



Dinámica de la estructura y composición de macroinvertebrados y su relación con las variables ambientales en la bahía de Buenaventura

Structural and compositional dynamics of macroinvertebrates and their relation to environmental variables in Buenaventura Bay

Diego Esteban Gamboa-García¹, Guillermo Duque² y Pilar Cogua³.

0000-0002-2468-529X

0000-0002-7597-012X

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Grupo de Investigación ECONACUA, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. degamboag@unal.edu.co.

² Profesor titular, Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Grupo de Investigación ECONACUA, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. gduquen@unal.edu.co.

³ Docente-Investigador Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Santiago de Cali. Grupo de Investigación ECONACUA, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. rosa.cogua00@usc.edu.co.

RESUMEN

La bahía de Buenaventura se caracteriza por una gran dinámica espacio-temporal de las variables ambientales. Existe información descriptiva sobre la distribución de macroinvertebrados en la bahía y su hábitat, sin embargo es necesario documentar sobre su dinámica en relación a las variables ambientales. El objetivo del presente trabajo fue determinar la variación espaciotemporal en la estructura y composición de macroinvertebrados y relacionarla con las variables ambientales. Se realizaron cuatro muestreos (abril-junio-septiembre-noviembre) a lo largo del año 2015, en cuatro estaciones (Estuario Río-Estuario Interno-Estuario Externo-Estuario Marino). En cada estación se colectaron tres muestras de sedimento, variables fisicoquímicas del agua y macroinvertebrados. Se encontraron en total 532 individuos distribuidos en 17 especies y 9 familias. La abundancia varió desde 0.7 ± 1.2 a 29.7 ± 7.4 individuos por arrastre y la riqueza varió de 0.3 ± 1.2 a 4.7 ± 1.2 especies por arrastre. El análisis de regresión múltiple sugiere una influencia de las variables salinidad y porcentaje de arcillas sobre la estructura y composición de macroinvertebrados en la bahía. La abundancia y riqueza de macroinvertebrados fue mayor cuando en el estuario predominaron las condiciones de mayor salinidad.

PALABRAS CLAVE: Biodiversidad, Invertebrados Epibentónicos, Estuario Tropical, Sedimentos.

ABSTRACT

Buenaventura bay is characterized by a great dynamic of environmental variables. There is descriptive information concerning the distribution of macroinvertebrates in the bay and its habitat, however it is necessary to document on its dynamics in relation to environmental variables. The objective of the present work was to determine the spatio-temporal variation in the structure and composition of macroinvertebrates and their relationship with the environmental variables. Four sampling (April-June-September-November) were carried out throughout 2015, in four stations (Estuary River-Internal Estuary-External Estuary-Marine Estuary). At each station three samples of sediments, physicochemical variables of the water and macroinvertebrates were collected. A total of 532 individuals were found in 17 species and 9 families. The abundance varied from 0.7 ± 1.2 to 29.7 ± 7.4 individuals per trawl and the richness varied from 0.3 ± 1.2 to 4.7 ± 1.2 species per trawl. The multiple regression analysis suggests an influence of the variables salinity and percentage of clays on the structure and composition of macroinvertebrates in the bay. The abundance and richness of macroinvertebrates was higher when the salinity conditions prevailed in the estuary.

KEYWORDS: Biodiversity, Epibenthonic Invertebrates, Tropical Estuary, Sediments.

INTRODUCCIÓN

Los estuarios son ecosistemas costeros que ofrecen servicios de gran importancia para el desarrollo socioeconómico global. Los servicios van generalmente desde el turismo y recreación, hasta la protección de la costa, el control de la erosión, el reciclaje de nutrientes, la purificación del agua, la captura de carbono y la producción de comida y materia prima (Dauvin, 2007). Sin embargo, la zona costera es el grupo de ecosistemas marinos que presenta mayor cantidad de impactos por actividades humanas (Halpern *et al.*, 2008).

Los efectos de las actividades humanas sobre los ecosistemas estuarinos se han venido evaluando según la diversidad del macrobentos, debido a que estas comunidades son sensibles a las presiones antropogénicas o estresores naturales (Dauvin, 2007). En adición, los macroinvertebrados bentónicos no sólo son importantes para evaluar la calidad de los estuarios y hacer planes de manejo y conservación, sino que a nivel mundial, la pesca de 3.4 millones de toneladas de langostinos y camarones, representa 10 billones de dólares, y cerca del 16% de las exportaciones mundiales de pesquería (FAO, 2009).

Las presiones sobre las comunidades de macrobentos a causa de las redes de arrastre camarónicas se pueden resumir en: alteración de la estructura física, suspensión del sedimento, cambios químicos y cambios en la comunidad bentónica por la captura incidental (Dauvin, 2007; FAO, 2009). Además, la cercanía a la costa hace del fondo estuarino uno de los principales receptores de contaminación antropogénica (Bayen, 2012). No obstante, las diferentes adaptaciones del macrobentos de los estuarios hace compleja la determinación de cuándo un cambio en la comunidad se debe a un estresor antrópico o cuándo se debe a la variabilidad ambiental del ecosistema (FAO, 2009; Lambert *et al.*, 2011), debido a que la distribución y abundancia de los organismos bentónicos está influenciada por variables ambientales como la salinidad, pH, profundidad, temperatura, textura del sedimento y materia orgánica, entre otras (Carvalho y Santos, 2013; Furlan *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2014).

En el estuario de la bahía de Buenaventura la pesca artesanal ocupa un rol socioeconómico importante (Carvajal *et al.*, 2011). Este ecosistema estuarino es alimentado por las desembocaduras de los ríos Dagua y Anchicayá, que aportan gran cantidad de sedimento que se acumula con el tiempo, en su mayoría rico en materia orgánica (Lucero-Rincón *et al.*, 2008). El tipo de fondo que predomina en la bahía son los fondos blandos (Neira y Cantera, 2005).

INTRODUCTION

Estuaries are coastal ecosystems that provide important services for global socioeconomic development. Services generally range from tourism and recreation to coastal protection, erosion control, nutrient recycling, water purification, carbon sequestration, and food and raw material production (Dauvin, 2007). However, coastal zones are one of the most highly impacted marine ecosystems due to human activities (Halpern *et al.*, 2008).

The effects of human activities on estuarine ecosystems have been evaluated according to the diversity of macrobenthos because these communities are sensitive to anthropogenic pressures or natural stressors (Dauvin, 2007). In addition, the benthic macroinvertebrates are not only important for evaluating the quality of estuaries and for management and conservation planning, but worldwide, fishing of 3.4 million tons of shrimp and prawns represents 10 billion dollars and approximately 16% of global fish exports (FAO, 2009).

The pressures on macrobenthic communities from shrimp trawling can be summarized as follows: changes in the physical structure, sediment suspension, chemical composition, and changes in the benthic community due to bycatch (Dauvin, 2007; FAO, 2009). In addition, the proximity to the coast makes the estuarine bottom one of the main recipients of anthropogenic contamination (Bayen, 2012). However, different adaptations that macrobenthos undergo in estuaries make it difficult to determine when a change in the community is due to an anthropogenic stressor or when it is due to the environmental variability of the ecosystem (FAO, 2009; Lambert *et al.*, 2011) because the distribution and abundance of benthic organisms is influenced by environmental variables such as salinity, pH, depth, temperature, and the texture of the sediment and organic matter (Carvalho and Santos, 2013; Furlan *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2014).

In the estuary of Buenaventura Bay, artisanal fishing plays an important socioeconomic role (Carvajal *et al.*, 2011). This estuarine ecosystem is fed by the Dagua and Anchicayá rivers, which contribute a large amount of sediment that accumulates over time and is mostly rich in organic matter (Lucero-Rincón *et al.*, 2008). Soft bottoms predominate in the Bay (Neira and Cantera, 2005).

This study emphasizes the macroinvertebrates that inhabit the soft bottoms; however, in the rocky

Este estudio hace énfasis en los macroinvertebrados que habitan los fondos blandos, sin embargo, en los hábitats de litoral rocoso, fondos blandos, arenas y manglares del Pacífico del Valle del Cauca se han registrado 226 especies de crustáceos pertenecientes a 56 familias y cinco órdenes (Sessilia, Stomatopoda, Amphipoda, Isópoda, Decápoda) (Lazarus y Cantera, 2007). En cuanto a equinodermos, para la bahía de Buenaventura, se han registrado 9, de las 66 especies del Pacífico del Valle del Cauca, distribuidas en 7 familias y 4 ordenes (Paxillosa, Ophiurida, Cidariida, Scutellina). La poca representatividad de este grupo en la bahía se debe principalmente a que prefieren fondos duros (Neira y Cantera, 2005).

Este estudio busca contribuir a las investigaciones realizadas en la bahía de Buenaventura sobre la influencia de las variables ambientales en la dinámica de los macroinvertebrados (Lucero *et al.*, 2006; Hernández, 2015), teniendo en cuenta que estos organismos son de importancia socioeconómica, además, la comprensión de la dinámica de las comunidades en función de la variación ambiental permitirá predecir el efecto sobre el macrobentos bajo presiones de origen antrópico y natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la bahía de Buenaventura, ésta se encuentra entre las latitudes 3°44' N y 3°56' N, y las longitudes 77°01' W y 77°20'. Su ancho va desde 3.4 km en la entrada hasta 5.5 km en la parte interna. Mide aproximadamente 30 km de largo, su forma es angosta y alargada (Figura 1). Su profundidad promedio es de 5 m, sin variabilidad apreciable, sólo el canal para navegación de barcas que pasa por el centro de la bahía (Otero, 2005). La marea es semidiurna con un ámbito promedio de 3.7 m y presenta una temperatura del agua que oscila entre 25.7 °C y 29.8 °C (Cantera *et al.*, 1992; Otero, 2005). La máxima precipitación en el año 2015 se presentó en el mes de noviembre, y la menor en junio (datos proporcionados por el IDEAM, 2015. Promedio de las estaciones Bajo Calima, Malagueta y Aeropuerto de Buenaventura).

