evalúa cuán equitativamente se distribuyen los individuos entre las unidades taxonómicas presentes, y se expresa como:

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Donde:

- H' es el índice de Shannon-Wiener.
- S es el número total de especies (o familias).

Este índice toma valores entre 0 y 1; un valor de 1 indica una distribución perfectamente equitativa, donde todos los taxones tienen la misma abundancia. Es útil particularmente para distinguir si una comunidad altamente diversa también presenta una distribución balanceada entre sus taxones o sí, por el contrario, hay dominancia de unos pocos grupos (Cultid & Escobar, 2019).

Asimismo, el análisis *iNEXT* (iNterpolation and EXTrapolation; 2016) basado en la interpolación y extrapolación de curvas, se caracteriza por presentar dos enfoques estadísticos (asintóticos y no asintóticos) que permiten estimar y comparar la diversidad de especies en muestras estandarizadas, con tamaños de muestras comunes o complejos. Este enfoque se basa en curvas de rarefacción y extrapolación (R/E) y en los números de Hill ($q = 0, 1, 2$), donde dichos números se parametrizan mediante el orden q , determinando la sensibilidad del índice a la abundancia relativa de las especies (Hsieh et al., 2016; Jost, 2006). Donde los órdenes q como presentan los valores:

- $q = 0$: riqueza de especies pura, cuenta a todas las familias o especies por igual sin considerar su abundancia.
- $q = 1$: diversidad de Shannon-Wiener (exponencial de H'), pondera a las especies por su abundancia proporcional, dando peso a las especies más comunes.
- $q = 2$: diversidad de Simpson (inversa de D'), que da mayor peso a las especies dominantes.

Expresándose en su fórmula general:

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Donde:

- S es el número total de especies (o familias).
- p_i representa la proporción de individuos de la especie i respecto al total.

A partir de estos enfoques es posible comparar comunidades con diferentes tamaños de muestra entre variables mediante curvas de rarefacción (interpolación) y extrapolación, así como evaluar la cobertura de la muestra (*sample coverage*) estimada de la comunidad total representada. Además, permite trabajar con dos tipos de datos: 1) datos de abundancia, que se refiere al recuento de individuos por familia o especie, y 2) datos de incidencia, es decir, presencia/ausencia por unidad de muestreo. A partir de ello, es posible obtener tres tipos de curvas: 1) curvas basadas en el tamaño de muestra (*sample-size-based*), que muestran cómo se acumula la diversidad esperada conforme aumenta el número de individuos o unidades muestreadas; 2) curvas basadas en cobertura (*coverage-based*), que estandarizan la comparación considerando el grado de completitud de la muestra, principalmente útiles cuando hay desigualdad en la detectabilidad de especies y; 3) curvas de completitud de muestra, que distingue la relación entre el tamaño de la muestra y la cobertura estimada (Cultid & Escobar, 2019; Hsieh et al., 2016).

En el presente estudio estos índices ecológicos son fundamentales para evaluar la estructura de las comunidades bentónicas de la bahía Colonet, permitiendo contrastar la diversidad, equitatividad y dominancia entre zonas (intermareal *versus* submareal) y temporadas (verano *versus* otoño), así como corroborar patrones estructurales clave que reflejen la dinámica ecológica local.

Para verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad en la distribución de datos de abundancia por phyla, se aplicaron las pruebas estadísticas de Shapiro-Wilk y Anderson-Darling. La prueba de Shapiro-Wilk es utilizada por su alta sensibilidad con muestras pequeñas y moderadas, logrando detectar desviaciones de normalidad en datos ecológicos. Por otro lado, la prueba de Anderson-Darling se basa en una comparación acumulativa de la función de distribución empírica frente a la distribución normal teórica, dando un mayor peso a las colas de la distribución. Al utilizar ambas pruebas de manera complementaria, se obtiene una evaluación más robusta y precisa de la normalidad de los datos (Mohd & Yap, 2011).

Resultados

1. Análisis de abundancia y riqueza taxonómica

Con base a las metodologías empleadas en la zona intermareal (muestreo selectivo y núcleo manual de presión “pushcore”) y zona submareal (lances en embarcaciones con draga Ponar), se identificaron un total 13 phyla en las comunidades marinas de la bahía Colonet (Tabla 1), siendo identificados taxonómicamente a nivel de familia (**Anexo A**, Tabla 1A-13A).

Tabla 1. Abundancia de individuos por phyla, diferenciada por zona (intermareal y submareal) y temporada (verano y otoño) en Bahía Colonet, Baja California. N = número de familias e individuos identificados de cada phyla.

Phylum	Zona Intermareal				Zona Submareal			
	N individuos		N familias		N individuos		N familias	
	Verano	Otoño	Verano	Otoño	Verano	Otoño	Verano	Otoño
1. Annelida	913	82	17	6	1,366	131	40	4
2. Arthropoda	564	36	18	4	794	243	18	3
3. Brachiopoda	-	-	-	-	14	-	2	-
4. Bryozoa	-	-	-	-	4	-	1	-
5. Cnidaria	15	-	2	-	9	-	2	-
6. Echinodermata	13	-	4	-	73	11	9	1
7. Mollusca	297	31	21	3	387	89	34	5
8. Nematoda	-	3	-	1	40	-	1	-
9. Nemertea	40	-	5	-	107	-	1	-
10. Phoronida	-	-	-	-	1	-	1	-
11. Platyhelminthes	7	-	2	-	-	3	-	1
12. Porifera	3	-	2	-	2	-	-	-
13. Priapulida	-	-	-	-	2	-	1	-
Σ	1,852	152	71	14	2,799	477	110	14

Se contabilizaron 5,280 individuos y 209 familias, con una mayor representación en la zona submareal (3,276 individuos, 124 familias), superando a la zona intermareal (2,004 individuos, 85 familias), lo que sugiere que las condiciones ambientales más estables y menos expuestas a las fluctuaciones físicas favorecen la diversidad biológica en esta zona.

Este patrón también se mostró en la temporalidad, en el verano se registraron 4, 651 individuos y 181 familias, mientras que en otoño los valores disminuyeron significativamente en 629 individuos y 28 familias.

Esta diversidad relativa en la temporada de verano, particularmente en la zona submareal, podría estar relacionada con factores ambientales como la temperatura, la disponibilidad de recursos, los ciclos reproductivos de grupos dominantes y las condiciones oceanográficas estacionales. En la figura 13, se visualiza la distribución de la abundancia total de individuos por phylum, resaltando las diferencias entre grupos dominantes y aquellos con una representación mínima.

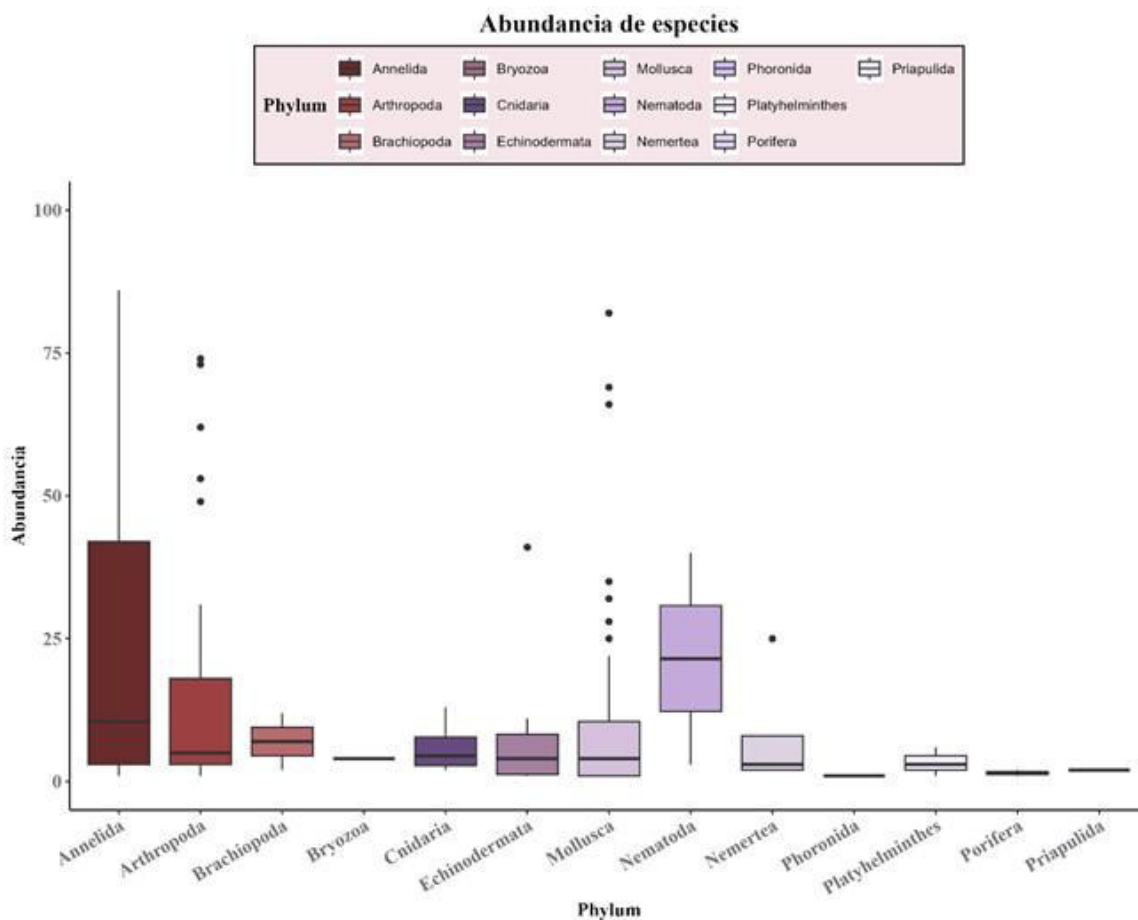


Figura 13. Gráfico boxplot sobre la abundancia de individuos a nivel taxonómico Phylum.

Los phyla Annelida, Arthropoda y Mollusca, representaron medianas y rangos intercuartiles altos, indicando una alta abundancia y dominancia de los tres grupos. En contraste, phyla como Phoronida, Porifera y Priapulida, mostraron valores muy bajos, lo que refleja que estuvieron representados por pocos individuos y con una ocurrencia reducida en las muestras.

Los resultados de las pruebas estadísticas de Shapiro-Wilk y Anderson Darling indicaron que los datos no siguen una distribución normal en ninguno de los phyla evaluados, por lo que no se consideró adecuado aplicar pruebas paramétricas (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) de los datos de abundancia por phylum.

Phylum	n	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling
Annelida	67	8.29 e^{-15}	3.7 e^{-24}
Arthropoda	43	5.27 e^{-11}	1.59 e^{-15}
Cnidaria	4	3.29 e^{-15}	NA^*
Echinodermata	14	2.66 e^{-5}	9.68 e^{-6}
Mollusca	63	3.49 e^{-14}	3.7 e^{-24}
Nemertea	6	1.64 e^{-5}	NA^*
Platyhelminthes	3	7.8 e^{-3}	NA^*

Para evaluar el supuesto de homogeneidad de varianzas entre los phyla, se utilizó la prueba de Levene, utilizada para comprobar si varios grupos presentan varianzas similares cuando los datos no siguen una distribución normal, determinando si las diferencias observadas entre los grupos pueden atribuirse a una varianza diferencial (Gastwirth et al., 2009).

La prueba de Levene mostró homogeneidad de varianzas ($p = 0.7102$; $gl = 12$; $F = 0.7409$), por lo que se optó utilizar pruebas no paramétricas más robustas ante la ausencia de normalidad.

Dado que los datos de abundancia no cumplieron con el supuesto de normalidad, pero mostraron homogeneidad de varianzas, se optó por aplicar la prueba de Kruskal-Wallis. Esta prueba es la alternativa no paramétrica al ANOVA de una vía y permite comparar si existen diferencias significativas en la distribución de una variable continua entre más de dos grupos independientes (McDonald, 2014). A diferencia del ANOVA, Kruskal-Wallis no requiere que los datos sigan una distribución normal ni que tengan varianzas iguales, por lo que es especialmente útil en estudios ecológicos donde los datos suelen presentar alta variabilidad.

La prueba de Kruskal-Wallis reveló diferencias significativas en la abundancia entre phyla ($\chi^2 = 26.486$; $gl = 12$; $p = 0.0092$), por lo que fue necesario aplicar una prueba post hoc para identificar entre qué phyla se presentaban dichas diferencias. Se utilizó el test de Dunn, una prueba no paramétrica adecuada para realizar comparaciones múltiples entre pares de grupos tras un resultado significativo en Kruskal-Wallis, evaluando diferencias en las medianas sin asumir distribución normal ni igualdad de varianzas. Se aplicó con corrección de Holm para ajustar el valor de significancia y reducir el riesgo de errores tipo I asociados a las múltiples comparaciones (Dinno, 2024).

Se identificó una diferencia significativa entre los phylum Annelida y Mollusca ($p = 0.0101$), lo que refuerza el patrón observado de dominancia ecológica en la abundancia relativa de estos grupos. Estos resultados coinciden con el patrón visual observado en la figura 13, donde Annelida, Arthropoda y Mollusca mostraron mayores medianas y amplitudes intercuartílicas de abundancia, mientras que phyla como Phoronida, Porifera y Priapulida se registraron con

abundancias bajas y consistentes, lo que evidencia una estructura comunitaria dominada por pocos grupos taxonómicos y la presencia limitada de otros.

En el phylum Annelida, se identificaron 37 familias y, además, se registraron organismos pertenecientes a 4 clases cuya identificación taxonómica no pudo ser precisada a nivel familia. Las familias que destacan en abundancia (número de individuos) fueron Spionidae (638), Sabellariidae (459), Opheliidae (117), Paraonidae (117); seguidas por Clase Polychaeta (99), Chaetopteridae (95), Nereididae (93), Nephtyidae (89), Capitellidae (80), Syllidae (73) Cirratulidae (72), Clase Sipuncula (70), Naididae (55). Las familias restantes constituyen una proporción no significativa debido a que poseen abundancias menores (Figura 14).

