

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 2



Julio - Diciembre 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

BIODIVERSIDAD MARINA EN EL NORCENTRO DE LA COSTA DE PERÚ: UN ENFOQUE PARA LA EVALUACIÓN DE PLANES DE MANEJO

MARINE BIODIVERSITY IN THE NORTH-CENTRAL COAST OF PERU: AN APPROACH FOR THE EVALUATION OF MANAGEMENT PLANS

Roberto A. Uribe

Ángel Perea

Victor García²Mario Huerto²

RESUMEN

URIBE R, PEREA A, GARCÍA V, HUERTO M. 2019. *Biodiversidad marina en el norcentro de la costa de Perú: un enfoque para la evaluación de planes de manejo*. Bol Inst Mar Perú. 34(2): 332-350.- Se muestra la situación de la biodiversidad marina en bahía Los Chimus e islas La Viuda y Tortuga y se discute su aplicación como una estrategia de evaluación de planes de manejo. El estudio se llevó a cabo en bahía Los Chimus, donde se realizaron muestreos por triplicado (n=3) tomando en cuenta ocho estaciones equidistantes distribuidas en toda la bahía, en las que se recolectaron muestras de sedimento, con una draga van Veen, para el registro de organismos del macrobentos. En cada isla se determinaron cuatro estaciones en transectas paralelas a la línea de costa, para recolectar organismos del megabentos, se efectuaron tres muestreos mediante buceo, además de registros audiovisuales. En cada punto de muestreo se realizaron registros de profundidad, temperatura, salinidad y oxígeno. Los resultados muestran que los mayores valores de densidad, biomasa y diversidad de organismos asociados al bentos se encuentran fuera de las áreas donde actualmente se realiza cultivo suspendido de *Argopecten purpuratus* (L.). Esto podría indicar que las actividades humanas son un factor determinante en el declive de los parámetros comunitarios dentro de la bahía Los Chimus. Sin embargo, se requiere información histórica para determinar la relación entre factores de origen humano y la dinámica de la comunidad bentónica. En este sentido, se recomienda que los estudios de la biodiversidad marina sean integrados como parte de los planes de manejo de zonas costeras.

PALABRAS CLAVE: actividades acuícolas, Los Chimus, macrobentos, megabentos, pesquería artesanal

ABSTRACT

URIBE R, PEREA A, GARCÍA V, HUERTO M. 2019. *Marine biodiversity in the north-central coast of Peru: an approach for the evaluation of management plans*. Bol Inst Mar Peru. 34(2): 332-350.- The status of marine biodiversity in Los Chimus Bay and La Viuda and Tortuga Islands is shown and its application is discussed as a management plan evaluation strategy. The study was carried out in Los Chimus Bay, where samples were taken in triplicate (n=3) by considering eight equidistant stations distributed throughout the bay, in which sediment samples were collected, with a van Veen dredge, for the recording of macrobenthos organisms. On each island, four transect stations were determined parallel to the coastline, to collect organisms from the megabenthos, three samples were taken by diving, and audiovisual records. Depth, temperature, salinity, and oxygen were recorded at each sampling point. The results show that the highest values of density, biomass, and diversity of organisms associated with benthos are outside the areas where the suspended culture of *Argopecten purpuratus* (L.) is currently carried out. This could indicate that anthropogenic activities are a determining factor in the decline of community parameters within Los Chimus Bay. However, historical information is required to determine the relationship between human factors and benthic community dynamics. In this regard, it is recommended that marine biodiversity studies be integrated as part of coastal zone management plans.

KEYWORDS: aquaculture activities, Los Chimus, macrobenthos, megabenthos, artisanal fisheries

1. INTRODUCCIÓN

En el Pacífico sureste, el ciclo de El Niño-Oscilación del Sur es uno de los principales conductores termales que impacta los ecosistemas costeros en un amplio rango de intensidades operando a diferentes escalas (THIEL *et al.*, 2007). Zonas bentónicas hipóxicas y cambios en los sedimentos y niveles de temperatura, resultado de las oscilaciones periódicas de este ciclo, causan la proliferación, colonización y/o invasión de algunas especies, mientras que otras migran o mueren (PACHECO *et al.*, 2012; ESCRIBANO *et al.*, 2004; TARAZONA *et al.*, 1988).

1. INTRODUCTION

The El Niño-Southern Oscillation cycle (ENSO) is one of the main thermal conductors impacting coastal ecosystems at a wide range of intensities operating at different scales in the southeastern Pacific (THIEL *et al.*, 2007). Hypoxic benthic zones and changes in sediments and temperature levels, resulting from the periodic oscillations of this cycle, cause the proliferation, colonization, and/or invasion of some species, while others migrate or die (PACHECO *et al.*, 2012; ESCRIBANO *et al.*, 2004; TARAZONA *et al.*, 1988).

1 IMARPE, Laboratorio Costero de Huanchaco, Av. La Ribera 805, Trujillo, La Libertad. ruribe@imarpe.gob.pe

2 Laboratorio Costero de Chimbote, Prolongación Los Pinos s/n, Nueva Caleta, Chimbote, Ancash

A diferencia del impacto generado por oscilaciones en las condiciones oceanográficas (*e. g.*, ciclo El Niño) o biológico (*e. g.*, proliferaciones algales tóxicas) donde el sistema se logra recuperar, el impacto generado por la actividad humana, podría cambiar totalmente el escenario, de tal forma, que los sistemas marinos no se recuperen o tarden mucho tiempo en hacerlo (RIASCOS *et al.*, 2016). Esta problemática, principalmente de origen antrópico, conlleva a la modificación del hábitat y la extinción local temporal y/o definitiva de muchos organismos considerados recursos y otros sin fines comerciales, causando daños severos en la salud del ecosistema y biodiversidad marina; por lo que es importante conocer la biodiversidad local antes que el escenario sea drásticamente alterado.

Diversos estudios han demostrado que la pérdida de diversidad biológica es, a menudo, debido a múltiples causas ambientales. Sin embargo, la extrapolación de estos resultados a actuales escenarios donde el impacto humano (*e. g.*, pesquerías) son cada vez mayores, sigue siendo polémico debido a la dificultad en la simulación de la complejidad de los ecosistemas naturales. A partir de una amplia gama de disturbios relacionados a actividades humanas en las costas, la pesquería de organismos bentónicos (*i.e.*, pesca de arrastre, dragados, rastrillados, succión) puede ser el mayor impacto de amplio espectro sobre los fondos marinos. El efecto de estas perturbaciones incluye destrucción física de la morfología del suelo, resuspensión del sedimento, modificaciones químicas del medio, eliminación o dispersión de especies no recurso, mortalidad post-pesca y, como consecuencia, el sistema es llevado a un estado alternativo inducido.

Actuales estrategias a nivel global para reducir estos efectos y proteger la diversidad biológica han sido focalizadas en la modificación de los artes de pesca, la interacción de estas pesquerías en zonas vulnerables y, últimamente, el diseño e implementación de áreas marinas protegidas, basados en estudios previos con carácter científico. En este sentido, surge la necesidad de contar con líneas de investigación dedicadas al constante monitoreo y análisis de los cambios que afectan la diversidad biológica y las comunidades bentónicas a lo largo de cada región. Este es el caso de bahía Los Chimus, la cual ha sido caracterizada por presentar altos niveles de extracción y desembarque de recursos marinos (artesanales) y por tener los mayores bancos naturales de diversos invertebrados marinos en la región (GARCÍA, 2016). En la actualidad, bahía Los Chimus presenta alta presión por parte del cultivo suspendido del

The impact generated by anthropogenic activities could completely change the scenario so that marine systems do not recover or take a long time to do so; this is different from the impact generated by oscillations in oceanographic (*e.g.*, El Niño cycle) or biological (*e.g.*, harmful algal blooms) conditions where the system is able to recover (RIASCOS *et al.*, 2016). This problem, mainly of human origin, leads to habitat modification and the temporary and/or definitive local extinction of many organisms considered resources and others without commercial purposes, causing severe damage to the health of the ecosystem and marine biodiversity; so it is important to know the local biodiversity before the scenario is drastically altered.

Several studies have shown that biodiversity loss is often due to multiple environmental causes. However, extrapolation of these results to current scenarios where human impact (*e.g.*, fisheries) is increasing remains controversial given the difficulty in simulating the complexity of natural ecosystems. From a wide range of disturbances related to anthropogenic activities on the coasts, the fisheries for benthic organisms (*e.g.*, trawling, dredging, raking, pumping) may be the largest broad-spectrum impact on the seabed. The effect of these disturbances includes physical destruction of soil morphology, resuspension of sediment, chemical modifications of the environment, elimination or dispersal of non-resource species, post-fishing mortality, and, as a consequence, the system is brought to an induced alternative state.

Current global strategies to reduce these effects and protect biological diversity have focused on the modification of fishing gear, the interaction of these fisheries in vulnerable areas, and, ultimately, the design and implementation of marine protected areas, based on previous scientific studies. In this sense, there is a need for lines of research engaged in the constant monitoring and analysis of changes affecting biological diversity and benthic communities throughout each region. This is the case of Los Chimus Bay, which has been characterized by high levels of extraction and landing of marine resources (artisanal) and by having the largest natural banks of various marine invertebrates in the region (GARCÍA, 2016). Nowadays, Los Chimus Bay has high pressure from the suspended culture of the bivalve *A. purpuratus*, which has spread throughout the bay (personal remark).

bivalvo *A. purpuratus*, la cual se ha extendido en toda la bahía (observación personal).

El estado de conservación de la diversidad biológica marina en el Perú se da a través de reservas nacionales y áreas naturales protegidas, figuras legales que representan un esfuerzo titánico de conservación, que muy raras veces se beneficia de inversiones adecuadas (MYERS *et al.*, 2000) y, frecuentemente, responde a estrategias oportunistas fundamentadas más en una presión social de carácter nacional y/o internacional que en una sólida base científica (HALFFTER *et al.*, 2001). A pesar de ello, aún se desconoce cuál es el estado y la dinámica de la diversidad biológica en estas áreas protegidas y muchas otras áreas en estado crítico, vulnerables.

El borde costero de la Región Áncash, presenta muchos accidentes geomorfológicos aún no explorados (*e. g.*, acantilados, bahías, caletas, islotes, puntas, islas, ensenadas) donde sus grandes bahías son albergue de organismos con extensiones de rango geográfico, posible y/o nuevas especies para la ciencia. El objetivo del presente estudio es mostrar la situación de diversidad y estructura del macrobentos en Bahía Los Chimus y del megabentos en la isla La Viuda e isla Tortuga y discutir su aplicación como una estrategia de evaluación de planes de manejo de ecosistemas costeros en el Perú.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en noviembre del 2016 en la bahía Los Chimus y en las islas La Viuda y Tortuga ubicadas en la zona norcentro de Perú (Fig. 1). Los Chimus es una bahía abierta, expuesta al océano con el borde costero rocoso; presenta cuatro pequeñas ensenadas (Los Chimus, Salinas, Guaynumá, Tortuga) con playas de arena. La bahía está constituida por 17 km, aproximadamente, de costa lineal e incluye elevados relieves que descienden abruptamente al mar donde se encuentra una extensa zonación vertical en franjas horizontales con ambientes para la colonización de flora y fauna en las zonas intermareal y submareal somero sobre los 15 m de profundidad. El fondo marino y las cuatro pequeñas ensenadas o bahías, están compuestas por fango, limo y arena fina. En el borde más oceánico de la bahía se encuentra la zona insular formada por dos pequeñas islas: La Viuda y Tortuga, ambas de similar área. La bahía Los Chimus y las zonas insulares se caracterizan por estar frente a una permanente área de surgencia en la zona norte de la Corriente del Humboldt y, actualmente, son escenario de un intensivo cultivo de *Argopecten purpuratus*.

