



## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Las esponjas en el Perú y su potencial como fuente de compuestos antibacterianos

## Sponges in Peru and their potential as a source of antibacterial compounds

Báslavi Córdor-Luján\* y Juan C. Francia-Quiroz

0000-0001-7832-7319

0000-0001-5095-6623

Universidad Científica del Sur, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Carrera de Biología Marina, Antigua Panamericana Sur Km. 19, Villa El Salvador, Lima, Perú. [bcordor@cientifica.edu.pe](mailto:bcordor@cientifica.edu.pe), [jfrancia@cientifica.edu.pe](mailto:jfrancia@cientifica.edu.pe)

\* Autor de correspondencia / Corresponding author.

### RESUMEN

En las últimas décadas, las esponjas se han perfilado como la mayor fuente de principios activos de origen animal, con fines farmacéuticos. En el Perú, la información sobre estos animales es incipiente y dispersa, lo cual limita la toma de medidas correctas para su adecuado manejo, aprovechamiento y conservación. El objetivo de este estudio es brindar una actualización sobre los alcances y perspectivas de la investigación sobre esponjas en el Perú, con énfasis en la riqueza de especies y su potencial antibacteriano. Asimismo, se revisan las iniciativas de investigación de otros países del Pacífico sudamericano. Los esfuerzos de investigación en el Perú han permitido la descripción de 46 especies; sin embargo, se considera que la riqueza se encuentra aún subestimada. Por otro lado, en otras latitudes, se han aislado principios activos con actividad antimicrobiana de por lo menos 36 especies pertenecientes a 11 de los 25 géneros registrados para el Perú (44 %), sugiriendo el alto potencial de las esponjas peruanas como fuente de metabolitos antibacterianos. Se concluye que la implementación de proyectos que integren la investigación de esponjas a diferentes escalas es necesaria para contribuir al desarrollo de planes de innovación y bionegocios en las industrias pesquera, acuícola, y farmacéutica.

**PALABRAS CLAVES:** actividad antimicrobiana, bacteria, biodiversidad marina, biotecnología, Porifera.

### ABSTRACT

In the last decades, sponges have emerged as the largest source of active compounds of animal origin for pharmaceutical purposes. In Peru information on these animals is incipient and scattered, which limits taking the right measures for their adequate management, exploitation, and conservation. The aim of this study is to provide an update on the scope and perspectives of sponge research in Peru, with an emphasis on species richness and their antibacterial potential. Likewise, research initiatives carried out in other South American Pacific countries are reviewed. Research efforts in Peru have allowed the description of 46 species; however, the sponge richness is underestimated. On the other hand, in other latitudes, active principles with antimicrobial activity have been isolated from at least 36 species belonging to 11 of the 25 genera recorded in Peru (44 %), suggesting the high potential of Peruvian sponges as a source of antibacterial metabolites. It is concluded that the implementation of projects that integrate sponge research at different scales is necessary to contribute to the development of innovation plans and bio-businesses in the fishing, aquaculture, and pharmaceutical industries.

**KEYWORDS:** antimicrobial activity, bacteria, biotechnology, marine biodiversity, Porifera.

## INTRODUCCIÓN

El uso indebido de medicamentos ha dado lugar a la aparición de bacterias patógenas que presentan resistencia a múltiples fármacos, lo cual se ha convertido en una amenaza para la salud pública, y se estima que será una de las principales causas de muerte a nivel mundial para el 2050 (WHO, 2014). Como consecuencia, se hace necesaria la renovación del arsenal terapéutico frente a cepas resistentes de bacterias patógenas Gram positivas (*e.g. Enterococcus* sp., *Mycobacterium tuberculosis* (Zopf 1883) Lehmann y Neumann 1896, *Staphylococcus aureus* Rosenbach 1884) y Gram negativas (*e.g. Acinetobacter baumannii* Bouvet y Grimont 1986, *Klebsiella pneumoniae* (Schroeter 1886) Trevisan 1887, *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter 1872) Migula 1900) (WHO, 2014, 2015). Frente a lo anterior, organismos marinos, como las esponjas, se convierten en una fuente importante para la obtención de biomoléculas que permiten el diseño de nuevos fármacos (López *et al.*, 2018).

Las esponjas (filo Porifera) son organismos acuáticos, sésiles, bentónicos y filtradores. Son consideradas los animales más antiguos aún vivientes, estimando su origen hace 760 millones de años (Brain *et al.*, 2012). Su distribución es global, habitando ecosistemas dulceacuícolas, mixohalinos y marinos, desde la zona intermareal hasta las grandes profundidades (Hooper *et al.*, 2002). Presentan un nivel de organización sencillo, formado por células con gran movilidad y totipotencia, facilitando procesos de diferenciación y transdiferenciación (Klautau, 2016). La mayoría de las especies se caracterizan por presentar un sistema de poros, canales y cámaras coanocitarias (estructuras especializadas para la filtración), conocido como sistema acuífero, a través del cual realizan las actividades de alimentación y reproducción (a excepción de las esponjas carnívoras, Vacelet y Boury-Esnault, 1995). Además, poseen un esqueleto compuesto por espículas (agregaciones minerales) de sílice o carbonato de calcio y/o fibras orgánicas de espongina (Vos *et al.*, 1991; Hooper *et al.*, 2002).

Estos animales desempeñan un rol importante en los ecosistemas acuáticos: contribuyen al reciclaje de nutrientes (*sponge loop*, de Goeij *et al.*, 2013), brindan refugio para muchos invertebrados (Pearse, 1932; Frith, 1976; Kunzmann, 1996) y forman extensas agregaciones conocidas como *sponge grounds* de diferente naturaleza (Maldonado, 2016). Por otro lado, también destacan en el ámbito de la biotecnología, habiéndose realizado estudios sobre su uso como bioindicadores de calidad de agua por sus reconocidas

## INTRODUCTION

Inappropriate use of medicine has given rise to pathogenic bacteria that are resistant to multiple drugs, which has become a threat to public health. It is estimated that this will be one of the main causes of death around the world by 2050 (WHO, 2014). Consequently, it is necessary to renovate the pharmaceutical arsenal against resistant pathogenic bacterial strains that are Gram-positive (*e.g., Enterococcus* sp., *Mycobacterium tuberculosis* (Zopf 1883) Lehmann and Neumann 1896, *Staphylococcus aureus* Rosenbach 1884) and Gram-negative (*e.g., Acinetobacter baumannii* Bouvet and Grimont 1986, *Klebsiella pneumoniae* (Schroeter 1886) Trevisan 1887, *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter 1872) Migula 1900) (WHO, 2014, 2015). In light of the above, marine organisms such as sponges have become an important source for obtaining biomolecules that allow designing new drugs (López *et al.*, 2018).

Sponges (phylum Porifera) are aquatic, sessile, benthic, and filtering organisms. They are considered to be the oldest living animals, and they are estimated to have originated 760 million years ago (Brain *et al.*, 2012). Their distribution is global; they inhabit freshwater, mixohaline, and marine ecosystems, from the intertidal zone down to great depths (Hooper *et al.*, 2002). They exhibit a simple level of organization, formed by cells of great motility and totipotency, which facilitates differentiation and transdifferentiation processes (Klautau, 2016). Most species are characterized by having a system of pores, channels, and choanocyte chambers (specialized filtering structures) known as aquiferous system, through which sponges feed and reproduce (with the exception of carnivorous sponges, Vacelet and Boury-Esnault, 1995). Moreover, they have a skeleton composed of spicules (mineral aggregations) made of silica or calcium carbonate and/or spongin organic fibers (Vos *et al.*, 1991; Hooper *et al.*, 2002).

These animals play an important role in aquatic ecosystems: they contribute to nutrient recycling (*sponge loop*, de Goeij *et al.*, 2013), harbor many invertebrates (Pearse, 1932; Frith, 1976; Kunzmann, 1996), and form extensive aggregations known as *sponge grounds* of different types (Maldonado, 2016). On the other hand, they also stand out in the field of biotechnology, as studies have been conducted on their use as bioindicators of water quality, given their well-known filtering and bioaccumulation conditions, (Mahaut *et al.*, 2013), the use of their spicules to elaborate nanomaterials (Kulchin *et al.*, 2009), and the

condiciones de filtración y bioacumulación (Mahaut *et al.*, 2013), el empleo de sus espículas para la elaboración de nanomateriales (Kulchin *et al.*, 2009) y el potencial de su capacidad regenerativa para la ingeniería de tejidos (Granito *et al.*, 2016). En el campo de la biotecnología azul, constituyen el grupo de invertebrados marinos que provee la mayor cantidad de compuestos naturales con potencial farmacéutico (Pierdacarís *et al.*, 2013; Brinkmann *et al.*, 2017; Santhanam *et al.*, 2019), habiéndose aislado y caracterizado más de 5 000 compuestos bioactivos marinos, donde alrededor de 30 % provienen de esponjas (Han *et al.*, 2019). Los compuestos naturales con actividad antibacteriana pueden ser sintetizados por las esponjas propiamente, o a partir de la simbiosis con otros organismos (bacterias, levaduras, hongos, Marinho *et al.*, 2010; Anjum *et al.*, 2016; McCauley *et al.*, 2020).

En el Perú, la biotecnología es una oportunidad única para incrementar la competitividad y contribuir al desarrollo socioeconómico; este abordaje se fundamenta en la búsqueda y conquista de nuevos mercados a través del uso sostenible de la biodiversidad marina. Sin embargo, el problema radica en que las actuales aplicaciones biotecnológicas no trascienden de los esfuerzos a nivel académico o permanecen como acciones y/o iniciativas a pequeña escala, a pesar de emplear tecnologías avanzadas. Además, las empresas (peruanas) aún presentan limitaciones tecnológicas y económicas para aplicar la biotecnología en la mejora de sus productos o procesos, y se vislumbra lejana su aplicación a nivel industrial (Concytec, 2016).

En este contexto, el propósito de este trabajo fue brindar una actualización sobre el estado del conocimiento de las esponjas en el Perú y las perspectivas de su uso antibacteriano, abordando tres ejes principales: (1) investigación científica, (2) riqueza de especies y (3) potencial antimicrobiano. Para el primer eje, se realizó una recopilación de proyectos y/o iniciativas de investigación en repositorios de centros de investigación, universidades, blogs y noticias de prensa, a través de motores de búsqueda virtuales. Además, se consultó a líderes de proyectos para conocer los logros a nivel de formación de recursos humanos y producción científica. Para el segundo eje, se revisó cada uno de los registros de las especies de esponjas (marinas y dulceacuícolas) registradas para el Perú en World Porifera Database (<http://www.marinespecies.org/porifera/>) y se verificó su distribución geográfica y batimétrica. Considerando los géneros de esponjas registradas para el Perú, se elaboró una lista de especies co-genéricas de otras regiones del mundo con actividad antimicrobiana comprobada. Para ello, se realizó

potential of their regeneration capacity for tissue engineering (Granito *et al.*, 2016). In the field of blue biotechnology, they constitute the group of marine invertebrates that provides the largest number of natural compounds with pharmaceutical potential (Pierdacarís *et al.*, 2013; Brinkmann *et al.*, 2017; Santhanam *et al.*, 2019), as more than 5,000 bioactive marine compounds have been isolated, out of which around 30 % come from sponges (Han *et al.*, 2019). Natural compounds with antibacterial activity can be synthesized by sponges themselves or from symbiosis with other organisms (bacteria, yeasts, fungi) (Marinho *et al.*, 2010; Anjum *et al.*, 2016; McCauley *et al.*, 2020).

In Peru, biotechnology is a unique opportunity to increase competitiveness and contribute to socioeconomic development. This approach is based on the search and conquest of new markets through the sustainable use of marine biodiversity. However, the problem lies in the fact that current biotechnology applications do not transcend academic efforts or remain as small-scale actions and/or initiatives, despite utilizing advanced technologies. Moreover, (Peruvian) companies still have technological and economic limitations regarding the application of biotechnology in the improvement of their products or processes, whose industrial-scale implementation is seen to be far away (Concytec, 2016).

In this context, the aim of this work was to provide an update on the state of knowledge on sponges in Peru and the perspectives of their antibacterial use, addressing three main axes: (1) scientific research, (2) species richness, and (3) antimicrobial potential. For the first axis, research projects and/or initiatives were compiled from repositories belonging to research centers, universities, blogs, and press releases through virtual search engines. Moreover, project leaders were consulted in order to understand the achievements made with regard to the training of human resources and scientific production. For the second axis, each of the records of sponge species (both marine and freshwater) registered for Peru in the World Porifera Database (<http://www.marinespecies.org/porifera/>) was reviewed, and their geographical and bathymetric distributions were verified. Considering the genera of sponges recorded for Peru, a list of congeneric species proven to have antimicrobial activity in other regions in the world was elaborated. To this effect, a search for scientific articles published in indexed journals was conducted in databases such as Scopus, JStor, ScienceDirect, SciELO, and Wiley Online Library, using the keywords “antibacterial activity”, “sponge”, and “Porifera”

una búsqueda de artículos científicos publicados en revistas indizadas en bases de datos *e.g.* Scopus, JStor, Sciencedirect, Scielo y Wiley Online Library, usando las siguientes palabras claves: actividad antibacteriana, esponja, Porifera (en inglés y español); así como los géneros reportados para el Perú (latín). Finalmente, se presenta un breve análisis comparativo del estado del conocimiento y potencial de las esponjas en el Perú como fuente de productos antimicrobianos, en relación con otros países de la región.

