



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE CARIBE

CENTRO DE ESTUDIOS DE CIENCIAS DEL MAR  
CECIMAR

Contribuciones en Ciencias del Mar en Colombia

LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL MAR DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE COLOMBIA - 30 AÑOS DE LA BIOLOGÍA MARINA

## **Cuadernos del Caribe 14**

**LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL MAR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE COLOMBIA – 30 AÑOS DE LA BIOLOGÍA MARINA**

**Centro de Estudios en Ciencias del Mar, CECIMAR  
Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe**

**Santa Marta, 2010**

**FALTA LA BANDERA**

**Comité Editorial:**

Néstor Hernando Campos C.  
CECIMAR, Sede Caribe, Universidad Nacional de Colombia

Arturo Acero Pizarro  
CECIMAR, Sede Caribe, Universidad Nacional de Colombia

José Ernesto Mancera Pineda  
Sede Caribe, Universidad Nacional de Colombia  
Departamento de Biología, Sede Bogotá, Universidad Nacional de Colombia

**Evaluadores:**

Adriana Bermúdez, Universidad de Cartagena  
Andrés Franco, Universidad Jorge Tadeo Lozano  
Carlos Alberto Palacios, Universidad de Antioquia  
Juan Carlos Acosta, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla"  
Juan Carlos Narváez, Universidad del Magdalena  
Luis J. Otero Díaz, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH)  
Marcela Grijalba, Universidad Jorge Tadeo Lozano  
Paola Bautista, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR  
Sandra Vilardy, Universidad del Magdalena  
Ximena Restrepo, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR

**Asistente editorial:**

Mery Cecilia Cruz, Asistente CECIMAR, Sede Caribe, Universidad Nacional de Colombia

## ÍNDICE

	Página
Presentación.	5
<b>1- Aspectos Oceanográficos</b>	
Descripción de los patrones estacionales de circulación hidrodinámica en el golfo de Urabá (Colombia)	7
<i>Luis Javier Montoya Jaramillo, Mauricio Toro Botero, Andrés Gómez-Giraldo.</i>	
Monitoreo marino-costero y fluvial basado en cámaras de vídeo: evolución del proyecto Horus	
<i>Andrés F. Osorio, Cristian A. Ortiz, Juan C. Pérez, Raúl Medina</i>	
Variabilidad estacional e interanual océano-atmósfera en la cuenca Colombia.	
<i>Gladys Bernal; Mauricio Ruiz-Ochoa, Emilio Beier.</i>	
<b>2- Aspectos biológicos.</b>	
Variación genética temporal del caracol pala ( <i>Strombus gigas</i> ) evidenciada por microsatélites en el Atolón Bolívar, Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	
<i>Ricardo M. Landínez-García, J.D. Rangel-Medrano, Erick R. Castro-González, Edna Márquez</i>	
Riqueza y distribución geográfica de los crustáceos decápodos del mar Caribe colombiano.	
<i>Néstor Hernando Campos, Gabriel R. Navas S., Adriana Bermúdez Tobón</i>	
Caracterización de la actividad y el esfuerzo de la pesca artesanal en las Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano	
<i>Jairo H. Medina Calderón, Arturo Acero P., Adriana Santos-Martinez</i>	
Actividad antimicrobiana de bacterias asociadas al caracol pala ( <i>Strombus gigas</i> ) de la costa Caribe colombiana	
<i>Claudia Ximena Moreno Herrera, Eliana Gómez Ocampo, Olga Pérez, Magally Romero, Gloria Ester Cadavid.</i>	
<b>3. Las Ciencias del Mar en la Universidad Nacional de Colombia</b>	
La línea de Biología Marina, del posgrado en Ciencias, Biología de la Universidad Nacional de Colombia: 1979-2009, 30 años de actividad.	
<i>Néstor Hernando Campos C., Arturo Acero P., Sven Zea</i>	

## **PRESENTACIÓN**

De acuerdo con lo planteado en el documento Visión Colombia II Centenario 2019, una de las acciones identificadas como fundamentales para el futuro de la nación colombiana, es la inclusión del mar en el desarrollo del país, aprovechando todas sus potencialidades. Este reconocimiento del mar como fuente de alternativas para el desarrollo nacional y proyección internacional, recién empieza a pasar del campo puramente discursivo, donde se ha mantenido por varias décadas, a la dimensión real. En este proceso de desarrollo e implementación de política pública, varios actores juegan un papel importante, entre ellos la academia.

El Centro de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, unidad académica básica de Investigación y formación, vinculado en 2001 a la Facultad de Ciencias de la sede Bogotá y trasladado en 2008 a la sede Caribe, ha venido desde hace tres décadas, canalizando esfuerzos de investigación y formación marina a nivel de posgrado.

Con el propósito de fortalecer la participación de la Universidad Nacional de Colombia en los espacios costeros y generar un fuerte impulso a las ciencias del mar, en agosto de 2008 la Dirección de la sede organizó con el apoyo de la Vicerrectoría General, un taller de prospectiva y articulación del CECIMAR a la sede Caribe.

En el mencionado taller se reconoció el papel que el posgrado en biología marina desarrollado en el CECIMAR, con cohortes en Santa Marta y San Andrés isla, ha jugado en el desarrollo de las ciencias del mar en Colombia, a través de la investigación y formación de capacidades. Producto de esta formación hay varios grupos de investigación trabajando en las sedes Caribe, Bogotá, Medellín y Palmira y con proyección al Pacífico a través de la sede Tumaco-Pacífico.

Dentro de los resultados del taller se destacó el del fortalecimiento del CECIMAR, como eje articulador del desarrollo de actividades de docencia, investigación y extensión en ciencias del mar en la Universidad Nacional de Colombia, y núcleo para la participación de todas y cada una de las unidades académicas que realicen actividades en el mar. Prueba de esta capacidad articuladora, fue el simposio “Contribuciones en Ciencias del Mar en Colombia: LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL MAR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – 30 AÑOS DE LA BIOLOGÍA MARINA”. En dicho simposio, adelantado en la sede Caribe, se dieron cita diferentes grupos de investigación de la Universidad Nacional, los cuales presentaron avances de sus más recientes investigaciones. En el presente documento, se incluyen algunos de los trabajos presentados en San Andrés y que aún no han sido objeto de publicación.

Esperamos que con esta publicación y todas las actividades que la sede Caribe adelanta, se estimule el deseo por mejorar el conocimiento de los ecosistemas marinos colombianos.

José Ernesto Mancera Pineda  
Director sede Caribe

## 1. ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

# **DESCRIPCIÓN DE LOS PATRONES ESTACIONALES DE CIRCULACIÓN HIDRODINÁMICA EN EL GOLFO DE URABÁ (COLOMBIA)**

Luis Javier Montoya Jaramillo, Mauricio Toro Botero M. y Andrés Gómez-Giraldo

Grupo OCEANICOS, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Facultad de Minas

## **RESUMEN**

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación realizada sobre los patrones de circulación hidrodinámica en el Golfo de Urabá (Colombia), utilizando la simulación matemática como herramienta de análisis. Para la simulación se utilizó el modelo ELCOM, el cual fue calibrado y validado con información de campo recolectada durante seis campañas realizadas entre los años 2004 y 2007, información que incluyó perfiles de temperatura y salinidad, ph, turbidez, en una red de puntos de monitoreo diseñada para cubrir todo el golfo. La información climatológica (precipitación, humedad relativa del aire, temperatura del aire, radiación solar, etc.) se obtuvo de estaciones locales; y la información hidrológica (caudales de los ríos afluentes) se obtuvo a partir del modelo HidroSIG Java, desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia. La información de los dos principales agentes forzadores de la hidrodinámica, campo de vientos y mareas, también se obtuvo también de estaciones cercanas a la zona de estudio y de un análisis de componentes astronómicas de marea, utilizando información de la estación de San Cristóbal, Panamá. Después de hacer un análisis de sensibilidad del modelo a los diversos parámetros (numéricos y físicos), se procedió a la calibración del modelo con unas de las series de campo y finalmente a su validación con información no utilizada en la etapa de la calibración. En estas dos etapas se identificaron el campo de vientos y la marea como los agentes forzadores dominantes de la circulación en el Golfo, concentrándose sus efectos sobre la dispersión de la pluma del río Atrato sobre el golfo de una manera que depende de la estación climática regional: En la época seca, la pluma del río Atrato se favorece para ser evacuada del golfo creando una zona de salinidad alta en el sur, en la bahía Colombia, dándose un ascenso de la haloclina hasta profundidades alrededor de los 2 m. En la época de lluvias, la pluma es deflectada hacia el sur, bajando la salinidad en la bahía Colombia y profundizándose la haloclina. Finalmente, se

utilizó el modelo para realizar predicciones a cerca de los patrones típicos mensuales de circulación en el golfo.

**Palabras Claves:** Simulación Matemática, Pluma del río Atrato, Patrones de circulación, Golfo de Urabá

## ABSTRACT

### **Description of the seasonal hydrodynamic circulation patterns in the Gulf of Urabá (Colombia).**

In this work the results of a research over the circulation patterns in the Gulf of Urabá (Colombia), using a numerical Model (ELCOM) as the analysis tool, is presented. For the numerical simulations, The ELCOM model was used and was calibrated and validated with 6 field campaigns developed during the years 2004-2007, information that included temperature and salinity profiles, pH, turbidity in a selected network that covers the entire Gulf. Climatic information (precipitation, air relative humidity, air temperature, solar radiation, etc.) were obtained from local stations and the hydrologic information (river discharges) were obtained from the software HidroSIG Java, developed by The National University of Colombia. Information of the two main forcing agents of the Gulf hydrodynamics, wind field and tides, were obtained from local stations and from a astronomical constituents frequency analysis done from timer series data from the San Cristobal, Panama, tide station. After a sensitivity analysis of the ELCOM model to numerical and physical parameters were performed, the calibration of the model was done with some of the data collected during the mentioned field campaigns and the model validation was done with the field data not used during the calibration step. During these two steps the wind field and the tides were identified as the two dominant factors of the Gulf circulation patterns, domination concentrated in the spreading of the Atrato river plume over the Gulf, spreading that depended on the two typical climatic seasons: during the dry season, the plume leaves the Gulf directly to the north-east producing relative high salinities in the south, Bahia Colombia, showing a movement of the halocline towards the surface to depths near 2 m. During the rainy season, the plume is deflected south, towards the Bahia Colombia producing low salinities and a deepening of the halocline. Finally, a monthly typical circulation pattern was simulated.

**Key words:** Numerical Modeling, Atrato river plume, Circulation patterns, Gulf of Urabá

## INTRODUCCIÓN

El golfo de Urabá se encuentra localizado en el extremo sur de la costa Caribe Colombiano, entre los 7°55' y 8°40' de latitud norte y los 76°53' y 77°23' de longitud oeste (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El golfo se caracteriza por su forma alargada, semi-cerrada, orientado en dirección norte-sur con una longitud aproximada de 80 Km, con un ancho promedio de 25 Km en dirección este-oeste, con bajas profundidades, con un promedio de 34 m y máximas de 80 m, y con fondos lodosos y sedimentarios productos de la fuerte sedimentación en los ríos (Chevillot *et al.*, 1993). Esta topografía del fondo es, relativamente uniforme, de forma cóncava y con pendientes más abruptas hacia la margen oeste (Chevillot *et al.*, 1993).

En el campo de la oceanografía física son pocos los estudios que se han realizado en el golfo de Urabá, entre los que se pueden mencionar el de Molina *et al.* (1992) y el de Chevillot *et al.* (1993), los cuales presentan una descripción de las corrientes en el golfo apoyándose en los patrones en las plumas de sedimentos del río Atrato analizados con imágenes satelitales. Dichos estudios presentan una corriente de entrada por la margen occidental y otra de salida por la margen oriental. También describen una deriva litoral en la costa en sentido norte a sur en ambas márgenes.

Estos autores asocian las corrientes en el golfo con las dos épocas climáticas de la zona las cuales, a su vez, están influenciadas por el ciclo de vientos. Chevillot *et al.* (1993) en sus reportes de salinidad muestran fuertes variaciones en la salinidad en las aguas del golfo entre la temporada lluviosa y seca, registrando mayores salinidades en la época lluviosa, especialmente al sur en la bahía Colombia, comportamiento que explican por el régimen de vientos. En la época seca, los vientos son particularmente activos y provenientes del norte o nordeste y confinan las aguas de los ríos al interior del golfo, mientras que en la época húmeda los vientos soplan en dirección contraria favoreciendo que las descargas de los ríos sean evacuadas del golfo.

Lozano (1998) menciona que las altas velocidades y la alta persistencia de la dirección del viento durante la época seca, incrementan la frecuencia de los oleajes fuertes del noroeste (NW) y resalta el papel que tiene el viento en la distribución de salinidad y temperatura en el golfo.

Silva *et al.* (1978) reportan que el régimen de circulación al interior del golfo es complejo, por ser el resultado de la combinación de factores como mareas, oleaje, vientos superficiales, aportes fluviales de los ríos Atrato y León, diferencias de densidad, efecto Coriolis y diferencias de presión barométrica. Las mareas originan corrientes norte-sur durante su ascenso y sur-norte en el período de descenso. El oleaje genera corrientes paralelas a las costas, que son posiblemente los responsables de los movimientos de arenas y variaciones de las líneas de playa. Los aportes de los ríos Atrato y León generan corrientes sur-norte, dependiendo del régimen de descarga de estos ríos. Ahora, como todas las variables que influyen en la generación de corrientes son independientes entre si, algunas presentan patrones de variación cíclicos predecibles, mientras que otras varían en forma aleatoria, dándose una combinación de todas que produce un patrón de circulación discontinuo no uniforme. De acuerdo a observación de fotografías aéreas se tiene una corriente sur-norte, recostada a la costa este del golfo lo cual es explicable si se tiene en cuenta el efecto Coriolis y las corrientes generadas por el oleaje (Silva *et al.*, 1978).

La descarga del río Atrato afecta la hidrodinámica de la zona generando un comportamiento de tipo estuarino, formando una capa superficial menos densa. Una adecuada caracterización del área de influencia de estas descargas contribuye a identificar sus efectos sobre la zona costera (Bernal *et al.*, 2005). Álvarez (2008) investigó los sedimentos superficiales del fondo marino en el golfo de Urabá con el objeto de establecer patrones de la dispersión de los sedimentos y encontró que las direcciones de transporte de los sedimentos siguen un patrón que integra la circulación superficial a lo largo del ciclo anual, consistente con los descritos en los estudios de Chevillot *et al.* (1993), Montoya y Toro (2006) y Roldán (2008).

Otros estudios como los de Urbano (1993), Franco y Gómez (1996), Velásquez y Rave (1996), Robertson y Martínez (1999), Universidad Nacional-Corporación (1998), Velásquez (2000) y Correa y Vernet (2004) se concentran en la problemática de la dinámica costera, en los problemas de erosión y sedimentación, desde una perspectiva geológica o geomorfológica de los procesos en la zona.

Son pocos los estudios que se han realizado sobre la estratificación vertical en las aguas del golfo, la cual puede constituir un elemento importante para explicar la circulación hidrodinámica en esta zona, caracterizada por una gran variabilidad de regímenes de circulación y por unos fuertes gradientes en salinidad y temperatura. En uno de sus primeros estudios, utilizando modelación matemática validada con mediciones de campo, Montoya y Toro (2006) encontraron también que la estructura de la pluma estuarina formada por la descarga del río Atrato en el golfo está influenciada por varios factores como los vientos, las corrientes asociadas a las mareas, los caudales del río, el efecto de la contracorriente Panamá-Colombia, encontrando que el agua dulce del río Atrato se dispersa y queda atrapada en las capas superficiales, formando un frente estuarino. Cuando los vientos soplan del suroeste, la circulación de dicha pluma es hacia el noreste, saliendo del golfo por el flanco oriental y dejando la zona sur (la bahía Colombia) con valores altos de salinidad. Por otro lado, cuando los vientos soplan del noroeste o no se presentan vientos, la pluma alcanza gran parte de la bahía Colombia, al sur del golfo.

En un estudio reciente, Roldán (2008) utilizando simulaciones numéricas soportadas con datos de campo, explica el patrón de circulación en la bahía Colombia para las dos épocas climáticas extremas, encontrando que en la Bahía Colombia se generan dos capas, una superficial de agua dulce de 4 m de profundidad en la época húmeda y de 6 m en la época seca y debajo de ésta una capa más densa de aguas marinas. Los resultados muestran que las corrientes superficiales son generadas por la acción combinada de los vientos y el caudal de los ríos, describiendo dos patrones típicos al interior de la bahía, uno para la época húmeda caracterizado por la presencia de dos vórtices uno occidental que gira en sentido horario y un segundo, al oriente, girando en sentido antihorario, produciendo una corriente en sentido sur-norte relativamente fuerte. En la época seca, el

patrón de circulación en superficie se caracteriza por corrientes en sentido norte-sur, confinando las aguas dulces en el sur de la bahía, las cuales son evacuadas a través de una contracorriente profunda hacia el norte que se extiende por todo el dominio a profundidades mayores de 4 m.

En este estudio se realizaron una serie de mediciones entre los años 2004 a 2007, que sirvieron para calibrar y validar un modelo hidrodinámico, que permitió aproximarnos a los patrones de circulación. Utilizando modelos numéricos, calibrados y validados con los datos obtenidos de seis campañas de medición se analizó la hidrodinámica del golfo de Urabá. Los resultados de diferentes escenarios de simulación permitieron analizar la circulación en el golfo bajo diferentes condiciones climáticas. Se realizó una descripción general del patrón de circulación considerando su estructura en las tres dimensiones y la variabilidad espacial y temporal inducida por la pluma del río Atrato. Los patrones aquí descritos pueden ser útiles para la gestión de la zona de estudio, describiendo las principales características de la circulación en la zona. A diferencia de varios estudios previos, se presentan no solo las características superficiales sino que se presenta también la estructura vertical de dichas corrientes.

### **Características climáticas del golfo de Urabá**

Dada su ubicación geográfica, el golfo de Urabá presenta un clima que se encuentra afectado por la ubicación de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) el cual muestra dos períodos climáticos bien marcados que coinciden con las épocas de estiaje y de lluvias: durante la época de estiaje (los meses de diciembre a marzo), dominan los vientos alisios del nordeste provenientes del mar Caribe cuando la ZCIT se encuentra al sur, ocupando una posición septentrional en el Pacífico. Durante el resto del año se tiene una época de lluvias coincidente con los vientos alisios del sudoeste, cuando la ZCIT se encuentra sobre la costa pacífica del Chocó. Las temperaturas medias diarias en la zona se encuentran entre 26 °C y 28 °C, con máximos en los meses de marzo a junio y mínimos en febrero, agosto y octubre (INVEMAR, 2003) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a). La humedad relativa media mensual fluctúa entre 78.9% y 88.7%, con valores mensuales más bajos

hacia el norte y en los meses de febrero y marzo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). b). La radiación solar promedio en la zona es de  $329.5 \text{ W/m}^2$ , con valores máximos diarios que oscilan entre  $694 \text{ W/m}^2$  y  $841 \text{ W/m}^2$ , presentando mayores valores en los meses de abril y septiembre (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** c). Por la alta humedad presente en la zona, se tienen valores altos de cobertura de nubes de alrededor del 69.8 %. La precipitación anual en las estaciones en la zona (según datos del Hidrosig java, Vélez *et al.*, 2000) oscilan entre 4500 y 1500 mm, con una tendencia monomodal a lo largo del año, especialmente notoria en las estaciones ubicadas al occidente del golfo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** d), donde se observan menores precipitaciones hacia el norte del golfo y mayores valores en la zona sur y en la margen occidental del mismo. En algunas estaciones se observa una leve tendencia a la disminución de los niveles pluviométricos durante los meses de junio y julio con respecto a los registrados de mayo a noviembre (INVEMAR, 2003). Valores de evaporación medida en las estaciones Riogrande, el Mellito y Arboletes, registran valores anuales de 1075 mm, de 1119 mm y de 1414 mm, respectivamente, con valores máximos en los meses de marzo y julio y mínimos en junio y octubre (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e). Estas temporadas climáticas se manifiestan en el comportamiento de los vientos afectados por la localización de la ZCIT (Universidad de Antioquia, 1997). La circulación de los vientos se puede definir por los vientos alisios del norte (INVEMAR, 2003), entre los meses de enero y marzo con valores promedios diarios entre 3.3 m/s y 3.8 m/s, mientras que para el período de lluvias, de mayo a noviembre, los vientos dominantes vienen del sur con velocidades medias diarias inferiores a 2.2 m/s. En la estación Los Cedros, al sur de la zona de estudio los vientos predominantes son hacia el norte, noroeste y noreste (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** f) con una componente proveniente del noroeste con una gran persistencia a lo largo de todo el año y con velocidades altas, particularmente en la época seca. La estación Turbo (ubicada en la zona central de la zona de estudio) mostró dos componentes principales del viento, una del norte y otra del sur ambas con gran persistencia (correspondientes a la temporada húmeda y seca), con mayores velocidades en las direcciones sur y sur-este (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** g).

## **Principales afluentes al golfo de Urabá**

Los principales ríos que desembocan al golfo son el río Atrato, el río León, el río Turbo, el río Caimán Viejo, el río Caimán Nuevo y el río Currulao. La descarga del río Atrato es muy superior a las de las otras corrientes con caudales entre 2500 m<sup>3</sup>/s en los meses más secos en marzo y 5000 m<sup>3</sup>/s en los meses más lluviosos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), comportamiento consistente con las temporadas descritas (Lozano, 1998; Lonin y Vasquez, 2005; Silva *et al.*, 1978; Comisión Técnica Francesa, 1984 y Restrepo y Kjerfve B., 2000). Estos caudales son reportados en estaciones aguas arriba de la descarga al golfo, los caudales en la desembocadura en este estudio se estimaron utilizando técnicas hidrológicas de balances hídricos como la presentada por Vélez *et al.* (2000) (utilizando el software HidroSIG Java).

## **Mareas**

En la zona de estudio se tiene un régimen micromareal, con mareas de amplitud de no más de 40 cm (ver Correa y Vernete, 2004 y Silva *et al.*, 1978). El mareógrafo más cercano es el de San Cristóbal en Panamá (ubicado en la latitud 9° 21' N y los 79° 54' W de longitud) a cuyos registros horarios se les realizó un análisis de las frecuencias astronómicas principales eliminando los efectos meteorológicos y locales de la señal (Cardona y Fernández, 2002 y Pawlowicz *et al.*, 2002). Las cinco componentes de la marea más significativas se presenta en la 0 (ver Montoya y Toro, 2006).

## **MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL GOLFO DE URABÁ**

### **Características del modelo hidrodinámico utilizado**

En este estudio se utilizó el modelo ELCOM, desarrollado por el “Centre for Water Research”, CWR, de la Universidad de Australia Occidental, el cual resuelve las ecuaciones de transporte de Reynolds y una ecuación para transporte de especies, usando la aproximación de Boussinesq y despreciando los términos no hidrostáticos de la presión. La evolución de la superficie libre se encuentra de la

integración vertical de la ecuación de conservación de masa. Para el manejo de la turbulencia, el modelo utiliza una aproximación del coeficiente de torbellino en la horizontal (Hodges, 2000; y Hodges, y Dallimore, 2001) y un modelo uni-dimensional de mezcla en la vertical (Imberger y Paterson, 1990). El mezclado vertical se calcula utilizando un esquema explícito de balance de energía cinética turbulenta que se aplica en cada paso temporal (Hodges, 2000; y Hodges, y Dallimore, 2001), balance que se hace a partir del esfuerzo inducido por el viento en la superficie, el cual introduce un flujo de momentum que se distribuye en la vertical utilizando un modelo de capa de mezcla. Para la solución numérica de las ecuaciones se utiliza un método semi-implícito con una discretización cuadrática tipo Euler-Lagrange de los términos advectivos en las ecuaciones de momentum (Casulli y Cheng, 1992) y el esquema ULTIMATE QUICKEST para un adecuado manejo de los términos advectivos en la ecuación de transporte para los escalares (Leonard, 1991).

### **Calibración y validación**

Se realizaron seis campañas entre el 2004 y el 2007, en un total de 221 estaciones en las que se tomaron perfiles de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto utilizando un CDTO Seabird (en las tres primeras campañas) y con sonda multiparamétrica en IQ net system 2020 XT marca WTW( en las tres últimas campañas). Los datos de estas campañas fueron utilizados para la calibración y validación del modelo. Con la información recolectada en la primera campaña se ajustaron uno a uno diferentes parámetros comparando los resultados de las una serie de experimentos numéricos o simulaciones con datos de campo en las estaciones en donde se realizaron las mediciones. Se utilizaron valores de los parámetros dentro de rangos físicos reportados en la literatura y se seleccionó el valor que ofreciera una mejor aproximación para luego continuar con el ajuste de otro parámetro. Los parámetros, coeficientes y variables que se calibraron fueron: el modelo de mezcla, el coeficiente de difusión turbulenta, el porcentaje de distribución de la descarga del río Atrato por las diferentes bocas, el mezclado en el campo cercano y el coeficiente de extinción de la luz. La 0 resume las principales características que fueron tenidas en cuenta en las simulaciones realizadas para la calibración.

Los datos recolectados en las otras campañas fueron utilizados en la validación del modelo, obteniéndose buenos ajustes al comparar los perfiles de temperatura y salinidad medidos con los simulados para las condiciones de las diferentes campañas así: error medio cuadrático entre 1.43 ups y 5.5 ups (para la salinidad en la tercera y cuarta campañas, respectivamente) y entre 0.47 °C y 1.62 °C (para la temperatura en la segunda y sexta campañas, respectivamente) y valores entre estos rangos para las otras campañas.

## CIRCULACIÓN ESTACIONAL EN EL GOLFO DE URABÁ

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones para obtener las condiciones típicas de los patrones mensuales de circulación en el Golfo de Urabá.

### Características generales de la circulación

Para analizar la dinámica estacional del golfo de Urabá se consideró el efecto conjunto del esfuerzo generado por el viento, las corrientes inducidas por las mareas y la circulación baroclínica por la descarga del río Atrato, considerando como variable dominante viento en las diferentes temporadas climáticas. Se realizaron simulaciones con condiciones de viento del año 2006 extraídas del proyecto NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay *et al.*, 1996).

Todas estas simulaciones mostraron una circulación típica de un estuario fuertemente estratificado, con el desarrollo de una pluma del río que se extiende por gran parte del golfo y que afecta principalmente las capas superficiales. Las características de esta capa superficial de agua dulce varían a lo largo del golfo como consecuencia del mezclado producido por el viento y la marea. La pluma generada por el río Atrato tiene características superficiales, ocupando no más de 2 m de profundidad, recostada a la margen oriental del golfo y cubriendo gran parte de él, con una tendencia hacia el noroeste, siguiendo el alineamiento impuesto por la línea de costa y saliendo del

golfo recostada al la margen noreste. Se encontraron salinidades en las capas superficiales entre 10 ups (incluso menores en cercanías a las bocas de los ríos) y 36 ups en las zonas oceánicas al noroeste y en las capas más profundas, con un patrón de circulación superficial complejo, con una dirección dominante de la corriente superficial hacia el noreste y con variaciones de acuerdo al ciclo de las mareas. Este efecto fue más notorio en las capas más profundas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), en donde se presenta la velocidad zonal a lo largo del corte A-A (ver localización en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (b)) que se muestra como un flujo superficial en los 2 m que sale del golfo y un flujo y reflujo en las capas inferiores (por debajo de 2 m) de acuerdo con la marea. La capa superficial que sale del golfo, presentó mayor magnitud en las velocidades que la capa más profunda donde las velocidades disminuyen rápidamente con la profundidad, variando su dirección en un ciclo diario que sigue la marea.

Este flujo estratificado es producido por las descargas de los ríos, particularmente las del río Atrato y del río León, los cuales generan una capa superficial de aguas menos saladas, aguas afectadas directamente por el campo de vientos y que es evacuada del golfo por la margen noreste; mientras que la capa más profunda está mucho más afectadas por el movimiento periódico inducido por la marea, generando un flujo que entra o sale del golfo a diferentes horas del día. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan la variación de la salinidad a lo largo del corte A-A, en dirección sur-norte, y la posición de la haloclina, determinada como la profundidad a la cual se presenta el mayor gradiente vertical de salinidad. Se pueden observar zonas perfectamente distinguibles: una zona superficial hasta profundidades de casi 2 m con salinidades por debajo de las 25 ups y que identifica la pluma de aguas fluviales, y una segunda zona de profundidades mayores a 2 m con salinidades oceánicas. El flujo de entrada debe compensar agua salada arrastrada por las capas superficiales, con lo que en promedio el flujo de entrada por una sección transversal al golfo es igual al flujo de salida de las capas superficiales, el que es igual al caudal descargado por el río.

## Características estacionales de la circulación

Para analizar las características estacionales de la circulación en el golfo de Urabá, se utilizaron campos de vientos de cada uno de los meses del año. Dada la información disponible, las rosas de viento para los diferentes meses del año 2006 que se utilizaron en las simulaciones se muestran en la **(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** en la cual se observan que los meses de la temporada seca (**(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** (a), (b) y (c)) tienen componentes principalmente suroeste, con presencia de vientos en las otras direcciones, manifestando una mayor variabilidad en la dirección del viento que el resto del año y en el cual, el mes de abril, puede considerarse como una situación de transición. Los vientos con dirección predominante noreste entre junio y noviembre (**(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** (e) - (k)), con una situación de transición durante diciembre (**(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** (l)) representan el campo de vientos utilizado para la estación climática seca.

Se realizaron simulaciones durante todo el año con el fin de analizar el comportamiento de las corrientes en el golfo en respuesta a estas condiciones de viento y los resultados que se presentan corresponden a la velocidad y a la salinidad en superficie, por ser éstas las variables que presentan mayores cambios en respuesta a estos cambios en el viento. Para el análisis se consideraron tres temporadas: seca, transición y lluviosa.

En la **(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los patrones de velocidad y de salinidad promedio simulados para algunos meses del año 2006, la situación de la temporada seca (**(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** (a) y (b)), un caso de transición (**(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** (c) y (d)) y la temporada húmeda (**(iError! No se encuentra el origen de la referencia.** (e) y (f)).

### **Escenario en la temporada seca**

En los meses de la temporada seca, cuando los vientos son principalmente del suroeste (**¡Error!**

**No se encuentra el origen de la referencia.** (a) y (b)), la **¡Error! No se encuentra el origen**

**de la referencia.**(a) presenta la distribución de salinidad y las velocidades en la superficie obtenida

en las simulaciones del mes de enero de 2006 y la **¡Error! No se encuentra el origen de la**

**referencia.** (b) muestra la situación obtenida para el mes de febrero de 2006. Se observa que la

influencia del agua descargada por el río Atrato ocupa una mayor extensión en el golfo, generando

una zona de agua dulce al sur, en bahía Colombia y una pluma que sale alcanza la costa oriental del

golfo, deflectándose hacia el norte.

### **Escenario en los meses de transición**

En algunos meses se presentan situaciones de transición, en los cuales los vientos presentan mayor

variabilidad, especialmente en su dirección (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (d) y

(l)). Para ilustrar los patrones superficiales obtenidos en esta situación se presenta en la **¡Error! No**

**se encuentra el origen de la referencia.** (c) y (d) la velocidad y salinidad promedio en los meses de

marzo y abril de 2006, en los cuales aparece una zona de altas salinidades al sur en bahía Colombia,

una menor extensión de la zona de influencia fluvial y una mayor mezcla. Se observa también que

para este caso la pluma presentó una mayor extensión hacia el oeste, posiblemente en respuesta a

los vientos.

### **Escenario en la temporada húmeda**

En los meses de la temporada húmeda, los vientos son principalmente del noreste (**¡Error! No se**

**encuentra el origen de la referencia.** (f) a (k)), propiciando la evacuación de las aguas del río y

generando una zona de agua salada al sur, en bahía Colombia, (**¡Error! No se encuentra el origen**

**de la referencia.** (e) mes de septiembre y (f) mes de noviembre), y una pluma fluvial de mayor extensión, con dirección noreste. Durante las simulaciones en esta temporada se observa una zona de influencia oceánica al noreste con salinidades altas, que casi no se ve afectada por la descarga del río Atrato.

Aunque no son muy grandes las diferencias en las velocidades entre los diferentes meses, la temporada lluviosa presentó las velocidades con magnitud levemente más alta, posiblemente en respuesta a vientos más intensos y persistentes y a mayores descargas del río en dicha temporada.

En la **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se compara la variación temporal de la salinidad en tres puntos de monitoreo: P1 ubicado al norte del golfo, P2 en la zona central y P3 al sur en bahía Colombia (ver localización en la **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (b)). Se comparan los resultados obtenidos en el mes de enero que se consideran típicos de la temporada seca y el mes de octubre típico de la temporada húmeda. Estos puntos de monitoreo permiten ilustrar que las mayores diferencias en salinidad se producen en la capa superficial, mientras que por debajo de los 4 m de profundidad, el comportamiento es homogéneo. La **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (b), (d) y (e) que ilustran los perfiles durante la temporada lluviosa, muestran una pluma más superficial, con una haloclina levemente superior que la que se genera durante la temporada seca, posiblemente por el transporte inducido por el viento en estas capas superficiales que propician la salida de la pluma del río durante la temporada lluviosa. La **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (e), en la temporada seca en bahía Colombia se pueden observar valores de salinidades en la capa superficial superiores a los obtenidos durante la temporada lluviosa **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (f), en respuesta a los vientos que ahora dirigen parte de la pluma hacia el sur. Se observa una haloclina un poco mas profundizada, alrededor de 3.5 m, reflejo de una mayor mezcla al interior de la pluma, en los meses de enero y febrero. Un factor importante para los meses de la temporada seca es el gradiente de presión generado por el aumento en la superficie libre en cercanías a la descarga de los ríos y en bahía Colombia por la masa de agua

arrastrada hacia estas zonas, este gradiente induce un flujo que propicia la salida de la pluma del golfo.

## **CONCLUSIONES**

Del análisis del ciclo anual de la pluma se encontró que en los meses de enero y febrero, cuando los vientos son del norte, la pluma del río Atrato ocupa una mayor extensión en el golfo, generando una zona de agua dulce al sur, en bahía Colombia, e induciendo mucha más mezcla de la pluma, mientras que en meses de mayo a noviembre, cuando los vientos son principalmente del sur, se propicia la evacuación de las aguas del río y se genera una zona de agua salada al sur en bahía Colombia. En los otros meses se presentan situaciones de transición, en donde la pluma toma diferentes patrones de acuerdo a las características de los vientos. Durante todo el año, independientemente del ciclo de vientos se encontró que por debajo de los 4 m de profundidad la salinidad es prácticamente constante con valores oceánicos. En los meses de enero y febrero, se nota una leve profundización de la haloclina en bahía Colombia, con mayor mezcla al interior de la pluma.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a las siguientes instituciones por su colaboración en la presente investigación: 1.) Colciencias por el patrocinio del programa de Doctorado del autor principal; 2) Al “Centre for Water Research” de la Universidad “Western Australia” por el soporte técnico en el uso y aplicación del modelo ELCOM; 3) Al fondo ISA – Universidad Nacional quien financió la campaña de mediciones; 4) Al INVEMAR y el personal técnico del BI/Ancón por su apoyo para las mediciones.

## **BIBLIOGRAFIA**

Álvarez, A. 2008. Estudio del transporte de sedimentos superficiales en el piso marino del Golfo de Urabá. Medellín: Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia.

Álvarez, A., y Bernal, G. 2007. Estimación del campo de transporte neto de sedimentos en el fondo de Bahía Colombia con base en análisis de tendencia del tamaño de grano. Avances en recursos hidráulicos. 16, 41-50.

Bernal, G., Montoya, L., Garizabal, C., y Toro, M. 2005. La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del golfo de Urabá, Colombia. Gestión y Ambiente. 8 (1), 123-135.

Cardona, Y., y Fernández, J. 2002. Análisis de mareas por el método de la descomposición en armónicos. Medellín: Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia .

Casulli, V., y Cheng, R. 1992. Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow. International Journal for numerical methods in fluids. 15, 629-648.

Chevillot, P., A., M., Giraldo, L., y Molina, C. 1993. Estudio geológico e hidrológico del golfo de Urabá. Boletín científico CIOH. 14, 79-89.

COMISIÓN TÉCNICA FRANCESA. 1984. Golfe d'Uraba; Etudé d'Environnement, recommandations pour l'Etudé du futur port. Informe técnico.

Correa, I., y Vernet, G. 2004. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana. Boletín Investigaciones Marinas y Costeras. 33, 7-28.

Franco, E., y Gomez, J. 1996. Evolución de la línea de costa del litoral Antioqueño. Aspectos geomorfológicos. Sector río Necoclí-Turbo. Medellín: Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia.

Hodges, B. 2000. Numerical Techniques in CWR-ELCOM (code release v.1). Perth: Centre for Water Research.

Hodges, B. R., y Dallimore, C. 2001. ELCOM Science Manual. Perth: Centre for Water Research.

Imberger, J., y Patterson, J. C. 1990. Physical Limnology. Advances in Applied Mechanics. 27, 303-475.

INVEMAR. 2003. Diagnóstico, zonificación y la definición de la estructura administrativa de la unidad ambiental costera del Darién, Caribe Colombiano. Santa Marta: INVEMAR.

Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., y otros. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, Bulletin of the American Meteorological Society. 77 (3), 437–471.

Leonard, B. 1991. The ULTIMATE conservative difference scheme applied to unsteady one-dimensional advection. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 88, 17–74.

Lonin, S., y Vásquez, J. 2005. Hidrodinámica y distribución de coliformes en el golfo de Urabá. Boletín científico CIOH. 23, 76-89.

Lozano, L. 1998. Caracterización y diagnostico integral de la zona costera que comprende la bahía Colombia desde el río Turbo hasta Matuntugo. Cartagena: Escuela naval Almirante Padilla, Facultad de Oceanografía Física.

Molina, A., Molina, C., y Chevillot, P. 1992. La percepción remota aplicada para determinar la circulación de las aguas superficiales del golfo de Urabá y las variaciones de su línea de costa. Boletín científico CIOH. 11, 43-58.

Montoya, L., y Toro, F. 2006. Calibración de un modelo hidrodinámico para el estudio de los patrones de circulación en el golfo de Urabá, Colombia. Avances en Recursos Hídricos. 13, 37-54.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., y Lentz, S. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. Computers and Geosciences. 28, 929-937.

Restrepo, J., y Kjerfve, B. 2000. Water discharge and sediment load from the Western slopes of the Colombian Andes with focus on río San Juan. Journal of Geology. 108, 17-33.

Robertson, K., y Martínez, N. 1999. Cambios en el nivel del mar durante el Holoceno en el litoral Caribe Colombiano. Cuadernos de Geografía. 8 (1), 168-198.

- Roldán, P. 2008. Modelamiento del patrón de circulación de Bahía Colombia, golfo de Urabá. Aplicación a problemas de sedimentación en las bocas del río León. Medellín: Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia.
- Silva, G., Ramírez, E., y Caldwell, J. 1978. Proyecto Darién, Colombia - OEA. Estudio para la Orientación del Desarrollo de la región del Darién. Estudio de un puerto para Urabá. Medellín: Informe técnico. Organización de los Estados Americanos.
- Universidad de Antioquia. 1997. Microcirculación atmosférica de la zona bananera de Urabá. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Universidad Nacional de Colombia - CORPOURABA. 1998. Evaluación de las zonas de erosión críticas en el litoral Caribe Antioqueño. Medellín: Informe técnico.
- Urbano, J. 1993. Análisis de ingeniería para protección de costas. Caso de estudio: Defensa del litoral en el apostadero naval de Turbo. 3-18: Boletín científico CIOH. 13.
- Velásquez, C., y Rave, J. 1996. Dinámica costera y geomorfología en el golfo de Urabá Antioqueño. Sector boca Tarena-espiga de Turbo. Medellín: Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia.
- Velásquez, N. 2000. Geomorfología y dinámica en el Urabá Chocoano: cabo Tiburón - bahía Acandí. Medellín: Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia.
- Vélez, J., Poveda, G., y Mesa, O. 2000. Balances hidrológicos de Colombia. Medellín: Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos.

## **LEYENDA DE LAS FIGURAS.**

**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio

**Figura 2.** Parámetros climáticos del golfo de Urabá

**Figura 3.** Ciclo anual estimado de los caudales del río Atrato en la desembocadura utilizando la metodología de Vélez *et al.*, 2000.

**Figura 4.** Velocidad zonal y contornos de velocidad meridional, el 16 y el 17 de junio de 2006.

**Figura 5.** Variación de la salinidad a lo largo del corte A-A, el 16 y el 17 de junio de 2006

**Figura 6.** Ciclo mensual de vientos NCEP/NCAR Reanalysis (Kalnay *et al.*, 1996) para el año 2006 en la zona de estudio.

**Figura 7.** Velocidad y salinidad promedio mensual representativa en diferentes meses del año, simulaciones del año 2006.

**Figura 8.** Variación temporal de la salinidad en estaciones de monitoreo, simulaciones del año 2006.

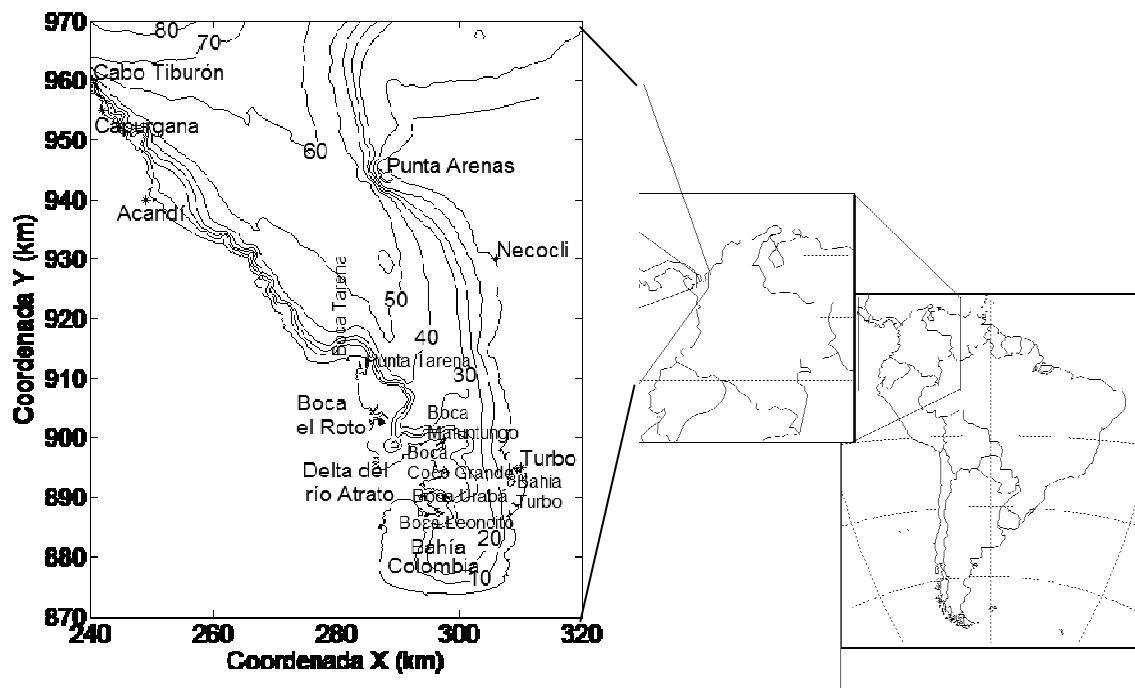
**Tabla 1. Frecuencias dominantes de marea astronómica en la estación San Cristóbal  
(Panamá)**

Componente	Período (horas)	Amplitud (cm)	Fase (º)
Mf	327.86	14.06	-12.48
	164.28	5.56	-118.70
O1	25.82	68.48	-100.70
K1	23.93	95.15	-110.35
M2	12.42	72.42	-161.70

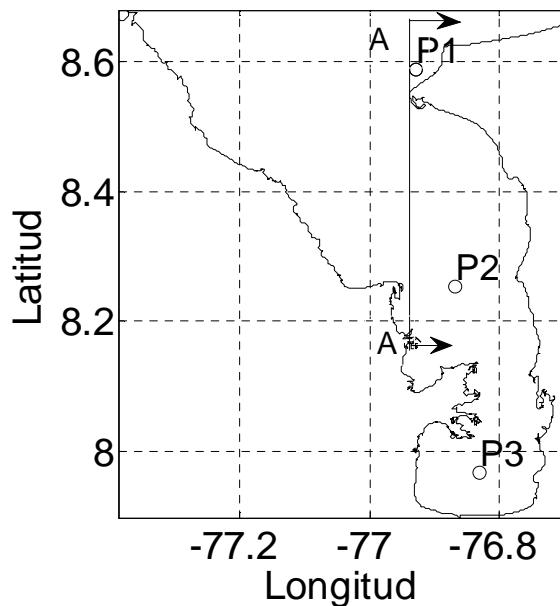
**Tabla 2. Características consideradas en la modelación para la calibración del modelo**

**ELCOM**

Característica	Detalles
<b>Modelo Hidrodinámico</b>	
<b>Batimetría</b>	
Carta Batimétrica	Carta batimétrica. Fuente: CIOH
<b>Características</b>	
Malla horizontal	Malla regular con celdas de 500 × 500 m
Malla vertical	Malla irregular con celdas de 0.25 m cerca a la superficie y
Paso temporal	112.5 segundos
Período de simulación	1 mes
<b>Forzamientos externos</b>	
Radiación solar	Se utilizaron datos obtenidos de <i>NCEP/NCAR Reanalysis Project</i> <a href="http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml">http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml</a>
Cobertura de nubes	
Temperatura del aire	
Vientos	
Mareas	Se utilizó la predicción de las mareas considerando sus
Caudales de los ríos	Se estimaron los caudales promedio mensuales en las
Modelo de turbulencia	Esquema de capa de mezcla por el viento con transporte de
coeficientes de difusión en	100 m <sup>2</sup> /s
Condición de fricción con el	Deslizamiento libre
Condición de frontera de	Considerada para representar el mezclado en el campo
Coeficiente de extinción de	3.0

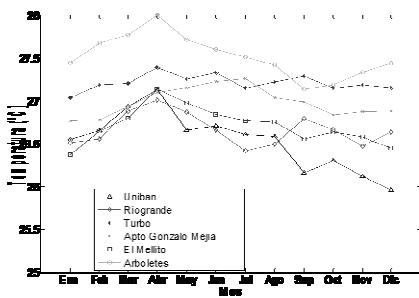


(a) Ubicación general y principales geoformas.

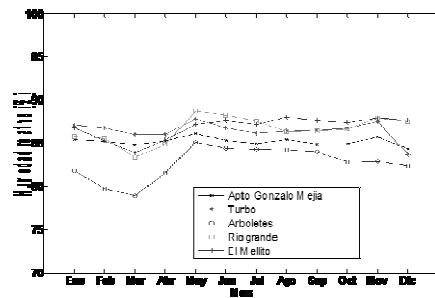


(b) Ubicación de cortes y puntos de monitoreo.