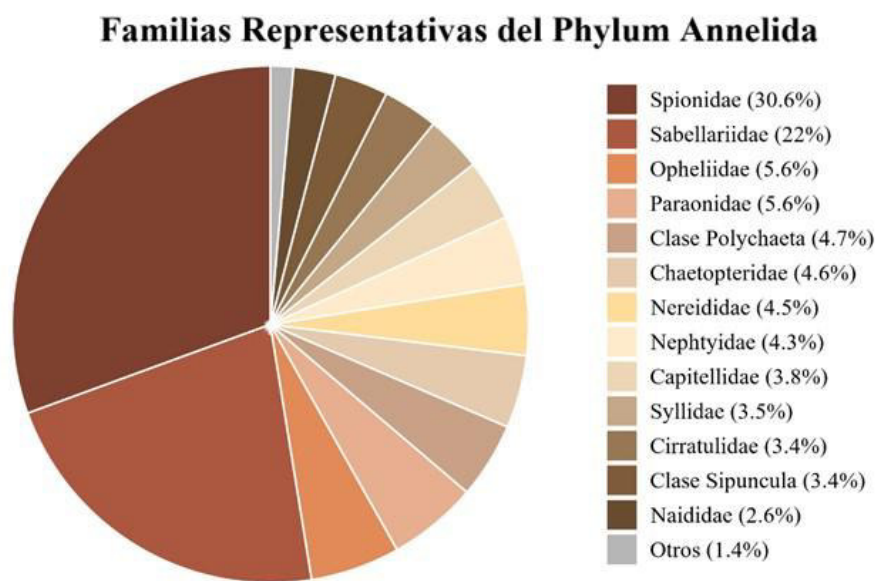


Figura 14. Composición relativa de las familias más abundantes del phylum Annelida; además, se consideran organismos identificados únicamente hasta nivel de clase.

En el phylum Arthropoda, se registraron 22 familias y 5 clases sin identificación taxonómica a nivel familia, donde resaltan Clase Malacostraca (871), Ampithoidae (287), Philomedidae (113); seguidas Hippidae (81), Munnidae (49), Sphaeromatidae (38) e Isaeidae (29), evidenciando un patrón de dominancia similar al observado en el phylum Annelida (Figura 15).

En el phylum Mollusca, se registraron 45 familias y 2 clases sin identificación taxonómica a nivel familia, sobresaliendo Mytilidae (210), Tellinidae (101); seguida Lottiidae (82), Littorinidae (69), Clase Bivalvia (53), Trochidae (34), Columbelloidae (31) y Olividae (25), así como una proporción significativas en familias con abundancias menores (Figura 16).

Familias Representativas del Phylum Arthropoda

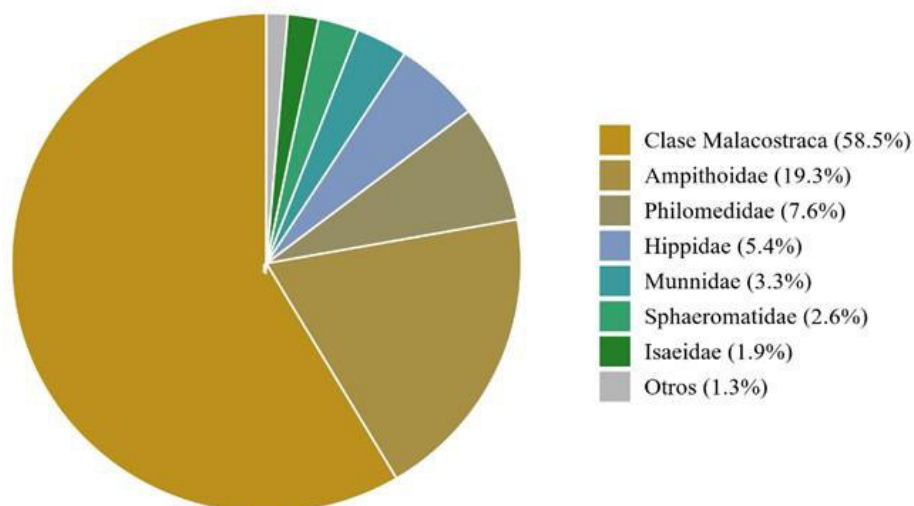


Figura 15. Composición relativa de las familias más abundantes del phylum Arthropoda; además, se consideran organismos identificados únicamente hasta nivel de clase.

Familias Representativas del Phylum Mollusca

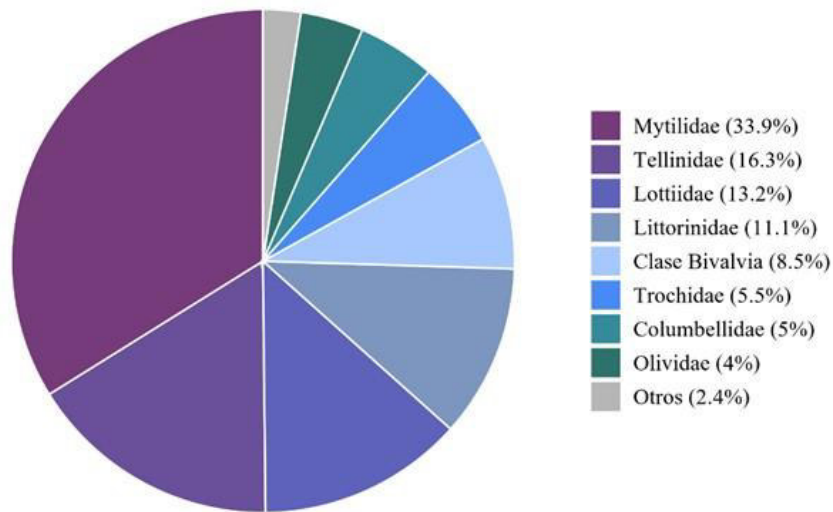


Figura 16. Composición relativa de las familias más abundantes del phylum Mollusca; además, se consideran organismos identificados únicamente hasta nivel de clase.

Estos resultados reflejan un patrón de dominancia donde pocas familias concentran la mayor parte de los individuos, mientras que otros únicamente lograron ser clasificados hasta nivel clase, debido a su estado de conservación y pérdida de características morfológicas que permitían su posible identificación.

2. Índices ecológicos

El análisis del Índice de Shannon-Wiener (H'), permitió evaluar la diversidad específica de los phyla registrados. Los resultados muestran que Annelida, Arthropoda y Mollusca obtuvieron los valores más altos, lo cual indica una notable diversidad y resalta su función fundamental entre las comunidades marinas.

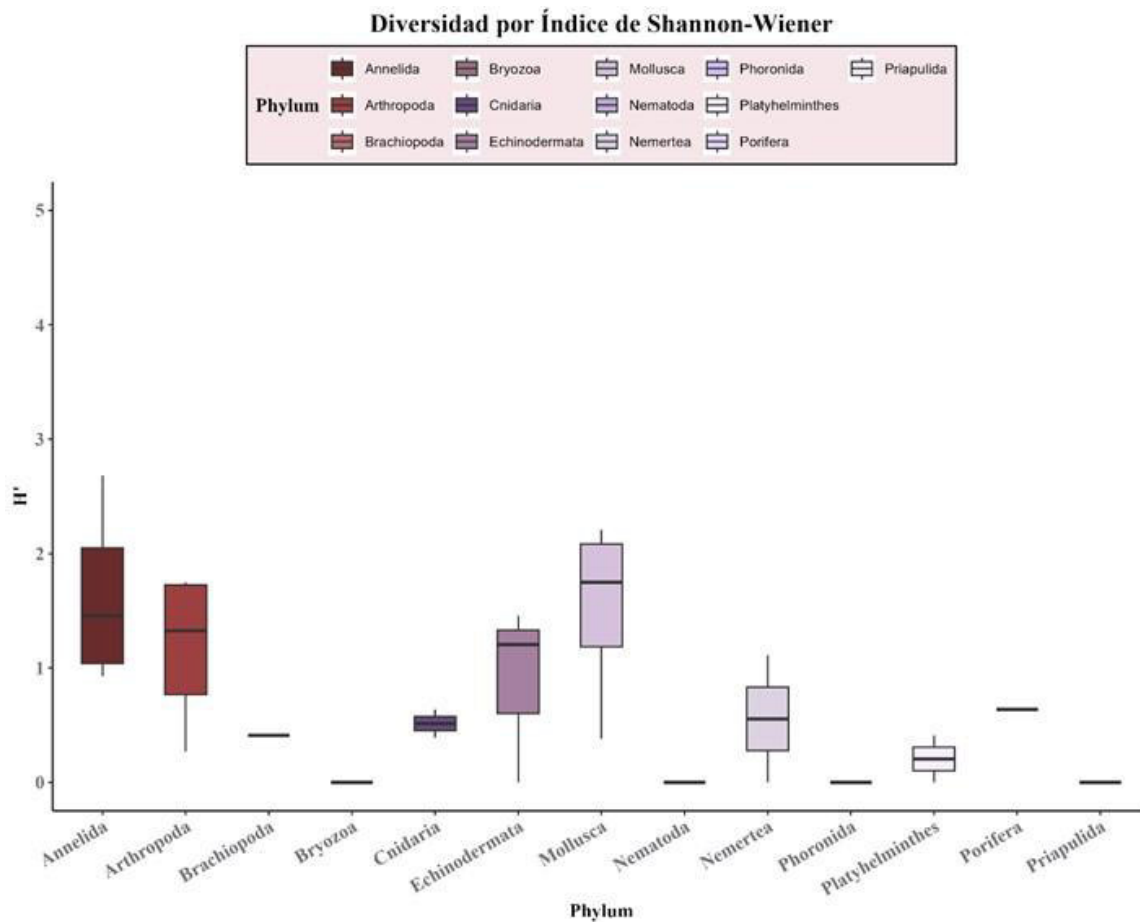


Figura 17. Gráfico boxplot del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') en individuos a nivel taxonómico phylum.

Por otro lado, phyla como Bryozoa, Nematoda, Phoronida y Priapulida, tuvieron valores bajos, sugiriendo menor diversidad y diferencias en la distribución de familias (Figura 17).

Se evaluó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y Anderson-Darling, resultando valores de $p > 0.05$ para los phyla con al menos cuatro observaciones (Tabla 3), lo que sugiere una distribución normal en esos grupos; sin embargo, debido al tamaño de muestra reducido y a que los phyla restantes presentaron $n < 3$, no fue posible aplicar con fiabilidad pruebas paramétricas. Por este motivo, se optó por utilizar un enfoque no paramétrico.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) del índice de diversidad de Shannon-Wiener (H').

Phylum	n	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling
Annelida	4	0.4807	NA*
Arthropoda	4	0.3236	NA*
Mollusca	4	0.4017	NA*

La prueba de Levene mostró homogeneidad de varianzas entre grupos ($p = 0.5093$, $gl = 12$; $F = 0.9758$), lo que indica que la dispersión de los datos fue comparable entre phyla.

Posteriormente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para evaluar si existían diferencias significativas entre los distintos phyla, obteniéndose un valor de $\chi^2 = 15.676$, $gl = 12$ y $p = 0.2066$, lo que indica que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos taxonómicos analizados. En consecuencia, no se procedió con pruebas de comparaciones múltiples post hoc.

Estos resultados sugieren que, aunque algunos phyla presentaron mayores valores de diversidad, las diferencias observadas no fueron suficientes para considerarse estadísticamente significativas, lo que puede estar influido por el tamaño limitado de muestra en varios grupos.

El Índice de Simpson (D'), permitió evaluar la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie o familia. Los resultados muestran que Echinodermata y Mollusca, obtuvieron valores intermedios, esto indica comunidades diversas y con moderada dominancia, es decir, sin que una única familia predomine ampliamente.

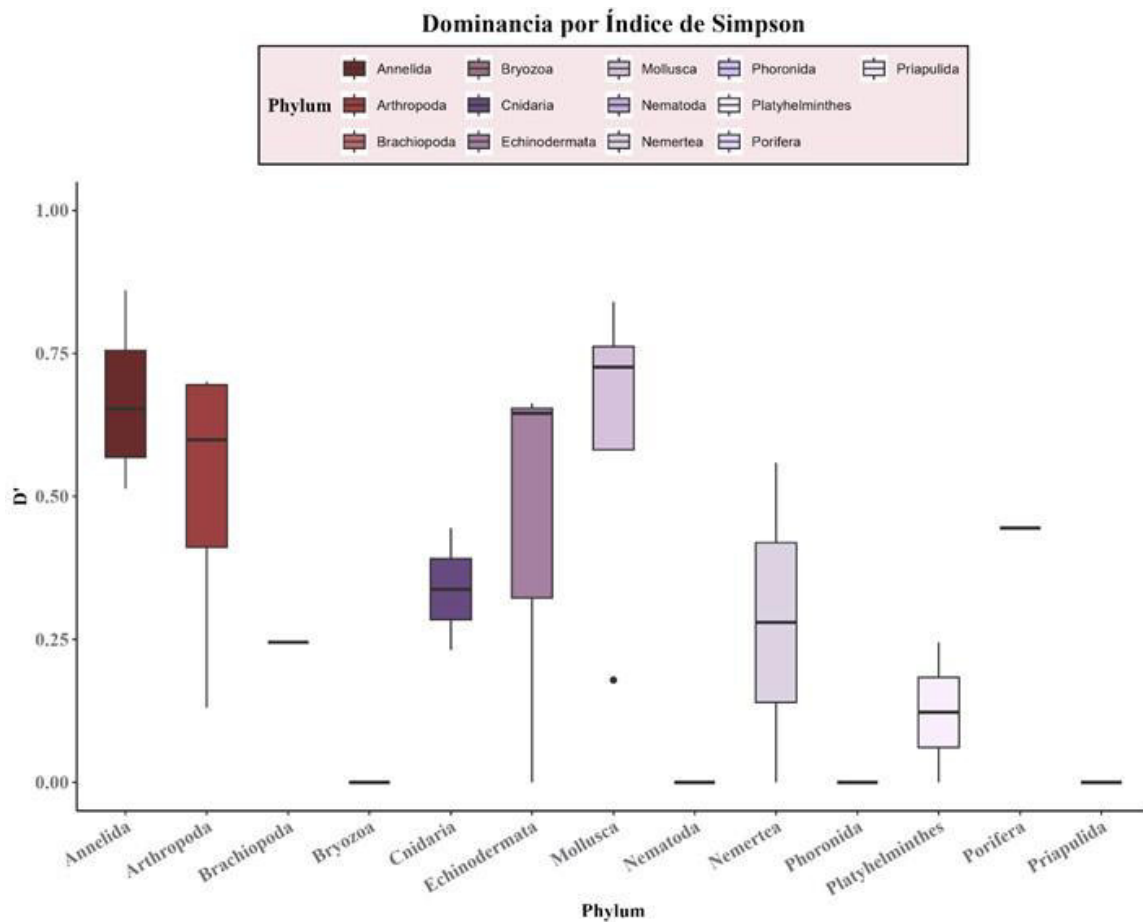


Figura 18. Gráfico boxplot del índice de dominancia de Simpson (D') en individuos a nivel taxonómico phylum.

Mientras tanto, Annelida, y Arthropoda mostraron valores más elevados y dispersos, indicando que algunos datos estuvieron dominados por familias abundantes. Por otro lado, phyla como Brachipoda, Bryozoa, Nematoda, Phoronida, Porifera y Priapulida, presentaron valores por debajo del rango 0.5, indicando una dominancia baja, moderada y poca distribución equitativa (Figura 18).