The conservation status of marine biological diversity in Peru occurs through national reserves and protected natural areas, legal figures that represent a titanic conservation effort that rarely benefits from adequate investments (MYERS *et al.*, 2000) and frequently responds to opportunistic strategies based more on national and/or international social pressure than on a solid scientific base (HALFFTER *et al.*, 2001). Despite this, the status and dynamics of biological diversity in these protected areas and many other critical, vulnerable areas is still unknown.

The coastal edge of the Ancash Region presents many unexplored geomorphological features (*e.g.*, cliffs, bays, coves, islets, tips, islands, inlets) and its large bays are home to organisms with geographic range extensions, possible and/or new species for science. The aim of this study is to show the situation of diversity and structure of the macrobenthos in Los Chimus Bay and the megabenthos in La Viuda and Tortuga Islands and to discuss its application as a strategy for the evaluation of coastal ecosystem management plans in Peru.

2. MATERIAL AND METHODS

Study area

In November 2016, the study was carried out in Los Chimus Bay and in La Viuda and Tortuga Islands located in north-central Peru (Fig. 1). Los Chimus is an open bay, exposed to the ocean with a rocky coastal edge; it has four small inlets (Los Chimus, Salinas, Guaynumá, Tortuga) with sandy beaches. The bay is made up of approximately 17 km of linear coastline and includes high reliefs that descend abruptly into the sea where there is extensive vertical zoning in horizontal stripes with environments for the colonization of flora and fauna in the intertidal and shallow subtidal zones over a depth of 15 m. The seabed and the four small inlets or bays are composed of mud, silt, and fine sand. At the most oceanic edge of the bay is the insular zone formed by two small islands: La Viuda and Tortuga, both of similar area. Los Chimus Bay and the insular zones are characterized for being located off a permanent upwelling area in the north zone of the Humboldt Current and, nowadays, they serve as the site for the intensive culture of *Argopecten purpuratus*.

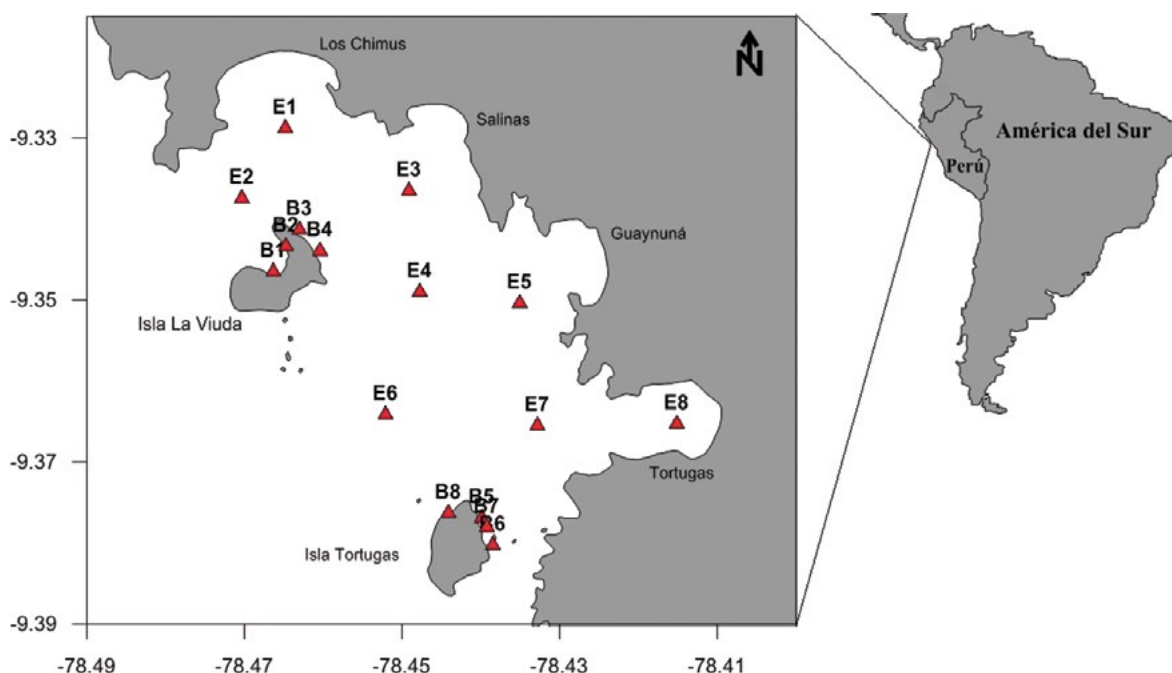


Figura 1.- Mapa con ubicación de las estaciones de muestreo en bahía Los Chimus y zonas insulares. E estaciones de muestreo para recolectar macrobentos, B estaciones de muestreo con buceo para megabentos y registros audiovisuales

Figure 1. Map with location of sampling stations in Los Chimus Bay and insular areas. E sampling stations to collect macrobenthos, B sampling stations with diving for megabenthos and audiovisual records

Estrategia de muestreo, recolección y procesamiento de muestras biológicas

La estrategia para el registro de la biodiversidad de invertebrados bentónicos, comprendió el análisis del macrobentos y megabentos. Para el macrobentos se seleccionó ocho estaciones (E) previamente distribuidas en una carta geográfica de manera equidistante dentro de bahía Los Chimus. Las estaciones E3, E4 y E5 se localizaron dentro de las concesiones de cultivo de *A. purpuratus*. La estación E7 en el borde y las estaciones E1, E2 y E6 se localizaron fuera. En cada estación la recolección de las muestras se realizó con el apoyo de una draga tipo van Veen de 0,05 m² de superficie de mordida y por triplicado (n= 3). El sedimento obtenido con la draga fue tamizado en el bote utilizando una malla de 500 µm. Posteriormente, los organismos fueron colocados en frascos de 1 L debidamente rotulados y fijados con alcohol absoluto y rosa de bengala. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio Costero de Chimbote para determinar la composición de la comunidad de la biota bentónica hasta el nivel taxonómico más bajo posible. Con el apoyo de un estereoscopio y una balanza analítica al 0,0001 g de precisión se realizó el registro de organismos para determinar densidad (ind./m²) y biomasa en peso húmedo (g/m²).

Sampling strategy, collection, and processing of biological samples

The strategy for the recording of benthic invertebrate biodiversity included the analysis of macrobenthos and megabenthos. A total of eight stations (E) were selected for the macrobenthos, previously distributed in a geographic chart in an equidistant way within Los Chimus Bay. The E3, E4, and E5 stations were located within the *A. purpuratus* culture concessions. The E7 station was on the edge and the E1, E2, and E6 stations were located outside. At each station, the samples were collected with the support of a van Veen dredge of 0.05 m² of biting area and in triplicate (n=3). The sediment obtained with the dredge was sieved in the vessel by using a 500 µm mesh. Subsequently, the organisms were placed in 1 L bottles duly labeled and fixed with absolute alcohol and rose bengal. The samples were taken to the Coastal Laboratory of Chimbote to determine the composition of the benthic biota community up to the lowest possible taxonomic level. The recording of organisms to determine the density (ind./m²) and biomass in wet weight (g/m²) was carried out with the support of a stereoscope and an analytical scale at 0.0001 g of precision.

El registro de organismos de la megafauna se realizó a través de buceos consecutivos semiautónomo (HOOKA) en el submareal somero de las islas La Viuda y Tortuga. Se seleccionaron cuatro estaciones en cada isla y se tomó en cuenta la metodología propuesta por FRIEDLANDER *et al.* (2016), que consta de seguir un transecto paralelo a la costa. En este caso, se muestreó un transecto a lo largo de la isóbata de los 10 m (± 1 m) con la finalidad de que la profundidad no sea un factor de análisis. En cada transecto se recolectaron todos los organismos comprendidos dentro de una cuadrata (1 m²) lanzada aleatoriamente por triplicado (n= 3), al inicio, mitad y final del transecto. El sedimento fue recolectado en mallas con 1 mm de apertura. En el bote las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas, debidamente rotuladas, para su posterior análisis. Adicionalmente, en cada estación se realizó una caracterización audiovisual del paisaje a lo largo de cada transecta. Cada video y fotografía tomada fue analizada con la finalidad de describir la situación actual de los hábitats insulares y registro *in situ* de algunas especies.

En el laboratorio, los organismos fueron separados e identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible, contados y pesados (0,01 g). Para la identificación de las especies/taxa de organismos macro y megabentónicos se utilizó literatura como claves y catálogos, dentro de las principales FAUCHALD (1977), ROZBACZYLO (1980), HOBSON y BANSE (1981) para poliquetos; ÁLAMO y VALDIVIESO (1997) para moluscos; CHIRICHIGNO (1970) para crustáceos, BARNARD (1954) para anfípodos y otras de similar relevancia como URIBE *et al.* 2014, AL-YAMANI *et al.* 2012, PAREDES y CARDOZO (2007), PAREDES *et al.* (2011).

Parámetros oceanográficos

En cada estación de muestreo se realizaron muestreos de agua y de sedimento para el análisis de las condiciones oceanográficas. Las determinaciones físico-químicas del agua de mar se basaron en el método Winkler modificado por CARRIT & CARPENTER (1966). La salinidad se efectuó a través del método de inducción usando el Portasal Guildline 8410a. La temperatura superficial se registró con un termómetro de mercurio de balde y la de fondo con un termómetro de inversión Kahlsico.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos, la información de la composición de la comunidad fue extrapolada hasta m². Se calculó la abundancia de organismos representados por los estimadores de densidad y biomasa (n= 3). La densidad en cada estación de

The recording of megafauna organisms was carried out through consecutive semi-autonomous dives (HOOKA) in the shallow subtidal of La Viuda and Tortuga Islands. A total of four stations were selected on each islands and the methodology proposed by FRIEDLANDER *et al.* (2016), which consists of following a transect parallel to the coast, was considered. In this case, a transect was sampled along the 10 m (± 1 m) isobath so that depth is not a factor of analysis. All the organisms were collected within a quadrat (1 m²) thrown randomly in triplicate (n=3), in the beginning, middle, and end of each transect. The sediment was collected in meshes with an opening of 1 mm. In the vessel, the samples were placed in plastic bags, duly labeled, for later analysis. Additionally, in each station, an audiovisual characterization of the landscape along each transect was carried out. Each video and photograph taken was analyzed to describe the current status of island habitats and *in situ* recordings of some species.

The organisms were identified, counted, and weighed (0.01 g) in the laboratory. For the identification of species/taxa of macrobenthic and megabenthic organisms, the taxonomic keys and catalogs were used, including the following: FAUCHALD (1977), ROZBACZYLO (1980), HOBSON & BANSE (1981) for polychaetes; ALAMO & VALDIVIESO (1997) for mollusks; CHIRICHIGNO (1970) for crustaceans, BARNARD (1954) for amphipods and others of similar relevance such as URIBE *et al.* 2014, AL-YAMANI *et al.* 2012, PAREDES & CARDOZO (2007), PAREDES *et al.* (2011).

Oceanographic parameters

Water and sediment were sampled for analysis of oceanographic conditions in each station. The physical-chemical determinations of seawater were based on the Winkler method modified by CARRIT & CARPENTER (1966); the salinity using Portasal Guildline 8410a. The surface temperature was recorded with a bucket mercury thermometer and the bottom with a Kahlsico reversing thermometer.