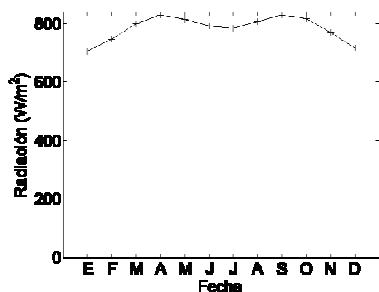
**Figura 1.**



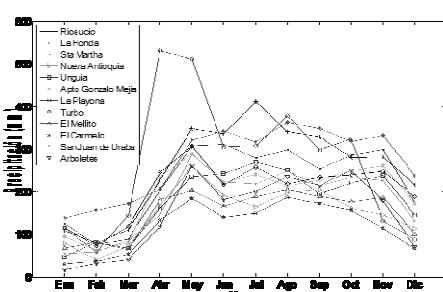
(a) Temperatura promedio mensual



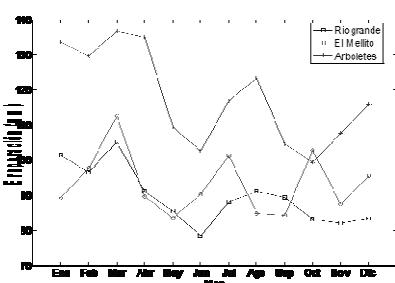
(b) Humedad relativa promedio mensual



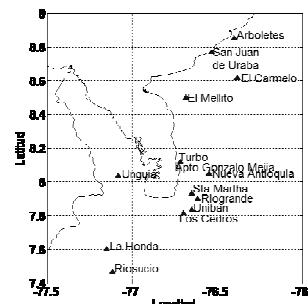
(c) Radiación solar máxima diaria



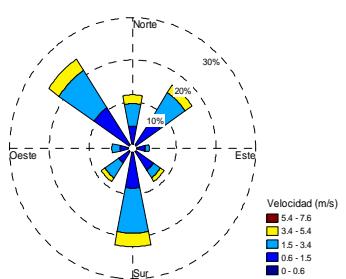
(d) Precipitación



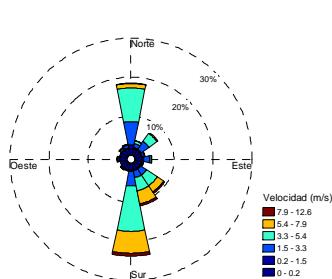
(e) Evaporación



(f) Estaciones meteorológicas



(h) Rosa vientos Los Cedros



(i) Rosa vientos Turbo

**Figura 2.**

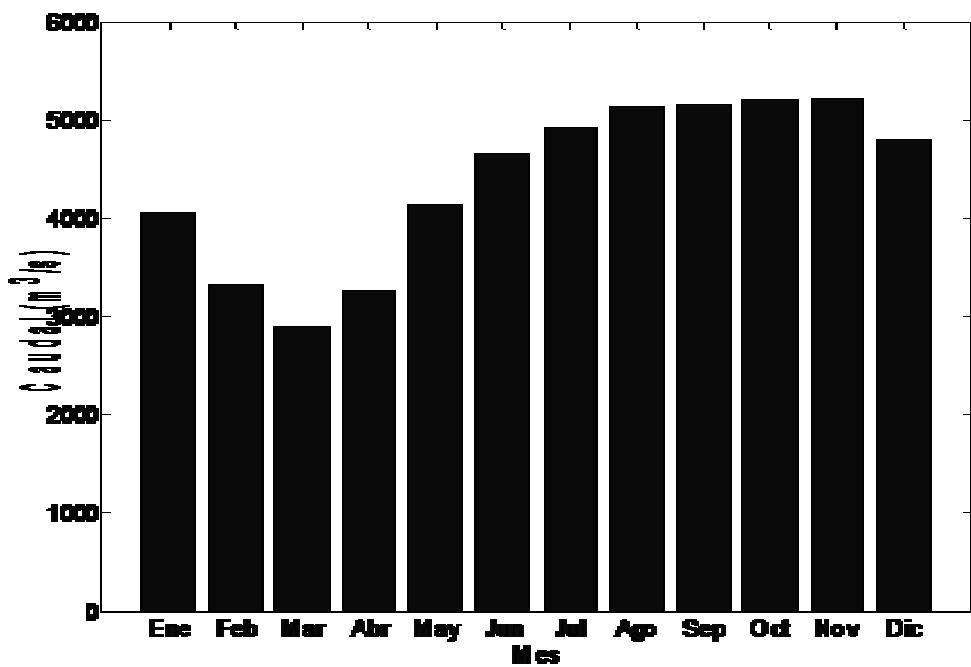
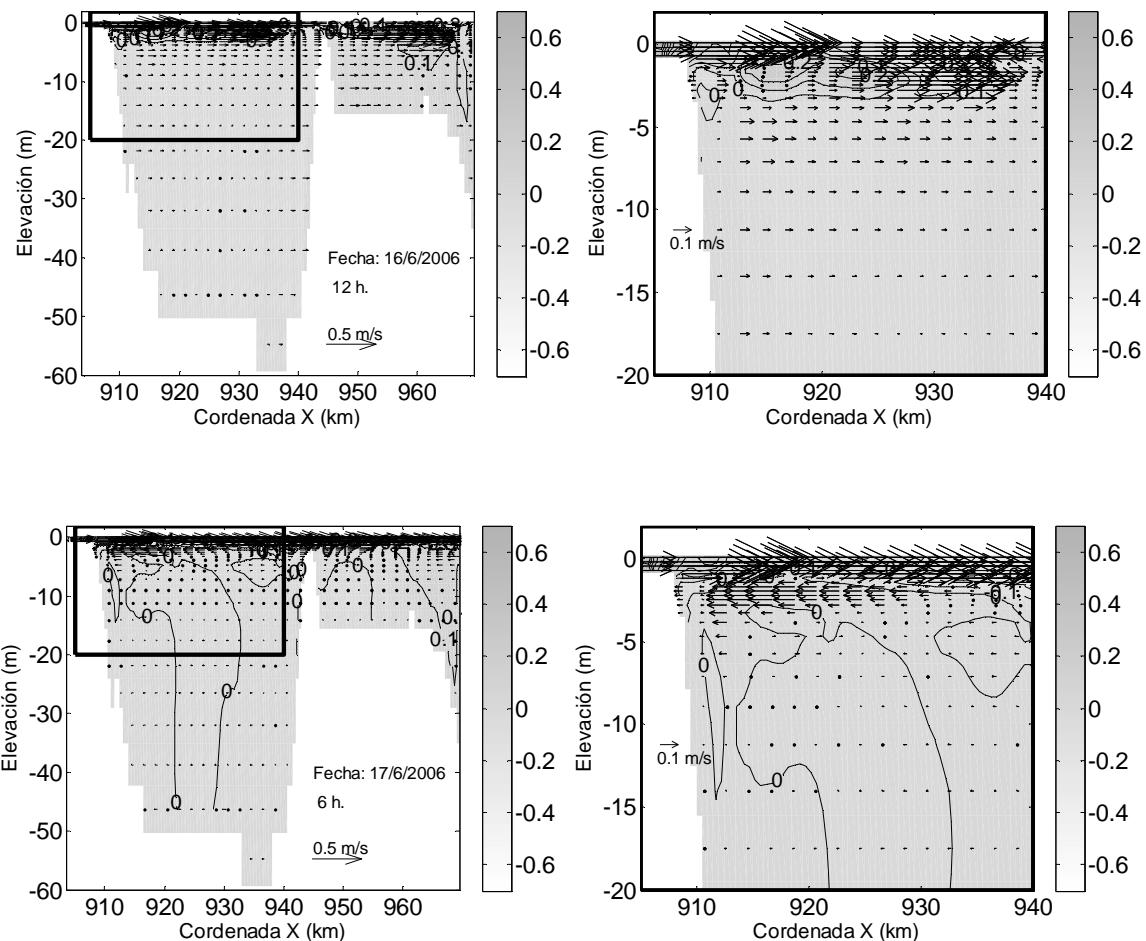
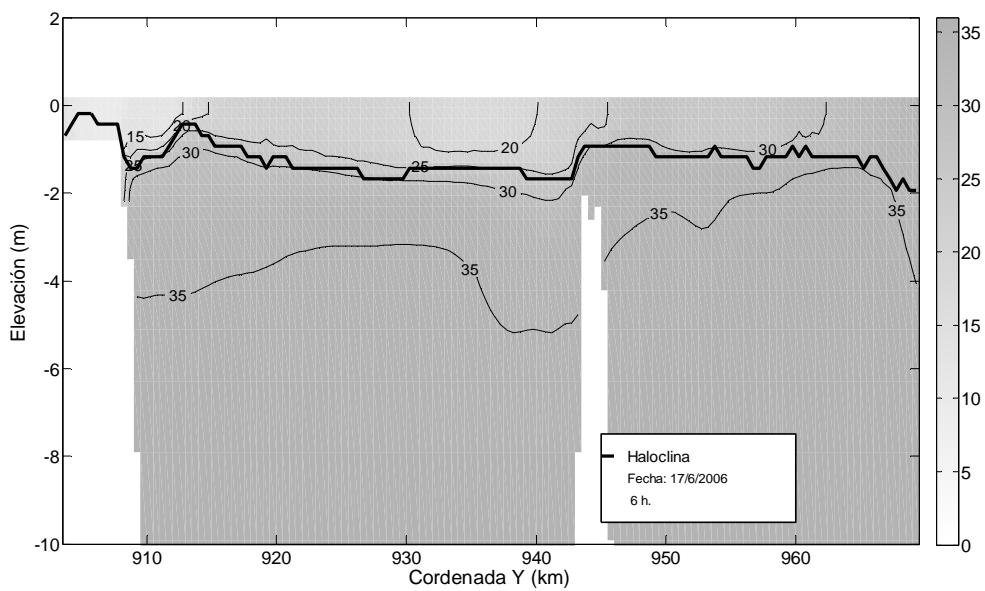
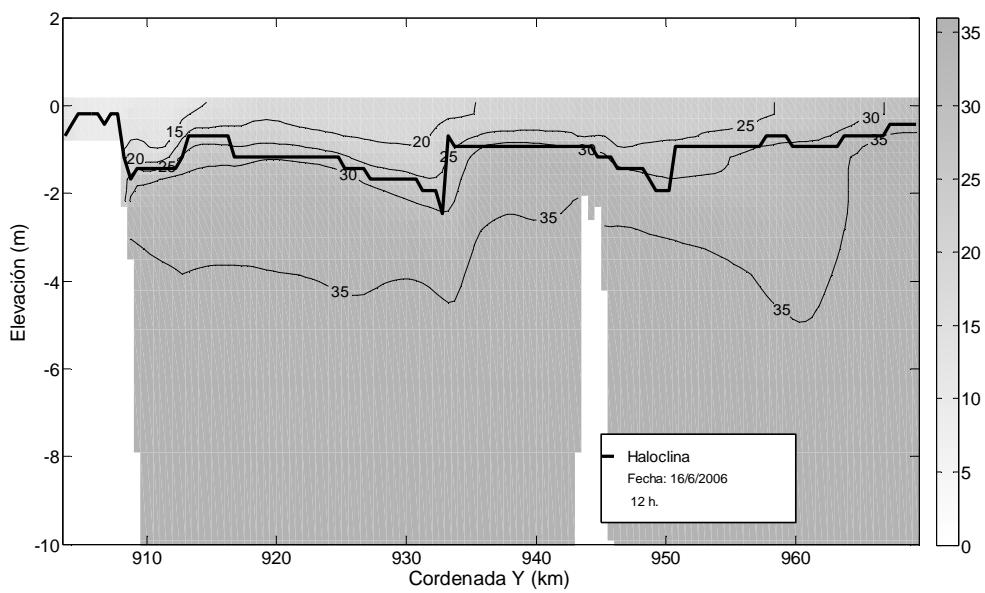


Figura 3.

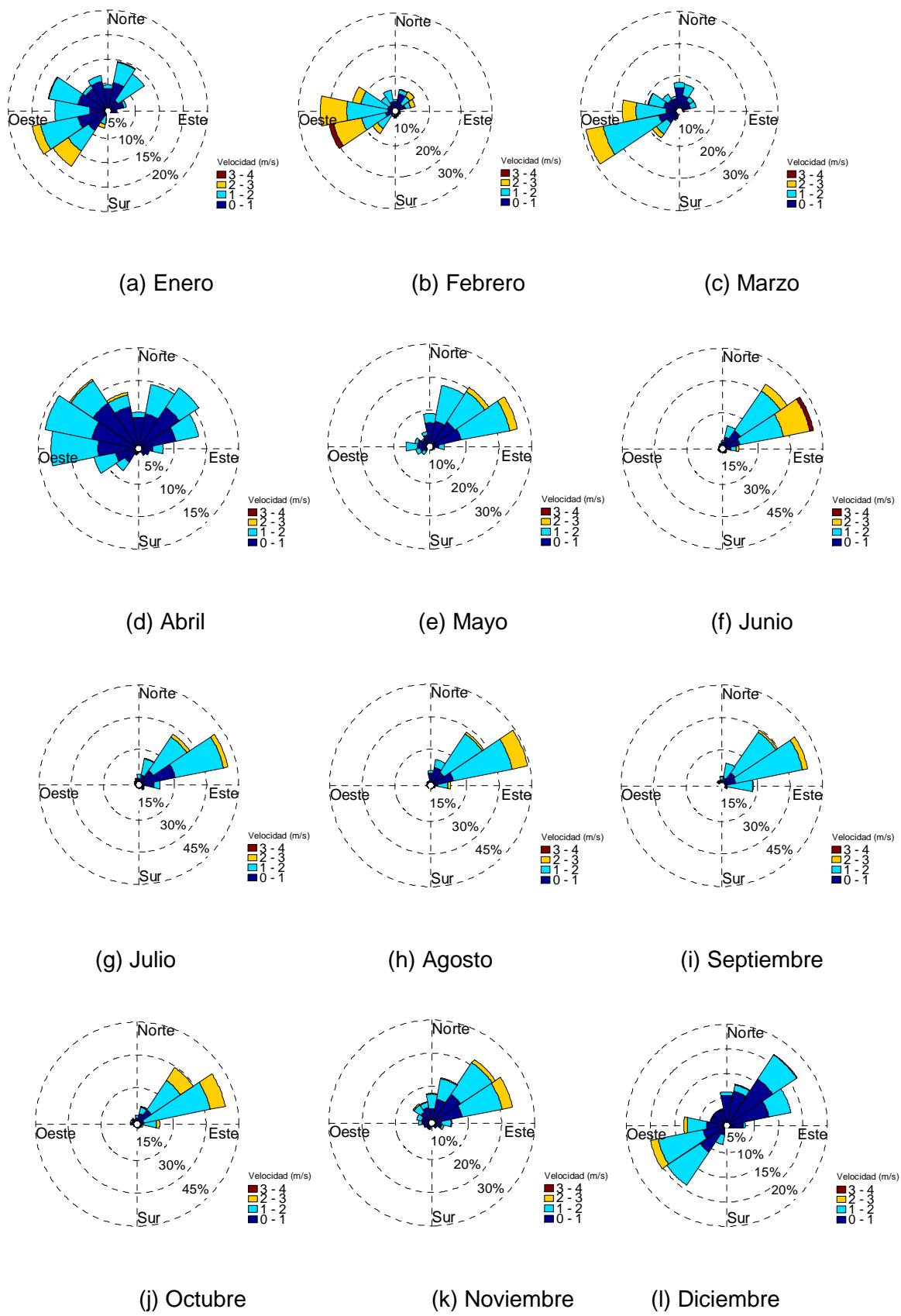


Corte A-A

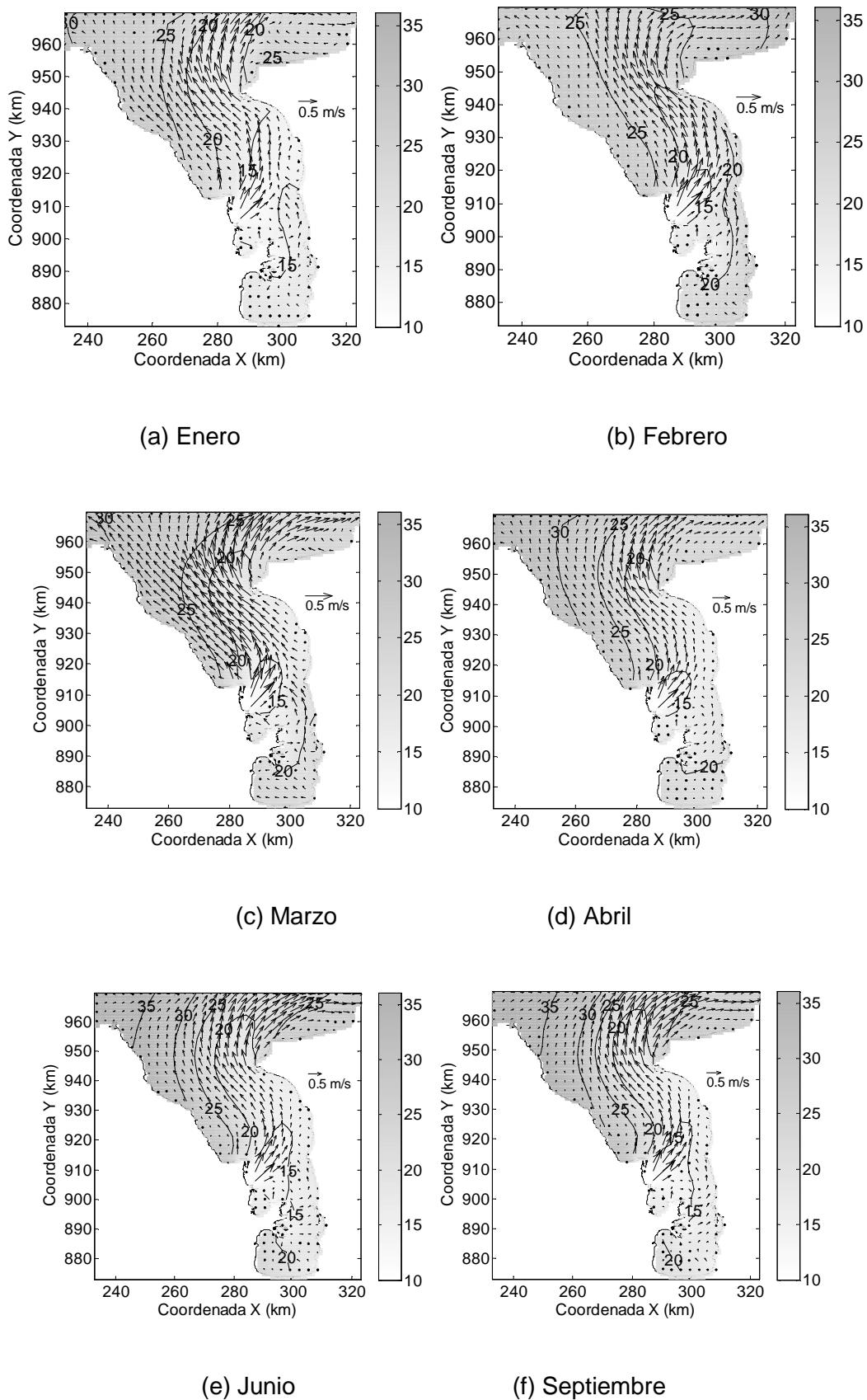
**Figura 4.**



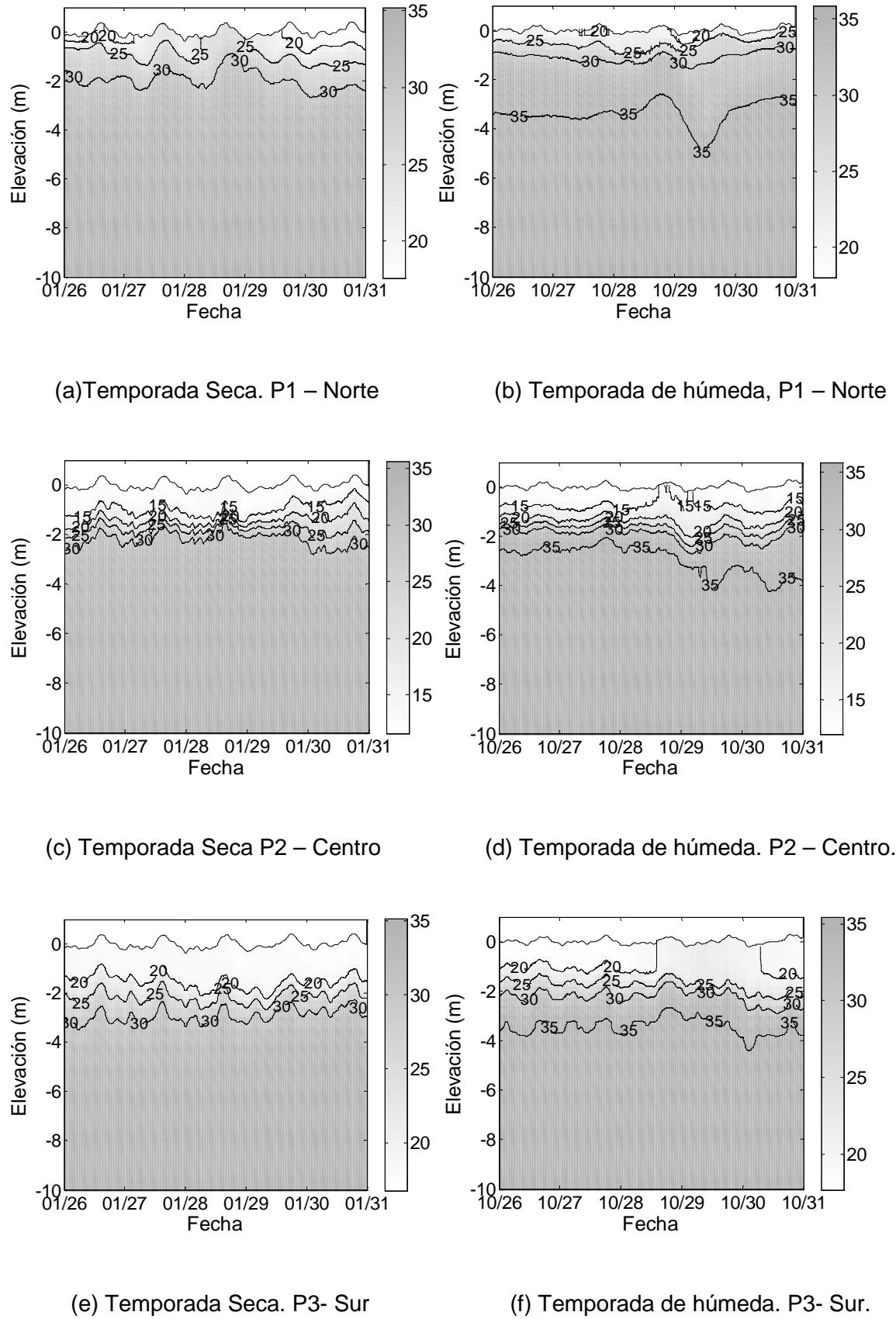
**Figura 5.**



**Figura 6.**



**Figura 7.**



**Figura 8.**

# **MONITOREO MARINO-COSTERO Y FLUVIAL BASADO EN CÁMARAS DE VÍDEO: EVOLUCIÓN DEL PROYECTO HORUS**

Andrés F. Osorio<sup>1\*</sup>, Cristian A. Ortiz<sup>1</sup>, Juan C. Pérez<sup>1</sup> y Raúl Medina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera (OCEANICOS). Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia.

<sup>2</sup>Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. Universidad de Cantabria (GIOC).[afoosorioar@unal.edu.co](mailto:afoosorioar@unal.edu.co), [caortiz1@unal.edu.co](mailto:caortiz1@unal.edu.co), [jcperezm@unal.edu.co](mailto:jcperezm@unal.edu.co), [medinar@unican.es](mailto:medinar@unican.es)

## **RESUMEN**

Uno de los mayores problemas al momento de estudiar e intervenir sistemas naturales, en particular los entornos costeros y fluviales, es la carencia de información. La importancia de estos sistemas dadas las diversas funciones que cumplen, ha motivado el uso de métodos como la teledetección, el radar, la fotografía aérea y los sistemas basados en video y/o imágenes, para suplir la deficiencia de información e incluso conseguir un volumen de datos más grande y confiable. El presente trabajo pretende dar a conocer los resultados obtenidos dentro del proyecto HORUS ([www.horusvideo.com](http://www.horusvideo.com)), el cual ha permitido desarrollar una herramienta de investigación y gestión de información basada en cámaras de video; compuesta por un sistema de toma de datos, almacenamiento, pre-procesamiento, procesamiento y publicación de resultados en un sistema web. HORUS ha sido financiado por el “Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria – IH Cantabria” y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), entre otros. Se ha desarrollado en conjunto por diversos investigadores de los grupos de investigación GIOC de la Universidad de Cantabria (España) y OCEANICOS de la Universidad Nacional de Colombia, convirtiéndose en una alternativa novedosa para monitorear la dinámica de ambientes marino-costeros y fluviales, otorgando información valiosa para los gestores.

Palabras clave: Sensores Remotos, Gestión Costera, Cámaras de Vídeo.

## **ABSTRACT**

One of the greatest problems at the time of studying and taking part natural systems, particularly coastal and fluvial systems, is the lack of information. The importance of these systems is given by diverse functions that fulfill, and that has motivated the use of teledetection methods like radar, aerial photography and digital images based systems to replace the information deficiency and to even obtain greater and reliable a volume of data. This paper aims to raise awareness the results obtained within the HORUS project ([www.horusvideo.com](http://www.horusvideo.com)) which has aided to develop a tool for research and coastal management based in cameras, this consists of a system for data collection, storage, preprocessing, processing and publication of results in a Web system. HORUS was funded by the "IH Cantabria" and AECID (Spanish International Cooperation Agency), among others. It has been developed jointly between the research groups GIOC of the University of Cantabria (Spain) and OCEANICOS of the National University of Colombia. It becomes a novel alternative to monitor coastal processes and the dynamics of use, yielding useful information to understand the processes and support the decisions of managers of these coastal areas.

Keywords: Remote Sensors, Coastal Zone Management, Video Cameras.

## **INTRODUCCIÓN**

Los sistemas naturales cumplen diversas funciones tales como regulación del clima, protección de las poblaciones ante eventos naturales extremos, proveedores de recursos, espacios lúdicos, entre muchos otros. Éstos son sometidos a presiones antrópicas y naturales que amenazan con afectar la funcionalidad de muchos de estos espacios; por tanto, es de gran importancia conocerlos y gestionarlos adecuadamente, tarea que se dificulta por la ausencia de información para investigar estos procesos y sus afectaciones (Davidson *et al.*, 2007; Southgate *et al.*, 2003). Para llenar este vacío de información surgen técnicas de adquisición de datos a partir de metodologías basadas en los sensores remotos, las cuales han tenido un gran auge en las dos últimas décadas gracias a las grandes ventajas ofrecidas a nivel de toma de datos (accesibilidad y resolución espacial fina). En esta línea toman fuerza los sistemas basados en cámaras de video (o fotográficas).

Cuando se hace referencia a las problemáticas ambientales a resolver, el panorama puede ser muy amplio, pero en este trabajo se hará énfasis en temas marino-costeros, fluviales y de laboratorio, aunque el espectro de temas también puede incluir tópicos atmosféricos, geológicos, entre otros. En cuanto a la escala de estudio, consideramos que el ámbito de este trabajo es la escala local, la cual puede variar desde los centímetros hasta los kilómetros, y a nivel temporal desde los segundos hasta los años. Se hace esta aclaración por que existen otros sistemas basados en imágenes que cubren otras escalas, tales como los basados en satélites, los sistemas para microscopía mineral, etc. Entre las variables a medir se pueden mencionar algunas que HORUS puede estimar actualmente, tales como: líneas de costa, perfiles de playa, batimetrías, topografías y número de usuarios en las playas. Sin embargo existen investigaciones en desarrollo para la estimación de velocidades en ríos y parámetros del oleaje a pie de playa.

Este artículo presenta los avances del sistema HORUS ([www.horusvideo.com](http://www.horusvideo.com)), un sistema para el monitoreo marino-costero y fluvial basado en cámaras de vídeo, como una iniciativa conjunta entre la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Cantabria, algunos de sus avances, sus aplicaciones y su contexto dentro del estado del arte actual en el tema.

## **ANTECEDENTES**

Las fotografías aéreas, imágenes de satélite, mediciones con tecnología radar, sistemas de video, entre otras, han mostrado su utilidad en la medición de innumerables variables de manera directa y muchas otras por inferencia, gracias a post-procesamientos y al entendimiento teórico de los fenómenos estudiados. De cualquier manera, todas estas opciones parten de características visibles en su campo de medida y cuando esta información puede ser llevada a un sistema de coordenadas conocido, se pueden realizar análisis de evolución espacio-temporal del fenómeno, lo que en muchos casos da una óptica interesante de cualquier variable. Afortunadamente, muchos procesos pueden

ser inferidos a partir de marcas o rasgos visibles sobre la superficie del mar, el río o la playa, lo que abre la posibilidad de que estos sean medidos a través de sensores como los mencionados (Walker, 1994; Lippmann y Holman, 1991; Holland *et al.*, 1997; Chickadel *et al.*, 2003; Aarninkhof, 2000; 2005).

Los fenómenos y procesos que ocurren en los ambientes marino-costeros y fluviales son de gran complejidad, tanto desde el punto de vista teórico como desde su medición en campo. Una de las principales razones para esto es el amplio rango de escalas espaciales y temporales de dichos fenómenos. Se puede hablar en la escala espacial del orden de los centímetros en la formación de *ripples* hasta los kilómetros en la formación de *mega cups*; y en la escala temporal podemos observar variaciones en la configuración en el perfil transversal de playa a causa de temporales en el orden de los minutos-horas, mientras que cambios en la forma en planta pueden tardar años. Es este panorama, el que da sentido al uso de los sensores remotos (cámaras de video) para buscar un mejor monitoreo costero, con mejor resolución espacial y temporal, por períodos más largos a un costo menor.

Los inicios de la aplicación de sistemas ópticos en zonas costeras se da a mediados de la década de los 80's cuando la Oregon State University (OSU) creó el Coastal Imaging Lab (CIL), en donde se inició la experimentación con fotografías instantáneas para tratar de capturar series de tiempo de *runup* en un área de playa de la ciudad de Oregon (Estados Unidos) (Holman y Bowen, 1984). En dicha zona bajo condiciones de tormenta, las olas alcanzan alturas de hasta 5 m y una zona de *surf* de hasta 1 km., lo que hacía que la medición por métodos tradicionales fuera prácticamente imposible.

Dada la necesidad de automatizar todos los procesos relacionados con la digitalización de las imágenes y video, al igual que todo el post-procesamiento de la información, surgió el sistema Argus con su primera estación en el año de 1992. Ubicada en Yaquina Head, Oregon, ésta se conectaba vía Internet con la OSU permitiendo la toma de imágenes en escala de grises de manera continua en

las horas diurnas (Osorio, 2005). Sin embargo, el desarrollo tecnológico en la capacidad de procesamiento, la inclusión del color y las mejoras en la resolución de captura de imágenes-videos digitales, han permitido un avance importante en el alcance de las aplicaciones desarrolladas para el monitoreo ambiental, permitiendo la evolución de Argus en dos generaciones más, tal y como se describe en detalle en Holman y Stanley (2007). De igual manera, han surgido de forma paralela múltiples iniciativas alrededor del mundo buscando soluciones a necesidades particulares aprovechando este enfoque, como son los casos del proyecto INDIA (Morris *et al.*, 2001) y, el proyecto HORS (Takewaka *et al.*, 2003) para el monitoreo costero a través de globos aerostáticos, entre otros.

### **Proyecto CoastView**

En el año 2002 La Universidad de Cantabria (UNICAN) se vinculó en el proyecto Coastview (<http://www.thecoastviewproject.org>), el cual tenía como unos de sus principales objetivos apoyar la labor de los gestores y técnicos mediante la construcción de indicadores que representan los procesos físicos que ocurren en el entorno costero. Para este fin, en el proyecto se utilizaron datos obtenidos a través de los sistemas de captura basados en vídeo (Argus), para construir Indicadores de Estado Costero (CSIs, por sus siglas en inglés), definidos como un grupo reducido de parámetros que permitieron de manera sencilla y cuantitativa describir los estados de la dinámica de los sistemas costeros, al igual que sus tendencias de evolución. Dichos parámetros definían un rango de valores aceptables que representaban un estado deseable del sistema, y se plantaban intervenciones (dragados, rellenos de playas, usos, dispositivos de seguridad, etc) cuando los indicadores se alejaban de dicho rango. Esta iniciativa contó con la participación de doce instituciones de seis países diferentes, estudiando y proponiendo metodologías e indicadores a playas con usos, características y problemáticas variadas. Dentro de este proyecto se realizó la aplicación de indicadores para el manejo de la playa de “El Puntal” en Santander (España), dada su importancia turística, ecológica e incidencia con el canal de navegación del Puerto de Santander. Este trabajo de indicadores con miras a la gestión costera fue realizado por la Universidad de Cantabria, donde se enmarcó la investigación doctoral de Osorio (2005), aquí se desarrollaron los primeros algoritmos y metodologías propias que posteriormente serían retomadas por el sistema HORUS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño y desarrollo del sistema HORUS se presenta a continuación mediante un recorrido de sus avances y muestra de aplicaciones, terminando con un breve resumen de su aplicación en Colombia.

### Estructura del sistema HORUS 1.0

A raíz de la experiencia de la Universidad de Cantabria en el *Coastview Project* en 2006, y con base en los resultados de (Osorio, 2005), comenzó a gestarse la idea de crear un sistema de monitoreo entre la UNICAN y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), con el objeto de establecer una plataforma que pudiera distribuirse para fines de investigación y gestión ambiental en los países de habla hispana y en aquellos en vías de desarrollo principalmente, aportando a la conservación de los recursos naturales. El esquema de funcionamiento del sistema HORUS es ilustrado por la **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 1, donde se muestra la captura de datos, su transmisión, procesamiento y posterior publicación en Web.

La primera versión del software de procesamiento contenía en su mayoría algoritmos basados en metodologías y procesos aplicados en el *Coastview Project* que fueron aplicados en los dos sitios pilotos del proyecto: la playa de La Magdalena y de El Sardinero (Santander, España). Los resultados de esta fase inicial aunque prometedores, eran aun insuficientes para otorgar información útil para la gestión, por lo que se abrieron cuatro líneas de desarrollo principalmente: modelos de calibración de cámaras (Perez, 2009); detección de línea de costa y estimación de perfiles de playa (Ortiz, 2009); estimación de usuarios en playa (Osorio, 2009); y estimación de parámetros hidrodinámicos en canales y playas (Osorio, 2010).

En el año 2008 la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) aprobó un proyecto de acción conjunta entre la UNAL y UNICAN, que apuntaba al fortalecimiento del grupo de investigación OCEANICOS (Grupo de investigación en Oceanografía e Ingeniería Costera) de la

UNAL por medio de la transferencia tecnológica y la capacitación de investigadores. Dicho fortalecimiento se articuló a través de la instalación de una estación piloto en la ciudad de Cartagena en Noviembre de 2008 para el monitoreo de las playas turísticas de “Bocagrande” (3 cámaras) y del sector de “El Laguito” (una cámara), buscando obtener información sobre las problemáticas de erosión–sedimentación y del uso turístico. Desde entonces se ha trabajado en crear y mejorar los módulos de procesamiento y postprocesamiento del sistema, para automatizar la publicación de resultados en el portal Web ([www.horusvideo.com](http://www.horusvideo.com)).

## Calibración de Cámaras

Para realizar mediciones de distancias en imágenes fotográficas, se debe compensar los efectos causados por la perspectiva y por la distorsión asociada a los lentes de la cámara y entre la comunidad científica goza de gran aceptación el uso del modelo Pinhole para modelar las cámaras fotográficas y realizar dichas correcciones (Faugeras, 1993; Hartley y Zisserman, 2003; Wolf, 2000). El modelo Pinhole se basa en el principio de colinealidad para describir la relación entre un punto en el espacio (x,y,z) y su respectiva proyección en la imagen (u,v); es decir, supone que cada punto en el espacio y su correspondiente proyección en la imagen están sobre una línea recta que pasa por el centro óptico de la imagen. Teniendo en cuenta los efectos de la distorsión radial causada por los lentes, el modelo Pinhole puede escribirse como una función no lineal, F, que depende de los parámetros de la cámara para realizar la transformación de (x,y,z) a (u,v):

$$(u, v) = F_{(fD_u, fD_v, u_0, v_0, \theta, \sigma, \phi, x_c, y_c, z_c)}(x, y, z)$$

Donde  $f$  es la distancia focal de la cámara,  $D_u$  y  $D_v$  son parámetros de escalamiento,  $(u_0, v_0)$  es el centro de la imagen,  $(\theta, \sigma, \phi)$  son ángulos de rotación y  $(x_c, y_c, z_c)$  son las coordenadas del centro óptico de la imagen, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 2.

Para resolver este modelo se hace uso de varios puntos de control, definidos como puntos identificables en la imagen de los cuales se tienen sus coordenadas en el espacio, y se utilizan métodos de optimización o transformaciones lineales para obtener los parámetros del modelo o

aproximaciones lineales del mismo, respectivamente (Faugeras, 1993; Heikkilä, J. y Silvén, 1997; Osorio *et al.*, 2007; Salvi *et al.*, 2002).

En Pérez (2009), tesis enmarcada en el proyecto HORUS, se hace un estudio detallado del modelo Pinhole y su construcción, los efectos de la distorsión y los métodos presentados en la literatura para calcular los parámetros del modelo. Se incluyen acercamientos a procesos de optimización para la solución de los parámetros del modelo Pinhole mostrando la superioridad del de Levenberg-Marquardt, se estudia la influencia de incluir los efectos de la distorsión radial y los resultados son comparados con campañas topográficas. De igual forma se presentan resultados obtenidos al estimar los parámetros del modelo Pinhole usando el método de Levenberg-Marquardt con datos sintéticos y se comparan estos resultados con otros reportados en la literatura (Tsai, 1987; Weng *et al.*, 1992), mostrando mejoras importantes. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el resultado práctico obtenido en una imagen luego de calibrar la cámara con el método propuesto en este trabajo.

### Detección de línea de costa

La medición constante de la línea de costa y el monitoreo de los fenómenos hidrodinámicos que la condicionan por largos períodos de tiempo constituyen tareas fundamentales en el campo de la ingeniería costera. El objetivo fundamental de estas actividades es lograr identificar y cuantificar patrones de erosión – acreción, comprender los sistemas de transporte de dicho sedimento, evaluar el impacto de la dinámica costera sobre los diversos usos de playas y tener los elementos necesarios para proponer estructuras u obras de mitigación (en caso de ser necesarias), con el fin de mantener la funcionalidad de la costa.

En el marco del proyecto HORUS, y con base en los trabajos de Aarninkhof (2003) y Osorio (2005), Ortiz (2009) propone una metodología para la extracción de perfiles intermareales como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 4. La detección reiterativa de la línea de costa, su transformación a coordenadas reales (x,y) y la asignación de la elevación mediante el uso

de las condiciones hidrodinámicas, permite la estimación del perfil intermareal en tantos transectos como el usuario lo desee, siendo posible la interpolación de los mismos para la reconstrucción de la batimetría intermareal.

La **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 5 muestra la evolución de la línea de costa de un sector de la playa de Bocagrande en la ciudad de Cartagena, identificando un marcado proceso de sedimentación en la zona durante el periodo de junio – octubre de 2009, evidenciado en el aumento de 15 metros de playa en promedio.

### **Estimación del uso en la playa**

Trabajos como el de Jiménez *et al.* (2007) y Osorio *et al.* (2007) muestran aplicaciones importantes para la gestión de costa como uso turístico, donde se usa la detección y el seguimiento espacio – temporal de usuarios de la playa con miras a optimizar la infraestructura disponible y determinar índices de saturación de espacio. La detección de los usuarios se lleva a cabo con técnicas de detección de objetos propias del procesamiento digital de imágenes, las cuales pueden exigir un alto consumo computacional, además que pueden verse afectadas por la presencia de contrastes en la iluminación o por la presencia de patrones distintos a los usuarios (por ejemplo las marcas dejadas por un vehículo al pasar por la arena). Es por esta razón que se hace necesario determinar si una imagen tiene o no usuarios antes de intentar detectarlos.

Osorio (2009), tesis enmarcada en el proyecto HORUS, presenta una metodología para clasificar imágenes de zonas costeras según la densidad de usuarios (alta, media y baja densidad), basada en la medición de características presentes en el histograma de intensidades de la imagen. Se usan dos técnicas para clasificar de forma automática las imágenes: La descomposición en valores singulares (SVD) y las redes neuronales. Se comparan los resultados obtenidos con las dos técnicas y se analizan las ventajas y desventajas de ambos métodos en el proceso de clasificación de imágenes costeras. La **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 6 muestra la distribución de los usuarios en la playa de Bocagrande mediante un mapa de densidad media para el mes de septiembre de 2009, estimados a partir de postprocesos basado en el trabajo de Osorio (2009) y que

son publicados en el portal web.

## Variables hidrodinámicas

En los últimos años, nuevos métodos basados en sistemas de video y procesamiento de imágenes han surgido como alternativa para la obtención remota de información sobre características de flujo en tiempo real y sin contacto *in situ* (Muste et al., 2008), con una resolución espacio-temporal adecuada, sin poner en riesgo la integridad de los equipos y sin interferir con el fenómeno mismo. En este sentido, Osorio (2010) elaboró una metodología dentro del sistema HORUS donde aplica estas técnicas para la estimación de variables hidrodinámicas en laboratorio. Para el análisis de la información obtenida en cada uno de los experimentos realizados, se emplearon dos técnicas de video basadas en procesamiento digital de imágenes: técnica de imágenes de varianza y técnica de segmentación por umbrales y discretización de trayectoria. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 7 muestra como a través de trazadores visibles para la cámara, se pueden generar imágenes de varianza que resalten la trayectoria de dichos objetos, mientras que la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 8 muestra la identificación y discriminación de las trayectorias, insumo suficiente para la estimación de velocidades superficiales.

## Aplicación en Colombia

Dentro del proceso de instalación y puesta en marcha de estación de captura HORUS en las playas de Bocagrande – Cartagena, se ha logrado realizar mejoras importantes a los procesos de diseño, instalación y mantenimiento de los equipos involucrados, encontrando como un fuerte obstáculo las condiciones climáticas locales y el papel del salitre en el deterioro de los equipos. Esta iniciativa vislumbra un importante potencial para el estudio de fenómenos de escala LOCAL y ha significado un importante avance en las relaciones entre la academia y las autoridades para realizar una mejor administración de los espacios costeros. La información recopilada dentro del marco de esta iniciativa se encuentra disponible al público a través del portal web y de las publicaciones científicas relacionadas.

## **CONCLUSIONES**

Las bondades que nos ofrecen estos nuevos sistemas basados en imágenes digitales y las técnicas implementadas y explicadas en este artículo para el pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento de imágenes digitales, confirman el camino novedoso para obtener información cuantitativa, tal como lo han demostrado rigurosamente otros autores de la comunidad científica internacional. La gran ventaja que se obtiene con estos sistemas es la economía, la versatilidad y la alta resolución temporal y espacial que ofrecen. Dicha información, tratada con rigor y complementando los sistemas tradicionales permite entender los procesos involucrados en las diversas problemáticas ambientales y ayuda a los técnicos y gestores a tomar decisiones.

La iniciativa de construir metodologías, procesos y la información necesaria para crear un sistema de monitoreo ambiental a través de cámaras de video desde el ámbito académico, como el sistema HORUS ([www.horusvideo.com](http://www.horusvideo.com)), genera una alternativa muy interesante ante la necesidad de recopilar información y de establecer mecanismos de fácil implementación. La estación piloto instalada en la ciudad de Cartagena de Indias (Colombia) ha servido como un laboratorio para la depuración de los procesos de captura, procesamiento y publicación de los indicadores hasta ahora implementados, dando pie a nuevas líneas de investigación. Gracias a los desarrollos metodológicos y tecnológicos alcanzados por los grupos de investigación OCEANICOS (de la UNAL) y GIOC (de la UNICAN) en el sistema HORUS se constituye en una iniciativa pionera para países en vías de desarrollo, mostrando su potencial de expansión e impacto científico.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al IH Cantabria por los proyectos financiados que permitieron sentar las primeras bases del sistema HORUS. Además a la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) por el proyecto “APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS Y TÉCNICAS

BASADAS EN SISTEMAS DE VÍDEO PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES COSTEROS: CASO CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA”, que permitió consolidar el primer sistema HORUS Latinoamérica y realizar nuevos desarrollos.

## BIBLIOGRAFÍA

Aarninkhof, S.G.J. 2003, Nearshore Bathymetry derived from Video Imagery, PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Aarninkhof, S. G. J., Caljouw, M. y Stive, M. J. F. 2000. Video-Based, quantitative assessment of intertidal beach variability, In: Proc. 27th International Conference of Coastal Engineering, Vol. IV, p. 3291-3304.

Aarninkhof, S.G.J., Ruessink, B.G. y Roelvink, J.A. 2005, Nearshore subtidal bathymetry from time exposure images, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, C06011, doi: 10.1029/2004JC002791.

Chickadel, C.C., Holman, R.A. y Freilich, M.F. 2003, An optical technique for the measurement of longshore currents, Journal of Geophysical Research, 108 (C11), p. 3364.

Davidson, M., Van Koningsveld, M., De Kruif, A. y Jimenez, J. 2007, The CoastView project: A Frame of Reference Approach to Coastal Zone Management, .Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project. Vol 54 (6-7), p. 463-475.

Faugeras, O. 1993. Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, p. 663.

Hartley, R. y Zisserman, A. 2003. Multiple View Geometry in Computer Vision, 2d Edition. Cambridge University Press, New York, NY, USA., 700 p.

Heikkilä, J. y Silvén, O. 1997. "A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction". En Proceedings of the 1997 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR '97). IEEE Computer Society Washington, DC, USA.

Holland, K.T., Holman, R.A. y Lippmann, T.C. 1997, Practical Use of Video Imagery in Nearshore Oceanographic Field Studies, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.22, No1, p. 81-92.

Holman, R.A. y Bowen, A.J. 1984, Longshore structure of infragravity wave motions, Journal of Geophysical Research, 89 (C4), p. 6446-6452.

Holman, R.A. y Stanley, J., 2007, The history, capabilities and future of Argus. Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project. Vol 54 (6-7), p. 477-491.

Jiménez, J.A., Osorio, A., Marino-Tapia, I., Kroon, A., Medina, R., Davidson, M., Archetti, R., Ciavola, P., Aarninkhof, S., 2007. Beach recreation planning using video derived coastal state indicators. Coastal Engineering Special Issue of the CoastView project. Vol 54 (6-7), p. 507 – 521.

Lippmann, T.C. y Holman, R.A. 1991, Phase speed and angle of breaking waves measured with video techniques, in Coastal Sediments, '91, edited by N. Kraus, ASCE, New York, pp. 542-556.