En este estuario existen dos zonas, la bahía interior y la exterior. Se trabajó en la bahía exterior, que se caracteriza por agua bien mezclada que genera una homogeneidad vertical donde hay una diferencia entre la salinidad del fondo y superficie menor a 2 UPS, tanto en marea baja como en alta (Otero, 2005).

intertidal habitats, soft bottoms, sands, and mangroves of the Pacific of Valle del Cauca, 226 species of crustaceans belonging to 56 families and five orders have been reported (Sessilia, Stomatopoda, Amphipoda, Isopoda, and Decapoda) (Lazarus and Cantera, 2007). For echinoderms, nine of the 66 species of the Pacific of the Cauca Valley have been reported in Buenaventura Bay, distributed in seven families and four orders (Paxillosida, Ophiurida, Cnidaria, and Scutellina). The poor representation of this group in the bay is mainly due to the preference of echinoderms for hard bottoms (Neira and Cantera, 2005).

This study seeks to contribute to the research conducted in Buenaventura Bay on how environmental variables influence the dynamics of macroinvertebrates (Lucero *et al.*, 2006; Hernández, 2015), considering that these organisms are of socioeconomic importance. In addition, understanding the dynamics of communities as a function of the environmental variation will allow the impact from anthropogenic and natural pressures on the macrobenthos to be predicted.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The present study was developed in Buenaventura Bay, located between 3°44'N and 3°56'N and 77°01'W and 77°20'W. The entrance to the bay is 3.4 km wide, and the bay is 5.5 km wide. It has a narrow and elongated shape measuring approximately 30 km long (Figure 1). Its average depth is 5 m, without appreciable variability, and only one channel exists for the navigation of barges passing through the center of the bay (Otero, 2005). The tide is semidiurnal with an average range of 3.7 m and has a water temperature that ranges between 25.7 °C and 29.8 °C (Cantera *et al.*, 1992; Otero, 2005). The maximum precipitation in 2015 occurred in November and the lowest in June (data provided by the IDEAM, 2015. Station averages taken from Bajo Calima, Malagueta, and Buenaventura Airport).

In this estuary, two zones are present: the inner bay and the outer bay. This study took place in the outer bay, which is characterized by well-mixed water that generates a vertical homogeneity, where the difference between the salinity of the bottom and the surface is less than 2 PPT, both at low tide and high (Otero, 2005).

Fase de campo

Se realizaron cuatro muestreos en cada época climática, en el año 2015 (abril-noviembre), en cuatro estaciones distribuidas en la bahía de Buenaventura según un gradiente de salinidad. La estación ER (Estuario Río) ubicada en 77°6'33.1" W y 3°50'51.5"N, se caracterizó por ser interna e influenciada por la descarga del río Dagua, la estación EI (Estuario Interno) ubicada en 77°7'24.9" W y 3°52'4.4"N, se caracterizó por ser interna y conformada por litoral rocoso. Mientras la estación EE (Estuario Externo) ubicada en 77°9'35.9"W y 3°50'58.7"N, se caracterizó por ser externa y conformada por litoral rocoso y por último, la estación EM (Estuario Marino) ubicada en 77°8'58.4" W y 3°48'56.5"N, se caracterizó por ser externa e influenciada por la descarga del río Anchicayá. Las estaciones estuvieron separadas en promedio 4 km la una de la otra (Figura 1).

Field phase

Four samplings were carried out in each climatic season in 2015 (April-November) in four stations distributed in Buenaventura Bay according to a salinity gradient. The River Estuary (RE) station, located at 77°6'33.1"W and 3°50'51.5"N, was characterized as internal and influenced by the discharge of the Dagua River; the Inner Estuary (IE) station, located at 77°7'24.9"W and 3°52'4.4"N, was characterized as internal and consisting of a rocky shore; the External Estuary (EE) station, located at 77°9'35.9"W and 3°50'58.7"N, was characterized as external and consisting of a rocky shore; and finally, the Marine Estuary (ME) station, located at 77°8'58.4"W and 3°48'56.5"N, was characterized as external and influenced by the discharge of the Anchicayá River. The stations were separated by an average of 4 km (Figure 1).

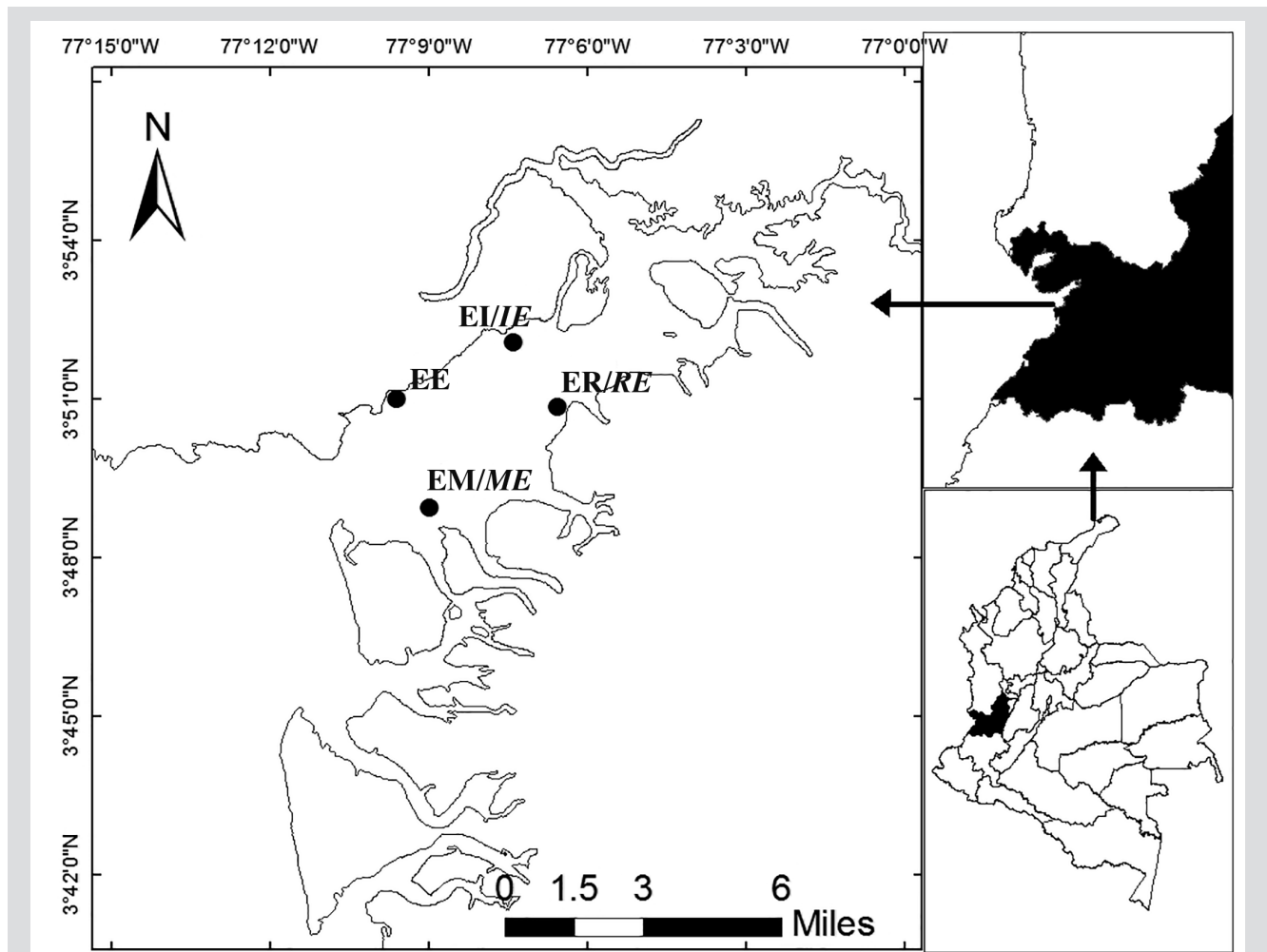


Figura 1: Área de estudio. Bahía de Buenaventura. (ER: Estuario Río; EI: Estuario Interno; EE: Estuario Externo; EM: Estuario Marino. Fuente: Elaboración propia adaptado del SIGOT.

Figure 1: Study area. Buenaventura Bay. (RE: River Estuary, IE: Inner Estuary, EE: External Estuary, ME: Marine Estuary.) Source: Own elaboration adapted from SIGOT.

Por cada estación y época se tomaron muestras de agua para variables fisicoquímicas, de sedimentos para granulometría y de macroinvertebrados para estructura y abundancia. Cada muestra tuvo tres réplicas para un total de 48 muestras. Para determinar la composición del sedimento se colectaron muestras de 5 cm de profundidad del sustrato mediante un corazonador de PVC de 4.5 cm de diámetro y 20 cm de largo. En las muestras de agua superficial se determinaron las variables fisicoquímicas: temperatura (C°), salinidad, pH y oxígeno disuelto (OD mg l⁻¹), con un multímetro portátil marca Thermo Scientific. Adicionalmente, se midió la transparencia con un disco Secchi, la profundidad con un profundímetro flotante marca Depth Sounder y las coordenadas geográficas con un GPS (GARMIN).

Las muestras de macroinvertebrados epibentónicos, consistieron en la colecta en lancha con red de arrastre de ojo de malla 2.5 cm y con un ancho de trabajo de 8 metros, mediante arrastres independientes de 10 minutos, cada unidad experimental tuvo tres réplicas para un total de 48 arrastres. Los organismos y sedimentos fueron almacenados en bolsas plásticas, refrigerados y posteriormente llevados al laboratorio para ser almacenados a una temperatura de -20 °C.