Data analysis

For data analysis, information on community composition was extrapolated to m². The abundance of organisms represented by density and biomass estimators (n=3) was calculated. Regarding density, the main diversity indicators

muestreo fue utilizada para estimar los principales indicadores de diversidad como riqueza de especies (S), número de individuos (N), diversidad de Shannon-Wiener (H'), equidad de Pielou (J'), Riqueza de Margalef (d) y Diversidad de Simpson (D). De acuerdo al criterio propuesto por WARWICK (1986) para detectar la severidad de una alteración en una comunidad de macrozoobentos, se utilizó el comportamiento de las curvas ABC. Además, se realizó un análisis de la estructura comunitaria según su abundancia mediante el uso de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) estimado con el Índice de Similaridad de Bray-Curtis para detectar el grado de asociación (similaridad/disimilaridad) entre estaciones de muestreo. Para el análisis de las matrices los datos fueron previamente transformados ($\log + 1$) (CLARK & GORLEY 2006). La información fue procesada utilizando hojas de cálculo Excel y el programa PRIMER versión 6.1. Los mapas fueron construidos con la ayuda del programa Surfer versión 10.0.

3. RESULTADOS

Parámetros oceanográficos

En la superficie la temperatura varió de 14,6 a 17,8 °C con promedio de 16,3 °C y en el fondo fue de 14,1 a 16,1 °C, promedio de 14,9 °C (Tabla 1). En ambos niveles evaluados la distribución térmica al desplazarse desde el frente oceánico hasta la zona continental, incrementa su temperatura gradualmente y muy cerca del borde costero. En superficie la salinidad fue de 34,993 a 35,073 ups, promedio de 35,033 ups y en fondo varió de 34,958 a 35,006 ups, promedio de 34,985 ups. La distribución halina, al igual que la temperatura, incrementó su concentración desde el frente oceánico hasta el borde costero de bahía Los Chimus e isla Tortuga. El oxígeno superficial varió de 2,71 a 7,20 mL/L, promedio de 4,78 mL/L, incrementando su concentración desde el frente oceánico sur hacia el borde costero de Guaynumá a bahía Los Chimus. Se observaron núcleos concéntricos de 6,00 a 6,50 mL/L entre las playas Las Salinas y Guaynumá. En fondo el oxígeno fluctuó entre 0,18 y 4,06 mL/L, promedio de 1,66 mL/L. El oxígeno incrementó su concentración desde el frente oceánico sur hacia bahía de Tortuga; se localizó en playa Los Chimus, concentraciones de 4,00 mL/L, que al desplazarse hacia los alrededores disminuyó. Entre playa Las Salinas y Guaynumá se observaron núcleos concéntricos de 0,50 a 1,00 mL/L.

were estimated such as species richness (S), number of individuals (N), Shannon-Wiener diversity (H'), Pielou's equity (J'), Margalef richness (d), and Simpson diversity (D). To detect the severity of an alteration in a macrozoobenthos community, the behavior of ABC curves was used WARWICK (1986). To identify the degree of association (similarity / dissimilarity) between sampling stations, an analysis of the community structure was carried out according to its abundance using the non-metric multidimensional scaling (nMDS) estimated with the Bray-Curtis Similarity Index. For the analysis of the matrices, the data were previously transformed ($\log + 1$) (CLARK & GORLEY 2006). The information was processed using Excel spreadsheets and PRIMER version 6.1. The maps were constructed with the help of Surfer version 10.0.

3. RESULTS

Oceanographic parameters

The surface temperature ranged from 14.6 to 17.8 °C with a mean of 16.3 °C and on the bottom, it ranged from 14.1 to 16.1 °C, the mean was 14.9 °C (Table 1). When the thermal distribution is moving from the oceanfront towards the continental zone, it increases gradually and very close to the coastal edge. On the surface, the salinity ranged from 34,993 to 35,073 ups, the mean was 35,033 ups, and on the bottom, it varied from 34,958 to 35,006 ups, the mean was 34,985 ups. The haline distribution, as well as the temperature, increased its concentration from the oceanfront to the coastal edge of Los Chimus Bay and Tortuga Island. Surface oxygen ranged from 2.71 to 7.20 mL/L, the mean was 4.78 mL/L, increasing its concentration from the southern oceanfront to the coastal edge of Guaynumá to Los Chimus Bay. Concentric nuclei of 6.00 to 6.50 mL/L were observed between Las Salinas and Guaynumá beaches. In the bottom, oxygen fluctuated between 0.18 and 4.06 mL/L, the mean was 1.66 mL/L. The oxygen distribution increased its concentration from the southern oceanfront towards Tortuga Bay; likewise, concentrations of 4.00 mL/L were located in Los Chimus beach, which when moving towards the surroundings decreased its concentration. Concentric nuclei of 0.50 to 1.00 mL/L were observed between Las Salinas and Guaynumá beaches

Tabla 1.- Parámetros oceanográficos tomados en bahía Los Chimus, islas La Viuda y Tortuga, 2016

Table 1. Oceanographic parameters taken in Los Chimus Bay, La Viuda and Tortuga Islands, 2016

Estación Station	Fecha Date	Profundidad Depth (m)	Nivel Level (m)	Temperatura Temperature (°C)	Salinidad Salinity (ups)	Oxígeno Oxygen (mL/L)
Bahía Los Chimus / Los Chimus Bay						
E1	18/10/2016	20,0	0	17,8	35,022	6,38
			19	15,3	35,004	0,75
E2	18/10/2016	38,0	0	17,6	35,051	7,20
			37	14,3	34,958	0,19
E3	18/10/2016	18,0	0	17,0	35,042	5,38
			17	15,6	35,006	2,26
E4	18/10/2016	38,0	0	17,3	35,046	6,76
			37	14,7	34,986	0,28
E5	19/10/2016	24,0	0	17,0	35,045	5,81
			23	14,9	34,996	0,18
E6	19/10/2016	40,0	0	15,3	35,035	3,11
			39	14,1	34,966	0,28
E7	19/10/2016	29,0	0	16,7	35,060	4,4
			28	14,7	34,989	0,18
E8	19/10/2016	6,5	0	17,7	35,073	5,06
			6	16,0	35,006	3,32
Isla La Viuda/ La Viuda Island						
B1	20/10/2016	13,5	0	15,0	35,006	4,16
			13	15,0	34,989	3,21
B2	20/10/2016	15,0	0	15,5	35,016	4,47
			14	14,4	34,964	0,48
B3	20/10/2016	13,1	0	16,6	35,041	5,38
			12	16,1	35,001	4,06
B4	20/10/2016	13,0	0	16,4	35,037	5,63
			12	15,4	34,989	3,42
Isla Tortuga/Tortuga Island						
B5	21/010/2016	9,5	0	14,6	35,011	2,71
			9	14,5	34,982	2,45
B6	21/010/2016	11,5	0	14,8	34,993	3,01
			11	14,4	34,973	1,72
B7	21/010/2016	11,0	0	14,8	35,000	2,96
			10	14,4	34,975	1,79
B8	21/010/2016	18,0	0	16,0	35,049	3,84
			17	14,9	34,983	1,99

Estimadores comunitarios

Densidad

Los organismos macrobentónicos presentaron una densidad total promedio de 4317 ind./m². Las estaciones que presentaron mayores densidades fueron E2 y E8 con más de 10000 ind./m². Estas estaciones se encuentran ubicadas en el sector norte y sur de bahía Los Chimus, respectivamente (Tabla 2). Las especies que presentaron mayor densidad fueron *Magelona phyllisae* Jones (1146 ind./m²), *Microphoxus* sp. (442 ind./m²) y *Phyllochaetopterus* sp. (400 ind./m²) (Fig. 2a). La densidad de organismos en isla La Viuda fue de

Community estimators

Density

Macrobenthic organisms presented a mean total density of 4317 ind./m². The stations with the highest densities were E2 and E8 with more than 10,000 ind./m². These stations are located in the northern and southern sectors of Los Chimus Bay, respectively (Table 2). The species with the highest density were *Magelona phyllisae* Jones (1146 ind./m²), *Microphoxus* sp. (442 ind./m²), and *Phyllochaetopterus* sp. (400 ind./m²) (Fig. 2a). The density of organisms on La Viuda Island

51,75 ind./m², donde las especies más representativas fueron *Cycloxanthops sexdecimdentatus* (Milne Edwards & Lucas), *Crossata ventricosa* (Broderip), *Branchiostoma elongatum* Sundevall y *Argopecten purpuratus* (Lamarck) (Fig. 3a). En isla Tortuga, la densidad promedio fue de 71,3 ind./m² (Tabla 2), las especies más representativas fueron *Prunum curtum* (Sowerby), *C. sexdecimdentatus*, *Pinnixa transversalis* (Milne Edwards & Lucas) y *B. elongatum* (Fig. 4a).

Biomasa

Los organismos macrobentónicos presentaron biomasa total promedio de 54,114 g/m². Las estaciones que presentaron mayores biomásas fueron E8, E5 y E1, estas estaciones se encuentran ubicadas en el sector sur, centro y norte de la bahía, respectivamente (Tabla 2). Las especies que presentaron mayor biomasa fueron *Prunum curtum* (10,91 g/m²), *Diopatra chilensis* (Quatrefages) (9,52 g/m²) y *Nassarius gayi* (Kiener) (5,24 g/m²) (Fig. 2b). La biomasa de organismos en isla La Viuda fue de 497,75 ind./m² (Tabla 2), donde las especies más representativas fueron *Cycloxanthops sexdecimdentatus*, *Crossata ventricosa*, *Branchiostoma elongatum* y *Argopecten purpuratus* (Fig. 3b). En isla Tortuga, la biomasa promedio fue de 511,0 g/m² (Tabla 2), donde las especies más representativas fueron *Crossata ventricosa*, *Cancer porteri* Rathbun, *A. purpuratus* y *Arbacia spatuligera* (Valenciennes) (Fig. 4b).

Número de especies

El análisis de la comunidad macrobentónica registró 95 especies/taxa. El grupo Polychaeta fue el más representativo con 41 especies/taxa seguido por el grupo Arthropoda con 23 especies/taxa, Mollusca con 19 especies/taxa, Nemertea con 2 especies/taxa, Echinodermata con 2 especies/taxa y Otros con 9 especies/taxa. Las estaciones con mayor riqueza fueron encontradas en el sector de bahía Tortuga (E8, E7), frente a playa los Chimus (E1) y en las estaciones más oceánicas (E2 y E6) con más de 10 especies/taxa por estación (Tabla 2). Respecto a la megafauna, isla La Viuda registró 50 especies/taxa. El grupo Mollusca fue el más representativo, con 25 especies/taxa seguido por el grupo Arthropoda con 11 especies/taxa. Las estaciones con mayor riqueza fueron encontradas en el sector de la ensenada (B1 y B2) donde se encuentra la concesión de la Universidad Federico Villarreal. Por otro lado, la isla Tortuga registró 44 especies/taxa. Similar a la isla La Viuda, el grupo Mollusca fue el más representativo, con 21 especies/taxa seguido por el grupo Arthropoda con 8 especies/taxa (Tabla 2). Las mayores riquezas fueron encontradas en la zona norte de la isla.

was 51.75 ind./m², where the most representative species were *Cycloxanthops sexdecimdentatus* (Milne Edwards & Lucas), *Crossata ventricosa* (Broderip), *Branchiostoma elongatum* Sundevall, and *Argopecten purpuratus* (Lamarck) (Fig. 3a). In Tortuga Island, the mean density was 71.3 ind./m² (Table 2), the most representative species were *Prunum curtum* (Sowerby), *C. sexdecimdentatus*, *Pinnixa transversalis* (Milne Edwards & Lucas) and *B. elongatum* (Fig. 4a).