Morris, B.D., Davidson, M.A. y Huntley, D.A. 2001, Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques, Marine Geology, 175, p. 251 - 272.

Muste, M.I. Fujita y A. Hauet 2008. "Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments". Water Resources Research, p. 44.

Ortiz, C. A. 2009. Metodología para la construcción de indicadores morfodinámicos a través del uso de cámaras de vídeo. Caso de aplicación: Playa de la La Magdalena (Cantabria, España). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.

Osorio, A.F. 2005 Desarrollo de técnicas y metodologías basada en sistemas de vídeo para la gestión de la costa. Phd Tesis de la. Universidad de Cantabria - España.

Osorio, A., Pérez, J., Ortiz, C., y Medina, R. 2007. Técnicas basadas en imágenes de video para cuantificar variables ambientales en zonas costeras. Avances en recursos Hidráulicos, No 16, .p. 51-64.

Osorio S. 2009. Desarrollo de técnicas y metodologías para la clasificación de imágenes costeras. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Osorio Cano, J.D. 2010. Metodologías y técnicas basadas en sistemas de video para la medición de variables hidrodinámicas. Tesis de maestria, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellin.

Pérez, J.C. 2009. M.I Tesis. Optimización no Lineal y Calibración de Cámaras Fotográficas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Salvi, J., Armangué, X. y Batlle, J. 2002. A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation". En The Journal of Pattern Recognition, No 35, p. 1617-1635.

Southgate, H.N., Wijnberg K.M., Larson M., Capobianco M., y Jansen H. 2003, Analysis and modelling of field data on coastal morphological evolution over yearly and decadal time scales, Part II: non-linear techniques. J. of Coastal Research 19 (4): p. 776-789.

Takewaka, S., Misaki, S. y Nakamura, T. 2003, Dye diffusion experiment in a longshore current field, Coastal Engineering Journal, Vol. 45, No. 3, p. 471-487

Tsai, R. 1987. A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses". En IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 4, p. 323-344.

Walker, R.E. 1994, Marine light field statistics John Wiley and Sons, Inc., New York, p. 675..

Weng, J., Cohen, P. y Herniou, M. 1992. "Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation". En IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 14, No 10, p. 965-980.

Wolf, P. y Dewitt, B. (2000). Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, 3d Edition. McGraw-Hill, Boston, Massachusetts, p. 608.

## LEYENDA DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Configuración de hardware del sistema HORUS.

**Figura 2.** Esquema del modelo Pinhole

**Figura 3.** Ejemplo del proceso de rectificación de una imagen mediante la solución del modelo Pinhole.

**Figura 4.** Playa de Bocagrande, Cartagena. Esquema de funcionamiento del PSDMHORUS (Ortiz, 2009).

**Figura 5.** Evolución de línea de costa en la playa de Bocagrande entre el periodo junio-octubre de 2009.

**Figura 6.** Mapa de densidad de usuarios para el mes de Septiembre de 2009 en la playa de Bocagrande (Cartagena) estimado con el modulo de usuarios del sistema HORUS.

**Figura 7.** a) Imagen de varianza y (b) marcación manual para determinar trayectorias sobre la superficie del flujo. Prueba realizada en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional de Bogotá (Osorio, 2010).

**Figura 8.** Coordenadas (u,v) de todos los objetos detectados y (b) Trayectorias discretizadas por elemento (Osorio, 2010).

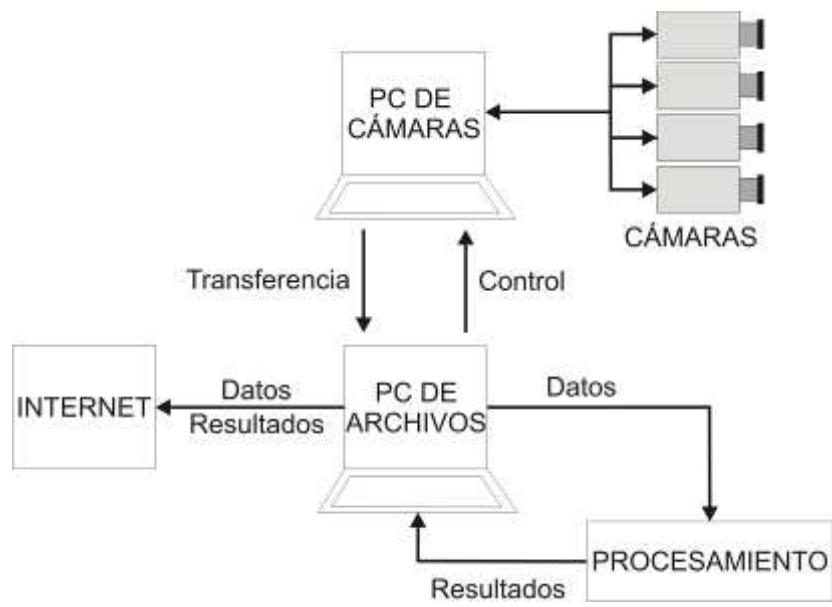


Figura 1.

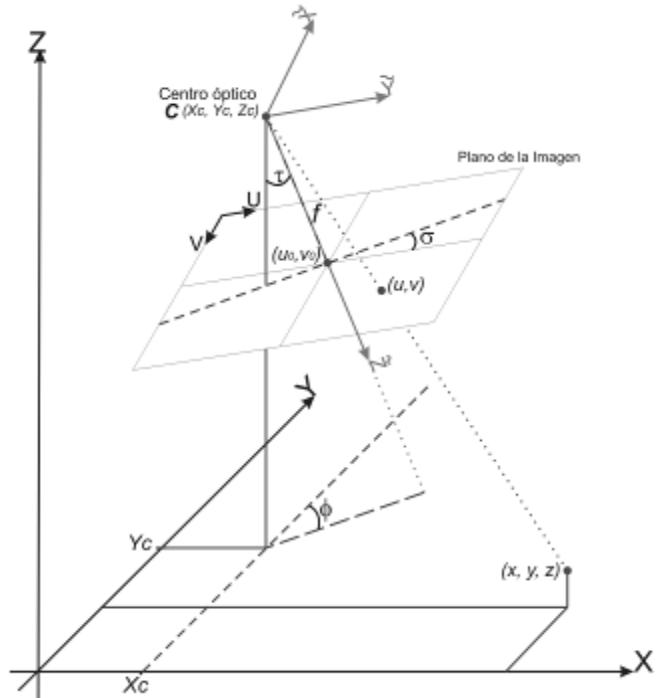
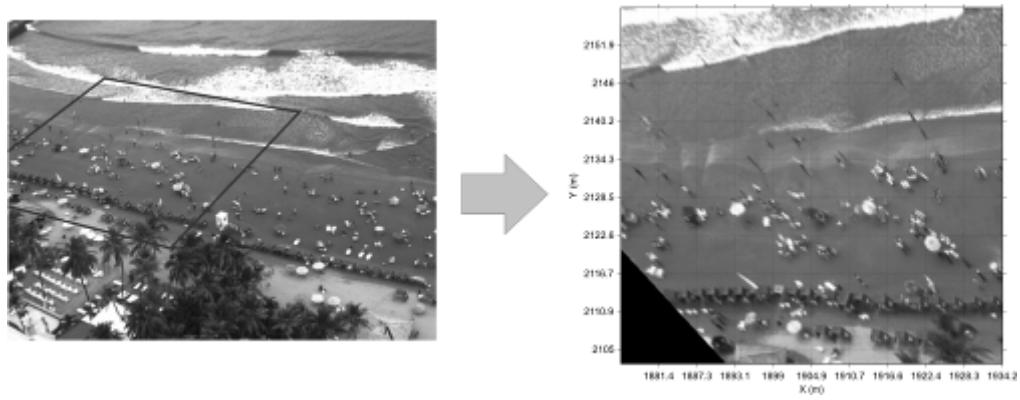
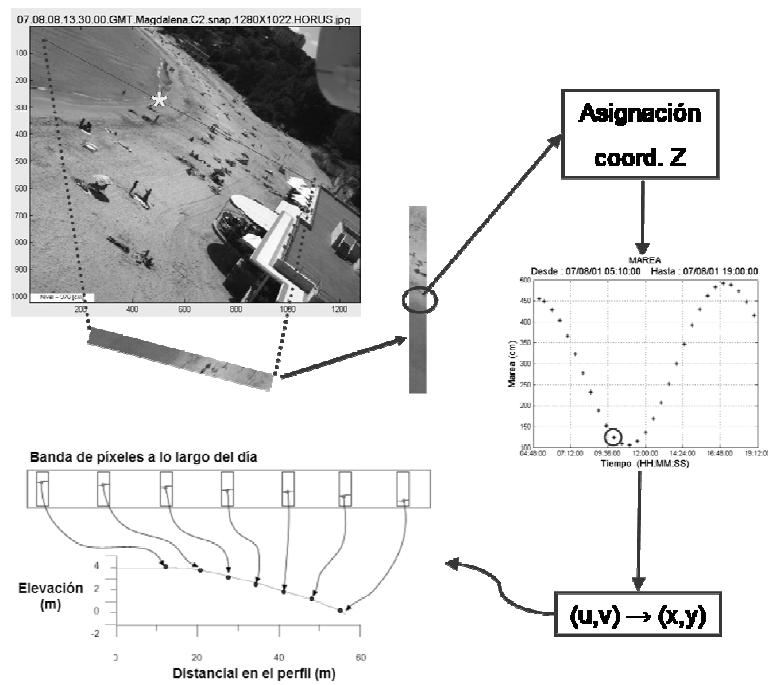


Figura 2.



**Figura 3.**



**Figura 4.**

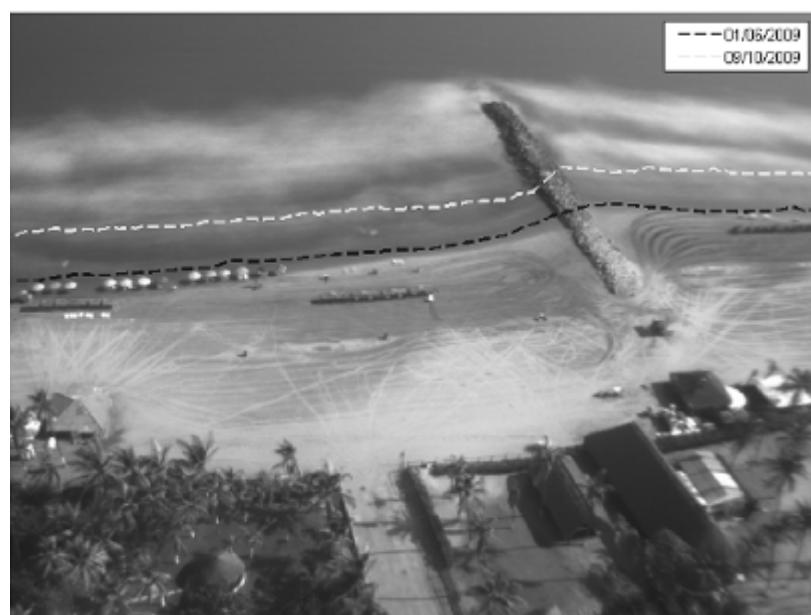


Figura 5.

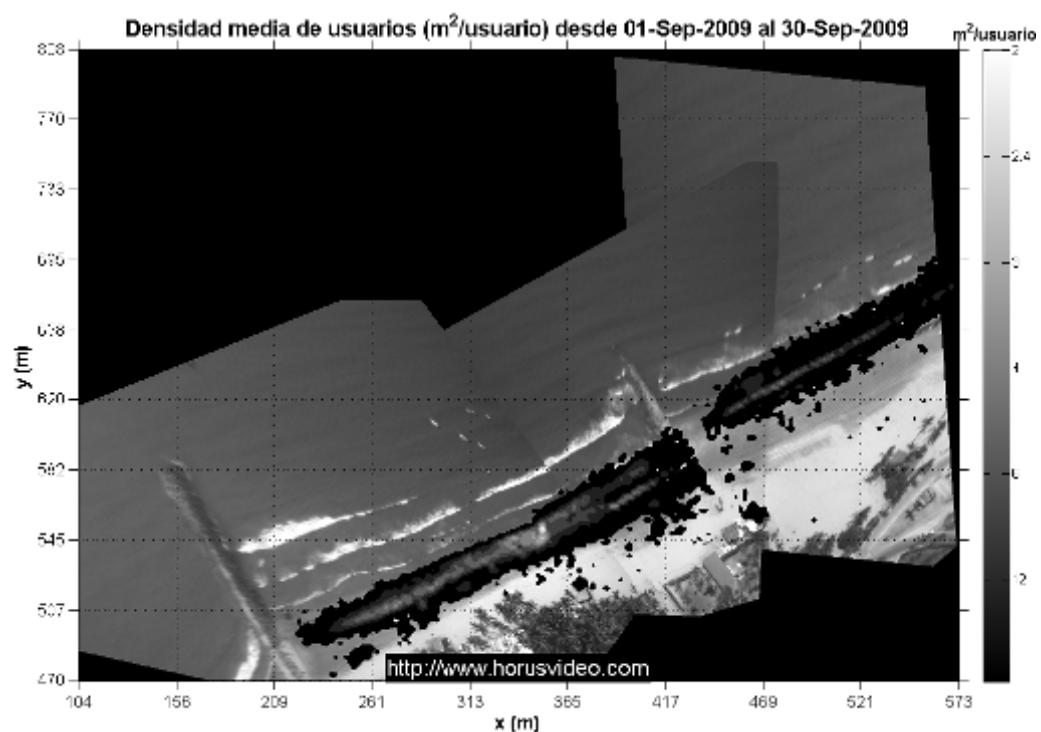
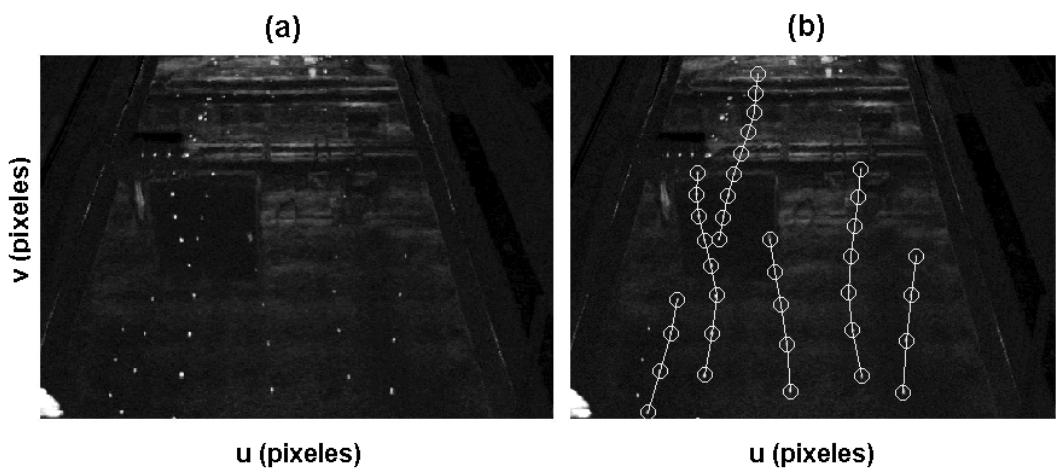
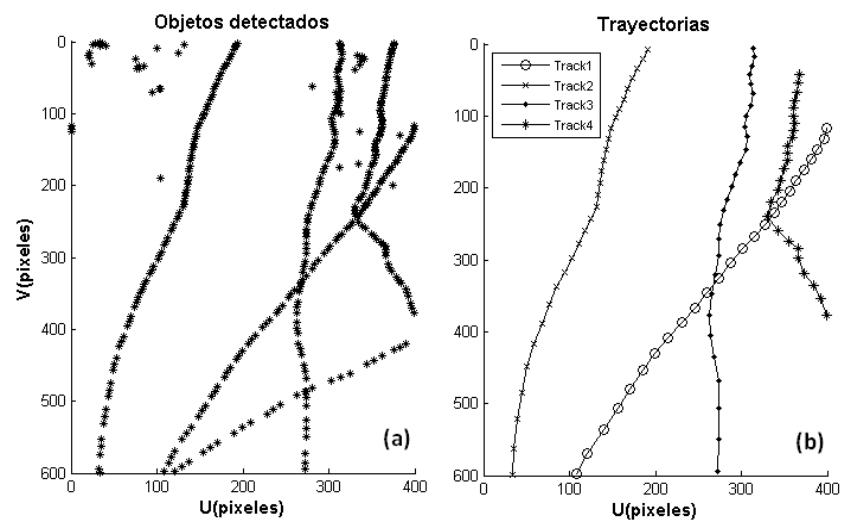


Figura 6



**Figura 7.**



**Figura 8.**

# **VARIABILIDAD ESTACIONAL E INTERANUAL OCÉANO-ATMÓSFERA EN LA CUENCA COLOMBIA**

Gladys Bernal<sup>1</sup>, Mauricio Ruiz-Ochoa<sup>1</sup> y Emilio Beier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Cra. 80 No.65-223, AA 1027, Medellín, Colombia. gbernal@unal.edu.co; maruizo@unal.edu.co.

<sup>2</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada – Unidad La Paz. Miraflores No. 334 e/Mulegé y La Paz, CP 23050, La Paz, Baja California Sur, México. ebeier@cicese.mx.

## **RESUMEN**

La investigación sobre la variabilidad océano-atmósfera en el Caribe se ha concentrado en la mesoscala y no analiza en detalle la zona del Caribe colombiano. Para entender mejor la variabilidad estacional de la cuenca Colombia asociada con El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), se analizaron campos de vientos del reanálisis NCEP/NCAR, anomalías del nivel del mar de AVISO, y salidas de nivel del mar y velocidad del modelo de circulación global POCM-4C. Se analizaron los ciclos anuales medios y de años ENSO distribuidos espacialmente, un ajuste estacional basado en cuadrados mínimos para las anomalías del nivel del mar y vientos, y la estructura vertical del océano en ocho perfiles a lo largo de la costa colombiana. La variabilidad estacional del viento está dominada por la acción del Chorro Tropical Superficial del Caribe (ChTSC). Durante El Niño, de diciembre a mayo la velocidad del núcleo del chorro es menor, mientras que de junio a noviembre es mayor. El viento sobre la cuenca Colombia genera una dinámica superficial dada por la Corriente del Caribe (CC) y el Giro Panamá-Colombia (GPC). Se encontró que, aunque en su valor medio el GPC es de circulación ciclónica, las anomalías estacionales de esta circulación son ciclónicas entre julio y octubre y anticiclónicas entre enero y mayo. El análisis indicó que al sur de 14°N, la cuenca Colombia está dominada por la estacionalidad, y al norte por variabilidad de otras frecuencias como los remolinos y la actividad de mesoscala. La estructura vertical cerca de la costa suramericana muestra que la Contracorriente Panamá-Colombia (CPC) puede llegar hasta Barranquilla (75°W) donde una parte continúa al este como la Corriente Subsuperficial Costera del Caribe (CSCC). Durante El Niño, las corrientes costeras en dirección este (CPC y CSCC) se debilitan todo el año

excepto en JJA cuando se intensifican, mientras la CC en la Guajira se intensifica todo el año. Durante La Niña, las corrientes en dirección este se debilitan incluso en JJA, mientras que la CC en la Guajira permanece cercana a su media trimestral, excepto en JJA cuando se intensifica.

*Palabras claves:* Vientos, Nivel del mar, Estructura vertical, Cuenca Colombia.

## ABSTRACT

**Seasonal and interannual ocean-atmosphere variability in the Colombian Basin.** Research on ocean-atmosphere variability in the Caribbean has focused on the mesoscale and did not analyze the Colombian Caribbean area specifically. To better understand the seasonal variability of the Colombian Basin associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO), wind fields from NCEP/NCAR reanalysis; sea level anomalies from AVISO; and sea level and speed of global circulation model POCM-4C were analyzed. The average annual cycles and ENSO year's cycles spatially distributed, a least squares seasonal fitting for anomalies in sea level and winds, and vertical structure of the ocean in eight profiles along the Colombian coast was studied. The seasonal variability of wind is dominated by the action of the Caribbean Low-Level Jet (CL-LJ). During El Niño, from December to May the jet core speed is lower, while from June to November is greater. The wind on the Colombian Basin generates a surface dynamic given by the Caribbean Current (CC) and the Panama-Colombia Gyre (PCG). Although the average circulation in the PCG is cyclonic, the seasonal anomalies of this movement can be explained as cyclonic (anticyclonic) from July to October (January to May). The analysis showed that south of 14°N the Colombian Basin is dominated by seasonality, and to the north by variability of other frequencies such as eddies and mesoscale activity. The vertical structure near the South American coast show that the Panama-Colombia Countercurrent (PCC) can reach up Barranquilla (75°W) where part of it continues eastward as the Coastal Caribbean Undercurrent (CCU). During El Niño, the coastal currents eastward (PCC and CCU) weaken all over the year except in June-August when they intensify, while the CC in La Guajira offshore intensifies during all year. During La Niña, eastward currents weaken even in June-August, while the CC in La Guajira offshore remains near its quarterly mean, except in June-August when it strengthens.

*Key words:* Winds, Sea level, Vertical structure, Colombian Basin.

## INTRODUCCIÓN

El clima atmosférico marino del mar Caribe es el resultado integral de los procesos de advección y difusión de masa, calor y momento en el océano y de la transferencia de masa (evaporación y precipitación), energía (absorción y emisión de radiación) y momento (esfuerzo del viento) en la interface océano-atmósfera sobre un rango amplio de escalas de espacio y tiempo (Gallegos y Czitrom, 1997). Así, en la cuenca Colombia la variabilidad océano-atmósfera está determinada por procesos regionales y locales relacionados con las migraciones de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) como son la ubicación de los centros de presión atmosférica, los vientos Alisios y las descargas de los ríos que provienen de los Andes colombianos, y por procesos de ocurrencia global de corto periodo como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus iniciales en inglés) (Poveda, 2004; Poveda *et al.*, 2005). A su vez, la interacción entre el océano y la atmósfera determina aspectos oceanográficos fundamentales como la circulación y la temperatura superficial del mar. La variabilidad a escala estacional es fundamental en los procesos océano-atmósfera, sin embargo, todavía hace falta entender aspectos importantes de ésta en el Caribe colombiano, como su respuesta a procesos interanuales.

Entre los primeros estudios sobre la circulación oceánica en el Caribe se encuentra el trabajo de Gordon (1967), quien para estudiar la dinámica superficial en esta zona aplicó el método geostrófico en varios perfiles latitudinales entre el mar Caribe y el estrecho de Yucatán. Encontró que las corrientes son principalmente zonales con variaciones estacionales. Así, la Corriente del Caribe (CC) con velocidad media mayor de  $25 \text{ cm s}^{-1}$  (Fratantoni, 2001; Richardson, 2005), es más débil en octubre que en abril, tal como lo demuestran Johns *et al.* (2002), quienes para describir los patrones de circulación y transporte entre el océano Atlántico y el mar Caribe usaron datos observados comparados con un modelo numérico.

Al suroeste de la cuenca Colombia se presenta el Giro Panamá-Colombia (GPC), descrito como ciclónico por Andrade (2000), Fratantoni (2001), Andrade *et al.* (2003), Centurioni y Niiler (2003) y Richardson (2005), con velocidad media superior a  $60 \text{ cm s}^{-1}$  (Fratantoni, 2001; Centurioni y Niiler, 2003) y más de 200 km de ancho (Fratantoni, 2001; Richardson, 2005). Andrade *et al.* (2003), por medio de cálculos geostróficos y mediciones de corrientes y Richardson (2005), a través de un análisis de rutas de satélite y trayectorias de boyas disponibles hasta ese momento, mostraron que este giro consiste de dos núcleos ciclónicos pero no se refieren a su variabilidad estacional. Centurioni y Niiler (2003), mediante observaciones de velocidad obtenidas de boyas, sugirieron que la parte oeste del giro es persistente a lo largo del año, mientras que hacia el este del mismo, se incrementa la variabilidad, y así la extensión espacial y la intensidad del lado este del giro varía con la estacionalidad.

De acuerdo con Sheng y Tang (2003), quienes estudiaron la circulación y la variabilidad estacional del mar Caribe occidental mediante un modelo tridimensional de circulación oceánica, el GPC en febrero está compuesto por un fuerte ciclón sobre la plataforma continental de Costa Rica y Panamá, mientras que en agosto se forman varios núcleos ciclónicos de similar tamaño, los cuales están embebidos dentro de una circulación ciclónica más grande pero más débil. Resultados similares fueron obtenidos con datos de altimetría de satélite (Nystuen y Andrade, 1993; Andrade y Barton, 2000; Andrade *et al.*, 2003) y boyas de derivas (Fratantoni, 2001; Richardson, 2005) para la zona en estudio.

En los trabajos de Johns *et al.* (1999), Johns *et al.* (2002) y Centurioni y Niiler (2003) no se hace referencia a la Contracorriente Panamá-Colombia (CPC, Andrade *et al.*, 2003), definida por Gordon (1967) y Pujos *et al.* (1986), como una corriente hacia el este que se forma al suroccidente de la cuenca Colombia. La CPC es también conocida como la Contracorriente del Darién (Pujos *et al.*, 1986) y según Andrade *et al.* (2003) llega hasta  $79^{\circ}\text{W}$  donde la mayor parte del flujo se recircula en el GPC y otra parte continúa fluyendo hacia el este como la Corriente Subsuperficial Costera del Caribe (CSCC), también explicada en Jouanno *et al.* (2008). Se sabe que la CPC tiene una variabilidad estacional importante (Andrade *et al.*, 2003), sin embargo, las únicas descripciones de su estacionalidad hasta el momento son las de Corredor (1981) y Pujos *et al.* (1986), quienes afirman que entre diciembre y febrero (época seca) alcanza sólo hasta el golfo de Urabá ( $77^{\circ}\text{W}$ ) y de

septiembre a noviembre (época húmeda) se manifiesta hasta la península de La Guajira ( $72^{\circ}\text{W}$ ) e incluso hasta las costas venezolanas.

Al frente de la península de La Guajira, en  $72^{\circ}\text{W}$ , ocurre un fenómeno de surgencia (Gordon, 1967), que fue analizado en detalle por Fajardo (1979) mediante una red de observaciones oceanográficas durante septiembre y por Andrade y Barton (2005) a través de bases de datos históricos, sensores remotos y tres cruceros oceanográficos. Se encontró que la surgencia está controlada por la variabilidad estacional de los vientos Alisios, siendo más fuerte en época seca y prácticamente desapareciendo durante la época húmeda (Corredor, 1981; Cabrera y Donoso, 1993; Petus *et al.*, 2007).

La variabilidad espacio temporal de los vientos sobre la cuenca Colombia, está dominada por la acción del Chorro Tropical Superficial del Caribe (ChTSC; Wang, 2007; Muñoz *et al.*, 2008; Whyte *et al.*, 2008), también conocido como Chorro de Bajo Nivel de los Mares Intra-Americanos (Amador, 2008), Chorro Tropical Superficial de San Andrés (Poveda, 1998) y/o Chorro de Bajo Nivel en el Oeste del Caribe (Mora y Amador, 2000), cuyo núcleo se localiza en  $15^{\circ}\text{N}$  y  $75^{\circ}\text{W}$ , y es responsable del clima seco sobre La Guajira debido a la alta divergencia de humedad asociada a la dinámica del mismo (Poveda y Mesa, 1999; Andrade, 2000). El chorro intensifica las velocidades y la cobertura espacial en diciembre-febrero (DEF) y las disminuye en septiembre-noviembre (SON). Entre junio-agosto (JJA) se registran las mayores velocidades del núcleo del chorro, pero su cobertura espacial se reduce (Ruiz-Ochoa y Bernal, 2009).

De otro lado, Alvera-Azcárate *et al.* (2009) estudiaron la circulación superficial del mar Caribe y el golfo de México usando 13 años de datos de altimetría satelital y encontraron que la altura del nivel del mar varía en distintas escalas temporales; en la mesoescala, la variabilidad está dominada por remolinos debidos a inestabilidades baroclínicas; en la escala estacional por el efecto estérico y en la escala interanual por los vientos y el ENSO. En lo interanual, los trabajos de Enfield y Meyer (1997), Alfaro (2000), Giannini *et al.* (2000, 2001a, 2001b, 2001c) y Alexander y Scott (2002) tratan sobre los efectos del ENSO sobre el mar Caribe.

Giannini *et al.* (2000) demostraron que la variabilidad climática interanual del Caribe está afectada por la interacción entre la ZCIT en relación con el Pacífico ecuatorial oriental, y el Alto de Presión Subtropical del Atlántico Norte (ASAN), de manera que al norte del Caribe y en el golfo de México se

presentan condiciones húmedas durante eventos El Niño, mientras que al sur del Caribe y en la costa suramericana se presentan condiciones secas. Giannini *et al.* (2001a) estudiaron las teleconexiones del ENSO con la región Caribe y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus iniciales en inglés). Encontraron que la influencia del ENSO sobre el Caribe está relacionada con cambios que ocurren en el sector del Atlántico Norte, lo que supone una no estacionalidad de la teleconexión del ENSO en el Caribe en la escala de tiempo interdecadal, que puede explicarse en gran medida en términos de la interacción de los efectos independientes de la NAO y el ENSO en el clima del Caribe.

Puede decirse que la investigación sobre la variabilidad océano-atmósfera en el Caribe se ha concentrado en la mesoescala (Molinari *et al.*, 1981; Nystuen y Andrade, 1993; Carton y Chao, 1999; Murphy *et al.*, 1999; Andrade y Barton, 2000; Richardson, 2005). Se ha descrito que superpuesta a la CC existe una intensa actividad de mesoescala (tres meses) dada por un corredor de remolinos antíclínicos desde el Atlántico hacia el golfo de México (Molinari *et al.*, 1981; Carton y Chao, 1999) que transitan entre los 14° y 15°N (Murphy *et al.*, 1999). El radio de deformación de estos remolinos es desde 10 a 700 km (Molinari *et al.*, 1981; Nystuen y Andrade, 1993; Andrade y Barton, 2000), con velocidades de 20 a 30 cm s<sup>-1</sup> (Nystuen y Andrade, 1993; Carton y Chao, 1999; Murphy *et al.*, 1999). Richardson (2005) sugiere que estos remolinos pueden formarse como remanentes antíclínicos de los anillos de la Corriente del Norte de Brasil. Asimismo, en lo espacial, las investigaciones realizadas son muy regionales y no analizan en detalle la zona del Caribe colombiano (Johns *et al.*, 1999; Johns *et al.*, 2002; Centurioni y Niiler, 2003; Alvera-Azcárate *et al.*, 2009).

Por tanto, todavía hace falta entender la variabilidad anual e interanual océano-atmósfera de la cuenca Colombia, especialmente en su sector suroccidental, que comprende el GPC y su componente costera, la CPC. El conocimiento de los procesos físicos que gobiernan esta región del país es necesario para explicar el comportamiento marino costero de las interacciones eco-biológicas que ocurren en el área. En este trabajo se analiza la variabilidad espacio temporal de las variables vientos y nivel del mar en la cuenca Colombia, así como la estructura oceánica vertical hacia la costa sur, con el fin de entender la estacionalidad y las respuestas al ENSO del GPC y la CPC.

## ÁREA DE ESTUDIO

Lo que se conoce como Caribe colombiano corresponde morfológicamente a la cuenca Colombia y su dinámica superficial está conformada principalmente por la CC y por el GPC. La cuenca tiene una profundidad promedio de 4000 m, se separa de las cuencas Venezuela y Caimán por las elevaciones Beata y Centroamericana, respectivamente, con pasajes de profundidades menores a 2000 m (Tomczak y Godfrey, 1994).

La cuenca Colombia limita al norte con las islas de Jamaica y La Española (Haití y República Dominicana), al sur con el margen continental de Colombia, Panamá y Costa Rica, al este con la elevación Beata y al oeste con la elevación Centroamericana. El área de estudio se enmarca entre las latitudes 8°00' - 18°30' N y los meridianos 85°30' - 70°15' W (Figura. 1).

## DATOS Y MÉTODOS

### Fuente de datos

Para las variables vientos [ $m s^{-1}$ ] y nivel del mar [cm] con resolución temporal mensual se adquirieron bases de datos internacionales como: la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS, Worley *et al.*, 2005) y el proyecto Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data (AVISO). Además se usó información de las salidas del modelo Parallel Ocean Climate Model versión 4C (POCM-4C).

### Reanálisis NCEP/NCAR

Se descargaron los datos de las componentes zonal y meridional del viento a 10 m de altura (Kalnay *et al.*, 1996), con periodo de registro entre ene/1948 y dic/2006 y resolución espacial de 1.88° x 1.905° (NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, Web: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.surfaceflux.html>). Con el fin de validar los datos

para el Caribe colombiano, éstos fueron comparados con otros registros (ICOADS y la boyas Caribe Central 42085 de la NOAA) en una localidad costera y otra oceánica (Ruiz-Ochoa y Bernal, 2009). La confiabilidad en la base de datos es mayor para la zona oceánica que la costera. Las correlaciones de la velocidad en la zona oceánica fueron 0.7 con ICOADS y 0.9 con la boyas, mientras que en la zona costera fue 0.4 con ICOADS.

A partir de las componentes zonal y meridional del viento se calculó el rotacional del esfuerzo del viento para el periodo ene/1948 a dic/2006. Los datos fueron llevados a la misma resolución espacial de los datos de anomalías de nivel de mar de AVISO mediante interpolación lineal. Para la estimación del rotacional del esfuerzo del viento, se calculó el esfuerzo del viento [ $N m^{-2}$ ] y sus componentes ( $\tau$ ,  $\tau^x$ ,  $\tau^y$ ) mediante las fórmulas aerodinámicas de masa:

$$\tau = (\tau^x, \tau^y) = \rho_a C_D (u^2 + v^2) \quad (1)$$

donde  $\tau$  es el esfuerzo del viento,  $\rho_a$  es la densidad del aire,  $u$  y  $v$  son las componentes zonal y meridional del viento, respectivamente, y  $C_D$  es el coeficiente adimensional de arrastre.  $C_D$  se estimó mediante las técnicas descritas en Large y Pond (1981), modificadas por Trenberth *et al.* (1990). Para el cálculo del rotacional del esfuerzo del viento [ $N m^{-3}$ ] se usó la ecuación:

$$Rotacional = \left( \frac{\partial \tau^y}{\partial x} - \frac{\partial \tau^x}{\partial y} \right) \quad (2)$$

## AVISO

Los datos de anomalía del nivel del mar fueron obtenidos del proyecto AVISO, que recoge información de las misiones TOPEX-POSEIDON, JASON-1, GFO, ENVISAT y ERS-1 (Web: [http://argonautica.jason.oceanobs.com/html/donnees/welcome\\_uk.html](http://argonautica.jason.oceanobs.com/html/donnees/welcome_uk.html)). La resolución temporal de los datos es de siete días y la espacial de  $1/4^\circ$  de grado. El periodo de registro utilizado fue entre ene/1993 y dic/2008.

## POCM

El acceso a los datos del modelo POCM-4C se hizo a través de comunicación personal con la Doctora Robin Tokmakian (Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA). Este modelo con

resolución espacial de  $1/4^{\circ}$  y 20 niveles de profundidad, fue corrido para un periodo de 19 años (1979 a 1998). De 1979 a 1994 fue forzado con datos atmosféricos diarios derivados del European Center for Medium-Range Weather Forecast reanalysis (ECMWF). Las ecuaciones del modelo y los algoritmos numéricos se pueden ver en detalle en Stammer *et al.* (1996). Para este artículo se usaron las salidas de las variables nivel del mar y velocidad zonal del modelo para el periodo ene/1980 y dic/1998. Con los datos de velocidad zonal se analizó la variabilidad estacional e interanual de la estructura vertical en ocho perfiles (limitados a  $14.25^{\circ}\text{N}$ ), separados cada  $1.5^{\circ}$  (entre  $82.5^{\circ}$  y  $72^{\circ}\text{W}$ , Figura 1) y hasta 1000 m de profundidad.

Para validar las salidas del modelo, se usó información de la Estación 10 ( $11.98^{\circ}\text{N}$  -  $75.10^{\circ}\text{W}$ ) realizada el 22 de Jun/1997 dentro del crucero “Caribe” desarrollado por la Armada Nacional de Colombia a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH). Los perfiles de temperatura y salinidad del modelo coincidieron bastante bien con la medición (el índice de eficiencia del modelo de Nash-Sutcliffe fue de 0.81 y 0.99 para cada variable, respectivamente).

### Análisis estacional

De acuerdo con Mesa *et al.* (1997), la climatología en Colombia se puede describir en cuatro periodos que corresponden a los trimestres: DEF (estación seca principal), MAM (marzo-mayo, húmeda menor), JJA (veranillo) y SON (húmeda principal). Así, para las variables de los vientos, el nivel del mar y los perfiles de velocidad zonal del POCM-4C, se analizaron los ciclos anuales y los trimestres climáticos.

Para el nivel del mar y el rotacional del viento se implementó un modelo de ajuste de armónicos por cuadrados mínimos (Ripa, 2002; Espinosa-Carreón *et al.*, 2004):

$$T(x,t) = A_o + A_a \cos(\omega t - \varphi_a) + A_s \cos(2\omega t - \varphi_s) + res. \quad (3)$$

donde  $A_o$ ,  $A_a$ , y  $A_s$  corresponden a la media temporal, la amplitud anual y semianual de cada serie de tiempo, respectivamente;  $\omega = 2\pi/365.25$  es la frecuencia anual en radianes;  $\varphi_a$  y  $\varphi_s$  son la fases de los armónicos anual y semianual, respectivamente; y  $t$  es el tiempo (como año-mes);  $res$  recoge la variabilidad interanual y de mesoscala. La variabilidad anual (semianual) fue calculada como la

suma de los valores medios y la componente anual (semianual) del ajuste. Se analizó la varianza explicada por el ajuste para cada una de las series de tiempo.

### **Análisis interanual**

Se analizó la variabilidad interanual del viento y de los perfiles de velocidad zonal del modelo POCM-4C en la cuenca Colombia, mediante las medias trimestrales de años El Niño y La Niña. Los años El Niño y La Niña fueron diferenciados de un año normal, con ayuda del Oceanic Niño Index (ONI, Web: [www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)).

## **RESULTADOS**

### **Análisis estacional**

Los ciclos anuales de la velocidad del viento sobre la cuenca son bimodales (Figura 2). Se identificaron cuatro regiones: sur (esquina Urabá-Morrosquillo, velocidad media de  $4.6 \text{ m s}^{-1}$ ), occidental (San Andrés y Providencia, velocidad media de  $5.3 \text{ m s}^{-1}$ ), central (ChTSC, velocidad media de  $8.2 \text{ m s}^{-1}$ ) y norte (velocidad media de  $7.0 \text{ m s}^{-1}$ ). Las mayores oscilaciones ocurren en las regiones central y sur, con valores de  $\pm 1.7$  y  $1.6 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente. Las dos regiones restantes presentaron oscilaciones de  $\pm 1.1 \text{ m s}^{-1}$ . En la región central los ciclos anuales son más amplios que en las otras tres regiones ( $5 \text{ m s}^{-1}$ ) y la menor amplitud del ciclo anual ( $2 \text{ m s}^{-1}$ ) ocurre en la región occidental (San Andrés y Providencia). En la región sur (esquina Urabá-Morrosquillo), los vientos durante el veranillo son menos intensos que durante la época seca principal, mientras que en las demás regiones la intensidad de los vientos en las dos épocas secas es similar. En la región central, sin embargo, hay una leve disminución de la intensidad relativa del viento en el veranillo hacia el sector del sur.

El promedio mensual de la velocidad del viento evidenció la presencia del ChTSC y su variabilidad estacional (Figura 3). El chorro se intensifica (en velocidad y cobertura espacial) en enero con

velocidades mayores a  $8 \text{ m s}^{-1}$  y disminuye en octubre con velocidades cercanas a  $6 \text{ m s}^{-1}$ . Las mayores velocidades ( $\geq 11 \text{ m s}^{-1}$ ) se presentan en julio cuando la componente zonal del chorro es dominante y el núcleo reduce su cobertura espacial.

El rotacional del esfuerzo del viento (Figura 4) mostró una separación norte – sur, con una zona central a lo largo del núcleo del ChTSC con valores alrededor de  $0 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$ . Al norte los valores son negativos y varían a lo largo del año con valores menores a  $-2 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$  entre enero y julio y mayores a  $-5 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$  en octubre. En esta región el rotacional negativo es máximo en julio. En la zona sur el rotacional del esfuerzo del viento es positivo con valores mayores a  $3 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$  entre enero y julio, y menores a  $1.5 \times 10^{-7} \text{ N m}^{-3}$  en octubre. Hacia el borde occidental de la cuenca disminuye el rotacional del esfuerzo del viento y la máxima cobertura espacial se presenta en los meses de enero y julio.

En la Figura 5 se muestran las salidas de altura del nivel del mar y velocidad del modelo POCM-4C. Durante todo el año se presenta una diferencia norte – sur, separada por la CC que coincide con la latitud del ChTSC ( $14^{\circ}\text{N}$ ). El nivel del mar es más alto al norte de la cuenca (valores superiores a 40 cm) con dominio de una circulación antíclónica. En el sur de la cuenca el nivel del mar es más bajo (valores menores que -5 cm) y aparecen dos núcleos a lo largo de todo el año que marcan la circulación ciclónica del GPC. Estacionalmente, la estructura superficial no cambia significativamente, aunque la CC y el GPC son más fuertes en julio y más débiles en octubre.

Por su parte, los campos superficiales de las anomalías del nivel del mar de AVISO (Figura. 6), mostraron que en el suroeste de la cuenca (GPC) en los dos primeros trimestres del año hidrológico (diciembre a mayo) se registran valores positivos (8 cm) con dominio de una anomalía antíclónica, cuyo núcleo se desplaza desde el centro de la cuenca en enero hacia su borde occidental en abril. En esta época, hacia el sur, en el golfo del Darién (cerca de las costas de Panamá y Colombia) las anomalías revelan un flujo hacia el este, a favor de la CPC. En julio las anomalías del nivel del mar coinciden con la circulación ciclónica que domina el GPC, con una depresión de 10 cm, mientras que la anomalía en la costa del Darién continúa a favor de la CPC. En octubre la circulación ciclónica de las anomalías se contrae y se mueve hacia el norte, dejando hacia la costa una anomalía antíclónica débil en contra del GPC. En La Guajira, las anomalías del nivel del mar son negativas

durante la mayor parte del año, pero en octubre (mediados de la época húmeda) son positivas en dos núcleos anticiclónicos que se ubican al frente de la península y hacia el noroeste de la misma.

Los resultados del ajuste estacional de las anomalías del nivel del mar (Figura 7) confirman el comportamiento anticlónico/ciclónico que se presenta a lo largo de todo el año en la región. De este modo, entre diciembre y mayo se presenta un núcleo en el centro de la cuenca dominado por anomalías anticiclónicas, que disminuye en extensión a medida que se mueve hacia el suroccidente y aparece una anomalía ciclónica desde el este. La anomalía ciclónica domina la cuenca en el periodo julio a noviembre y también disminuye en extensión cuando se mueve hacia el suroccidente, mientras se desarrolla una anomalía anticiclónica desde el este.

Un resumen por regiones de la varianza explicada por el modelo de ajuste estacional para las anomalías del nivel del mar de AVISO, nivel del mar del POCM-4C y rotacional del esfuerzo del viento se presenta en la Tabla 1. Se encontró que al norte de 14°N la variabilidad estacional explica menos del 40% de las tres variables consideradas. Al sur la variabilidad estacional explica entre el 30 y el 90% de las mismas. En esta zona el nivel del mar es la variable mejor explicada por el modelo estacional, entre 80 y 90%, seguida del rotacional del viento, entre 40 y 60%. En cambio, la variabilidad estacional de las anomalías de nivel del mar sólo explica el 30% de la varianza en el GPC, pero el 70% al frente de La Guajira.

En la Figura 8, se presentan tres perfiles latitudinales (81°, 76.5° y 72°W) que se consideran representativos de la variación espacial de la estructura vertical de la región al sur de 14.25°N. Estos mostraron un flujo continuo hacia el este cercano a la costa (CPC) y otro hacia el oeste, en 14°N (CC), con variaciones estacionales. La CPC se manifiesta en superficie entre 82.5° (Costa Rica) y 75°W (Barranquilla). Al oeste de Panamá (78°W) la CPC es muy constante a lo largo del año. Entre 78° y 73.5°W es más intensa en los dos primeros trimestres del año (diciembre a mayo). A partir de 73.5°W (Sierra Nevada de Santa Marta) el flujo costero hacia el este tiene un núcleo subsuperficial (CSCC). En 72°W (Alta Guajira) la corriente superficial es hacia el oeste (CC) y la CSCC se localiza aproximadamente a 200 m de profundidad. La CSCC es más intensa en los dos primeros trimestres del año (diciembre a mayo) cuando el flujo hacia el oeste (CC) es más débil.

## Análisis interanual

La distribución espacial de la velocidad media del viento por trimestres durante los eventos ENSO se presenta en la Figura 9. Se encontró que el ciclo anual de los vientos sobre la cuenca Colombia cambia con este evento macroclimático. Durante los dos primeros trimestres del año (diciembre a mayo) la velocidad del núcleo del chorro es menor durante eventos El Niño y mayor durante eventos La Niña, mientras que entre junio y noviembre ocurre lo contrario (intensificación de la velocidad en períodos El Niño y disminución en períodos La Niña).

El análisis de los perfiles de velocidad zonal del modelo POCM-4C en los trimestres climáticos de Colombia durante los eventos El Niño (Figura 10), mostró que la CPC y la CSCC se debilitan durante todo el año respecto a su ciclo medio, excepto de junio a agosto, cuando se intensifican, mientras que la CC a la altura de La Guajira se intensifica todo el año.

Durante los eventos La Niña (Figura 11), se encontró que la CPC se intensifica de diciembre a febrero y se debilita de junio a noviembre. En cambio la CSCC todo el año es más débil que su valor medio. La CC a la altura de La Guajira presenta pocas las variaciones y sólo durante el trimestre JJA se intensifica.

## DISCUSIÓN

Los datos utilizados en este estudio provienen de diferentes fuentes (reanálisis, satélites y modelos). Aunque cada fuente tiene sus limitaciones, los datos trabajados constituyen la mejor información disponible para una zona con muy pocas mediciones directas. Sin embargo, la validación de los datos de reanálisis indicó que hay que tener cuidado con la interpretación de éstos en la zona costera. Los datos de altura del nivel del mar del modelo POCM-4C se han validado con observaciones de campo (Stammer *et al.*, 1996), mostrando una buena correspondencia, así por ejemplo en el Océano Índico, Matano *et al.* (2002) analizaron la estructura espacial y temporal de las anomalías del transporte y no encontraron diferencias significativas entre las desviaciones estándar calculadas por el modelo y de los valores observados. Asimismo, Matano *et al.* (2008) mostraron que

la estructura de la variabilidad estacional deducida del modelo es muy similar a la obtenida de datos satelitales. Para este trabajo la validación realizada mediante la comparación con datos medidos en un crucero oceanográfico indicó que los resultados del modelo son confiables.