### Investigación sobre el filo Porifera en el Perú

El estudio de las esponjas en el Perú inició con el registro de la primera especie de la clase Demospongiae, *Dysidea lignea* (Hyatt, 1877) para el norte del país (Tumbes, Hyatt, 1877). Algunos años después, se recolectaron los primeros especímenes de la clase Hexactinellida durante la expedición científica a bordo del crucero *Albatross* (1904–1905) en el Pacífico Tropical bajo la dirección de Alexander Agassiz. Estas muestras fueron obtenidas mediante lances de dragas a profundidades de 4 000 metros e identificadas por el zólogo austriaco Robert von Lendenfeld (1915) a partir de material pobremente conservado dada la metodología de recolecta utilizada. Décadas más tarde, como resultado de la revisión del material registrado en la Colección del *National Museum of Natural History* (Smithsonian Institution, USNM), se identificaron otras especies de Demospongiae (van Soest *et al.*, 1991; Desqueyroux-Faúndez y van Soest, 1996). van Soest *et al.* (1991) realizaron una detallada revisión biogeográfica del género *Acarinus* y describieron la primera especie de este género para el Perú, recolectada en zona intermareal; en cuanto que Desqueyroux-Faúndez y van Soest (1996) describieron las dos primeras especies de *Myxilla* recolectadas durante el *Programa Oceanográfico Biológico del Pacífico Este* (Sepbop), a bordo del R.V. *Anton Bruun* (en 1966).

En las últimas décadas se realizaron iniciativas con el fin de conocer la riqueza de esponjas de América del Sur. El proyecto EsponjAS, liderado por el especialista brasileño Eduardo Hajdu (*Museu Nacional–Universidade Federal do Rio de Janeiro*, UFRJ), en cooperación con el biólogo belga Philippe Willenz (*Royal Belgium Institute of Natural Sciences*, RBNSc) tuvieron como objetivo inventariar la espongiofauna de áreas poco exploradas en Sudamérica, con particular interés en las costas de Argentina y Chile. En 2008 este proyecto expandió su área de estudio al Perú. Casi paralelamente, en 2007, surgió el proyecto de cooperación peruano-belga ESPER (Esponjas del Perú), liderado por el biólogo Yuri Hooker (*Universidad Peruana Cayetano*

(in both English and Spanish), as well as the genera reported for Peru (in Latin). Finally, a brief comparative analysis of the state of knowledge and potential of sponges in Peru as a source of antimicrobial products is presented in relation to other countries in the region.

### Research on the phylum Porifera in Peru

The study of sponges in Peru began with the record of the first species of the class Demospongiae, *Dysidea lignea* (Hyatt, 1877) for the northern part of the country (Tumbes, Hyatt, 1877). Some years later, the first specimens of the class Hexactinellida were collected during the scientific expedition onboard the *Albatross* cruise (1904–1905) to the Tropical Pacific, which was led by Alexander Agassiz. The samples were obtained by throwing grabs to depths of 4,000 m, and they were identified by Austrian zoologist Robert von Lendenfeld (1915) from poorly preserved materials due to the collection methodology employed. Decades later, as a result of the review of the material registered in the Collection of the National Museum of Natural History (Smithsonian Institution, USNM), other Demospongiae species were identified (van Soest *et al.*, 1991; Desqueyroux-Faúndez and van Soest, 1996). Van Soest *et al.* (1991) conducted a detailed biogeographical review of the genus *Acarinus* and described the first species of this genus for Peru, which was collected from an intertidal zone. In turn, Desqueyroux-Faúndez and van Soest (1996) described the first two *Myxilla* species, collected during the *Programa Oceanográfico Biológico del Pacífico Este* (East Pacific Oceanographical Biological Program, Sepbop) onboard the R.V. *Anton Bruun* in 1966.

In the last decades, initiatives have been carried out with the purpose to determine the richness of sponges in South America. The EsponjAS project, led by the Brazilian specialist Eduardo Hajdu (*Museu Nacional–Universidade Federal do Rio de Janeiro*, UFRJ), in cooperation with the Belgian biologist Philippe Willenz (*Royal Belgium Institute of Natural Sciences*, RBNSc), aimed to make an inventory of the sponge fauna in poorly explored areas of South America, with a particular interest in the coasts of Argentina and Chile. In 2008, this project expanded its study area to Peru. Almost in parallel, in 2007, the Peruvian-Belgian cooperation project ESPER (Esponjas del Perú) began, which was led by the biologist Yuri Hooker (*Universidad Peruana Cayetano Heredia*) and Philippe Willenz (RBNSc) and funded by the Global Biodiversity Information Facility (GBIF), with the purpose of identifying the sponges of Peru (Aguirre *et al.*, 2011).

*Heredia*) y Philippe Willenz (RBNSc), con financiamiento de *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF), con el fin de identificar las esponjas del Perú (Aguirre *et al.*, 2011).

En el marco de estos proyectos (2007–2009), fueron recolectadas más de 800 muestras de esponjas a lo largo de la costa peruana (ca. 90 localidades), mediante recolección manual en la zona intermareal y buceo semiautónomo y autónomo en la zona submareal (Aguirre *et al.*, 2011; Azevedo *et al.*, 2015). Estos proyectos incluyeron la participación de estudiantes de distintas universidades y profesionales afines a la biología, quienes fueron capacitados en técnicas de recolección y preservación de esponjas; además, algunas estudiantes realizaron pasantías en la UFRJ, financiadas con becas brindadas por el *Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica* (Concytec) y proyecto ESponjAS. Como resultado de estas iniciativas, se han identificado y descrito 30 especies, integrando abordajes morfológicos que incluyen la caracterización de espículas con auxilio de microscopía electrónica (Aguirre *et al.*, 2011; Hajdu *et al.*, 2015; Recinos *et al.*, 2020; Bispo *et al.*, 2022) y herramientas moleculares como la secuenciación de ADN (Azevedo *et al.*, 2015; Córdor-Luján *et al.*, 2019). La identificación del material recolectado servirá para la elaboración de una guía de identificación de las esponjas del Perú, a ser publicada próximamente (Ph Willenz, com. pers).

Diversos esfuerzos por conocer los aspectos ecológicos de las esponjas también han sido desarrollados en el Perú, destacando entre ellos, la determinación de la macrofauna asociada (Córdor *et al.*, 2010) y la interacción erizo-esponja (Aguirre *et al.*, 2011). Por otro lado, el equipo del Laboratorio de Ecología Microbiana de la *Universidad Nacional Mayor de San Marcos* (UNMSM), liderado por el microbiólogo Jorge León, ha realizado estudios para determinar la actividad biológica de actinomicetos asociados a algunas esponjas marinas, obteniéndose resultados promisorios (e.g. León *et al.*, 2015; Lino *et al.*, 2016).

En 2019, la *Universidad Científica del Sur* (Científica) continuó con las investigaciones en Porifera en el Perú, iniciando con la determinación de las esponjas registradas en la Colección Científica de dicha Institución, con financiamiento propio, en el marco del *Proyecto Evaluación de la diversidad de Demospongiae (Phylum Porifera) de las costas central y sur del Perú*; involucrando docentes y estudiantes del Perú, así como, investigadores especialistas extranjeros (Eduardo Hajdu y Philippe Willenz). A finales de 2019, la Científica comenzó la ejecución del subproyecto *Bioprospección de esponjas marinas de las costas central*

Within the framework of these projects (2007–2009), more than 800 sponge samples were collected along the Peruvian coast (ca. 90 localities) by manual collection in the intertidal zone and semi-autonomous diving in the subtidal zone (Aguirre *et al.*, 2011; Azevedo *et al.*, 2015). These projects included the participation of students from different universities and professionals related to the field of biology, who were trained in sponge collection and preservation techniques. In addition, some students did internships in the UFRJ, which were funded with grants provided by the National Council of Science, Technology, and Technological Innovation (*Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica*, Concytec) and the ESponjAS Project. As a result of these initiatives, 30 species have been identified and described, integrating morphological approaches that include spicule characterization aided by electronic microscopy (Aguirre *et al.*, 2011, Hajdu *et al.*, 2015, Recinos *et al.*, 2020; Bispo *et al.*, 2022) and molecular tools such as DNA sequencing (Azevedo *et al.*, 2015, Córdor-Luján *et al.*, 2019). Identifying the collected material will be useful for the elaboration of a identification guide of sponges of Peru, which will be published later (Ph. Willenz, pers. comm. 01/2022).

Multiple efforts have been made in Peru to understand the ecological aspects of sponges, among which the determination of their associated macrofauna (Córdor *et al.*, 2010) and urchin-sponge interaction (Aguirre *et al.*, 2011) can be highlighted. On the other hand, the research group of the Microbial Ecology Laboratory of *Universidad Nacional Mayor de San Marcos* (UNMSM), led by the microbiologist Jorge León, has conducted studies to determine the biological activity of actinomycetes associated with marine sponges and has obtained promising results (see León *et al.*, 2015; Lino *et al.*, 2016).

In 2019, *Universidad Científica del Sur* (Científica) continued its self-funded research on Porifera in Peru, starting with the determination of the sponges recorded in its Scientific Collection, within the framework of the project *Evaluación de la diversidad de Demospongiae (Phylum Porifera) de las costas central y sur del Perú* (Evaluation of the diversity of Demospongiae (Phylum Porifera) in the central and southern coasts of Peru), which involved Peruvian professors and students as well as international specialist researchers (Eduardo Hajdu and Philippe Willenz). In late 2019, Científica began to execute the subproject *Bioprospección de esponjas marinas de las costas central y sur del Perú para obtención de principios*

y sur del Perú para obtención de principios activos, con el objetivo de conocer la riqueza y distribución de esponjas de la costa centro-sur del Perú con potencial antimicrobiano, co-financiado por el Banco Mundial a través del *Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura* (PNIPA) del *Ministerio de la Producción* (Produce), y en colaboración con dos organizaciones sociales de pescadores artesanales (OSPAS), *Cooperativa de Trabajadores Pesqueros Artesanales Algas Marinas* (Cotrapalmar), y *Asociación de Maricultores El Arca de Noé de Marcona*.

En los últimos 15 años, nueve proyectos de investigación que han contado con financiamiento de diversas fuentes han sido desarrollados con esponjas del Perú. Entre estos, cinco corresponden a iniciativas peruanas con interés en la identificación de especies y el potencial biotecnológico de las mismas (Tabla S1). Como resultado de estas iniciativas, nueve artículos han sido publicados en revistas científicas y ca. 26 presentaciones en eventos científicos han sido realizadas (Tabla S2); incluyendo estudiantes del Perú (e.g. Aguirre *et al.*, 2011; Arroyo *et al.*, 2020; Azevedo *et al.*, 2015, Lino *et al.*, 2016).

### Riqueza de Esponjas en el Perú

Actualmente, se reconocen más de 9 000 especies de esponjas, organizadas en cuatro clases: Calcarea (8 %), Demospongiae (83 %), Hexactinellida (8 %) y Homoscleromorpha (1 %) (van Soest *et al.*, 2012). Entre ellas, sólo Calcarea incluye especies con esqueleto compuesto exclusivamente por espículas de carbonato de calcio e.g. diactinas, triactinas, tetractinas y pentactinas (Manuel *et al.*, 2002; Rossi *et al.*, 2006), y presenta los cinco tipos de sistema acuífero conocidos en Porifera: asconoide, leuconoide, siconoide, sileibide y solenoide (Cavalcanti y Klautau, 2011). A diferencia de Calcarea, las esponjas de Demospongiae presentan diversidad de colores y están adaptadas también a ambientes dulceacuícolas, incluyendo algunas lagunas altoandinas en el Perú (Boury-Esnault y Volkmer-Ribeiro, 1991). Hexactinellida incluye esponjas que se caracterizan por presentar células que forman tejidos sincitiales y en su mayoría, presentan distribución restringida a aguas profundas (200–6 000 m). Sólo las especies de Homoscleromorpha presentan membrana basal, pinacocitos flagelados y espículas de sílice con simetría tetraxónica (Gazave *et al.*, 2012). Además, al igual que Calcarea, las esponjas Homoscleromorpha habitan frecuentemente lugares protegidos de la luz, como cavidades en paredes verticales o se encuentran debajo de las rocas (Pérez *et al.*, 2017). Asimismo, se reconoce también la clase Archaeocyatha, que incluye especies extintas que presentaban

activos (Bioprospection of marine sponges in the central and southern coasts of Peru to obtain active principles), with the purpose of understanding the richness and distribution of sponges with microbial potential in Peru's central-southern coast. This subproject was co-funded by the World Bank through the *National Program for Innovation in Fisheries and Aquiculture* (PNIPA) of the *Ministry of Production* (Produce), as well as in collaboration with two social organizations of artisan fishermen (OSPAS): *Cooperativa de Trabajadores Pesqueros Artesanales Algas Marinas* (Cotrapalmar) and *Asociación de Maricultores El Arca de Noé de Marcona*.

During the last 15 years, nine research projects funded by various sources have been developed with Peruvian sponges. Among these, five correspond to Peruvian initiatives with an interest in identifying species and their biotechnological potential (Table S1). As a result of these initiatives, nine papers have been published in scientific journals, and ca. 26 presentations have been given at scientific events (Table S2), including Peruvian students (e.g., Aguirre *et al.*, 2011; Azevedo *et al.*, 2015; Lino *et al.*, 2016; Arroyo *et al.*, 2020).

### Sponge richness in Peru

More than 9,000 sponge species are currently recognized, which are organized into four classes: Calcarea (8 %), Demospongiae (83 %), Hexactinellida (8 %), and Homoscleromorpha (1 %) (van Soest *et al.*, 2012). Among them, only Calcarea includes species with a skeleton composed exclusively of calcium carbonate spicules, e.g., diactines, triactines, tetractines, and pentactines (Manuel *et al.*, 2002; Rossi *et al.*, 2006) and has the five types of aquiferous systems known for Porifera: asconoid, leuconoid, syconoid, sylleibid, and solenoid (Cavalcanti and Klautau, 2011). Unlike Calcarea, Demospongiae sponges have a diversity of colors and are adapted to freshwater environments, including some high Andean lagoons in Perú (Boury-Esnault and Volkmer-Ribeiro, 1991). Hexactinellida includes sponges characterized by having cells that form syncytial tissue, and most of them, present a distribution restricted to deep waters (200–6,000 m). Only Homoscleromorpha have basal membrane, flagellate pinacocytes, and silica spicules with tetraxonic symmetry (Gazave *et al.*, 2012). Moreover, just as Calcarea, Homoscleromorpha sponges often inhabit places that are protected from light such as cavities in vertical walls or under rocks (Pérez *et al.*, 2017). Furthermore, the class Archaeocyatha is also recognized, which includes extinct

forma de cono invertido y esqueleto basal de carbonato de calcio y formaron arrecifes durante el Cambriano (Debrenne *et al.*, 2002).