Biomass

Macrobenthic organisms presented mean total biomass of 54.114 g/m². The stations with the highest biomasses were E8, E5, and E1 which are located in the southern, central, and northern sectors of the bay, respectively (Table 2). The species with the highest biomass were *Prunum curtum* (10.91 g/m²), *Diopatra chilensis* (Quatrefages) (9.52 g/m²), and *Nassarius gayi* (Kiener) (5.24 g/m²) (Fig. 2b). The biomass of organisms on La Viuda Island was 497.75 ind./m² (Table 2), where the most representative species were *Cycloxanthops sexdecimdentatus*, *Crossata ventricosa*, *Branchiostoma elongatum*, and *Argopecten purpuratus* (Fig. 3b). In Tortuga Island, the mean biomass was 511.0 g/m² (Table 2), where the most representative species were *Crossata ventricosa*, *Cancer porteri* Rathbun, *A. purpuratus*, and *Arbacia spatuligera* (Valenciennes) (Fig. 4b).

Number of species

The analysis of the macrobenthic community recorded 95 species/taxa. The Polychaeta group was the most representative with 41 species/taxa followed by the Arthropoda group with 23 species/taxa, Mollusca with 19 species/taxa, Nemertea with 2 species/taxa, Echinodermata with 2 species/taxa, and Others with 9 species/taxa. The richest stations were found in the Tortuga Bay sector (E8, E7), off Los Chimus beach (E1), and in the most oceanic stations (E2 and E6) with more than 10 species/taxa per station (Table 2). Regarding the megafauna, 50 species/taxa were recorded on La Viuda Island. The Mollusca group was the most representative, with 25 species/taxa followed by the Arthropoda group with 11 species/taxa. The richest stations were found in the inlet sector (B1 and B2) where the concession of the Federico Villarreal University is located. On the other hand, 44 species/taxa were recorded on Tortuga Island. Similar to La Viuda Island, the Mollusca group was the most representative, with 21 species/taxa followed by the Arthropoda group with 8 species/taxa (Table 2). The greatest richness was found in the northern part of the island.

Tabla 2.- Número de especies/taxa y abundancia (Número de individuos y biomasa) de biota macrobentónica (draga), bahía Los Chimus, y biota megabentónica (buceo), islas La Viuda y Tortuga

Table 2. Number of species/taxa and abundance of macrobenthic biota, Los Chimus Bay, and megabenthic biota (diving), La Viuda and Tortuga Islands

Estación Station	Profundidad Depth (m)	Especies Species	Número Number (ind./m ²)	Biomasa Biomass (g/m ²)
Bahía Los Chimus/Los Chimus Bay				
E1	20,1	11	3387	58,375
E2	38	15	11600	41,608
E3	18	3	160	11,987
E4	38	7	987	3,522
E5	24	3	393	68,777
E6	40	15	2507	51,65
E7	29	13	4160	17,692
E8	6,5	16	11340	179,3
Isla La Viuda/La Viuda Island				
B1	11	7	78	816
B2	11,5	10	49	1237
B3	10	9	36	340
B4	11	9	44	598
Isla Tortuga/Tortuga Island				
B5	10	10	123	452
B6	11	13	55	661
B7	10	7	36	420

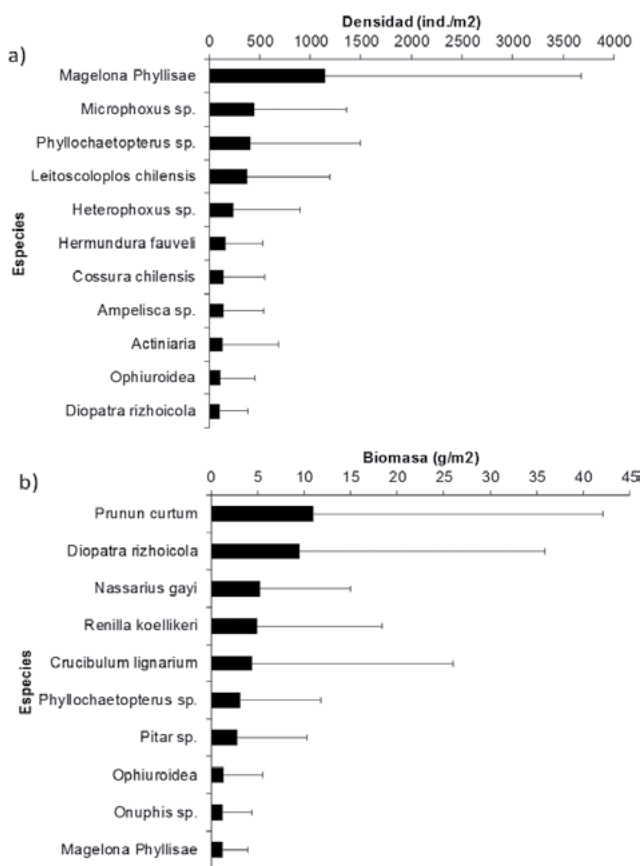


Figura 2.- Promedio y desviación estándar de especies dominantes: a) densidad (ind./m²), b) biomasa (g/m²) del macrobentos, bahía Los Chimus

Figure 2. Mean and standard deviation of dominant species: a) density (ind./m²), b) biomass (g/m²) of macrobenthos, Los Chimus Bay

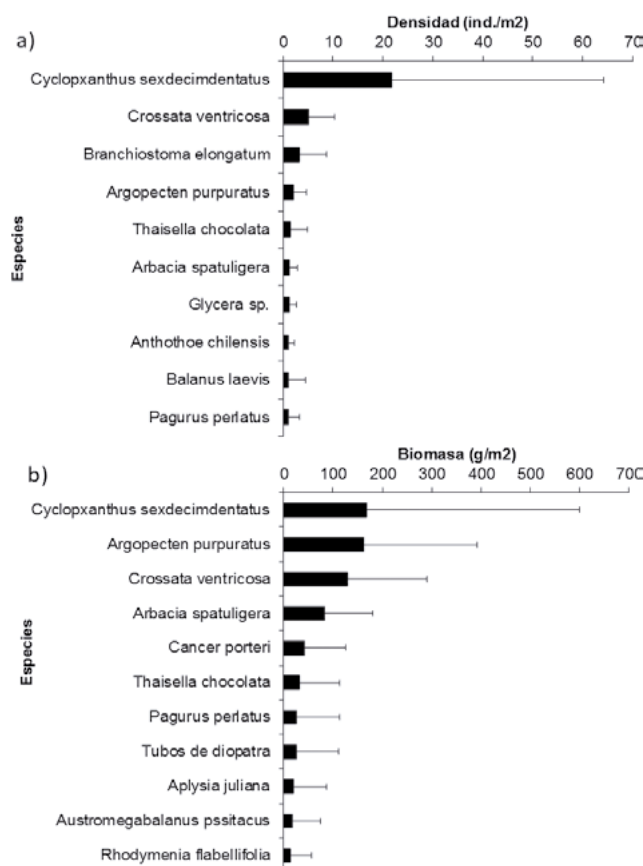


Figura 3.- Promedio y desviación estándar de especies dominantes: a) densidad (ind./m²), b) biomasa (g/m²) del megabentos, isla La Viuda

Figure 3. Mean and standard deviation of dominant species: a) density (ind./m²), b) biomass (g/m²) of megabenthos, La Viuda Island

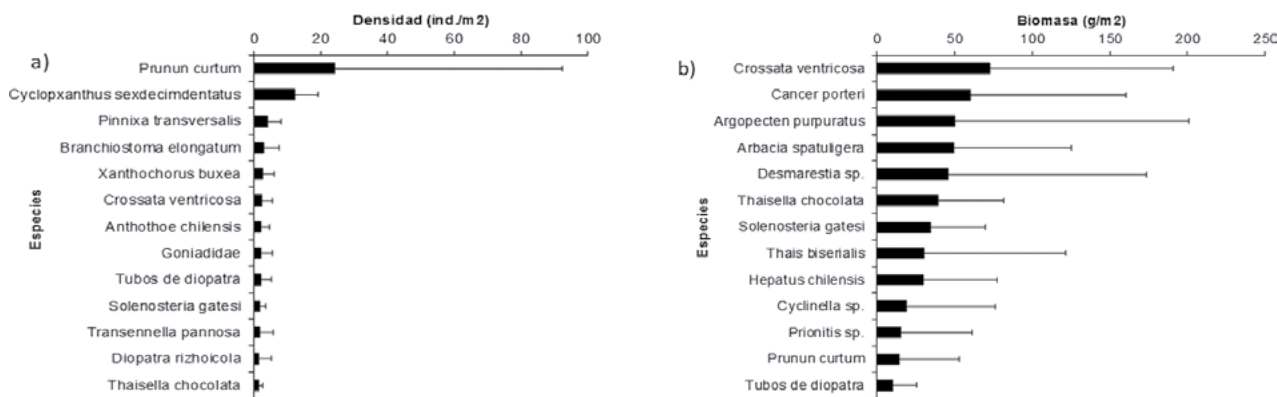


Figura 4.- Promedio y desviación estándar de especies dominantes: a) densidad (ind/m²), b) biomasa (g/m²) del megabentos, isla Tortuga

Figure 4. Mean and standard deviation of dominant species in a) density (ind/m²), b) biomass (g/m²) of megabenthos, Tortuga Island

Indicadores de biodiversidad

En la comunidad de organismos macrobentónicos la riqueza de Margalef (d) varió entre 1,17 (E5) y 2,78 (E8 y E2). Los valores de equidad mostraron que las estaciones E3 (0,94), E5 (0,87) y E8 (0,66) presentaron la mayor proporción de la diversidad observada con relación a la diversidad esperada. La diversidad de Shannon-Wiener (H') varió entre 2,55 y 1,49 con los mayores valores para las estaciones E3, E8 y E6. Las estaciones E7, E2 y E4 mostraron los valores más bajos de diversidad H' con 1,49, 1,52 y 1,58 bits, respectivamente. Los valores del índice de dominancia variaron entre 0,65 y 0,83. Según el estadístico Warwick (w) en aquellas estaciones donde se registraron presencia de organismos, las estaciones E2 y E7 presentaron valores negativos, por lo tanto según el indicador w estas estaciones presentaron mayor perturbación (Tabla 3).

En relación a la comunidad megabentónica, la riqueza de Margalef (d) varió entre 5,66 (B2) y 2,75 (B1) en isla La Viuda, y de 4,18 (B5) a 5,98 (B6) en isla Tortuga (Tabla 5). Los valores de equidad mostraron que las estaciones B6 (0,85) en isla Tortuga y B2 (0,85) y B3 (0,84) en isla La Viuda presentaron la mayor proporción de la diversidad observada con relación a la diversidad esperada. La diversidad de Shannon-Wiener (H') varió entre 2,74 y 1,24 con los mayores valores para las estaciones B6 en isla Tortuga y B2, B3 en isla La Viuda. Los valores más bajos de diversidad H' fueron registrados en las estaciones B1 (isla La Viuda) y B5 (isla Tortuga) (Tabla 3).

Estructura de la comunidad

Basados en el número de organismos, el análisis de escalamiento multidimensional (nMDS) de las comunidades de organismos macrobentónicos mostró dos grandes grupos E2, E7, E4 y E1, E5 al

Biodiversity indicators

The Margalef richness (d) varied between 1.17 (E5) and 2.78 (E8 and E2) in the macrobenthic community. The equity values showed that E3 (0.94), E5 (0.87), and E8 (0.66) stations presented the highest proportion of observed diversity in relation to expected diversity. The Shannon-Wiener (H') diversity ranged from 2.55 to 1.49 with the highest values for E3, E8, and E6 stations. The E7, E2, and E4 stations showed the lowest values of H' diversity with 1.49, 1.52, and 1.58 bits, respectively. Dominance index values ranged from 0.65 to 0.83. According to the Warwick statistic (w), in those stations where the presence of organisms was recorded, the E2 and E7 stations presented negative values, therefore, these stations presented greater disturbance (Table 3).