Se evaluó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y Anderson-Darling (Tabla 4), sin embargo, debido al tamaño de muestra reducido, no fue posible aplicar con fiabilidad pruebas paramétricas.

Tabla 4. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) del índice de dominancia de Simpson (D').

Phylum	n	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling
Annelida	4	0.8254	NA*
Arthropoda	4	0.1861	NA*
Mollusca	4	0.0837	NA*

La prueba de Levene mostró homogeneidad de varianzas entre grupos ($p = 0.9154$; $gl = 12$; 0.4496 , $F = 0.4496$), la prueba de Kruskal-Wallis dio como resultado un valor de $\chi^2 = 16.513$, $gl = 12$ y $p = 0.1689$, lo que indica que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. No se procedió con pruebas de comparaciones múltiples post hoc.

A pesar de que algunos phyla mostraron visualmente niveles distintos de dominancia, el análisis estadístico no encontró diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que, la dominancia taxonómica dentro de los grupos es relativamente homogénea. Por tanto, aunque los valores individuales del índice de Simpson pueden reflejar comunidades dominadas por una o varias familias, estas diferencias no fueron suficientes para ser confirmadas estadísticamente debido al tamaño desigual de muestra entre grupos.

El índice de equitatividad de Pielou (J') permitió evaluar cuán uniformemente están distribuidos los individuos entre las familias dentro de cada phylum.

Los resultados muestran que Annelida, Echinodermata, Mollusca y Nemertea obtuvieron valores elevados de equitatividad y con baja dispersión, lo que sugiere comunidades más balanceadas, sin que una única familia predomine ampliamente.

Por otro lado, phyla como Bryozoa, Nematoda, Phoronida y Priapulida presentaron valores bajos, evidenciando una fuerte concentración de individuos en muy pocas familias. Este patrón indica que, aunque puedan tener cierta riqueza, su diversidad efectiva es limitada por la desigual distribución (Figura 19).

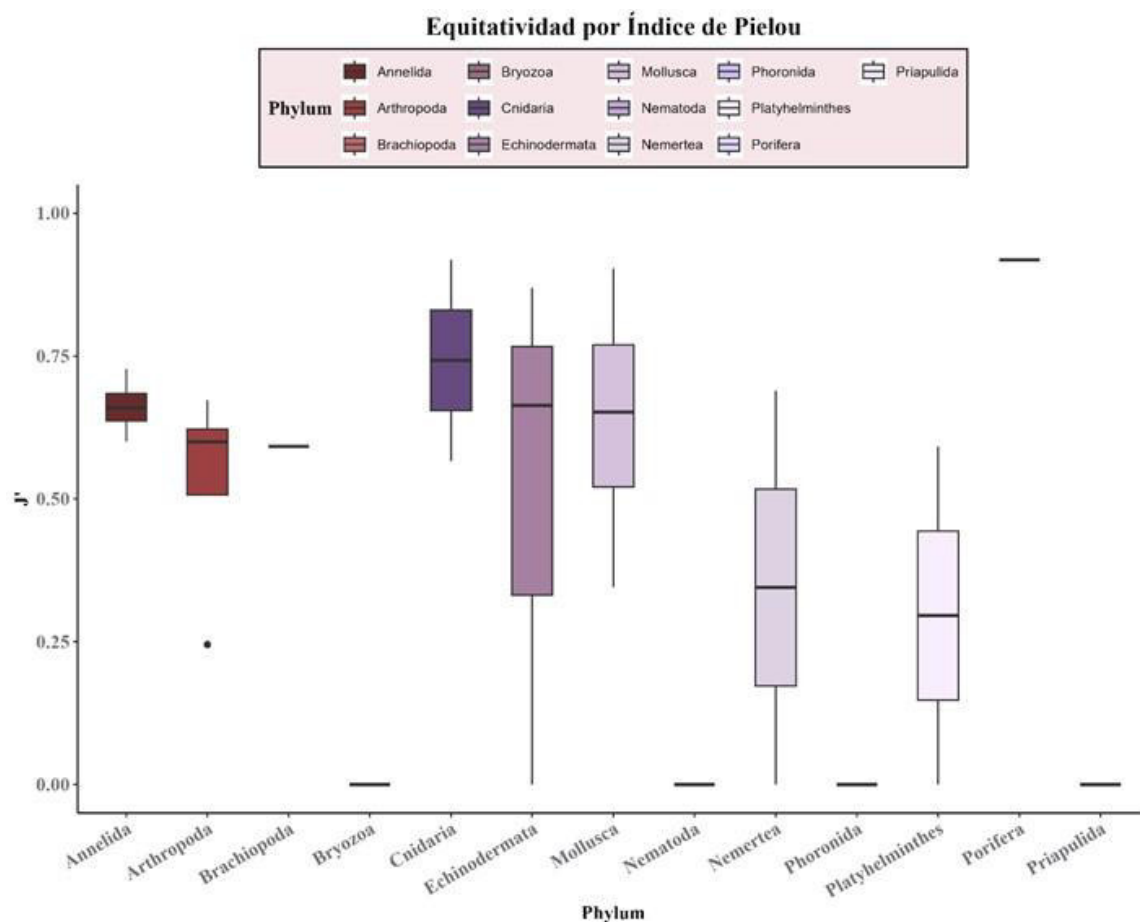


Figura 19. Gráfico boxplot del índice de equitatividad de Pielou (J') en individuos a nivel taxonómico phylum.

Se evaluó la normalidad de los datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y Anderson-Darling (Tabla 5), sin embargo, debido al tamaño de muestra reducido no fue posible aplicar con fiabilidad pruebas paramétricas.

Tabla 5. Resultados de las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk y Anderson-Darling) del índice de equitatividad de Pielou (D').

Phylum	n	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling
Annelida	4	0.9712	NA*
Arthropoda	4	0.0787	NA*
Mollusca	4	0.9822	NA*

La prueba de Levene mostró homogeneidad de varianzas entre grupos ($p = 0.287$; $gl = 12$; $F = 1.3515$), la prueba de Kruskal-Wallis dio como resultado un valor de $\chi^2 = 14.126$, $gl = 12$ y $p = 0.2928$, lo que indica que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. No se procedió con pruebas de comparaciones múltiples post hoc.

Estos resultados indican que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la distribución equitativa de individuos entre familias. Esto sugiere que, a pesar de que algunos grupos como Annelida o Mollusca que mostraron valores más altos de equitatividad, la variación en la uniformidad fue relativamente homogénea. La falta de significancia está relacionada con el tamaño limitado de muestra en varios grupos.

El análisis de equitatividad complementa el análisis de diversidad y dominancia, permitiendo distinguir entre phyla que son diversos por tener muchas familias (alta riqueza) y aquellos que además presentan una buena distribución de individuos (alta equidad).

3. Interpolación y extrapolación de curvas ecológicas (iNEXT)

Una vez evaluada la estructura de las comunidades mediante el análisis de abundancia y complementado con los índices ecológicos de diversidad (Shannon-Wiener), dominancia (Simpson) y equitatividad (Pielou), se procedió a aplicar un enfoque estandarizado a través del análisis *iNEXT*, permitiendo una comparación más robusta de la riqueza, la distribución de abundancia y la dominancia relativa de los grupos taxonómicos.

El análisis de diversidad realizado por *iNEXT* reveló diferencias marcadas entre la zona intermareal y la zona submareal de la bahía Colonet. Las curvas de interpolación y extrapolación generadas para los tres órdenes de diversidad de Hill ($q = 0, 1$ y 2) mostraron consistentemente valores más elevados para la zona submareal.

Esto indica que dicha zona alberga no solo una mayor riqueza biológica ($q = 0$), sino también una mayor diversidad considerando la abundancia relativa de los grupos ($q = 1$, Shannon-Wiener) y el grado de dominancia ($q = 2$, Simpson). La diferencia más notoria se observó en la riqueza ($q = 0$), lo que sugiere que la zona submareal contiene una mayor cantidad de grupos taxonómicos, independientemente de su abundancia. Por otro lado, la zona intermareal presentó curvas más bajas y planas, reflejando una comunidad menos diversa y dominada por un menor número de grupos (Figura 20).

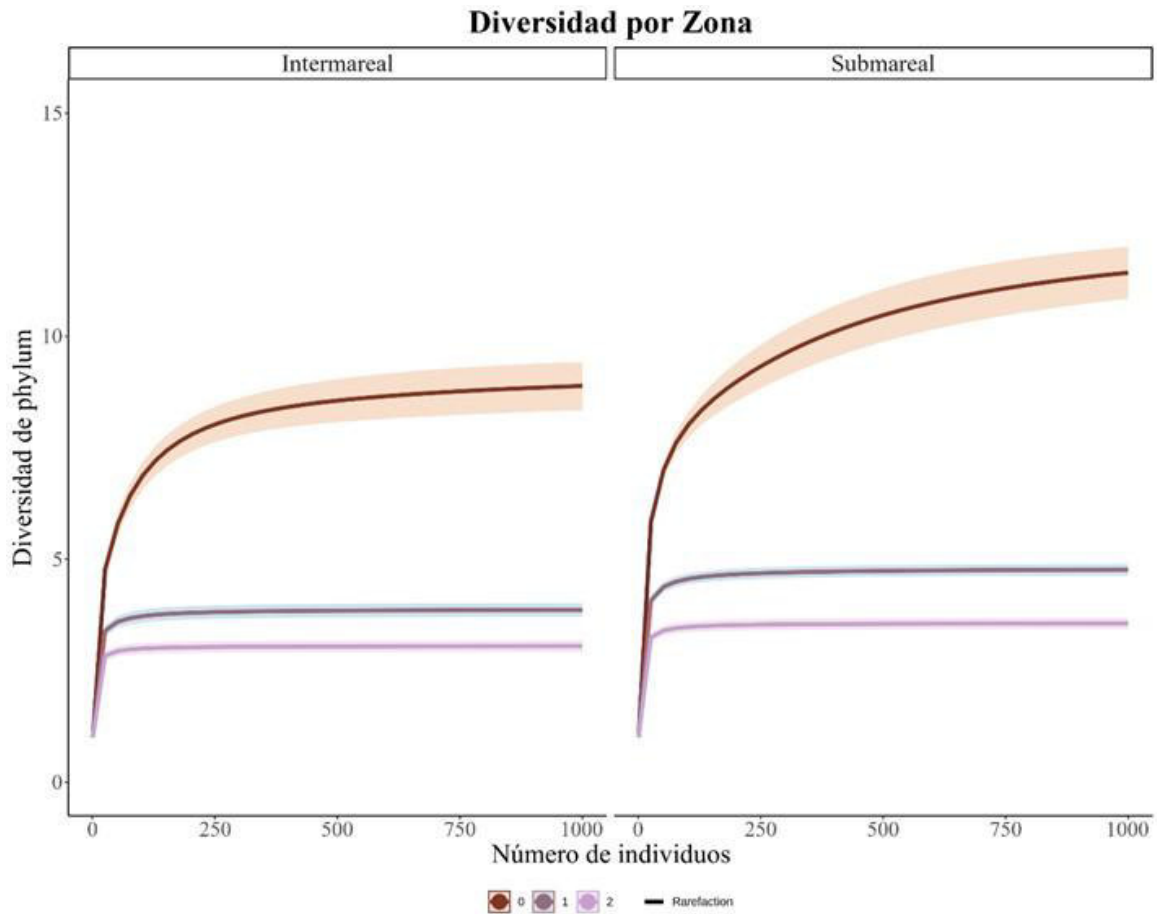


Figura 20. Curvas de rarefacción y extrapolación de la diversidad de grupos taxonómicos por zona de estudio (intermareal y submareal).

Asimismo, ninguna de las curvas alcanzó una asíntota, lo cual indica que el esfuerzo de muestreo realizado mediante draga Ponar (zona submareal) y muestreos selectivos y nucleador pushcore (zona intermareal), no fue suficiente para capturar la diversidad total presente. Esto sugiere que, con una mayor intensidad de muestreo, podrían detectarse más grupos taxonómicos, particularmente aquellos menos abundantes o estacionales.

El análisis de diversidad realizado por *iNEXT* reveló diferencias marcadas entre las temporadas de verano y otoño de la bahía Colonet. Las curvas correspondientes a la temporada de verano se ubicaron consistentemente por encima de las de otoño en los tres órdenes de diversidad de Hill ($q = 0, 1$ y 2). Esto indica una mayor riqueza biológica, así como una distribución más equitativa de los individuos entre ellos (Figura 21).

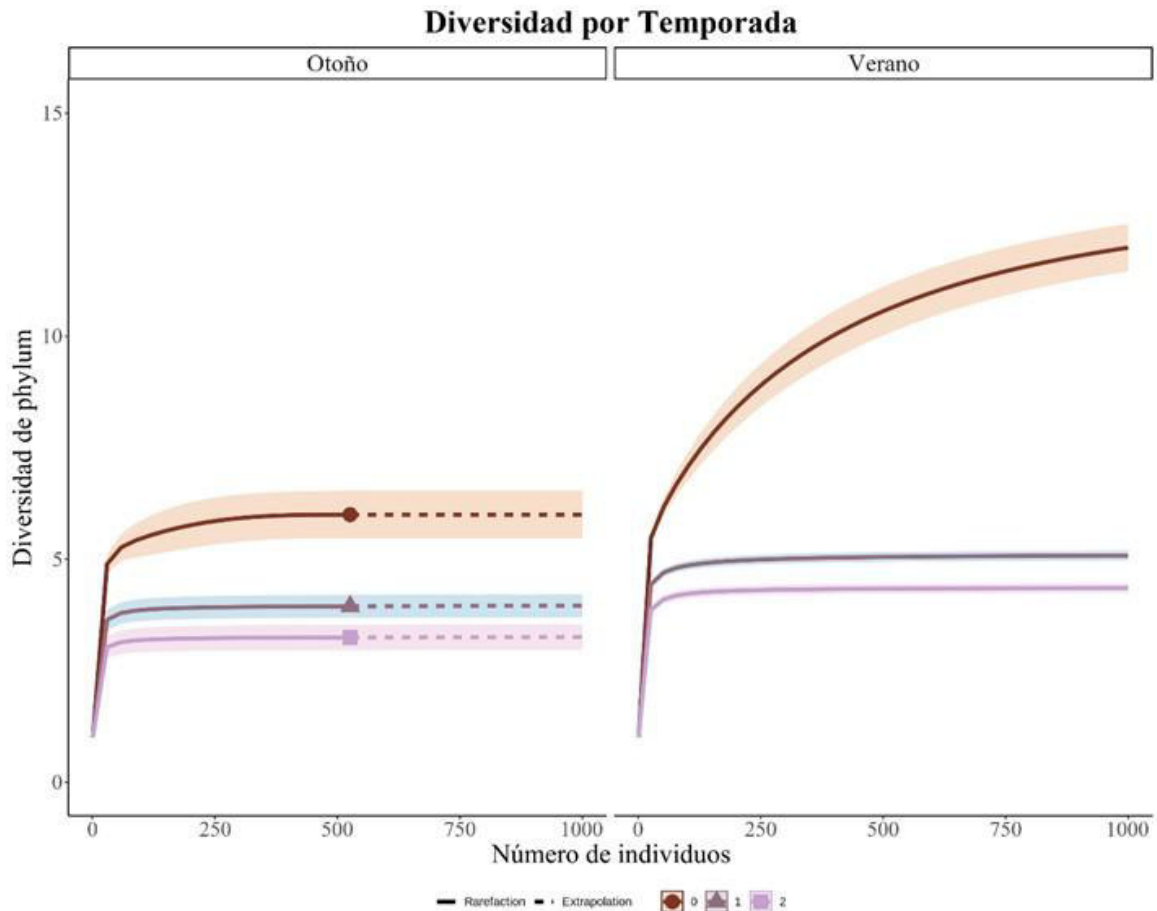


Figura 21. Curvas de rarefacción y extrapolación de la diversidad de grupos taxonómicos por temporadas de estudio (verano y otoño).