Es evidente que la variabilidad estacional de los vientos sobre la cuenca Colombia está dominada por la acción del ChTSC que tiene mayor velocidad y cobertura espacial en DEF y menor en SON; durante el veranillo las velocidades en el núcleo son máximas en el año ( $\geq 11 \text{ m s}^{-1}$ ), pero la cobertura espacial es menor que en DEF. La descripción de la variabilidad estacional del ChTSC ha sido objeto de varias investigaciones (Poveda, 1998; Amador, 1998, 2008; Poveda y Mesa, 1999; Bernal *et al.*, 2006; Wang, 2007; Muñoz *et al.*, 2008; Whyte *et al.*, 2008; Ruiz-Ochoa y Bernal, 2009). Esta variabilidad y su carácter semianual han sido relacionados con los gradientes meridionales de presión atmosférica y temperatura superficial del mar en la región (Muñoz *et al.*, 2008; Whyte *et al.*, 2008), en una retroalimentación positiva (Wang, 2007): por un lado, estos gradientes producen el chorro y por otro el chorro produce un rotacional del viento negativo al norte del núcleo y uno positivo al sur (Sverdrup, 1947), los cuales tienden a calentar el norte y enfriar el sur, manteniendo el gradiente. La variabilidad semianual también ha sido relacionada con el ASAN o de las Azores (Giannini *et al.*, 2000; Wang, 2007; Amador, 2008; Muñoz *et al.*, 2008): el ASAN es más fuerte y se ubica hacia el oeste durante el trimestre JJA; en SON se debilita y se mueve hacia el este; en DEF nuevamente se desplaza al oeste y se conecta con el alto de presión de Norte América; en MAM se desarrolla el monzón norteamericano y el ASAN vuelve a su posición este. El ChTSC se refuerza cuando el ASAN es más fuerte y está en posición hacia el oeste (DEF y JJA).

El rotacional del esfuerzo del viento es considerado como uno de los factores más influyentes en la circulación superficial y en la generación de giros (Chu *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2001; Milliff y Morzel, 2001; Metzger, 2003). En la cuenca Colombia se presenta una separación norte (valores negativos) – sur (valores positivos) y una zona central coincidente con el ChTSC ( $14^{\circ}\text{N}$ ), resultados igualmente encontrados por Murphy *et al.* (1999), Wajsowicz (2002) y Alvera-Azcárate *et al.* (2009). Richardson (2005) también encontró que al norte de  $14^{\circ}\text{N}$  la cuenca está dominada por una circulación anticiclónica caracterizada por remolinos provenientes del Atlántico (Molinari *et al.*, 1981; Carton y Chao, 1999) que transitan entre los  $14^{\circ}$  y  $15^{\circ}\text{N}$  (Murphy *et al.*, 1999; Andrade y Barton, 2000) y que pueden formarse como remanentes de los anillos de la Corriente del Norte de Brasil (Richardson,

2005). Por su parte, Andrade y Barton (2000) mostraron que al sur de 15°N también se presentan remolinos pero de sentido ciclónico que se originan en este sector y no están asociados con la CC sino con el GPC. Estos remolinos ciclónicos, según los autores, serían más abundantes en la época húmeda del año. Hay que resaltar que los remolinos relacionados con inestabilidad de la CC o advectados desde el Atlántico al norte (anticiclónicos) y los formados por el rotacional del esfuerzo del viento y la precipitación al sur (ciclónicos) hacen parte de la variabilidad de mesoscala. Al respecto, Roemmich (1981) mostró que la variabilidad de mesoscala sobre la CC disminuye a medida que aumenta la distancia desde los respectivos pasajes de entrada al mar Caribe.

En la cuenca Colombia, las salidas de altura del nivel del mar y velocidad del modelo POCM-4C durante todo el año, presentaron la diferencia norte (valores superiores a 40 cm) – sur (valores menores que -5 cm), separada por la CC (14°N). Al norte dominó una circulación anticiclónica y al sur aparecen los dos núcleos a lo largo de todo el año que marcan la circulación ciclónica del GPC (Andrade *et al.*, 2003; Richardson, 2005). En julio la CC y el GPC son más fuertes y en octubre más débiles, tal como lo manifiestan Johns *et al.* (2002).

Los campos superficiales de las anomalías del nivel del mar de AVISO mostraron que en el suroeste de la cuenca (GPC) de diciembre a mayo se registran valores positivos (8 cm) con dominio de anomalías anticiclónicas. Sin embargo la circulación anticiclónica en el GPC no se describe en los estudios de Mooers y Maul (1998), Carton y Chao (1999), Andrade (2000), Fratantoni (2001), Johns *et al.* (2002), Andrade *et al.* (2003), Centurioni y Niiler (2003), Oey *et al.* (2003), Sheng y Tang (2003), Richardson (2005) o Jouanno *et al.* (2008). Aunque es de resaltar que estos estudios no se enfocan en la variabilidad estacional.

Como puede inferirse de la varianza explicada por el modelo estacional, en la zona el rotacional del esfuerzo del viento y el nivel del mar tienen mayor influencia de la escala estacional al sur de la CC (hasta 90% de varianza explicada), mientras que al norte la variabilidad estacional es menor (máximo 40%). Lo anterior indica que el rotacional del esfuerzo del viento estacionalmente afecta el nivel del mar y la circulación al sur de la cuenca pero no al norte de 14°N donde otras escalas temporales son dominantes (Nystuen y Andrade, 1993; Carton y Chao, 1999; Andrade y Barton, 2000; Alvera-Azcárate *et al.*, 2009).

Sobre la estructura vertical cerca de la costa suramericana, los resultados encontrados permiten entender la variabilidad estacional espacial de la CPC de una manera más detallada que la descrita en trabajos anteriores (Pujos *et al.*, 1986; Andrade *et al.*, 2003). Se encontró que la CPC está muy bien definida hasta 75° (Barranquilla) pero puede llegar hasta la Sierra Nevada de Santa Marta (73.5°W), cuando se convierte en la CSCC, y que entre 78° y 73.5°W es más intensa de diciembre a mayo, al igual que la CSCC. Pujos *et al.* (1986) propusieron que la CPC llega hasta la Guajira e incluso Venezuela en la época húmeda principal. Sin embargo, no explica la fuente de los datos estacionales (sólo indica que esta información proviene de “pilot charts”). Por su parte, Andrade *et al.* (2003) encontraron la CPC al frente de Cartagena y en con el Princeton Ocean Model implementado para los mares Intra-Americanos (IAS-POM), la reproducen hasta 72°W, pero no hacen un análisis estacional y no especifican la temporalidad de la gráfica del modelo. Por su parte, los dos trabajos que hablan sobre la CSCC (Andrade *et al.*, 2003; Jouanno *et al.*, 2008) la explican como parte de la circulación de la celda ciclónica del Atlántico Norte tropical, pero no describen su variabilidad estacional o interanual.

Para resumir los resultados sobre la variabilidad estacional vista, se detectaron dos patrones: el primero se corresponde con las épocas secas y húmedas del año (DEF-JJA y MAM-SON), el segundo con los semestres del año (DEF-MAM y JJA-SON). La variabilidad del ChTSC, del rotacional del viento y del GPC responden a las épocas seca y húmeda, mientras que el ajuste de las anomalías de nivel del mar y la estructura vertical de las corrientes cerca de la costa responden a los dos semestres del año. Estos dos patrones pueden explicarse por la influencia combinada de la migración de la ZCIT (semestral) y del ASAN que se intensifica en DEF y JJA, tal y como lo explican Giannini *et al.* (2000) y Wang (2007).

La variabilidad interanual del ChTSC está controlada por el gradiente meridional de temperatura y presión sobre el nivel del mar (Muñoz *et al.*, 2008; Whyte *et al.*, 2008). El aumento y/o disminución de la intensidad del chorro durante eventos ENSO responde al calentamiento del Pacífico tropical y al enfriamiento del Atlántico tropical, lo cual modifica las circulaciones meridionales y zonales que llegan a los mares Intra-Americanos (Muñoz *et al.*, 2008). Según Amador (2008) en la región central (Figura 2), durante El Niño los vientos son más fuertes que un año normal. Pero los resultados encontrados permiten concluir que lo anterior se cumple sólo para los períodos JJA y SON de los

años El Niño. Por tanto, es importante resaltar que hay una respuesta diferente entre los semestres del año.

Aunque los vientos presentan un patrón semestral de anomalías interanuales, la variabilidad de las corrientes cerca de la costa no. Durante El Niño las corrientes costeras en dirección este (CPC y CSCC) se debilitan todo el año excepto en JJA cuando se intensifican, mientras la CC al frente de la Guajira se intensifica todo el año. Durante La Niña las corrientes en dirección este se debilitan incluso en JJA, mientras que la CC frente a la Guajira permanece cercana a su media trimestral, excepto en JJA cuando se intensifica.

Como lo indica Wang (2007), las teleconexiones del ENSO son diferentes en DEF y JJA. Anomalías cálidas en el Pacífico tropical en DEF debilitan el ChTSC, pero durante JJA lo intensifican, debido a que el ENSO induce anomalías de presión en el ASAN negativas en DEF y positivas en JJA. Wang (2007) también demostró que el ChTSC varía en frecuencias más altas que el ENSO (1.25 y 2.3 años), lo que supone que no es sólo el forzamiento remoto del ENSO quien domina la variabilidad interanual en la región. Por tanto la respuesta de las variables estudiadas a los eventos ENSO, dependiente de las estaciones, y no opuesta entre años El Niño y La Niña, es compleja, y requiere un análisis de otros fenómenos globales y locales.

## CONCLUSIONES

El rotacional del esfuerzo del viento presentó una separación norte (valores negativos) – sur (valores positivos) y una zona central coincidente con el ChTSC ( $14^{\circ}\text{N}$ ), que también se observó en las salidas del modelo POCM-4C durante todo el año, con valores mayores que 40 cm al norte (circulación antícnica) y menores que -5 cm al sur (circulación ciclónica). En el suroeste de la cuenca (GPC) los campos superficiales de las anomalías del nivel del mar de AVISO de diciembre a mayo registraron valores positivos (8 cm) con dominio de anomalías antícnicas, mientras que de junio a noviembre las anomalías ciclónicas se hacen presentes (valores de -10 cm). En esta zona el rotacional del esfuerzo del viento y el nivel del mar tienen mayor influencia de la escala estacional

(hasta 90% de varianza explicada). Por su parte, al norte la variabilidad estacional es menor (máximo 40%).

La estructura vertical cerca de la costa suramericana muestra que la CPC puede llegar hasta Barranquilla (75°W) cuando alimenta la CSCC. En la A Ita Guajira la corriente superficial es hacia el oeste (CC) y la CSCC se localiza aproximadamente a 200 m de profundidad.

Se detectaron dos patrones de variabilidad estacional: el primero se corresponde con las épocas secas y húmedas del año (DEF-JJA y MAM-SON), el segundo con los semestres del año (DEF-MAM y JJA-SON). La variabilidad del ChTSC, del rotacional del viento y del GPC responde a las épocas seca y húmeda, mientras que el ajuste de las anomalías de nivel del mar y la estructura vertical de las corrientes cerca de la costa responden a los dos semestres del año.

Aunque los vientos presentan un patrón semestral de anomalías interanuales (se debilitan de diciembre a mayo y se intensifican de junio a noviembre durante El Niño), la variabilidad de las corrientes cerca de la costa no. Durante El Niño las corrientes costeras en dirección este (CPC y CSCC) se debilitan todo el año excepto en JJA cuando se intensifican, mientras la CC al frente de la Guajira se intensifica todo el año. Durante La Niña las corrientes en dirección este se debilitan incluso en JJA, mientras que la CC frente a la Guajira permanece cercana a su media trimestral, excepto en JJA cuando se intensifica. Esta respuesta dependiente de las estaciones y no opuesta entre años El Niño y La Niña es compleja y requiere un análisis de otros fenómenos globales y locales.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a la financiación otorgada por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS) al Programa de Investigación sobre la Gestión del Agua en Colombia, del Grupo Red de Cooperación para la Investigación del Agua en Colombia (GRECIA), del cual hicieron parte la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, la Universidad de Antioquia y el Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Se agradece a la Doctora Robin Tokmakian de la Naval Postgraduate School (Monterey, CA, USA) por suministrar las salidas de nivel del mar y velocidad del modelo POCM-4C. A los proyectos internacionales NCEP/NCAR (por los datos de las componentes zonal y meridional del viento a 10 m de altura) y AVISO (por los datos de anomalías del nivel del mar). Así como a la Armada Nacional de Colombia a través del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) por los datos de dos estaciones del crucero “Caribe” y a la National Data Buoy Center de la NOAA por la información de dirección y velocidad del viento de la boyta Caribe central (42085).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, M. y J. Scott. 2002. The influence of ENSO on air-sea interaction in the Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, 29(14): 1701, doi:10.1029/2001GL014347.
- Alfaro, E. 2000. Eventos cálidos y fríos en el Atlántico tropical norte. *Atmósfera*, 13(2): 109-119.
- Alvera-Azcárate, A., A. Barth y R. Weisberg. 2009. The surface circulation of the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico as inferred from satellite altimetry. *J. Phys. Oceanogr.*, 39: 640-657.
- Amador, J. 1998. A climatic feature of tropical Americas: The trade wind easterly jet. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 5(2): 91-102.
- Amador, J. 2008. The Intra-Americas Sea Low-Level Jet: Overview and future research. *Ann. NY. Acad. Sci.*, 1146(1): 153-188, doi:10.1196/annals.1446.012.
- Andrade, C. 2000. Circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Ph.D. Thesis. University of Wales. 223 p.
- Andrade, C. y E. Barton. 2000. Eddy development and motion in the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.*, 115(C11): 26,191-26,201.
- Andrade, C. y E. Barton. 2005. The Guajira upwelling system. *Cont. Shelf Res.*, 25: 1003-1022.
- Andrade, C., E. Barton y C. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean coast. *J. Geophys. Res.*, 108(C6): 3185, doi:10.1029/2002JC001549.
- Bernal, G., G. Poveda, P. Roldán y C. Andrade. 2006. Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la costa Caribe colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 30(115): 195-208.
- Cabrera, E. y M. Donoso. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano, Región III, Zona 1, PDCTM. *Bol. Cient. CIOH*, 13: 19-32.

- Carton, J. y Y. Chao. 1999. Caribbean Sea eddies inferred from TOPEX/POSEIDON altimetry and a 1/6° Atlantic Ocean model simulation. *J. Geophys. Res.*, 104(C4): 7746-7752.
- Centurioni, L. y P. Niiler. 2003. On the surface currents of the Caribbean Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 30(6): 1279, doi:10.1029/2002GL016231.
- Chu, P., C. Fan, C. Lozano y J. Kerling. 1998. An airborne expandable bathythermograph survey of the South China Sea, May 1995. *J. Geophys. Res.*, 103: 21,637-21,652.
- Corredor, J. 1981. Apuntes sobre la circulación costera en el Caribe noroccidental colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 3: 3-8.
- Enfield, D. y D. Mayer. 1997. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, 102(C1): 929-945.
- Espinosa-Carreón, T., P. Strub, E. Beier, F. Ocampo-Torres y G. Gaxiola-Castro. 2004. Seasonal and interannual variability of satellite-derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California. *J. Geophys. Res.*, 109(C03039), doi:10.1029/2003JC002105.
- Fajardo, G. 1979. Surgencia costera en las proximidades de la península colombiana de La Guajira. *Bol. Cient. CIOH*, 2: 7-19.
- Fratantoni, D. 2001. North Atlantic surface circulation during the 1990's observed with satellite-tracked drifters. *J. Geophys. Res.*, 106(C10): 22,067-22,093.
- Gallegos, A. y S. Czitrom. 1997. Aspectos de la oceanografía física regional del mar Caribe. En: M. Lavín (ed.). *Contribuciones a la oceanografía física en México. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana*. p. 225-242.
- Giannini, A., Y. Kushnir y M. Cane. 2000. Interannual variability of Caribbean rainfall, ENSO and the Atlantic Ocean. *J. Clim.*, 13: 297-311.
- Giannini, A., M. Cane y Y. Kushnir. 2001a. Interdecadal change in the ENSO teleconnection to the Caribbean region and the North Atlantic Oscillation. *J. Clim.*, 14: 2867-2879.

- Giannini, A., J. Chiang, M. Cane, Y. Kushnir y R. Seager. 2001b. The ENSO teleconnection to the tropical Atlantic Ocean: Contributions of the remote and local SSTs to rainfall variability in the tropical American. *J. Clim.*, 14: 4530-4544.
- Giannini, A., Y. Kushnir y M. Cane. 2001c. Seasonality in the impact of ENSO and the North Atlantic high on Caribbean rainfall. *Phys. Chem. Earth (B)*, 26(2): 143-147.
- Gordon, A. 1967. Circulation of the Caribbean Sea. *J. Geophys. Res.*, 72(24): 6207-6223.
- Johns, E., W. Wilson y R. Molinari. 1999. Direct observations of velocity and transport in the passages between the Intra-Americas Sea and the Atlantic Ocean, 1984 -1996. *J. Geophys. Res.*, 104(C11): 25,805-25,280.
- Johns, W., T. Townsend, D. Fratantoni y W. Wilson. 2002. On the Atlantic inflow to the Caribbean Sea. *Deep-Sea Res. Pt. I*, 49: 211-243.
- Jouanno, J., J. Sheinbaum, B. Barnier, J.-M. Molines, L. Debreu y F. Lemarié. 2008. The mesoscale variability in the Caribbean Sea. Part I: Simulations and characteristics with an embedded model. *Ocean Model.*, 23: 82-101.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetma, R. Reynolds, R. Jenne y D. Joseph. 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *B. Am. Meteorol. Soc.*, 77: 437-471.
- Large, W. y S. Pond. 1981. Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds. *J. Phys. Oceanogr.*, 11: 324-336.
- Liu, Q., Y. Jia, P. Liu, Q. Wang y P. Chu. 2001. Seasonal and intraseasonal thermocline variability in the central South China Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 28(23): 4467-4470.
- Matano, R., E. Beier, P. Strub y R. Tokmakian. 2002. Large scale forcing of the Agulhas variability: The seasonal cycle. *J. Phys. Oceanogr.*, 32: 1228-1241.
- Matano, R., E. Beier y P. Strub. 2008. The seasonal variability of the circulation in the south Indian Ocean: Model and observations. *J. Marine Syst.*, 74: 315-328.

Mesa, O., G. Poveda y L. Carvajal. 1997. Introducción al clima de Colombia. 1<sup>era</sup> edición. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 390 p.

Metzger, E. 2003. Upper ocean sensitivity to wind forcing in the South China Sea. *J. Oceanogr.*, 59: 783-798.

Milliff, R. y J. Morzel. 2001. The global distribution of the time-average wind stress curl from NSCAT. *J. Atmos. Sci.*, 58(2): 109-131.

Molinari, R., M. Spillane, I. Books, D. Atwood y C. Duckett. 1981. Surface currents in the Caribbean Sea as deduced from Lagrangian observations. *J. Geophys. Res.*, 86: 6537-6542.

Mooers, C. y G. Maul. 1998. Intra-Americas Sea circulation. In: *The Sea*. Brink, H. and A. Robinson (eds.). Wiley, New Cork. 1062 p.

Mora, I. y J. Amador. 2000. EL ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 7(1): 27-39.

Muñoz, E., A. Busalacchi, S. Nigam y A. Ruiz-Barradas. 2008. Winter and summer structure of the Caribbean Low-Level Jet. *J. Clim.*, 21: 1260-1276.

Murphy, S., H. Hurlburt y J. O'Brien. 1999. The connectivity of eddy variability in the Caribbean Sea, the Gulf of Mexico, and the Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 104(C1): 1431-1453.

Nystuen, J. y C. Andrade. 1993. Tracking mesoscale ocean features in the Caribbean Sea using Geosat altimetry. *J. Geophys. Res.*, 98(C5): 8389-8394.

Oey, L.-Y., H.-C. Lee y W. Schmitz, Jr. 2003. Effects of winds and Caribbean eddies on the frequency of Loop Current eddy shedding: A numerical model study. *J. Geophys. Res.*, 108(C10): 3324, doi:10.1029/2002JC001698.

Petus, C., C. García-Valencia, Y. Thomas y M. Cesaracio. 2007. Étude de la variabilité saisonnière et interannuelle de la résurgence de La Guajira (Colombie) par analyse de données satellitaires AMI-Wind, seawinds et AVHRR. *Rev. Télédétection*, 7(1-2-3-4): 143-156.

Poveda, G. 1998. Retroalimentación dinámica entre el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur y la hidrología colombiana. Tesis Ph.D. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín.

Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 28(107): 201-222.

Poveda, G. y O. Mesa. 1999. La corriente de chorro superficial del Oeste (“DEL CHOCÓ”) y otras dos corrientes de chorro en Colombia: Climatología y variabilidad durante las fases del ENSO. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 23(89): 517-528.

Poveda, G., O. Mesa, L. Salazar, P. Arias, H. Moreno, S. Vieira, P. Agudelo, V. Toro y F. Álvarez. 2005. The diurnal cycle of precipitation in the Tropical Andes of Colombia. Mon. Weather Rev., 133: 228-240.

Pujos, M., J.-L. Pagliardini, R. Steer, G. Vernette y O. Weber. 1986. Influencia de la contracorriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental: Su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. Bol. Cient. CIOH, 6: 3-15.

Richardson, P. 2005. Caribbean Current and eddies as observed by surface drifters. Deep-Sea Res. Pt. II, 52: 429-463.

Ripa, P. 2002. Ajuste de datos por cuadrados mínimos. Cienc. Mar., 28(1): 79-105.

Roemmich, D. 1981. Circulation of the Caribbean Sea: A well-resolved inverse problem. J. Geophys. Res., 86(C9): 7993-8005.

Ruiz-Ochoa, M. y G. Bernal. 2009. Variabilidad estacional e interanual del viento en los datos del reanálisis NCEP/NCAR en la cuenca Colombia, mar Caribe. Avances en Recursos Hidráulicos, 20: 7-20.

Sheng, J. y L. Tang. 2003. A numerical study of circulation in the Western Caribbean Sea. J. Phys. Oceanogr., 33: 2049-2069.

Stammer, D., R. Tokmakian, A. Semtner y C. Wunsch. 1996. How well does a 1/4° global circulation model simulate large-scale oceanic observations?. *J. Geophys. Res.*, 101(C10): 25,779-25,811, doi:10.1029/96JC01754.

Sverdrup, H. 1947. Wind-driven currents in a baroclinic ocean; with application to the equatorial currents of the eastern Pacific. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 33: 318-326.

Tomczak, M. y J. Godfrey. 1994. *Regional Oceanography: An introduction*. First Edition. Pergamon. Oxford. UK. 422 p.

Trenberth, K., W. Large y J. Olson. 1990. The mean annual cycle in global ocean wind stress. *J. Phys. Oceanogr.*, 20: 1742-1760.

Wajsowicz, R. 2002. A modified Sverdrup model of the Atlantic and Caribbean circulation. *J. Phys. Oceanogr.*, 32: 973-993.

Wang, C. 2007. Variability of the Caribbean Low-Level Jet and its relations to climate. *Clim. Dynam.*, 29: 411-422, doi:10.1007/s00382-007-0243-z.

Whyte, F., M. Taylor, T. Stephenson y J. Campbell. 2008. Features of the Caribbean Low Level Jet. *Int. J. Climatol.*, 28: 119-128.

Worley, S., S. Woodruff, R. Reynolds, S. Lubker y N. Lott. 2005. ICOADS Release 2.1 data and products. *Int. J. Climatol.* ([CLIMAR-II Special Issue](#)), 25: 823-842, doi:10.1002/joc.1166.

## LEYENDA DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio con su respectiva batimetría. Las líneas blancas con orientación latitudinal hasta 14.25°N representan la localización espacial de los ocho perfiles realizados. La información batimétrica fue obtenida del World Data Center for Geophysics and Marine Geology, Boulder. 2006. 2-Minute Gridded Global Relief Data (ETOPO2v2).

**Figura 2.** Variabilidad espacial de los ciclos anuales de la velocidad del viento en la cuenca Colombia.  $\mu$  y  $\sigma$  corresponden al promedio y a la desviación estándar por región en  $m s^{-1}$ , respectivamente.

**Figura 3.** Campos superficiales de la velocidad media del viento [ $m s^{-1}$ ] en los meses intermedios de los trimestres climatológicos.

**Figura 4.** Campos superficiales del rotacional del viento [ $N m^{-3}$ ] en los meses intermedios de los trimestres climatológicos.

**Figura 5.** Campos superficiales del nivel del mar [cm] del modelo POCM-4C en los meses intermedios de los trimestres climatológicos. Los vectores representan velocidad superficial.

**Figura 6.** Campos superficiales de anomalías del nivel del mar [cm] de AVISO en los meses intermedios de los trimestres climatológicos.

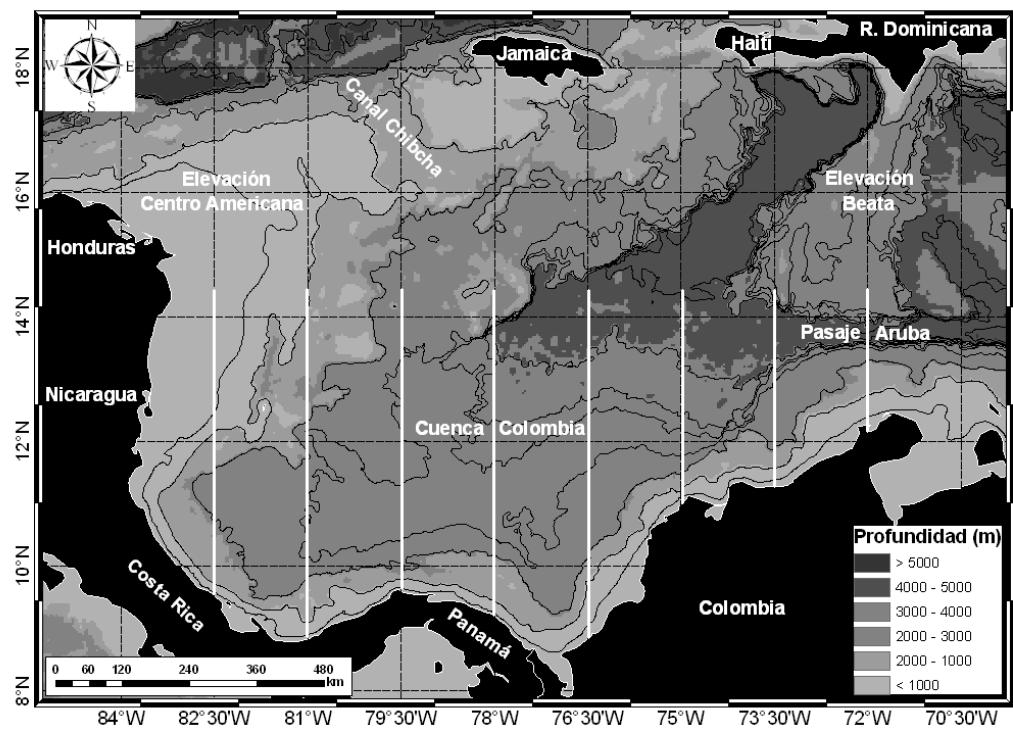
**Figura 7.** Ajuste estacional anual de las anomalías de nivel del mar en los meses intermedios de los trimestres climatológicos.

**Figura 8.** Perfiles latitudinales de la velocidad zonal de las corrientes [ $cm s^{-1}$ ] del modelo POCM-4C durante los trimestres climatológicos en la cuenca Colombia sobre 81°, 76.5° y 72°W, limitados hasta 14.25°N.

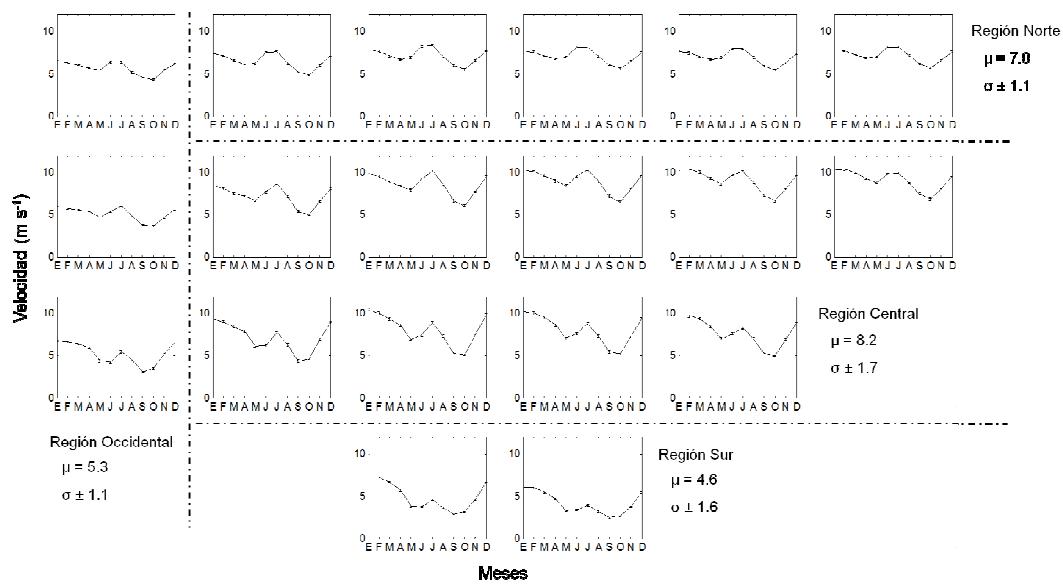
**Figura 9.** Campo superficial de la velocidad del viento [ $m s^{-1}$ ] en los trimestres de la climatología colombiana durante los eventos El Niño y La Niña.

**Figura 10.** Perfiles latitudinales de la velocidad zonal de las corrientes [cm s<sup>-1</sup>] del modelo POCM-4C durante los eventos El Niño sobre 81°, 76.5°y 72°W , limitados hasta 14.25°N.

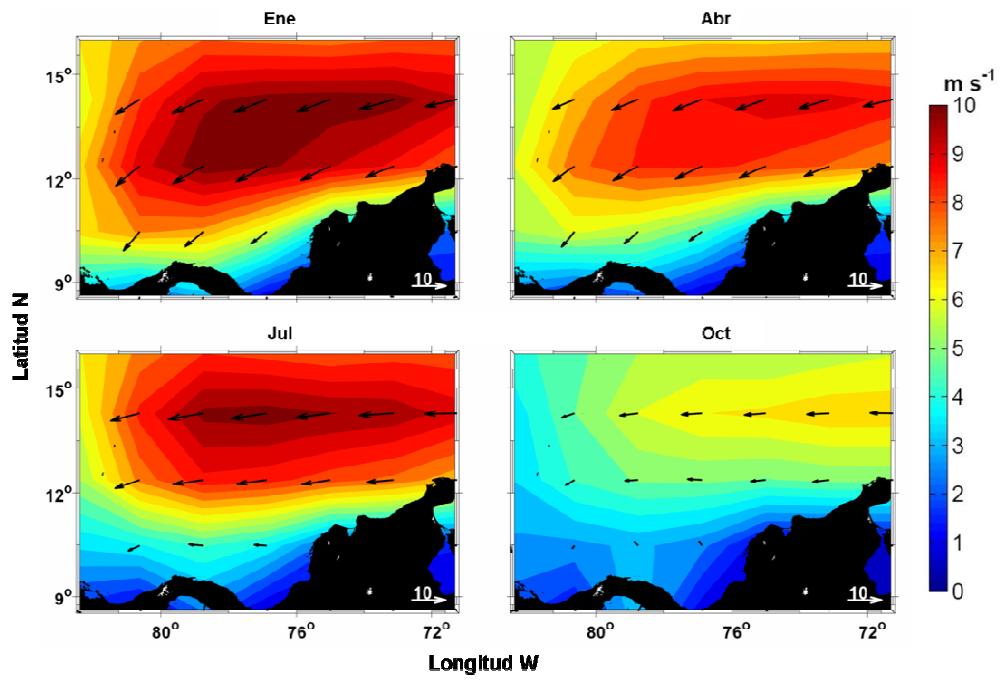
**Figura 11.** Perfiles latitudinales de la velocidad zonal de las corrientes [cm s<sup>-1</sup>] del modelo POCM-4C durante los eventos La Niña sobre 81°, 76.5°y 72°W , limitados hasta 14.25°N.



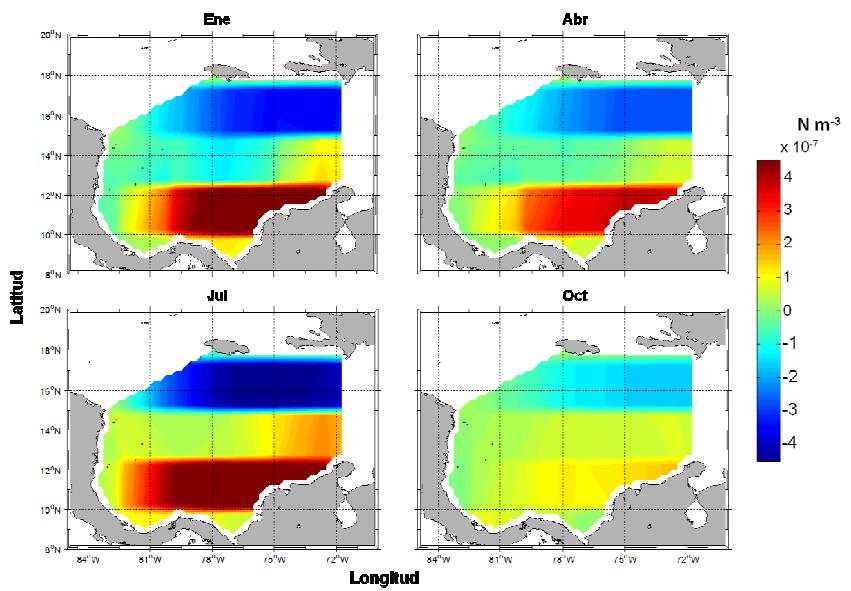
**Figura 1**



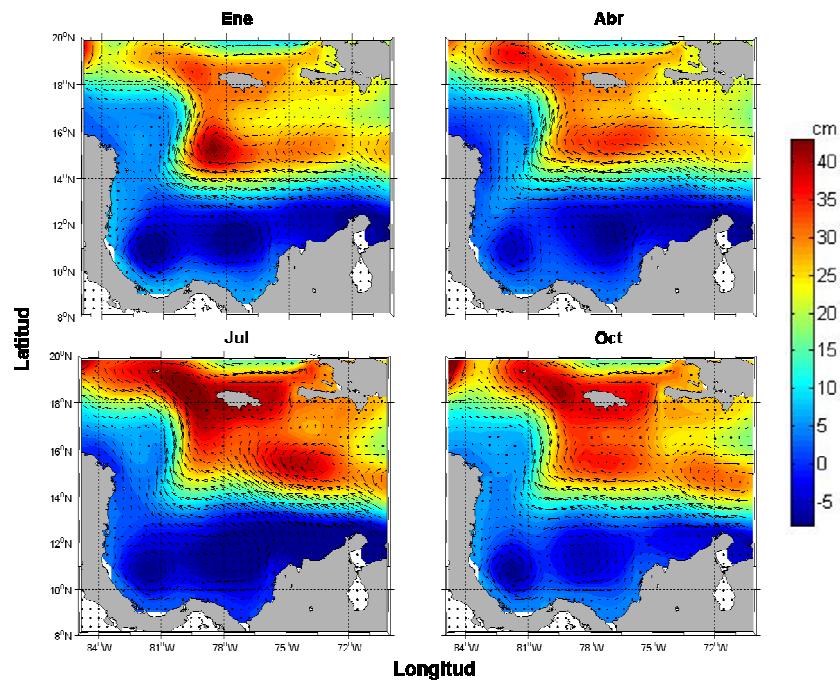
**Figura 2**



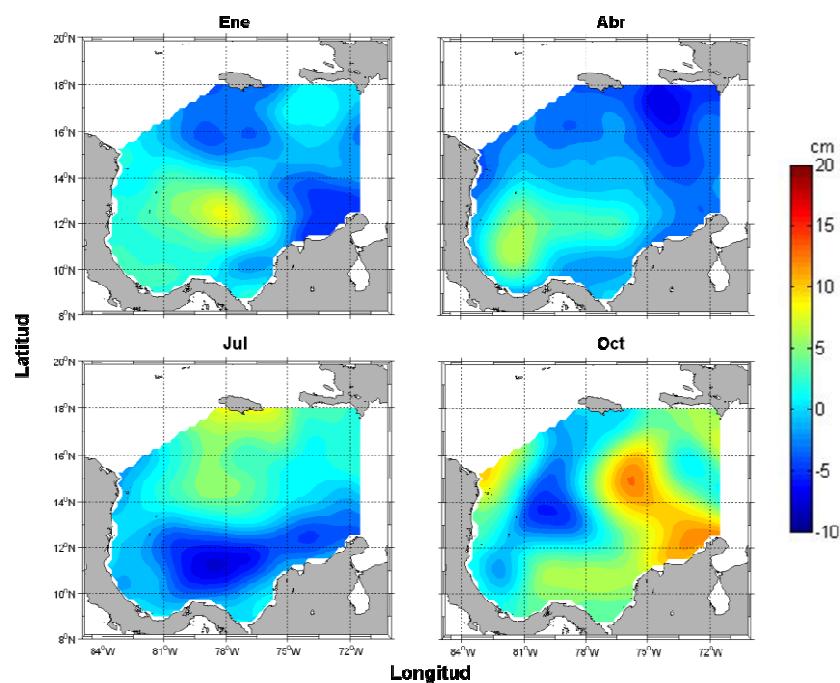
**Figura 3**



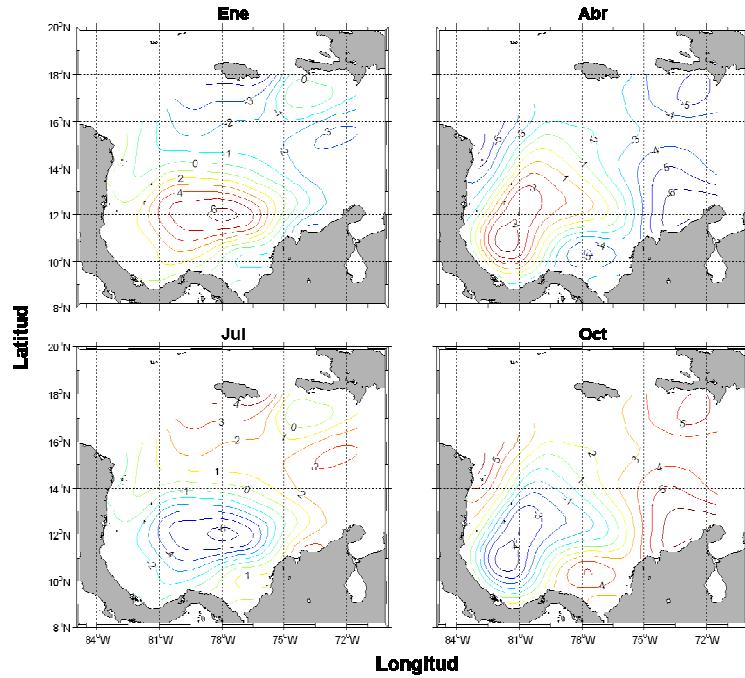
**Figura 4**



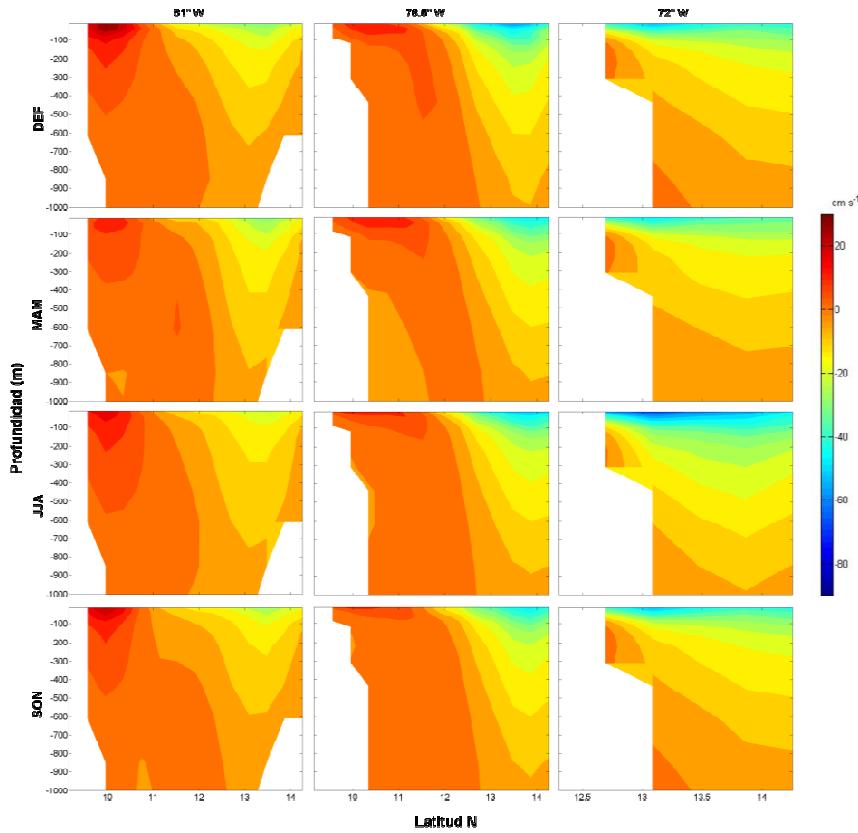
**Figura 5**



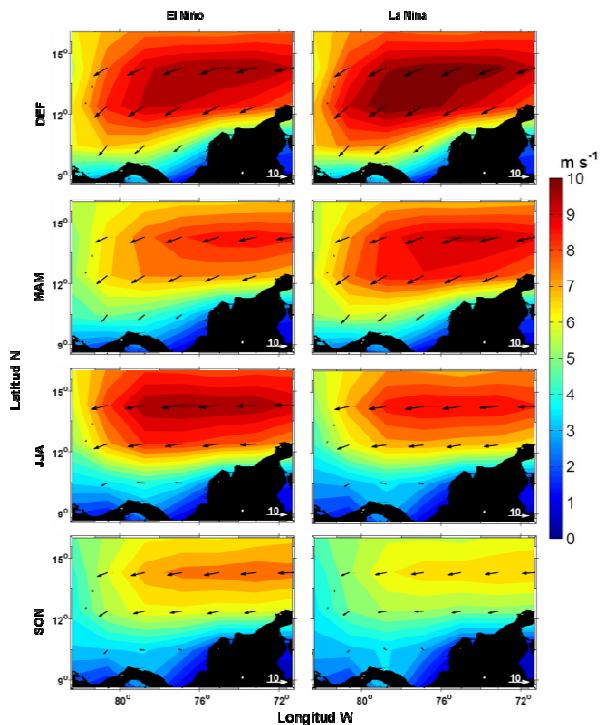
**Figura 6**



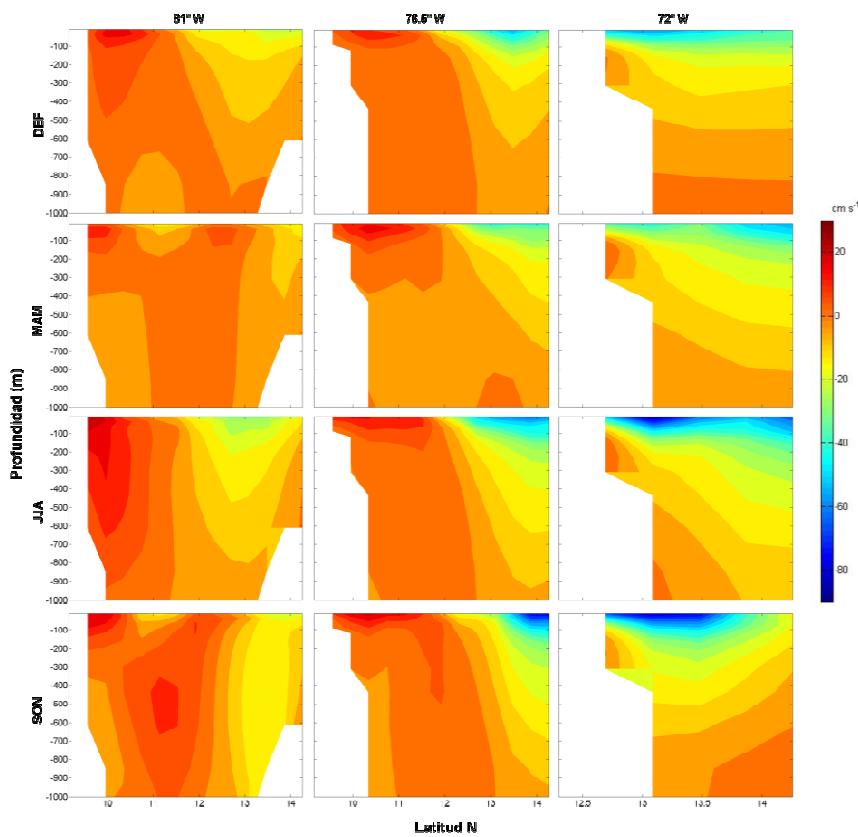
**Figura 7**



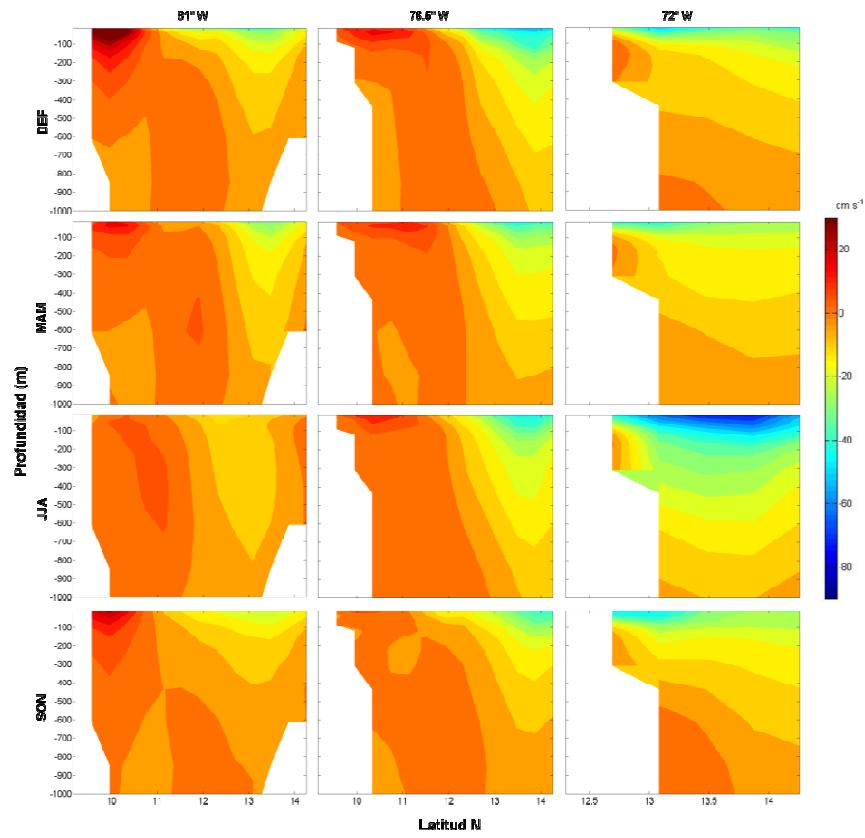
**Figura 8**



**Figura 9**



**Figura 10**



**Figura 11**

**Tabla 1.** Varianza explicada por el ajuste estacional [%] de las anomalías de nivel del mar de AVISO, nivel del mar del POCM-4C y rotacional del esfuerzo del viento.