Para el Perú, se han registrado 46 especies de esponjas distribuidas en tres de las cinco clases conocidas en este filo (Tabla 1). La Clase Demospongiae lidera la lista con 10 familias, 14 géneros y 27 especies. A la fecha, es el género *Haliclona* de la familia Chalinidae (orden Haplosclerida) el que alberga el mayor número de especies ( $n = 10$ ; Bispo *et al.*, 2022). Los géneros *Chalinula*, *Eurypon*, *Hamacantha* y *Myxila* incluyen dos especies; en cuanto que, los restantes nueve presentan apenas una especie (Tabla S3). Estas esponjas han sido encontradas en distintos hábitats y a variadas profundidades. Entre ellas, 21 han sido encontradas asociadas a sustrato duro, a profundidades entre 0 y 40 m; dos fueron recolectadas en sustrato areno-fangoso, a más de 200 m (Desqueyroux-Faúndez y van Soest, 1996); y una pertenece al Lago Titicaca (3 812 m.s.n.m, Boury-Esnault y Volkmer-Ribeiro, 1991). Recientemente, dos especies han sido halladas sobre las raíces de los mangles de Tumbes (Bispo *et al.*, 2022). Sobre su distribución geográfica, 23 especies han sido registradas únicamente en el Perú y las restantes cuatro presentan afinidades con localidades vecinas. *Acarinus peruanus* van Soest, Hooper & Hiemstra, 1991 ha sido encontrada también en las Islas Galápagos (Desqueyroux-Faúndez y van Soest, 1997) y el Pacífico mexicano (Aguilar-Camacho *et al.*, 2013). *Hamacantha (Zygherpe) hyaloderma* (Laubenfels, 1932) y *Johannesia reticulosa* (Thiele, 1905) fueron previamente descritas para California (de Laubenfels, 1932) y Chile (Thiele, 1905), respectivamente. *Balliviaspongia wirrmanni* Boury-Esnault y Volkmer-Ribeiro, 1991 es compartida con Bolivia (Lago Titicaca).

En cuanto a la Clase Calcarea, se han registrado tres familias, seis géneros y 10 especies (Tabla S3), ubicadas a profundidades entre el intermareal y los 30 m, y en hábitats protegidos de la luz (Azevedo *et al.*, 2015; Cóndor-Luján *et al.*, 2019). Siete especies son preliminarmente consideradas endémicas del Perú, y entre estas, *Arturia spiralatta* y *Clathrina peruana* presentan mayor ámbito de distribución. *Clathrina aurea* y *Ernstia tetractina* fueron descritas por primera vez para la costa sureste brasileña (Solé-Cava *et al.*, 1991) y actualmente, presentan distribución anfi-americana (Azevedo *et al.*, 2015) incluyendo el mar Caribe para *C. aurea* (Fontana *et al.*, 2018; Cóndor-Luján *et al.*, 2021). *Clathrina antofagastensis* presenta la mayor distribución en la costa Pacífica, desde la Península Mejillones (Chile, Azevedo *et al.*, 2009) hasta Bahía de Sechura (Perú, Azevedo *et al.*, 2015).

species with an inverted cone shape and a calcium carbonate basal skeleton. These species formed reefs during the Cambrian period (Debrenne *et al.*, 2002).

For Peru, 46 sponge species have been reported which are distributed in three out of the five classes known for this phylum (Table 1). Class Demospongiae leads the list with 10 families, 14 genera, and 27 species. To date, the genus *Haliclona* of the family Chalinidae (order Haplosclerida) harbors the greatest number of species ( $n = 10$ ; Bispo *et al.*, 2022). The genera *Chalinula*, *Eurypon*, *Hamacantha*, and *Myxila* include two species, while the remaining nine comprise only one species (Table S3). These sponges have been found in different habitats and at various depths. Among them, 21 have been found associated with hard substrate, at depths between 0 and 40 m; two of them were collected from sandy and muddy substrates more than 200 m depth (Desqueyroux-Faúndez and van Soest, 1996); and one of them belongs to the Titicaca Lake (3,812 masl, Boury-Esnault and Volkmer-Ribeiro, 1991). Recently, two species have been found on the roots of the mangroves in Tumbes (Bispo *et al.*, 2022). Regarding their geographical distribution, 23 species have been recorded only for Peru, and the remaining four are related to neighboring localities. *Acarinus peruanus* van Soest, Hooper & Hiemstra, 1991 has been also found in the Galapagos Islands (Desqueyroux-Faúndez and van Soest, 1997) and in the Mexican Pacific (Aguilar-Camacho *et al.*, 2013). *Hamacantha (Zygherpe) hyaloderma* (Laubenfels, 1932) and *Johannesia reticulosa* (Thiele, 1905) were previously described for California (de Laubenfels, 1932) and Chile (Thiele, 1905), respectively. *Balliviaspongia wirrmanni* Boury-Esnault and Volkmer-Ribeiro, 1991 is shared with Bolivia (Titicaca Lake).

As for the class Calcarea, three families, six genera, and 10 species have been recorded (Table S3), located at depths between the intertidal zone and 30 m, as well as in habitats protected from light (Azevedo *et al.*, 2015; Cóndor-Luján *et al.*, 2019). Seven species are preliminarily considered to be endemic to Peru, and, among these, *Arturia spiralatta* and *Clathrina peruana* show the greatest distribution. *Clathrina aurea* and *Ernstia tetractina* were first described for the Brazilian southeastern coast (Solé-Cava *et al.*, 1991) and currently have an anphi-american distribution (Azevedo *et al.*, 2015), including the Caribbean Sea for *C. aurea* (Fontana *et al.*, 2018; Cóndor-Luján *et al.*, 2021). *Clathrina antofagastensis* reports the greatest distribution in the Pacific coast, from the Mejillones Peninsula (Chile, Azevedo *et al.*, 2009) to Sechura Bay (Perú, Azevedo *et al.*, 2015).

La Clase Hexactinellida incluye cuatro familias, cinco géneros y nueve especies (Tabla 1). Estas especies fueron recolectadas en localidades alejadas de la costa, a profundidades mayores a 4 000 m, durante la Expedición *Albatross* (1904–1905). Cuatro especies han sido únicamente encontradas durante dicha expedición, y las cinco restantes presentan una distribución más amplia (von Lendenfeld, 1915; Lévi, 1964; Koltun, 1970; Kersken *et al.*, 2018; O'Hara *et al.*, 2020).

**Tabla 1.** Número de familias, géneros y especies de esponjas registradas para el Perú, organizadas según la clase a la que pertenecen. Se incluye el porcentaje representativo para cada categoría taxonómica en el Perú y el mundo.

Clase / Class	Categoría taxonómica / Taxonomic category						Porcentaje global de especies / Global species percentage*
	Familia / Family		Género / Genus		Especies / Species		
	#	%	#	%	#	%	
Demospongiae	10	62.5 %	14	56.0 %	27	58.7 %	83 %
Calcarea	3	18.75 %	6	24.0 %	10	21.7 %	8 %
Hexactinellida	3	18.75 %	5	20.0 %	9	19.6 %	8 %
Homoscleromorpha	0	0.00 %	0	0 %	0	0.00 %	1 %
Total	16	100 %	25	100 %	46	100 %	100 %

\*van Soest *et al.* (2012).

### Potencial antibacteriano de las esponjas registradas para el Perú

A la fecha, el potencial antimicrobiano de las esponjas del Perú aún no ha sido objeto de estudio. Sin embargo, considerando los 25 géneros registrados para el país, 11 de estos albergan por lo menos 36 especies que han demostrado actividad antimicrobiana. A partir de los extractos orgánicos de estas especies, recolectadas en la Antártida, Atlántico Norte (Francia, Irlanda), Pacífico Oeste (Indonesia) y en otras localidades, se han aislado varios principios activos (Tabla 2).

*Haliclona* es el género que presenta el mayor número de investigaciones (n = 13) sobre actividad antibacteriana comprobada. Se ha demostrado su efecto frente a 20 bacterias Gram positivas y 20 Gram negativas, atribuido a la presencia de esteroides y alcaloides (Cheng *et al.*, 2013; Viegelmann *et al.*, 2014; Shushizadeh *et al.*, 2018; Kaplan *et al.*, 2021). Además, se han obtenido algunos metabolitos secundarios como la Haliciclamina A (Arai *et al.*, 2008), Haliclonaciclaminas A y B (Arai *et al.*, 2009) y Haliclonaciclaminas A–C (Maarisit *et al.*, 2017). *Clathria* es el segundo género más

The class Hexactinellida includes four families, five genera, and nine species (Table 1). The species were collected in localities far from the coast at depths greater than 4,000 m during the *Albatross* expedition (1904–1905). Four species were found only once during this expedition, and the remaining five have a greater distribution (von Lendenfeld, 1915; Lévi, 1964; Koltun, 1970; Kersken *et al.*, 2018; O'Hara *et al.*, 2020).

**Table 1.** Number of sponge families, genera, and species reported for Peru, organized according to their class. The representative percentage is included for each taxonomic category in Peru and the world.

### Antibacterial potential of sponges registered for Peru

To date, the antimicrobial potential of sponges in Peru has not been yet object of study. However, considering the 25 genera reported for the country, 11 of these harbor at least 36 species that have shown antimicrobial activity. From the organic extracts of these species, collected in the Antarctic, Northern Atlantic (France, Ireland), Western Pacific (Indonesia), and other localities, several active principles have been isolated (Table 2).

*Haliclona* is the genus with the greatest number of studies on proven antibacterial activity (n = 13). Its effect against 20 Gram-positive and 20 Gram-negative bacteria has been demonstrated, which is attributed to the presence of sterols and alkaloids (Cheng *et al.*, 2013; Viegelmann *et al.*, 2014; Shushizadeh *et al.*, 2018; Kaplan *et al.*, 2021). Moreover, some secondary metabolites have been obtained, such as Halicyclamine A (Arai *et al.*, 2008), Haliclonacyclamines A and B (Arai *et al.*, 2009), and Haliclonacyclamines A–C (Maarisit *et al.*, 2017). *Clathria* is the second most studied genus, with 11 species recorded which show inhibitory action against five Gram-positive and eight Gram-negative bacteria.



estudiado, habiéndose registrado 11 especies con acción inhibitoria para cinco bacterias Gram positivas y ocho Gram negativas. Se ha logrado aislar un considerable número de compuestos, destacando la Mirabilina G (Capon *et al.*, 2001), Pseudoanquinazinas A y C (Zuleta *et al.*, 2002), Microcionamidas A y B (Davis *et al.*, 2004), Araiosaminas A y D (Wei *et al.*, 2011), Clatrimidas A y B (Gupta *et al.*, 2012), Gombaespiroacetales A–C, Fortona, Anselona C, Saponina gombasida A (Woo *et al.*, 2015), Crambescidina 800 (Sun *et al.*, 2015) y Clatruoato (Sahidin *et al.*, 2018). En *Dysidea*, se reconocen cuatro especies que poseen acción bactericida frente a 10 bacterias (Gram positivas y negativas), y entre ellas, dos producen bromofenoles frente a *Escherichia coli* (Migula 1895) Castellani and Chalmers 1919, *Salmonella* sp. y *Staphylococcus aureus* (Sun *et al.*, 2015). Dos especies de *Ciocalypta* y *Myxilla* han evidenciado actividad antibacteriana; resaltando la de *C. penicillus* Bowerbank, 1862 sobre *Aeromonas hydrophila* (Chester 1901) Stanier 1943 (Ibrahim *et al.*, 2018) y la de *M. (Myxilla) incrustans* (Johnston, 1842) sobre *Mycobacterium tuberculosis* (Encarnación *et al.*, 2000), *Listonella anguillarum* corrig. (Bergman 1909) MacDonell and Colwell 1986 (Tadesse *et al.*, 2008), *S. pseudintermedius* Devriese *et al.* 2005 y *S. saprophyticus* (Fairbrother 1940) Shaw *et al.* 1951 (Berne *et al.*, 2015). *Niphates* contiene un grupo de alcaloides alquilpiridínicos denominados nifatesinas, que actúan contra *Bacillus subtilis* (Ehrenberg 1835) Cohn 1872 y *S. aureus* (Kobayashi *et al.*, 1992) y su extracto inhibe el crecimiento de *E. coli* y *B. subtilis* (Warsidah *et al.*, 2020). Se han aislado compuestos como Hamacantinas A y B y Acarnidina, con efecto sobre *B. subtilis* a partir de especies de *Hamacantha* y *Acarnus*, respectivamente (Gunasekera *et al.*, 1994), Bromotirosina y Ciclosteletaminas con acción sobre *M. tuberculosis* y *S. aureus* a partir de *Pachychalina* (de Oliveira *et al.*, 2006, 2007). En cuanto a la clase Calcarea, se destaca *Clathrina* que presenta actividad antibacteriana frente a *E. coli* y *S. aureus* (Quévrain *et al.*, 2014).

Estos resultados sugieren la existencia de un alto potencial de las especies co-genéricas peruanas como fuente de biocompuestos o metabolitos antibacterianos. Asimismo, es probable que, las especies peruanas que se encuentran en proceso de descripción (Tabla 2), evidencien aplicabilidad de interés farmacéutico, destacando la actividad antimicrobiana.