En el valor $q = 0$, la curva en la temporada de verano muestra una mayor riqueza observada y proyectada, sin alcanzar una asíntota clara, lo que sugiere que aún podrían detectarse más grupos taxonómicos con un esfuerzo de muestreo adicional. Por el contrario, la curva en la temporada de otoño tiende a estabilizarse rápidamente, lo que indica una comunidad menos diversa y con mayor dominancia de ciertos grupos taxonómicos.

Para los valores de $q = 1$ (Shannon-Wiener) y $q = 2$ (Simpson) respectivamente, se mantiene la tendencia donde en la temporada de verano se presenta mayor diversidad efectiva, mientras que en otoño la comunidad está más estructurada en torno a grupos taxonómicos dominantes.

En la temporada de verano se registró una comunidad más diversa, caracterizada por una menor dominancia relativa y mayor complejidad, lo que sugiere que las condiciones ambientales de esta temporada favorecen una mayor heterogeneidad y una coexistencia más equilibrada entre los grupos taxonómicos.

Discusión

1. Análisis de abundancia y riqueza taxonómica

El análisis taxonómico de las comunidades marinas de la bahía Colonet reveló la presencia de 13 phyla, los cuales fueron identificados hasta el nivel taxonómico de familia, obteniendo un total de 209 familias y 5,280 individuos identificados entre ambas zonas (intermareal y submareal) y temporadas (verano y otoño) de estudio.

En promedio, se estimaron aproximadamente 54 individuos y 2 familias distribuidos en 98 unidades muestrales (28 en la zona intermareal y 70 en el submareal), además, se registró una marcada dominancia de los grupos Annelida (2,492 individuos y 67 familias), Arthropoda (1,637 individuos y 43 familias) y Mollusca (804 individuos y 63 familias), en los cuales se concentró el 93.43% del total de los individuos y el 82.77% de la riqueza de familias.

Este patrón de dominancia coincide con estudios documentados en ambientes costeros templado-subtropicales del Pacífico mexicano, pero también refleja tendencias globales descritas por Diaz y Rosenberg (1995), quienes señalan que, bajo condiciones de estrés ambiental, particularmente eventos de hipoxia, las comunidades de organismos bentónicos se reorganizan y tiende a estar dominadas por grupos con mayor plasticidad ecológica, capacidad de colonización y tolerancia a perturbaciones.

De este modo, la prevalencia de Annelida, Arthropoda y Mollusca en los datos registrados de la bahía Colonet, puede interpretarse como un patrón congruente con comunidades costeras que mantienen resiliencia frente a variaciones ambientales y presión de disturbios.

Los poliquetos, pertenecientes al phylum Annelida, presentaron una elevada capacidad de colonización en hábitats dinámicos como las pozas de marea, gracias a su plasticidad morfológica, hábitos tróficos diversos y ciclos de vida cortos (Fauchald & Jumars, 1979; Rodríguez et al., 2000).

Esta adaptabilidad ha sido documentada en ambientes árido-templados, en el estudio de Calderón (1992) sobre la infauna béntica de la bahía de San Quintín, se identificó que los poliquetos representaban el 90% del bentos en número y biomasa, destacando que, a pesar de las variaciones espaciales y temporales, estas comunidades demuestran una alta dominancia y resiliencia frente a disturbios ambientales, posicionándose como una comunidad relativamente estable a lo largo del tiempo. Estas observaciones respaldan los datos registrados en la bahía Colonet, destacando su papel como grupo dominante en los ambientes intermareales y submareales.

De igual manera, algunos anfípodos y decápodos (phylum Arthropoda), se ven favorecidos por sus ciclos reproductivos rápidos, alta capacidad de dispersión y comportamiento gregario, permitiéndoles ocupar diferentes microhábitats costeros (Rodríguez et al., 2012).

Particularmente, estos organismos muestran adaptaciones que incluyen estrategias reproductivas y ciclos de vida cortos, lo que incrementa su capacidad de respuesta ante cambios ambientales. Estos rasgos facilitan su coexistencia con otros organismos y su dominio en hábitats litorales (*i.e.* praderas, arrecifes rocosos, pozas de marea y fondos blandos) (Thiel et al., 2003).

En cambio, los moluscos (phylum Mollusca) presentan una gran variedad morfológica y funcional, lo que les permite ocupar diferentes nichos ecológicos (*i.e.* filtradores, perforadores, raspadores, depredadores, detritívoros, etc), así como la capacidad de desarrollar mecanismos de fijación a sustratos duros y asentamiento en fondos blandos (Gutiérrez et al., 2003). Estas estrategias favorecen su establecimiento y papel funcional en las comunidades bentónicas, así como en la disponibilidad de hábitats para otras especies.

Por otro lado, phyla como Brachiopoda, Bryozoa, Platyhelminthes, Porifera, Phoronida y Priapulida, estuvieron escasamente representados, con al menos 10 individuos por phylum y una

riqueza familiar baja (entre 1 y 2 familias, en la mayoría de los casos). Esto pudo deberse a varios factores como requerimientos específicos en cuanto a tipo de sustrato, profundidad, condiciones fisicoquímicas más estables (lo cual limita su abundancia y distribución), e incluso limitaciones en la metodología empleada para su colecta e identificación (*i.e.* ejemplares pequeños) (Gambi et al., 1990; (Paredes et al., 2004).

Particularmente, estos grupos de organismos suelen estar asociados a condiciones ambientales estables y áreas con baja perturbación, por lo que su presencia resalta una distribución heterogénea (Lefebvre et al., 2010).

La notable diferencia observada, dominada por grupos taxonómicos generalistas y de amplia distribución como anélidos, artrópodos y moluscos, refleja una estructura trófica y funcional relativamente sencilla, lo cual es característico en comunidades bentónicas de ambientes costeros sujetos a fluctuaciones estacionales o condiciones físicas variables. Además, la escasa representación de determinados grupos taxonómicos podría indicar funciones ecológicas relevantes, se ha documentado la presencia de estos organismos está limitada a una temporada específica (Leitão et al., 2016; Violle et al., 2017).

Asimismo, el patrón de dominancia no solo representa una respuesta adaptativa a las variaciones fisicoquímicas de los ambientes costeros, sino también señala un papel funcional ecológico. Los anélidos, principalmente los poliquetos, actúan como ingenieros del ecosistema mediante la remoción y oxigenación del sedimento, facilitando el intercambio de nutrientes entre el sustrato y la columna de agua. Los moluscos y algunos artrópodos bentónicos contribuyen en el reciclaje de materia orgánica y a la conectividad funcional de las comunidades. Estas funciones, sugieren que la estructura observada corresponde a la capacidad de determinados taxones para sostener procesos ecosistémicos vitales (Gamboa et al., 2008).

Comparación entre zonas de estudio (intermareal y submareal)

La comparación entre zonas de estudio demostró que en la zona submareal se albergó mayor riqueza y abundancia de organismos (3, 276 individuos y 124 familias) representando una proporción 62% de individuos y 59.3% de familias registradas; en comparación con la zona intermareal (2, 004 individuos y 85 familias) que representó una proporción del 38% de individuos y 40.7% de familias. No obstante, esta diferencia debe interpretarse considerando que el esfuerzo de muestreo aplicado en cada zona no fue equitativo, en la zona submareal se empleó una draga Ponar para la recolección de muestras (70 unidades muestrales), mientras que en la zona intermareal se aplicaron muestreos selectivos y nucleadores manuales de tipo *pushcore* (28 unidades muestrales). Por lo que sugiere que la mayor abundancia y riqueza registrada en la zona submareal podría ser, al menos en parte, consecuencia del esfuerzo de muestreo diferencial entre zonas (Riera et al., 2012b).

Esta zona se caracteriza por condiciones fisicoquímicas más estables en temperatura, oxigenación, salinidad y disponibilidad de hábitats, lo que favorece una mayor persistencia de organismos sensibles a la variabilidad y una comunidad más compleja, con menor presión por factores abióticos y una alta conectividad entre microhábitats, lo cual explica la alta diversidad observada en el estudio (Diaz & Rosenberg, 1995; Riera et al., 2012b; Underwood & Chapman, 1996).

En contraste, la zona intermareal está sujeta a fluctuaciones ambientales extremas provocadas por la acción del oleaje, ocasionando la exclusión de especies y restringiendo la diversidad biológica. No obstante, los organismos identificados en la zona intermareal siguen siendo de importancia ya que resalta la capacidad de los invertebrados al adaptarse en entornos de

deseccación, altas temperaturas y radiación solar, así como el estrés osmótico, factores característicos de las pozas de marea (Hutchings, 1998; Metaxas & Scheibling, 1993).

Estos datos respaldan la hipótesis planteada en este estudio, la cual postulaba una mayor diversidad y riqueza en la zona submareal de la bahía Colonet respecto a la zona intermareal debido a su estabilidad ambiental. Además, establece a la zona submareal como un núcleo estructural de diversidad biológica y punto clave para la conservación de comunidades bentónicas costeras.

Comparación entre temporadas de estudio (verano y otoño)

La comparación entre temporadas mostró que durante verano se registró una comunidad más abundante y con mayor riqueza de familias (4, 651 individuos y 181 familias), en una proporción del 88.1% en individuos y 86.6% de familias registradas tanto en la zona intermareal como submareal, a comparación con otoño (629 individuos y 28 familias) con una proporción del 11.9% en individuos y el 13.4% de familias, sugiriendo un fuerte efecto de la estacionalidad sobre las comunidades bentónicas. Sin embargo, no puede atribuirse únicamente a un efecto estacional, sino que también refleja el mayor esfuerzo del muestreo realizado en esta temporada (35 unidades muestrales en la zona submareal y 14 en la zona intermareal).

Estas variaciones de abundancia pueden explicarse por diversos factores ecológicos y fisicoquímicos, en el verano se registran temperaturas más cálidas y mayor incidencia solar, lo cual favorece la productividad primaria y genera redes tróficas más activas, además de beneficiar la reproducción activa de varias especies bentónicas (Riera et al., 2012a; Underwood & Chapman, 1996). Este fenómeno ha sido documentado en diversas zonas costeras del Pacífico y el Atlántico, como en la costa ecuatoriana, donde se reporta un incremento de abundancia de ciertos grupos durante los meses más cálidos (Guachamín, 2021), así como en ambientes australes, como el canal

Beagle en Chile y Argentina, donde se ha observado un notable aumento en la diversidad y abundancia de moluscos intermareales durante el verano (Ojeda et al., 2014).

Durante el otoño, se presentan cambios como el descenso de temperaturas, cambios hidrodinámicos, factores como la migración, variaciones en los ciclos de vida o condiciones más limitantes como menor disponibilidad de alimento e incluso variaciones en el oleaje (Díaz & Rosenberg, 1995; Legrand et al., 2018; Sebens, 1985). Dichos patrones de cambios de acuerdo con la temporalidad se han descrito en otras zonas costeras del Pacífico mexicano, considerando que forma parte de la dinámica estacional de los organismos (Legrand et al., 2018).

Los patrones observados durante verano y otoño de 2023 pueden haberse visto acentuados por la influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), un evento climático del sistema océano-atmósfera caracterizado por el calentamiento anómalo de las aguas superficiales del Pacífico oriental tropical, el cual presentó anomalías térmicas positivas en la región Niño 3.4 de entre +1.5 y +2.1 °C durante el segundo semestre de 2023 (NASA Earth Observatory, 2023; National Weather Service/NOAA, 2023).

Bajo estas condiciones, se genera una mayor estabilidad térmica, una disminución de los eventos de surgencia y un incremento en la energía disponible para la producción primaria, lo que favorece la disponibilidad de nutrientes y puede resultar en una mayor abundancia de invertebrados bentónicos asociados a estos recursos tróficos (Paredes et al., 2004). En México, se ha documentado que El Niño induce una “tropicalización” de las aguas costeras, desplazando condiciones cálidas y especies típicamente tropicales hacia latitudes mayores, incluida la península de Baja California (Badan, 2003; Lavaniegos et al., 1998).

En consecuencia, la elevada riqueza y abundancia observadas durante las temporadas de estudio no solo reflejan la estacionalidad natural, sino también el posible efecto sinérgico del evento El Niño, que alteró temporalmente la estructura térmica y productiva de la región costera del Pacífico norte mexicano (Badan, 2003).

Esta diferencia entre temporadas refuerza la hipótesis donde se señala que las condiciones ambientales durante el verano son más favorables en el desarrollo de comunidades bentónicas de invertebrados.

2. Estructura de la comunidad bentónica mediante índices ecológicos

La estructura ecológica de las comunidades bentónicas de la bahía Colonet fue evaluada implementando tres índices ecológicos: Shannon-Wiener (H'), Simpson (D') y Pielou (J'); revelando patrones de abundancia, dominancia y equitatividad de las familias presentes en los 13 phyla taxonómicos registrados, revelando patrones consistentes en la abundancia y riqueza.

El **Índice de Shannon-Wiener (H')**, que pondera tanto la riqueza de familias como la equitatividad confirmó que los phyla Annelida, Arthropoda y Mollusca no solo son abundantes, sino que presentan una distribución relativamente equitativa de individuos entre familias, donde ninguna de estas ejerce una dominancia marcada estructuralmente. Por otro lado, phyla como Phoronida, Porifera y Priapulida, mostraron valores bajos, lo que sugiere que estos grupos presentan pocas familias dominantes y con bajo grado de diversidad.