Regarding the megabenthic community, the Margalef richness (d) ranged from 5.66 (B2) to 2.75 (B1) on La Viuda Island, and from 4.18 (B5) to 5.98 (B6) on Tortuga Island (Table 5). The equity values showed that the B6 (0.85) station on Tortuga Island and B2 (0.85) and B3 (0.84) stations on La Viuda Island showed the highest proportion of observed diversity in relation to expected diversity. The Shannon-Wiener (H') diversity ranged from 2.74 to 1.24 with the highest values for B6 station on Tortuga Island and B2, B3 stations on La Viuda Island. The lowest H' diversity values were recorded at B1 (La Viuda Island) and B5 (Tortuga Island) stations (Table 3).

Community structure

Based on the number of organisms, the non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS) of the macrobenthic communities showed two large groups E2, E7, E4 and E1, E5 to

critorio del 30% de similaridad (Fig. 5a). Con respecto a la fauna megabentónica, el análisis nMDS mostró mayor disimilaridad en las estaciones ubicadas en la isla La Viuda. Esto podría deberse posiblemente a que las estaciones B1 y B2 se encuentran con acceso restringido (Fig. 5b).

the 30% similarity criterion (Fig. 5a). Regarding megabenthic fauna, the nMDS analysis showed greater dissimilarity at the stations located on La Viuda Island. This could possibly be due to the fact that B1 and B2 stations have restricted access (Fig. 5b).

Análisis audiovisual de los hábitats submareales insulares

Audiovisual analysis of insular subtidal habitats

En las islas La Viuda y Tortuga se prefirió trabajar en los lugares protegidos, debido a los acantilados (más de 30 m de profundidad) y el fuerte oleaje en los lugares expuestos.

In La Viuda and Tortuga Islands, work was carried out in the protected places, due to the cliffs (more than 30 m deep) and the heavy swell in the exposed places.

Tabla 3.- Principales indicadores de diversidad de la biota macrobentónica (draga) en la bahía Los Chimus, y la biota megabentónica (buceo) en islas La Viuda y Tortuga, 2016

Table 3. Main indicators of the diversity of macrobenthic biota (dredge) in Los Chimus Bay, and megabenthic biota (diving) in La Viuda and Tortuga Islands, 2016

Estación Station	Profundidad Depth (m)	Riqueza Richness d	Equidad Equity J'	Diversidad Diversity H'(log ₂)	Dominancia Dominance D	Estadístico Statical W
Bahía Los Chimus/Los Chimus Bay						
E1	20,1	2,707	0,5969	1,872	0,7676	0,143
E2	38	2,778	0,4633	1,527	0,654	-0,029
E3	18	2,759	0,9431	2,554	0,9119	0,69
E4	38	1,45	0,6613	1,586	0,7182	0,151
E5	24	1,172	0,8716	1,813	0,8093	0,296
E6	40	4,472	0,6003	2,151	0,8029	0,094
E7	29	2,64	0,4767	1,495	0,5855	-0,06
E8	6,5	2,785	0,6661	2,195	0,8366	0,116
Isla La Viuda/La Viuda Island						
B1	13,5	2,754	0,4861	1,247	0,4911	0,106
B2	15	5,663	0,8505	2,667	0,9104	0,136
B3	13,1	5,581	0,8444	2,571	0,9058	0,413
B4	13	5,285	0,78	2,375	0,8461	0,3
Isla Tortuga/Tortuga Island						
B5	9,5	4,366	0,5992	1,852	0,6594	0,026
B6	11,5	5,98	0,8522	2,743	0,9121	0,236
B7	11	4,186	0,7778	2,156	0,831	0,121

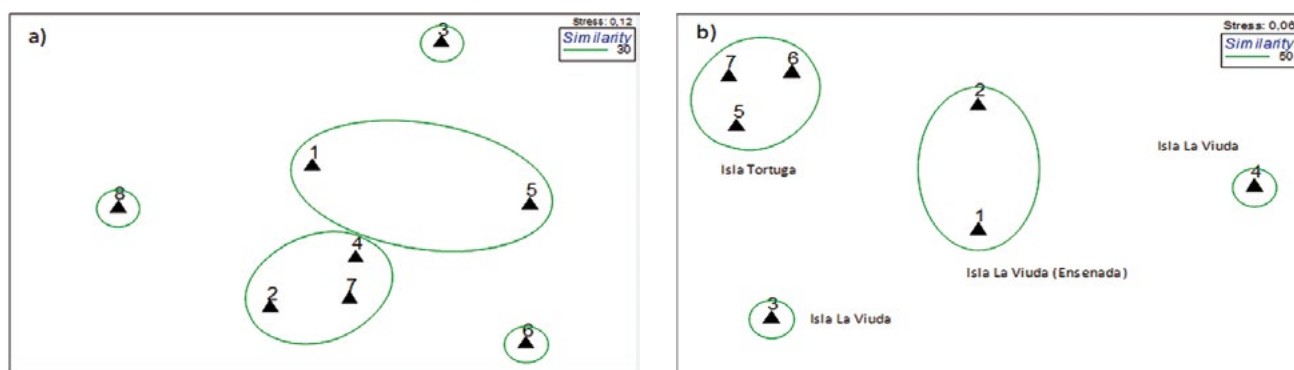


Figura 5.- Análisis de ordenación (nMDS) mostrando la similaridad espacial basados en la densidad de especies, a) entre las estaciones macrobentónicas, b) estaciones de organismos megabentónicos (índice de Bray Curtis). Cada muestra con tres réplicas

Figure 5. Non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS) showing spatial similarity based on species density, a) between macrobenthic stations, b) megabenthic organism stations (Bray Curtis index). Each sample had three replicates

ISLA LA VIUDA

Estación B1. Se encuentra dentro de la concesión de la Universidad Federico Villarreal. El paisaje es llano con ligera pendiente, el suelo cubierto con pequeñas piedras y sedimento orgánico. A lo largo del transecto se observó ejemplares de *Hippocampus ingens* Girard, *Aplysia juliana* Quoy & Gaimard, *Flabellina cynara* (Marcus & Marcus), *Argopecten purpuratus*, *Arbacia spatuligera* (Valenciennes). También se observó escasos y pequeños parches de algas rojas cubiertas de Hydrozoos y *Nassarius* spp. (Fig. 6a, b).

LA VIUDA ISLAND

B1 Station. The landscape is flat with a slight slope, the soil is covered with small stones and organic sediment. Specimens of *Hippocampus ingens* Girard, *Aplysia juliana* Quoy & Gaimard, *Flabellina cynara* (Marcus & Marcus), *Argopecten purpuratus*, *Arbacia spatuligera* (Valenciennes) were observed along the transect. Small patches of red algae covered with Hydrozoans and Hydrozoos y *Nassarius* spp. were also observed. (Fig. 6a, b). This station is within the concession of the Federico Villarreal University

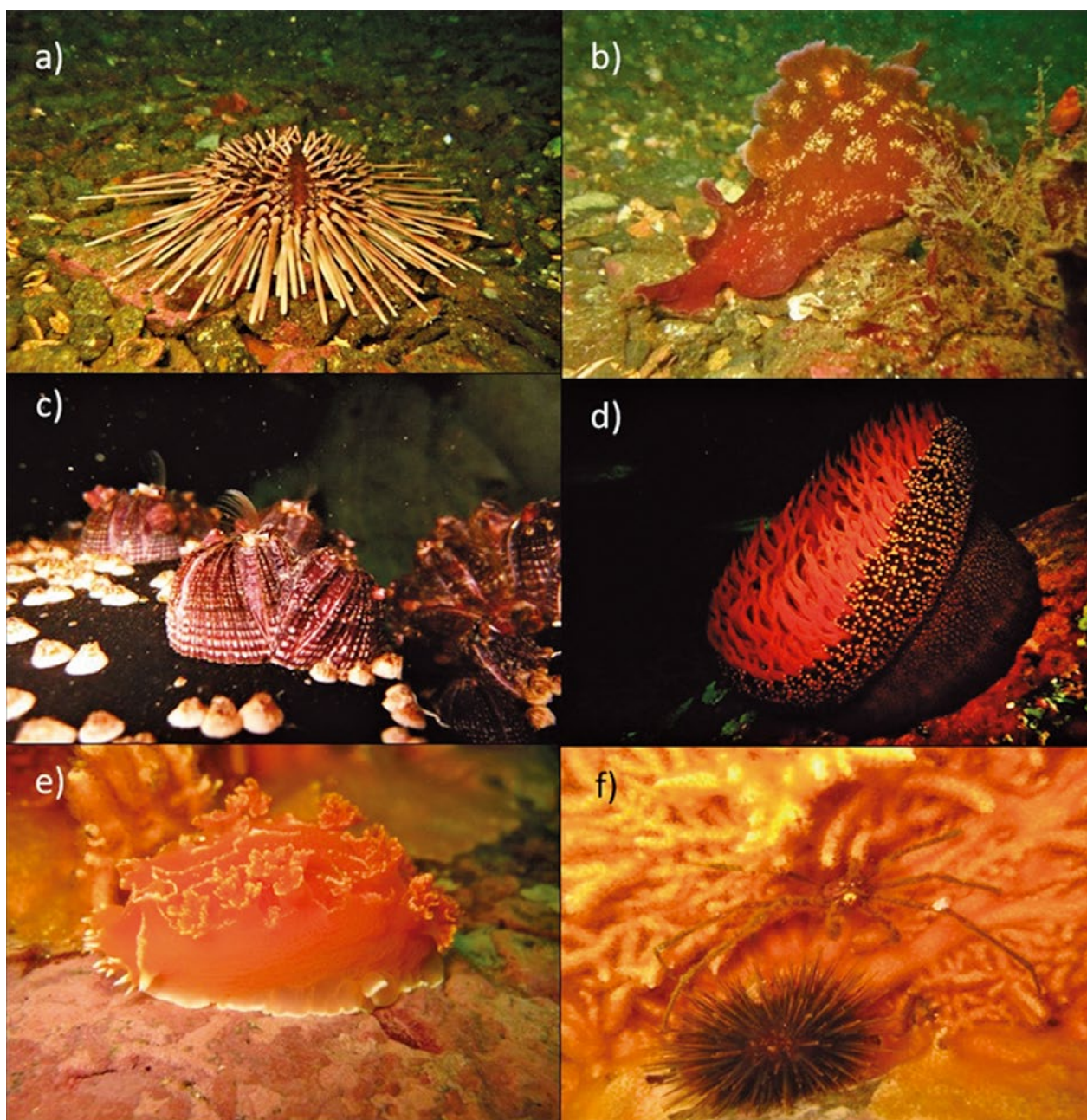


Figura 6.- Fauna representativa registrada en las estaciones de muestreo B1 (a, b) y B2 (c, d, e, f) en isla La Viuda

Figure 6. Representative fauna recorded at B1 (a, b) and B2 (c, d, e, f) sampling stations on La Viuda Island

Estación B2. También se encuentra dentro de la concesión de la Universidad Federico Villarreal, ubicada en la ensenada al lado norte de la isla. Hasta 11 metros se observó un despliegue de bloques grandes de piedras cubiertas la mayor parte por camas de anémona blanca *Anthothoe chilensis* (Lesson), donde habitan especies como *Austromegabalanus psittacus* (Molina), *Megabalanus* sp., *Tetrapygyus niger* (Molina) y grandes parches de *Rhodymenia* sp. Además, se observó grandes actinias como *Phymanthea pluvia* (Drayton in Dana), algunos gorgonidos dispersos como *Leptogorgia peruviiana* (Verrill) la cual alberga otras especies como el molusco *Tritonia* sp. y el crustáceo *Stenorhynchus debilis* (Smith). Hacia el suelo, el sustrato es similar a la estación 1, cubierto de piedras y con abundantes *Aplysia juliana*, *Arbacia spatuligera*, *Cycloxanthops sexdecimdentatus* y grandes gasterópodos depredadores como *Thaisella chocolata* (Duclos) y *Crossata ventricosa* (Broderip). Dentro de las principales peces se observó cardúmenes de grandes pintadillas (*Cheilodactylus variegatus* Valenciennes) y algunos blénidos (Fig. 6c-f).