Fase de Laboratorio

Sedimentos

A cada muestra del corazonador y a sus réplicas, se extrajeron los 5 cm superficiales, se usaron 5 g para contenido de materia orgánica mediante ignición (Danovaro, 2010) y 30-40 g para granulometría, mediante un tratamiento mecánico con tamices para partículas mayores a 50 µm hasta 1000 µm. Se usó la escala Wentworth (Bengtsson y Picado, 2008; Danovaro, 2010).

Macroinvertebrados

En cada réplica, los macroinvertebrados fueron contados e identificados, como también se les midió el peso, talla y se les determinó sexo y estado reproductivo. Se clasificaron taxonómicamente a nivel de especie apoyándose de las claves taxonómicas FAO (Fischer *et al.*, 1995), bases de datos de internet (WoRMS: World Register of Marine Species) y revisión de literatura (Lemaitre y Álvarez-León, 1992; Pineda y Madrid, 1993; Baltazar, 1997; Neira y Cantera, 2005; Lazarus y Cantera, 2007; Cardoso y Hochberg, 2013).

For each station and season, water samples were taken to measure the physicochemical variables; sediments, for granulometry; and macroinvertebrates, for structure and abundance. Each sample had three replicates for a total of 48 samples. To determine the sediment composition, samples were collected from the substrate at a depth of 5 cm by means of a PVC corer (4.5 cm in diameter and 20 cm long). A Thermo Scientific brand portable multimeter was used to measure the physicochemical variables from the samples of surface water: temperature (°C), salinity, pH, and dissolved oxygen (DO mg l⁻¹). Additionally, the transparency was measured with a Secchi disk, depth was measured with a Depth Sounder floating depth gauge, and the geographical coordinates were recorded with a GPS unit (GARMIN).

The samples of epibenthic macroinvertebrates were collected from a boat using a trawling net with 1-inch mesh and 8-m working width, with each trawl being independent and lasting 10 minutes; each experimental unit had three replicates, for a total of 48 trawls. The organisms and sediments were stored in plastic bags, refrigerated, and then taken to the laboratory to be stored at a temperature of -20 °C.

Laboratory Phase

Sediments

For each core sample and its replicates, the superficial 5 cm was extracted, 5 g was used to determine the organic matter content by the loss on ignition method (Danovaro, 2010), and 30-40 g was used for granulometry, by means of a mechanical treatment with sieves for particles larger than 50 µm and up to 1000 µm. The Wentworth scale was used (Bengtsson and Picado, 2008; Danovaro, 2010).

Macroinvertebrates

In each replicate, the macroinvertebrates were counted and identified, and their weight, height, sex, and reproductive status were determined. They were classified taxonomically to the species level based on the FAO taxonomic keys (Fischer *et al.*, 1995), internet databases (WoRMS: World Register of Marine Species), and a literature review (Lemaitre and Álvarez-León, 1992; Pineda and Madrid, 1993; Baltazar, 1997; Neira and Cantera, 2005; Lazarus and Cantera, 2007; Cardoso and Hochberg, 2013).

Tratamiento de datos

Las variables fisicoquímicas del agua fueron: Sal (salinidad), pH, OD (concentración de oxígeno mgL^{-1}), Tr (transparencia). Las variables de la composición del sedimento fueron: %MO (porcentaje de materia orgánica), %G (porcentaje de gravas y arenas muy gruesas), %AG (porcentaje de arenas gruesas), %AM (porcentaje de arenas medias), %AF (porcentaje de arenas finas), %L (porcentaje de limos) y %A (porcentaje de arcillas).

Se determinó la abundancia (N), riqueza (S) y diversidad de Shannon (H') del ensamblaje de macroinvertebrados. A las variables ambientales, a la composición y estructura de macroinvertebrados, se les revisó la normalidad, se examinaron las gráficas de residuales para confirmar la normalidad y homogeneidad de varianza, y en los casos necesarios se realizó la transformación correspondiente para mejorar normalidad (Green, 1979).

Se redujo la cantidad de variables ambientales mediante un análisis de componentes principales (PCA) basado en una matriz de correlaciones. El PCA se realizó usando el procedimiento Princomp en SAS 9.4 (SAS, 2012). Este procedimiento se realizó para pasar de 13 variables ambientales a 10 variables no correlacionadas que explicaron el 82.35% de la varianza del experimento.

Se examinaron las diferencias significativas ($p < 0.05$) por estación de muestreo y época climática entre la estructura y composición de macroinvertebrados, mediante un Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA), de dos vías, con estación y época climática como factores principales (usando el Modelo Lineal General y las medias de diferencias de cuadrados, SAS 9.4 (SAS, 2012). Se efectuó el ANOVA y se examinó el Error Tipo III para mejorar la interpretación de las diferencias significativas entre macroinvertebrados. Por último, se inspeccionó la prueba de Tukey para identificar la estación o época climática en la cual la variable en cuestión presentó diferencias significativas.

Se desarrolló un análisis de regresión múltiple univariada para determinar las variables ambientales que estuvieron relacionadas con la composición y estructura de los macroinvertebrados. La colinealidad entre las variables independientes fue evaluada examinando los factores de inflación de varianza (VIF; Allison, 1991). Las variables se consideraron independientes si los valores VIF fueron cercanos a 1, y colineales cuando el valor fue mayor a 10. Las variables incluidas en la regresión múltiple fueron seleccionadas ingresando cada variable. Un valor de $p < 0.05$ fue escogido como valor de entrada y salida para identificar el conjunto de variables que fueron importantes en la descripción de la variable

Data analysis

The physicochemical variables of the water were salt (salinity), pH, DO (dissolved oxygen concentration mgL^{-1}), and Tr (transparency). The variables of the sediment composition were %MO (percentage of organic matter), %G (percentage of gravel and very coarse sand), %SC (percentage of coarse sand), %SM (percentage of medium sand), %SF (percentage of fine sand), %S (percentage of silt), and %C (percentage of clay).

The abundance (N), richness (S), and Shannon diversity index (H') of the macroinvertebrate assemblage were determined. For the environmental variables and macroinvertebrate composition and structure data, the residuals plots were examined to confirm the normality and homogeneity of variance, and when necessary, the corresponding transformation was performed to improve normality (Green, 1979).

The number of environmental variables was reduced by a principal component analysis (PCA) based on a matrix of correlations. The PCA was performed using the Princomp procedure in SAS 9.4 (SAS, 2012). This procedure was performed to reduce 13 environmental variables to 10 uncorrelated variables that explained 82.35% of the variance of the experiment.

We examined the significant differences ($p < 0.05$) by sampling station and season between the structure and composition of the macroinvertebrates by means of a two-way multivariate analysis of variance (MANOVA), with station and season as the principal factors using the General Linear Model and least squares, SAS 9.4 (SAS, 2012). The ANOVA was carried out, and the Type III error was examined to improve the interpretation of the significant differences between macroinvertebrates. Finally, the Tukey test was examined to identify the station or season in which the variable in question presented significant differences.

A univariate multiple regression analysis was developed to determine the environmental variables that were related to the composition and structure of the macroinvertebrates. The collinearity between the independent variables was evaluated by examining the variance inflation factors (VIF; Allison, 1991). The variables were considered independent if the VIF values were close to 1 and collinear if the value was greater than 10. The variables included in the multiple regression were selected by entering each variable. A value of $p < 0.05$ was chosen as an input and output value to identify the set of variables that were important in the description of the dependent variable. The highest value of F

dependiente. El mayor valor de F fue usado en cada paso para identificar la variable que más contribuyó al valor de R^2 . Las variables subsecuentes fueron escogidas de la misma manera; sin embargo, después de cada nueva adición, todas las variables fueron examinadas para asegurarse que cumplieran el criterio del modelo ($p < 0.05$). Si la variable no fue lo suficientemente significativa, se eliminó del modelo.

RESULTADOS

En la bahía de Buenaventura, las variables ambientales como salinidad, pH, oxígeno disuelto, transparencia, y la composición del sedimento, variaron temporalmente (MANOVA, $F=25.4$, $p < 0.0001$) a través de las estaciones (MANOVA, $F=7.1$, $p < 0.0001$) y también se presentó una influencia de la época sobre las variables ambientales en las estaciones (MANOVA, $F=16.4$, $p < 0.0001$). La salinidad fue mayor en junio en ER, pero en esta estación también se presentó la menor salinidad en noviembre (ANOVA, $p < 0.0001$). El pH fue mayor en abril en EM, pero en noviembre presentó el menor valor en la misma estación (ANOVA, $p < 0.0001$). El oxígeno disuelto fue mayor en septiembre en la estación EE, y menor en noviembre en la estación ER (ANOVA, $p < 0.0001$). La transparencia fue mayor en junio en EI, y menor en noviembre en EM (ANOVA, $p < 0.0001$) (Tabla 1).

Respecto a los sedimentos, el porcentaje de materia orgánica fue mayor en septiembre en la estación EE, y menor en la estación EM durante los meses de septiembre y junio (ANOVA, $p < 0.0001$). La fracción del sedimento grueso fue mayor en septiembre en ER, y menor en junio en EI (ANOVA, $p < 0.0001$). El porcentaje de arena fue mayor en junio en la estación EM, y menor en septiembre en EI (ANOVA, $p < 0.0001$). Por último, el porcentaje de arcilla fue mayor en noviembre en EM, y menor en la misma estación pero en el mes de septiembre (ANOVA, $p < 0.0001$) (Tabla 1).

En la bahía de Buenaventura se realizaron 48 arrastres desde abril a noviembre, en cuatro estaciones, y se registraron en total 532 individuos distribuidos en 17 especies y 9 familias. La abundancia varió desde 0.7 ± 1.2 a 29.7 ± 7.4 individuos por arrastre, la riqueza varió de 0.3 ± 1.2 a 4.7 ± 1.2 especies por arrastre y la máxima diversidad de Shannon fue 1.6 ± 0.3 . Por clase predominaron los crustáceos (91%), seguidos de los moluscos (8%) y por último los equinodermos (1%).