El análisis estadístico de normalidad se aplicó en aquellos grupos taxonómicos con al menos tres o cuatro observaciones (como Annelida, Arthropoda, Mollusca y Echinodermata), las pruebas de Shapiro-Wilk y Anderson-Darling no revelaron desviaciones significativas respecto a

una distribución normal, pero la cantidad de datos por phylum fue limitada por lo que no fue posible aplicar con fiabilidad pruebas paramétricas.

Posteriormente, se aplicó la prueba de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas entre los grupos, sin encontrarse diferencias significativas, lo cual sugiere que las varianzas fueron comparables entre los grupos evaluados. Considerando el tamaño muestral desigual y la distribución anormal en varios grupos, se optó por una aproximación no paramétrica mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

Esta prueba no detectó diferencias significativas en los valores de H' entre phyla, indicando que la diversidad específica fue estadísticamente similar entre los grupos taxonómicos. En consecuencia, no fue necesario aplicar la prueba post hoc de Dunn, ya que no se alcanzó un nivel de significancia que justificara comparaciones múltiples.

Dichas diferencias representan una marcada heterogeneidad estructural entre phyla, lo cual se podría relacionar con la asignación de nichos ecológicos, tolerancias fisiológicas y patrones de dispersión (Xu et al., 2020).

El **Índice de Simpson (D')**, que evalúa la dominancia, confirmó que Echinodermata y Mollusca presentan valores intermedios, lo que significa una moderada dominancia entendiéndose que no hay una familia que monopolice el número de individuos, es decir, una comunidad más equitativa y con menor presencia de familias. En cambio, phyla como Brachiopoda, Bryozoa, Nematoda, Phoronida, Porifera y Priapulida tuvieron valores más bajos y con una dominancia baja, indicando una o dos familias que concentran casi todos los individuos registrados.

El análisis estadístico de normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling no revelaron desviaciones significativas respecto a una distribución normal, pero la cantidad de datos por phylum fue limitada por lo que no fue posible aplicar con fiabilidad pruebas paramétricas.

La prueba de Levene corroboró la homogeneidad de varianzas entre los grupos. Debido a la presencia de varios phyla con tamaño muestral desigual y la distribución anormal en varios grupos, se optó por una aproximación no paramétrica mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

Esta prueba no detectó diferencias significativas en los valores de D' entre phyla, en consecuencia, no fue necesario aplicar la prueba post hoc de Dunn. Este resultado sugiere que la dominancia de ciertas familias dentro de cada phylum fue similar estadísticamente, a pesar de las variaciones observadas entre grupos. Estos resultados sostienen que la existencia de una mayor dispersión de datos sugiere diferentes grados de dominancia entre grupos (Xu et al., 2020).

El **Índice de Pielou (J')**, que mide la uniformidad en que se distribuyen los organismos, confirmó que Annelida, Echinodermata, Mollusca y Nemertea tuvieron distribuciones más equitativas entre familias, mientras que Bryozoa, Nematoda, Phoronida y Priapulida obtuvieron los valores más bajos, lo cual indica que una o dos familias presentan la mayoría de los individuos registrados.

El análisis estadístico de normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling no revelaron desviaciones significativas respecto a una distribución normal, aunque algunos cumplieron con este supuesto, la cantidad de datos por phylum fue limitada por lo que no fue posible aplicar con fiabilidad pruebas paramétricas.

La prueba de Levene corroboró la homogeneidad de varianzas entre los grupos. Debido a la presencia de varios phyla con tamaño muestral desigual y la distribución anormal en varios grupos, se optó por una aproximación no paramétrica mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

Esta prueba no detectó diferencias significativas en los valores de J' entre phyla, en consecuencia, no fue necesario aplicar la prueba post hoc de Dunn.

Este resultado indica que la distribución de los individuos entre las familias dentro de cada grupo fue estadísticamente comparable, y desde una perspectiva equitativa, los grupos taxonómicos compartieron patrones similares de distribución, incluso si algunos mostraron una mayor o menor riqueza. Estos patrones pueden interpretarse como resultado de diferencias en estrategias de vida, resiliencia y capacidad de ocupación de nichos ecológicos (Riera et al., 2012a).

La integración de estos índices ecológicos permitió caracterizar de forma heterogénea y con mayor precisión la estructura de las comunidades bentónicas de la bahía Colonet, concluyendo que phyla como Annelida, Arthropoda, Mollusca y Echinodermata, pueden considerarse como núcleos estructurales del ecosistema gracias a su elevada abundancia, riqueza de familias, equitatividad y baja dominancia relativa. Por el contrario, los phyla con valores altos en dominancia y baja equitatividad podrían considerarse como grupos subordinados, cuyo papel está limitado por factores fisiológicos, ambientales o de competencia. Este patrón es típico en ambientes costeros donde la diversidad alfa suele ser alta, pero la distribución entre taxones es altamente desigual (Riera et al., 2012a).

3. Interpolación y extrapolación de curvas ecológicas (iNEXT)

El análisis de diversidad basado en la generación de curvas de rarefacción y extrapolación iNEXT, respaldaron visual y cuantitativamente los patrones observados en los índices ecológicos anteriormente descritos, permitiendo evaluar y comparar la diversidad de phyla entre zonas (intermareal y submareal) y temporadas (verano y otoño), bajo el enfoque estandarizado por número de individuos. Mediante curvas de muestreo y considerando los órdenes de diversidad de Hill $q = 0$ (riqueza de especies o familias), $q = 1$ (diversidad de Shannon) y $q = 2$ (dominancia de Simpson), se obtuvo la frecuencia relativa y dominancia (Hsieh et al., 2016).

Comparación por zonas de estudio (intermareal y submareal)

Las curvas representadas para la zona submareal fueron consistentemente más altas para todos los órdenes de diversidad ($q = 0, 1$ y 2), indicando que esta zona no solo alberga una mayor diversidad biológica, sino que también mantiene una comunidad estructurada y con menor dominancia (Hsieh et al., 2016). Para $q = 0$, ninguna de las curvas alcanzó una asíntota, lo que sugiere que un esfuerzo de muestreo adicional podría revelar aún más diversidad, especialmente en la zona intermareal. Por otro lado, las curvas representadas para $q = 1$ y 2 en la zona intermareal alcanzaron la asíntota, indicando una menor diversidad y riqueza esperada, resultado de una comunidad estructuralmente más simple.

Este comportamiento puede explicarse por las condiciones ambientales estables que presenta la zona submareal, como una menor exposición al oleaje, variaciones menores en salinidad y temperatura, y una mayor disponibilidad de microhábitats (Riera et al., 2012b; Underwood & Chapman, 1996).

Además, el uso de dragas para el muestreo de esta zona permitió recolectar una mayor cantidad de organismos presentes en sustratos blandos, como limos y fangos lo que podría haber contribuido a una mayor detección de organismos. Este tipo de sedimentos han sido ampliamente reconocidos como hábitats preferentes para numerosos grupos de macroinvertebrados bentónicos, debido a su capacidad para retener materia orgánica y brindar refugio frente a predadores y corrientes intensas (Pearson & Rosenberg, 1977).

Comparación por temporadas de estudio (verano y otoño)

Las curvas de diversidad demostraron que en la temporada de verano se alberga una comunidad con mayor riqueza de familias y de individuos, especialmente en $q = 0$, lo que confirma una menor dominancia y heterogeneidad en el ecosistema. Aunque la curva de verano no alcanzó una asíntota, las curvas de otoño se estabilizaron rápidamente, lo que refuerza la idea de la presencia de comunidades más simples, homogéneas y dominadas por menos grupos taxonómicos.

La extrapolación de estas curvas sugiere que la comunidad bentónica en otoño presenta mayor dominancia y menor variabilidad interna, posiblemente como resultado de una menor actividad biológica durante esa estación.

Los resultados sugieren una respuesta estacional significativa en la comunidad de invertebrados, posiblemente relacionada con factores como el ciclo reproductivo, disponibilidad de nutrientes, variaciones térmicas e influencia de surgencias costeras en las temporadas de estudio (Bakun & Nelson, 1991; Canales, 2012); considerando la temporada de verano como un factor clave en el desarrollo de la diversidad bentónica.

Finalmente, los resultados derivados de las curvas *iNEXT*, refuerzan los datos obtenidos mediante la aplicación de índices ecológicos. La zona submareal y la temporada de verano albergan comunidades más diversas y complejas, tanto en términos de riqueza de familias como de diversidad efectiva, sugiriendo una mayor resiliencia ecológica y funcionalidad del ecosistema.

Además, la falta de asíntota en las curvas del submareal y del verano indica que aún existe diversidad no captada por el esfuerzo de muestreo, por lo que futuros estudios deberían ampliar la cobertura espacial y temporal del muestreo para obtener estimaciones más completas.

Conclusiones

El presente estudio representa el primer análisis comparativo y sistemático de la diversidad y estructura de comunidades de invertebrados marinos en la zona intermareal y submareal de la bahía Colonet, Baja California; evaluando datos de abundancia, riqueza taxonómica y diversidad ecológica (índices de Shannon-Wiener, Simpson, Pielou) y curvas de rarefacción (interpolación) y extrapolación *iNEXT*, logrando caracterizar la estructura, taxonomía y funcionalidad de las comunidades bentónicas.

A lo largo de las dos temporadas analizadas (verano y otoño) así como en las zonas de estudio (intermareal y submareal), se identificaron 5, 280 individuos correspondientes a 209 familias pertenecientes a 13 phyla, con un claro predominio en abundancia y riqueza de Annelida, Arthropoda y Mollusca. Este patrón refleja la dominancia de grupos complejos y adaptativamente versátiles, como los poliquetos, anfípodos y bivalvos; cuya capacidad de dispersión, plasticidad morfofuncional y diversidad trófica, les permite colonizar exitosamente hábitats dinámicos.

La comparación espacial entre zonas de estudio demostró que la fauna submareal es más diversa y con mayor riqueza de familias, respaldando la hipótesis inicial donde se postula que la zona submareal, caracterizada por condiciones fisicoquímicas más estables, sustenta comunidades más complejas, resilientes y diversas. En contraste, las condiciones extremas de la zona intermareal actúan como filtros que favorecen a organismos capaces de adaptarse a condiciones ambientales extremas, pero limitan la diversidad general.

La comparación entre temporadas también reveló un patrón marcado donde el verano albergo la mayor cantidad de individuos y riqueza de familias, superando ampliamente a la comunidad registrada en otoño.

Estos datos sugieren un fuerte efecto de la temporalidad en la comunidad, posiblemente impulsado por factores como mayor productividad primaria, ciclos reproductivos sincronizados y condiciones fisicoquímicas más favorables durante los meses cálidos.

El análisis a través de índices ecológicos y curvas *iNEXT*, complementaron estos hallazgos de manera integral y cuantitativa, confirmando los patrones determinados de diversidad, dominancia y equitatividad, reflejando que grupos taxonómicos como Annelida, Arthropoda, Echinodermata y Mollusca, dominan en abundancia y presentan una estructura interna compleja y balanceada, lo que sugiere su papel funcional clave en el ecosistema.

En conjunto, estos resultados reafirman el valor ecológico de la bahía Colonet como un reservorio clave de biodiversidad bentónica, siendo el submareal y la temporada de verano las unidades con mayor diversidad biológica. Esta información resulta crucial para futuras estrategias de monitoreo, manejo y conservación de ecosistemas costeros del Pacífico mexicano, sugiriendo futuros estudios sobre la estructura funcional de los grupos dominantes, resiliencia ecológica y adaptación ante el cambio climático y presión antropogénica.

Bibliografía

Araujo Leyva, O., Lorda, J., Moriel, M., Ruiz Mejía, S., González-Rojas, A., & Durazo, L. (2024). La vida en la zona intermareal: Adaptaciones en un ecosistema cambiante. *Biología y Sociedad*, 7(13), 48–62. <https://doi.org/10.29105/bys7.13-105>

Badan, A. (2003). The effects of *El Niño* in Mexico: A survey. *Geofísica Internacional*, 42(3), 567–571. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2003.42.3.945>

Bakun, A., & Nelson, C. S. (1991). The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography*, 21(12), 1815–1834. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1991\)021%3C1815:TSCOWS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1991)021%3C1815:TSCOWS%3E2.0.CO;2)

Bertsch, H., & Aguilar Rosas, L. E. (2016). Invertebrados marinos del noroeste de México / Marine invertebrates of Northwest Mexico: Guía de campo, usos por los indígenas y ética de conservación / Field guide, indigenous uses and conservation ethic. *Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC*. ISBN 970-692-7062-9

Brusca, R. C., & Brusca, G. J. (2005). *Invertebrates* (2.^a ed.; F. Pardos Martínez, Ed. esp.). McGraw-Hill/Interamericana de España.

Calderón Aguilera, L. E. (1992). Análisis de la infauna béntica de Bahía de San Quintín, Baja California, con énfasis en su utilidad en la evaluación de impacto ambiental [Analysis of the benthic infauna from Bahía de San Quintín, Baja California, with emphasis on its use in impact assessment studies]. *Ciencias Marinas*, 18(4), 27–46. <https://doi.org/10.7773/cm.v18i4.914>

Canales Gómez, E. P. (2012). Estructura de la comunidad de macroinvertebrados móviles y análisis poblacional de la estrella de mar *Pisaster ochraceus* (Brandt, 1835) del intermareal rocoso de Baja California [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/12261>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2025a). Invertebrados (catálogo de metadatos geográficos). Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB).
<http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/invertebrados.html>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2025b). Regiones marinas prioritarias de México. Gobierno de México.
<https://biodiversidad.gob.mx/pais/regiones-marinas-prioritarias-de-mexico>

Corgos, A., Godínez Domínguez, E., Flores Ortega, J. R., & Rojo Vázquez, J. A. (2014). Comunidades de fondos blandos submareales de la bahía de Navidad (Jalisco, México): Patrones espaciales y temporales [Soft-sediment benthic assemblages of Bahía de Navidad (Jalisco, México): Spatial and seasonal patterns]. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1171–1183.
<https://doi.org/10.7550/rmb.41419>

Cultid-Medina, C. A., & Escobar, F. (2019). Pautas para la estimación y comparación estadística de la diversidad biológica (qD). En C. E. Moreno (Ed.), *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio* (pp. 175–202). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / Libermex*.
https://www.researchgate.net/publication/340104672_Pautas_para_la_estimacion_y_comparacion_estadistica_de_la_diversidad_biologica_qD

Diaz, R., & Rosenberg, R. (1995). Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural response of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 33, 245–303.
https://www.researchgate.net/publication/236628341_Marine_benthic_hypoxia_A_review_of_its_ecological_effects_and_the_behavioural_response_of_benthic_macrofauna

Dinno, A. (2024). dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums (versión 1.3.6) [Paquete R]. CRAN. <https://cran.r-project.org/web/packages/dunn.test/index.html>

EPSG.io. (2025). WGS 84 / UTM zone 11N (EPSG:32611). <https://epsg.io/32611#:~:text=EPSG%3A32611%20Projected%20coordinate%20system%20for%20Between%20120%C2%B0W%20and,States%20%28USA%29.%20Navigation%20and%20medium%20accuracy%20spatial%20referencing>

Escamilla Espinoza, M. (2015). Repercusiones de los eventos de surgencia en las poblaciones de mejillón *Mytilus californianus* a lo largo de la costa occidental de Baja California [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/941>

Escudero Castelán, N. (2015). Diversidad de *Branchinecta* (*Branchiopoda: Anostraca*) en las pozas temporales del norte de Baja California [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Institucional CICESE. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/655>

Fauchald, K., & Jumars, P. (1979). The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 17, 193–284. https://www.researchgate.net/publication/255608624_The_Diet_of_Worms_A_Study_of_Polychaete_Feeding_Guilds

Gálvez Flores, M. S. (2024). Variación costa-océano de la composición y abundancia de eufáusidos frente a Punta Banda–Punta Colonet, Baja California, durante un ciclo anual [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Institucional CICESE. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/4144>

Gambi, M. C., Nowell, A. R. M., & Jumars, P. A. (1990). Flume observations on flow dynamics in *Zostera marina* (eelgrass) beds. *Marine Ecology Progress Series*, 61, 159–169. <https://www.jstor.org/stable/24842256>

Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 243–252. ISSN 1690-4648.