Región	Anomalías del nivel del mar de AVISO	Nivel del mar del POCM-4C	Rotacional del esfuerzo del viento
GPC	30	90	40
CPC (Hasta 75ºW)	40	80	60
Costas de la Guajira	70	90	50
Norte de 14ºN	10	40	30

GPC: Giro Panamá-Colombia, CPC: Contracorriente Panamá-Colombia.

## 2. Aspectos biológicos.

**VARIACIÓN GENÉTICA TEMPORAL DEL CARACOL PALA (*STROMBUS GIGAS*) EVIDENCIADA POR MICROSATÉLITES EN EL ATOLÓN BOLÍVAR, ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA**

R.M. Landínez-García<sup>1</sup>, J.D. Rangel-Medrano<sup>1</sup>, Erik R. Castro-González<sup>2</sup>, Edna Márquez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Biotecnología Animal, Laboratorio de Biología Celular y Molecular, Universidad Nacional de Colombia, Calle 59<sup>a</sup> No 63–20, Medellín, Colombia. \* E-mail: [eimarque@unal.edu.co](mailto:eimarque@unal.edu.co). <sup>2</sup>Secretaría de Agricultura y Pesca del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

**RESUMEN**

El atolón Bolívar es uno de los sitios del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina que presenta una baja recuperación en la densidad poblacional del caracol pala *Strombus gigas*, por lo tanto el monitoreo de la diversidad genética de la especie en este sitio constituye un punto crucial en la selección de alternativas adecuadas de manejo sostenible y actividades de conservación. Con el fin de detectar diferencias en la diversidad genética del caracol pala en este atolón, en el presente trabajo se compararon muestras recolectadas en los años 2007 y 2008 empleando seis *loci* microsatélites, el estadístico  $\Phi_{ST}$  y análisis de varianza molecular (AMOVA). Los resultados del análisis genético indicaron que todos los *loci* fueron polimórficos, presentaron déficit de heterocigosidad y desviación del equilibrio Hardy-Weinberg. Las muestras recolectadas en 2008 presentaron un menor número de alelos por *locus* y fueron genéticamente diferentes de las recolectadas en 2007 ( $\Phi_{ST} = 0,070$  P= 0.000). Los resultados en conjunto sugieren una disminución significativa de la variación genética de poblaciones de *Strombus gigas* ocurrida en un periodo muy corto de tiempo en el atolón Bolívar lo que amerita tomar medidas urgentes que permitan la recuperación de la densidad poblacional de la especie dentro de esta área.

## ABSTRACT

**Temporal genetic variation of the Queen Conch (*Strombus gigas*) as evidenced by microsatellites in East-South East Atoll, San Andrés, Providencia and Santa Catalina Archipelago.** East-South-East (ESE) is one of the atolls of the Archipelago of San Andres, Providence and Santa Catalina, which has a low recovery of density population of *Strombus gigas*, therefore monitoring of genetic diversity of the species on this site is a crucial point in the choice of suitable alternative for sustainable management and conservation activities. Here, we compared samples collected in the years 2007 and 2008 using six microsatellite *loci*, the statistical  $\Phi_{ST}$  and analysis of molecular variance (AMOVA) to detect temporal genetic variation in queen conch populations from this atoll. All *loci* were polymorphic, showed deficits of heterozygosity and deviation from Hardy-Weinberg equilibrium. Samples collected in 2008 showed a lower number of alleles per *locus* and were genetically different from those collected in 2007 ( $\Phi_{ST} = 0.070$  P = 0.000). Our results suggest a significant decrease in genetic variation of populations of *Strombus gigas* occurred in a very short period on the ESE atoll which demand urgent action to recovery of the population density of the species within this area.

Palabras claves: Diversidad genética, Microsatélites, AMOVA, Conservación.

## INTRODUCCIÓN

El caracol pala (*Strombus gigas*) es una de las siete especies de la familia Strombidae que habita las aguas del océano Atlántico, desde la costa norte de América Latina, hasta el sur de la Florida y Bermuda (Catarci, 2004). Su pesca, consumo y aprovechamiento artesanal hace parte del acervo cultural y mitológico de larga tradición en el Caribe, desde épocas pre colombinas (Álvarez-León et al., 2007).

En la actualidad los sitios de mayor pesca de *S. gigas* en Colombia están concentrados en los Archipiélagos de San Andrés y de Providencia y la península de la Guajira, sin embargo, estas regiones han experimentado una considerable reducción de sus poblaciones naturales debido

principalmente a la sobreexplotación a la que se encuentran sometidas y a la destrucción de su hábitat natural (Theile, 2001; Ardila *et al.*, 2002; Álvarez-León *et al.*, 2007).

A pesar del diseño e implementación de medidas de manejo nacionales e internacionales con el fin de controlar la sobreexplotación y el acceso a estos recursos, tales como vedas de capturas, talla de captura mínima, cuotas de captura y en muchos casos el cierre total de la pesquería (Prada *et al.*, 2009), en la mayoría de los casos las poblaciones actuales presentan una disminución en su densidad poblacional (Ballesteros *et al.*, 2005), estado bajo el cual se cree insostenible mantener las poblaciones en condiciones propicias para su auto-recuperación (Stoner y Ray-Culp, 2000).

Este es el caso del atolón Bolívar, localizado al suroeste del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, donde se presenta baja recuperación en la densidad poblacional de *S. gigas*. Debido a que las poblaciones con densidades poblacionales críticamente bajas presentan un tamaño efectivo poblacional reducido (bajo número de adultos que aporten gametos a la población), es razonable pensar que están expuestas a alta tasa de endogamia, deriva y pérdida de variación genética. En este trabajo se contrastó la hipótesis anterior con el análisis de seis *loci* microsatélites recientemente desarrollados para esta especie.

## ÁREA DE ESTUDIO

Se utilizaron muestras de tejido muscular de la región del manto de 55 especímenes recolectados durante los años 2007 y 2008 en cayo Bolívar (12°24'N 81°27'O), atolón ubicado a 25 km al Suroeste de la Isla de San Andrés. Las muestras se preservaron en Alcohol etílico al 90% hasta la llegada al Laboratorio de Biología Celular y Molecular de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Amplificación y genotipificación de microsatélites

La extracción del ADN se realizó con la ayuda del kit comercial DNAeasy Blood & Tissue Kit (Qiagen, Duesseldorf, Alemania), se cuantificó mediante fluorometría utilizando el equipo VersaFluor (Bio-Rad, Philadelphia, USA) con el respectivo Fluorescent DNA quantification Kit (Bio-Rad, Philadelphia, USA). Para la genotipificación, las reacciones de amplificación se realizaron en un volumen final de 10 µL, con amortiguador de PCR 1X (Invitrogen, California, USA), 2.75 mM de MgCl<sub>2</sub>, 0.1 mM de dNTPs, 0.5 µM de cada uno de los cebadores, 0.04 unidades µL<sup>-1</sup> de Taq recombinante (Invitrogen, California, USA) y 5 ng µL<sup>-1</sup> de ADN. El cebador derecho de todos los pares de cebadores fue marcado fluorescentemente con Cy5.0 o Cy5.5 (MWG Biotech, Atlanta, USA). Se programó el termociclador T3 (Biometra, Göttingen, Alemania) con una rampa de dos, una desnaturización inicial de 2 min a 90°C, seguida de 32 ciclos con el siguiente perfil: 15 seg a 94°C, 10 seg a la temperatura específica de cada cebador (59°C para DQ533622, DQ533624; 61°C para DQ533623, AY707892; y 63°C para AY707890, AY707891), 10 seg a 72°C, y una extensión final de 15 min a 72°C. Los productos de PCR se desnaturizaron por incubación a 80°C por 3 minutos en una mezcla 1:1 (v/v) del producto de amplificación y el buffer: 99% formamida (Amresco, Ohio, USA) y 0.1% de azul de bromofenol (Sigma, St. Louis, USA). Los fragmentos se separaron en un secuenciador automático Long-Read Tower™ System (Siemens AG, Munich, Germany) con sus accesorios y reactivos, según los manuales provistos por el fabricante. El equipo se programó bajo las siguientes condiciones de corrido: 1500 V, 58°C de temperatura, 50% de potencia del láser, 1 seg de lectura y 45 min de corrido en presencia de TBE 1X. El tamaño de cada amplificado se calculó con el software Gene Objects V3.0 (Siemens AG, Munich, Germany) utilizando como referencia marcadores internos de tamaño conocido (102, 137 y 216 pb). Para la selección del pico verdadero y la determinación de su condición de homocigoto o heterocigoto, se siguieron las recomendaciones de Butler (2001).

### Análisis de datos

La diversidad genética de cada una de las poblaciones de estudio se estimó mediante el cálculo del promedio de alelos por locus (Na), el número de loci polimórficos (P), la heterocigosidad media observada (Ho), la esperada (He) en el equilibrio Hardy Weinberg y el índice de fijación F<sub>is</sub> conocido como índice de endogamia. Para llevar a cabo la determinación del grado de diferenciación genética entre las poblaciones examinadas se utilizó el estadístico Φ<sub>ST</sub> y el análisis de varianza molecular

(AMOVA) (Excoffier *et al.*, 1992), utilizando el programa GenAIEx versión 6.2 (Peakall y Smouse, 2006). La significancia estadística de las pruebas se estimó con 10000 permutaciones al 95%. Las comparaciones múltiples fueron ajustadas por la Prueba de *Bonferroni* (Dunn-Sidak) al 95% (Sokal y Rohlf, 1995).

## RESULTADOS

Todos los *loci* fueron polimórficos, presentaron déficit de la heterocigosidad y sus frecuencias alélicas estuvieron alejadas del equilibrio Hardy-Weinberg. La muestra recolectada en 2007 presentó mayor diversidad genética debido a su mayor número de alelos por *locus* (Tabla 1, Figura 1). De manera adicional, el análisis AMOVA mostró diferencias genéticas estadísticamente significativas entre las muestras recolectadas en los dos períodos ( $\Phi_{ST} = 0,070 P= 0.000$ ).

## DISCUSIÓN

El presente estudio mostró que las muestras recolectadas en los dos períodos fueron significativamente diferentes. La metodología empleada ha servido para realizar el análisis genético de 189 especímenes provenientes del Caribe colombiano, el cual sugirió que el déficit de heterocigosidad observado en todos los *loci* reflejan más un problema biológico que técnico (Segura, 2010).

La diferencia genética entre muestras temporales, sumada a la reducción en el número de alelos por *locus*, sugiere una disminución de la variabilidad genética en el atolón Bolívar ocurrida en un breve periodo de tiempo. Lo anterior puede ser el resultado de fenómenos recientes de origen antrópico como la sobre pesca, factor ampliamente reconocido como precursor de la pérdida de variabilidad genética (Myers *et al.*, 1995; Hauser *et al.*, 2002; Ahlroth *et al.*, 2003; Hoarau *et al.*, 2005). Este aspecto puede estar potenciado por el efecto Allee debido a la disminución de la reproducción

(Castro *et al.*, 2007) y a la baja densidad media de adultos registrada para Cayo Bolívar en 2007 (8.7 ind/ha) (Ballesteros *et al.*, 2005; Prada *et al.*, 2009), la cual es inferior a la densidad mínima requerida para que ocurran eventos reproductivos (50 ind/ha, efecto Allee) (Stoner y Ray-Culp, 2000).

Nuestros resultados indican que las poblaciones de Cayo Bolívar son susceptibles a los efectos nocivos de la deriva genética y la endogamia. Por lo anterior, la recuperación de estos stocks requerirá del esfuerzo concertado de la comunidad y organismos estatales para la implementación conjunta de diferentes medidas de conservación. Estos esfuerzos deben considerarse en una escala geográfica mayor para garantizar el abastecimiento natural de individuos a partir de poblaciones fuente.

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente investigación fue financiada por el Instituto para la Ciencia y la Investigación “Francisco José de Caldas” Proyecto 111809-17772, Contrato 212/2005. Esta investigación se realizó bajo el permiso de acceso a recursos genéticos emanado del Ministerio Colombiano de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial N°18 del 8 de julio de 2008.

## BIBLIOGRAFIA

- Ahlroth, P., R. Alatalo, A. Holopainen, T. Kumpulainen, y J. Suhonen. 2003. Founder population size and number of source populations enhance colonization success in waterstriders. *Oecologia*, 137: 617-620.
- Álvarez-León, R., F. d. P. Gutiérrez-Bonilla, J. F. Ospina-Arango, y E. Chiquillo-Espítia. 2007. El caracol de pala (*Strombus gigas* Linnaeus, 1758) en el Caribe Colombiano: Revisión monográfica. *Bol. Cient. Mus. His. Nat.*, 11: 301-332.
- Ardila, N., G. R. Navas, y J. O. Reyes. 2002. Libro rojo de invertebrados marinos de Colombia. INVEMAR. Ministerio de Medio Ambiente, Bogotá. 177 p.
- Ballesteros, F., C. García, M. Rueda, K. Gómez, y L. S. Mejía. 2005. Relative abundance and fishery characterization of queen conch *Strombus gigas* (Mesogastropoda: Strombidae) in the archipelago of San Bernardo, Colombian Caribbean. *Proc. GCFI*, 58: 393-398.
- Butler, J. 2001. Forensic DNA typing: Biology & technology behind STR markers. Academic Press, USA. 322 p.
- Castro, E. R., L. Frenkiel, E. Baqueiro, y D. Aldana. 2007. Atypical reproductive cycle of the queen conch *Strombus gigas* (Mollusca: Gastropoda). *Proc. GCFI*, 58: 443-450.
- Catarci, C. 2004. World markets and industry of selected commercially-exploited aquatic species with an international conservation profile. FAO, Rome. 186 p.
- Excoffier, L., P. E. Smouse, y J. M. Quattro. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics*, 131: 479-491.
- Hauser, L., G. J. Adcock, P. J. Smith, J. H. Bernal, y G. R. Carvalho. 2002. Loss of microsatellite diversity and low effective population size in an overexploited population of new zealand snapper (*Pagrus auratus*). *Natl. Acad. Sci.*, 99: 11742-11747.
- Hoarau, G., E. Boon, D. N. Jongma, S. Ferber, J. Palsson, H. W. Van der Veer, A. D. Rijnsdorp, W. T. Stam, y J. L. Olsen. 2005. Low effective population size and evidence for inbreeding in an

overexploited flatfish, plaice (*Pleuronectes platessa* L.). Proc. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci., 272: 497-503.

Myers, R. A., N. J. Barrowman, J. A. Hutchings, y A. A. Rosenberg. 1995. Population dynamics of exploited fish stocks at low population levels. Science, 269: 1106-1108.

Peakall, R., y P. E. Smouse. 2006. Genalex 6: Genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research. Mol. Ecol. Notes, 6: 288–295.

Prada, M., E. R. Castro, E. Taylor, V. Puentes, R. S. Appeldoorn, y N. Daves. 2009. Non-Detrimental findings for the Queen Conch in Colombia. NOAA Fisheries-Blue Dream LTDA, San Andres Island. 51p.

Segura, J. A. 2010. Análisis genético de caracol pala *Strombus gigas* en el Caribe colombiano. Tesis de Maestría. Posgrado en Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.57 p.

Sokal, R. R., y F. J. Rohlf. 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. W. H. Freeman and Co, New York. 887 p.

Stoner, A. W., y M. Ray-Culp. 2000. Evidence for Allee effects in an over-harvested marine gastropod: Density-dependent mating and egg production. Mar. Ecol. Prog. Ser., 202: 297-302.

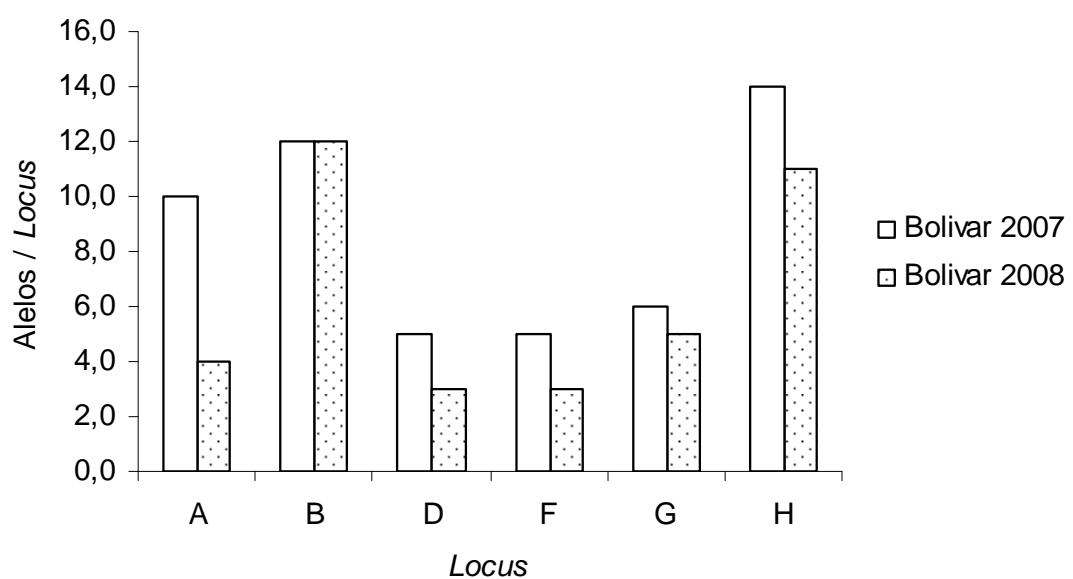
Theile, S. 2001. Queen conch fisheries and their management in the Caribbean. TRAFFIC Europe, Brussels. 95 p.

**Tabla 1.** Variación temporal de la diversidad genética de dos poblaciones de *Strombus gigas*. N: número de individuos; Na: número de alelos por locus; Ho: heterocigosidad media observada; He: heterocigosidad media esperada; F<sub>is</sub>: índice de endogamia. \*Significancia estadística para el equilibrio Hardy-Weinberg a P<0.001.

Locus(Código)	Bolívar 2007					Bolívar 2008				
	N	Na	Ho	He	F <sub>is</sub>	N	Na	Ho	He	F <sub>is</sub>
AY707889 (H)	19	14	0.158	0.896	0.824*	21	11	0.190	0.848	0.775*
DQ533624 (B)	31	12	0.452	0.807	0.440*	20	12	0.550	0.860	0.360*
DQ533622 (A)	30	10	0.233	0.723	0.677*	22	4	0.409	0.646	0.366*
AY707892 (G)	29	6	0.276	0.641	0.570*	23	5	0.609	0.684	0.110*
DQ533623 (D)	31	5	0.710	0.549	-0.293*	22	3	0.273	0.616	0.557*
AY707891 (F)	30	5	0.133	0.624	0.786*	24	3	0.083	0.457	0.818*
Promedio	28	9	0.327	0.707	0.501*	22	6	0.352	0.685	0.498*

## **LEYENDA DE LAS FIGURAS**

**Figura 1.** Alelos por *locus* en el atolón Bolívar en las muestras tomadas en los años 2007 y 2008.



**Figura 1.**

# **RIQUEZA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CRUSTÁCEOS DECÁPODOS DEL MAR CARIBE COLOMBIANO**

Néstor Hernando Campos<sup>1</sup>, Gabriel R. Navas S.<sup>2</sup> y Adriana Bermúdez Tobón<sup>2</sup>

1. Profesor Titular Centro de Estudios en Ciencias del MAR, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe,  
[nhcamposc@unal.edu.co](mailto:nhcamposc@unal.edu.co)

2. Docentes, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Cartagena,  
[gnavass@unicartagena.edu.co](mailto:gnavass@unicartagena.edu.co); [abermudezt@unicartagena.edu.co](mailto:abermudezt@unicartagena.edu.co).

## **RESUMEN**

El número de especies de crustáceos decápodos conocidos para el Caribe colombiano se ha incrementado en cerca de un 150 % en los últimos 20 años, como resultado de varios programas de muestreo en hábitats costeros y de aguas profundas. En total se han registrado 614 especies de decápodos para la costa Caribe, incluyendo al Archipiélago de San Andrés y Providencia, pertenecientes a 80 familias, 21 de camarones, seis del grupo de las langostas, cuatro del grupo de los taliasinidos, nueve de anomuros y 40 pertenecientes a los braquiuros o cangrejos verdaderos. En la última década se han descubierto varias especies nuevas en la zona costera, pertenecientes a los grupos de Caridea, Thallassinidea, Paguridea, Galatheoidea y Brachyura. La información de algunos grupos, tanto la publicada como la que aun no lo ha sido, ha revelado que se presentan diversos problemas, o que varias taxas están conformadas por complejos de especies que requieren de un detallado estudio taxonómico. Como era de esperarse, la fauna de decápodos de esta región, tiene algunos elementos encontrados a través de todo el Caribe. Sin embargo un buen número de especies no ha sido encontrado en otra parte del Caribe, mostrando una fuerte afinidad con los decápodos del Atlántico tropical/subtropical y el suroccidental, con algunas formas del Pacífico oriental tropical. Algunas especies recientemente descubiertas, como el camarón fantasma callianassido *Lepidophthalmus sinuensis* y el ermitaño *Calcinus urabaensis*, el cual es endémico del golfo de Urabá, del Caribe colombiano.

## ABSTRACT

### **Richness and geographic distribution of decapod crustaceans from the Colombian Caribbean.**

The number of decapod species known from the Colombian Caribbean has increased by nearly 150% in the last 20 years as a result of various sampling programs in coastal and deep water. In total there have been 614 species of decapods to the Caribbean coast, including the Archipelago of San Andres and Providencia, belonging to 80 families, 21 of shrimps, six of the group of lobsters, four taliasinidos group, nine of anomuran and 40 belonging to the Brachyura or true crabs. In the past decade have discovered several new species in the coastal zone, belonging to groups Caridea, Thallassinidea, Paguridea, Galatheoidea and Brachyura. Information from some groups, both public and which have not already been revealed that there are various problems, or that several taxa are formed by complexes of species that require a detailed taxonomic study. As expected, the decapod fauna of this region are some elements found throughout the Caribbean. However a large number of species not found elsewhere in the Caribbean, showing a strong affinity with the tropical Atlantic decapod / subtropical and the south-west, with some forms of the tropical eastern Pacific. Some newly discovered species, such as ghost shrimp *Callianassa Lepidophtalmus sinuensis* and *urabaensis* *Calcinus hermit*, which is endemic to the Gulf of Uraba, the Colombian Caribbean.

## INTRODUCCIÓN

Los crustáceos conforman uno de los grupos más abundantes dentro de los invertebrados. Han conquistado prácticamente todos los hábitats, desde los marinos hasta los de agua dulce, y desde los humedales hasta el límite de ciertos desiertos. En los océanos se distribuyen a todo lo largo del rango batimétrico, reportándose, desde las zonas intermareales hasta las fosas más profundas.

Su aparición en la tierra se remonta al Paleozoico temprano, período al cual han sido asignados los primeros fósiles. Entre el Cámbrico y el Ordovícico (hace cerca de 500 millones de años) aparecen la mayoría de los subgrupos morfológicos reconocidos actualmente (Abele, 1982), y durante el Pérmico (hace aproximadamente 250 MA) se presentó la conquista del agua dulce, y luego de la

tierra. Los crustáceos se constituyen en uno de los grupos de invertebrados con mayor rango de tallas, (con un factor de 1000 veces entre la menor y la más grande). A ellos pertenece uno de los grupos con biomassas más grandes, como es el krill, con abundancias estimadas de 500 millones de toneladas, e igualmente la larva nauplio, el grupo de organismos multicelulares más abundante (Martin y Davis, 2001).

En el mar Caribe se han adelantado numerosas investigaciones conducentes a conocer la fauna marina. Dentro de éstas se encuentran varias ya publicadas, en los que se incluyen registros de material colectado durante varias expediciones internacionales. A esto se suma el resultado de una serie de expediciones, diseñadas para el estudio de la fauna Marina de Colombia, como las realizadas por el INVEMAR, denominadas como Expediciones *Macrofauna I y II*.

Uno de los trabajos más relevantes, en los que se incluyen especies del Caribe colombiano, son los publicados por Rathbun (1918, 1925, 1930 y 1937); el material registrado por esta autora fue colectado durante las expediciones *Oregon I y II* y *Pillsbury* principalmente.

Con el avance y la implementación de nuevos métodos de investigación, la sistemática de los crustáceos ha cambiado sustancialmente. Una de las más recientes, es la publicada por Bowman y Abele (1982), quienes hacen un listado de los crustáceos hasta el nivel de familia, sin embargo no dan una explicación clara para ese ordenamiento. Basados en este trabajo Martin y Davis (2001) publicaron la clasificación de los crustáceos recientes incorporando modificaciones en los últimos años como el cambio de nivel de la familia Majidae a superfamilia (Guinot y Richer de Forges, 1997), y su división en ocho familias: Majidae, Epialtidae, Inachidae, Mithracidae, Inachoididae, Pisidae, Tychiida y Oregoniidae. Recientemente Ng *et al.* (2008) publicaron la clasificación más actualizada de los cangrejos verdaderos (Brachyura), y Karasawa y Schweitzer (2006), con base en análisis filogenéticos y sistemática tradicional, elaboraron la revisión de los cangrejos de la superfamilia Xanthoidea.

Teniendo en cuenta estos cambios sustanciales en la clasificación de los Brachyura principalmente, se hace necesario revisar las listas de especies registradas en el Caribe colombiano, basados en la recopilación más actualizada que es la de Campos *et al.* (2003), con el fin de incluir las especies recientemente registradas o nuevas para la zona de acuerdo a la clasificación de Ng *et al.* (2008).

## **RIQUEZA DE FAMILIAS, GÉNEROS Y ESPECIES POR SUBORDEN, INFRAORDEN Y FAMILIA.**

Del total de 164 familias conocidas de decápodos recientes, incluyendo las de agua dulce: Familia Atyidae de Haan, 1849; Lomisidae Bouvier, 1895; Deckeniidae Ortmann, 1897; Platyhelphusidae Colosi, 1920; Potamidae Ortmann, 1896; Potamonautesidae Bott, 1970; y Pseudothelphusidae Ortmann, 1893; 81 entre marinas, estuarinas y anfibias, tienen representantes en el Caribe colombiano, correspondientes al 49,4 % del total.

En el Caribe colombiano se presentan representantes de los dos subórdenes, Dendrobranchiata y Pleocyemata, que conforman el orden Decápoda. De los segundos se presentan especies de cada uno de los siete infraórdenes en los que se dividen a nivel mundial: Stenopodidea Claus, 1872, Caridea Dana, 1852, Astacidea Latreille, 1802, Thalassinidea Latreille, 1831, Palinura Latreille, 1802, Anomura MacLeay, 1838 y Brachyura Latreille, 1802 (Martin y Davis, 2001) (tabla 1).

Los infraórdenes Anomura, Palinura y Dendrobranchiata tienen una mayor representación en familias en el Caribe colombiano, siendo relativamente más abundantes que en el resto del mundo. Por el contrario, los infraórdenes de camarones Caridea, los cangrejos Brachyura y las langostas Astacidea, tienen un porcentaje menor de representantes.

Por infraórdenes, el de las langostas no queladas (Palinura) es el grupo con representantes en Colombia de todas las familias registradas a nivel mundial, seguido por el de los camarones Dendrobranchiata (71,4 %), y los Anomura, con el 69,2 % de las familias descritas; los menos representados en el Caribe son los infraórdenes de los camarones Caridea y las langostas queladas (Astacidea) con el 26,7 y 28,6 % respectivamente.

El suborden Dendrobranchiata lo componen las especies de camarones más primitivos, caracterizados por poseer dendrobranquias. Este suborden agrupa siete familias, 56 géneros y aproximadamente 500 especies en los mares del mundo. La familia Penaeidae contiene la mayor parte de las especies que se consumen comercialmente en las regiones tropicales y subtropicales, por lo que en términos económicos constituyen una importante fuente de ingresos para muchos países. Presentan una distribución global amplia y se pueden encontrar desde aguas someras hasta zonas abisales incluso por debajo de los 500 m de profundidad en donde las familias Aristeidae, Benthesicymidae y Sergestidae son las predominantes (Pérez-Farfante y Kensley 1997). En el Caribe colombiano se han registrado representantes de cinco familias, 12 géneros y 27 especies; la familia Penaeidae es, dentro de éstos, la más abundante, con ocho géneros y 13 especies para un 2,92 y 2,12 % respectivamente (Tabla 2), las menos representadas son la Aristeidae y Sicyonidae, con un género (0,36 %) y Sergestidae con una especie (0,16 %). En la tabla 2 se resumen los resultados para este grupo de decápodos.

Los camarones del Infraorden Stenopodidea, que agrupa a varias de las especies de camarones limpiadores, están presentes en el Caribe colombiano con sólo una familia, tres géneros y cinco especies, lo que representa el 1,09 % de los géneros y el 0,81 % del total de especies en el área.

El grupo de los camarones pertenecientes al infraorden Caridea, el más importante y ampliamente distribuido mundialmente, tiene representantes de 15 familias en el Caribe colombiano, de éstas la familia Palaemonidae, con 11, es la que posee el mayor número de géneros (4,01 %) en el Caribe colombiano seguida de la Hippolitidae con ocho y la Alpheidae con seis géneros (Tabla 3); Alpheidae

es la más rica en especies con 39 (6,35 %), seguida por los Palaemonidae con 27 especies, correspondientes al 4,4 %. En la tabla 3 se listan las familias de camarones carídeos. De las 15 familias registradas en el Caribe, seis están presentes con sólo un género y una especie: Pasiphaeidae, Bresiliidae, Eugonatonotidae, Stylodactylidae, Psalidopodidae y Parapandalidae, todas ellas colectadas durante las expediciones Macrofauna I y II adelantadas por el INVEMAR (Campos *et al.*, 2003),

Las langostas pertenecientes a los infraordenes Palinura y Astacidea están representadas, la primera con dos familias y la segunda con cuatro (tabla 4). De éstas Nephropidae es la más rica tanto en géneros (5) como en especies (8). Le sigue Scyllaridae cuyos representantes son conocidos comúnmente como langostas chinas o cigalas españolas. La familia Enoplometopidae, con sólo un género y una especie es la más recientemente registrada para el Caribe colombiano (Ceballos *et al.*, 2005).

El infraorden Palinura está presente en el Caribe colombiano con cuatro familias, la Scyllaridae es la mejor representada con tres géneros y seis especies, y la de menor representación es la Synaxidae, con un género y una especie (Tabla 4).

Para el infraorden Thalassinidea, en el cual se agrupan especies de hábitos excavadores en fondos blandos y asociados a sustrato rocoso coralino (caracterizadas por presentar el abdomen ligeramente modificado)(Griffis y Suchanek 1991) se ha registrado la presencia de cuatro familias: Callianassidae, Axiidae, Upogebiidae y Ctenochelida, siendo la primera la más rica en géneros (2,19 %) y especies (2,28 %).

En el infraorden Anomura o Anomala se incluye un grupo de especies cuyos individuos presentan un caparazón generalmente deprimido, el último esternito torácico no fusionado, el tercer par de pereiópodos (apéndices torácicos) nunca quelado, y último par de pereiópodos reducido y casi

siempre oculto dentro de la cámara branquial. Este infraorden incluye las superfamilias Lomisoidea (especies de aguas dulces), Paguroidea (cangrejos ermitaños), e Hippoidea y Galatheoidea (langostillas). Esta clasificación ha sido relativamente estable por las últimas tres décadas, sin embargo las relaciones internas aún son tema de debate (Martin *et al.*, 2009).

Los crustáceos anomuros, hasta la fecha, se agrupan en 17 familias, 222 géneros y 2469 especies a nivel mundial (Lemaitre y McLaughlin 2009). En el Caribe colombiano se encuentran 144 especies en 45 géneros, siendo este infraorden el tercero más abundante con nueve familias. El mayor número de géneros pertenecen a las familias Paguridae y Porcellanidae. En cuanto a riqueza de especies, las familias Porcellanidae y Galateidae (pertenecientes a la superfamilia Galatheoidea) presentan el mayor número con 34 cada una, mientras que para las especies, las más ricas son las dos familias de la superfamilia Galatheoidea (Porcellanidae con 34 y Galatheidae con 34).

Por otra parte la familia Coenobitidae se presenta con un género y una especie en el Atlántico occidental; el resto de las familias están representadas por más de dos géneros y tres especies (Tabla 5).

Los crustáceos decápodos del infraorden Brachyura son el grupo más diverso de crustáceos que existe actualmente y uno de los más complejos en cuanto a sus relaciones filogenéticas se refiere lo que ha ocasionado una serie importante de cambios recientes en la estructura taxonómica del grupo: En el Caribe colombiano está representado por 40 familias (Tabla 6) que representan el 49.4 % del total de las 81 familias de decápodos presentes en el área (Tabla 1). En el Caribe colombiano se han registrado 145 géneros, el mayor número pertenecen a la familia Xanthidae (17 géneros equivalentes a 6,20 %), siendo ésta una familia recientemente fraccionada en ocho familias: Le sigue en diversidad las familias Epialtidae, anteriormente parte de la familia Majidae, y la Parthenopidae, con once géneros cada una que representan el 4.01 % de ellos.

En cuanto a especies, los Brachyura están presentes en el Caribe colombiano con representantes de 267, siendo las familias Mithraxidae, Portunidae y Xanthidae las más ricas con 29 (equivalentes a 4,72 %), 24 (3,91 %) y 23 especies (3,75 %) respectivamente y son frecuentes las familias presentes con un solo género y una sola especie. Dentro de estas últimas se destacan 11 familias: Homolidae, Latreilliidae, Hepatidae, Atelecyclidae, Geryonidae, Domeciidae, Eriphiidae, Oziidae, Gonoplacidae, Varunidae, Ucididae; de éstas, las familias Domeciidae, Eriphiidae y Oziidae hacían parte de la anterior familia Xanthidae.

En resumen, en total se han registrado 274 géneros de decápodos en el Caribe colombiano (Tabla 7), siendo las familias más ricas la Xanthidae, con el 8,2 % de los géneros, seguida por Epialtidae y Parthenopidae, con el 4,01 % cada una y Leucosiidae, con 3,65 %, todas del infraorden Brachyura, y las familias del Infraorden Anomura: Paguridae y Porcellanidae, también con el 3,65 % les siguen en número de géneros y las 31 familias restantes les siguen con el 0,36 % del total de géneros.

Actualmente se encuentran registradas 614 especies de crustáceos decápodos para el Caribe colombiano. Para las especies se presenta una dominancia diferente, la más rica es la Alpheidae, con el 6,35 % del total de las especies, esta dominancia corresponde con lo descrito a nivel mundial, para la cual el género *Alpheus* es el más rico en especies, con alrededor de 200 a nivel mundial; la siguen dos familias de Anomura, la Porcellanidae, con el 6,03 % y la Galatheidae, con el 5,75 %. Contrariamente a lo que se presenta para los géneros, para las especies, el número de familias representadas con el menor número son 23, cada una equivalente con el 0,16 % del total de especies (ver tablas 2 – 6).

## **DISTRIBUCIÓN DE LOS CRUSTÁCEOS DECÁPODOS EN EL CARIBE COLOMBIANO.**

Del total de las 614 especies registradas para el Caribe colombiano, 43 están presentes en todas las regiones y de éstas seis son de camarones Dendrobranchiata, 13 de camarones carideos, seis de

langostas, cuatro de Thalassinoidea, siete de cangrejos ermitaños, una de Porcellanidae y seis de Brachyura. De estos grupos se destacan los camarones de los géneros *Sicyonia*, con tres especies, *Glyphocrangon*, con seis especies y *Parapontocaris* con dos. Así mismo las langostas del género *Panulirus*, con dos especies y los cangrejos ermitaños del género *Parapagurus* con cuatro especies.

Con el fin de evaluar la distribución de los crustáceos decápodos en el Caribe colombiano, éste fue dividido en siete regiones correspondientes con la división departamental (de norte a sur: La Guajira, Magdalena, Bolívar, Atlántico, Córdoba-Sucre, Antioquia y San Andrés).

Del total de registros para el Caribe colombiano (1291), alrededor de una tercera parte corresponden al Departamento del Magdalena (440 registros), le siguen Bolívar con 247 y La Guajira con 196 (Fig. 4), mientras que el menor porcentaje corresponde al Departamento del Atlántico, seguido por el de Antioquia (77 y 96 registros respectivamente). Este comportamiento es atribuible a un mayor esfuerzo investigativo en estas áreas y a la mayor variedad de hábitats presentes en estas zonas.

En la figura 5 se presenta el número de especies registradas para cada región en porcentaje. El Magdalena es la región en la que se ha registrado el mayor número de especies, 440 de las 614 conocidas para el Caribe colombiano. Ésta es particularmente heterogénea debido a la presencia de la Sierra Nevada de Santa Marta, de la Ciénaga Grande de Santa Marta, y de su ubicación en un área afectada por una surgencia estacional de aguas subsuperficiales. La sigue la región que comprende el Departamento de Bolívar, con 247 especies registradas, luego Guajira con 196 y San Andrés con 154; Atlántico y Antioquia son las regiones con el menor número de especies registradas (77 y 96 respectivamente).

De las 614 especies registradas, 277 están presentes en una sola región (registros únicos); en la tabla 7 se presenta el número de registros únicos por región, y su porcentaje por región y por número total de registros.

La región del Magdalena también presentó el mayor número de registros únicos (165) correspondiente al 59,6 %, seguido por Bolívar con 17 % y el menor número se registró en la región Atlántico y Córdoba – Sucre, con tan sólo el 1,44 y el 1,8 % respectivamente.

En la tabla 7 se muestra la relación entre el número total de registros nuevos para el Caribe colombiano (277) y el de cada región (barras rojas, porcentaje de registros únicos) y el número de registros nuevos del total de registros por región (barras amarillas). Al comparar estas dos relaciones, se observa que contrariamente a lo que se presenta en todas las regiones, en las que la mayoría de las especies constituyen registros únicos, en el Magdalena éstos registros son menos relevantes con un 37,5 % del total de las 440 especies presentes en la costa del Magdalena contra un 59,6% del total de registros nuevos para todo el Caribe.

De acuerdo con la figura 6 se observa que la mayor afinidad se da entre las regiones Sucre - Córdoba y Antioquia, y entre ellas y La Guajira. Un segundo grupo lo conforman las regiones de Bolívar y Magdalena. Finalmente, considerando un nivel de similaridad menor al 40 %, las regiones de San Andrés y Atlántico se consideran como independientes. La relación discontinua entre las regiones geográficas del Caribe colombiano ha sido reportada para algunas especies de galatéideos (Bermúdez *et al.*, 2008).

## BIOGEOGRAFÍA

Del total de las especies presentes en el Caribe colombiano (Figura 7), la mayoría (325) han sido registradas, en al menos otro de los lugares del mundo, la mayoría afines con el Caribe y el Atlántico americano, norte (54,9 %). No se determinaron especies que estén presentes en todas las siete zonas (Mar Caribe y Golfo de México, Océano Atlántico occidental norte; Océano Atlántico occidental sur; Atlántico Oriental; Mediterráneo; Pacífico Americano e Indo pacífico). Sólo tres especies presentan una distribución amplia, al ser registrada su presencia en seis de las siete zonas

(*Callinectes sapidus*, *Geograpsus lividus* y *Pachygrapsus transversus*). Adicionalmente, cuatro del total de especies se han registrado en cinco de las siete zonas (*Cyclograpsus integer*, *Percnon gibbesi*, *Grapsus grapsus* y *Homola barbata*).

En la figura 8 se presenta el porcentaje de afinidad de la fauna de crustáceos decápodos con diferentes regiones en el mundo. La mayor afinidad se da con la conformada por el Mar Caribe y el Golfo de México (73.45 % de las especies registradas para el Caribe colombiano), seguida por la afinidad faunística con el Atlántico occidental norte; La afinidad con la fauna del Pacífico americano fue tan solo del 3.3 %, un valor semejante al encontrado con la del Indopacífico (3,4 %).

En la figura 9 se muestra la relación entre los crustáceos decápodos del Caribe colombiano y las diferentes regiones en el mundo. El dendrograma confirma la relación predominante con la fauna del Caribe. Igualmente se observa la relación con la fauna del Atlántico norte y sur, (en orden de agrupamiento). Además de la poca relación que tiene con la fauna de otras regiones. Esta agrupación se respalda en el porcentaje de especies conjuntas (73,5 % con la fauna del Caribe, figura 8), 47,6%, de la fauna de decápodos del Caribe colombiano, es afin con lad del Atlántico noroccidental.

En la figura 10 se presenta la relacionan los decápodos registrados en el Caribe colombiano por regiones, con las diferentes regiones en el mundo; Magdalena, Bolívar, son las dos que comparten la mayor afinidad con los decápodos del mar Caribe, compartiendo posteriormente, con el Atlántico norte y posteriormente el Atlántico sur, lo cual muestra que de todo el Caribe colombiano, estas son las dos regiones responsables de la afinidad de la fauna con estas regiones en el mundo; esto se puede entender como una fauna costero-continental, que se une luego con San Andrés, sin embargo, el hecho predominante es la forma como se constituyen los ecosistemas, predominio de arrecifes y sustrato rocoso, que al final justifican la mayor riqueza de especies. Aun cuando con un menor grado de afinidad, San Andrés Islas se integra al grupo, lo cual a pesar de ser territorio insular, presenta predominio de ecosistemas coralino. Luego se forma el grupo Antioquia, Sucre-Córdoba y

Atlántico, áreas con influencia marcadamente continental, y con Guajira, con aguas también marcadas por dicha influencia y por la surgencia.

Del total de especies presentes en el Caribe colombiano, 44 son anfiatlánticas, siete se encuentran también en el Mediterráneo y cinco además en el Indopacífico. La vía Indopacífico, Mar Rojo, Mar Mediterráneo, es una de las grandes vías de migración de organismos marinos, conocida como Migraciones “Lessepsianas” en estudios de biogeografía, es predominantemente unidireccional y dentro de muchos de los grupos que la han empleado están los crustáceos (Abele, 1982). También pueden haber sido transportadas artificialmente, como lo sugiere la presencia de la jaiba o cangrejo nadador originaria del Indopacífico, *Charybdis helleri*, la cual fue registrada por primera vez de la Bahía de Portete, en la Guajira, a donde llegó presumiblemente con el agua de lastre en barcos que llegaron a Puerto Bolívar a cargar carbón (Campos y Türkay, 1989).

De las 20 especies comunes al Caribe colombiano y el Pacífico americano, 16 son exclusivamente anfiamericanas, dos son además anfiatlánticas y dos presentan una distribución muy amplia. 21 han sido registradas igualmente del Indopacífico, cinco como se mencionó, tienen migración Lessepsiana y dos están presentes en el Pacífico americano, las 16 restantes tienen distribución amplia.

La migración Indopacífico occidental – Pacífico oriental está referenciada en la literatura como una de las principales vías en la dispersión de los crustáceos y el canal de Panamá es también la vía de migración de crustáceos, entre el Caribe y el Pacífico americano (Abele, 1982) .

La mayoría de las especies con distribución amplia, corresponden a los cangrejos de la superfamilia Grapoidea, de los cuales la mayoría tienen hábitos anfibios, del intermareal, dispersión larval y posiblemente usan como mecanismos de dispersión el transporte marítimo.

## BIBLIOGRAFIA

- Abele, L. G. 1982. Biogeogrphy: 241 – 304. En Abele, L. G. (E.). Systematics, the fossil record, and Biogeography. Vol. 1. Bliss D. E. (Editor in Chief). The Biology of Crustacea. 319 p.
- Bermúdez A, G. Navas, G. y N. H. Campos. 2008. Populationsstruktur und genetische Isolierung von drei Springkrebs-Arten. Der Einfluss der ozeanographischen Merkmale und der geographischen Distanz zwischen den Populationen entlang der karibischen Küste von Kolumbien. VDM Verlag. Saarbrücken, 116 S.
- Bowman, T. E. & L. G. Abele, 1982. Classification of the recent crustacean: 1 – 27. En Abele, L. G. (E.). Systematics, the fossil record, and Biogeography. Vol. 1. Bliss D. E. (Editor in Chief). The Biology of Crustacea. 319 p.
- Campos, N.H. y M. Türkay. 1989. On a record of *Charybdis helleri* from the Caribbean coast of Colombia. Senckenb. Marit. 20 (3/4): 119-123.
- Campos N. H., C. B. García, A. Acero y S. Zea. 2003. El CECIMAR de la Facultad de Ciencias y su aporte al desarrollo de la Biología Marina. En. El Mundo marino en Colombia: Investigación y Desarrollo de territorios olvidados. Red de estudios del mundo marino REMAR, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 355 – 365. ISBN 958-701-319-0.
- Ceballos, L., I. Valderrama y N. H. Campos. 2005. Primer registro de *Enoplometopus antillensis* Lütken, 1865 (Decapoda: Astacidea: Enoplometopidae) para el Caribe colombiano, con anotaciones sobre las estructuras reproductivas. Bol. Invest. Mar. Cost. 34: 257 – 262. ISSN 0122-9761.
- Griffis R. B & T. H. Suchanek. 1991. A model of burrow architecture and trophic modes in thalassinidean shrimp (Decapoda: Thalassinidea). Mar Ecol Prog Ser 79:1–2.
- Guinot, D. & B. Richer de Forges. 1997. Affinités entre les Hymenosomatidae MacLeay, 1838 et les Inachoididae Dana, 1851 (Crustacea Decapoda Brachyura). Zoosystema, 19 (2-3): 453 – 502.
- Karasawa, H. & C. E. Schweitzer. 2006. A new classification of the Xanthoidea sensu lato (Crustacea: Decapoda: Brachyura) based on phylogenetic analysis and traditional systematics and evaluation of all fossil Xanthoidea sensu lato. Contribution to Zoology, 75 (1/2), 67 p.