En el grupo de los crustáceos, la familia más abundante fue Portunidae ($n=383$; 78%), seguida de Penaeidae ($n=53$; 11%) y Squillidae ($n=43$; 9%). Las especies más abundantes fueron *Callinectes arcuatus*, *Squilla aculeata* y *Litopenaeus occidentalis* (Figura 2).

was used in each step to identify the variable that contributed the most to the R^2 value. Subsequent variables were chosen in the same way; however, after each new addition, all variables were examined to ensure that they met the model criteria ($p < 0.05$). If the variable was not significant, then it was removed from the model.

RESULTS

In Buenaventura Bay, environmental variables such as salinity, pH, dissolved oxygen, transparency, and sediment composition varied temporally (MANOVA, $F=25.4$, $p < 0.0001$) across the stations (MANOVA, $F=7.1$, $p < 0.0001$), and a seasonal influence also acted on the environmental variables at the stations (MANOVA, $F=16.4$, $p < 0.0001$). The salinity was highest in June in RE, but this station also had the lowest salinity in November (ANOVA, $p < 0.0001$). The pH was highest in April at ME, but in November, it had the lowest value in the same season (ANOVA, $p < 0.0001$). Dissolved oxygen was highest in September at the OE station and lowest in November at the RE station (ANOVA, $p < 0.0001$). Transparency was highest in June in the IE and lowest in November in the ME (ANOVA, $p < 0.0001$) (Table 1).

Regarding sediments, the percentage of organic matter was highest in September at the OE station and lowest at the ME station during September and June (ANOVA, $p < 0.0001$). The fraction of the coarse sediment was highest in September at the RE and the lowest in June at the IE (ANOVA, $p < 0.0001$). The percentage of sand was highest in June at the ME station and lowest in September at the IE (ANOVA, $p < 0.0001$). Finally, the percentage of clay was highest in November at the ME and lowest at the same station but in September (ANOVA, $p < 0.0001$) (Table 1).

In Buenaventura Bay, 48 trawls were carried out from April to November at four stations, and a total of 532 individuals, distributed in 17 species and nine families, were recorded. Abundance varied from 0.7 ± 1.2 to 29.7 ± 7.4 individuals per trawl, richness varied from 0.3 ± 1.2 to 4.7 ± 1.2 species per trawl, and the maximum Shannon diversity index was 1.6 ± 0.3 . By class, crustaceans predominated (91%), followed by mollusks (8%) and finally echinoderms (1%).

In the group of crustaceans, the most abundant family was Portunidae ($n=383$; 78%), followed by the families Penaeidae ($n=53$; 11%) and Squillidae ($n=43$; 9%). The most abundant species were *Callinectes arcuatus*, *Squilla aculeata*, and *Litopenaeus occidentalis* (Figure 2).

Tabla 1: Promedios de las variables ambientales por Época y Estación, estimados por mínimos cuadrados (\pm desviest). Las letras leídas verticalmente indican diferencias significativas (Tukey), en orden descendente, para cada variable ambiental con una interacción significativa de dos vías ($p \leq 0.05$). Cada media fue calculada de tres muestras para un total de 48 muestras. ER=Estuario Río. EI=Estuario Interno. EE=Estuario Externo. EM=Estuario Marino. Sal=Salinidad, OD=Oxígeno disuelto, TR=Transparencia, %MO=Porcentaje de materia orgánica, %G=Porcentaje de grava y arena muy gruesa, %AG=Porcentaje de arena gruesa, %AM=Porcentaje de arena media, %AF=Porcentaje de arena fina y %A=Porcentaje de arcilla.

	Sal (UPS) / PPT	pH	OD (mgL ⁻¹) / DO	TR (cm)	%MO	%G	%AG / %SC	%AM / %SM	%AF / %SF	%A / %C
Abril / April	EE 25.9±0.0D	8.1±0.0AB	6.9±0.1B	80±1BC	6.7±1.8C	21.5±17.8CD	9.7±3.2CD	28.5±6C	32.3±16.7B	4.9±3.7BC
	EI 22.8±0.1F	7.7±0.1C	5.5±0.1E	58.3±2.9E	5.2±1.3CD	9.3±6.3D	12.7±4.4BC	41.7±0.8AB	32.4±9.7B	1.9±0.5CD
	EM 25.1±0.1E	8.3±0.4A	6.2±0.1D	60±1DE	2.9±1.8DE	5.6±2D	14.4±2.5BC	36.9±2.2AC	41.5±2B	1.4±0.5CD
	ER 20.6±0.1C	7.6±0.0CD	6±0.1D	71±1CE	3.6±1.5DE	11.5±10.5D	3.7±2D	17.6±6.3D	56.3±10.6AB	6±2.8BC
Junio / June	EE 29.1±0A	8±0.1BC	6.3±0.1CD	54±3DF	5±0.9CD	14.2±5.5CD	8.1±1.9CD	34.9±2.4AC	36.7±3.2B	6±1.7B
	EI 27.5±0.2B	7.8±0.1C	5.3±0.2E	122.7±4.6A	11.1±1.2AB	2.7±0.9D	16.9±4.7B	20.4±1.6CD	36.5±6.2B	10±3.1AB
	EM 26.8±0.2C	8.1±0.1AB	6.5±0.2C	93±15.4B	2.3±0.8DE	9.8±11.5D	3.9±0.8D	29.7±7.4C	51.8±8.8AB	4.5±2.9BC
	ER 29.4±0A	7.9±0.1BC	5.3±0.0EF	46±2.6F	5.7±1.2CD	10.3±7.4D	8.7±3.3C	13.5±3.0DE	51.4±7.6AB	9.5±4.1AB
Septiembre / September	EE 22.5±0.3F	7.9±0.0BC	7.9±0.1A	47.7±4.0EF	12.4±1.5A	56.6±4.3AB	10.2±1.5BCD	9.6±2.0DE	9.2±1.4CDE	10.8±4.0AB
	EI 21.1±0.1C	7.8±0.0C	5.9±0.3D	49.7±5.7EF	6.9±2.2C	67.4±10.3AB	7.6±2.9CD	6.2±1.2E	8.1±4.5E	10.6±10.6AB
	EM 26.6±1.6D	8±0.1BC	6.6±0.4C	74.7±5.9BC	1.9±0.7E	10.4±3.0CD	28.3±1.5A	44.9±2.6A	16.1±2.0D	0.2±0.0D
	ER 18.4±0.3G	7.6±0.1CD	6.3±0.3CD	40±3.0FG	9.7±1.6AC	69.8±3.2A	6.3±1.4D	4.9±0.5E	6.4±1.1E	12.3±1.8A
Noviembre / November	EE 16.9±0.1H	7.9±0.1BC	5.4±0.1E	43.7±3.2F	5.1±2.9CD	30.8±6.8C	27±6.3AB	30.6±8.3BC	7.2±1.8E	4.2±1.5BC
	EI 17.4±0.1H	7.8±0.1C	5±0.1F	56.7±1.2DEF	7.6±1.3C	36.9±7.9AC	21.7±16.8AB	10.3±6.5E	23.6±10.6BCD	7.1±4.9AB
	EM 15.8±0I	7.4±0.3E	5.1±0.1EF	38±9.2G	5.3±1.1CD	34.5±7.7BC	10.8±2.0BC	14.6±3.8DE	27.2±2.2BC	12.4±1.1A
	ER 14.3±0.1J	7.7±0.1C	4.6±0.1G	48.3±1.5F	9±2.9BC	38.7±19.5AC	13.1±1.4BCD	19.7±10.4D	18±7.2C	10.5±1.0AB

Table 1: Averages of the environmental variables by season and station, estimated by least squares (\pm SD). The letters read vertically indicate significant differences (Tukey), in descending order, for each environmental variable with a significant two-way interaction ($p \leq 0.05$). Each average was calculated from three samples, for a total of 48 samples. RE = River Estuary, IE = Inner Estuary, OE = Outer Estuary, ME = Marine Estuary, Salt = Salinity, DO = Dissolved oxygen, TR = Transparency, %MO = Percentage of organic matter, %G = Percentage of gravel and very coarse sand, %SC = Percentage of coarse sand, %SM = Percentage of medium sand, %SF = Percentage of fine sand, and %A = Percentage of clay.