En este contexto, se evidencia el potencial biotecnológico del Perú, donde se pueden identificar oportunidades de investigación, innovación y negocios para las industrias pesquera, acuícola y farmacéutica. No obstante,

A significant number of compounds has been isolated, among which the following stand out: Mirabilin G (Capon *et al.*, 2001), Pseudoanchnazines A and C (Zuleta *et al.*, 2002), Microcionamides A and B (Davis *et al.*, 2004), Araiosamines A and D (Wei *et al.*, 2011), Clathrimides A and B (Gupta *et al.*, 2012), Gombaspiroketal A–C, Phorone, Ansellone C, Saponin gombaside A (Woo *et al.*, 2015), Crambescidin 800 (Sun *et al.*, 2015), and Clathruhoate (Sahidin *et al.*, 2018). In *Dysidea*, four species are recognized which have bactericidal action against 10 bacteria (Gram positive and negative), and, among them, two produce bromophenols against *Escherichia coli* (Migula 1895) Castellani and Chalmers 1919, *Salmonella* sp., and *Staphylococcus aureus* (Sun *et al.*, 2015). Two *Ciocalypta* and *Myxilla* species have evidenced antibacterial activity, highlighting that of *C. penicillus* Bowerbank, 1862 against *Aeromonas hydrophila* (Chester 1901) Stanier 1943 (Ibrahim *et al.*, 2018) and that of *M. (Myxilla) incrustans* (Johnston, 1842) against *Mycobacterium tuberculosis* (Encarnación *et al.*, 2000), *Listonella anguillarum* corrig. (Bergman 1909) MacDonell and Colwell 1986 (Tadesse *et al.*, 2008), *S. pseudintermedius* Devriese *et al.* 2005, and *S. saprophyticus* (Fairbrother 1940) Shaw *et al.* 1951 (Berne *et al.*, 2015). *Niphates* contains a group of pyridine alkaloids named Niphatesines, which act against *Bacillus subtilis* (Ehrenberg 1835) Cohn 1872 and *S. aureus* (Kobayashi *et al.*, 1992). Furthermore, its extract inhibits the growth of *E. coli* and *B. subtilis* (Warsidah *et al.*, 2020). Compounds such as Hamacanthines A and B and Acarnidines have been isolated, with effects against *B. subtilis*, from *Hamacantha* and *Acarnus* species, respectively (Gunasekera *et al.*, 1994); and Bromotyrosine and Cyclostelletamines, with action against *M. tuberculosis* and *S. aureus*, from *Pachychalina* (de Oliveira *et al.*, 2006, 2007). As for the class Calcarea, *Clathrina* is highlighted, with antibacterial activity against *E. coli* and *S. aureus* (Quévrain *et al.*, 2014).

These results suggest the potential of the Peruvian congeneric species as a source of biocompounds or antibacterial metabolites. In the same way, it is likely that Peruvian species that are currently being described (Table 2) evidence an applicability of pharmaceutical interest, highlighting antimicrobial activity.

In this context, the biotechnological potential of Peru is evidenced, where opportunities for research, innovation, and business for the fishing, aquaculture, and pharmaceutical industries can be identified. Nevertheless, the development of bio-businesses focused on the search for bio-products derived from aquatic species must involve technological plans

el desarrollo de bionegocios enfocado en la búsqueda de bioproductos derivados de especies acuáticas debe involucrar planes tecnológicos que estén acompañados del desarrollo de capacidades e infraestructura instalada, interacción de grupos de trabajo, convenios nacionales e internacionales de instituciones y empresas involucradas, que orienten el aprovechamiento y valorización de recursos, como las esponjas marinas, desde una visión sostenible que proteja la biodiversidad, y contribuya al desarrollo socioeconómico del país.

accompanied by the development of capabilities and installed infrastructure, networking, and national and international agreements celebrated by the institutions and companies involved, which guide the utilization and valorization of resources, such as the marine sponges, under a sustainable perspective that protects biodiversity and contributes to the country's socioeconomic development.

**Tabla 2.** Especies de esponjas con actividad antimicrobiana comprobada, a partir de los géneros registrados para el Perú, detallando (cuando posible) localidad de recolecta, compuesto o fracción aislada, composición de extracto y actividad antibacteriana. Bacteria Gram Positiva = (+), Bacteria Gram Negativa = (-).

**Table 2.** Sponge species with proven antimicrobial activity from genera reported for Peru, with details (if possible) on the collection locality, the compound or isolated fraction, the composition of the extract, and the antibacterial activity. Gram-positive bacterium = (+), Gram-negative bacterium = (-).

Especies / Species	Localidad de recolecta / Collection locality	Compuesto o fracción aislada / Compound or isolated fraction	Extracto / Extract	Actividad antibacteriana / Antibacterial activity	Referencia / Reference
<b>Clase / Class Calcarea</b>					
<b>Subclase / Subclass Calcinea</b>					
<b>Orden / Order Clathrinida</b>					
<b>Familia / Family Clathrinidae</b>					
<b>Género / Genus <i>Clathrina</i></b>					
<i>clathrus</i>	Francia (costa de Marsella) / France (coast of Marseille)	Clatridina / Clathridine	Cloroformo + metanol / Chloroform + methanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Quévrain <i>et al.</i> , 2014
<b>Clase / Class Demospongiae</b>					
<b>Subclase / Subclass Heteroscleromorpha</b>					
<b>Orden / Order Haplosclerida</b>					
<b>Familia / Family Chalinidae</b>					
<b>Género / Genus <i>Chalinula</i></b>					
<i>molitba</i> (figura como / registered as <i>Haliclona crassiloba</i> )	China	Halicrasteroles (esteroles polihidroxilados) / Halicrasterols (polyhydroxylated sterols)	Diclorometano + metanol / Dichloromethane + methanol	<i>Bacillus licheniformis</i> <sup>(+)</sup> <i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Enterococcus faecalis</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Cheng <i>et al.</i> , 2013
<i>molitba</i> (figura como / registered as <i>Haliclona molitba</i> )	Indonesia	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Bacillus cereus</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Hutagalung <i>et al.</i> , 2014
<b>Género / Genus <i>Haliclona</i></b>					
<b>Subgénero / Subgenus <i>Haliclona (Halichoelona)</i></b>					
<i>fulva</i>	Italia	Acetilenos polioxygenados / Polyoxygenated acetylenes	Butanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup>	Nuzzo <i>et al.</i> , 2012
sp.	Brasil / Brazil		Hexano, diclorometano, metanol / Hexane, dichloromethane, methanol	<i>Enterococcus faecalis</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Bianco <i>et al.</i> , 2013



Especies / Species	Localidad de recolecta/ Collection locality	Compuesto o fracción aislada / Compound or isolated fraction	Extracto / Extract	Actividad antibacteriana/ Antibacterial activity	Referencia / Reference
<b>Subgénero / Subgenus <i>Haliclona</i> (<i>Haliclona</i>)</b>					
<i>simulans</i>	Irlanda / Ireland	Esteroles (esteroides) / Sterols (steroids)	Acetona, metanol / Acetone, methanol	<i>Mycobacterium marinum</i> <sup>(+)</sup>	Viegelmann <i>et al.</i> , 2014
<b>Subgénero / Subgenus <i>Haliclona</i> (<i>Reniera</i>)</b>					
<i>fascigera</i>	Indonesia	No precisa / Not specified	Hexano, etanoato de etilo, acetona / Hexane, ethyl acetate, acetone	<i>Vibrio alginolyticus</i> <sup>(-)</sup> <i>Vibrio harveyi</i> <sup>(-)</sup> <i>Vibrio parahaemolyticus</i> <sup>(-)</sup>	Latifah <i>et al.</i> 2021
<b>Subgénero / Subgenus <i>Haliclona</i> (<i>Rhizoniera</i>)</b>					
<i>curacaoensis</i>	México (costa Atlántica) / Mexico (Atlantic coast)	No precisa / Not specified	Diclorometano + metanol / Dichloromethane + methanol	<i>Acinetobacter baumannii</i> <sup>(+)</sup> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(-)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(-)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Pech-Puch <i>et al.</i> 2020
<i>dancoi</i>	Antártida / Antarctica	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(-)</sup> <i>Pseudomonas putida</i> <sup>(-)</sup> <i>Vibrio alginolyticus</i> <sup>(-)</sup>	McClintock y Gauthier, 1992
<i>viscosa</i>	Noruega / Norway	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Colwellia</i> spp. <sup>(-)</sup> <i>Planococcus</i> spp. <sup>(+)</sup> <i>Polaribacter</i> sp. <sup>(-)</sup> <i>Pseudoalteromonas</i> sp. <sup>(-)</sup> <i>Psychrobacter</i> spp. <sup>(-)</sup>	Lippert <i>et al.</i> , 2003
		Alcaloides alquilpiridínicos / Pyridine alkaloids	Butanol	<i>Enterococcus faecalis</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(-)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(-)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup> <i>Streptococcus mutans</i> <sup>(+)</sup>	Kaplan <i>et al.</i> , 2021
<b>Subgénero / Subgenus <i>Haliclona</i> (<i>Soestella</i>)</b>					
<i>caerulea</i>	Irán-Golfo Pérsico / Iran-Persian Gulf	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Karimpoor <i>et al.</i> , 2018
	México (costa Pacífica) / Mexico (Pacific coast)	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Bacillus pumilus</i> <sup>(+)</sup> <i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Flavobacterium</i> sp. <sup>(-)</sup> <i>Micrococcus</i> sp. <sup>(+)</sup> <i>Pseudoalteromonas</i> sp. <sup>(-)</sup> <i>Vibrio</i> sp. <sup>(-)</sup>	Sánchez-Lozano <i>et al.</i> , 2019
<i>Haliclona</i> sp.	Antártida / Antarctica	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(-)</sup> <i>Pseudomonas putida</i> <sup>(-)</sup> <i>Serratia rubidaea</i> <sup>(-)</sup>	McClintock y Gauthier, 1992
			Etanol / Ethanol	<i>Acinetobacter baumannii</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(-)</sup> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(-)</sup> <i>Pseudomonas</i> spp. <sup>(-)</sup> <i>Salmonella enterica</i> <sup>(-)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus pseudintermedius</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus saprophyticus</i> <sup>(+)</sup>	Berne <i>et al.</i> , 2015

Especies / Species	Localidad de recolecta / Collection locality	Compuesto o fracción aislada / Compound or isolated fraction	Extracto / Extract	Actividad antibacteriana / Antibacterial activity	Referencia / Reference
<i>Haliclona</i> sp.	Indonesia	Haliciclamina A / Halicyclamine A	Metanol / Methanol	<i>Mycobacterium aurum</i> <sup>(+)</sup> <i>Mycobacterium avium</i> <sup>(+)</sup> <i>Mycobacterium fortuitum</i> <sup>(+)</sup> <i>Mycobacterium intracellulare</i> <sup>(+)</sup> <i>Mycobacterium kansasii</i> <sup>(+)</sup> <i>Mycobacterium tuberculosis</i> <sup>(+)</sup>	Arai <i>et al.</i> , 2008
		Haliclonaciclaminas A y B / Haliclonacyclamines A and B	Metanol / Methanol	<i>Mycobacterium bovis</i> <sup>(-)</sup> <i>Mycobacterium smegmatis</i> <sup>(-)</sup>	Arai <i>et al.</i> , 2009
		Haliclonaciclaminas A, B y C / Haliclonacyclamines A, B and C	Etanol / Ethanol	<i>Mycobacterium smegmatis</i> <sup>(+)</sup>	Maarisit <i>et al.</i> , 2017
<i>Haliclona</i> sp.	Irán / Iran	No precisa / Not specified	Metanol, éter etílico / Methanol, ethyl ether	<i>Bacillus subtilis spizizenii</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(-)</sup> <i>Staphylococcus aureus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Nazemi <i>et al.</i> , 2014
		Esteroles (esteroides), componentes aromáticos / Sterols (steroids) Aromatic components	Éter etílico / Ethyl ether	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(-)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(-)</sup>	Shushizadeh <i>et al.</i> , 2018
	Korea	Bis 1,3 dialquilpiridinos cíclicos / Bis 1,3 cyclic dialkylpyridines	Diclorometano + metanol / Dichloromethane + methanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(-)</sup> <i>Micrococcus luteus</i> <sup>(+)</sup> <i>Proteus vulgaris</i> <sup>(-)</sup> <i>Salmonella typhimurium</i> <sup>(-)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Lee <i>et al.</i> , 2012
<b>Género / Genus <i>Niphates</i></b>					
sp.	Japón / Japan	Nifatesinas (alcaloides) / Niphatesines (alkaloids)	Metanol / Methanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Kobayashi <i>et al.</i> , 1992
	Indonesia	No precisa / Not specified	Sulfato de amonio / Ammonium sulfate	<i>Escherichia coli</i> <sup>(-)</sup> <i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup>	Warsidah <i>et al.</i> , 2020
<b>Género / Genus <i>Pachychalina</i></b>					
sp.	Brasil / Brazil	Bromotirosina / Bromotyrosine	Metanol / Methanol	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> <sup>(+)</sup>	de Oliveira <i>et al.</i> , 2006
		Ciclostelletaminas / Cyclostelletamines	Butanol	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	de Oliveira <i>et al.</i> , 2007
<b>Orden / Order Merliida Merliida Familia / Family Hamacanthidae Género / Genus <i>Hamacantha</i></b>					
sp.	Portugal	Hamacantinas A y B (alcaloides) / Hamacanthines A and B (alkaloids)	Etanol / Ethanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup>	Gunasekera <i>et al.</i> , 1994