Estación B3. Estación situada en el norte de la isla. El despliegue de los bloques de piedras llega hasta zonas más someras (7 – 9 m). El sustrato es distinto a las otras estaciones, el suelo está cubierto de pequeñas piedras tipo canto rodado, mezclado con conchuela partida y molida. Se observaron gasterópodos como *Crossata ventricosa* y tubos de *Diopatra chilensis*. El fondo estuvo intervenido por continuos bloques grandes de piedra con los erizos *Arbacia spatuligera*, algunos *Tetrapygyus niger* y abundantes juveniles de *Leptogorgia peruviiana*. Además, se observó la presencia de *Scurria* y algunas *Crepidula dilatata* Lamarck adheridas a las grandes piedras (Fig. 7a, b).

Estación B4. Estación localizada al sur de la isla. Similar a la estación 3, el despliegue de los bloques de piedras llega hasta zonas más someras. Se observaron ejemplares adultos de *Argopecten purpuratus* y especies de depredadores como los gasterópodos *Crossata ventricosa*, *Thaisella chocolata* y el pulpo *Octopus* sp. El paisaje con piedras más grandes es intervenido por continuos bloques de piedras cubiertos de juveniles del gorgónido *L. peruviiana*. Los peces más comunes en las estaciones 3 y 4 fueron pintadillas en pequeños grupos, blénidos asociados a los bloques de piedras y abundantes doncellas (Fig. 7c, d).

B2 Station. Here, a display of large blocks of stones covered mostly by beds of striped anemone *Anthothoe chilensis* (Lesson), inhabited by species such as *Austromegabalanus psittacus* (Molina), *Megabalanus* sp., *Tetrapygyus niger* (Molina), and large patches of *Rhodymenia* sp., were also observed up to 11 meters. Large actinia such as *Phymanthea pluvia* (Drayton in Dana), some dispersed gorgoniids such as *Leptogorgia peruviiana* (Verrill) which hosts other species such as the mollusk *Tritonia* sp., and the crustacean *Stenorhynchus debilis* (Smith) were also found. Towards the ground, the substrate is similar to station 1, covered with stones and with abundant *Aplysia juliana*, *Arbacia spatuligera*, *Cycloxanthops sexdecimdentatus*, and large predatory gastropods such as *Thaisella chocolata* (Duclos) and *Crossata ventricosa* (Broderip). Among the main fish were observed schools of large *Cheilodactylus variegatus* Valenciennes and some Bleniidae (Fig. 6c-f). This station is within the concession of the University Federico Villarreal, located in the islet on the north side of the island

B3 Station. The display of the stone blocks reaches shallower areas (7 - 9 m). The substratum is different from the other stations, the ground is covered with small pebbles mixed with broken and ground shells. Gastropods such as *Crossata ventricosa* and tubes of *Diopatra chilensis* were observed. The bottom was altered by continuous large blocks of stone where sea urchins *Arbacia spatuligera*, some *Tetrapygyus niger*, and abundant juvenile *Leptogorgia peruviiana* can be found. Moreover, the presence of genus *Scurria* and some *Crepidula dilatata* Lamarck attached to the large stones was observed (Fig. 7a, b). This station located on the north side of the island.

B4 Station. Similar to station 3, the display of stone blocks reaches shallower areas. Adult specimens of *Argopecten purpuratus* and species of predators such as the gastropods *Crossata ventricosa*, *Thaisella chocolate*, and *Octopus* sp., were observed. The bottom, with larger stones, is altered by continuous blocks of stones covered with juveniles of the gorgoniid *L. peruviiana*. Among the most common fish observed, in the stations 3 and 4, were morwongs, in small groups, Bleniidae associated with the blocks of stones, and abundant splittail bass (Fig. 7c, d). This station is located on the protected southern side of the island.

ISLA TORTUGA

Estación B5. El sustrato cubierto de arena fina mezclado con conchuela. Abundantes tubos de poliquetos *Diopatra chilensis* y *Chaetopterus* sp. El paisaje es llano intervenido por grandes bloques de piedra hasta aproximadamente 13 metros, ahí empieza un continuo fondo de arena y sedimento orgánico. Se observó abundante *L. peruviana* y continuos pequeños parches de algas rojas como *Rhodymenia* sp. y *Griffithsia pacifica* Kylin y algas pardas ramificadas. También se observó parches de piedras cubiertas por una esponja color anaranjado opaco. Algunos ejemplares del nudibranchio *Flabellina cynara* se encontraron errantes y sobre los parches de algas. Continuos restos de grandes cirripedios eran refugio de pequeños blénidos y frailes, y pequeños crustáceos como *C. sexdecimdentatus* e *Hypoconcha* sp. Se observó un ejemplar de tamborín (*Spherooides annulatus* (Jenyns)) (Fig. 7e, f).

TORTUGA ISLAND

B5 Station. The substrate is covered with fine sand mixed with broken shell. Abundant tubes of *Diopatra chilensis* and *Chaetopterus* sp., are found. The bottom is flat altered by big blocks of stone up to approximately 13 meters, from there, a continuous bottom of sand and organic sediment begins. Abundant *L. peruviana* and continuous small patches of red algae such as *Rhodymenia* sp. and *Griffithsia pacifica* Kylin and branched brown algae were observed. Stone patches covered by an opaque orange sponge were also observed. Specimens of the nudibranch *Flabellina cynara* were found errant and on algae patches. Continuous remains of large cirripedians were a refuge for small Bleniidae and monkfish, and small crustaceans such as *C. sexdecimdentatus* and *Hypoconcha* sp. A specimen of bullseye puffer (*Spherooides annulatus* (Jenyns)) was observed (Fig. 7e, f).

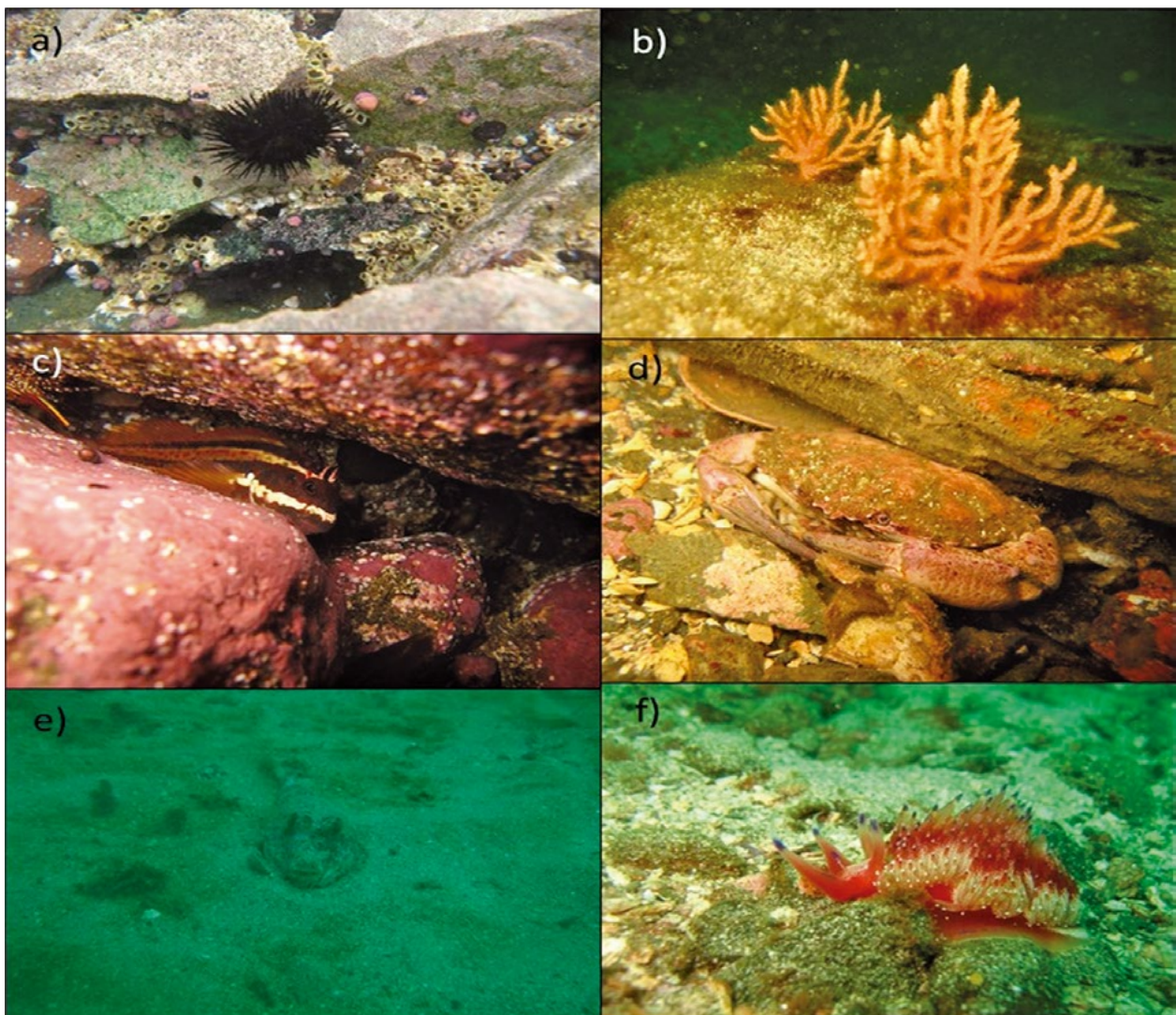


Figura 7.- Fauna representativa registrada en las estaciones de muestreo B3 (a, b), B4 (c, d) en isla La Viuda, B5 (e, f) en isla Tortuga

Figure 7. Representative fauna recorded at B3 (a, b), B4 (c, d) sampling stations on La Viuda Island; B5 (e, f) sampling station on Tortuga Island

Estación B6. El borde más somero es similar a los anteriores, continuos bloques de piedras hasta 8 metros, aproximadamente. En esta estación el sustrato se encuentra cubierto de tubos de grandes poliquetos y el sedimento es arenoso con conchuela molida. El paisaje es llano y con continuos bloques hasta los 15 metros, aproximadamente, cubiertos por abundantes gorgónidos y *Arbacia spatuligera*; además, se observaron ejemplares juveniles y adultos de *A. purpuratus*, el gasterópodo *C. ventricosa*, algunos crustáceos como *Cancer porteri* y *Hepatus chilensis*, un ejemplar grande de la estrella negra *Luidia magellanica* y de caballito de mar *H. ingens* (Fig. 8a, b).

B6 Station. The shallowest edge is similar to the previous stations, with continuous blocks of stones up to approximately 8 meters. The substrate is covered with tubes of large polychaetes and the sediment is sandy with ground shells. The bottom is flat and with continuous blocks up to 15 meters, approximately, covered by abundant gorgoniids and *Arbacia spatuligera*. Juvenile and adult specimens of *A. purpuratus*, *C. ventricosa*, *Cancer porteri*, and *Hepatus chilensis*, *Luidia magellanica* and *H. ingens* were observed (Fig. 8a, b).