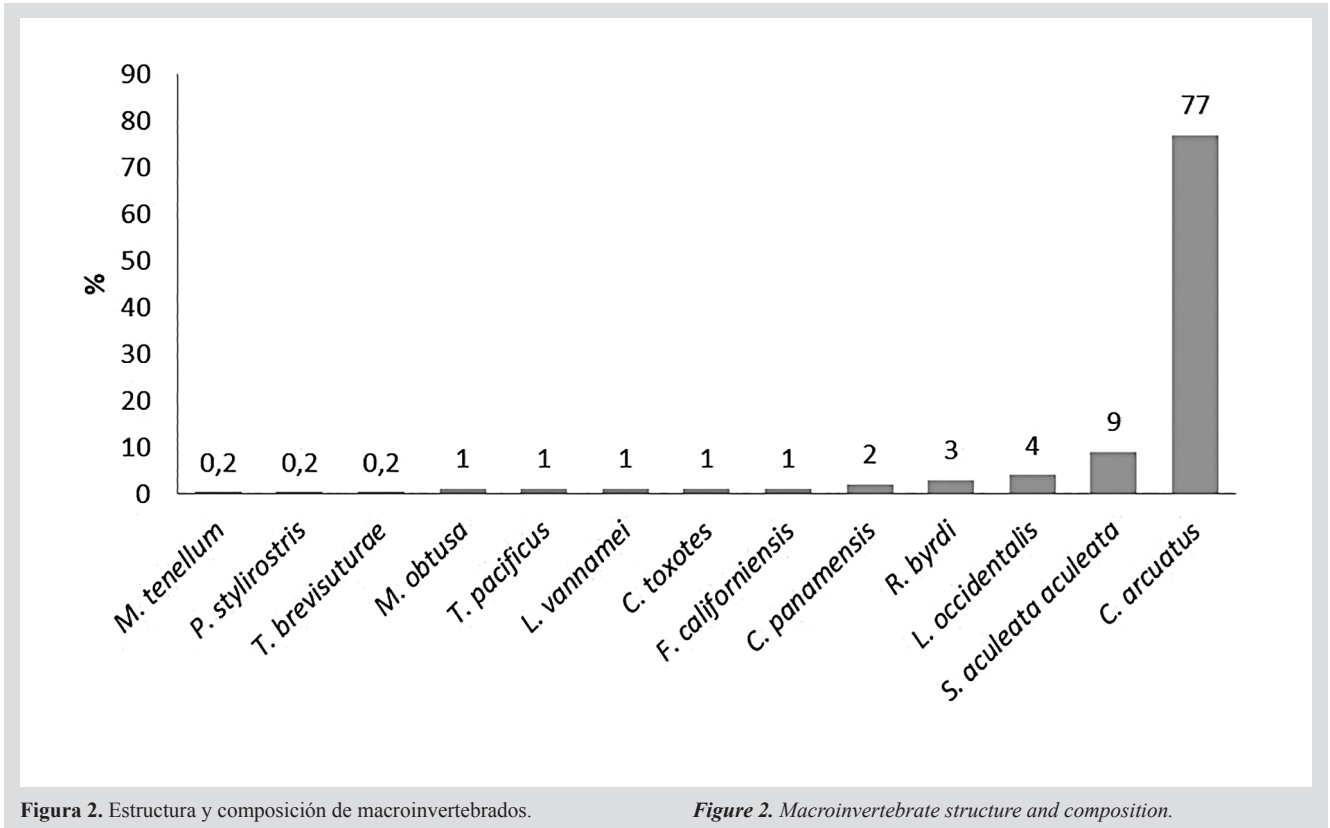


Figura 2. Estructura y composición de macroinvertebrados.

Figure 2. Macroinvertebrate structure and composition.

En el grupo de los moluscos, la familia más abundante fue Loliiginidae (n=42; 96%), mientras las familias Arcidae y Corbiculidae tuvieron baja representatividad (n=1; 2%). De la familia Arcidae, se encontró la piangua, *Anadara reinharti* y de Corbiculidae, se halló la especie *Polymesoda inflata*. En el grupo de equinodermos, sólo se capturó la especie *Luidia columbia* (n=3), de la familia Luidiidae.

La abundancia total de macroinvertebrados fue mayor en la estación Estuario Externo (38.39%), seguida de Estuario Río (28.12%), Estuario Marino (23.72%) y Estuario Interno (9.78%). Por época, el pico de abundancia se presentó en junio (39.36%), seguido de abril (26.89%), noviembre (20.78%) y septiembre (12.96%) (Figura 3). Cuatro de las 17 especies de macroinvertebrados fueron encontradas en las 4 estaciones (Tabla 2) y las especies más abundantes se encontraron en la zona externa de la bahía (EM y EE). Del resto de especies, seis fueron exclusivas de la zona externa de la bahía (EM y EE) y cuatro estuvieron en la zona interna de la bahía (ER y EI).

La estructura y composición de macroinvertebrados no variaron por época (MANOVA, F=2.1, p=0.06) ni por estación (MANOVA, F=1.7, p=0.14). Sin embargo, la época presentó una influencia significativa sobre la variación de la

In the group of mollusks, the most abundant family was Loliiginidae (n=42; 96%), whereas the families Arcidae and Corbiculidae were poorly represented (n=1; 2%). Piangua (*Anadara reinharti*) from the family Arcidae was recorded, and from the family Corbiculidae, the species *Polymesoda inflata* was recorded. In the group of echinoderms, only the species *Luidia columbia* (n=3) of the family Luidiidae was captured.

The total abundance of macroinvertebrates was highest at the OE station (38.39%), followed by the RE station (28.12%), the ME station (23.72%), and the IE station (9.78%). By season, the peak of abundance occurred in June (39.36%), followed by April (26.89%), November (20.78%), and September (12.96%) (Figure 3). Four of the 17 species of macroinvertebrates were found at all four stations (Table 2), and the most abundant species were found in the outer zone of the bay (ME and OE). Of the remaining species, six were exclusive to the outer zone of the bay (ME and OE), and four were in the inner zone (RE and IE).

The structure and composition of macroinvertebrates did not vary by season (MANOVA, F=2.1, p=0.06) or by station (MANOVA, F=1.7, p=0.14). However, the period had a significant influence on the variation of abundance

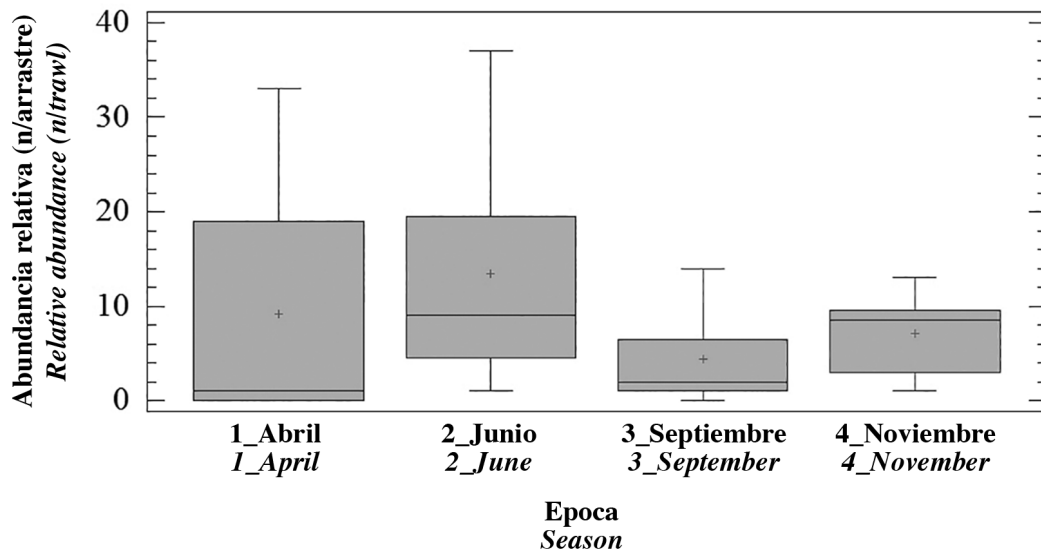


Figura 3. Gráfico de cajas y bigotes de la distribución de las abundancias relativas de los macroinvertebrados a través de las épocas de muestreo.

Figure 3. Box-and-whisker plot of the distribution of the relative abundance of macroinvertebrates over the sampling periods.

abundancia y riqueza de los macroinvertebrados a través de las estaciones (MANOVA, $F=3.9$, $p<0.0001$). Se determinó que tanto las mayores abundancia y riqueza fueron en junio en la estación ER, mientras que las menores abundancia y riqueza, se presentaron en abril en EI (Tabla 3), ANOVA, $p<0.0001$, para ambos). No se presentó una interacción entre la época y estación con la diversidad de Shannon.

En el análisis de regresión múltiple univariada se encontró que la abundancia fue mayor entre mayor la salinidad del agua, mientras la riqueza fue mayor cuando la salinidad fue alta y el porcentaje de arcillas fue bajo. Se usaron 13 variables ambientales para predecir la abundancia relativa, la riqueza y la diversidad de Shannon (Tabla 4). Dos de los tres modelos fueron significativos ($p\leq 0.05$). Aunque el mejor modelo explicó 16% de la variación en los descriptores biológicos. Se incluyeron en el modelo las variables que no fueron colineales, y las más notables tuvieron correlaciones significativas. La correlación de Pearson de la salinidad fue significativa para el modelo de abundancia ($p=0.03$). De acuerdo a las correlaciones de Pearson, salinidad explicó 31% de la varianza de la abundancia de macroinvertebrados, y 23% de la varianza en la riqueza de macroinvertebrados.

and richness of the macroinvertebrates across stations (MANOVA, $F=3.9$, $p<0.0001$). The highest abundance and richness were both observed in June at the RE station, whereas the lowest abundance and richness were observed in April at IE (Table 3) (ANOVA, $p<0.0001$, for both). No interaction was observed between the season and the station in terms of diversity.

In the univariate multiple regression analysis, the abundance was greater with higher salinity of the water, whereas the richness was greater when salinity was high and the percentage of clay was low. Thirteen environmental variables were used to predict the relative abundance, richness, and diversity (Table 4). Two of the three models were significant ($p\leq 0.05$). The best model explained 16% of the variation in the biological descriptors. Variables that were not collinear were included in the model, and the most notable variables had significant correlations. The Pearson correlation of salinity was significant for the abundance model ($p=0.03$). According to the Pearson correlations, salinity explained 31% of the variance of macroinvertebrate abundance and 23% of the variance in macroinvertebrate richness.

Tabla 2: Escalafón de abundancia de macroinvertebrados, frecuencia relativa (%F) en las estaciones de muestreo, ámbito del tamaño (mm, longitud total para camarones, estrellas de mar y cangrejos ermitaño y largo del caparazón para cangrejos) y promedio de abundancia relativa (ind/arrastré, promedio de 48 muestras) de macroinvertebrados colectados en las estaciones ER, EI, EE y EM.