Especies / Species	Localidad de recolecta/ Collection locality	Compuesto o fracción aislada / Compound or isolated fraction	Extracto / Extract	Actividad antibacteriana/ Antibacterial activity	Referencia / Reference
<b>Orden / Order Poecilosclerida</b>					
<b>Familia / Family Acarnidae</b>					
<b>Género / Genus <i>Acarnus</i></b>					
<i>erithacus</i>	Estados Unidos (Golfo de California) / United States (Gulf of California)	Acarnidinas / Acarnidines	Tolueno + metanol / Toluene + methanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup>	Carter y Rinehart, 1978
<i>innominatus</i>	Colombia		Cloroformo, etanol / Chloroform, ethanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	de Silvestri <i>et al.</i> , 1994
<b>Familia / Family Microcionidae</b>					
<b>Género / Genus <i>Clathria</i></b>					
<b>Subgénero / Subgenus <i>Clathria (Clathria)</i></b>					
<i>basilana</i>	Indonesia	Fracción proteica / Protein fraction	Metanol / Methanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(+)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Cita <i>et al.</i> , 2017
<i>compressa</i>	Estados Unidos (Florida) / United States (Florida)	Clatruoato (terpenoides bicíclicos C21) Clatrimidas A y B (derivados de N-acil taurina) / Clathruoate (bicyclic terpenoids C21) Clathrimides A and B (derived from N-acyl taurine)	Metanol / Methanol	<i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Gupta <i>et al.</i> , 2012
<i>gombawuiensis</i>	Corea / Korea	Gombaespiroacetales A-C, forona (diisopropilideno acetona B), anselona C, saponina gombasida A / Gombaespiroketal A-C, phorone (diisopropylidene acetone B), ansellone C, saponin gombaside A	Metanol / Methanol	<i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup> <i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Kocuria rhizophila</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Salmonella enterica</i> <sup>(+)</sup> <i>Proteus hauseri</i> <sup>(+)</sup>	Woo <i>et al.</i> , 2014
<i>gorgonioides</i>	India	No precisa / Not specified	Metanol, metanol + diclorometano / Methanol, methanol + dichloromethane	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Bacillus cereus</i> <sup>(+)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(+)</sup>	Selvin y Lipton, 2004
<i>indica</i>	India	Péptidos / Peptides	Metanol / Methanol	<i>Lactobacillus vulgaris</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Salmonella typhi</i> <sup>(+)</sup> <i>Proteus mirabilis</i> <sup>(+)</sup>	Duraikannu <i>et al.</i> , 2009
			Metanol, cloroformo, n-Butanol / Methanol, chloroform, n-Butanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Lactobacillus vulgaris</i> <sup>(+)</sup> <i>Salmonella typhi</i> <sup>(+)</sup> <i>Proteus mirabilis</i> <sup>(+)</sup>	Ravichandran <i>et al.</i> , 2011
<b>Subgénero / Subgenus <i>Clathria (Thalysias)</i></b>					
<i>abietina</i>	Filipinas / Philippines	Microcionamidas A y B / Microcionamides A and B	Metanol / Methanol	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> <sup>(+)</sup>	Davis <i>et al.</i> , 2004
<i>araiosa</i>	Vanuatu	Araiosaminas A y D / Araiosamines A and D	Metanol / Methanol	<i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Wei <i>et al.</i> , 2011

Especies / Species	Localidad de recolecta / Collection locality	Compuesto o fracción aislada / Compound or isolated fraction	Extracto / Extract	Actividad antibacteriana / Antibacterial activity	Referencia / Reference
<i>cervicornis</i>	Estados Unidos / United States	Crumbescidina 800 / Crumbescidin 800	Metanol / Methanol	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(+)</sup> <i>Acinetobacter baumannii</i> <sup>(+)</sup> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(+)</sup>	Sun <i>et al.</i> , 2015
<i>reinwardtii</i>	No precisa / Not specified	Fracción proteica / Protein fraction	Metanol / Methanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup>	Cita <i>et al.</i> , 2017
<i>vulpina</i> (figura como / registered as <i>C. frondifera</i> )	India	26, 26-Dimetil-5,24 (28) -ergostadien-3a-ol 2-Terc-butyl-4-isopropil-5-metilfenol E-15-Heptadecenal / 26, 26-Dimethyl-5,24 (28) -ergostadien-3a-ol 2-Terc-butyl-4-isopropyl-5-methylphenol E-15-Heptadecenal	Metanol / Methanol	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup>	Saravanakumar <i>et al.</i> , 2016
<i>Clathria</i> sp.	Argentina	Pseudoanquinazina A y C / Pseudoanchnazines A and C	Etanol / Ethanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup>	Zuleta <i>et al.</i> , 2002
	Australia	Mirabilina G / Mirabilin G	Etanol / Ethanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Serratia marcescens</i> <sup>(+)</sup>	Capon <i>et al.</i> , 2001
	Indonesia	Clatruoato / Clathruoate	Etanol / Ethanol	<i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup>	Sahidin <i>et al.</i> , 2018
<b>Familia / Family Myxillidae</b> <b>Género / Genus <i>Myxilla</i></b> <b>Subgénero / Subgenus <i>Myxilla</i> (<i>Myxilla</i>)</b>					
<i>incrustans</i>	Antártida / Antarctica	No precisa / Not specified	Etanol / Ethanol	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> <sup>(+)</sup>	Encarnación <i>et al.</i> , 2000
<i>incrustans</i>	Noruega / Norway	No precisa / Not specified	Aceto nitrilo / Acetonitrile	<i>Corynebacterium glutamicum</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Listonella anguillarum</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Tadesse <i>et al.</i> , 2008
<i>mollis</i>	Antártida / Antarctica	No precisa / Not specified	Etanol / Ethanol	<i>Acinetobacter baumannii</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Pseudomonas</i> spp. <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus pseudintermedius</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus saprophyticus</i> <sup>(+)</sup>	Berne <i>et al.</i> , 2015
<b>Orden / Order Suberitida</b> <b>Familia / Family Halichondriidae</b> <b>Género / Genus <i>Ciocalypa</i></b>					
<i>carballoi</i>	Turquía / Turkey	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Enterococcus faecium</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Konuklugil y Gozcelioglu, 2015
<i>penicillus</i>	Egipto / Egypt	Ácido palmítico (ácido hexadecanoico), ácido esteárico (ácido octodecanoico) / Palmitic acid (hexadecenoic acid), stearic acid (octodecanoic acid)	Etanol, acetona, metanol / Ethanol, acetone, methanol	<i>Aeromonas hydrophila</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup>	Ibrahim <i>et al.</i> , 2018



Especies / Species	Localidad de recolecta / Collection locality	Compuesto o fracción aislada / Compound or isolated fraction	Extracto / Extract	Actividad antibacteriana / Antibacterial activity	Referencia / Reference
<i>penicillus</i>	Egipto / Egypt	No precisa / Not specified	Etil acetato, acetona / Ethyl acetate, acetone	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(+)</sup>	Ibrahim <i>et al.</i> , 2020
<b>Subclase / Subclass Keratosa</b> <b>Orden / Order Dictyoceratida</b> <b>Familia / Family Dysideidae</b> <b>Género / Genus <i>Dysidea</i></b>					
<i>avara</i>	Turquía / Turkey	No precisa / Not specified	Metanol / Methanol	<i>Acinetobacter baumannii</i> <sup>(+)</sup> <i>Bacillus subtilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Enterococcus faecalis</i> <sup>(+)</sup> <i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(+)</sup> <i>Proteus mirabilis</i> <sup>(+)</sup> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Orhan <i>et al.</i> , 2012
	Turquía / Turkey		Metanol / Methanol	<i>Enterococcus faecium</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Konuklugil y Gozcelioglu, 2015
<i>granulosa</i>	No precisa / Not specified	Bromofenoles / Bromophenols	Metanol / Methanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Salmonella sp.</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	
<i>pallescens</i>	Irán / Iran	No precisa / Not specified	Éter dietílico / Diethyl ether	<i>Bacillus subtilis spizizenii</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus aureus</i> <sup>(+)</sup>	Sun <i>et al.</i> , 2015
<i>Dysidea sp.</i>	No precisa / Not specified	Bromofenoles / Bromophenols	Metanol / Methanol	<i>Escherichia coli</i> <sup>(+)</sup> <i>Salmonella sp.</i> <sup>(+)</sup> <i>Staphylococcus aureus</i> <sup>(+)</sup>	

### Investigaciones sobre Porifera en el Pacífico Sudamericano

Similar al Perú, la investigación en Porifera en otros países del Pacífico sudamericano inició con las descripciones de los especímenes obtenidos en las campañas oceanográficas *e.g. H.M.S. Challenger* (Ridley, 1881; Ridley y Dendy, 1887; Wilson, 1904; von Lendenfeld, 1910). Sin embargo, no se realizaron mayores estudios hasta la década de los años ochenta del siglo pasado, cuando la investigadora Ruth Desqueyroux analizó detalladamente el material de Chile y Ecuador.

En Chile, los estudios han sido predominante orientados al conocimiento de la diversidad (riqueza y distribución) de especies de los fiordos (Thiele, 1905; Hajdu *et al.*, 2013; Fernández *et al.*, 2021). Actualmente, se conocen 190 especies, incluyendo las clases Calcarea (n = 15), Demospongiae (n = 160) y Hexactinellida (n = 15); y entre estas, 140 han sido registradas para los fiordos (Bertolino *et al.*, 2020; Fernández *et al.*, 2021). De manera complementaria, se han realizado investigaciones sobre la biogeografía, la ecología

### Research on Porifera in the South American Pacific

As in Peru, research on Porifera in other countries of the South American Pacific began with the descriptions of the specimens obtained in oceanographic campaigns *e.g. H.M.S. Challenger* (Ridley, 1881; Ridley and Dendy, 1887; Wilson, 1904; von Lendenfeld, 1910). However, no major studies were carried out until the 80s, when the researcher Ruth Desqueyroux thoroughly analyzed the material from Chile and Ecuador.

In Chile, studies have been predominantly oriented towards the knowledge of the diversity (richness and distribution) of species from the fjords (Thiele, 1905; Hajdu *et al.*, 2013; Fernández *et al.*, 2021). Currently, 190 species are known, including the classes Calcarea (n = 15), Demospongiae (n = 160), and Hexactinellida (n = 15). Among these, 140 have been registered for the fjords (Bertolino *et al.*, 2020; Fernández *et al.*, 2021). As a complement, research has been conducted on the biogeography, the ecology (macroalgae-sponge interaction), and the biotechnological

(interacción macroalga-esponja) y el potencial biotecnológico de estos organismos (e.g. Desqueyroux y Moyano, 1987; Hajdu y Desqueyroux-Faúndez, 2008; San Martín *et al.*, 2011; Cárdenas *et al.*, 2016).

En el Ecuador, el esfuerzo taxonómico se ha centrado en las Islas Galápagos, habiéndose descrito ca. 105 especies (van Soest *et al.*, 2020; Sim-Smith *et al.*, 2021), recolectadas tanto en aguas someras como profundas; mientras que apenas cuatro especies han sido registradas para el litoral ecuatoriano (Jaramillo *et al.*, 2021). Por otro lado, se conoce un único estudio sobre el potencial biotecnológico de estos animales (Calabro *et al.*, 2018).

En los últimos años, la implementación de proyectos nacionales e internacionales en Chile y Ecuador han permitido no sólo dar continuidad a la investigación (recolección de nuevas muestras e identificación y descripción de nuevas especies); si no también, contribuir a la formación de recursos humanos en la región. Como resultado de estas iniciativas, la producción científica, *i.e.* artículos publicados en revistas científicas, libros o capítulos de libros y presentaciones en congresos, ha incrementado, y se encuentra liderado por Chile (Tablas S4 y S5).

En el Pacífico colombiano, son pocos los estudios relacionados a la identificación y descripción de esponjas, en comparación con aquellos realizados en el Caribe Colombiano. Lizarazo *et al.* (2020a) rescatan los aportes ecológicos de Narváez (1999) sobre cuatro Demospongiae, un inventario que registra 21 especies (Escobar, 2000) y la guía de fotoidentificación de García-Suárez *et al.* (2012). Recientemente, se realizó un esfuerzo conjunto entre el *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés* (Invemar) y el *Instituto de Estudios en Ciencias del Mar* (Cecimar), logrando determinar 24 morfotipos de esponjas e identificándose 12 especies (Lizarazo *et al.*, 2020b).

## PERSPECTIVAS

A nivel mundial, las esponjas son fuente de compuestos con actividad antibacteriana comprobada, y origen de principios activos que han resultado en nuevos medicamentos. Sin embargo, para el Perú, el desarrollo en el ámbito de la investigación e innovación relacionada a la obtención de biomoléculas y fármacos provenientes de organismos marinos, que no son de consumo humano directo y/o indirecto, aún se encuentra en un estado incipiente, como es el caso de las esponjas. A pesar de esto, la producción científica peruana sobre esponjas tiene una tendencia creciente,

potential of these organisms (e.g., Desqueyroux and Moyano, 1987; Hajdu and Desqueyroux-Faúndez, 2008; San Martín *et al.*, 2011; Cárdenas *et al.*, 2016).

In Ecuador, taxonomic efforts have been focused on the Galapagos Islands, with ca. 105 species described (van Soest *et al.*, 2020; Sim-Smith *et al.*, 2021), which were collected in both shallow and deep waters, while only four species have been registered for the Ecuadorian littoral (Jaramillo *et al.*, 2021). On the other hand, only one study on the biotechnological potential of these animals is known (Calabro *et al.*, 2018).

In recent years, the implementation of national and international projects in Chile and Ecuador have allowed not only the continuation of the research (collection of new samples and identification and description of new species), but also to contribute to the training of human resources in the region. As a result of these initiatives, scientific production (*i.e.*, papers published in scientific journals, books or book chapters, and conference presentations) has increased, which is now led by Chile (Tables S4 and S5).

In the Colombian Pacific, there are few studies related to the identification and description of sponges, in comparison with those conducted in the Colombian Caribbean. Lizarazo *et al.* (2020a) consider the ecological contributions made by Narváez (1999) on four Demospongiae, an inventory that registers 21 species (Escobar, 2000), and the photoidentification guide by García-Suárez *et al.* (2012). Recently, a joint effort was made between the José Benito Vives de Andrés Institute for Marine and Coastal Research (Invemar) and the Institute for Studies on Sea Science (Cecimar), which managed to determine 24 sponge morphotypes and identify 12 species (Lizarazo *et al.*, 2020b).