Gastwirth, J. L., Gel, Y. R., & Miao, W. (2009). The impact of Levene's test of equality of variances on statistical theory and practice. *Statistical Science*, 24(3), 343–360. <https://doi.org/10.1214/09-STS301>

González Aragón, J. F. de J. (2013). Efecto del oleaje en la estructura de la población y la supervivencia del alga parda *Egrecia menziesii* (Turner) Areshoug (1876), en la zona intermareal de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Institucional CICESE. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/841>

González Cajero, C. A. (2024). Caracterización de la ictiofauna costera en Punta Colonet, Baja California [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Institucional CICESE. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/4202>

Guachamín Lamilla, J. N. (2021). Estado del conocimiento de los macroinvertebrados bentónicos en la zona intermareal de la provincia de Santa Elena: Revisión bibliográfica 2000–2019 [Trabajo de titulación de licenciatura, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2fb8dfb1-a7a1-41b8-95ad-8f85d6a0e64c/content>

Gutiérrez, J., Jones, C., Strayer, D., & Iribarne, O. (2003). Mollusks as ecosystem engineers: The role of shell production in aquatic habitats. *Oikos*, 101(1), 79–90. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12322.x>

Hsieh, T. C., Ma, K. H., & Chao, A. (2016). iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>

Hutchings, P. (1998). Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity and Conservation*, 7(9), 1133–1145. <https://doi.org/10.1023/A:1008871430178>

Jiménez Esquivel, V. M. (2009). Propuesta de diseño de rompeolas para Puerto Colonet, B.C. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/349>

Jost, L. (2006). Entropy and Diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <http://www.jstor.org/stable/40234813>

Kindt, R. (2025). *BiodiversityR*: Package for Community Ecology and Suitability Analysis (versión 2.17-2) [Paquete R]. CRAN. <https://cran.r-project.org/web/packages/BiodiversityR/index.html>

Lara Lara, J. R., Arenas Fuentes, V., Bazán Guzmán, C., Díaz Castañeda, V., Escobar Briones, E., García Abad, M. de la C., Gaxiola Castro, G., Robles Jarero, G., Sosa Ávalos, R., Soto González, L. A., Tapia García, M., & Valdez-Holguín, J. E. (2008). Los ecosistemas marinos. En J. Soberón, G. Halffter, & J. Llorente-Bousquets (Eds.), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 135–159). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). ISBN 978-607-7607-03-8

Lavaniegos, B. E., Gómez-Gutiérrez, J., Lara Lara, J. R., & Hernández-Vázquez, S. (1998). Long-term changes in zooplankton volumes in the California Current System—the Baja California region. *Marine Ecology Progress Series*, 169, 55–64. <https://doi.org/10.3354/meps169055>

Lefebvre, A., Thompson, C. E. L., & Amos, C. L. (2010). Influence of *Zostera marina* canopies on unidirectional flow, hydraulic roughness and sediment movement. *Continental Shelf Research*, 30(16), 1783–1794. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.08.006>

Legrand, E., Riera, P., Pouliquen, L., Bohner, O., Cariou, T., & Martin, S. (2018). Ecological characterization of intertidal rockpools: Seasonal and diurnal monitoring of physico-chemical parameters. *Regional Studies in Marine Science*, 17, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2017.11.003>

Leitão, R. P., Zuanon, J., Villéger, S., Williams, S. E., Baraloto, C., Fortunel, C., Mendonça, F. P., & Mouillot, D. (2016). Rare species contribute disproportionately to the functional structure of species assemblages. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1828), 20160084. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0084>

McDonald, J. H. (2014). Kruskal–Wallis test. In Handbook of Biological Statistics (3rd ed.). Sparky House Publishing. <https://www.biostathandbook.com/kruskalwallis.html>

Metaxas, A., & Scheibling, R. (1993). Community structure and organization of tidepools. *Marine Ecology Progress Series*, 98, 187–198. <https://doi.org/10.3354/meps098187>

Mille Pagaza, S. R., Parra Alcocer, M. de J., & Pérez Chi, A. (1993). *Guía para la identificación de invertebrados*. Editorial Trillas. ISBN 968-24-4240-0

Mohd Razali, N., & Yap, B. W. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.

https://www.researchgate.net/publication/267205556_Power_Comparisons_of_Shapiro-Wilk_Kolmogorov-Smirnov_Lilliefors_and_Anderson-Darling_Tests

Morris, R. H., Abbott, D. P., & Haderlie, E. C. (1980). *Intertidal invertebrates of California* (with 31 text contributors). Stanford University Press. ISBN 0-8047-1053-2

NASA Earth Observatory. (2023, diciembre 4). *El Niño Exits*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/153058/el-nino-exits>

National Weather Service / NOAA. (2023). *NOAA declares the arrival of El Niño*. <https://www.weather.gov/news/230706-el-nino>

Ojeda, J., Rosenfeld, S., Marambio, J., Rozzi, R., & Mansilla, A. (2014). Patrones estacionales y espaciales de la diversidad de moluscos intermareales de bahía Róbalo, canal Beagle, Reserva de la Biosfera Cabo de Hornos, Chile [Seasonal and spatial patterns of intertidal molluscs diversity of Róbalo Bay, Beagle Channel, Biosphere Reserve Cape Horn, Chile]. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(3), 521–536. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000300007>

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., ... Weedon, J. (2025). *vegan: Community Ecology Package* (versión 2.7-1) [Paquete R]. CRAN. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>

Paredes, C., Cardoso, F., & Tarazona, J. (2004). Distribución temporal de moluscos y crustáceos tropicales en la Provincia Peruana y su relación con los eventos El Niño [Temporary distribution of mollusks and tropical crustaceans in the Peruvian Province and its relation with the events El Niño]. *Revista Peruana de Biología*, 11(2), 213–218. ISSN 1727-9933

Pearson, T. H., & Rosenberg, R. (1977). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 16, 229–311.
https://www.researchgate.net/publication/243785865_Pearson_TH_Rosenberg_R_Macrobenthic_succession_in_relation_to_organic_enrichment_and_pollution_of_the_marine_environment_Oceanogr_Mar_Biol_Ann_Rev_16_229-311

Pedraza Venegas, K. V. (2013). Estructura de las praderas del pasto marino *Phyllospadix torreyi* y sus macroalgas asociadas, en función de las horas de exposición al aire, en dos sitios del intermareal rocoso de Baja California [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Institucional CICESE.
<http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/787>

Pineda López, R. (2019). Estimadores de la riqueza de especies. En C. E. Moreno (Ed.), *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio* (pp. 159–174). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo / Libermex.
https://www.academia.edu/41966738/Estimadores_de_la_riqueza_de_especies?source=swp_share

R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing (versión 4.5.1) [Software]. The R Foundation. <https://www.r-project.org/>

Riera, R., Delgado, J. D., Rodríguez, M., Monterroso, Ó., & Ramos, E. (2012a). Macrofaunal communities of threatened subtidal maerl seabeds on Tenerife (Canary Islands, north-east Atlantic Ocean) in summer. *Acta Oceanologica Sinica*, 31(1), 98–105.
<https://doi.org/10.1007/s13131-012-0181-4>

Riera, R., Núñez, J., Brito, M. C., & Tuya, F. (2012b). Diferencias en la diversidad, estructura y variabilidad de la comunidad meiofaunal entre el medio intermareal y el submareal [Differences in diversity, structure, and variability between intertidal and subtidal meiofaunal assemblages]. *Ciencias Marinas*, 38(4), 677–693. <https://doi.org/10.7773/cm.v38i4.2077>

Rodríguez, E., Ardila, G., & Páramo, J. (2012). Relaciones morfométricas de crustáceos de profundidad de importancia comercial en el mar Caribe colombiano. *Boletín Científico Centro de Museos, Museo de Historia Natural*, 16(2), 236–245. ISSN 0123-3068

Rodríguez, J., & Ruíz, J. (2010). Conservación y protección de ecosistemas marinos: Conceptos, herramientas y ejemplos de actuaciones. *Ecosistemas*, 19(2), 5–23. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=637>

Rodríguez Villanueva, V., Martínez Lara, R., & Díaz Castañeda, V. (2000). Structure and composition of the benthic polychaete families in Bahía de Todos Santos, Baja California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 67(1), 113–126. https://www.researchgate.net/publication/233490269_Structure_and_composition_of_the_benthic_polychaete_families_in_Bahia_de_Todos_Santos_Baja_California_Mexico

Santes Álvarez, R. V., & Riemann González, H. (2013). Gobernanza de la infraestructura y sustentabilidad ecosistémica en Punta Colonet, Baja California, México. *Revista Mexicana de Sociología*, 75(1), 91–124. ISSN 0188-2503

Sebens, K. (1985). The ecology of the rocky subtidal zone. *American Scientist*, 73(5), 548–557. https://www.researchgate.net/publication/252538694_The_Ecology_of_the_Rocky_Subtidal_Zone

Thiel, M., Guerra-García, J. M., Lancellotti, D. A., & Vásquez, N. (2003). The distribution of littoral caprellids (*Crustacea: Amphipoda: Caprellidea*) along the Pacific coast of continental Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(3), 297–312. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000200014>

Torres Moye, G., & Acosta Ruiz, M. J. (1986). Algunas propiedades químicas indicadoras de eventos de surgencias costeras y de la contracorriente subsuperficial en un área cercana a Punta Colonet, Baja California [Some chemical properties indicating coastal upwelling events and subsurface countercurrent in an area near Punta Colonet, Baja California]. *Ciencias Marinas*, 12(3), 10–25. <https://doi.org/10.7773/cm.v12i3.520>

Underwood, A., & Chapman, M. G. (1996). Scales of spatial patterns of distribution of intertidal snails. *Oecologia*, 107(2), 212–224. <https://doi.org/10.1007/BF00327905>

Violle, C., Thuiller, W., Mouquet, N., Munoz, F., Kraft, N. J. B., Cadotte, M. W., Livingstone, S. W., & Mouillot, D. (2017). Functional rarity: The ecology of outliers. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(5), 356–367. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.02.002>

Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., Dunnington, D., van den Brand, T. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* [Paquete R]. <https://ggplot2.tidyverse.org/>

World Register of Marine Species (WoRMS). (s. f.). Animalia. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=2>

Xu, S., Böttcher, L., & Chou, T. (2020). Diversity in biology: Definitions, quantification and models. *Physical Biology*, 17(3), 031001. <https://doi.org/10.1088/1478-3975/ab6754>

Anexos

Anexo 1. Listado taxonómico de familias de invertebrados marinos en Bahía Colonet, Baja California.

Tabla 1A. Abundancia de familias del phylum Annelida registradas por zona (intermareal y submareal) y temporada (verano y otoño). Se observan registros indeterminados taxonómicamente dentro de la Clase Polychaeta. Las familias Spionidae, Sabellariidae y Nephtyidae fueron las más representativas.

Annelida				
Zona	Familia (Verano)	N	Familia (Otoño)	N
Intermareal	Ampinomidae	41	Glyceridae	2
	Chaetopteridae	86	Nephtyidae	5
	Cirratulidae	3	Paraonidae	30
	Euphrosinidae	5	Spionidae	43
	Glyceriformia	1	Syllidae	1
	Naididae	55	Indeterminado (Clase Polychaeta)	1
	Nephtyidae	28		
	Nereididae	86		
	Opheliidae	6		
	Orbiniidae	13		
	Paraonidae	42		
	Sabellariidae	456		
	Spionidae	48		
	Syllidae	2		
	Tubificidae	5		
	Indeterminado (Clase Polychaeta)	10		
	Indeterminado (Clase Polychaeta)	29		

Submareal	Ampharetidae	42	Cirratulidae	18
	Amphinomidae	4	Goniadidae	25
	Aphroditidae	1	Lumbrinerida	2
	Capitellidae	80	Spionidae	86
	Chaetopteridae	9		
	Cirratulidae	51		
	Dorvilleidae	3		
	Echiuridae	4		
	Flabelligeridae	2		
	Glyceridae	27		
	Goniadidae	11		
	Hesionidae	5		
	Lumbrineridae	26		
	Magelonidae	32		
	Maldanidae	24		
	Nephtyidae	56		
	Nereididae	7		
	Onuphidae	5		
	Opheliidae	111		
	Orbiniidae	11		
	Paraonidae	45		
	Pectinariidae	1		
	Phyllodocidae	42		
	Polynoidae	46		
	Sabellariidae	3		
	Sabellidae	22		
	Scalibregmatidae	2		
	Serpulidae	4		
	Sigalionidae	6		
	Sphaerodoridae	8		
	Spionidae	461		
	Sternaspidae	5		
	Syllidae	70		
	Terebellidae	7		
	Indeterminado (Clase Polychaeta)	2		

Tabla 2A. Abundancia de familias del phylum Arthropoda por zona y temporada. Se observan registros indeterminados dentro de las Clases Arachnida, Malacostraca, Copépoda, Ostrácoda y Pycnogonida. Las familias Paguridae, Porcellanidae y Caprellidae fueron las más representativas.