Especie / Specie	Nombre común / Common name	N	%F	Rango de tamaño / Size Range	promedio±desvest / average±SD						
					ER / RE	EI / IE	EM / ME	EE / OE	Combinadas / Combined		
<i>Callinectes arcuatus</i>	Jaiba /Crab	374	70.30	3-13.2	34.7±4.6	17.3±9.1	34±5.3	38.7±7.4	31.2±10.4		
<i>Squilla aculeata aculeata</i>	Camarón bravo / Mantis Shrimp	43	8.08	4.8-14.6	4±1.7	1.7±2.9	2±2	6.7±4.2	3.6±3.2		
<i>Lolliguncula panamensis</i>	Calamar panameño / Panama Brief Squid	42	7.89	1.5-8	1.7±2.1	2±3.5	1.7±2.1	8.7±4.5	3.5±4.1		
<i>Penaeus occidentalis</i>	Camarón blanco / White Shrimp	21	3.95	5.4-11.7	1±1.7	1±1.7	3±1.7	1±1.7	1.8±1.7		
<i>Rimapenaeus byrdi</i>	Camarón carabalí / Carabali Shrimp	16	3.01	6.5-16.2	1.3±1.5	3±2.7	0	1±1	1.3±1.8		
<i>Clibanarius lineatus</i>	Cangrejo ermitaño / Hermit Crab	7	1.32	2.8-7	1.3±1.5	0.3±0.6	0	0.7±0.6	0.6±0.9		
<i>Penaeus californiensis</i>	Camarón patiamarillo / Yellowleg shrimp	6	1.13	6.5-11.4	0.7±1.2	0	1.3±1.5	0±0	0.5±1		
<i>Callinectes toxotes</i>	Jaiba gigante / Giant crab	5	0.94	14.5-17.2	0	0	1±1	0.7±1.2	0.4±0.8		
<i>Penaeus vannamei</i>	Camarón patiblanco / Whiteleg shrimp	4	0.75	7.3-11	0	0	0	1.3±1.5	0.3±0.9		
<i>Penaeus pacificus</i>	Camarón tigre / Zebra shrimp	3	0.56	7.5-13	0	0	0.3±0.6	0.7±1.2	0.3±0.6		
<i>Luidia columbica</i>	Estrella de mar / Starfish	3	0.56	3.5-6.5	0	0	0.3±0.6	0.7±1.2	0.3±0.6		
<i>Menippe obtusa</i>	Cangrejo de piedra / Stone crab	2	0.38	2.5-3.4	0.3±0.6	0.3±0.6	0	0	0.2±0.4		
<i>Penaeus brevisuturae</i>	Camarón liso / Smooth shrimp	2	0.38	11.2-11.6	0.7±0.6	0	0	0	0.2±0.4		
<i>Anadara reinharti</i>	Piangua / Piangua	1	0.19	4.2-4.2	0.3±0.6	0	0	0	0.1±0.3		
<i>Macrobrachium tenellum</i>	Camarón aguadulce / Freshwater shrimp	1	0.19	6.7-6.7	0.3±0.6	0	0	0	0.1±0.3		
<i>Penaeus stylirostris</i>	Camarón azul / Pacific blue shrimp	1	0.19	13.2-13.2	0	0	0	0.3±0.6	0.1±0.3		
<i>Polymesoda inflata</i>	Almeja de marjal / Inflated marsh clam	1	0.19	3.2-3.2	0	0	0	0.3±0.6	0.1±0.3		
Número de especies / Number of Species					11	7	8	12	17		

Tabla 3: Promedios de las abundancias relativas del ensamblaje de macroinvertebrados, riqueza de especies y diversidad de Shannon por Época y Estación, estimado por mínimos cuadrados (\pm desvest). Las letras leídas verticalmente indican diferencias significativas (Tukey) para cada descriptor de la comunidad con una interacción significativa de dos vías ($p \leq 0.05$). Cada media fue calculada de tres muestras para un total de 48 muestras. ER=Estuario Rio. EI=Estuario Interno. EE=Estuario Externo. EM=Estuario Marino.

		N (ind/arrastre) N (ind/haul)	S (sp/arrastre) S (sp/haul)	H
Abril / April	EE	29.3 \pm 3.5A	4 \pm 1AB	1.5 \pm 0.2
	EI/IE	0.7 \pm 1.2E	0.3 \pm 0.6E	0
	EM/ME	6.7 \pm 6.1BCD	1.3 \pm 1.2DE	0.5 \pm 0.1
	ER/RE			
Junio / June	EE	5.7 \pm 2.9CD	2 \pm 0CD	0.7 \pm 0.2
	EI/IE	5 \pm 4CD	1.7 \pm 0.6CD	0.5 \pm 0.5
	EM/ME	13.3 \pm 7.4BC	3 \pm 1.7BC	0.7 \pm 0.7
	ER/RE	29.7 \pm 8.7A	4.7 \pm 1.2A	0.9 \pm 0.2
Septiembre / September	EE	10.3 \pm 4BCD	3.7 \pm 0.6ABD	1.6 \pm 0.3
	EI/IE	3 \pm 3.5DE	1 \pm 0DE	0
	EM/ME	3.3 \pm 2.3DE	1 \pm 0DE	0
	ER/RE	1 \pm 1DE	1 \pm 1DE	0.5 \pm 0.7
Noviembre / November	EE	7 \pm 3BCD	1.3 \pm 0.6DE	0.3 \pm 0.5
	EI/IE	4.7 \pm 5.5CDE	1.3 \pm 0.6DE	0.1 \pm 0.3
	EM/ME	9 \pm 0BCD	3 \pm 1.7ABD	1.1 \pm 0.8
	ER/RE	7.7 \pm 5.5BCD	2.3 \pm 1.2BD	0.9 \pm 0.8

Table 3: Average relative abundance of macroinvertebrate assemblages, species richness and diversity by Season and Station, estimated by least squares (\pm SD). The letters read vertically indicate significant differences (Tukey) for each descriptor of the community with a significant 2-way interaction ($p \leq 0.05$). Each average was calculated from 3 samples for a total of 48 samples. RE = River Estuary. IE = Inner Estuary. OE = Outer Estuary. ME = Marine Estuary.

Tabla 4: Análisis de regresión múltiple de los descriptores del ensamblaje de macroinvertebrados en relación a las variables ambientales. Las variables se reportaron en el orden que ingresaron al modelo, es decir, la variable 1 tuvo mayor valor de F ($p \leq 0.05$). El tipo de relaciones entre las variables biológicas y ambientales se representaron por signos y las correlaciones de Pearson se representaron en paréntesis. El nivel de significancia para retener las variables en cada modelo fue $p \leq 0.05$, excepto para las variables en cursiva ($0.15 \leq p \leq 0.05$). Las correlaciones de Pearson significativas se indicaron en negrilla.

Descriptor biológico Biological Descriptor	R ²	Variable 1	Variable 2	Valor de F F Value	p>F
Abundancia / Abundance	0.10	(+)Salinidad / Salinity (0.31)		5.02	0.03
Riqueza / Richness	0.16	(+)Salinidad / Salinity (0.23)	(-)%Arcillas (0.30)	4.16	0.02
Diversidad / Diversity	0.16	(+)% Gravas / Gravel (0.35)	(+) pH (0.31)	2.23	0.13

Table 4: Multiple regression analysis of the descriptors of the macroinvertebrate assembly in relation to environmental variables. The variables were reported in the order they entered the model; that is, variable 1 had the highest F value ($p \leq 0.05$). The type of relations between the biological and environmental variables were represented by signs, and the Pearson correlations were represented in parentheses. The level of significance to retain the variables in each model was $p \leq 0.05$, except for the variables in italics ($0.15 \leq p \leq 0.05$). Significant Pearson correlations are indicated in bold.

DISCUSIÓN

En estudio se consideró que las condiciones ambientales fueron marinas cuando el conjunto de variables salinidad, pH, oxígeno disuelto y transparencia presentaron valores altos y cuando en el sedimento predominaron las arenas medias y finas. Las condiciones ambientales

DISCUSSION

The environmental conditions of the study were considered to be marine when the salinity, pH, dissolved oxygen, and transparency variables showed high values and when medium and fine sand predominated in the sediment. The environmental conditions of lower salinity

de menor salinidad fueron opuestas a las descritas anteriormente. Esta clasificación se sustenta en varios estudios que describen las características fisicoquímicas del agua y sedimentos de la bahía (Cantera y Blanco, 2001; Lucero *et al.*, 2006). Acorde con estos estudios, se determinó que el porcentaje de gravas y arena muy gruesa fue alto en el sedimento cuando la salinidad, el pH y la transparencia fueron bajos, lo que indicó influencia del agua dulce por las descargas de los ríos Dagua y Anchicayá. Las gravas y arenas muy gruesas fueron los materiales que predominaron en los sedimentos de estaciones aguas arriba de la desembocadura del río Dagua (Lucero *et al.*, 2006). Mientras la baja transparencia posiblemente se debió a que las condiciones hidrodinámicas no permitieron el asentamiento de los limos y arcillas. En general, las épocas de mayor precipitación en el estuario y las estaciones donde se ubicaron las zonas de drenaje de los ríos, afectaron la salinidad, el pH, el oxígeno disuelto y la fracción del sedimento generando cambios y variabilidad en las ofertas fisicoquímicas de los microhábitats del estuario.

En este estudio el grupo taxonómico que tuvo mayor representatividad en el ensamblaje de macroinvertebrados fueron los crustáceos, siendo la jaiba, *C. arcuatus*, la especie dominante en el estuario de la bahía de Buenaventura. Lo anterior concuerda con inventarios de macroinvertebrados (Norse y Estevez, 1977; Neira y Cantera, 2005; Lazarus y Cantera, 2007) y estudios sobre las poblaciones de interés económico en la zona (Pineda y Madrid, 1993; Baltazar, 1997). Las jaibas son organismos eurihalinos, es decir, cuentan con la adaptación fisiológica de soportar un amplio rango de salinidad (Norse y Estevez, 1977; Hernández y Arreola-Lizárraga, 2007), de ahí a que se distribuyan sobre el estuario sin limitaciones por salinidad.