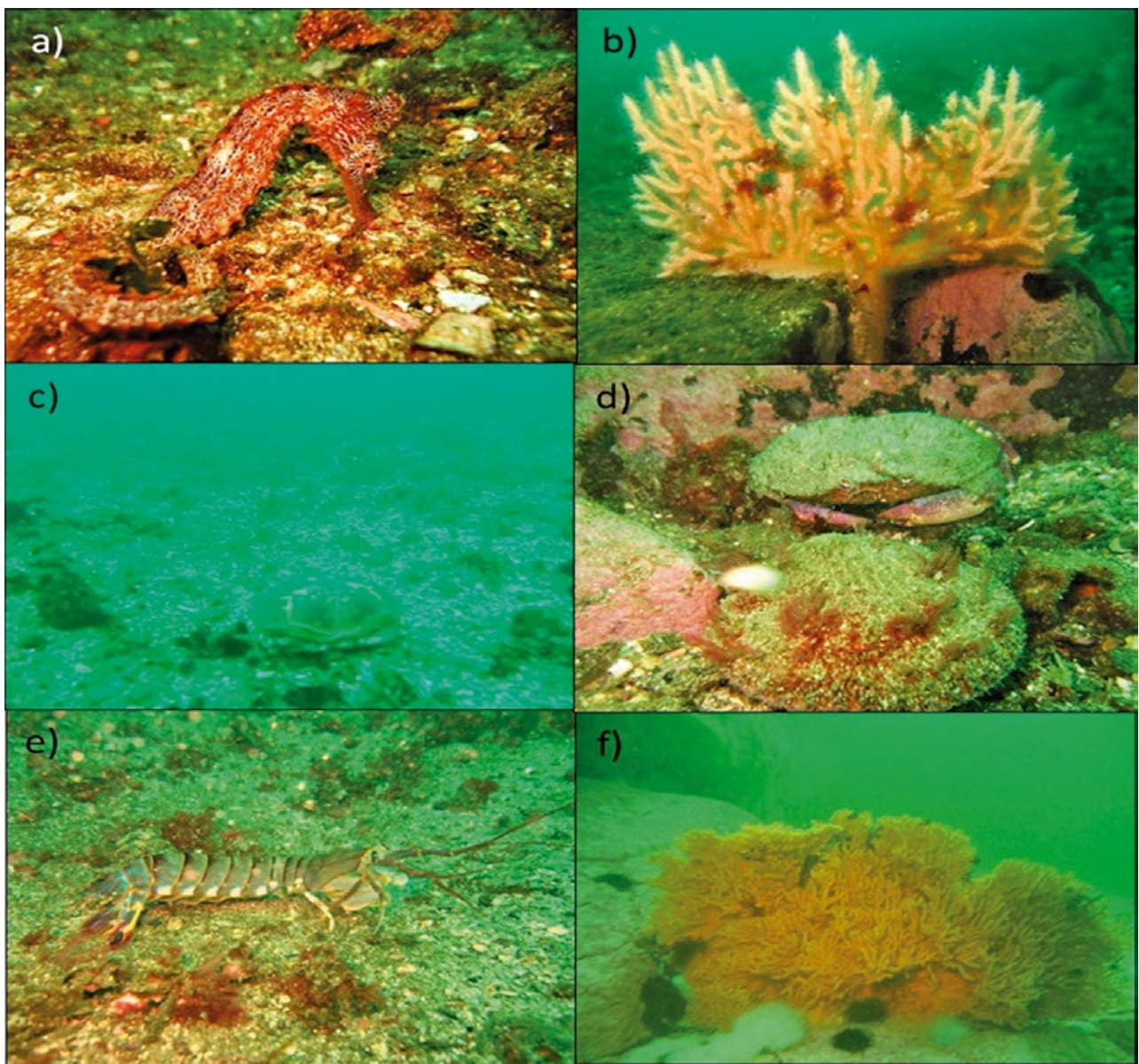


Figura 8.- Fauna representativa registrada en las estaciones de muestreo B6 (a, b), B7 (c, d., e, f) en isla Tortuga

Figure 8. Representative fauna recorded at B6 (a, b), B7 (c, d., e, f) sampling stations on Tortuga Island

Estación B7. Ubicada al extremo sur de la isla. El sustrato es similar a las estaciones 5 y 6; sin embargo, el paisaje presenta largas plataformas de roca cubiertas por erizos de mar (*A. spatuligera* y *T. niger*), gorgonias y algunos gasterópodos como *Crepidula dilatata* y otros patelogastrópodos. Se observaron abundantes ejemplares de *Cancer porteri* y *Hepatus chilensis*, y adultos de *A. purpuratus*. Esta parte de la isla presentó abundantes nidos del camarón brujo *Pseudosquilla lessoni* (Güerin) y discretos parches de algas rojas (Fig. 8c-f).

Estación B8. Se recorrió gran parte de la isla dónde ubicar la estación; sin embargo, el fuerte oleaje y grandes acantilados no permitieron encontrar un sitio adecuado ya que la mayoría sobrepasaban los 30 metros de profundidad en puntos muy cerca al borde de la isla. A pesar de esto, se realizó un buceo exploratorio en el sector norte de la isla. El paisaje mostró grandes acantilados de bloques de piedras con altas concentraciones de *Austromegabalanus psittacus* y *Megabalanus* sp., pequeños grupos de blénidos sobre las grietas e intersticios y grandes cardúmenes de chita *Anisotremus scapularis* (Tschudi). No se consideró esta estación en los análisis.

4. DISCUSIÓN

Los mayores valores de densidad y biomasa de organismos bentónicos en bahía Los Chimus se registraron fuera de las áreas de cultivo suspendido de *A. purpuratus*. Esto indica que las actividades humanas podrían ser factor determinante en el declive de los parámetros comunitarios dentro de esta zona. Estudios realizados por RIASCOS *et al.* (2016) demuestran que la variabilidad temporal de la estructura de las comunidades bentónicas en una zona altamente productiva está asociada a las actividades de origen humano. Además, MILOSLAVICH *et al.* (2011) refieren que los mayores riesgos a la biodiversidad en la Corriente del Humboldt son contaminación y sobre explotación de recursos, ambas actividades de origen humano.

Contrariamente, el análisis MDS no muestra un claro patrón de asociación referido a la densidad de organismos del macrobentos, al observarse alta disimilitud entre las estaciones E3, E4 y E5, formando distintos grupos al 30% de similitud. Además, una de las estaciones con mayor diversidad (H') y equidad (J') fue E3, ubicada en el borde de la zona de concesión. A pesar que actividades de origen humano pueden ocasionar un impacto negativo sobre la biodiversidad marina a escala local, MILOSLAVICH *et al.* (2011) también mencionan que la amplia distribución de algunas especies y su estructura espacial pueden proteger la diversidad a mayor escala donde los riesgos pueden

B7 Station. The substrate is similar to stations 5 and 6; the bottom presents long rock platforms covered by sea urchins (*A. spatuligera* and *T. niger*), gorgoniids, and gastropods such as *Crepidula dilatata* and other patellogastropods. There were abundant specimens of *Cancer porteri* and *Hepatus chilensis*, and adult specimens of *A. purpuratus*. Abundant nests of *Pseudosquilla lessoni* (Güerin) and discrete patches of red algae (Fig. 8c-f) were found here. This station is located at the southern end of the island

B8 Station. An exploratory dive was carried out in the northern sector of the island. The bottom showed large cliffs of stone blocks with high concentrations of *Austromegabalanus psittacus* and *Megabalanus* sp., small groups of Bleniidae on cracks and interstices and large schools of Peruvian grunt *Anisotremus scapularis* (Tschudi). This station was not considered in the analyses.

4. DISCUSSION

The highest density and biomass values of benthic organisms in Los Chimus Bay were not recorded in the *A. purpuratus* culture areas. This indicates that anthropogenic activities could be a determining factor in the decline of community parameters. Studies carried out by RIASCOS *et al.* (2016) show that the temporal variability of the structure of benthic communities in a highly productive zone is associated with activities of human origin. In addition, MILOSLAVICH *et al.* (2011) report that the greatest risks to biodiversity in the Humboldt Current are pollution and overexploitation of resources, both anthropogenic activities.

However, the MDS analysis does not show a clear pattern of association referring to the density of organisms of the macrobenthos where high dissimilarity is observed between the E3, E4, and E5 stations, forming different groups at 30% similarity. In addition, station E3, located on the edge of the concession zone, presented greater diversity (H') and equity (J'). Although anthropogenic activities can have a negative impact on marine biodiversity on a local scale, MILOSLAVICH *et al.* (2011) also mention that the wide distribution of some species and their spatial structure can protect diversity on a larger scale where risks can cause local but not global extinction. In this regard, it is important to consider the temporal dynamics of biodiversity within Los Chimus Bay and insular zones since they

causar extinción local, pero no global. En este sentido, es importante tomar en cuenta la dinámica temporal de la biodiversidad dentro de bahía Los Chimus y zonas insulares, debido a que está ubicada en una zona de transición donde convergen poblaciones de especies tanto de aguas cálidas como frías.

El amplio rango de distribución y la adaptación de *A. purpuratus*, una especie con origen tropical, en la Corriente del Humboldt (URIBE *et al.*, 2012) ha conllevado a que muchos empresarios realicen cultivos masivos sin tomar en cuenta el impacto que pueda generar al ecosistema marino (KLUGER *et al.*, 2019). El cultivo de *A. purpuratus* implica el transporte de grandes cantidades de juveniles desde el norte de Perú (zona tropical) hacia el sur, sin tomar en cuenta que también se transportan propágulos, larvas y/o esporas de especies no autóctonas las cuales pueden ocasionar un riesgo ecológico y alterar los ecosistemas marinos. Este es el caso de la macroalga verde *Caulerpa filiformis*, considerada como invasora (GLASBY *et al.*, 2015) la cual ha homogenizado todo el sistema bentónico en bahía Samanco y un pequeño parche en Tortuga, dentro de bahía Los Chimus.

Diversos estudios han demostrado el impacto negativo que generan las fluctuaciones de los factores oceanográficos sobre la distribución de muchas poblaciones de especies marinas. Sin embargo, a escala local y costera, las actividades humanas en zonas altamente productivas a lo largo de la Corriente del Humboldt han sido identificadas como los principales conductores en la variabilidad de las comunidades bentónicas (RIASCOS *et al.*, 2016; Pérez-Matus *et al.*, 2017). Comparado a otras variables como la intensidad de surgencia, la intensidad de pesca y las actividades acuícolas podrían generar un riesgo en zonas vulnerables como las bahías e islas ubicadas en la costa de Perú. En este sentido, los estudios de la biodiversidad marina deberían ser considerados como parte de los planes de manejo de zonas costeras.

A lo largo de la costa peruana una actividad pesquera intensiva es llevada a cabo sobre diferentes especies de peces, invertebrados y macroalgas, muchas de las cuales presentan algún tipo de regulación protegidas por prohibición de extracción en diferentes temporadas (AYALA *et al.*, 2018). La región Áncash, donde se encuentra la bahía Los Chimus, es una de las zonas más productivas del país en términos de desembarque y captura de peces e invertebrados (ESTRELLA *et al.*, 2010). A pesar de ello, la falta de rigurosidad en la aplicación de los planes de manejo que regulan los recursos o la falta de coordinación entre las agencias del estado y gobiernos locales, hace difícil resolver o disminuir el efecto de los impactos generados por las actividades humanas en el borde costero al ecosistema.

are located in a transition zone where populations of both warm- and cold-water species converge.

The wide range of distribution and adaptation of *A. purpuratus*, a tropical species, in the Humboldt Current (URIBE *et al.*, 2012) has led many businessmen to grow massive cultures without any consideration of the impact on the marine ecosystem (KLUGER *et al.*, 2019). The culture of *A. purpuratus* implies the transport of juveniles from northern Peru (tropical zone) to the south, without considering that propagules, larvae, and/or spores of non-native species are also transported, which can cause an ecological risk and alter marine ecosystems. Such is the case of the green macroalga *Caulerpa filiformis*, classified as invasive (GLASBY *et al.*, 2015) which has homogenized the entire benthic system in Samanco Bay and a small patch in Tortuga, within Los Chimus Bay.