Arthropoda				
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>	<i>Familia (Otoño)</i>	<i>N</i>
Intermareal	Amphinomidae	287	Hippidae	7
	Calliopidae	18	Sphaeromatidae	4
	Caprellidae	4	Indeterminado (Clase Arachnida)	1
	Cymothoidae	5	Indeterminado (Clase Malacostraca)	24
	Dexaminidae	20		
	Grapsidae	6		
	Hippidae	74		
	Ligiidae	12		
	Limnoriidae	3		
	Majidae	2		
	Paguridae	12		
	Palaemonidae	1		
	Scalpellidae	5		
	Sphaeromatidae	31		
	Talitridae	6		
	Indeterminado (Clase Arachnida)	2		
	Indeterminado (Clase Copépoda)	3		
	Indeterminado (Clase Malacostraca)	73		
Submareal	Caprellidae	14	Indeterminado (Clase Malacostraca)	226
	Cylindroleberididae	18	Indeterminado (Clase Malacostraca)	16
	Cypridinidae	3	Indeterminado (Clase Pycnogonida)	1
	Hemicytheridae	2		

	Isaeidae	29	
	Munnidae	49	
	Paranthuridae	5	
	Philomedidae	113	
	Sphaeromatidae	3	
	Indeterminado (Clase Arachnida)	3	
	Indeterminado (Clase Malacostraca)	412	
	Indeterminado (Clase Malacostraca)	62	
	Indeterminado (Clase Malacostraca)	4	
	Indeterminado (Clase Pycnogonida)	1	
	Indeterminado (Clase Malacostraca)	53	
	Indeterminado (Clase Pycnogonida)	17	
	Indeterminado (Clase Ostrácoda)	3	
	Indeterminado (Clase Copépoda)	3	

Tabla 3A. Abundancia de familias del phylum Brachiopoda por zona y temporada. Se observan registros indeterminados dentro de la Clase Brachiopoda. La familia Lingulidae fue la más representativa.

Brachiopoda		
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>
Submareal	Lingulidae	2
	Indeterminado (Phylum Brachiopoda)	12

Tabla 4A. Abundancia de familias del phylum *Bryozoa* por zona y temporada. Todos los registros corresponden a individuos indeterminados dentro de la Clase *Bryozoa*.

Bryozoa		
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>
Submareal	Indeterminado (Phylum Bryozoa)	4

Tabla 5A. Abundancia de familias del phylum Cnidaria por zona y temporada. Se observan registros indeterminados dentro de las Clases Leptothecata y Anthozoa. La familia Actiniidae fue la más representativa.

Cnidaria		
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>
Intermareal	Actiniidae	13
	Metridiidae	2
	Indeterminado (Clase Leptothecata)	3
	Indeterminado (Clase Anthozoa)	6

Tabla 6A. Abundancia de familias del phylum Echinodermata por zona y temporada. Se observan registros indeterminados dentro de las Clases Echinoidea. La familia Amphiuridae fue la más representativa.

Echinodermata				
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>	<i>Familia (Otoño)</i>	<i>N</i>
Intermareal	Ophiactidae	6		
	Ophiothricidae	2		
	Strongylocentrotidae	4		
	Indeterminado (Clase Echinoidea)	1		
Submareal	Amphiuridae	41	Amphiuridae	11
	Astropectinidae	9		
	Caudinidae	4		
	Cucumariidae	1		
	Dendrasteridae	1		
	Echinidae	9		
	Holoturiidae	1		
	Ophiotrochidae	2		
	Synaptidae	5		

Tabla 7A. Abundancia de familias del phylum Mollusca registradas por zona y temporada. Se observan registros indeterminados dentro de las Clases Bivalvia y Gastropoda. Las familias Mytilidae, Tellinidae, Lottiidae y Littorinidae fueron las más representativas.

Mollusca				
Zona	Familia (Verano)	N	Familia (Otoño)	N
Intermareal	Caecidae	1	Caecidae	1
	Chaetopleuridae	6	Indeterminado (Clase Bivalvia)	28
	Columbellidae	25	Indeterminado (Clase Gastropoda)	2
	Epitoniidae	4		
	Fissurellidae	9		
	Hiatellidae	12		
	Littorinidae	69		
	Lottiidae	82		
	Marginellidae	1		
	Mytilidae	17		
	Octopodidae	1		
	Olividae	1		
	Onchidorididae	2		
	Semelidae	1		
	Tegulidae	12		
	Thaisidae	16		
	Trochidae	32		
	Turbinidae	3		
	Indeterminado (Clase Bivalvia)	11		
	Indeterminado (Clase Gastropoda)	1		
	Indeterminado (Clase Gastropoda)	1		

Submareal	Bullidae	4	Dentaliidae	8
	Caecidae	2	Nuculanidae	8
	Calliostomatidae	1	Olividae	16
	Calyptraeidae	2	Tellinidae	35
	Cardiidae	1	Veneridae	22
	Columbellidae	6		
	Cylichnidae	2		
	Dentaliidae	5		
	Eulimidae	4		
	Gadilidae	13		
	Hiatellidae	1		
	Ischnochitonidae	1		
	Lasaeidae	5		
	Limidae	2		
	Lucinidae	8		
	Mactridae	2		
	Mangeliidae	1		
	Mytilidae	193		
	Nassariidae	1		
	Nuculanidae	4		
	Nuculidae	2		
	Olividae	8		
	Pectinidae	1		
	Pharidae	2		
	Philinidae	6		
	Polyceridae	1		
	Pyramidellidae	1		
	Rhabdidae	8		
	Rhizoridae	5		
	Tellinidae	66		
	Tornatinidae	1		
	Trochidae	2		
	Indeterminado (Clase Bivalvia)	14		

Tabla 8A. Abundancia de familias del phylum Nematoda por zona y temporada. Todos los registros corresponden a individuos indeterminados dentro de la Clase Nematoda.

Nematoda				
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>	<i>Familia (Otoño)</i>	<i>N</i>
Intermareal			Indeterminado (Phylum Nematoda)	3
Submareal	Indeterminado (Phylum Nematoda)	40		

Tabla 9A. Abundancia de familias del phylum Nemertea registradas por zona y temporada. Se observan registros indeterminados dentro de las Clases Anopla y Nemertea. La familia Lineidae fue la más representativa.

Nemertea				
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>	<i>Familia (Otoño)</i>	<i>N</i>
Intermareal	Baseodiscidae	2		
	Carinomidae	3		
	Lineidae	25		
	Tubulanidae	2		
	Indeterminado (Clase Anopla)	8		
Submareal	Indeterminado (Phylum Nemertea)	107		

Tabla 10A. Abundancia de familias del phylum Phoronida por zona y temporada. La familia Phoronidae fue la más representativa.

Phoronida		
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>
Submareal	Phoronidae	1

Tabla 11A. Abundancia de familias del phylum Platyhelminthes por zona y temporada. La familia Leptoplanidae fue la más representativa.

Platyhelminthes				
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>	<i>Familia (Otoño)</i>	<i>N</i>
Intermareal	Leptoplanidae	6		
	Pseudoceridae	1		
Submareal			Indeterminado (Phylum Nematoda)	3

Tabla 12A. Abundancia de familias del phylum Porifera por zona y temporada. Las familias Clathrinidae y Halichondriidae fueron la más representativas.

Porifera		
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>
Intermareal	Clathrinidae	1
	Halichondriidae	2

Tabla 13A. Abundancia de familias del phylum Priapulida por zona y temporada. La familia Priapulidae fue la más representativa.

Priapulida		
<i>Zona</i>	<i>Familia (Verano)</i>	<i>N</i>
Intermareal	Priapulidae	2

Anexo 2. Catálogo taxonómico de phyla y familias identificadas en Bahía Colonet, Baja California.

Annelida

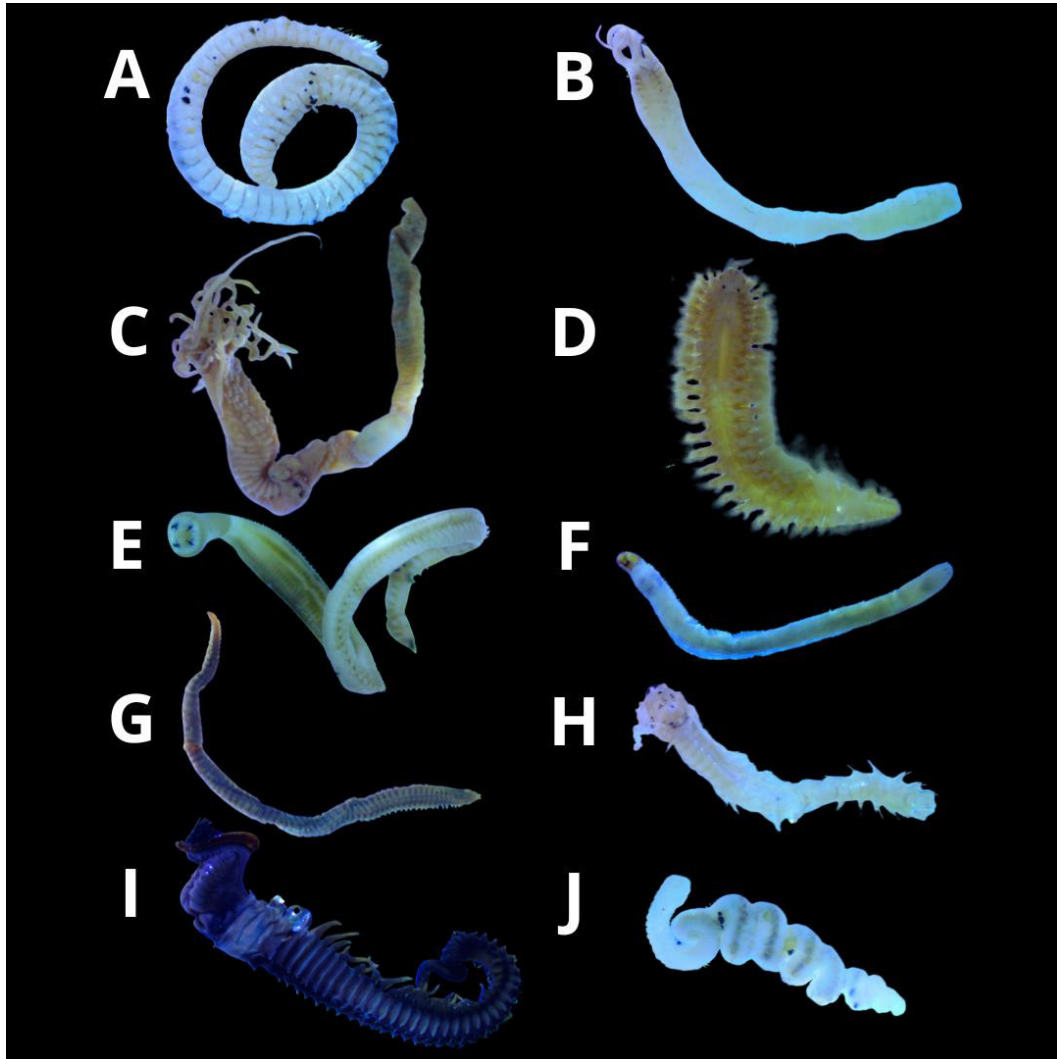


Figura 22. Ejemplares representativos del phylum Annelida recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Amphinomidae, B) Familia Chaetopteridae, C) Familia Cirratulidae, D) Familia Euprosinidae, E) Familia Glyceridae, F) Familia Naididae, G) Familia Nephtyidae, H) Familia Nereididae, I) Familia Sabellaridae, J) Familia Tubificidae.

Arthropoda

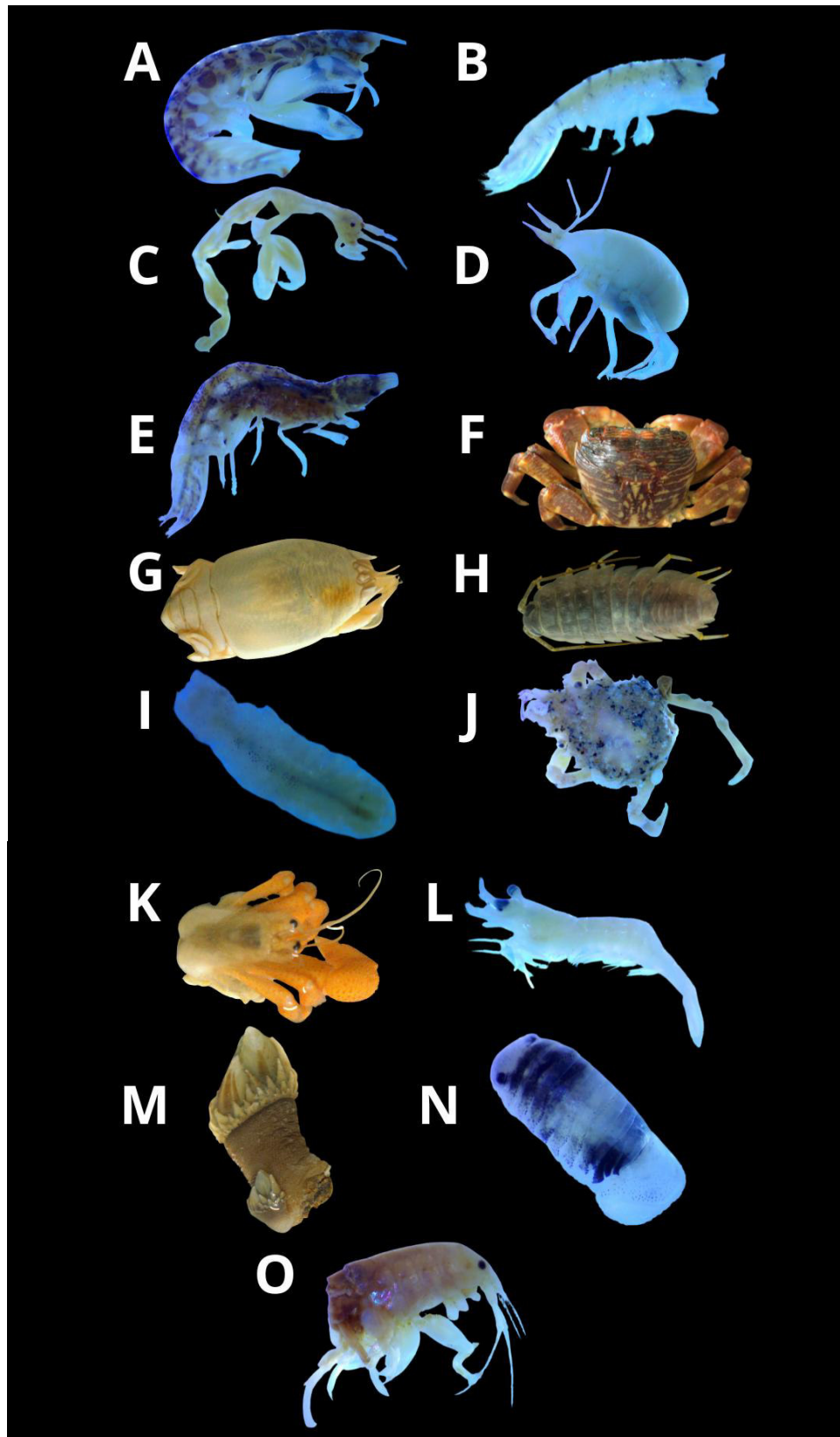


Figura 23. Ejemplares representativos del phylum Arthropoda recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Ampithoidae, B) Familia Metridiidae, C) Familia Caprellidae, D) Familia Cymothoidae, E) Familia Dexaminidae, F) Familia Grapsidae, G) Familia Hippidae, H) Familia Ligiidae, I) Familia Limnoriidae, J) Familia Majidae, K) Familia Paguridae, L) Familia Palaemonidae, M) Familia Scalpellidae, N) Familia Sphaeromatidae, O) Familia Talitridae.