- Lemaitre, R. & P. A. McLaughlin. 2009. Recent advances and conflicts in concepts of anomuran phylogeny (Crustacea: Malacostraca). *Arthropod Systematics and Phylogeny* **67**(2): 119–135.
- Martin, J. W. & G. E. Davis. 2001. An updated Classification of the Recent Crustacea. *Natural History Museum of Los Angeles County. Science Series* 39, 124 p.
- Martin, J. A., K. A. Crandall, & D. L. Felder (eds.) (2009) Decapod Crustacean Phylogenetics. Crustacean Issues. Koenemann, S. (ed.) Vol. 18. Boca Raton, Londres, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group. 616 pp
- Ng, P. K.L., D. Guinot & P. J. Davie. 2008. *Systema Brachyurorum: Part I. An annotated checklist of extant Brachyuran crabs of the world*. *The Raffles Bulletin of Zoology*. 17: 1 – 286.
- Pérez-Farfante, I. & B. Kensley. 1997. Peneoid and Sergestoid shrimps and prawns of the world. Keys and diagnoses for the Families and Genera. *Mémoires du Muséum National d'Historie Naturelle*. 175, 233 p.
- Rathbun, M. J. 1918. The grapsoid crabs of America. *Smithsonian Inst. U.S. Nat. Mus. Bull.* 97, 461 p., 161 pl.
- Rathbun, M. J. 1925. The spider crabs of America. *Smithsonian Inst. U.S. Nat. Mus. Bull.* 129, 613 p., 283 pl.
- Rathbun, M. J. 1930. The cancroid crabs of America of the families Euryalidae, Portunidae, Atelecyclidae, Cancridae and Xanthidae. *Smithsonian Inst. U. S. Nat. Mus.*, 152, 609 p., 230 pl.
- Rathbun, M. J. 1937. The oxystomatous and allied crabs of America. *Smithsonian Inst. U.S. Nat. Mus.*, 166, 272 p., 86 pl.

**Tabla 1.** Número de familias para los principales grupos de crustáceos decápodos a nivel mundial (Martin y Davis, 2001) y número de familias registradas en el Caribe colombiano; se dan los porcentajes por familias a nivel mundial y para el Caribe colombiano. El porcentaje de abundancia corresponde a la relación de familias por infraorden presentes en Colombia frente al número a nivel mundial.

	Familias en el mundo	Familias en el Caribe	% Mundial	% Colombia	% Abundancia
<u>Dendrobranchiata</u>	7	5	4,27	6,17	71,4
<u>Stenopodidea</u>	2	1	1,22	1,23	50
<u>Caridea</u>	36	16	21,95	19,75	26,7
<u>Astacidea</u>	7	2	4,27	2,47	28,6
<u>Thalassinidea</u>	11	4	6,71	4,94	36,4
<u>Palinura</u>	4	4	2,44	4,94	100,0
<u>Anomura</u>	13	9	7,93	11,11	69,2
<u>Brachyura</u>	84	40	51,22	49,38	47,6
	<b>164</b>	<b>81</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

**Tabla 2.** Número de géneros y especies para el grupo de los camarones Dendrobranchiata. Se da el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de géneros y especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano.

Familia	Géneros	Especies	% Géneros	% Especies
Aristeidae	1	1	0,36	0,16
Penaeidae	8	13	2,92	2,12
Sicyonidae	1	7	0,36	1,14
Solenoceridae	2	5	0,73	0,81
Sergestidae	1	1	0,36	0,16



**Tabla 3.** Número de géneros y especies para los camarones Caridea. Se da el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de géneros y especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano.

Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Pasiphaeidae	1	1	0,36	0,16
Bresiliidae	1	1	0,36	0,16
Oplophoridae	2	2	0,73	0,33
Eugonatonotidae	1	1	0,36	0,16
Styloceratidae	1	1	0,36	0,16
Palaemonidae	11	27	3,28	4,07
Gnathophilliidae	2	2	0,73	0,33
Alpheidae	6	39	2,19	6,35
Ogyrididae	1	2	0,36	0,33
Psalidopodidae	1	1	0,36	0,16
Hippolytidae	8	20	2,92	3,26
Processidae	2	6	0,73	0,98
Parapandalidae	1	1	0,36	0,16
Pandalidae	3	11	1,09	1,79
Glyphocrangonidae	1	6	0,36	0,98
Crangonidae	4	5	1,46	0,81

**Tabla 4.** Número de géneros y especies para las langostas (Astacidea y Palinura). Se da el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano.

Infraorden	Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Astacidea	Nephropidae	5	8	1,82	1,47
	Enoplometopidae	1	1	0,36	0,16
Palinura	Palinuridae	1	3	0,36	0,49
	Scyllaridae	3	6	1,09	0,98
	Synaxidae	1	1	0,36	0,16
	Polychelidae	1	3	0,36	0,49

**Tabla 5.** Número de géneros y especies para el infraorden Anomura. Se da el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano.

Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Coenobitidae	1	1	0,36	0,16
Diogenidae	7	27	2,55	4,40
Paguridae	10	29	3,65	4,72
Parapaguridae	4	6	1,46	0,98
Porcellanidae	10	37	3,65	6,03
Hippidae	2	2	0,73	0,73
Galatheidae	6	34	2,19	5,54
Chyrostillidae	2	3	0,73	0,49
Albuneidae	3	5	1,09	0,81

**Tabla 6.** Número de géneros y especies para el infraorden Brachyura. Se da el porcentaje para los géneros y las especies en relación con el total de especies de decápodos presentes en el Caribe colombiano.

Familia	# Gen	# Esp	% Gen	% Esp
Dromiidae	2	2	0,73	0,33
Cymonomoidae	2	2	0,73	0,33
Cyclodorippidae	3	4	1,09	0,65
Homolidae	1	1	0,36	0,16
Latreillidae	1	1	0,36	0,16
Raninidae	4	7	1,46	1,14
Ethusidae	1	2	0,36	0,33
Leucosiidae	10	15	3,65	2,44
Calappidae	5	10	1,82	1,63
Hepatidae	1	1	0,36	0,16
Aethridae	1	3	0,36	0,49
Inachoididae	7	12	2,55	1,95
Inachidae	3	10	1,09	1,63
Epialtidae	11	18	4,01	2,93
Mithraxidae	9	29	3,28	<u>4,72</u>
Parthenopidae	11	15	4,01	2,44
Atelecyclidae	1	1	0,36	0,16
Portunidae	8	24	2,92	3,91
Geryonidae	1	1	0,36	0,16
Xanthidae	17	23	<u>6,20</u>	3,75
Carpiliidae	2	2	0,73	0,33
Domeciidae	1	1	0,36	0,16
Eriphiidae	1	1	0,36	0,16
Panopeidae	9	17	3,28	2,77
Menippidae	2	2	0,73	0,33

Oziidae	1	1	0,36	0,16
Pilumnidae	2	11	0,73	1,79
Euryplacidae	2	2	0,73	0,33
Goneplacidae	1	1	0,36	0,16
Chasmocarcinidae	1	2	0,36	0,33
Pinnotheridae	5	9	1,82	1,47
Grapsidae	4	5	1,46	0,81
Plagusiidae	3	3	1,09	0,49
Varunidae	1	1	0,36	0,16
Sesarmidae	3	4	1,09	0,65
Gecarcinidae	2	4	0,73	0,65
Ucididae	1	1	0,36	0,16
Ocypodidae	2	8	0,73	1,30
Palicidae.	1	9	0,36	1,47
Cryptochirididae	2	2	0,73	0,33

**Tabla 7.** Número de registros únicos por región y porcentajes del total de registros únicos y del total por regiones. LG: La Guajira, M: Magdalena, A: Atlántico, B: Bolívar, CS: Córdoba-Sucre, An: Antioquia, SAI: San Andrés Islas.

	LG	M	A	B	CS	An	SAI
Número registros únicos	26	165	11	47	5	4	19
Porcentaje de registros únicos	9,39	59,57	3,97	17	1,81	1,44	6,86
Porcentaje del total por regiones	13,3	37,5	14,29	19	4,63	4,17	12,34

## LEYENDA DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Número de géneros (A) y especies (B) por familia, para los camarones del infraorden Dendrobranchiata, registrados para el Caribe colombiano.

**Figura 2.** Número de géneros (A) y especies (B) por familia, para los camarones del infraorden Caridea, registrados para el Caribe colombiano.

**Figura 3.** Número de géneros (A) y especies (B) por familia, para los decápodos del infraorden Anomura, registrados para el Caribe colombiano

**Figura 4.** Porcentaje de registros por región, del total de 1318 a lo largo de la costa Caribe colombiana.

**Figura 5.** Porcentaje de presencia de las 614 especies presentes en el Caribe colombiano por región.

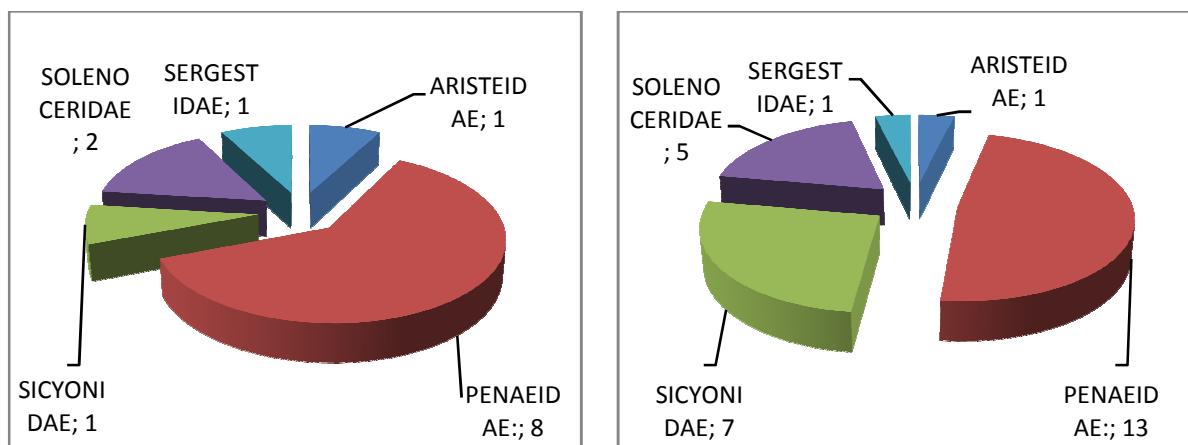
**Figura 6.** Índice de similaridad para las diferentes regiones en las que se dividió el Caribe colombiano.

**Figura 7.** Número de especies registradas para el Caribe colombiano que están presente en uno o más de las siete regiones con las que se compara la distribución

**Figura 8.** Porcentaje de afinidad de la fauna de crustáceos decápodos del Caribe colombiano, con la registrada en las principales regiones en el mundo. Caribe: Mar Caribe y Golfo de México, AO: Océano Atlántico occidental norte; AS: Océano Atlántico occidental sur; AE: Atlántico Oriental; Med: Mediterráneo; PA: Pacífico Americano; IP: Indo pacífico.

**Figura 9.** Índice de similaridad entre el Caribe colombiano y las diferentes regiones en el mundo.

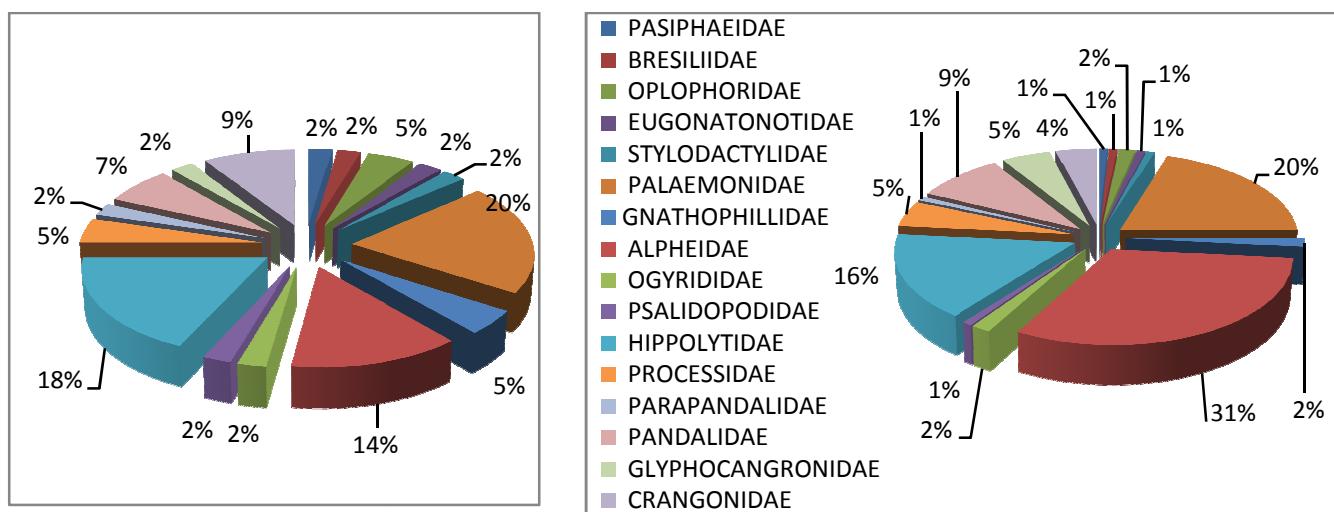
**Figura. 10.** Dendrograma del índice de relación entre las diferentes regiones del Caribe colombiano y las diferentes regiones en el mundo.



A.

B.

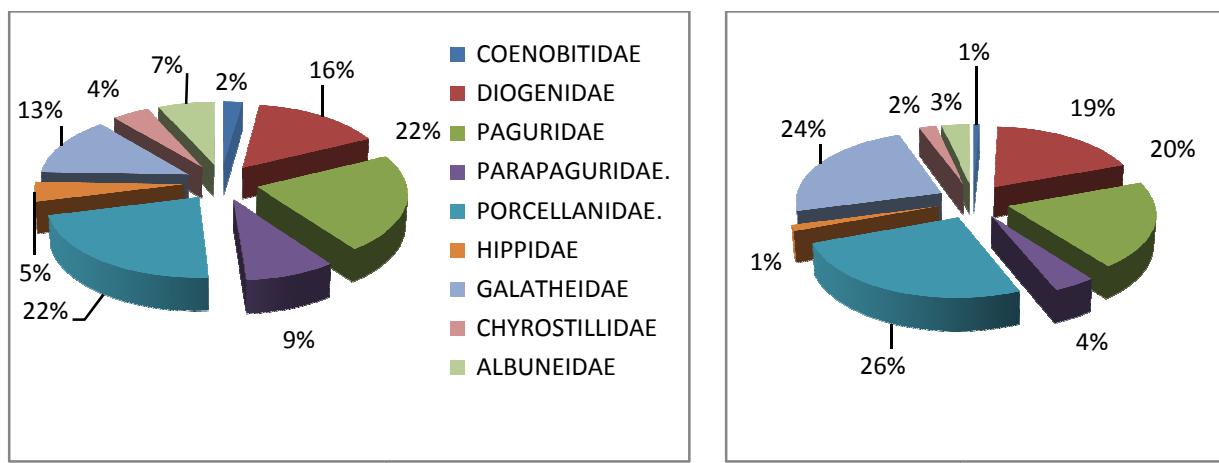
**Figura 1.**



A.

B.

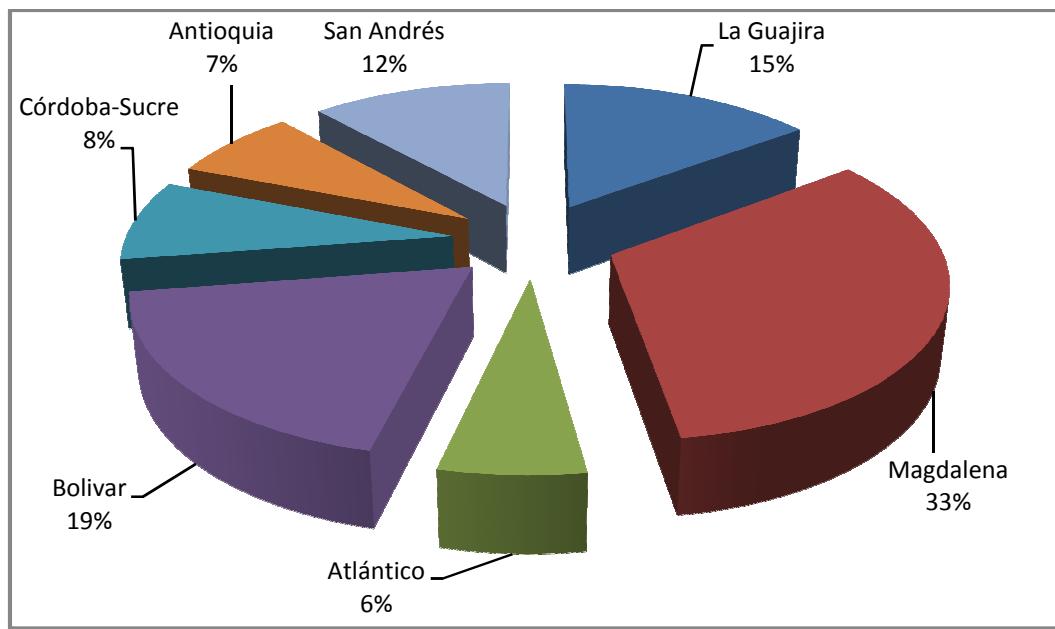
**Figura 2.**



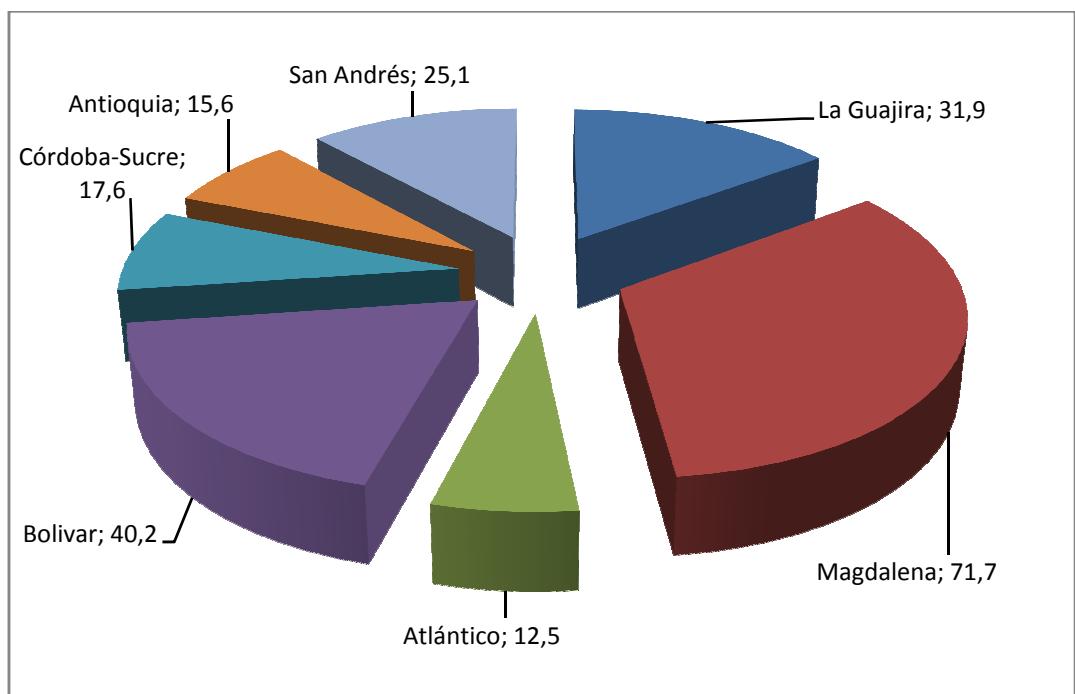
A.

B.

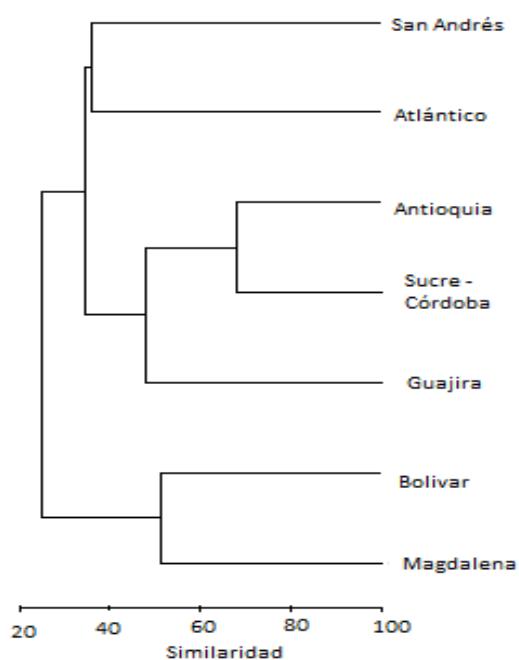
**Figura 3.**



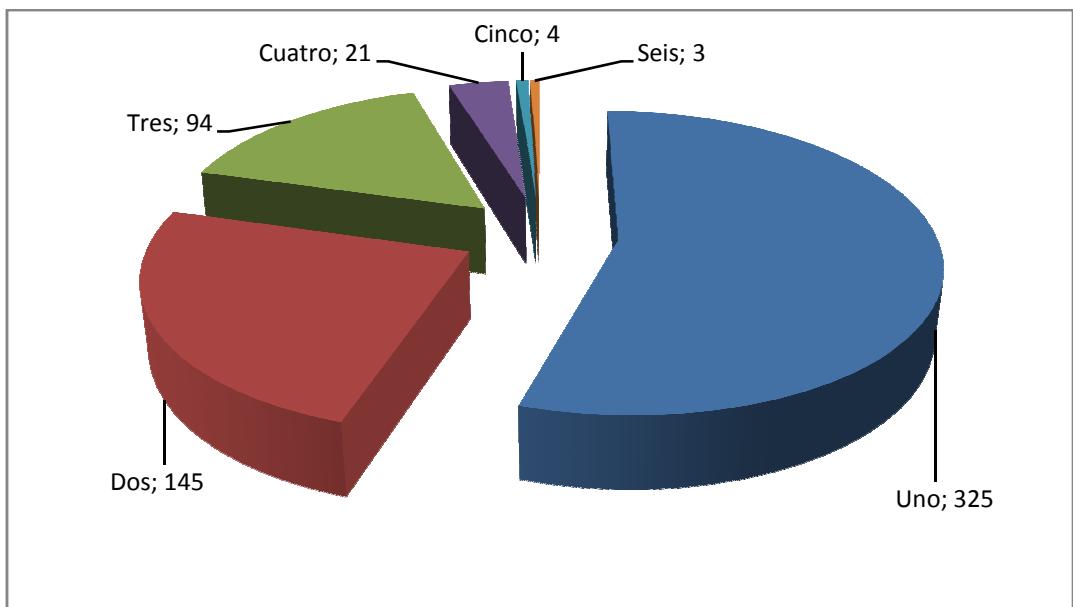
**Figura 4.**



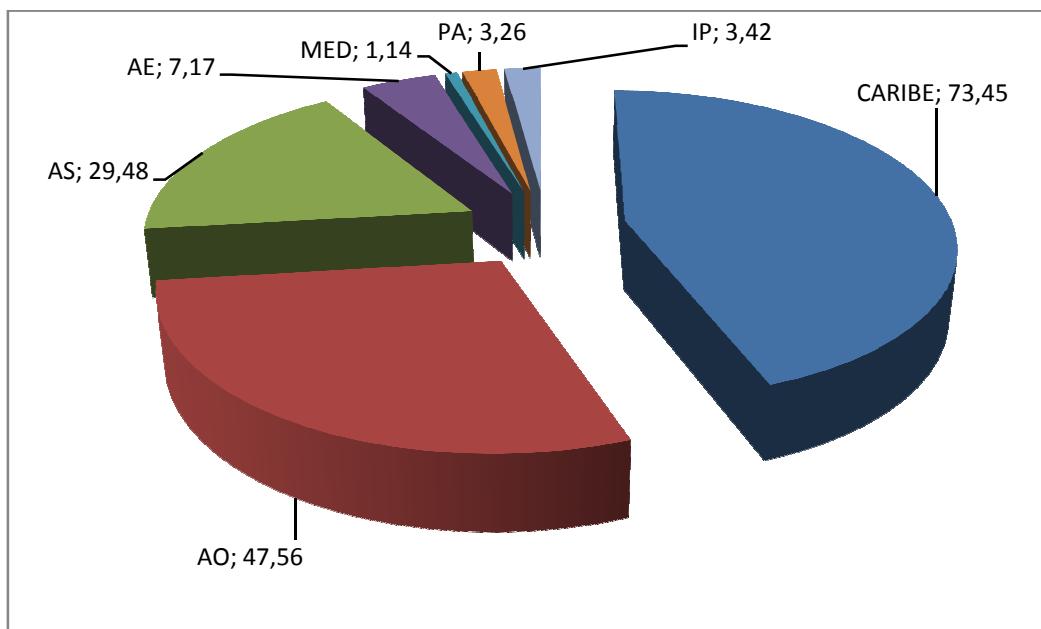
**Figura 5.**



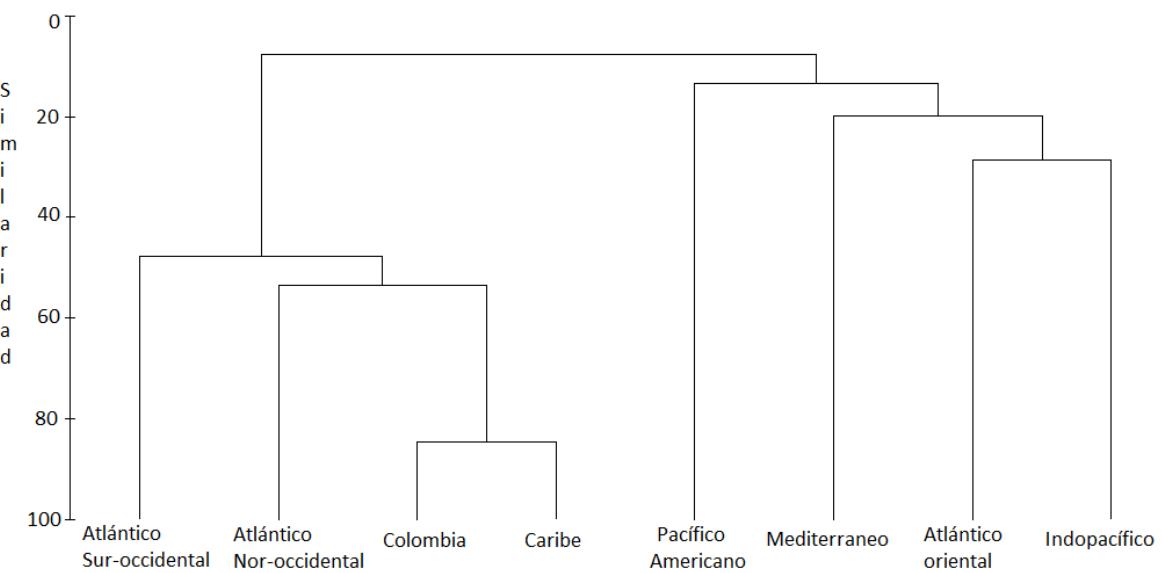
**Figura 6.**



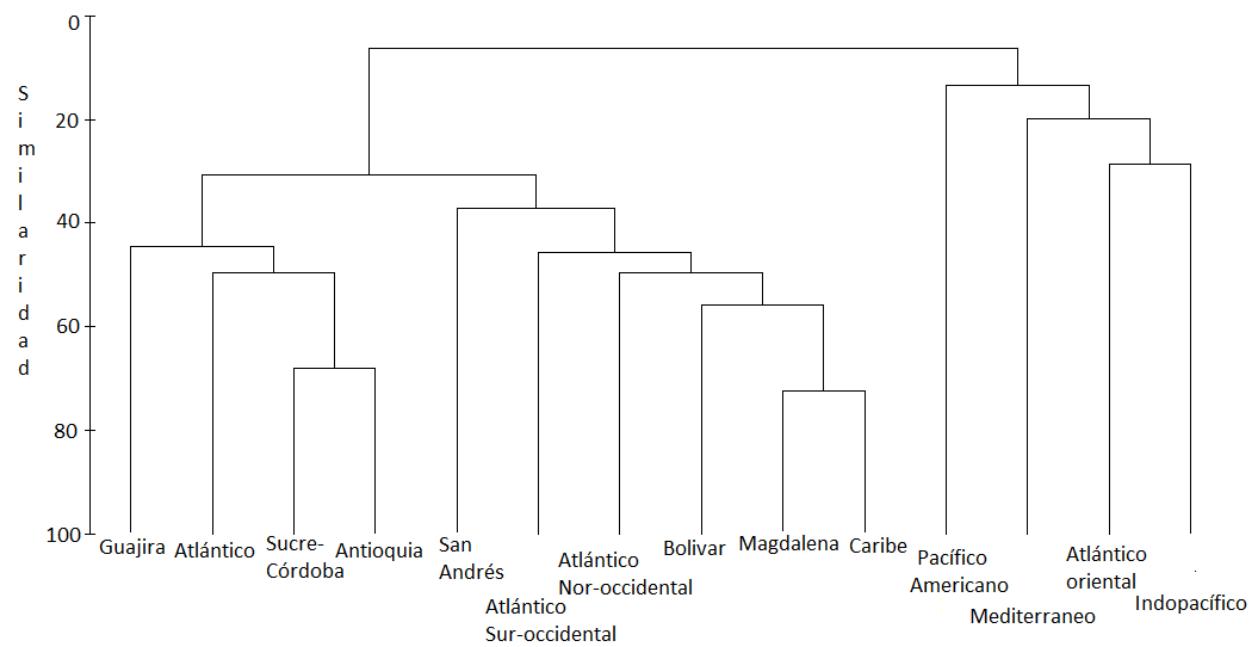
**Figura 7.**



**Figura 8.**



**Figura 9.**



**Figura. 10.**

# **CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD Y EL ESFUERZO DE LA PESCA ARTESANAL EN LAS ISLAS DE PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA, CARIBE COLOMBIANO**

Jairo H. Medina Calderón<sup>1</sup>. Arturo Acero P<sup>2</sup>. Adriana Santos-Martinez<sup>1</sup>.

1 Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe. San Luis Sector Free Town San Andres Isla Colombia  
[jhmedinac@unal.edu.co](mailto:jhmedinac@unal.edu.co), [asantosma@unal.edu.co](mailto:asantosma@unal.edu.co)

2 Universidad Nacional de Colombia Sede Caribe CECIMAR/INVEMAR, Cerro Punta Betín, Santa Marta, Colombia.  
[aacero@invemar.org.co](mailto:aacero@invemar.org.co)

## **RESUMEN**

Durante 2001 se realizó un análisis de la actividad y el esfuerzo realizado por los pescadores artesanales de las islas de Providencia y Santa Catalina (PSC), Caribe colombiano, en ocho lugares de desembarco de productos pesqueros en las islas. Se registró la actividad diaria y el esfuerzo pesquero para los diferentes métodos de pesca artesanal utilizados. De igual forma se hizo la caracterización pesquera de las unidades económicas de pesca. Se estimó un año pesquero de 303 días, superior a los estimados por otros autores que presumieron actividad pesquera los días hábiles de la semana descartando sábados y algunos festivos como días de no pesca, discutiendo como la mala estimación de la actividad diaria en trabajos precedentes arrojó estimativos erróneos del esfuerzo. Se determinó una zonificación de los sitios de pesca con base en el conocimiento tradicional. La actividad pesquera en PSC fue muy baja -las faenas realizadas no llegaron a ser el 20% (2888) de las potenciales (15343). El esfuerzo estuvo dirigido en más del 50% a la pesca con línea de mano, seguido por el buceo y en un porcentaje muy bajo a la pesca con nasas. El esfuerzo pesquero para los diferentes métodos de pesca artesanal utilizados en PSC no está relacionado con la precipitación ni la velocidad del viento. La pesca artesanal en PSC es de carácter tradicional, no es de subsistencia, pero tampoco tiene las características de semindustrialización. Pero existe tendencia a la mecanización básicamente en el aumento de la capacidad de desplazamiento mas no en la tecnificación de los métodos y artes de pesca, los cuales se han mantenido bajo las mismas características durante los últimos veinte años.

## **ABSTRACT**

**Characterization of the activity and effort of artisanal fisheries in the Colombian Caribbean islands of Old Providence and Saint Katherine.** An analysis of the activity and effort carried on by the artisanal fishermen of the Colombian Caribbean islands of Old Providence and Saint Katherine (OPSK) in eight unload places. Daily activity and fishing effort were recorded for the different fishing methods. Fishing characterization of the fishing economic unities was made as well. A fishing year of 303 days was estimated; this figure is larger to those got by other authors who presumed that fishing activity took place only on weekdays, discarding Saturdays and some holidays as non fishing days and getting wrong estimates of the effort. Fishing places were zoned based on traditional knowledge. Fishing activity was very low, because less than 20% of the potential days (2888 of 15343) were used. Fishing effort was directed in most cases to hook and line, followed by diving, and, in a very low percentage, to fish pots. Fishing effort for the different artisanal fishing methods used in OPSK is not related to rain amount or wind velocity. Artisanal fishing in OPSK is of traditional nature, not subsistence; nevertheless it cannot be considered semindustrialized. There is, however, a tendency to mechanization, basically when the capacity of displacement is considered; in any case, no modernization of the techniques nor in the fishing arts was detected since they have remain unchanged during the last two decades.

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de las zonas costeras en el mundo ha estado relacionado con la pesca, determinando los asentamientos humanos que en ella se presentan. Es así como la captura artesanal es considerada la primera forma de pesca que conoció el hombre, desde los albores de la humanidad y la cual aun en nuestros días es considerada de gran importancia, ya que tan solo en América Latina se estiman unos dos millones de personas dedicadas a esta actividad (FAO, 2000). La definición de pesca artesanal debe abordarse bajo un contexto particular en el cual deben tenerse en cuenta el área de pesca cercano a la costa, el capital de inversión bajo, el destino de los productos local y de autoconsumo, poca cantidad de mano de obra implícita en la actividad, aspectos que determinarán o

clasificarán esa pesca artesanal como de subsistencia, tradicional y tecnificada o semindustrial (FAO, 2000).

Los recursos disponibles para los pescadores artesanales, bajo la perspectiva de una pesca artesanal tradicional ejercida en zonas costeras y, en el caso de islas oceánicas, relacionados con las formaciones ecológicas características de su plataforma en el Caribe, según Ratter (1997) son los peces semipelágicos como lutjánidos (pargos), carángidos (jureles, jacks) y hemúlidos (grunts) y pelágicos oceánicos como el pez vela (*Makaira spp.*) y el wahoo o king fish (*Acanthocybium solandri*) y para zonas arrecifales son importantes los meros (serránidos) los crustáceos (*Panulirus argus*) y el caracol pala (*Strombus gigas*), estas dos últimas especies tienen su propia pesquería, siendo la más importante la de *P. argus* y en segundo lugar la de *S. gigas* (Stoner, 1994). Esto tal vez las coloca como las especies de moluscos y crustáceos más estudiadas del Caribe.

En las islas de Providencia y Santa Catalina (PSC) se han realizado algunos trabajos sobre los recursos pesqueros que incluyen los peces, la langosta y el caracol, desde la taxonomía, la dinámica poblacional o la pesquería de alguno de ellos en particular y en algunos casos de las características de la pesca artesanal e industrial, como los de García (1980) quien determinó que el régimen de pesca en las islas está sujeto a los cambios atmosféricos que determinan el esfuerzo pesquero. De otra parte, referenció estadísticas de movilización de los recursos pesqueros en la isla de Providencia, así como estimaciones de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *P. argus* medida en captura buzo/hora y con línea de mano de captura promedio/hora de peces. Estas anotaciones las hizo con respecto a dos faenas de pesca de cinco y seis horas respectivamente. Otálora (1980) hizo una descripción de la pesca artesanal de la isla de Providencia en términos de lugares de desembarco de pesca, identificando doce núcleos de pesca, artes (líneas de anzuelos, trampas, arpón, gancho, tanques) y métodos de pesca (buceo, trolling, línea de fondo); igualmente citó 19 especies que consideró “importantes” (económicamente).

Arango y Márquez (1995a) realizaron una descripción de la actividad pesquera en la isla de Providencia, determinando ocho núcleos de pesca, artes de pesca (líneas de anzuelos, ganchos, arpón, nasas) y características de las épocas de pesca. Igualmente llevaron a cabo un análisis de la pesquería de acuerdo con los desembarcos en cinco núcleos pesqueros durante un periodo de ocho meses. Castro *et al.* (1999) realizaron un diagnóstico de la pesca artesanal en las islas y presentaron un listado de 38 caladeros de pesca utilizados por los pescadores artesanales de Providencia y Santa Catalina, centros de acopio y artes de pesca (líneas de anzuelos, ganchos, arpón, nasas). Buitrago *et al.* (2003a y 2003b), a partir de los registros de captura y esfuerzo de la pesca artesanal realizada en 2001, en PSC realizaron un análisis de la pesca con palangre vertical, delimitando dos estratos: somero entre 108 y 215 m y profundo entre 216 y 324 m. De otra parte, destacaron que las condiciones de vida de los pescadores de PSC eran superiores a las de otras comunidades pesqueras del Caribe colombiano. Así mismo, resaltaron como un problema el hecho de que las nuevas generaciones no quisieran seguir practicando esta actividad. Medina *et al.* (2003a, 2003b y 2003c) realizaron el análisis de las capturas en ocho sitios de desembarcos arrojando estimaciones de la captura de peces, crustáceos y moluscos para el año 2001, presentaron estimaciones de las capturas mediante tres métodos de pesca (línea de mano, buceo y nasas). Igualmente realizaron un análisis de la pesca del chub (*Kyphosus spp.*) determinando la selectividad que realizan los pescadores del sector de Rocky Point en su captura por razones culturales. Por su parte, Santos-Martínez *et al.* (2003a, 2003b y 2003c) efectuaron un análisis de la producción pesquera mediante buceo y nasas, encontrando que las especies más explotadas por los buzos no hacen parte de las capturas de la línea de mano ni de las nasas, exceptuando el caso del Margate (*Haemulon album*), que fue la segunda especie más común en las trampas o nasas, hacen mención a las capturas elevadas de dos especies que se encuentran en peligro de acuerdo a las categorías de UICN el hogfish (*Lachnolaimus maximus*) y el old wife (*Balistes vetula*). Este trabajo está enmarcado en el proyecto Validación de Caladeros de Pesca financiado por Pronatta y realizado por el Instituto de Estudios Caribeños de la Universidad Nacional de Colombia Sede Caribe (Santos-Martínez, 2000) en el cual se vislumbró la importancia de evaluar las características de la actividad pesquera determinando la actividad pesquera, el esfuerzo mensual por arte de pesca, y por zonas de pesca tradicionales, información entre otras que permite argumentos para ordenar la actividad que se presenta en este trabajo.

## AREA DE ESTUDIO

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, localizado en el Caribe colombiano, es el único departamento insular del país. Las islas PSC se encuentran entre 13° 20' y 13° 31' N y 81° 18' y 81° 25' W, incluyendo su complejo arrecifal, localizadas a unos 240 km de la costa centroamericana y a 780 km de la costa colombiana (Figura 1). PSC se originaron a partir de un volcán extinto en el Mioceno, presentan una barrera arrecifal con 32 km de longitud total, haciendo de esta la segunda más grande del Caribe después de la de Belice (Geister, 1992).

Respecto al clima se puede citar que PSC están situadas en la zona intertropical de clima seco, presentan una temperatura promedio anual (en 27 años) de 27.3 °C, registrándose los valores medios máximos de mayo a agosto, entre 27.0 y 28.0 °C y valores medios mínimos de diciembre a febrero, entre 25.1 y 25.2 °C (IGAC, 1986; IDEAM , 2002). Los datos registrados por IDEAM (2002) para PSC entre 1973 y 1999 indican un régimen pluviométrico monomodal, con una precipitación promedio anual de 1636 mm, distribuida en un periodo seco desde enero hasta abril. En mayo comienza una época de lluvias menor, presentándose su pico máximo en junio, que baja un poco en los meses de julio y agosto para comenzar el periodo mayor de lluvias entre septiembre y noviembre, con un máximo en octubre, pero en diciembre se produce un descenso considerable en las lluvias.

En esta área son los más regulares los vientos del este y noreste, de noviembre a enero predominan los “Nortes”. Sin embargo, es julio, con vientos del NE, el mes con mayores velocidades promedio (4.7 m/s), mientras las más bajas ocurren en septiembre, octubre y mayo. En 2001 se destacaron las altas velocidades del viento en el mes de junio superiores a las de julio; no obstante en julio el valor de la velocidad fue igual a la del promedio histórico del mes.

## **MATERIALES Y METODOS**

La toma de datos sobre la pesca artesanal en PSC se hizo de enero a diciembre de 2001. Inicialmente se realizó un premuestro en el cual se reconocieron los lugares de desembarco, siendo estos los espacios en los cuales frecuente y tradicionalmente salen los pescadores a sus faenas y llegan con productos pesqueros, provenientes de la pesca artesanal, que pueden ser playas o pequeños muelles, en las dos islas Mountain, Santa Catalina, Free Town, Old Town, Lazy Hill, South West, Bottom House y Rocky Point

### **Unidades Económicas de Pesca (UEP)**

Las UEPS artesanales fueron definidas siguiendo las recomendaciones de Bazigos (1974), de acuerdo con las cuales las UEPS están conformadas por la embarcación, los tripulantes y sus métodos, así como la repartición de las ganancias y el aporte para la realización de las faenas. Este conjunto de características permite a los pescadores acceder a los recursos pesqueros, dependiendo de su "espacio" de influencia en el mar: aguas del complejo arrecifal someras y aguas profundas, así como su recurso objetivo.

### **Sitios de pesca artesanal**

Igualmente, a partir de la información registrada en los sitios de desembarco de captura y esfuerzo, se obtuvo la información de los sitios de pesca frecuentados por los pescadores para poder establecer zonas de pesca.

## **Actividad pesquera**

Se llevó un registro de la actividad diaria realizada por los pescadores determinando el número de embarcaciones que diariamente realizaron faenas de pesca, en cada lugar de desembarco mediante cada uno de los artes de pesca.

## **Esfuerzo**

El esfuerzo mensual se determinó como las faenas diarias que realizaron las UEP, de los diferentes métodos de pesca: línea de mano, buceo y nasas, en PSC. Por faena se entiende un día de trabajo de una embarcación que va y vuelve durante el mismo, medido igual para los tres métodos. El número de faenas se registraron por día por método y se estimó para cada uno de los lugares de desembarco y zona de pesca discriminando el método.

Para el cálculo del esfuerzo mensual estimado se utilizó la siguiente ecuación:

$$f = \sum f_d \times \left( \frac{D_1}{D_2} \right)$$

$f$ = Esfuerzo mensual estimado

$f_d$ = Esfuerzo diario en los días muestreados en el mes

$D_1$ = Número de días efectivos de pesca mensuales

$D_2$ = Número de días muestreados en el mes

A partir de este cálculo se determinó el valor medio del esfuerzo mensual estimado para 2001 y sus límites de confianza al 99%, determinando como valores máximos y mínimos aquellos meses que estuvieron por fuera de los límites de confianza de la media.

### **Relación del esfuerzo con la precipitación y la velocidad del viento.**

Para determinar si existía algún tipo de relación entre el esfuerzo, estimados (mensualmente) de cada uno de los métodos de pesca con las principales variables ambientales que se tenían, precipitación y velocidad del viento (promedios mensuales) para el año de muestreo, se utilizó el coeficiente de correlación por rangos de Spearman ( $p<0.05$ ) (Clarke y Warwick, 1994).

## **RESULTADOS**

### **Unidades económicas de pesca (UEP), sitios y zonas de pesca**

Las unidades económicas de pesca artesanal de PSC se caracterizaron de acuerdo al método de pesca en línea de mano, buceo y nasas.

**La línea de mano** como método está constituida por un carrete que por lo general es de espuma sintética, plástico o madera, en el cual se enrolla un nylon de monofilamento que puede ser de diferentes calibres, desde 14 hasta 140 kg, y uno o varios anzuelos tipo japonés o noruego en su defecto, de diferentes tamaños (número cinco a nueve). El señuelo o carnada puede variar desde mechas artificiales o bonito, calamar, cabeza de langosta, caracol, sardina entre otros, que en muchos casos su uso va a depender de la oferta natural, de la especie objeto de pesca o el arte de pesca que se emplea. Para la pesca de fondo se laстра la línea con pedazos de varilla, eslabones de hierro en general, y cuyo tamaño y peso dependerá de la profundidad de pesca. Este método es usado de tres formas: el trolling cuyo objetivo son las especies pelágicas; el hook and line, cuyo objetivo son especies asociadas directamente al arrecife tanto a media agua (demerso-pelágicas) como a fondo (demersales), y a no más de 80 m de profundidad; por último, la línea de fondo palangre vertical o reel está dirigido a la captura de especies demersales y bentónicas, entre 100 y 400 m de profundidad.

Para realizar esta actividad las UEPS utilizan embarcaciones que oscilan entre 5 y 7 m en promedio de eslora y 1.5 m de manga; la mayoría de estas utilizan motores entre 15 y 75 Hp. Pero todavía existen algunas canoas que no utilizan motor, sino que son impulsadas a remos y vela (Tabla 1). La faena es de un día, normalmente son dos pescadores los que la efectúan, aunque es frecuente que

se hagan faenas individuales, comenzando en las horas de la mañana (5 a 6 am) y, dependiendo de la zona de pesca, su duración es mayor o menor (en horas). En la zona 1 las faenas terminan entre las 4 y 5 pm, mientras que en la 2 lo hacen entre 12 y 2 pm. Los gastos y ganancias de la faena pueden estar distribuidos de las siguientes formas después de vendido el producto: 1) si el dueño de la embarcación no participó en la faena se saca el gasto del combustible y se reparte en partes iguales incluido el dueño, 2) cuando el dueño de la embarcación participó de la faena se saca el gasto del combustible, se dividen las ganancias y al dueño le corresponde el doble (la parte de él como pescador y como dueño).

**El buceo** como método de pesca es realizado a pulmón libre, empleando careta, snorkel, aletas, arpón o gancho o con equipo Scuba. Tres pescadores (a veces cinco) realizan la faena; las embarcaciones utilizadas tienen las mismas características de las utilizadas para la pesca con línea de mano. La faena es de un día y por lo general comienza después de las 9 am y dura máximo cinco horas. Los gastos y ganancias de la faena se distribuyen de igual forma que en las opciones uno y dos descritas para la línea de mano. Existe una tercera opción en la cual el dueño asume los gastos del combustible y la mitad de la pesca de cada buzo es entregada (en producto) al dueño del bote.

**La pesca con nasas** utiliza trampas (nasas) elaboradas con armazón de fibra vegetal y malla de alambre recubierta de plástico, con un ojo de malla de 5 cm (romboidal), con diseño en Z: 2 x 1 m x 1 m aproximadamente. Solo existe una UEP dedicada a esta actividad en forma comercial, que utiliza en promedio siete nasas, y participan un pescador y un acompañante que hace el calado-recogido-calado; las trampas permanecen en el agua mínimo 48 horas, y la faena de pesca de recogida-y calado de las nasas dura máximo cuatro horas y se realiza tres días a la semana (lunes, miércoles y viernes) generalmente. Esta actividad se efectúa en la zona tres a no más de 20 m de profundidad. Durante la comercialización de la captura el pescador mezcla las diferentes especies y las vende todas al mismo precio, a diferencia del resto de los métodos cuyo producto se vende por especie.