El segundo crustáceo más abundante fue el camarón bravo. La abundancia de *S. aculeata* no tuvo un patrón claro, debido a que esta especie es residente de las zonas fangosas y fangoarenosas de la bahía (Murillo, 1988), además, se ha registrado que las hembras se entierran bajo del sedimento (Wortham, 2009) lo que pudo interrumpir su captura en el muestreo. En general, el camarón bravo se colectó en todas las épocas de forma abundante, mientras los camarones blanco (*P. occidentalis*) y carabalí (*R. byrdi*) también estuvieron en todas las épocas pero de manera poco abundante. El resto de especies estuvieron ausentes en una o más épocas

En el grupo de los moluscos, se colectaron los bivalvos *Polymesoda*, *Anadara* y los cefalópodos del género *Loligunculla*. Respecto al calamar dedal de Panamá,

were the opposite of the above-described conditions. This classification is based on several studies that describe the physicochemical characteristics of the water and sediments of the bay (Cantera and Blanco, 2001; Lucero *et al.*, 2006). According to these studies, the percentage of gravel and very coarse sand was high in the sediment when the salinity, pH, and transparency were low, which indicated the influence of fresh water discharges from the Dagua and Anchicayá rivers. Gravel and very coarse sand were the materials that predominated in the sediments of stations upstream of the mouth of the Dagua River (Lucero, *et al.*, 2006). The low transparency was possibly due to the hydrodynamic conditions that allow the settlement of silt and clays. In general, the periods of greatest precipitation in the estuary and at the stations closest to the river drainage areas affected the salinity, pH, dissolved oxygen, and sediment fraction generating changes and variability in the physicochemical contributions of the estuarine microhabitats.

In this study, the taxonomic group that was most representative in the macroinvertebrate assembly were the crustaceans, represented by the crab *C. arcuatus*, which was the dominant species in the Buenaventura Bay estuary. This result agrees with macroinvertebrate inventories Norse and Estevez, 1977; Neira and Cantera, 2005; Lazarus and Cantera, 2007) and studies on populations of economic interest in the area (Pineda and Madrid, 1993; Baltazar, 1997). The crabs are euryhaline organisms; that is, they have the physiological adaptation of tolerating a wide range of salinity (Norse and Estevez, 1977; Hernández and Arreola-Lizárraga, 2007); hence, their distribution throughout the estuary is unrestricted by salinity.

The second most abundant crustacean was *Squilla aculeata aculeata*. The abundance of *S. aculeata* did not have a clear trend because this species is a resident of the mudflats and sandy mudflat areas of the bay (Murillo, 1988), and the females reportedly bury under the sediment (Wortham, 2009), which could impede their capture in the sampling. In general, bravo shrimp were abundant in all seasons, whereas white shrimp (*P. occidentalis*), and Carabali shrimp (*R. byrdi*) were also collected during all seasons but were not as abundant. The remaining species were absent in one or more seasons.

In the group of mollusks, the bivalves *Polymesoda* and *Anadara* and cephalopods of the genus *Loliguncula* were collected. Regarding the thimble squid *Loliguncula*

Loligunculla panamensis, sólo se encontraron individuos en la época de abril en la estación EE; en el golfo de California se ha registrado que la especie se desplaza según las ofertas de alimento (Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2012); se han realizado estudios sobre sus hábitos alimentarios en la costa pacífica colombiana (Barragán, 1977), registrando que los peces y crustáceos son la principal fuente de alimento. Los resultados del presente trabajo respecto a la mayor abundancia de *L. panamensis* en abril en EE sugieren que durante esta época se presentó allí una oferta ambiental que favoreció la presencia abundante de la especie.

En cuanto al grupo de los equinodermos, se encontraron sólo tres individuos de la estrella *Luidia columbia*, de la familia Luidiidae, que es una de las siete familias de equinodermos que habitan fondos blandos en el pacífico (Neira y Cantera, 2005). La baja representatividad concuerda con lo registrado por otros estudios en la zona donde se evidenció la escasa presencia de estas familias en fondos blandos debido a la preferencia de fondos duros como arrecifes rocoso y coralino, y litoral rocoso (Neira y Cantera, 2005). En relación al grupo de poliquetos, que son predominantes en la macrofauna de fondos blandos (Valencia *et al.*, 2014), no se colectaron en esta investigación debido a que no presentaron el tamaño suficiente para ser capturados por las redes de arrastre de ancho de ojo de malla de 2.54 cm (una pulgada).

La abundancia relativa de macroinvertebrados fue mayor en junio y menor en septiembre, y estuvo asociada de manera positiva a la salinidad del agua. En junio se presentó el pico de abundancia de la jaiba *C. arcuatus*. Se ha registrado que en las épocas de mayor salinidad se presenta el pico de reclutamiento de jaibas del género *Callinectes* en el Caribe (Valencia y Campos, 1996). Respecto a la especie *Penaeus occidentalis*, durante junio se presentó la mayor salinidad que coincidió con la presencia de algunos juveniles (n=5). Se ha registrado que el principal pulso de la migración de los juveniles desde las zonas de guardería hacia las zonas de camarones adultos ocurre entre mayo y junio (Pineda, 1992). En síntesis durante junio el estuario presentó altas salinidades que favorecieron la presencia y abundancia de los macroinvertebrados.

La riqueza de especies fue mayor en junio y menor en septiembre, y estuvo débilmente influenciada por la salinidad y el porcentaje de arcillas. El modelo de regresión evidenció que hubo mayor riqueza de especies entre mayor salinidad del agua y menor porcentaje de arcillas en el sedimento. Se ha registrado que en los meses de mayor precipitación en la

panamensis of Panama, individuals were only found in April at the OE station; in the Gulf of California, the species has been reported to move according to the food supply (Arizmendi-Rodríguez *et al.*, 2012), and studies have been conducted on their eating habits along the Colombian Pacific coast (Barragán, 1977), which report that fish and crustaceans are the main source of food. The results of the present work, i.e., the greatest abundance of *L. panamensis* being observed in April in the OE, suggest that, during this period, the food supply at the OE favored the abundance of this species.

As for the group of echinoderms, only three individuals of the starfish *Luidia columbia* of the family Luidiidae were found, representing one of the seven families of echinoderms that inhabit soft bottoms in the Pacific (Neira and Cantera, 2005). The poor representation agrees with that reported by other studies in the area that found a scarcity of these families in soft bottoms due to their preference for the hard bottoms such as found in rocky and coral reefs and rocky shores (Neira and Cantera, 2005).

Polychaetes, which are predominant among the soft-bottom macrofauna (Valencia *et al.*, 2014), were not collected in this investigation because they were not large enough to be captured by the trawl nets of 2.54 cm (one inch) mesh.

The relative abundance of macroinvertebrates was highest in June, lowest in September, and positively associated with salinity. In June, the abundance peak of the crab *C. arcuatus* was observed. In periods of highest salinity, the recruitment peak of crabs of the genus *Callinectes* occurs in the Caribbean (Valencia and Campos, 1996). Regarding the species *Penaeus occidentalis*, the highest salinity was observed in June, coinciding with the presence of a few juveniles (n=5). The main pulse of juvenile migration from nursery areas to adult shrimp areas are known to occur between May and June (Pineda, 1992). In summary, during June, the estuary presented high salinities that favored the presence and abundance of macroinvertebrates.

The species richness was highest in June, lowest in September, and weakly influenced by salinity and the percentage of clay. The regression model showed that species richness was greater with higher water salinity and lower percentage of clay in the sediment. In the highest rainfall months in the bay (September-

bahía (septiembre-noviembre) se incrementa la entrada de arcillas por erosión y escorrentía (Cantera y Blanco, 2001). En general, los resultados del estudio sugieren que en junio predominaron las condiciones de mayor salinidad en el estuario, en consecuencia se mantuvo rezagada la entrada de agua dulce y se favoreció la entrada de especies marinas, lo que aumentó el número de especies en el estuario.

En este estudio se encontraron tendencias espaciales en la riqueza de macroinvertebrados, siendo mayor en la zona externa de la bahía, caracterizada por condiciones marinas (EE y EM). Este gradiente también se registró en otros estudios en el Pacífico pues a mayor distancia de la desembocadura de los ríos, se empezaron a encontrar especies como cangrejos ermitaños (género *Clibanarius*) y estrellas de mar (género *Luidia*) (Norse y Estevez, 1977). En esta zona se encontraron seis especies exclusivas respecto a cuatro de la bahía interna. En la boca de la bahía, correspondiente a las estaciones marinas, se han registrado macroinvertebrados de amplio desplazamiento (Portunidae, Penaeidae, Palaemonidae, Calappidae y Loligunculla) (Cantera y Blanco, 2001), además, se encuentra el plano lodoso donde desemboca el río Anchicayá, en la estación EM. Esta interacción y oferta de microhábitats favorece la riqueza de macroinvertebrados por ser un ecotono entre el mar abierto y el estuario, donde hay presencia de especies marinas, especies del estuario y especies de la desembocadura del río Anchicayá.

CONCLUSIONES

En la bahía de Buenaventura la abundancia relativa de macroinvertebrados epibentónicos fue mayor en salinidades altas, la riqueza de especies fue mayor en aguas de mayor salinidad y en sedimentos con bajo contenido de arcilla, mientras la diversidad de Shannon fue mayor en sedimentos con alto contenido de gravas y aguas de alto pH. Tanto la riqueza como la abundancia de macroinvertebrados fueron mayores en junio y en las estaciones externas, debido a que en esta época y en estas estaciones predominaron las condiciones de mayor salinidad del estuario caracterizadas por sedimentos con poca materia orgánica y el tamaño de grano con tendencias hacia las arenas medias y finas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la facultad de Ingeniería y Administración de la Universidad Nacional de Colombia (sede Palmira) y a la Universidad Santiago de Cali por el

November), the introduction of clays reportedly increases due to erosion and runoff (Cantera and Blanco, 2001). In general, the results of the study suggest that, in June, conditions of higher salinity predominated in the estuary; consequently, a lag existed in the influx of fresh water, and marine species were favored, which increased the number of species in the estuary.