## PERSPECTIVES

At a global level, sponges are a source of compounds with proven antimicrobial activity, as well as of active principles that have resulted in new medicines. However, in Peru, the development of research and innovation related to obtaining biomolecules and drugs from marine organisms not intended for direct or indirect human consumption is still incipient, as is the case of sponges. Despite this, Peruvian scientific production on sponges shows an increasing trend, mainly regarding species richness and distribution, conducted in academic university contexts and enriched by the existing international cooperation. The above demonstrates that there is a hydrobiological resource (sponges) in Peru with





principalmente, en temas sobre riqueza y distribución de especies, desarrollada en ámbitos académicos universitarios y enriquecida por la cooperación internacional existente. Todo lo anterior demuestra que, existe un recurso hidrobiológico (esponjas) con gran potencial biotecnológico y económico en el Perú, pero que requiere de la implementación de programas estatales y privados que financien proyectos que integren la investigación a diferentes escalas (taxonómica, ecológica y biotecnológica), y así se permita el desarrollo de planes de innovación y bionegocios para las industrias pesquera, acuícola y farmacéutica, a nivel nacional e internacional.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al *Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura* (PNIPA) y a la *Universidad Científica del Sur* (Científica) por el financiamiento brindado en el marco del Subproyecto Bioprospección de esponjas marinas de la costa central y sur del Perú para obtención de principios activos (PNIPA–PES–SIADE–PP–000158 / Contrato N° 276–2019). Además, al geólogo José Herrera de la *Universidad de Piura* (UNP, Perú) por su colaboración en la verificación de las profundidades registradas para Hexactinellida y al ingeniero químico Oscar Reátegui de Científica por su apoyo en la traducción al español de algunos compuestos químicos.

great biotechnological and economic potential, but that it requires the implementation of state and private programs that fund projects integrating research at different scales (taxonomic, ecological, and biotechnological), thus allowing the development of innovation and bio-business plans for the fishing, aquaculture, and pharmaceutical industries at national and international levels.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the *National Program for Innovation in Fisheries and Aquaculture* (PNIPA) and *Universidad Científica del Sur* (Científica) for the funding provided within the framework of subproject Bioprospection of marine sponges in the central and southern coasts of Peru to obtain active principles (PNIPA–PES–SIADE–PP–000158 / Contract No. 276–2019), as well as to the geologist José Herrera from *Universidad de Piura* (UNP, Peru) for collaborating in the verification of the depths recorded for Hexactinellida and to the chemical engineer Oscar Reátegui from Científica for helping with the Spanish translation of some chemical compounds.

## BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Aguilar-Camacho, J.M., J.L. Carballo and J.A. Cruz-Barraza. 2013. Acarnidae Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida) from the Mexican Pacific Ocean with the description of six new species. *Sci. Mar.*, 77(4): 677–696. <https://doi.org/10.3989/scimar.03800.06A>
- Aguirre, L.K., Y. Hooker, Ph. Willenz and E. Hajdu. 2011. A new *Clathria* (Demospongiae, Microcionidae) from Peru occurring on rocky substrates as well as epibiontic on *Euclidaris thoursii* sea urchins. *Zootaxa*, 3085: 41–54. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3085.1.3>
- Anjum K., S.Q. Abbas, S.A.A. Shah, N. Akhter, S. Batool and S.S.U. Hassan. 2016. Marine sponges as a drug treasure. *Biomol. Ther. (Seoul)*, 24(4): 347–362. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2016.067>
- Arai, M., M. Sobou, C. Vilchéze, A. Baughn, H. Hashizume, P. Pruksakorn, S. Ishida, M. Matsumoto, W.R. Jacobs Jr. and M. Kobayashi. 2008. Halicyclamine A, a marine spogean alkaloid as a lead for anti-tuberculosis agent. *Bioorg. Med. Chem.*, 16:6732–6736. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2008.05.061>
- Arai, M., S. Ishida, A. Setiawan and M. Kobayashi. 2009. Haliclonoacyclamines, tetracyclic alkylpiperidine alkaloids, as anti-dormant mycobacterial substances from marine sponge of *Haliclona* sp. *Chem. Pharm. Bull.*, 57(10):1136–1138. <https://doi.org/10.1248/cpb.57.1136>
- Arroyo, Y., E. Hajdu, Ph. Willenz and B. Cándor-Luján. 2020. First record of *Ciocalypa* Bowerbank, 1862 (Demospongiae, Suberitida, Halichondriidae) in the Eastern Pacific, with description of a new species from Peru. *Zootaxa*, 4853(3): 429–441. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4853.3.6>
- Azevedo, F., E. Hajdu, Ph. Willenz and M. Klautau. 2009. New records of calcareous sponges (Porifera, Calcarea) from the Chilean coast. *Zootaxa*, 2072(1): 1–30. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.2072.1.1>
- Azevedo, F., B. Cándor-Luján, Ph. Willenz, E. Hajdu, Y. Hooker and M. Klautau. 2015. Integrative taxonomy of calcareous sponges (subclass Calcinea) from the Peruvian coast: morphology, molecules, and biogeography. *Zool. J. Linn. Soc.*, 173: 787–817. <https://doi.org/10.1111/zoj.12213>
- Berne, S., M. Kalauz, M. Lapat, L. Savin, D. Janussen, D. Kersken, J. Ambrožič, Š. Zemljič, D. Jaklič, N. Gunde-Cimerman, M. Lunder, I. Roškar, T. Eleršek, T. Turk and K. Sepčič. 2016. Screening of the Antarctic marine sponges (Porifera) as a source of bioactive compounds. *Polar Biol.*, 39:947–959. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1835-4>
- Bertolino, M., G. Costa, G. Bavestrello, M. Pansini and G. Daneri. 2020. New sponge species from Seno Magdalena, Puyuhuapi Fjord and Jacaf Canal (Chile). *Eur. J. Taxon.*, 715: 1–49. <https://doi.org/10.5852/ejt.2020.715>

- Bianco E.M., S.Q. de Oliveira, C. Rigotto, M.L. Tonini, T. da Rosa Guimarães, F. Bittencourt, L.P. Gouvêa, C. Aresi, M.T. de Almeida, M.I. Moritz, C.D. Martins, F. Scherner, J.L. Carraro, P.A. Horta, F.H. Reginatto, M. Steindel, C.M. Simões and E.P. Schenkel. 2013. Anti-infective potential of marine invertebrates and seaweeds from the Brazilian coast. *Molecules* (Basel, Switzerland), 18(5):5761–5778. <https://doi.org/10.3390/molecules18055761>
- Bispo, A., Ph. Willenz and E. Hajdu. 2022. Diving into the unknown: fourteen new species of haplosclerid sponges (Demospongiae: Haplosclerida) revealed along the Peruvian coast (southeastern Pacific). *Zootaxa*, 5087(2):201–252. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5087.2.1>
- Boury-Esnault, N. and C. Volkmer-Ribeiro. 1991. The Porifera: description of a new taxon *Balliviaspongia wirrmanni* n.g., n.sp.: 295–301. In: Dejoux, C. and A. Iltis. (Eds.), *Lake Titicaca: a synthesis of limnological knowledge*. Monographiae Biologicae, 68. Kluwer Academic: Dordrecht, Boston, London: i-xxiv, 1. 296 p.
- Brain, C.K., A.R. Prave, K.H. Hoffmann, A. E. Fallick, A. Botha, D. A. Herd, C. Sturrock, I. Young, D.J. Condon and S.G. Allison. 2012. The first animals: ca. 760-million-year-old sponge-like fossils from Namibia. *S. Afr. J. Sci.*, 108(1/2):1–8. <http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v108i1/2.658>
- Brinkmann, C., A. Marker and D. I. Kurtböke. 2017. An overview on marine sponge-symbiotic bacteria as unexhausted sources for natural product discovery. *Diversity*, 9(4): 40. <https://doi.org/10.3390/d9040040>
- Calabro K., B.E. Chalen, G. Genta-Jouve, K.B. Jaramillo, C. Domínguez, M. de la Cruz, B. Cautain, F. Reyes, O.P. Thomas and J. Rodríguez. 2018. Callyspongic Acids: amphiphilic diacids from the Tropical Eastern Pacific sponge *Callyspongia* cf. *californica*. *J. Nat. Prod.*, 81(10):2301–2305.
- Capon, R., M. Miller and F. Rooney. 2001. Mirabilin G: A new alkaloid from a southern Australian marine sponge, *Clathria* species. *J. Nat. Prod.*, 64(5):643–644. <https://doi.org/10.1021/np000564g>
- Cárdenas, C.A., E.M. Newcombe, E. Hajdu, M. González-Aravena, S.W. Geange and J.J. Bell. 2016. Sponge richness on algae-dominated rocky reefs in the western Antarctic Peninsula and the Magellan Strait. *Polar Res.*, 35(1):1–6. <https://doi.org/10.3402/polar.v35.30532>
- Carter, G.T. and K.L. Rinehart Jr. 1978. Acarnidines, novel antiviral and antimicrobial compounds from the sponge *Acarnus erithacus* (de Laubenfels). *J. Am. Chem. Soc.*, 100(13):4302–4304. <https://doi.org/10.1021/ja00481a049>
- Cavalcanti, F. and M. Klautau. 2011. Solenoid: a new aquiferous system to Porifera. *Zoomorphology*, 130(4):255–260. <https://doi.org/10.1007/s00435-011-0139-7>
- Cheng, Z.B., H. Xiao., C.Q. Fan, Y.N. Lu, G. Zhang and S. Yin. 2013. Bioactive polyhydroxylated sterols from the marine sponge *Haliclona crassiloba*. *Steroids*, 78(14):1353–1358. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2013.10.004>
- Cita, Y.P., F.K. Muzaki, O.K. Radjasa and P. Sudarmono. 2017. Screening of antimicrobial activity of sponges extract from Pasir Putih, East Java (Indonesia). *J. Marine Sci. Res. Dev.*, 7(5):1–5. <https://doi.org/10.4172/2155-9910.1000237>
- Concytec. 2016. Programa Nacional Transversal de Biotecnología 2016–2021. Primera edición. Lima, Perú. 81 p. [https://portal.concytec.gob.pe/images/noticias/pronbiotec\\_final.pdf](https://portal.concytec.gob.pe/images/noticias/pronbiotec_final.pdf)
- Cóndor, B., P. Gallegos y E. Hajdu. 2010. Macrofauna asociada a *Hymeniacion* cf. *sinapium* (Porifera: Demospongiae: Halichondriidae) en bahía de Ancón, Lima, Perú. Segundo Congreso de Ciencias del Mar del Perú, Piura, Perú.
- Cóndor-Luján, B., F. Azevedo, E. Hajdu, Y. Hooker, Ph. Willenz and M. Klautau. 2019. Tropical Eastern Pacific Amphoriscidae Dendy, 1892 (Porifera: Calcarea: Calcaronea: Leucosolenida) from the Peruvian coast. *Mar. Biodivers.*, 49(3):1813–1830. <https://doi.org/10.1007/s12526-019-00946-y>
- Cóndor-Luján, B., P. Leocorny, A. Padua, F. Azevedo, V. Corrêa Seixas, Y. Hooker, E. Hajdu, Ph. Willenz, T. Pérez and M. Klautau. 2021. Evolutionary history of the calcareous sponge *Clathrina aurea*: genetic connectivity in the western Atlantic and intriguing occurrence in the Eastern Pacific. *Mar. Biol.*, 168(127):1–23. <https://doi.org/10.1007/s00227-021-03934-8>
- Davis, R.A., G.C. Mangalindan, Z.P. Bojo, R.R. Antemano, N.O. Rodríguez, G.P. Concepción, S.C. Samson, D. de Guzmán, L.J. Cruz, D. Tasdemir, M.H. Harper, X. Feng, G.T. Carter and C.M. Ireland. 2004. Microcionamides A and B, bioactive peptides from the Philippine sponge *Clathria (Thalysias) abietina*. *J. Org. Chem.*, 69:4170–4176. <https://doi.org/10.1021/jo040129h>
- Debrenne, F., A.Y. Zhuravlev and P.D. Kruse. 2002. Class Archaeocyatha Bornemann, 1884: 1539–1699. In: Hooper, J.N.A. and R.W.M. van Soest. (Eds.) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 1707 p.
- de Goeij, J.M., D. von Oevelen, M.J.A. Vermeij, R. Osinga, J.J. Middelburg, A.F.P.M. de Goeij and W. Admiraal. 2013. Surviving in a marine desert: the sponge loop retains resources within coral reefs. *Science*, 342(6154): 108–110. <https://doi.org/10.1126/science.1241981>
- de Laubenfels, M.W. 1932. The marine and fresh-water sponges of California. *Proc. U.S. Natl. Mus.*, 81 (2927): 1–140. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.81-2927.1>
- de Oliveira, J.H.H., M.H.R. Selegim, C. Timm, A. Grube, M. Köck, G.G.F. Nascimento, A.C.T. Martins, E.G.O. Silva, A.O. De Souza, P.R.R. Minarini, F.C.S. Galetti, C.L. Silva, E. Hajdu and R.G.S. Berlinck. 2006a. Antimicrobial and antimycobacterial activity of cyclostelletamine alkaloids from sponge *Pachychalina* sp. *Mar. Drugs*, 4(1): 1–8. <https://doi.org/10.3390/md401001>
- de Oliveira, M.F., J.H.H.L. de Oliveira, F.C.S. Galetti, A.O. de Souza, C. Lopes Silva, E. Hajdu, S. Peixinho and R.G.S. Berlinck. 2006b. Antimycobacterial brominated metabolites from two species of marine sponges. *Planta Medica* 72(5): 437–441. <https://doi.org/10.1055/s-2005-916239>
- de Silvestri, S. Zea y C. Duque. 1994. Actividad antibacteriana de algunas esponjas del Caribe colombiano. *Rev. Col. Cienc. Quím. Farm.*, 22: 21–26.
- Desqueyroux, R. y H. Moyano. 1987. Zoogeografía de demospongias chilenas. *Bol. Soc. Biol. Concepc. (Chile)*, 58: 39–66.
- Desqueyroux-Faúndez, R. and R.W.M. van Soest. 1996. A review of Iophonidae, Myxillidae and Tedaniidae occurring in the South East Pacific (Porifera: Poecilosclerida). *Rev. Suis. Zool.*, 103(1): 3–79. <https://doi.org/10.5962/bhl.part.79938>
- Desqueyroux-Faúndez, R. and R.W.M. van Soest. 1997. Shallow water Demosponges of the Galápagos Islands. *Rev Suisse Zool.*, 104(2):379–467. <https://doi.org/10.5962/bhl.part.80003>