## Lugares de desembarco

En los ocho lugares de desembarco de productos pesqueros se registró la actividad pesquera de 51 UEPS, durante 2001 en PSC. La mayor cantidad de UEPS se registró en South West (12) y Santa

Catalina (10), los lugares con menor número de UEPS fueron La Montaña (3) y Free Town (4) (Figura 2).

De las 51 embarcaciones registradas como activas en la pesca de PSC, 10% eran canoas o cayucos de madera, mientras que 90% eran lanchas, de las cuales, 65% eran de madera y 35% de fibra de vidrio. En cuanto al tipo de propulsión se destacó que las canoas no utilizaron ningún tipo de motor. Sin embargo, la totalidad de las lanchas utilizaron de manera constante motores fuera de borda, siendo de 40 Hp los más frecuentes, utilizados por 71% de la lanchas, motores de 75 Hp en un 9%, al igual que los de 25 Hp. Sin embargo, 11% de las lanchas tenían diferentes motores, sin mantener fija su potencia, los cuales podían ser de 9.9, 15, 25 e inclusive 40 Hp. En cuanto a los métodos de pesca, el 48% de las UEPS tuvieron dedicación exclusivamente a la pesca con línea de mano (trolling, hook and line y línea de fondo), seguida por el buceo con un 24% y las nasas con un 6%. Pero el 22% de las UEPS no presentaron dedicación exclusiva para la pesca mediante un método en especial; es así, como algunas UEPS realizaron faenas de buceo o línea de mano (8), buceo o nasas (1) y buceo o línea de mano o nasas (1).

### **Sitios de pesca artesanal**

Los pescadores, estimados en 108 personas de PSC, han sectorizado en tres zonas el área de pesca tradicionalmente (Figura 3), dependiendo de la pesca objetivo, del método a utilizar, la embarcación que emplean, los sitios frecuentados y la profundidad. También son importantes razones económicas, logísticas y sociales, entre las que cuentan los grupos familiares a que pertenecen y los lugares de desembarco, generalmente cercanos a sus viviendas. Dentro de cada zona se reconocen sitios de pesca particulares, que son frecuentados dependiendo de la estacionalidad y disponibilidad del recurso (Tabla 2).

#### **Zona 1 (Norte - Noreste: terraza prearrecifal de barlovento y talud externo)**

Comprende una terraza prearrecifal que varía de uno a varios kilómetros (Figura. 2), la cual comienza entre 6 y 8 m de profundidad, con una inclinación suave, que se ve interrumpida entre 30 y 50 m (Geister 1992); es frecuentada por los pescadores artesanales que utilizan línea de mano

(específicamente hook and line y los buzos -pulmón y tanque-). Por debajo de esta profundidad se hace uso básicamente del reel a la pesca de profundidad hasta un máximo de 200 m, igualmente por lo general realizan pesca por trolling de pelágicos (Tabla 3).

### **Zona 2 (Sur- Sureste: terraza prearrecifal de barlovento y talud externo).**

Presenta características geomorfológicas similares a la zona 1. No obstante, su terraza prearrecifal es más angosta, ofreciendo un área de pesca menor. La utilización de los métodos es similar a la de la zona 1. (Tabla 4)

### **Zona 3 (Norte y costado occidental: terraza y cuenca lagunares, plataforma y talud de sotavento)**

Se caracteriza por una terraza lagunar, circunscrita a los segmentos continuos de la barrera arrecifal, con una amplitud variable (0.4-1.2 km) y una profundidad entre 2 y 6 m (Geister, 1992; Díaz *et al.*, 1996). En la zona se localizan dos cuencas lagunares al N de PSC y dos pequeñas al oeste y sur de Providencia, las cuales tienen 10 m de profundidad en promedio, donde se localizan numerosos arrecifes de parche (Geister, 1992; Díaz *et al.*, 1996). La plataforma se caracteriza por fondos arenosos y rocosos entre 2 y 20 m, se presentan dos arrecifes someros, el más grande puede alcanzar 1 km (Pear Stick Barr), aunque son difusos (Díaz *et al.*, 1996). La plataforma es angosta, no alcanza 1500 m en su parte más ancha. Al final de la misma se produce una pendiente pronunciada entre 12 y 28 m de profundidad y se encuentra rápidamente el veril de 200 m (Geister, 1992; Díaz *et al.*, 1996). Se emplean los tres métodos de pesca (buceo, nasa y línea de mano). Sin embargo, el arte para la pesca con línea de mano más utilizado es el hook and line, se hace muy poco trolling y la pesca profunda es muy rara. La pesca con nasa a nivel comercial se realiza en este sector a profundidades no mayores a 20 m (Tabla 5).

## **Actividad pesquera**

En 2001, se estimaron 303 días de actividad pesquera para PSC, con un promedio mensual estimado de 25 días (IC 95% 24, 26) (Tabla 6). La no-actividad pesquera en PSC se debe a que los domingos por lo general no se lleva a cabo esta actividad, a festividades patrias o regionales que los pescadores y la comunidad consideran importantes (23 de junio, 20 de julio y 7 de agosto, entre otros), festividades religiosas y eventos socioculturales imprevistos (muerte de pescadores); solución de conflictos generales de la isla o inherentes a la pesca.

## **Esfuerzo (f)**

Las estimaciones del esfuerzo (f) anual arrojaron que de 2888 faenas (estimadas), 57% fue con línea de mano, seguido por el buceo, 40%, y un porcentaje muy bajo de las faenas se realizaron con nasa, 3% (Tabla 7).

### **Esfuerzo muestreado y estimado del método de pesca línea de mano.**

De las 441 faenas con línea de mano muestreadas 246 correspondieron a la zona dos (Figura 4a) registrándose los máximos esfuerzos en agosto (38 faenas), seguido por abril (36) y noviembre (35) (Figura 4b); los meses con menor número de faenas fueron septiembre y febrero con 2 y 8, respectivamente. En la zona uno se realizaron 121 faenas, donde el mayor número se registró en mayo y noviembre con 20 faenas cada uno, el menor esfuerzo correspondió a febrero con una faena; mientras que 74 faenas correspondieron a la zona tres, siendo noviembre y marzo cuando mayor número de faenas se realizaron (13 y 9 respectivamente), mientras que en septiembre se muestreó el menor número de faenas (3).

El número de faenas con línea de mano muestreadas mensualmente en las tres zonas de pesca no estuvo correlacionado ni con las lluvias ni con la precipitación ( $p<0.05$ ). La línea de mano constituyó el arte con mayor f, siendo utilizado en siete de los ocho lugares de desembarco estudiados: Bottom

House, Rocky Point, Santa Catalina, Free Town, Old Town, Lazy Hill y South West. El f total estimado para 2001 fue de 1654 faenas con un promedio mensual de 138 (IC 99% = 90, 180), con un máximo en el mes de abril (228) seguido por marzo (218). Los menores f se registraron en febrero con 61 faenas (Tabla 6).

El mayor f por lugar de desembarco se estimó para South West con un 34%, seguido por Santa Catalina con un 21%; los menores f se estimaron en Lazy Hill y Rocky Point (4% y 6% respectivamente). Solamente se encontró correlación significativa ( $p=0.032$  y  $r=0.550$ ) del f realizado por los pescadores de Bottom House con la precipitación, siendo su variabilidad explicada en un 30 %. De otra parte, Free Town y Old Town fueron los únicos sitios que presentaron una correlación significativa del f con la velocidad del viento ( $p=0.018$  y  $p=0.018$  respectivamente), que explica la variabilidad del f en un 37%, lo que nos dice que existen otros factores que explican en un porcentaje alto el comportamiento del esfuerzo.

### **Esfuerzo muestreado y estimado mediante el método de pesca buceo.**

De las 212 faenas mediante buceo muestreadas, 109 fueron realizadas en la zona uno (Figura 5a). La mayor cantidad de faenas se registró en agosto y octubre, cada uno con 17. De la zona tres, 76 faenas se muestrearon; el mayor esfuerzo correspondió a julio (12) y noviembre (10). Solamente 27 faenas se efectuaron en la zona dos, donde el esfuerzo hasta noviembre (nueve faenas) no superó las cuatro (mayo) (Figura 5b).

El número de faenas realizadas se correlacionó de manera positiva y significativa ( $p=0.008$  y  $r=0.721$ ), con las lluvias en la zona de pesca uno, explicando el comportamiento del esfuerzo en esta zona por su relación con las lluvias en un 50%. Las zonas dos y tres no se correlacionaron de manera significativa con las lluvias; de igual forma, la velocidad del viento no presentó correlación con el número de faenas realizadas en las distintas zonas.

El f total estimado para el 2001 fue de 1145 faenas, con un promedio mensual de 95 (IC 99% = 117, 73), un máximo en el mes de marzo (136 faenas) seguido por abril (130 faenas) y junio (126 faenas). El menor f se registró en febrero (61) (Ver Tabla 6). El buceo fue el segundo método con mayor f, por parte de los pescadores de los ocho lugares de desembarco, excepto en La Montaña donde sus pescadores están dedicados exclusivamente a la pesca mediante este método. Fue así como el 37% del esfuerzo estimado total correspondió a este lugar, seguido por Santa Catalina con un 17% y los menores se estimaron en Old Town y Rocky Point (1% y 4% respectivamente). South West y Santa Catalina fueron los únicos que presentaron correlación significativa ( $p < 0.05$ ) del f con una de las variables climáticas, específicamente con la precipitación. Aunque la correlación fue significativa, la precipitación para este sector explica el comportamiento del esfuerzo en un 39.5% y en el caso de South West y Santa Catalina en un 28%, lo que nos dice que existen otros factores que pueden explicar el comportamiento del esfuerzo realizado por los pescadores de estos dos sectores.

### **Esfuerzo muestreado y estimado mediante el método de pesca con nasas.**

Las nasas fueron el método de pesca menos utilizado, solo una UEP se dedicó a dicha actividad con fines comerciales, en Santa Catalina. Este método es utilizado en otros lugares, pero no con motivos comerciales sino de autoconsumo, muy ocasionalmente. El esfuerzo total estimado en número de faenas realizadas para 2001 fue de 89, con un promedio mensual de 8 (IC 99% = 4, 12). El máximo f se presentó en el mes de noviembre (16). Mientras que en el mes de julio no se registró ningún esfuerzo, seguido por agosto y septiembre con (2) cada uno (Tabla 6). Para efecto de comparación se estimó el esfuerzo por nasa, siendo este de 649, con un promedio mensual de 59 (IC 99% = 26, 92) los máximos f se presentaron en enero con 117 y noviembre con 96. Los menores f se registraron en junio con 24, agosto y septiembre cada uno con 10 nasas, respectivamente.

El f de Santa Catalina se analizó como todo el esfuerzo realizado para las nasas en PSC, el cual se correlacionó significativamente con la velocidad del viento aunque solo explica el comportamiento del esfuerzo en un 30%. No hubo correlación con la precipitación

## DISCUSIÓN

### Unidades Económicas de Pesca

En PSC se registraron 51 UEPS de las cuales el 65% emplean embarcaciones de madera y 35% de fibra de vidrio, esto denota un cambio en la utilización de un “nuevo material” la fibra de vidrio, al comparar con la información de la década de los años ochentas, en la cual todas las embarcaciones dedicadas a la pesca artesanal eran en madera, como lo registran García (1980), Garzón y Acero (1983) y Guevara y Cano (1983). Este cambio conlleva una ventaja para los pescadores y es que los botes de fibra son más económicos (por faena), dado su menor peso con respecto a embarcaciones en madera, lo cual hace que haya un menor consumo de combustible y mayor velocidad en el desplazamiento, ahorrando costos y tiempo. De otra parte la sustitución del remo y/o las velas por motores de fuera de borda fue mas acelerada ya que, a finales de los setentas Otálora(1980) y Garzón y Acero(1983) registraron ausencia de este tipo de propulsión, como método predominante. No obstante en el 2001 algunas embarcaciones fueron registradas utilizando remos; cabe mencionar que estos botes son mas pequeños y se utilizan a muy cerca ala costa, no con la misma intención de los años 60 y 70s del siglo pasado donde eran utilizadas para las faenas normales de pesca alejados considerablemente de la costa insular.

El motor fuera de borda ha permitido a los pescadores acceder a sitios más alejados como la terraza prearrecifal de barlovento al norte y nororiente, donde la plataforma es un poco más amplia que en el sur, así como dejar de lado el costado occidental sobre todo para las faenas realizadas con línea de mano. Las posibilidades de captura de pelágicos aumentan ya que la captura de algunos de estos como *T. atlanticus* y *A. solandri* entre otros se realiza mediante el trolling.

Trabajos anteriores no registran cambios en los métodos de la línea de mano, buceo ni nasas, como métodos de pesca tradicionales utilizados por los pescadores artesanales en PSC (Otálora, 1980; García 1980; Garzón y Acero, 1983; Guevara y Cano, 1983; Arango y Márquez, 1995a, Castro *et al.*, 1999), presentándose siempre la línea de mano como el arte de pesca de mayor utilización, siendo igualmente

muy popular en el Caribe con su diversos artes de pesca (trolling, hook and line, Bottom line – reel o palangre) como lo corroboran Cervigón *et al.* (1992), Manjarrés *et al.* (1993), Fredou y Padovina (2001), Yallonardo *et al.* (2001) y Coral Reef Fisheries Uses (2002).

### **Lugares de desembarco de productos pesqueros**

Eventualmente cualquier lugar del litoral de PSC es un punto potencial para el desembarco, pero es claro que hay unos espacios (playas, muelles) en los que tradicionalmente se han desembarcado recursos pesqueros y actualmente se siguen usando con frecuencia, dadas las condiciones físicas del espacio, como Santa Catalina, Old Town, Lazy Hill, South West, Bottom House y Rocky Point; registros igualmente presentados por diferentes autores como Arango y Márquez(1995a), García(1980) y Otálora(1980), desde finales de la década del setenta. Sin embargo, uno de los lugares que solo aparece registrado en la década de los noventa (Arango y Márquez, 1995a; Castro *et al.*, 1999) es La Montaña, importante por la captura de *P. argus*, mediante buceo con tanque.

### **Esfuerzo pesquero**

Aunque no existe información documentada de como se distribuyó espacial y temporalmente el esfuerzo en PSC, la información de los pescadores artesanales más viejos nos permite inferir y decir que el mayor o menor esfuerzo aplicado en alguna de las zonas de pesca está determinado por las características de las embarcaciones, el método y sus artes, que van a posibilitar de la captura de unos determinados recursos. Bajo esta perspectiva se observa como con línea de mano los mayores esfuerzos se registran en las zonas de barlovento (uno y dos), lugares que en el pasado eran frecuentados en épocas de "buen tiempo" (brisa suave y bajas precipitaciones) y en los cuales las condiciones de la embarcación del momento les permitía acceder, restringiéndose la pesca con línea de mano a la zona protegida (zona tres sotavento). Actualmente se corroboró como el esfuerzo muestreado indistinto de la zona no guardó ninguna correlación significativa con las lluvias o la velocidad del viento. No obstante, el esfuerzo no guardó relación con las variables ambientales medidas pero siguió el mismo patrón, el cual estaría

determinado por la disponibilidad temporal de recursos demersales, determinando los mayores esfuerzos en abril y agosto, o demerso-pelágicos y pelágicos en noviembre y diciembre.

Igualmente para el buceo sucede que las altas precipitaciones no limitan el esfuerzo, al contrario en una de las zonas (uno) se correlaciona de manera positiva y esto puede ser debido a que después de las lluvias el mar se pone calmo permitiendo una faena más cómoda, ya que en esta zona el oleaje es más fuerte que en la tres (sotavento). Adicionalmente, las capturas de *P. argus* aumentan en estos meses, lo cual puede estar relacionado con la estacionalidad reproductiva de la especie registrada por Arango y Márquez- Pretelt (1995b) en octubre y septiembre para PSC, lo cual conlleva el desplazamiento de la misma a zonas más profundas para su desove, ya que se presenta una mayor supervivencia de las larvas liberadas al medio por la presencia de corrientes fuertes en cercanías del talud, como ha sido discutido por diferentes autores para la especie (Buesa,1965; Davis;1977; Herrkind, 1980; Lozano-Álvarez *et al.*, 1991). Es así como el aumento en el esfuerzo en esta zona (uno, de mayor profundidad) estaría mediado por la mayor disponibilidad de la especie en estos meses. En el caso del esfuerzo con nasas éste se restringe a la zona de sotavento (tres), no por la menor capacidad de las embarcaciones de acceder a otras zonas, sino por que la periodicidad de las faenas dependen más de aspectos sociales, culturales o propios del pescador.

### **Actividad diaria**

En el presente estudio se estimó un año pesquero de 303 días muy superior a los estimados por García (1980) y Guevara y Cano(1983) de 189 y 240 días respectivamente, aclarando que los autores mencionados no hicieron un registro de actividad diaria de pesca. En el caso de Guevara y Cano (1983) presumen actividad pesquera los días hábiles de la semana descartando sábados y algunos festivos como días de no pesca, lo cual no sucede actualmente, siendo los que determinarían esta diferencia. En el caso de García (1983) no se aclara el porque de esta cifra, impidiendo realizar una discusión más detallada de su no correspondencia con la realidad actual. Por lo tanto el año pesquero determinado para 2001 incluye los días sábados como días de actividad pesquera y la mayoría de los festivos.

## **Esfuerzo estimado**

El esfuerzo medido como las faenas de pesca de un día, realizadas por las UEPS que pescan mediante los diferentes métodos permitió comparar los resultados de 2001 con los Guevara y Cano (1983) y Arango y Márquez (1995a). Determinando que el esfuerzo estimado para 2001 fue menor en un 70% (2888 faenas) que el estimado por Guevara y Cano (1983) de 9600, con menos embarcaciones (40 unidades en total). Las marcadas diferencias consisten en que los autores asumen que las 40 embarcaciones registradas realizan faenas cada uno de los días del año pesquero, por ellos determinado. En el presente estudio la media de actividad diaria fue de siete botes (IC 99% = 6, 8), con una moda de 10, un máximo de 20 embarcaciones activas y un mínimo de 0, por lo tanto, las probabilidades de que siquiera un día todas las embarcaciones registradas durante un año de pesca hagan faena es prácticamente inexistente, como para asumir que los 240 días las 40 embarcaciones (registradas por Guevara y Cano, 1984) fueran a faenar y que el esfuerzo potencial de 9600 determinado por los autores sea a su vez el real, en tal caso el esfuerzo para el 2001 sería de 15453 faenas. Arango y Márquez (1995a) registraron para 1994 un esfuerzo total de 476 faenas, con 85 embarcaciones, para cinco lugares de desembarco (Old Town, Bottom House, Lazy Hill, Santa Catalina y La Montaña) entre marzo y noviembre, sin discriminar el esfuerzo por arte de pesca y sin incluir lugares como Free Town, Rocky Point ni South West; este último sitio con la mayor cantidad de embarcaciones registradas por ellos con respecto a los demás lugares de desembarco. Haciendo la comparación con esta investigación, bajo las mismas premisas se registraron 1402 faenas, lo que correspondería a casi tres veces más a las realizadas en 1994. Ahora bien, los tres lugares no evaluados por Arango y Márquez (1995a) registraron en el 2001 durante el periodo marzo-noviembre el 39% (907) faenas del esfuerzo total. Por lo tanto, aunque el número de embarcaciones dedicadas a la pesca artesanal ha disminuido, se produjo un aumento considerable en el esfuerzo pesquero. Al correlacionar el esfuerzo pesquero estimado (por método) con la precipitación y la velocidad del viento, no se evidenciaron diferencias significativas, contrario a lo propuesto por García (1980), con respecto a que existe una relación del esfuerzo pesquero con los cambios atmosféricos; se cumpliría para algunos lugares de desembarco en particular, en los cuales el bajo número de embarcaciones activas diariamente se vea influenciada por uno de estos factores.

## **CONCLUSIONES**

Fueron determinados ocho sitios de desembarco de recursos pesqueros en PSC: Mountain, Santa Catalina, Free Town, Old Town, Lazzy Hill, South West, Bottom House y Rocky Point. De los cuales Santa Catalina, Old Town, South West y Bottom House mantienen históricamente su lugar preponderante como sitios de desembarco, ya sea por el número de embarcaciones como por su aporte en los volúmenes de pesca.

La actividad pesquera en PSC es muy baja si tenemos en cuenta que en el año pesquero determinado en el presente estudio (303 días), las faenas realizadas no llegaron a ser el 20% (2888) de las potenciales (15343). Este esfuerzo está dirigido en más del 50% a la pesca con línea de mano, seguido por el buceo y en un porcentaje muy bajo a la pesca con nasas.

El esfuerzo pesquero, la CPUE y las capturas mensuales (estimadas) para los diferentes métodos de pesca artesanal utilizados en PSC no están relacionados con la precipitación ni la velocidad del viento, dado que no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas.

La pesca artesanal en PSC es de carácter tradicional, no es de subsistencia, pero tampoco tiene las características de semindustrialización. Pero existe tendencia a la mecanización básicamente en el aumento de la capacidad de desplazamiento más no en la tecnificación de los métodos y artes de pesca, los cuales se han mantenido bajo las mismas características durante los últimos veinte años.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arango, L & E. Márquez-Pretel. 1995a. Actividad pesquera en las islas de Providencia y Santa Catalina. Caribe colombiano. Inf. Tec. Fundación New Reef -INPA., 32 P.
- Arango, L & E. Márquez-Pretel. 1995b. Evaluación de la población de la langosta espinosa *Panulirus argus* en las islas de Providencia y Santa Catalina. Caribe colombiano. Rev. Cub. Inv. Pesq. 19(2):88-94.
- Bazigos, G.P. 1974. Applied fishery statistics. FAO. Fish. Tech. Pap. 135: 164 p.
- Buessa J.R. 1965. Biología de la langosta *Panulirus argus* Latreille (Crustácea Decapoda, Reptantita) en Cuba. Inst. Nac. De la Pesca. La Habana (Cuba) Inf. Tecn. 228 p.
- Buitrago D., A. Santos-Martínez & J. Medina. 2003a. Diferencias en la composición de las capturas con palangre vertical en la pesca artesanal de las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe insular colombiano. XII Seminario Nacional del Mar. 7- 10 de abril Santa Marta. Resúmenes. 58.
- Buitrago D., A. Santos-Martínez & J. Medina. 2003b. Aproximaciones a las condiciones de vida comunitaria y las unidades económicas en una pesquería dentro de la reserva de Biosfera Sea Flower, Islas de Providencia y Santa Catalina. Décimo Congreso Latinoamericano Sobre Ciencias del Mar. Universidad Costa Rica. San José. Costa Rica. Resúmenes ampliados.
- Castro, E., E. Chiquillo & A.M. González. 1999. Diagnóstico de la actividad pesquera en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Informe técnico. Secretaría de Fomento Agropecuario Pesca y Medio ambiente y CORALINA. San Andrés. 38 p.
- Cervigón, F., R. Cipriani, W. Fischer, L. Garibaldi, M. Hendrickx, A. J. Lemus, R. Márquez, J. M. Poutiers, G. Robaina & B. Rodríguez. 1992. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América. Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. FAO. Roma. 513 p.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Nat. Envir Res Council, Plymouth Mar Lab, Inglaterra, 144 p.

Coral Reef Fisheries Uses 2002. Conserving The Nation's Living  
Marine Ecosystems. <http://www.nmfs.noaa.gov/habitat/ecosystem/>.

Davis, G. E. 1977. Effects of recreational harvest of spiny lobster *Panulirus argus*, population. Bull. Mar. Sci. 27(2) 233-236

Díaz, J.M., G. Díaz-Pulido, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, J.A. Sánchez & S. Zea. 1996. Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe colombiano: I. Complejos arrecifales oceánicos. INVEMAR. Santa Marta. Serie Publicaciones Especiales No 2, 83 p.

Eslava, N., J. Suniaga, L. W. González y F. Guevara 2003. Captura por unidad de esfuerzo de la cabaña pintada (*Euthynus alleteratus*) de la flota artesanal de Juan Griego, Isla de Margarita, Venezuela. Décimo Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. San José (Costa Rica) Sept 22-26. Resúmenes ampliados.

FAO. 2000. Informe del Taller sobre manejo y asignación de recursos pesqueros a pescadores artesanales en América Latina. Valparaíso Chile. 76 p

Fredou, T. & B.F. Padovina. 2001. Reef. Fisheries In Brazil: The study case of the yellowtail snapper *Lutjanus chrysurus*. Noveno Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. Universidad Nacional Sede San Andrés (Colombia). Sept 16-20. 2001. Resúmenes ampliados: No. 213

García, V. M. 1980. Diagnóstico preliminar de la pesca artesanal del Archipiélago de San Andrés y Providencia. INDERENA Bogotá. Divulgación Pesquera. 22(1,2): 1-39.

Garzón J. y A. Acero. 1983. Notas sobre la pesca y los peces comerciales de la Isla de Providencia (Colombia), incluyendo nuevos registros para el Caribe occidental. Car. J. Sci. 19: 9-19.

Geister. J. 1992. Modern reef development and Cenozoic evolution of an oceanic Island/reef complex: Isla de Providencia (Western Caribbean Sea). Facies, 27:1-70.

Guevara, N. & M. Cano. 1983. Informe preliminar de la actividad pesquera en la isla de Providencia, Corporación Araracuara. Bogotá. 36 p.

Herrkind, W. F. y R. Lipcius. 1989. Habitat use and population biology of Bahamian spiny lobster. Proceedings of the thirty-nine annual gulf and Caribbean fisheries Institute. South California (39):265-278.

IDEAM. 2002. Información climática de las Islas de San Andrés y Providencia información electrónica.

IGAC. 1986. San Andrés y Providencia. Aspectos geográficos. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" Bogotá, 156 p.

Lozano-Alvarez, E., P. Briones-Fourzan & J. González-Cano. 1991. pesca exploratoria de langostas con nasas en la plataforma continental del área de Puerto Morelos. Q. R., México. Inst. Cien. del Mar y Limnol. Univ. nal. Auton. México, 18(1945-58)

Manjarrés, F. Escoriaza y J. Infante. 1993. Evaluación de las pesquerías artesanales del área de Santa Marta – Fase de extracción. Informe técnico final del proyecto integral de investigaciones y desarrollo de la pesca artesanal en el área marítima de Santa Marta. INPA-CIID-Universidad del Magdalena, Santa Marta: 1-20.

Medina, J., A. Santos- Martínez y D. Buitrago. 2003a. Producción pesquera artesanal con línea de mano durante el 2001 en las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe insular colombiano. XII Seminario Nacional del Mar. 7- 10 de abril Santa Marta. Resúmenes de Ponencias. 131.

Medina, J., A. Santos- Martínez y D. Buitrago. 2003b. La pesca del Chub (*Kyphousus spp.*) con línea de mano en la Isla de Providencia y Santa Catalina Caribe Insular colombiano. VII Simposio Colombiano de Ictiología. Universidad de Córdoba Montería 28 al 30 de mayo 2003. Resumen 65.

Medina, J., A. Santos- Martínez y D. Buitrago. 2003c. Producción pesquera artesanal en las Islas de Providencia y Santa Catalina Reserva de biosfera Sea flower Caribe colombiano. Décimo Congreso Latinoamericano Sobre Ciencias del Mar. Universidad Costa Rica. San José. Costa Rica. Resúmenes ampliados.

Otalora, R.B., 1980. Industria pesquera para San Andrés. Monografía de grado Administrador Marítimo. ENAP. Cartagena 90 p.

Ratter, B. 1997. La pesca y los recursos pesqueros. La importancia del sector pesquero en el espacio caribeño bajo las nuevas disposiciones jurídicas del derecho del mar. Capítulo 2. 25-41. en Ratter, B y G. Sandner (ed) Conflictos territoriales en el espacio marítimo del Caribe. Trasfondo de intereses características y principios de solución. Fondo FEN Colombia., 133 p.

- Santos-Martínez, A. 2000. Validación y transferencia de tecnología para la detección y evaluación de nuevos caladeros de pesca en el área de la isla de Providencia, Caribe colombiano. Instituto de Estudios Caribeños. Universidad Nacional de Colombia, Sede San Andrés. Proyecto. 12 p.
- Santos-Martínez, A., D. Buitrago & J. Medina. 2003a. Composición de la captura de peces con trampas en el complejo arrecifal de las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. XII Seminario Nacional del Mar. 7- 10 de abril Santa Marta. Resúmenes de Ponencias. 105.
- Santos-Martínez, A., D. Buitrago & J. Medina. 2003b. Producción pesquera artesanal con Buceo en las Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe Insular colombiano VII Simposio Colombiano de Ictiología. Universidad de Córdoba Montería28 al 30 de mayo 2003. Resumen 117.
- Santos-Martínez, A., J. Caldas, D. Buitrago & J. Medina. 2003c. Pesca comprobatoria para la ubicación de nuevos caladeros de pesca en las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe Insular colombiano. Décimo Congreso Latinoamericano Sobre Ciencias del Mar. Universidad Costa Rica. San José. Costa Rica. Resúmenes ampliados.
- Stoner, W.A. 1994. Significance of habitat and stock pre-testing for enhancement of natural fisheries: Experimental analyses whit queen conch *Strombus gigas*. J. World Aquac. Society, 25 (1).
- Víquez, R.P & L.M. Sierra. 2003. Características de la pesca artesanal de la Cooperativa de Tarcoles, Golfo de Nicoya. Costa Rica. Décimo Congreso Latinoamericano Sobre Ciencias del Mar. Universidad Costa Rica. San José. Costa Rica. Resúmenes ampliados
- Yallonardo, M., S. Daniella, J. Posada, E. Klein, & J.J. Salaya 2001. Estructura de la pesca artesanal en el parque nacional Morrocoy, Venezuela. Noveno Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. Universidad Nacional Sede San Andrés (Colombia). Sept 16-20 2001. Resúmenes ampliados: No. 386

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1.** Características de las embarcaciones de las islas de Providencia y Santa Catalina dedicadas a la pesca artesanal en el año 2001. Nombre de la embarcación: corresponde al nombre con el cual se identifica la embarcación; SITIO: corresponde al sitio donde desembarca sus productos pesqueros; TIPO: si es canoa (C) o lancha (L); MATERIAL: si la embarcación es de madera (M) o de fibra de vidrio (F); POTENCIA: se refiere a los caballos de fuerza del motor, si lo posee; LÍNEA DE MANO, BUCEO y NASA corresponden al método de pesca utilizado.

**Tabla 2.** Lista de métodos y artes de pesca utilizados por los pescadores de PSC en los diferentes lugares de desembarco, sitios más frecuentados al interior de cada una de las zonas en 2001.

**Tabla 3.** Sitios de pesca y métodos de pesca frecuentemente empleados por los pescadores artesanales de PSC en la Zona 1

**Tabla 4.** Sitios de pesca y métodos de pesca frecuentemente utilizados por los pescadores artesanales de PSC en la Zona 2

**Tabla 5.** Sitios de pesca y métodos de pesca frecuentemente utilizados por los pescadores artesanales de PSC en la Zona 3.

**Tabla 6.** Días del mes, número de días activos de pesca mensuales, número de días activos de pesca en los que se registró la actividad pesquera en PSC durante 2001.

**Tabla 7.** Esfuerzo (f) mensual estimado en Número (No) de faenas para cada uno de los métodos (línea de mano, buceo, nasas), utilizados en PSC durante 2001.

Tabla 1

Nombre de la Embarcación	Sitio	Tipo	Material	Potencia	Buceo	Línea de mano	Nasa
BHCanoa	Bottom House	C	M	0		X	
Miss Heidy(Tano)	Bottom House	L	M	40		X	
Tini	Bottom House	L	M	9,9-15-25		X	
3Buzos	Bottom House	L	F	15-25	X		
Will Whitaker	Bottom House	L	M	40		X	
Anita	Free Town	L	F	25-40		X	
Ted W	Free Town	L	M	40		X	
Turpial	Free Town	L	M	25	X	X	
Miss Joan	Free Town	L	M	40		X	
Celedonio	Lazy Hill	L	M	40	X	X	
Kepe	Lazy Hill	L	M	15-25-40	X		
Marlon 02	Lazy Hill	L	M	25		X	
Dana	Lazy Hill	C	M	0		X	
Hugo (Alan)	Lazy Hill	L	M	15-25-40	X		
Tania (Shine)	Mountain	L	M	40	X		
Anthony Pomare	Mountain	L	F	40	X		
Little (Hippie)	Mountain	L	F	75	X		
Dora Patricia	Old Town	L	M	40		X	
Karen II(Baldwin)	Old Town	L	F	40		X	
Candy B.	Old Town	L	M	40	X	X	
Souvering of the sea	Old Town	L	F	75		X	
Kessie	Old Town	L	F	40		X	
OTLMAzul	Old Town	L	F	75			X

Yayoleth	Old Town	L	F	40		X
Flash	Rocky point	L	M	40		X
Doña Tina	Rocky point	L	M	40		X
Dolly the star	Rocky point	L	M	40		X
RPCanoa	Rocky point	C	M	0	X	
Fibra RP	Rocky point	L	M	40	X	
Intrepid	Santa Catalina	L	M	40		X
Ethelma	Santa Catalina	L	M	75	X	X
Margareth	Santa Catalina	L	F	40		X
Dayan III	Santa Catalina	L	F	40	X	X
Mary Lee	Santa Catalina	L	M	40		X
Gintay	Santa Catalina	L	M	40	X	
Sea Lion	Santa Catalina	L	M	25		X
Dayan II	Santa Catalina	L	F	40	X	X
Ethelma II	Santa Catalina	L	F	40	X	X
Sea Flower	Santa Catalina	L	F	40	X	
Natalia	South West	L	M	40	X	
Katherine	South West	L	M	40		X
Sea Star	South West	L	M	40		X
Arturo	South West	L	M	40		X
Yajaira	South West	L	M	40		X
Wapedon	South West	L	M	40	X	X

Tabla 2

LUGARES DE DESEMBARCO	MÉTODOS DE PESCA (ARTES)	ZONAS Y SITIOS DE PESCA MÁS FRECUENTADOS
Mountain	Buceo (pulmón, tanque)	Zona 1 (Point of reef Outside, Lisa,), zona 3 (Point of reef Inside, Pear stick, Sea Devil Channel).
Santa Catalina	Línea de mano (hook and line, trolling y reel)	Zona 1 (Tail of reef, Northeast Bank y Coconut tree mark). ocasionalmente zona 3 (Front Lazy Hill y Blue Hole)
	Buceo (pulmón, tanque)	Zona1 (Lisa, Cuba, Tail of reef) zona 3 (Point of reef Inside, Pear stick).
	Nasas	Zona 3.
Free Town	Línea de mano (hook and line, trolling)	Zona 1 (White Bottom, Northeast Bank, Point of reef outside). Ocasionalmente zona 3 (Blue Hole, Behind Santa Catalina, Pear stick).
	Buceo (pulmón)	Zona 3 (Point of reef Inside Second White), ocasionalmente en la zona 2 (Southeast Bank)
Old Town	Línea de mano (hook and line, trolling y reel)	Zona 1 (Northeast Bank, White Bottom Coconut tree mark) ocasionalmente Zona 3 (Check-add).
	Buceo (pulmón, tanque)	Zona 3 (Point of reef outside)
Lazy Hill	Línea de mano (hook and line)	Zona 3 (Front Lazy Hill, Blue Hole)
	Buceo (pulmón)	Zona 3 (Livingston Hole, Pear stick. Front Lazy Hill)
South West Bay	Línea de mano (hook and line, trolling y reel)	Zona 2 (Southeast Bank, Peter Bank)
	Buceo (pulmón, tanque)	Zona 3 (Outside South West, Outside Freshwater bay, Snapper Shoal, split) Zona 2 (Front Manchinell, outside Manchinell)
Bottom House	Línea de mano (hook and line, trolling y reel)	Zona 2 (Southeast bank, Outside Bottom House, Naval Base Mark).
	Buceo (pulmón, tanque)	la zona 2 (Outside Bottom house, Front Manchinell bay)

Rocky point Línea de mano (hook and line) Zona 2 (Outside Crab cay, Outside Three Brothers) ocasionalmente en la zona 3 (Newball reef, Outside South West, Front South West)

Buceo (pulmón, tanque) Zona 3 (Newball Reef)

Tabla 3

SITIO DE PESCA	MÉTODO DE PESCA (Artes)
Bridge mouth open	Línea de mano (reel, trolling, hook and line)y Buceo
Coconut tree mark	Línea de mano (trolling)
Cuba	Línea de mano (hook and line)
Eastup junk	Buceo
Elbow	Línea de mano (hook and line) y buceo
Farest bank	Línea de mano (reel)
Julio bank	Línea de mano (reel)
Lisa	Buceo
Morning star	Buceo
Northeast bank	Línea de mano (hook and line, reel, trolling) y buceo
Point of reef outside	Línea de mano (trolling, hook and line) y buceo
Rocky bar	Buceo
Rocky cay channell	Buceo
Tail of reef.	Línea de mano (reel, trolling, hook and line)y buceo
Take a chance	Buceo
Tyler reef	Línea de mano (hook and line, reel), buceo
White bottom	Línea de mano (hook and line, trolling) y buceo

Tabla 4.

SITIO DE PESCA	MÉTODO DE PESCA (ARTES)
Bajos del arrecife	Buceo
Black Bottom	Buceo
Fastchub shoal	Línea de mano (hook and line)
Front Manchinell bay	Buceo
Front Rocky point	Buceo
Soldier Bank	Línea de mano (trolling, reel, hook and line) y buceo
Outside Bottom house	Línea de mano (hook and line, trolling) y buceo
Outside crab cay	Línea de mano (hook and line, trolling) y buceo
Outside light house	Buceo
Outside Manchinell	Línea de mano (hook and line, trolling) y buceo
Outside Rocky point	Línea de mano (hook and line, trolling) y buceo
Outside Three Brothers	Línea de mano (hook and line) y buceo
Peter bank	Línea de mano (trolling- reel) y buceo
Snapper rock	Buceo
Southeast bank	Línea de mano (trolling, reel, hook and line) y buceo
Up the reef	Línea de mano (hook and line, trolling) y buceo

Tabla 5

SITIO DE PESCA	MÉTODO DE PESCA (ARTES)
Bayack	Buceo
Behind Santa Catalina	Línea de mano (hook and line, trolling) y buceo
Ben Zalaman	Buceo
Blue hole	Línea de mano (hook and line; reel) y buceo
Check-add	Línea de mano (hook and line)
First White	Buceo
Front Freetown	Línea de mano (hook and line)y buceo
Front Freshwater bay	Línea de mano (hook and line) y buceo
Front Lazy Hill	Línea de mano (hook and line) y buceo
Front south west	Línea de mano (hook and line) y buceo
Jewfish bay	Línea de mano (hook and line) y buceo
Lawrence ref.	Buceo
Lazy Hill Barr	Buceo
Little peca	Línea de mano (hook and line)
Livingston hole	Buceo
More ref.	Buceo
Newball ref.	Línea de mano (hook and line) y buceo
Outside Freshwater bay	Buceo
Outside south west	Línea de mano (hook and line) y buceo
Pear stick	Línea de mano (hook and line y trolling) y buceo
Round shoal	Línea de mano (hook and line)
Santa Catalina bay	Línea de mano (hook and line)
Sea devil channell	Buceo
Second White	Buceo
Snapper shoal	Línea de mano (hook and line trolling), buceo
South barr	Buceo
Split	Buceo
Under Marice Hill	Línea de mano (hook and line)
Under point	Línea de mano (hook and line trolling), buceo
White water	Buceo

Tabla 6

MES	DIAS	Días Activos de Pesca	Días Activos Muestreados
Enero	31	25	23
Febrero	28	24	19
Marzo	31	26	21
Abril	30	25	22
Mayo	31	25	24
Junio	30	26	19
Julio	31	24	23
Agosto	31	25	23
Septiembre	30	25	16
Octubre	31	27	26
Noviembre	30	26	25
Diciembre	31	25	24
TOTALES	365	303	265

Tabla 7

<b>FECHA</b>	<b>LINEA DE MANO</b>	<b>BUCEO</b>	<b>NASAS</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>No faenas</b>	<b>No faenas</b>	<b>No faenas</b>	<b>No faenas</b>
Enero	109	75	13	197
Febrero	71	61	8	139
Marzo	218	136	7	361
Abril	229	130	9	368
Mayo	129	82	10	222
Junio	146	126	4	275
Julio	99	83	0	182
Agosto	120	81	2	203
Septiembre	123	86	2	210
Octubre	112	74	10	197
Noviembre	166	109	16	291
Diciembre	132	102	8	243
<b>TOTAL</b>	<b>1654</b>	<b>1145</b>	<b>89</b>	<b>2888</b>

## LEYENDA DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Localización geográfica de PSC (SIG. U. Nacional de Colombia. Sede San Andrés 2003).

**Figura. 2.** Distribución de las UEPS dedicadas a la pesca artesanal por lugar de desembarco en PSC durante 2001 (SIG U. Nacional de Colombia Sede San Andrés, 2003).

**Figura 3.** Ubicación de las zonas de pesca en PSC el 2001 y geomorfología (Modificado de Díaz et al. 1996).

**Figura 4.** a). Porcentaje del esfuerzo (numero de faenas) con línea de mano (muestreado) en cada una de las zonas de pesca frecuentadas por los pescadores artesanales de PSC en 2001. b) Faenas de pesca artesanal con línea de mano muestreadas en PSC durante 2001 de cada una de las zonas de pesca tradicionales.

**Figura 5** a) Porcentaje del esfuerzo (numero de faenas) mediante buceo (muestreado) en cada una de las zonas de pesca frecuentadas por los pescadores artesanales de PSC en 2001. b). Faenas de pesca artesanal mediante buceo muestreadas en PSC durante 2001 de cada una de las zonas de pesca tradicionales.

Figura 1



Figura 2.

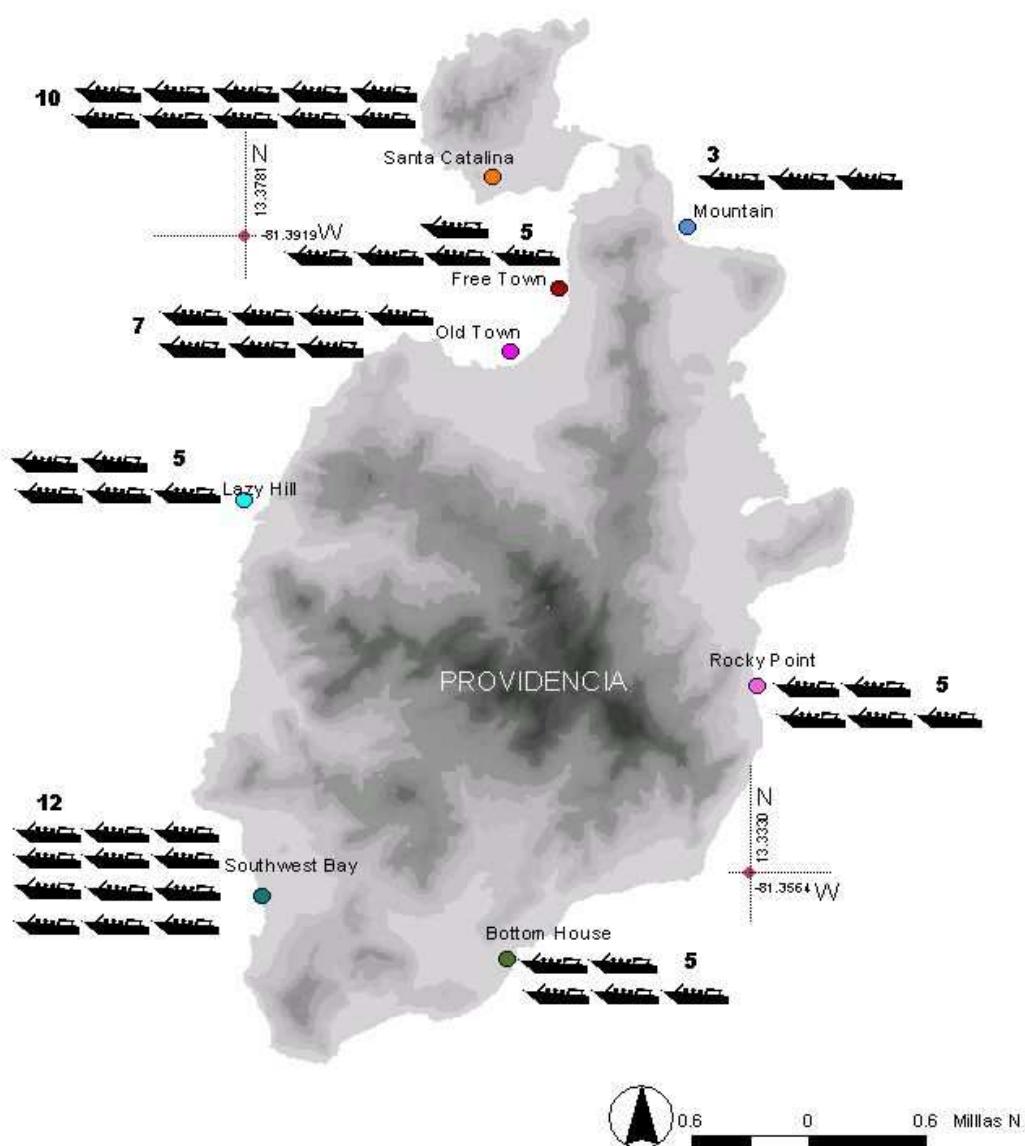


Figura 3.