Cnidaria

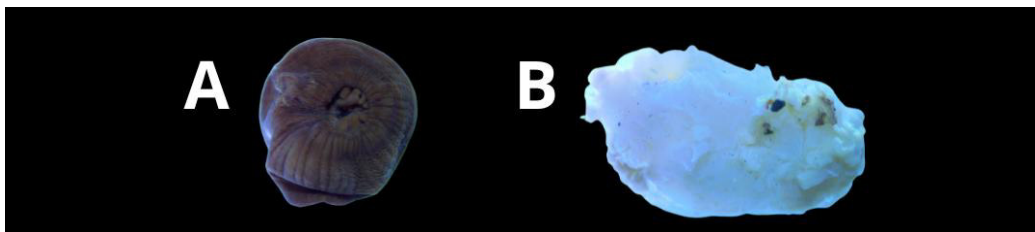


Figura 24. Ejemplares representativos del phylum Cnidaria recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Actiniidae, B) Familia Metridiidae.

Echinodermata

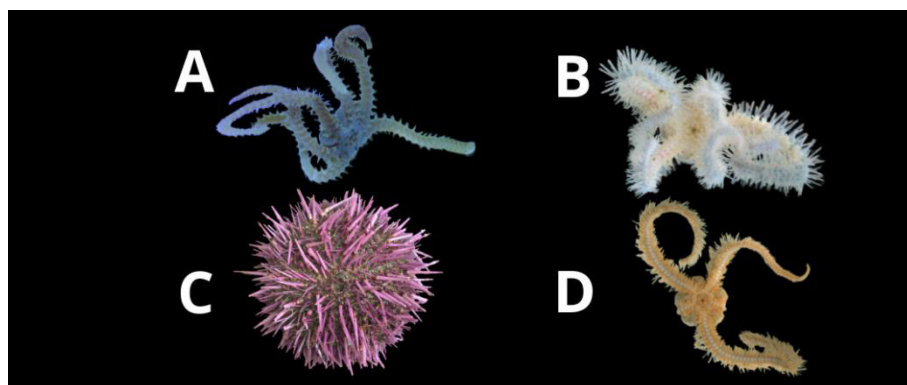
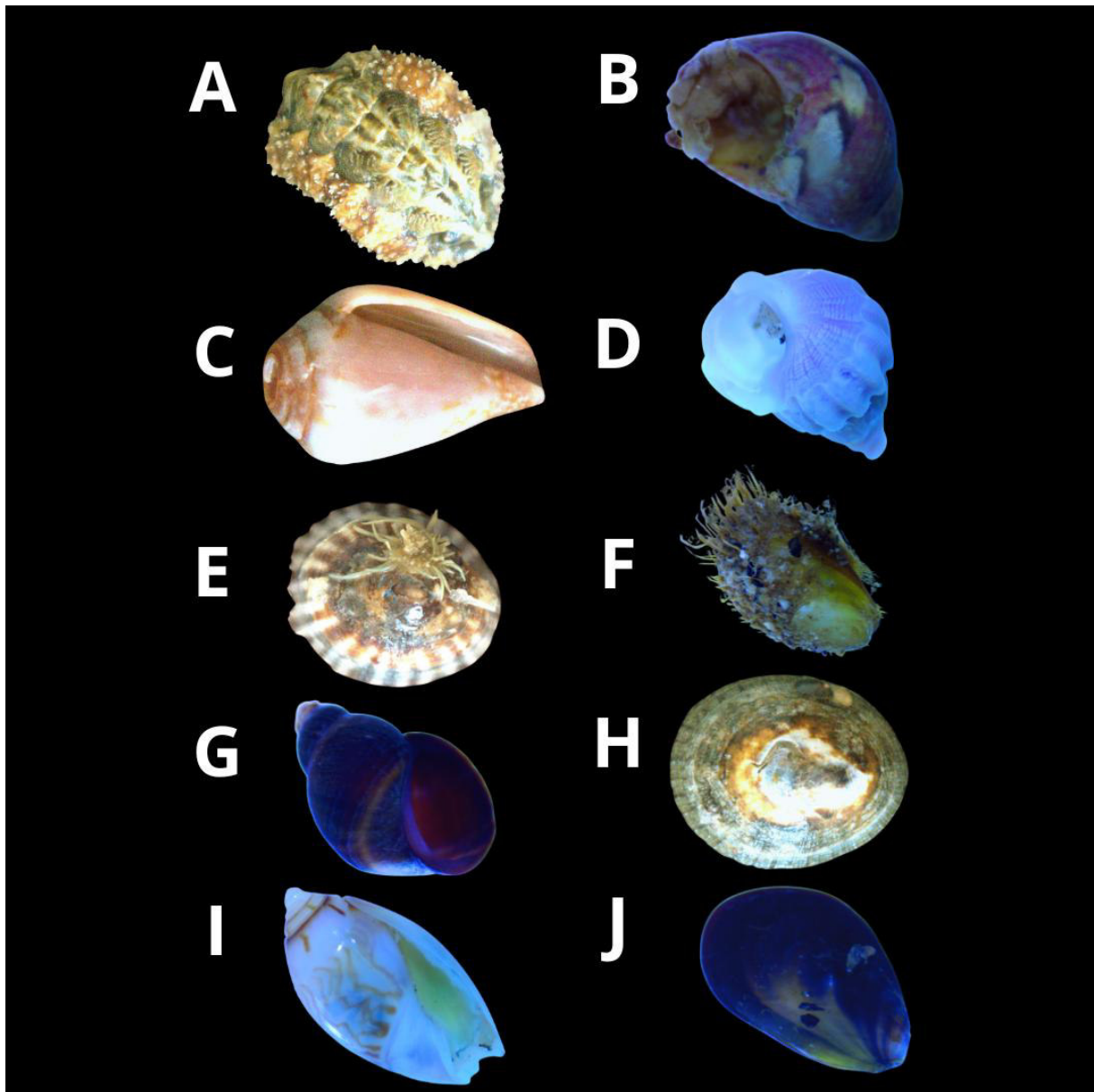


Figura 25. Ejemplares representativos del phylum Echinodermata recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Ophiactidae, B) Familia Ophiothricidae, C) Familia Strongylocentrotidae, D) Indeterminado-Clase Echinoidea.

Mollusca



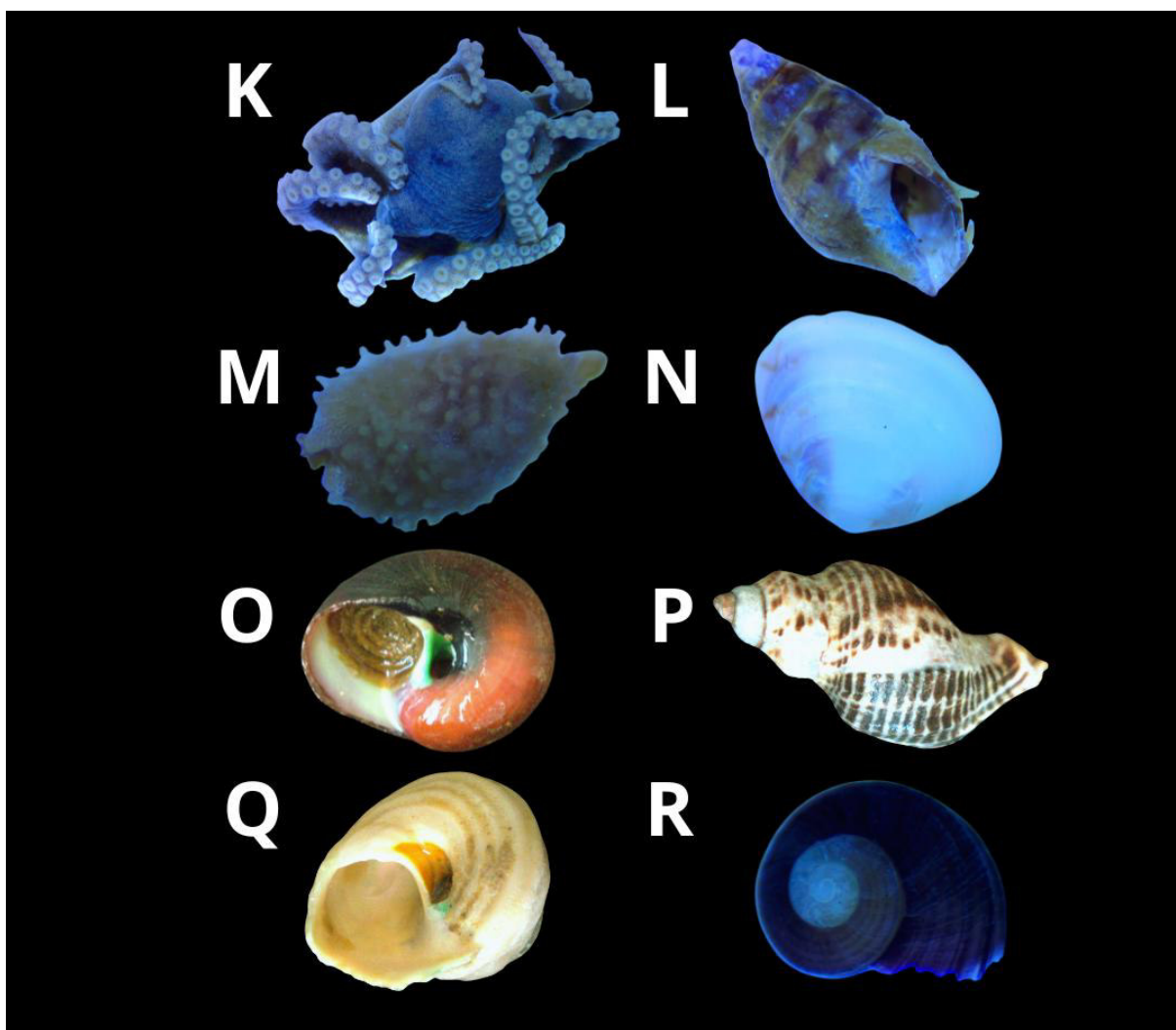


Figura 26. Ejemplares representativos del phylum Mollusca recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Chaetopleuridae, B) Familia Columbellidae, C) Familia Conidae, D) Familia Epitoniidae, E) Familia Fissurellidae, F) Familia Hiatellidae, G) Familia Littorinidae, H) Familia Lottiidae, I) Familia Marginellidae, J) Familia Mytilidae, K) Familia Octopodidae, L) Familia Olividae, M) Familia Onchidorididae, N) Familia Semelidae, O) Familia Tegulidae, P) Familia Thaisidae, Q) Familia Trochidae, R) Familia Turbinidae.

Nemertea

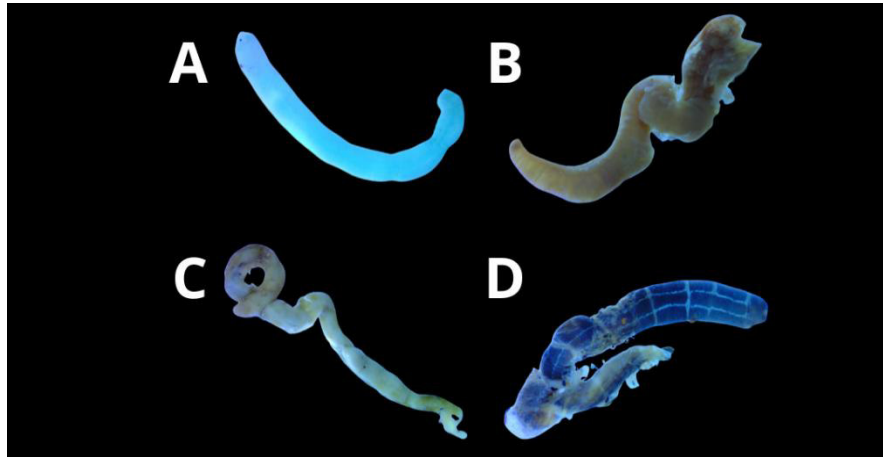


Figura 27. Ejemplares representativos del phylum Nemertea recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Baseodiscidae, B) Familia Carinomidae, C) Familia Lineidae, D) Familia Tubulanidae.

Platyhelminthes

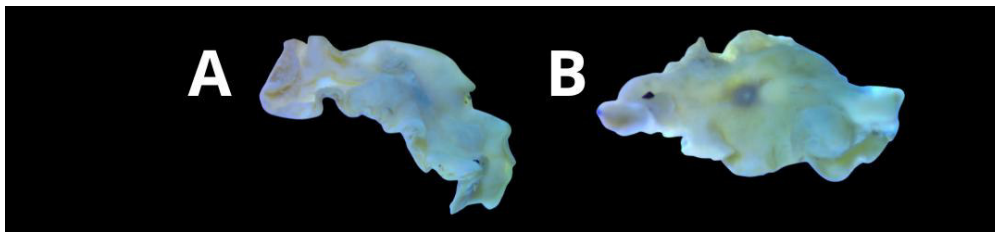


Figura 28. Ejemplares representativos del phylum Platyhelminthes recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Leptoplanidae, B) Familia Pseudoceridae.

Porifera

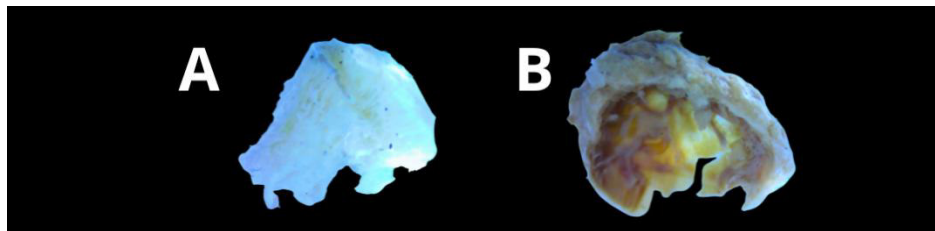


Figura 29. Ejemplares representativos del phylum Platyhelminthes recolectados en bahía Colonet, Baja California: A) Familia Clathrinidae, B) Familia Halichondriidae.