- Duraikannu, K., D. Edupalli, G. Rameshkumar and S. Ravichandran. 2009. Antimicrobial peptide from marine sponge *Clathria indica* (Dendy, 1889). *Am.-Eurasian J. Sci. Res.*, 4(1):47–53.
- Encarnación, D.R., S.G. Franzblau, C.A. Tapia and R. Cedillo-Rivera. 2000. Screening of marine organisms for antimicrobial and antiprotozoal activity. *Pharm. Biol.*, 38(5):379–384. <https://doi.org/10.1076/phbi.38.5.379.5964>
- Escobar, T. 2000. Inventario y estudio taxonómico de las esponjas (Phylum Porifera) de algunas áreas del Pacífico colombiano. Tesis Biol. Mar. Univ. Valle, Cali. 149 p.
- Fernández, J.C., M. Gastaldi, G. Zapata-Hernández, L.M. Pardo, F.L. Thompson and E. Hajdu. 2021. New species of *Crella* (*Pytheas*) Topsent, 1890 and *Crellomima* Rezvoi, 1925 (Crellidae, Poecilosclerida, Demospongiae) from Chilean shallow and Argentinean deep waters, with a synthesis on the known phylogenetic relationships of crellid sponges. *Zootaxa*, 5052(3):353–379. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5052.3.3>
- Fontana, T., B. Córdor-Luján, F. Azevedo, T. Pérez and M. Klautau. 2018. Diversity and distribution patterns of calcareous sponges (subclass Calcinea) from Martinique. *Zootaxa*, 4410:331–369. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4410.2.5>
- Frith, D.W. 1976. Animals associated with sponges at North Haying, Hampshire. *Zool. J. Linn. Soc.*, 58:353–362.
- García-Suárez, S.D., A. Acosta, E. Londoño-Cruz y J.R. Cantera K. 2012. Organismos sésiles y móviles del litoral rocoso: en el Pacífico colombiano: una guía visual para su identificación. Ser. Doc. Esp., (26). Invemar, Santa Marta. 133 p.
- Gazave, E., P. Lapébie, A. Ereskovsky, J. Vacelet, E. Renard, P. Cárdenas and C. Borchellini. 2012. No longer Demospongiae: Homoscleromorpha formal nomination as a fourth class of Porifera. In: Maldonado, M., X. Turon, M.A. Becerro and M.J. Uriz (Eds.) Ancient animals, new challenges. Sponge research developments. *Hydrobiologia*, 687(1): 3–10. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0842-x>
- Granito, R.N., M.R. Custódio and A.C. Rennó. 2016. Natural marine sponges for bone tissue engineering: The state of art and future perspectives. *J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater.*, 105(6): 1717–1727. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33706>
- Gunasekera, S.P., P.J. McCarthy and M. Kelly-Borges. 1994. Hamacanthins A and B, new antifungal bis indole alkaloids from the deep-water marine sponge, *Hamacantha* sp. *J. Nat. Prod.*, 57(10): 1437–1441. <https://doi.org/10.1021/np50112a014>
- Gupta, P., U. Sharma, T.C. Schulz, A.B. McLean, A.J. Robins and L.M. West. 2012. Bicyclic C21 terpenoids from the marine sponge *Clathria compressa*. *J. Nat. Prod.*, 75: 1223–1227. <https://doi.org/10.1021/np300265p>
- Hajdu, E. and R. Desqueyroux-Faúndez. 2008. A reassessment of the phylogeny and biogeography of *Rhabderemia* Topsent, 1890 (Rhabderemiidae, Poecilosclerida, Demospongiae). *Rev. Suis. Zool.*, 115(2): 377–395.
- Hajdu, E., R. Desqueyroux-Faúndez, M.S. Carvalho, G. Lôbo-Hajdu and Ph. Willenz. 2013. Twelve new Demospongiae (Porifera) from Chilean fjords, with remarks upon sponge-derived biogeographic compartments in the SE Pacific. *Zootaxa*, 3744: 1–64. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3744.1.1>
- Hajdu, E., Y. Hooker and Ph. Willenz. 2015. New *Hamacantha* from Peru, and resurrection of *Zygherpe* as subgenus (Demospongiae, Poecilosclerida, Hamacanthidae). *Zootaxa*, 3926(1): 87–99. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3926.1.3>
- Han, B.N., L.L. Hong, B.B. Gu, Y.T. Sun, J. Wang, J.T. Liu and H.W. Lin. 2019. Natural products from sponges. In: Li, Z. (Ed.) Symbiotic microbiomes of coral reef sponges and corals. Springer, Dordrecht. 329–463. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-1612-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1612-1_15)
- Hooper, J., R. van Soest and F. Debrenne. Phylum Porifera Grant, 1836. 2002. 9–13. In: Hooper, J.N.A. and R.W.M. van Soest. (Eds.) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 1707 p.
- Hutagalung, R.A., V.M. Karjadidjaja, V. D. Prasasty and N. Mulyono. 2014. Extraction and characterization of bioactive compounds from cultured and natural sponge, *Haliclona molitba* and *Stylotella aurantium* Origin of Indonesia. *Int. J. Biosci. Biochem. Bioinform.*, 4(1): 14–18.
- Hyatt, A. 1877. Revision of the North American Poriferae; with remarks upon foreign species. Part II. *Mem. Boston Soc. Nat. Hist.*, 2: 481–554, pls XV–XVII.
- Ibrahim, H.A., H.O. Ahmed, F.A.A. El Razeq and E. Elmasry. 2018. Proteolysis and heat sensitive antibacterial agents from several levantine sponge species. *Int. J. Adv. Res.*, 6(2): 14–27. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/6403>
- Ibrahim, H.A.H., D.E. Elabiary and M.M. Hamed. 2020. Antimicrobial activity of some Egyptian marine invertebrates, Red Sea. *Egypt. J. Aquat. Biol. Fish.*, 24(4): 321–340. <http://doi.org/10.21608/ejabf.2020.98494>
- Jaramillo, K.B., B. Córdor-Luján, B. Longakit, J. Rodriguez, O.P. Thomas, G. McCormack and E. Hajdu. 2021. New records of Demospongiae (Porifera) from Reserva Marina El Pelado (Santa Elena, Ecuador), with description of *Tedania* (*Tedania*) *ecuadoriensis* sp. nov. *Zookeys*, 1011:101–120. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1011.54485>
- Karimpoor, M., E. Kamrani, M. Yousefzadi and M. Nazemi. 2018. Antibacterial and antioxidant potential of *Haliclona caerulea* extracts from Tidal Island Larak, Persian Gulf. *JMBS*, 9(3): 347–353.
- Kaplan, A.R., C.L. Schrank and W.M. Wuest. 2021. An efficient synthesis of 3-alkylpyridine alkaloids enables their biological evaluation. *Chem. Med. Chem.*, 16: 2487–2490. <https://doi.org/10.1002/cmdc.202100134>
- Kersken, D., D. Janussen and P. Martínez. 2018. Deep-sea glass sponges (Hexactinellida) from polymetallic nodule fields in the Clarion-Clipperton Fracture Zone (CCFZ), northeastern Pacific: Part I – Amphidiscophora. *Mar. Biodivers.*, 48(1):545–573. <https://doi.org/10.1007/s12526-017-0727-y>
- Klautau, M. 2016. Capítulo 7 Porifera. En: Fransozo, A. y M.L. Negreiros-Fransozo (Eds). *Zoologia dos Invertebrados*. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Kobayashi, J., C. Zeng, M. Ishibashi, H. Shigemori, T. Sasakib and Y. Mikami. 1992. Niphatesines E-H, new pyridine alkaloids from the Okinawan marine sponge *Niphates* sp. *J. Chem. Soc.*, 1: 1291–1294.

- Koltun, V.M. 1970. Sponge fauna of the northwestern Pacific from the shallows to the hadal depths: 165–221. In: Bogorov, V.G. (Ed.) Fauna of the Kurile-Kamchatka Trench and its environment. Inst. Oceanol. Acad. Sci. U.S.S.R., 86 (Akademiya Nauk SSSR. Trudy Instituta Okeanologii in P.P. Shishov and Izdatelstvo Nauka, Moskwa). 372 p, pls 1–8.
- Konuklugil, B. and B. Gozcelioglu. 2015. Antimicrobial activity of marine samples collected from the different coasts of Turkey. *Turk. J. Pharm. Sci.*, 12(3): 116–125.
- Kulchin, Y., A.V. Bezverbny, O.A. Bukin, S.S. Voznesensky, A.N. Galkina, A. L. Drozdov and I.G. Nagorny. 2009. Optical and nonlinear optical properties of sea glass sponge spicules: 315–340. In: Müller, W.E.G. and M.A. Grachev (Eds.) *Biosilica in evolution, morphogenesis, and nanobiotechnology*. *Prog. Mol. Subcell Biol.*, 47. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-88552-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-88552-8_14)
- Kunzmann, K. 1996. Associated fauna of selected sponges (Hexactinellida and Demospongiae) from the Weddell Sea, Antarctica. *Berich. Polarfors.*, 210: 1–93.
- Latifah, L.A., A. Tahir and N.H. Soekamto. 2021. Antibacterial assay of crude extracts from marine sponge *Haliclona fascigera* in Badi Island of Spermonde Archipelago against shrimp pathogenic bacteria. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 763:012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/763/1/012029>
- Lee, Y., K.H. Jang, J. Jeon, W.Y. Yang, C.J. Sim, K.B. Oh and J. Shin. 2012. Cyclic Bis-1,3 dialkylpyridiniums from the sponge *Haliclona* sp. *Mar. Drugs*, 10:2116–2137. <https://doi.org/10.3390/md10092126>
- León, J., J. Aponte, S. Montero, N. Galindo, M. Huamán y U. Tarazona. 2015. Aislamiento de actinomicetos asociados a esponjas marinas y evaluación del potencial antimicrobiano frente a patógenos multi-drogo-resistentes (MDR). XXIV Reun. Cient. Inst. Invest. Cienc. Biol. Antonio Raymundo, Lima.
- Lévi, C. 1964. Spongiaires des zones bathyale, abyssale et hadale. *Galathea Rep. Sci. Res. Danish Deep-Sea Exp. Round World, 1950-52*. 7: 63-112, pls II-XI. 93 p.
- Lino, M., J. León y M. Huáman. 2016. Evaluación de la capacidad antagonista de un antimicrobiano producido por *Streptomyces* sp. CEPA 13A-2 frente a microorganismos resistentes a  $\beta$ -lactámico de origen hospitalario. *Rev. Peru Investig. Matern. Perinat.*, 5(1): 28–34. <https://doi.org/10.33421/inmp.201652>
- Lippert, H., R. Brinkmeyer, T. Mulhaupt and K. Iken. 2003. Antimicrobial activity in sub-Arctic marine invertebrates. *Polar Biol.*, 26: 591–600. <https://doi.org/10.1007/s00300-003-0525-9>
- Lizarazo, N., S. Zea, L. Chasqui y N. Rincón-Díaz. 2020a. Diversidad de esponjas (Porifera) en los riscales y morros del Pacífico norte chocono: 82–91. En: Chasqui, L. (Ed.) *Biodiversidad de los arrecifes rocosos (riscales y morros) del Pacífico norte chocono*. Ser. Publ. Gen. Invenmar. 318 p. <https://n2t.net/ark:/81239/m9x11f>
- Lizarazo, N., S. Zea, L. Chasqui y N. Rincón-Díaz. 2020b. Biodiversidad de esponjas en arrecifes rocosos del Chocó norte, Pacífico colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 49(2): 79–130.
- López, Y., V. Cepas and S.M. Soto. 2018. The marine ecosystem as a source of antibiotics. In: Rampelottao, P. and A. Trincone (Eds.) *Grand challenges in marine biotechnology*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69075-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69075-9_1)
- Maarisit, W., D.B.Abdjul, H. Yamazaki, H. Kato, H. Rotinsulu, D. S. Wewengkang, D. A. Sumilat, M. M. Kapojos, K. Ukai and M. Namikoshi. 2017. Antimycobacterial alkaloids, cyclic 3-alkyl pyridinium dimers, from the Indonesian marine sponge *Haliclona* sp. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 27:3503–3506. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2017.05.067>
- Mahaut, M.L., O. Basuyaux, E. Baudinière, C. Chataignier, J. Pain and C. Caplat. 2013. The porifera *Hymeniacidon perlevis* (Montagu, 1818) as a bioindicator for water quality monitoring. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 20(5): 2984–2992. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1211-7>
- Maldonado, M., R. Aguilar, R.J. Bannister, J.J. Bell, K.W. Conway, P.K. Dayton, C. Diaz, J. Gutt, M. Kelly, E.L.R. Kenchington, S. Leys, S.A. Pomponi, H.T. Rapp, K. Rützler, O.S. Tendal, J. Vacelet and C.M. Young. 2016. Sponge grounds as keys marine habitats: a synthetic review of types, structure, functional roles, and conservation concerns: 1–39. In: Rossi, S., L. Bramanti, A. Gori and C. Orejas Saco del Valle (Eds.) *Marine animal forests: The ecology of benthic biodiversity hotspots*. Springer, Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5\\_24-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5_24-1)
- Manuel, M., R. Borojevic, N. Boury-Esnault and J. Vacelet. 2002. Class Calcarea Bowerbank, 1864: 1103–1110. In: Hooper, J.N.A. and R.W.M. van Soest. (Eds.) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 1707 p.
- Marinho, P.R., G.R.S. Muricy, M.F.L. Silva, M.G. de Marval and M.S. Laport. 2010. Antibiotic resistant bacteria inhibited by extracts and fractions from Brazilian marine sponges. *Rev. Bras. Farmacogn.*, 20(2): 267–275. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000200022>
- McCauley E.P., I.C. Piña, A.D. Thompson, K. Bashir, M. Weinberg, S. L. Kurz and P. Crews. 2020. Highlights of marine natural products having parallel scaffolds found from marine-derived bacteria, sponges, and tunicates. *J. Antibiot.*, 73:504–525. <https://doi.org/10.1038/s41429-020-0330-5>
- McClintock, J.B. and J.J. Gauthier. 1992. Antimicrobial activities of Antarctic sponges. *Antarct. Sci.*, 4(2): 179–183. <https://doi.org/10.1017/S0954102092000270>
- Narváez, K. 1999. Identificación y aspectos ecológicos de las esponjas del arrecife coralino de Playa Blanca, isla Gorgona (Pacífico colombiano). Tesis Biol. Mar., Univ. Valle, Cali. 57 p.
- Nazemi, M., M.A. Salimi, P.A. Salimi, A. Motallebi, S.T. Jahromi and O. Ahmadzadeh. 2014. Antifungal and antibacterial activity of *Haliclona* sp. from the Persian Gulf, Iran. *J. Mycol. Med.*, 24: 220–224. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2014.03.005>
- Nuzzo, G., M.L. Ciavatta, G. Villani, E. Manzo, A. Zanfardino, M. Varcamonti and M. Gavagnin. 2012. Fulvynes, antimicrobial polyoxygenated acetylenes from the Mediterranean sponge *Haliclona fulva*. *Tetrahedron*, 68(2):754–760. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2011.10.068>
- O'Hara, T.D., A. Williams, S.T. Ahyong, P. Alderslade, T. Alvestad, D. Bray, I. Burghardt, N. Budaeva, F. Criscione, A.L. Crowther, M. Ekins, M. Eléaume, C.A. Farrelly, J.K. Finn, M.N. Georgieva, A. Graham, M. Gomon, K. Gowlett-Holmes, L.M. Gunton, A. Hallan, A.M. Hosie, P. Hutchings, H. Kise, F. Köhler, J.A. Konsgrud, E. Kupriyanova, C.C. Lu, M. Mackenzie, C. Mah, H. MacIntosh, K.L. Merrin, A. Miskelly, M.L. Mitchell, K. Moore, A. Murray, P.M. O'Loughlin, H. Paxton, J.J. Pogonoski, D. Staples, J.E. Watson, R.S. Wilson, J. Zhang and N.J. Bax. 2020. The lower bathyal and abyssal seafloor fauna of eastern Australia. *Mar. Biodivers. Rec.*, 13: 11. <https://doi.org/10.1186/s41200-020-00194-1>