The negative impact of fluctuations in oceanographic factors on the distribution of many populations of marine species are detailed in several studies. Nonetheless, at local and coastal scales, anthropogenic activities in highly productive areas along the Humboldt Current have been identified as the main drivers of benthic community variability (RIASCOS *et al.*, 2016; Pérez-Matus *et al.*, 2017). When compared to other variables such as the upwelling intensity, fishing intensity, and aquaculture activities, it could generate risk in vulnerable areas such as bays and islands located on the Peruvian coast. In this respect, marine biodiversity studies should be considered as part of coastal zone management plans.

Intensive fishing activity is carried out on different species of fish, invertebrates, and macroalgae, many of which have some type of regulation protected by the prohibition of extraction in different seasons along the Peruvian coast (AYALA *et al.*, 2018). The Áncash Region, where Los Chimus Bay is located, is one of the most productive areas in the country in terms of landing and catching of fish and invertebrates (ESTRELLA *et al.*, 2010). Notwithstanding, the lack of rigor in the application of the management plans that regulate the resources or the lack of coordination between state agencies and local governments, makes it difficult to resolve or diminish the effect of the impacts generated by anthropogenic activities on the coastal edge of the ecosystem.

Esto se debe a un vacío de información sobre la dinámica del bentos, el grado de conectividad y dependencia entre comunidades de fuentes locales y sumideros (metacomunidades) que habitan cerca o a lo largo de la costa. Estudios previos realizados en la costa norte de Chile mencionan la creación de áreas de manejo como una medida de regulación a posibles impactos de actividades humanas tipo explotación de recursos (GONZÁLEZ *et al.*, 2006; GELCICH *et al.*, 2008). Por otro lado, ORTIZ & LEVINS (2011) respaldan el hecho de que las áreas de manejo no pueden considerarse automáticamente sinónimo de conservación. Más bien, son un buen ejemplo de maricultura -un incremento hecho por el hombre de la abundancia de una especie objetivo- comparable, en parte, a la agricultura intensiva tradicional, que está lejos de ser considerada como conservacionista (LEVINS & VANDERMEER, 1990).

A pesar de la intensa y creciente actividad del cultivo de *A. purpuratus* en bahía Los Chimus, recientes expediciones de buceo realizadas a la zona insular de La Viuda y Tortuga (datos no publicados), muestran que el paisaje submarino no parece afectado, aún. Sin embargo, es necesario y urgente seguir realizando monitoreos y evaluaciones en esta zona con un enfoque apoyado en biodiversidad. Finalmente, el enfoque desarrollado en la presente contribución basado en el estudio de la biodiversidad y estructura de las comunidades bentónicas debe ser considerado como una estrategia general para examinar las consecuencias de los cambios naturales y, especialmente, la intervención humana en los ecosistemas locales y regionales. Este enfoque nos sirve como una potente herramienta para predecir, analizar y orientar las intervenciones en el borde costero de bahía Los Chimus y otras localidades en el Perú.

Agradecimientos

Especial agradecimiento al técnico César Tinoco Robles por su apoyo en el trabajo de campo y análisis de laboratorio.

This is a result of a lack of information on the dynamics of the benthos, the degree of connectivity and dependence between communities of local sources and sinks (metacommunities) living near or along the coast. Previous studies conducted on the northern coast of Chile mention the creation of management areas as a regulatory measure for possible impacts of anthropogenic activities such as resource exploitation (GONZÁLEZ *et al.*, 2006; GELCICH *et al.*, 2008). On the other hand, ORTIZ & LEVINS (2011) support the fact that management areas cannot automatically be considered synonymous with conservation. Rather, they are a good example of mariculture - a man-made increase in the abundance of a target species - comparable, in part, to traditional intensive agriculture, which is far from being considered conservationist (LEVINS & VANDERMEER, 1990).

Recent diving expeditions to the insular zone of La Viuda and Tortuga (unpublished data) show that the underwater landscape does not seem affected yet, despite the intense and growing activity of *A. purpuratus* culture in Los Chimus Bay. Nonetheless, there is an urgent need to continue monitoring and evaluation in this area with a biodiversity-based approach. Finally, the approach developed in this paper, based on the study of the biodiversity and structure of benthic communities, should be considered as a general strategy to examine the consequences of natural changes and, especially, anthropogenic intervention in local and regional ecosystems. This approach serves as a powerful tool for predicting, analyzing, and orienting interventions in the coastal edge of Los Chimus Bay and other localities in Peru.

Acknowledgments

Special thanks to the technician César Tinoco Robles for his support in fieldwork and laboratory analysis.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ÁLAMO V, VALDIVIESO V. 1997. Lista Sistemática de Moluscos Marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú. Boletín Volumen Extraordinario. 205 pp.
- AL-YAMANI F, SKRYABIN V, BOLTACHOVA N, REVKOV N, MAKAROV M, GRINTSOV V, KOLESNIKOVA E. 2012. Illustrated atlas on the Zoobenthos of Kuwait. First Edition Kuwait Institute for Scientific Research. 401 pp.
- AYALA L, ORTIZ M, GELCICH S. 2018. Exploring the role of fisher's knowledge in assessing marine megafauna bycatch: insights from the Peruvian long line artisanal fishery. *Animal Conservation*. 251 - 261.
- BARNARD J. 1954. Amphipoda of the family Ampeliscidae collected in the Eastern Pacific Ocean by the VELERO III and VELERO IV. *Allan Hancock Pacific Expeditions*. 18(10): 1 - 137.
- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved in seawater. *Journal of Marine Research*. 24: 286 - 318.
- CHIRICHIGNO N. 1970. Lista de crustáceos del Perú (Decapoda y Stomatopoda). *Inf. Inst. Mar Perú*. 35: 1 - 237.
- CLARK K R, GORLEY R N. 2006. PRIMER v6. User Manual/ Tutorial. Plymouth, UK.

- ESCRIBANO R, DANERI G, FARIAS L, GALLARDO VA, GONZÁLEZ H E, GUTIÉRREZ D, LANGE C B, MORALES C E, PIZARRO O, ULLOA O, BRAUN M. 2004. Biological and chemical consequences of the 1997–1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 51(20-21): 2389 - 2411.
- ESTRELLA C, FERNÁNDEZ J, CASTILLO G. 2010. Informe general de la segunda encuesta estructural de la pesquería artesanal peruana 2003-2005. Regiones Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua, Tacna. *Inf Inst Mar Perú*. 37(1-2).
- FAUCHALD K. 1977. The Polychaete worms. Definitions and keys to the order, families and genera. University of Southern California. *Science*. Series 28: 1 - 188.
- FRIEDLANDER A M, BALLESTEROS E, CASELLE J E, GAYMER C F, PALMA A T, PETIT I, VARAS E, MUÑOZ A, SALA E. 2016. Marine biodiversity in Juan Fernández and Desventuradas Islands, Chile: global endemism hotspots. *PloS one*. 11(1): e0145059.
- GARCÍA V. 2016. Evaluación del estado y presión ambiental en el litoral costero de Los Chimus a Casma. Región Áncash. Informe Interno. Instituto del Mar del Perú.
- GELCICH S, GODOY N, PRADO L, CASTILLA J C. 2008. Add-on conservation benefits of marine territorial user rights fishery policies in central Chile. *Ecological Applications*. 18(1): 273 - 281.
- GONZÁLEZ J, STOTZ W, GARRIDO J, ORENSANZ J M, PARMA A M, TAPIA C, ZULETA A. 2006. The Chilean TURF system: how is it performing in the case of the loco fishery? *Bulletin of marine science*. 78(3): 499 - 527.
- LASBY T, GIBSON P, WEST G, DAVIES P, VOERMAN S. 2015. Range and habitat associations of the native macroalga *Caulerpa filiformis* in New South Wales, Australia. *Marine and Freshwater Research*. 66(11): 1018 - 1026.
- HALFFTER G, MORENO C E, PINEDA E O. 2001. Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. M&T—Manuales y Tesis SEA, vol. 2. Zaragoza, 80 pp.
- HOBSON K, BANSE K. 1981. Sedentariate and archiannelid Polychaetes of British Columbia and Washington. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Science* 209: 1 - 144.
- KLUGER L, TAYLOR M, WOLFF M, STOTZ W, MENDO J. 2019. From an open-access fishery to a regulated aquaculture business: the case of the most important Latin American bay scallop (*Argopecten purpuratus*). *Reviews in Aquaculture*. 11: 187 - 203.
- LEVINS R, VANDERMEER J. 1990. The agroecosystem embedded in a complex ecological community. In: Carroll, R. *et al.* (eds), *Agroecology*. R. Carroll, J. Vandermeer y P. Rosset, Eds.). New York, Wiley, pp. 341 - 362.
- MILOSLAVICH P, KLEINE E, DÍAZ, J M, HERNÁNDEZ C E, BIGATTI G, CAMPOS L, ARTIGAS F, CASTILLO J, PENCHASZADEH P E, NEILL P E, CARRANZA A. 2011. Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: Knowledge and gaps. *PLOS ONE* 6(1): E14631.
- MYERS N, MITTERMEIER R, MITTERMEIER C, DA FONSECA G, KENT J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403: 853 - 858.
- ORTIZ M, LEVINS R. 2011. Re-stocking practices and illegal fishing in northern Chile (SE Pacific coast): a study case. *Oikos*. 120: 1402 - 1412.
- PACHECO A S, RIASCOS J M, ORELLANA F, OLIVA M E. 2012. El Niño-Southern Oscillation cyclical modulation of macrobenthic community structure in the Humboldt Current ecosystem. *Oikos*. 121(12): 2097 - 2109.
- PAREDES C, CARDOSO F. 2007. La familia Calyptraeidae en el Perú (Gastropoda: Caenogastropoda). *Revista Peruana de Biología*. 13: 177 - 184.
- PAREDES C, CARDOSO F, BALTAZAR P, ALTAMIRANO K, CARBAJAL P. 2011. Adiciones a los gastropoda del mar peruano. *Revista Peruana de Biología*. 18(1): 13 - 18.
- PÉREZ-MATUS A, CARRASCO S A, GELCICH S, FERNANDEZ M, WIETERS E A. 2017. Exploring the effects of fishing pressure and upwelling intensity over subtidal kelp forest communities in Central Chile. *Ecosphere*. 8(5), e01808.
- RIASCOS J M, URIBE R A, DONAYRE S, FLORES D, GALINDO O, QUISPE C, GONZÁLEZ J. 2016. Human footprints on benthic communities in marine reserves: a study case in the most productive upwelling system worldwide. *Marine Ecology Progress. Series*. 557: 65 - 75.
- ROZBACZYLO N. 1980. Clave para el reconocimiento de familias de anélidos poliquetos del mar chileno. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. 15: 167 - 196.
- TARAZONA J, SALZWEDEL H, ARNTZ W. 1988. Oscillations of macrobenthos in shallow waters of the Peruvian central coast induced by El Niño 1982-83. *Journal of Marine Research*. 46(3): 593 - 611.
- THIEL M, MACAYA E C, ACUNA E, ARNTZ W E, BASTIAS H, BROKORDT K, *et al.* 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and marine biology: an annual review*. 45: 195 - 344.
- URIBE R, RUBIO J, CARBAJAL P, BERRU P. 2014. Invertebrados marinos bentónicos del litoral de la Región Áncash, Perú. *Bol Inst Mar Perú*. 28 (1-2): 136 - 293.
- URIBE R, OLIVA M, AGUILAR S, YAMASHIRO C, RIASCOS J. 2012. Latitudinal variation in the reproductive cycle of two bivalves with contrasting biogeographical origin along the Humboldt Current Upwelling Ecosystem. *Scientia Marina*. 76(4): 713 - 720.
- WARWICK R M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*. 92: 557 - 562.