In this study, spatial trends were observed in the macroinvertebrate richness, which was higher in the outer zone of the bay, and these trends were characterized by marine conditions (OE and ME). This gradient was also reported in other studies in the Pacific because species such as hermit crabs (genus *Clibanarius*) and starfish (genus *Luidia*) were found (Norse and Estevez, 1977) farther from the mouths of the rivers. Six species were exclusive to the outer zone compared to four that were exclusive to the inner bay. At the mouth of the bay, corresponding to the marine stations, macroinvertebrates with wide distributions have been reported (Portunidae, Penaeidae, Palaemonidae, Calappidae, and Loligunculla) (Cantera and Blanco, 2001); in addition, a mudflat exists where the Anchicayá River empties at the ME station. This interaction and supply of microhabitats favors macroinvertebrate richness because it is an ecotone between the open sea and the estuary, where there is a presence of marine species, estuarine species, and species from the mouth of the Anchicayá River.

CONCLUSIONS

In Buenaventura Bay, the relative abundance of epibenthic macroinvertebrates was higher at higher salinities, species richness was greater in higher salinity waters and in sediments with low clay content, and diversity was greater in sediments with high gravel content and high water pH. The richness and abundance of the macroinvertebrates were greatest in June and in the outer stations because, in this season and at these stations, the higher salinity conditions of the estuary prevailed, characterized by sediments with little organic matter and medium-to-fine sand-grain size.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Faculty of Engineering and Administration of the National University of Colombia (Palmira Campus) and the Santiago de Cali

apoyo económico para la realización de este estudio. De igual manera, al grupo de Ecología y Contaminación Acuática (ECONACUA), por todo el apoyo logístico y el apoyo en la salidas de campo. De forma muy especial agradecemos a los coordinadores de los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.

University for the financial support to conduct this study. We also thank the group of Ecology and Aquatic Pollution (ECONACUA) for all the logistical support and assistance with the field trips. We especially thank the coordinators of the laboratories of the National University of Colombia, Palmira.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Allison, P.D. 1991. Logistic regression using the SAS system: theory and application. SAS Institute INC., Cary, North Carolina.
- Arizmendi-Rodríguez, D.I., C.A. Salinas-Zavala, C. Quiñonez-Velazquez y A. Mejía-Rebollo. 2012. Abundancia y distribución del calamar dedal, *Lolliguncula panamensis* (Teuthida: Loliginidae), en el golfo de California. *Cienc. Mar.*, 38(1A): 31-45.
- Baltazar, M. 1997. Estudio del contenido estomacal de cuatro especies de langostinos en la costa pacífica colombiana: *Penaeus vannamei* Boone (1931), *Penaeus occidentalis* Streets (1871), *Penaeus stylirostris* Stimpson (1871), *Penaeus californiensis* Holmes 1890 (Crustacea: Penaeidae). Tesis Pregrado Biología, Universidad del Valle, Cali. 106 p.
- Barragán, V.J. 1977. Estudio de la nutrición del calamar del Pacífico colombiano, *Lolliguncula panamensis* Berry (Cephalopoda: Myopsida). *Div. Pesq.*, 10:1-7
- Bayen, S. 2012. Occurrence, bioavailability and toxic effects of trace metals and organic contaminants in mangrove ecosystems: a review. *Environment International*, 48: 84-101.
- Bengtsson, G. and F. Picado. 2008. Mercury sorption to sediments: Dependence on grain size, dissolved organic carbon, and suspended bacteria. *Chemosphere*, 73(4): 526-531.
- Cantera, J.R., R. Neira y J. Tovar. 1992. Efectos de la polución doméstica sobre la macrofauna bentónica de sustratos blandos en la costa pacífica colombiana. *Revista de Ciencias*, 7: 21-39.
- Cantera, J.R. and J.F. Blanco. 2001. The estuary ecosystem of Buenaventura bay, Colombia. In *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Springer Berlin Heidelberg, 265-280 p.
- Cardoso, F. y F.G. Hochberg. 2013. Revisión del género *Lolliguncula* Steenstrup, 1881 (Cephalopoda: Loliginidae) frente a la costa del Pacífico de América del Sur. *Rev. Per. Biol.*, 20(2): 129-136.
- Carvajal, A., A. Ruiz, N. López, G. Calle, J. Pachón, N. Gutiérrez y J. Gutiérrez. 2011. Resultados y Análisis Municipal: Buenaventura. Cali, Colombia. http://www.valledelcauca.gov.co/salud/descargar.php?id=6710_01/03/2017
- Carvalho, A.N. and P.T. Santos. 2013. Factors affecting the distribution of epibenthic biodiversity in the Cávado estuary (NW Portugal). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 13(1): 101-111.
- Danovaro, R. 2010. Methods for the study of deep-sea sediments, their functioning and biodiversity. CRC Press.
- Dauvin, J.C. 2007. Paradox of estuarine quality: benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. *Mar. Pollut. Bull.*, 55(1): 271-281.
- FAO. 2009. The state of fisheries and aquaculture. 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 196 p.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer y K.E. Carpenter. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacífico centro-oriental. Volúmenes 1-3. FAO
- Furlan, M., A.L. Castilho, L.C. Fernandes-Goes, V. Fransozo, G. Bertini y R.C. Costa. 2013. Effect of environmental factors on the abundance of decapod crustaceans from soft bottoms off southeastern Brazil. *An Acad. Bras. Cienc.*, 85(4): 1345-1356.
- Green, R.H. 1979. Sampling design and statistical methods for environmental biologists. John Wiley and Sons, New York. 24-43
- Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa and R. Fujita. 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865): 948-952.
- Hernández, J.G. 2015. Asociaciones de poliquetos de fondos blandos en la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *RIAA*, 6(2): 75-84.
- Hernández, L. y J.A. Arreola-Lizárraga. 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Rev. Biol. Trop.*, 55(1): 225-233.
- Lambert, G.I., S. Jennings, M.J. Kaiser, H. Hinz and J.G. Hiddink. 2011. Quantification and prediction of the impact of fishing on epifaunal communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 430: 71-86.
- Lazarus, J.F. y J.R. Cantera. 2007. Crustáceos (Crustacea: Sessilia, Stomatopoda, Isopoda, Amphipoda, Decapoda) de Bahía Málaga, Valle del Cauca (Pacífico colombiano). *Biota Colombiana*, 8(2): 221-190.



- Lemaitre, R. y R. Álvarez-León. 1992. Crustáceos decápodos del Pacífico colombiano: lista de especies y consideraciones zoogeográficas. Bol. Invest. Mar. Cost., 21(1): 33-76.
- Lucero-Rincón, C.H., G. Bolívar, R. Neira y E.J. Peña. 2008. Utilización de la macrofauna bentónica como indicadora de calidad ambiental en la desembocadura del río Anchicayá, Pacífico colombiano. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente No. 7: 94-101.
- Lucero, C.H., J.R. Cantera and I.C. Romero. 2006. Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. Estuar. Coast. Shelf. Sci., 68(1): 17-26.
- Martins, B.A., R.T. Pereira, V. Fransozo, G.M. Teixeira, M. Furlan and A. Fransozo. 2014. Environmental factors modulating the abundance and distribution of *Callinectes danae* (Decapoda: Portunidae) from two areas of the southeastern coast of Brazil. Biologia, 69(10): 1356-1364.
- Murillo, C. 1988. Estomatópodos de la costa pacífica de Colombia e isla Gorgona (Crustacea: Stomatopoda: Squillidae: Gonodactylidae y Pseudosquillidae). An. Inst. Invest. Mar. Punta de Betín, 18: 95-112 p.
- Neira, R. y J.R. Cantera. 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico colombiano. Rev. Biol. Trop., 53(3): 195-206.
- Norse, E.A. and M. Estevez. 1977. Studies on portunid crabs from the eastern Pacific. I. Zonation along environmental stress gradients from the coast of Colombia. Mar. Biol., 40(4): 365-373.
- Otero, L. 2005. Aplicación de un modelo hidrodinámico bidimensional para describir las corrientes y la propagación de la onda de marea en la bahía de Buenaventura. Bol. Cient. CCCP, 12: 9-21
- Pineda, M. y N. Madrid. 1993. Evaluación de la biología y dinámica poblacional de la jaiba *Callinectes arcuatus* Ordway en el Pacífico colombiano. Tesis Pregrado Biología. Universidad del Valle. Facultad de Ciencias. 118 p.
- Pineda, F. 1992. Biología y dinámica poblacional del camarón de aguas someras *Penaeus occidentalis* Streets, durante el año 1991, en la costa Pacífica colombiana. En: Memorias del VIII Seminario Nacional de Ciencias del Mar, Santa Marta, Colombia, 782-796 p.
- SAS, Institute. 2012. SAS 9.4 for Windows. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sigotn.igac.gov.co/sigotn/página.aspx, consultado en 2007.
- Valencia, M.J. y N.H. Campos. 1996. Aspectos de la dinámica poblacional de jaibas *Callinectes sapidus* y *C. bocourti* de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano (Crustacea: Decapoda: Portunidae). Rev. Acad. Colomb. Cienc., 20(76): 121-129.
- Valencia, B., L. Herrera, and A. Giraldo. 2014. Community structure and vertical distribution of the soft bottom macrofauna on Isla Gorgona, Colombian Pacific. Rev. Biol. Trop. 62: 169-188.
- Wortham, J.L. 2009. Abundance and distribution of two species of *Squilla* (Crustacea: Stomatopoda: Squillidae) in the northern Gulf of Mexico. Gulf and Carib. Res. 21(1): 1-12.

RECIBIDO / RECEIVED: 24/05/2017

ACEPTADO / ACCEPTED: 29/08/2017