- Orhan, I.E., B. Ozcelik, B. Konuklugil, A. Putz, U.G. Kaban and P. Proksch. 2012. Bioactivity screening of the selected Turkish marine sponges and three compounds from *Agelas oroides*. *Rec. Nat. Prod.*, 6(4): 356–367.
- Pearse, A.S. 1932. Inhabitants of certain sponges at Dry Tortugas. *Carnegie Instit. Wash.*, 435:117–124.
- Pech-Puch, D., M. Pérez-Povedano, P. Gómez, M. Martínez-Gutián, C. Lasarte-Monterrubbio, J.C. Vásquez-Ucha, M.L. Novoa-Olmedo, S. Guillén-Hernández, H. Villegas-Hernández, G. Bou, J. Rodríguez, A. Beceiro and C. Jiménez. 2020. Marine organisms from the Yucatan Peninsula (Mexico) as a potential natural source of antibacterial compounds. *Mar. Drugs*, 18(7):369. <https://doi.org/10.3390/md18070369>
- Pérez, T., M.-C. Díaz, C. Ruiz, B. Córdor-Luján, M. Klautau, E. Hajdu, G. Lobo-Hajdu, S. Zea, S.A. Pomponi, R.W. Thacker, S. Carteron, G. Tollu, A. Pouget-Cuvelier, P. Thélamon, J.-P. Marechal, O.P. Thomas, A.V. Ereskovsky, J. Vacelet and N. Boury-Esnault. 2017. How a collaborative integrated taxonomic effort has trained new spongiologists and improved knowledge of Martinique Island (French Antilles, eastern Caribbean Sea) marine biodiversity. *PLoS One*, 12(3): e0173859. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173859>
- Pierdacaris S., T. Vlachogianni and A. Valavanidis. 2013. Bioactive natural substances from marine sponges: new developments and prospects for future pharmaceuticals. *Nat. Prod. Chem. Res.*, 1(3): 1000114:1–8. <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000114>
- Quévrain, E., M. Roué, I. Domart-Coulon and M. Bourguet-Kondracki. 2014. Assessing the potential bacterial origin of the chemical diversity in calcareous sponges. *J. Mar. Sci. Technol.*, 22(1):36–49. <https://doi.org/10.6119/JMST-013-0718-2>
- Ravichandran, S., S. Wahidullah, L. D'Souza and R.M. Anbuhezian. 2011. Antimicrobial activity of marine sponge *Clathria indica* (Dendy, 1889). *Russ. J. Bioorganic Chem.*, 37(4): 428–435. <https://doi.org/10.1134/s106816201104011x>
- Recinos, R., U. Pinheiro, Ph. Willenz and E. Hajdu. 2020. Three new Raspailiidae Hentschel, 1923 (Axinellida, Demospongiae) from Peru. *Zootaxa*, 4778(3): 521–545. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4778.3.5>
- Reiswig, H.M. 2002. Class Hexactinellida Schmidt, 1870: 1201–1202. In: Hooper, J.N.A. and R.W.N. van Soest. (Eds.) *Systema Porifera. A guide to the classification of sponges*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 1707 p.
- Ridley, S.O. 1881. XI. Spongida. Horny and siliceous sponges of Magellan Straits, S.W. Chili, and Atlantic off SW Brazil. In: Günther, A. (Ed.) *Account of the Zoological Collections made during the Survey of H.M.S. 'Alert' in the Straits of Magellan and on the Coast of Patagonia*. *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 107-141, pls. X-XI. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1881.tb01270.x>
- Ridley, S.O. and A. Dendy. 1887. Report on the Monaxonida collected by H.M.S. "Challenger" during the years 1873–76. Report on the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873–76. *Zoology*, 20 (part 59): i-lxviii, 1-275, pl. 1-51, 1 map. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.6513>
- Rossi, A.L., M. Farina, R. Borojevic and M. Klautau. 2006. Occurrence of five-rayed spicules in a calcareous sponge: *Sycon pentactinalis* sp. nov. (Porifera: Calcarea). *Cah. Biol. Mar.*, 47(3):261–270.
- Sahidin, I., C.W. Sabandar, R. Wahyuni, R. Hamsidi, M.H. Malaka, B. Sadarun and L.O. Aslan. 2018. A nor steroids from the marine sponge, *Clathria* species. *MJAS*, 22(3):375–382. <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2203-02>
- Sánchez-Lozano, I., C.J. Hernández-Guerrero, M. Muñoz-Ochoa and C. Hellio. 2019. Biomimetic approaches for the development of new antifouling solutions: Study of incorporation of macroalgae and sponge extracts for the development of new environmentally friendly coatings. *Int. J. Mol. Sci.*, 20(19): 4863. <https://doi.org/10.3390/ijms20194863>
- San Martín, A., J. Roviroso, I. Vaca, K. Vergara, L. Acevedo, F. Orallo and C.M. Chamy. 2011. New butyrolactone from a marine-derived fungus *Aspergillus* sp. *J. Chil. Chem. Soc.*, 56(1): 625–627. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072011000100023>
- Santhanam, R., S. Ramesh and A. Sunilson. 2019. *Biology and ecology of pharmaceutical marine sponges*. CRC Press. 342 p.
- Saravanakumar, K., B. Ramkumar and V. Muthuraj. 2016. In vitro antimicrobial potential efficiency of *Clathria frondifera* marine sponge. *Int. J. Res. Pharm. Chem.*, 6(3):458–464. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2020.00664.2>
- Selvin, J. and A.P. Lipton. 2004. Biopotentials of secondary metabolites isolated from marine sponges. *Hydrobiologia*, 513: 231–238. <https://doi.org/10.1023/B:hydr.0000018183.92410.21>
- Shushizadeh, M.R., S. Behroozi, A.A. Behfar and M. Nazemi. 2018. Antibacterial activity and GC-Mass analysis of organic extract from Persian Gulf *Haliclona* sp. *Pharmacophore*, 9(2): 19–24. <https://pharmacophorejournal.com/3ASNkVr>
- Sim-Smith, C., C. Hickman Jr. and M. Kelly. 2021. New shallow-water sponges (Porifera) from the Galápagos Islands. *Zootaxa*, 5012(1): 1–71. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5012.1.1>
- Solé-Cava, A.M., M. Klautau, N. Boury-Esnault, R. Borojevic and J.P. Thorpe. 1991. Genetic evidence for cryptic speciation in allopatric populations of two cosmopolitan species of the calcareous sponge genus *Clathrina*. *Mar. Biol.*, 111(3):381–386. <https://doi.org/10.1007/BF01319410>
- Sun, S., C.B. Canning, K. Bhargava, X. Sun, W. Zhu, N. Zhou, Y. Zhang and K. Zhou. 2015. Polybrominated diphenyl ethers with potent and broad spectrum antimicrobial activity from the marine sponge *Dysidea*. *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 25(10):2181–2183. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2015.03.057>
- Tadesse, M, B. Gulliksen, M.B. Strøm, O.B. Styrvold and T. Haug. 2008. Screening for antibacterial and antifungal activities in marine benthic invertebrates from northern Norway. *J. Invertebr. Pathol.*, 99(3): 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.06.009>
- Thiele, J. 1905. Die Kiesel- und Hornschwämme der Sammlung Plate. *Zool. Jahrb. Suppl.* 6 (Fauna Chiliensis III): 407–496, 427–433.
- Vacelet, J. and N. Boury-Esnault. 1995. Carnivorous sponges. *Nature*, 373:333–335.
- van Soest, R.W.M., J.N.A. Hooper and F. Hiemstra. 1991. Taxonomy, phylogeny and biogeography of the marine sponge genus *Acarnus* (Porifera: Poecilosclerida). *Beaufortia*, 42(3): 49–88.

- van Soest, R.W.M., N. Boury-Esnault, J. Vacelet, M. Dohrmann, D. Erpenbeck, N.J. de Voogd, N. Santodomingo, B. Vanhoorne, M. Kelly and J.N.A. Hooper. 2012. Global diversity of sponge (Porifera). PLoS One, 7(4): e35105. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035105>
- van Soest, R.W.M., N. Boury-Esnault, J.N.A. Hooper, K. Rützler, N.J. de Voogd, B. Álvarez, E. Hajdu, A.B. Pisera, R. Manconi, C. Schönberg, M. Klautau, M. Kelly, J. Vacelet, M. Dohrmann, M.C. Díaz, P. Cárdenas, J.L. Carballo, P. Ríos, R. Downey and C.C. Morrow. 2020. World Porifera database. Accessed at <http://www.marinespecies.org/porifera> on 2020-11-22.
- Viegelmann, C., J. Parker, T. Ooi, C. Clements, G. Abbott, L. Young, J. Kennedy, A.D.W. Dobson, A.D.W. and R. Edrada-Ebel. 2014. Isolation and identification of antitrypanosomal and antimycobacterial active steroids from the sponge *Haliclona simulans*. Mar. Drugs, 12:2937–2952. <https://doi.org/10.3390/md12052937>
- von Lendenfeld, R. 1910. The Sponges. 2. The Erylidae. In: Reports on the Scientific Results of the Expedition to the Eastern Tropical Pacific, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission Steamer ‘Albatross’, from October, 1904, to March, 1905, Lieut. Commander L.M. Garrett, U.S.N., Commanding, and of other Expeditions of the Albatross, 1888-1904. (21). Mem. Mus. Comp. Zoology Harv. Coll., 41(2):261–324, pls 1–8.
- von Lendenfeld, R. 1915. The Sponges. 3. Hexactinellida. In: Reports on the Scientific Results of the Expedition to the Eastern Tropical Pacific, in charge of Alexander Agassiz, by the U.S. Fish Commission Steamer ‘Albatross’, from October, 1904, to March, 1905, Lieut. Commander L.M. Garrett, U.S.N., Commanding, and of other expeditions of the ‘Albatross’, 1891-1899. (29). Mem. Mus. Comp. Zoology Harv. Coll., 42(2). pls.1–109, 396 p. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=sourcedetails&id=7835>
- Vos, L., K. Rützler, N. Boury-Esnault, C. Donadey and J. Vacelet. 1991. Atlas of sponge morphology. Atlas de morphologie des éponges. Washington. Smithsonian Institution Press. 117 p.
- Warsidah, Masrianih, M.S.J. Sofiana, I. Safitri, A. Sapar, A.B. Aritonang, Y. Saputri and D. Fadly. 2020. Protein isolation from sponge *Niphates* sp. as an antibacterial and antioxidant. Sys. Rev. Pharm. 11(9): 518–521
- Wei, X., N. Henriksen, J. Skalicky, M. Harper, T. Cheatham, C. Ireland and R. Wagoner. 2011. Araiiosamines A–D: Tris-bromoindole cyclic guanidine alkaloids from the marine sponge *Clathria (Thalysias) araiosa*. J. Org. Chem., 76(14):5515–5523. <https://doi.org/10.1021/jo200327d>
- WHO. 2014f. Antimicrobial resistance: global report on surveillance. Technical report, World Health Organization. 232 p. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/112642>
- WHO. 2015f. Global Action Plan on Antimicrobial Resistance. Technical report, World Health Organization, 45 p. <https://www.who.int/publications/item/9789241509763>
- Wilson, H.V. 1904. Reports on an exploration off the west coast of Mexico, Central and South America, and off the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the US Fish Commission steamer “Albatross” during 1891, Lieut. Commander Z.L. Tanner, U.S.S., Commanding. XXVI. The Sponges. Mem. Mus. Comp. Zoology Harv. Coll., 30:1–164
- Woo, J.K., C.K. Kim, C. H. Ahn, D.C. Oh, K.B. Oh and J. Shin. 2015. Additional sesterterpenes and a nortriterpene saponin from the sponge *Clathria gombawuiensis*. J. Nat. Prod., 78(2):218–224. <https://doi.org/10.1021/np500753q>
- Zuleta, I., M. Vitelli, R. Baggio, M. Garland, A. Seldes and J. Palermo. 2002. Novel pteridine alkaloids from the sponge *Clathria* sp. Tetrahedron, 58:4481–4486. [https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(02\)00392-7](https://doi.org/10.1016/S0040-4020(02)00392-7)

RECIBIDO/RECEIVED: 18/04/2021

ACEPTADO/ACCEPTED: 14/03/2022