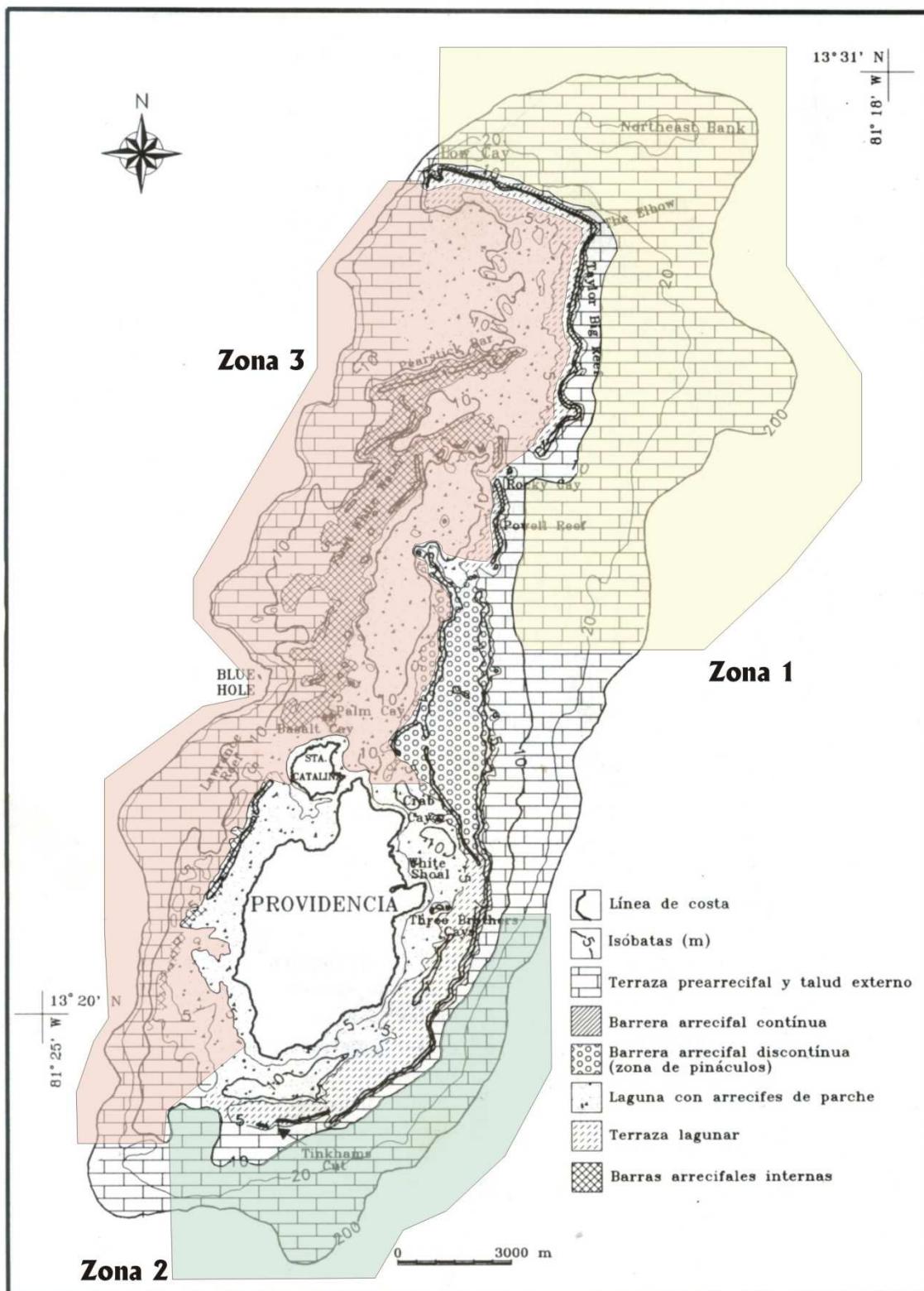


Figura 4a y b

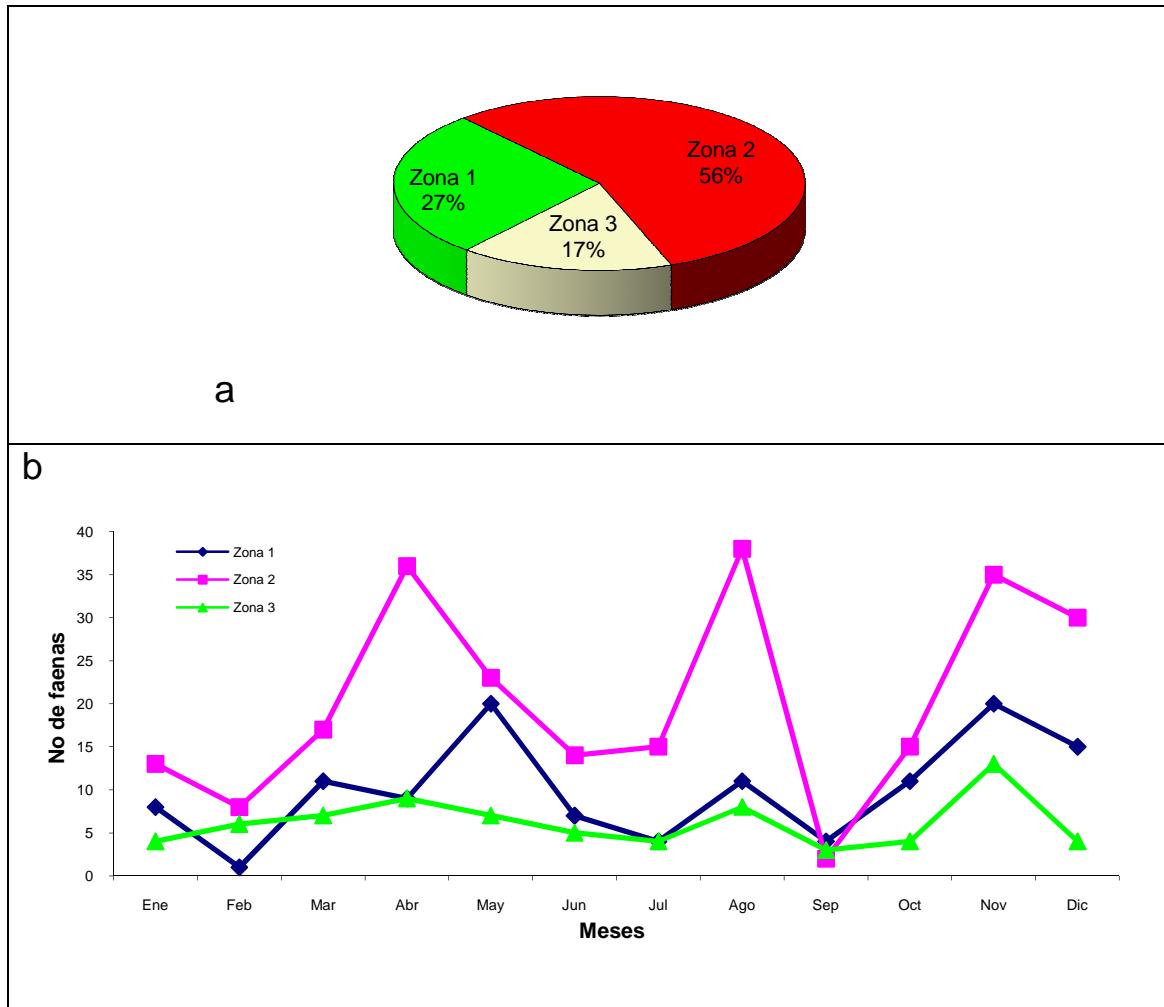


Figura 5 a y b

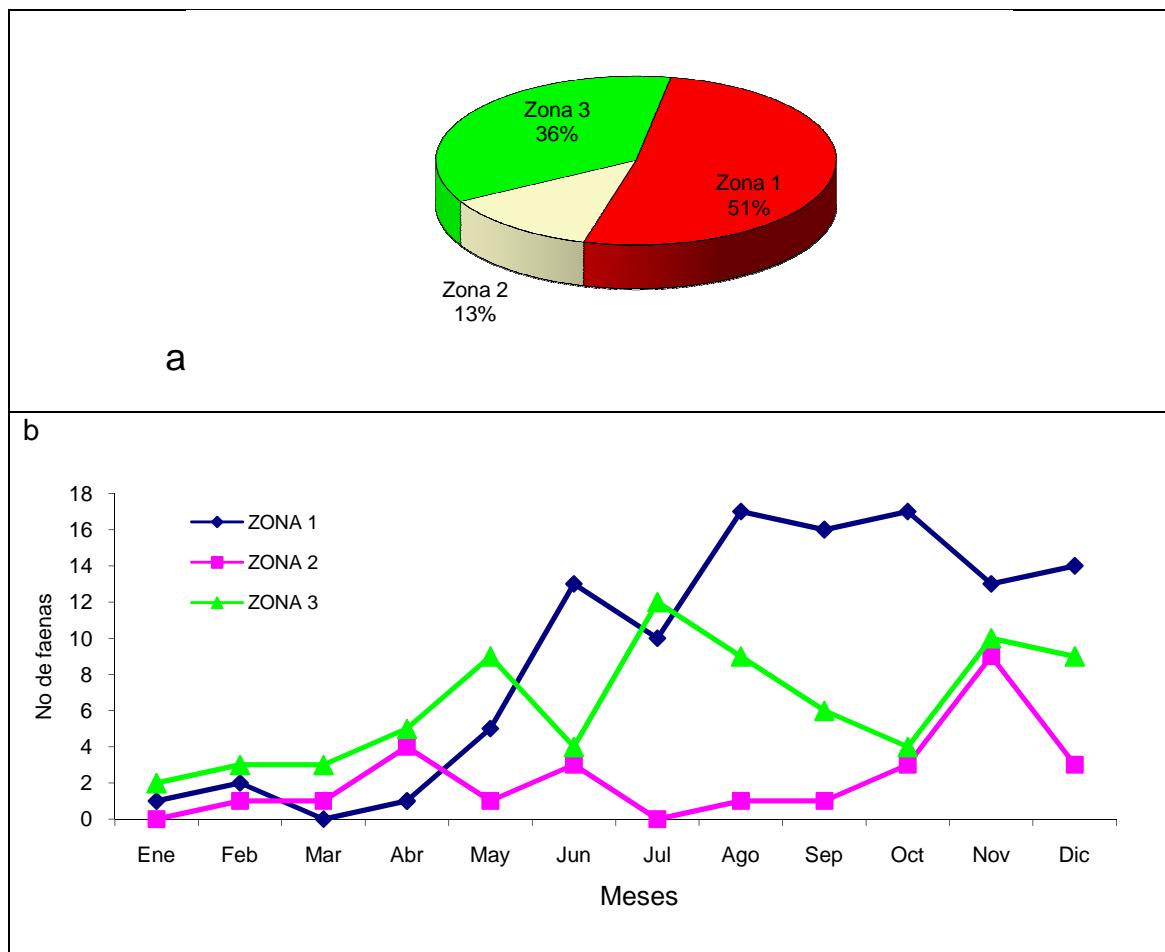
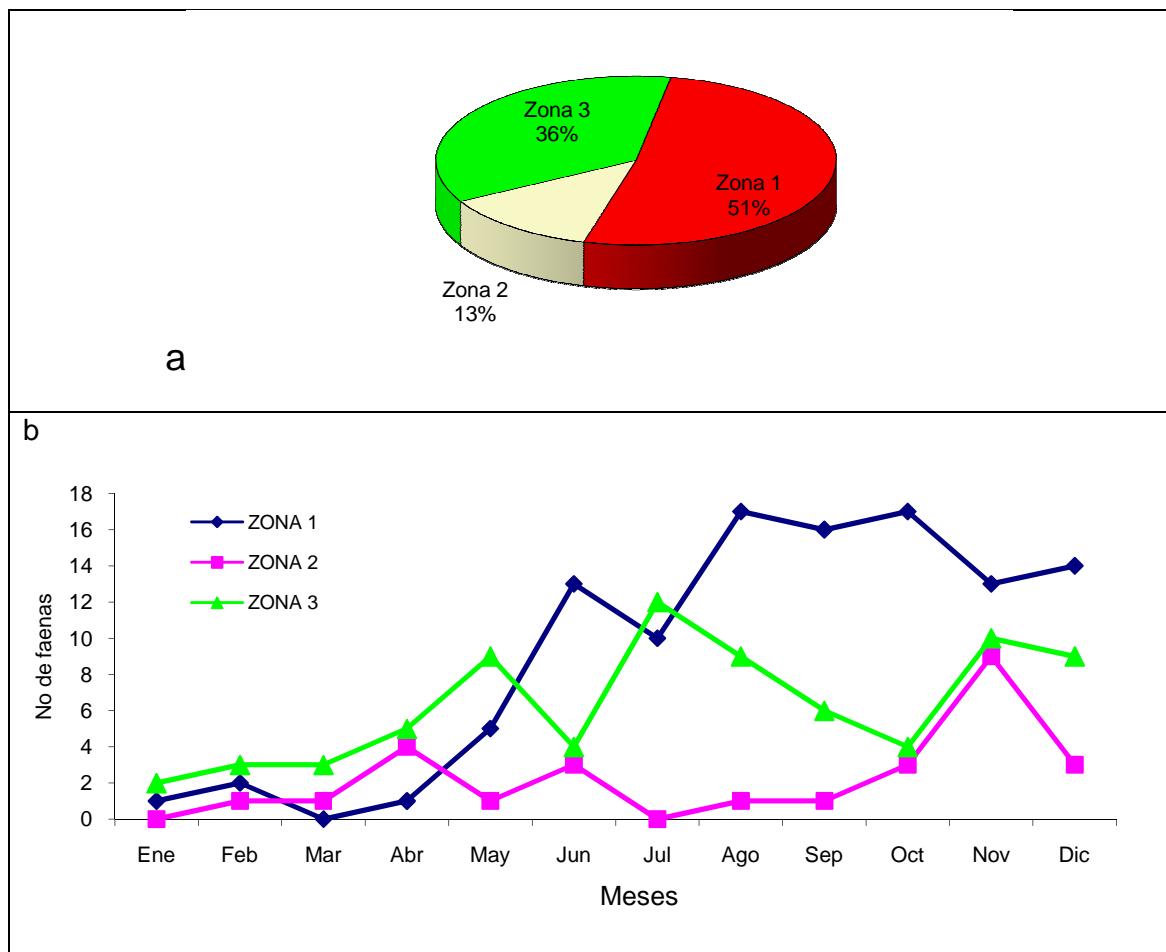


Figura 6a y b



# **ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE BACTERIAS ASOCIADAS AL CARACOL PALA (*Strombus gigas*) DE LA COSTA CARIBE COLOMBIANA**

Claudia Ximena Moreno Herrera, Eliana Gómez Ocampo, Olga Pérez, Magally Romero, Gloria Ester Cadavid.

Grupo de Microbiodiversidad y Bioprospección. Laboratorio de Microbiología Industrial y Biología Celular y Molecular. Departamento de Biociencias, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Calle 59A No 63-20 - Núcleo El Volador Medellín – Colombia. [cxmoreno@unal.edu.co](mailto:cxmoreno@unal.edu.co) Teléfono 4309822

## **RESUMEN**

El Caracol Pala, *Strombus gigas*, es de gran importancia ecológica y socioeconómica en el Caribe colombiano. Esta especie está catalogada como vulnerable y enfrenta un riesgo moderado de extinción a pesar de las medidas de control implementadas. Para ampliar el conocimiento científico para el desarrollo, manejo y la seguridad acuática del caracol pala, es importante la comprensión de la ecología bacteriana de estos gastrópodos. Previamente, se ha realizado un estudio de la microbiota asociada al caracol pala de ejemplares colectados en el Caribe Colombiano, a partir de los aislamientos bacterianos obtenidos, fueron producidos extractos crudos a los cuales se les evaluó su actividad antimicrobiana *in vitro* contra diferentes blancos bacterianos. Se determinó que nueve de los extractos provenientes de *Psycrobacter* sp., *Pseudoalteromonas* sp., *Halomonas* sp., *Cobetia* sp. y *Vibrios* sp. presentaron actividad biológica contra uno o más de los blancos probados. Los extractos que mostraron alta actividad antimicrobiana, sin embargo, requieren de mayor análisis para identificar los compuestos activos responsables de ella. Esta información es complementaria a los estudios que se puedan implementar relacionados con procesos biotecnológicos y de conservación de las poblaciones de caracol pala del Caribe Colombiano.

Palabras clave: Bacterias, Caracol pala, Antimicrobiana, Microbiota.

## ABSTRACT

**Antimicrobial activity of bacteria associated queen conch (*Strombus gigas*) of the Colombian Caribbean coast.** The queen conch, *Strombus gigas*, is of great ecological and socio-economic area in the Colombian Caribbean. This species is listed as vulnerable and faces a moderate risk of extinction despite the control measures implemented. To expand scientific knowledge for the development, management and security of the queen conch aquaculture is important to the understanding of bacterial ecology of these gastropods. Previously, it has made a study of the microbiota associated with queen conch specimens collected in the Colombian Caribbean, from the bacterial isolates were obtained crude extracts of which were assessed *in vitro* antimicrobial activity against different bacterial targets. It was determined that nine of the extracts from *Psycrobacter sp.*, *Pseudoalteromonas sp.*, *Halomonas sp.*, *Cobetia sp.* and *Vibrio sp.* showed biological activity against one or more of the targets tested. The extracts showed high antimicrobial activity require further analysis to identify the active compounds responsible for it. This information is complementary to studies that can be implemented related to biotechnological processes and conservation of populations of the Colombian Caribbean conch.

Keywords: Bacteria, conch, Antimicrobial, Microbiota.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores argumentos para la preservación de la biodiversidad, es el aprovechar su potencial biotecnológico en la búsqueda de nuevos productos. El mundo marino es extraordinariamente diverso, y nos brinda la posibilidad de descubrir en él cada día algo nuevo. Los organismos eucariotas que habitan las superficies marinas, esponjas, corales, moluscos, etc., hospedan microorganismos capaces de desarrollar respuestas adaptativas frente a la colonización por competidores. La producción de toxinas, moléculas de señalización y metabolitos secundarios por estos microbios (Debashish *et al.*, 2005), son la base para el descubrimiento de nuevos agentes terapéuticos y moléculas bioactivas, con futuras aplicaciones biotecnológicas.

La diversidad microbiana asociada a esponjas, corales y moluscos es de creciente interés, pero en realidad son pocos los organismos marinos que han sido investigados y muchos los hospederos que aguardan por ser explorados. Estudios recientes sugieren que microbios asociados a la superficie de los sedimentos colonizan hospederos específicos formando comunidades diferentes de acuerdo a la especie colonizada, además se ha demostrado que algunos metabolitos descubiertos en invertebrados marinos son similares a los aislados previamente en bacterias (Pérez Matos *et al.*, 2007).

El caracol pala un gastrópodo que habita en aguas de las costas del mar Caribe (Brownell y Stevely, 1981), no es la excepción y actualmente tenemos una idea más próxima de cuán diversa puede ser su microbiota. Estudios previos relacionados con la ecología del caracol y la identificación molecular de las poblaciones microbianas asociadas a este molusco han provisto una visión más clara de las familias bacterianas presentes en él, incluso de aquellas que hasta el momento no han sido aisladas en cultivo (Acosta *et al.*, 2009), sin embargo es poco en realidad lo que se sabe sobre estas bacterias por lo tanto la investigación continua, hacia un estudio más completo y sus posibles aplicaciones.

Los estudios previos sobre el caracol pala han sido motivados por circunstancias que amenazan continuamente su entorno y preservación. La pesca y la sobreexplotación de este recurso han crecido de manera exponencial en los últimos 30 años, resultando en la reducción en la población y el cierre de zonas de cría. Ésta especie ha sido incluida en el apéndice 2 de CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas), por ende el comercio internacional se permite sólo en las naciones en las que las poblaciones de las especies no están bajo la amenaza de la pesca comercial y en Colombia ha sido incluido en el libro rojo de los invertebrados marinos en la categoría vulnerable. La sobrepesca, la pérdida de importantes hábitats de cría (como prados de pastos marinos), actividades humanas como la urbanización, la polución, el aumento de la sedimentación en el arrecife, el uso de dinamita y otros aparejos destructivos como redes de fondo son causa del decline poblacional (Glazer y Quintero, 1998).

Un aspecto esencial en estos estudios es procurar la preservación del caracol pala y esto depende de las medidas que se implemente para lograrlo, paradójicamente un problema como la perdida de esta especie ha motivado al diseño de soluciones para su preservación que permita un conocimiento detallado de su biología, los microorganismos asociados, y como complemento la obtención de herramientas que podrían ser de utilidad en otros campos biotecnológicos.

Una de las razones por los cuales hemos orientado este estudio hacia la búsqueda de compuestos bioactivos en microorganismo provenientes de ambientes marinos, se fundamenta en que las bacterias del suelo a pesar de que siguen siendo ampliamente estudiadas, hay una notable disminución en el hallazgo de nuevos productos estimándose que más del 90% de los cultivos microbianos bioactivos descubiertos producen agentes ya descritos (Fenical W, 1993). Por ello la exploración se ha reorientado hacia otros ambientes, como los sedimentos de ríos, lagos y océanos, así como plantas y animales acuáticos, que ofrecen la posibilidad de encontrar cepas silvestres no descritas que produzcan nuevos metabolitos secundarios farmacológicamente activos (Jensen y Fenical , 1994). Las listas de compuestos obtenidos a partir de microorganismos acuáticos, incluyen antimicrobianos, anticancerígenos, antiinflamatorios y enzimas. Éstas enzimas son utilizadas en una amplia gama de procesos como la descontaminación de aguas residuales, transformación de desechos de origen vegetal, (Gupta *et al.*, 2004) sin contar que muchos de los genes aislados que codifican para éstas proteínas pueden ser expresados en otros microorganismos. Las bacterias son utilizadas como fuente de enzimas amilasas, celulasas, xilanases, proteasas, DNA polimerasas, lipasas, estearasas, entre otras (Horikoshi, 1999).

El presente estudio pretende obtener información sobre la actividad antimicrobiana de bacterias aerobias aisladas del caracol *S. gigas*. Los extractos mostrando alta actividad antimicrobiana de las bacterias caracterizadas molecularmente, requieren de mayor análisis para identificar los compuestos activos responsables de su actividad. Esta información es complementaria a los estudios que se puedan implementar relacionados con procesos biotecnológicos y de conservación de las poblaciones de Caracol del Caribe Colombiano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de muestras

Las muestras fueron obtenidas previamente en el proyecto “Estudio de la microbiota asociada al caracol del grupo de Microbiodiversidad y Bioproyección (Acosta *et al.*, 2009). Las cepas bacterianas fueron sembradas en agar marino (DifcoTM) y las placas fueron incubadas aeróbicamente a 25 °C (Figura 1) por 72 horas. Los aislados bacterianos fueron identificados y guardados en el Laboratorio de Microbiología Industrial UNALMED hasta su análisis.

### Análisis Molecular

**Extracción del DNA:** El DNA fue extraído y purificado mediante una dilución en 8 % P/V de TE 10X (0.1 M Tris, 0.01 M de EDTA, pH 8.0), 0.5 M NaCl, tratamiento con SDS al 1 % e incubación de 20 min a 70 °C, el lisado fue tratado con una solución de Fenol / Cloroformo /Alcohol isoamílico (25:24:1) seguido por precipitación con etanol. El DNA extraído fue resuspendido en 50 µl de agua ultra pura. Se les realizó tratamiento con RNasa (Fermentas, California U.S.A) a 1 µg/µl durante 2 h a 37 °C (Romero *et al.*, 2002).

### Iniciadores y amplificación por PCR (Reacción en cadena de la polimerasa).

Todos los oligonucleótidos usados en este estudio fueron sintetizados por Gentech (Inc). La amplificación de la región del gen codificador para el 16S RNA se realizó con los iniciadores universales de la región conservada con los iniciadores Eubac 27F (AGA GTT TGA TCC TGG CTC AG), 1492R (GGT TAC CTT GTT ACG ACT T) descritos por De Long (1992). Aproximadamente 25 ng/µl del DNA bacteriano fue usado para la reacción en un volumen final de 30 µl, la mezcla y el programa de la reacción fueron los descritos por Moreno *et al.* (2002).

El producto de amplificación fue analizado por una electroforesis en un gel de agarosa al 1.8 % teñido con EZ.Vision™ (Amresco®) según las recomendaciones del fabricante. Las bandas de DNA fueron visualizadas por iluminación con LUV y fotografiadas por Sistem UV-Transiluminator (Biometra).

### **Secuenciación de los 16S rDNA de cultivo puro.**

Los productos de amplificación del 16S rDNA fueron purificados y enviados a secuenciar en ambas direcciones (con los partidores 27F, 1492R y 1100R (GGG TTG CGC TCG TTG ) por Macrogen Inc. La identificación de los productos secuenciados, fue realizada por comparación de secuencias individuales del gen 16S rRNA publicadas en la base de datos del servidor BLAST del National Centre for Biotechnology Information (NCBI) y en el rRNA Database Project (RDP II).

### **Actividad antimicrobiana**

#### **Preparación del extracto**

Se llevó a cabo esencialmente como se describe en Romero *et al.* (2002). Para la preparación del extracto se inocularon en erlenmeyer de 150 ml, conteniendo 50 ml de caldo marino con un 2% de resina XAD Amberlite (Sigma), usada para la absorción de los metabolitos secundarios producidos durante el cultivo (Spyere *et al.* 2003), y 0.5mL de la cepa a evaluar crecida en un cultivo durante toda la noche. Luego se incubaron durante 7 días a 25 °C en agitación permanente. Pasado este periodo, la resina fue separada del medio de cultivo por filtración y los productos absorbidos fueron eluidos con metanol al 100%. El producto se concentró por evaporación y fue conservado a -20 °C para su posterior evaluación.

#### **Evaluación de actividad antimicrobiana**

Para la evaluación se utilizó la prueba de difusión en agar (El-Masry *et al.* 2000) contra cepas bacterianas Gram +: *Bacillus subtilis* y Gram -: *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*. Se utilizaron discos de papel filtro Whatman N° 1 de 6 - mm de diámetro esterilizado por autoclave 15 min a 121 °C. Los discos estériles fueron impregnados con los diferentes extractos (15 µl). La superficie del agar Mueller-Hinton (Becton Dickison) fue inoculada uniformemente con las cepas blanco crecidas en un cultivo líquido a una concentración aproximada de  $1.2 \times 10^8$  UFC/ml. Los discos impregnados fueron esparcidos sobre el medio y las cajas fueron incubadas a 30°C durante 18 horas, al cabo de este tiempo se evaluó el diámetro del halo de inhibición del crecimiento causado por los extractos de las bacterias marinas. El antibiótico ampicilina (10 µg por disco) fue seleccionado como control.

## RESULTADOS

### Actividad antimicrobiana

Los resultados de la actividad antimicrobiana de los extractos metanólicos crudos frente a las bacterias *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus subtilis*, se muestran en la tabla 1. Un total de 9 extractos derivados de los aislados bacterianos seleccionados para el estudio asociados a la microbiota del caracol pala fueron evaluados. En el presente estudio todos los aislados evaluados, presentaron actividad contra uno o más blancos. Destacando la actividad antimicrobiana de los extractos derivados de las cepas inicialmente identificadas de acuerdo al patrón de ITS como *Halomonas sp* y *Vibrio sp.*

Los extractos que han mostrando alta actividad antimicrobiana podrían ser seleccionados para un análisis que permita caracterizar los metabolitos activos.

## DISCUSIÓN

Los extractos obtenidos de bacterias de la microbiota asociada al caracol pala, fueron evaluados con el fin de conocer la presencia de sustancias inhibitorias de bacterias como la *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, bacterias Gram negativos de interés clínico y *Bacillus subtilis*, que se ha descrito con una alta sensibilidad a la mayoría de los antibioticos y asociada al deterioro de los alimentos (Popelka *et al.*, 2003). La determinación de la actividad antibacteriana de los extracto mostró que existe una acción característica de cada extracto sobre los microorganismos blancos (Magallanes, *et al.*, 2003, Belmares *et al.*, 2006).

En total dos extractos preparados a partir del cultivo de las cepas inicialmente identificadas como *Psycrobacter sp.C3*, *Pseudoalteromonas sp.* y *Vibrio sp C1*, mostraron una actividad antimicrobiana muy buena de acuerdo al diámetro del halo de inhibición, frente a cada microorganismo probado. A pesar de que son pocos los reportes de metabolitos secundarios con propiedades bioactivas obtenidos de la bacteria *Psycrobacter sp.* algunas investigaciones han evidenciado la producción de dipéptidos cíclicos con una actividad biológica diversa, antitumoral (Nicholson *et al.*, 2006) y

antibacterial (Fdhila *et al.*, 2003), en tanto los miembros del orden Alteromonadales y Vibrioanales del filo Proteobacteria, como *Pseudoalteromonas* y *Vibrios* han sido descritas como las productoras dominantes de antibióticos (Long y Azam, 2001).

El extracto derivado de una cepa identificada como *Cobetia* sp. no mostró una actividad notoria, la capacidad para producir metabolitos secundarios puede variar y se reporta que para cerca del 40% de los microorganismos recientemente aislados pueden perder su actividad, probablemente por necesidades nutricionales insatisfechas (Arnold y Aiqi Fang, 2000). El resto de los extractos evidenciaron una actividad antibacteriana moderada. En la literatura se ha encontrado reportes para *Vibrios* spp los resultados de esos estudios indican que la producción de substancias inhibitorias es un fenómeno común entre bacterias aisladas de biopelículas en sustratos marinos (Jorquera *et al.*, 2004). Además microbiólogos han asumido que los antimicrobianos juegan un rol importante en interacciones competitivas.

Los extractos mostrando alta actividad antimicrobiana requieren de mayor análisis para identificar los compuestos activos responsables de ella. Además, la actividad biológica observada en este estudio muestra el recurso potencial de bacterias aisladas de nuestros recursos marinos. Esta información es complementaria a las investigaciones que se puedan implementar relacionados con procesos biotecnológicos y de conservación de las poblaciones de caracol pala del Caribe colombiano.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto DIME 7734 (2009) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta E.A., Gómez E, Romero T, Cadavid G.E & Moreno C.X. 2009. Identificación molecular de Poblaciones Bacterianas Asociadas al Caracol Pala (*Strombus gigas*) del Caribe Colombiano. *Acta Biol Colomb.*, 14: 69-84.
- Arnold L & Aiqi Fang. 2000. The Natural Functions of Secondary Metabolites. Springer Berlin / Heidelberg., 69: 1-39
- Brownell, W. N. & Stevely, J. M. 1981. The biology, fisheries and management of the Queen Conch *Strombus gigas*. *Mar Fish Rev, US Dept Comm.*, 43: 1-12.
- Debashish G, Malay S, Barindra S, & Joydeep M. 2005. Marine enzymes. *Adv. Biochem. Engin. Biotechnol.*, 96:189-218.
- De Long E.F.1992. Archaea in coastal marine environments. *Proc. Natl. Acad. Sci.USA.*, 89:5685-5689.
- El-Masry, H.A., Fahmy H.H. & Abdelwahed A.S.H. 2000. Synthesis and antimicrobial activity of some new benzimidazole derivatives. *Molecules*, 5: 1429-1438.
- Fdhila, F., Vázquez, V., Sánchez, J. L. & Riguera, R. 2003. DD-Diketopiperazines: antibiotics active against *Vibrio anguillarum* isolated from marine bacteria associated with cultures of *Pecten maximus*. *J. Nat. Prod.*, 66: 1299-1301.
- Fenical W. 1993. Chemical studies of marine bacteria developing a new resource. *Chem Rev.*, 93: 1673-83.
- Glazer R. A. & Quintero I. 1998. Observations on the sensitivity of Queen Conch to water quality: Implications for coastal development. 50th Proc. Gulf. Carib. Fish Inst., 78-93.
- Gupta, R., Gupta, N. &Rathi, P. 2004. Bacterial lipases: an overview of production, purification and biochemical properties. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 64:763-81.
- Horikoshi, K. 1999. Alkaliphiles: some applications of their products for biotechnology. *Microbiol. Mol. Biol.*, 63: 735-750.
- Jensen P. R, y Fenical W.1994 Strategies for the discovery of secondary metabolites from marine bacteria: Ecological perspectives. *Annu Rev Microbiol.*, 48: 559-84.

- Jorquera M.A, Riquelme , LoyolaLA y Muñoz LF. 2004. Production of bactericidal substances by a marine vibrio isolated from cultures of the scallop *Argopecten purpuratus*. Springer Netherlands., 7: 433-448.
- Long R, & F. Azam, 2001. Antagonistic interactions among marine pelagic bacteria. *Appl. Environ. Microb.*, 67:4975-4983.
- Magallanes C, Córdoba R, y Orozco. 2003. Actividad antibacteriana de extractos etanolicos de macroalgas marinas de la costa del Perú. *Revista peruana de Biología*, 10: 125:132
- Moreno C, Romero J, y Espejo RT. 2002. Polymorphism in repeated 16S rRNA genes is a common property of type strains and environmental isolates of the genus *Vibrio*. *Microbiology*, 148:1233-1239.
- Nicholson B, Lloyd, G. K, Miller, B. R., Palladino, M. A., Kiso,Y., Hayashi, Y. y Neuteboom, S. T. C. 2006. NPI-2358 is a tubulin-depolymerizing agent: in-vitro evidence for activity as a tumor vascular-disrupting agent. *Anti-Cancer Drug.*, 17: 25-31.
- Pérez M. A., Rosado W. y Govind N. 2007. Bacterial diversity associated with the Caribbean tunicate *Ecteinascidia turbinata*. *Antonie van Leeuwenhoek.*, 92:155-164.
- Popelka P, Nagy J, Popelka P, Sokol J, Hajurka J, Cabadaj R, Marcincak S. y Bugsarsky A. 2003. Comparison of various methods for penicillin residue detection in cow milk after intramammary and parenteral treatment. *Bull Vet Inst Pulawy.*, 47:203–209.
- Romero J, García-Varela M, Laclette JP. y Espejo RT. 2002. Bacterial 16S rRNA gene analysis revealed that bacteria related to *Arcobacter* spp. constitute an abundant and common component of the oyster microbiota (*Tiostrea chilensis*). *Microb Ecol.*, 44:365-371.
- Spyere A, Rowley D, Jensen P y Fenical W. 2003. New neoverrucosane diterpenoids produced by the marine gliding bacterium *Saprospira grandis*. *Journal of Natural Products.*, 66: 818-822

Tabla 1. Actividad antimicrobiana de los extractos metanólicos crudos de las nueve cepas seleccionadas frente a las cepas de referencia.

	Microorganismo		
Fuente del Extracto metanólico crudo	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Bacillus subtilis</i>
<i>Psychrobacter sp. C1</i>	++	++	++
<i>Psychrobacter sp.C2</i>	++	++	++
<i>Psychrobacter sp.C3</i>	++	++	+++
<i>Pseudoalteromonas sp.</i>	+	+++	++
<i>Vibrio sp C1</i>	+	++	+
<i>Cobetia sp</i>	+	-	-
<i>Vibrio sp.C2</i>	+	-	++
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	+	++
<i>Halomonas sp.</i>	++	++	++

Todos los resultados corresponden a las medidas de tres replicas (-) Inactividad, (+) actividad débil (7-10 mm halo), (++) buena (10-15 mm del halo), (+++) muy buena (mayor de 15 mm).

## LEYENDA DE LAS FIGURAS

**Figura 1.** Modela de siembre de las cepas bacterianas en agar marino (DifcoTM).

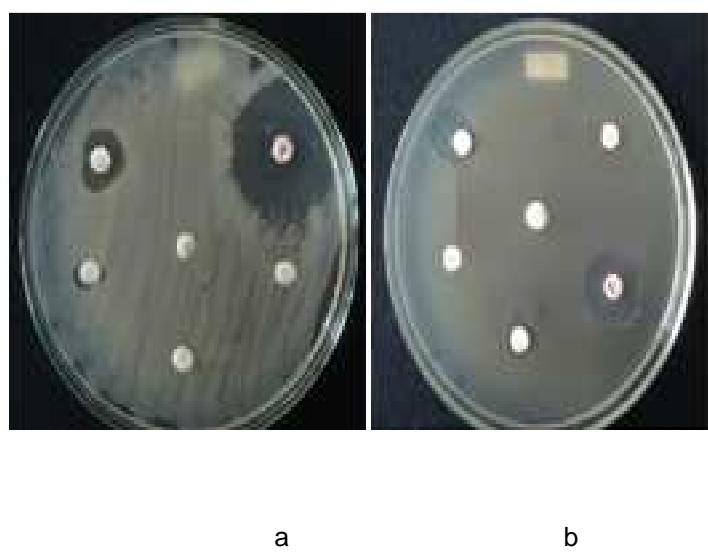
**Figura. 2.** Halos de inhibición de los extractos metanólicos crudos derivados de las cepas bacterianas identificadas preliminarmente como *Pseudoalteromonas* y *Vibrio* sp. a) Frente a *E. coli* y b) *Bacillus subtilis*.

**Figura 3.** Halos de inhibición de los extractos metanólicos crudos derivados de las cepas bacterianas identificadas preliminarmente como *Psycrobacter* sp. C3 (25) frente a *Bacillus subtilis*.(Amp) antibiótico ampicilina (10 µg por disco).



Fig 1. Colonias de *Vibrio* sp.

**Figura 1.**



**Figura 2.**



**Figura 3.**

### 3. Las Ciencias del Mar en la Universidad Nacional de Colombia

# **LA LÍNEA DE BIOLOGÍA MARINA, DEL POSGRADO EN CIENCIAS, BIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: 1979-2009, 30 AÑOS DE ACTIVIDAD**

Néstor Hernando Campos C., Arturo Acero P., Sven Zea

Centro de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, Cerro Punta de Betín, Santa Marta, Colombia.

## **RESUMEN**

La Universidad Nacional de Colombia tiene como uno de sus objetivos el formar y preparar investigadores altamente calificados en las diferentes ramas de las ciencias incluyendo aquellas que se relacionan con el conocimiento y el aprovechamiento de los recursos naturales. Teniendo en cuenta las facilidades en infraestructura y demás que brinda el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, la Universidad Nacional desarrolla en Santa Marta desde 1979 un programa de formación a nivel de Maestría y Doctorado en Biología Marina. Este programa está actualmente adscrito al Departamento de Biología, y ha sido administrado localmente por el Centro de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, de la Sede Caribe. En el momento se tramita la apertura y su administración completa por parte de la Sede Caribe. En 1979 se inicia la primera promoción con profesores alemanes (residentes y visitantes) y profesores de la Universidad Nacional Sede Bogotá. Se han adelantado 16 cohortes de maestría hasta ahora han ingresado 112 estudiantes. De estos se han graduado 76 a julio de 2010, que constituyen un 68 %. Si no se tiene cuenta que hay todavía 21 estudiantes de las últimas 3 promociones terminando o desarrollando sus tesis (19 %), el porcentaje de graduados sube al 83 %. Se ha hecho un gran énfasis en la publicación de la información obtenida a través de las tesis. Esto ha conducido a que a julio de 2010, se hayan publicado 88 artículos en revistas de carácter Nacional e Internacional (1,2 por tesis en promedio). Además, se han publicado dos libros cubriendo los resultados de las tesis, y varios capítulos de libros. Desde la vinculación de profesores para cumplir con el convenio en Santa Marta (iniciando en 1986), se han publicado más de 300 artículos, libros y capítulos de libros.

## **ABSTRACT**

**Graduate Studies in Marine Biology, (Department of Biology, Science College) in the Universidad Nacional de Colombia: 1979-2009, 30 years of activity.** One of the goals of the Universidad Nacional de Colombia (UNC) is the formation and education of highly qualified researchers in the different branches of science, including those related to the knowledge and use of natural resources. Considering the infrastructure capacities offered by the Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -INVEMAR, the UNC develops in Santa Marta since 1979 a formation Graduate Program (M.Sc. and Ph.D.). Nowadays the Program is affiliated to the School of Biology and locally administrated by the Centro de Estudios en Ciencias del Mar-CECIMAR of the Caribbean Campus; however, the transference of the Program in its integrity to the Caribbean Campus is under approbation. The first cohort of the Program initiated in 1979 with German professors (residents and visitors) and professors of the UNC Bogotá Campus. So far, 16 M.Sc. cohorts have taken place with a total of 112 students. To July 2010, 76 of them (68%) have graduated, considering that 21 students of the last three cohorts (19%) are developing or finishing their thesis, the percentage of success rises to 83%. Divulgation of thesis has been an aim of the Program: 88 papers have been published in national or international journals (average of 1.2 per thesis). Two books including thesis results have also been published as well as several book chapters. Since 1986, when two professors were hired to fulfill the agreement in Santa Marta, more than 300 papers, books, and book chapters have been published.

## **INTRODUCCIÓN**

La construcción de una vocación marítima pasa por acercar la sociedad al mar y ello implica conocerlo, descubrirlo, develarlo, divulgarlo y utilizarlo. Esta lógica sencilla es la que ha impulsado la Universidad Nacional de Colombia al promover en su seno la conformación de grupos de trabajo, como un medio de fomentar la intercomunicación de profesores, estudiantes y público en general, sobre los asuntos del mar, y en especial, de su conocimiento y promoción como territorio efectivo del país (Montañés, 2003).

Ante la inmensidad del área marina en Colombia, la realidad es que el mar ha sido, si no completamente olvidado, sí relegado a un segundo nivel de importancia; sin embargo y frente al hecho de ser el 50 % del territorio nacional y la gran riqueza que posee, las instituciones de carácter nacional y varias privadas miran hacia él, como una fuente de recursos, como áreas de recreación por su paisajes y como laboratorios naturales para la docencia e investigación.

La Universidad Nacional no ha sido ajena a la realidad marina en Colombia. Los primeros antecedentes que muestran la importancia que para la Universidad ha representado la investigación marina se remontan a 1962, cuando son publicados los resultados de estudios realizados por profesores de Geociencias sobre geología en las islas del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

La Universidad Nacional de Colombia tiene como uno de sus objetivos el formar y preparar investigadores altamente calificados, en las diferentes ramas de las ciencias incluyendo aquellas que se relacionan con el conocimiento y el aprovechamiento de los recursos naturales.

Teniendo en cuenta las facilidades en infraestructura y demás, que brinda el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR, la Universidad Nacional, desarrolla en Santa Marta desde 1979 un programa de formación a nivel de Maestría y Doctorado en Biología Marina. Este programa está actualmente adscrito al Departamento de Biología, y ha sido administrado localmente por el Centro de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR, de la Sede Caribe. En el momento se tramita la apertura y su administración completa por parte de la Sede Caribe.

## CREACIÓN

La investigación marina de la Universidad empieza a consolidarse de una manera más organizada, con la creación del programa de Postgrado en Biología Marina en la Facultad de Ciencias, con la firma en 1977 del convenio entre COLCIENCIAS/INVEMAR y la Universidad, con el fin de fortalecer

la formación académica a nivel de maestría y la investigación en Ciencias del Mar. La primera promoción se inició en febrero de 1979, con ocho estudiantes.

Dentro del proceso de consolidación del programa, se debe destacar la activa participación y el apoyo Alemán a través de la DAAD, con la financiación de becas para estudiantes de las primeras promociones, la vinculación a través de esta, de docentes alemanes por la falta de profesionales capacitados a nivel de maestría en las diferentes ramas de las Ciencias del Mar (Física, química, geología y biología).

## **CONSIDERACIONES**

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para proponer la creación del posgrado en Biología Marina fueron:

1. Que no existía en el país un programa de estudios en Biología Marina a nivel de postgrado.
2. Que era importante conseguir la formación de personal ampliamente capacitado en esta área.
3. Que con este personal se podrían reforzar las actividades investigativas y docentes.

## **OBJETIVOS**

El programa se desarrolló con los siguientes objetivos:

1. Formar investigadores capaces de adelantar el estudio de la biología en áreas marinas y costeras colombianas y ampliar la base del conocimiento científico necesario para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales del país.
2. Consolidar los grupos de investigadores en Biología Marina, para que constituyan escuelas de formación y propagación del conocimiento.
3. Fomentar en el personal especializado la capacidad para integrar grupos inter-disciplinarios involucrados en el diagnóstico y solución de problemas biológicos marinos.

4. Promover y participar directamente en la investigación en Biología Marina como una forma de contribuir al desarrollo científico del país.

## DESARROLLO

En 1979 se inicia la primera promoción con profesores alemanes (residentes y visitantes) y profesores de la Universidad Nacional Sede Bogotá.

A partirde 1986 la Universidad vinculó dos profesores de tiempo completo con Sede en Santa Marta y los adscribió al Instituto de Ciencias Naturales, para que adelantaran las actividades académicas e investigativas en el programa.

En 1988 vinculó en Santa Marta a un tercer profesor y en 1998 el cuarto y los adscribió alDepartamento de Biología.

En septiembre de 1996 y a raíz de la vinculación del INVEMAR al Ministerio del Medio Ambiente se firmó un nuevo convenio marco, con el objetivo de *“Fortalecer la cooperación y contribuir al desarrollo científico y académico en el área de las Ciencias Marinas.”*

En 1999 la Universidad crea el plan de estudios de doctorado en Biología, incluyendo la Biología Marina como una de sus líneas. La primera promoción de doctorado se inicia en el segundo semestre de 2000, con dos estudiantes.

Tras la creación en 2001 de CECIMAR, y su posterior traslado en 2008 a la administración de la Sede Caribe, la Facultad de Ciencias decidió cerrar a partir de 2010 la línea de Biología Marina en su administración en Bogotá, para que el CECIMAR y la Sede Caribe la. En 2010 se tramita esta

apertura en la Sede Caribe ante las autoridades académicas de la Universidad. Los tres profesores que aún permanecen en Santa Marta, vinculados a CECIMAR, pasaron a formar parte de la nómina de la Sede Caribe entre 2009 y 2010.

## **PLANES DE ESTUDIO**

El plan de maestría tiene una duración de 4 semestres académicos y el de doctorado de 8. Las admisiones de la maestría se realizan cada dos años en promedio, habiéndose desarrollado 16 promociones desde su iniciación. Dos de estas promociones se desarrollaron en San Andrés, la décima, iniciada el segundo semestre de 1999, y la decimoquinta, iniciada el primer semestre de 2008. Las admisiones del doctorado son anuales, pero dependiendo de la disponibilidad de estudiantes y de profesores con capacidad de recibirlos. Por ello, se han desarrollado solamente 3 promociones. Tras varias modificaciones, el plan de estudios actual es el que se muestra en las Tabla 1 y 2.

Las asignaturas elegibles que se dictan en la línea se listan en la Tabla 3. Están disponibles tanto para maestría como para doctorado. Esporádicamente se dictan asignaturas de otras líneas del plan como Sistemática Filogenética, Biogeografía Histórica, etc. Los estudiantes pueden tomar cualquier asignatura elegible del programa, en la sede donde se ofrezca.

## **INFRAESTRUCTURA**

La línea se desarrolla en las instalaciones de INVEMAR en el Cerro Punta de Betín, en la ciudad de Santa Marta. El ala de la Universidad Nacional-CECIMAR cuenta allí con un salón-laboratorio y con tres oficinas para los profesores. La infraestructura especializada que le brinda el apoyo al desarrollo de la línea de Biología Marina es en un alto porcentaje del INVEMAR a través del Convenio. Se tiene entonces acceso a medios de transporte terrestre y acuático (lanchas, B/I Ancón), a equipos de buceo, a los laboratorios de química, contaminación, microbiología, y biológicos, al Museo de Historia

Natural Marina, y al Centro de Documentación. Los estudiantes tienen además acceso a bases de datos especializadas a través de la red de la Universidad Nacional. El CECIMAR cuenta con una infraestructura que complementa los requerimientos de la línea, como equipos de cómputo, de óptica, de muestreo biológico y otros equipos básicos de laboratorio. Para las promociones en San Andrés, y disponibles también para los estudiantes en sus investigaciones, la Sede Caribe cuenta con En San Andrés la Sede cuenta con cuenta con laboratorio húmedo, laboratorio de ciencias naturales, laboratorio de microscopía y laboratorio de botánica y herbario; además cuenta con equipos de campo, lancha inflable, kayak y equipos de buceo. También se cuenta con cuatro aulas y una sala magistral, todas dotas de equipos para tele-presencia, una biblioteca con registros en línea con más de 6000 referencia, y una sala de computadores en línea con 30 equipos.

## **RESULTADOS**

### **Maestría, ingresados y egresados**

En las 16 cohortes de maestría hasta ahora desarrolladas, iniciando en 1979, ingresaron 112 estudiantes. De estos se han graduado 76 a julio de 2010, que constituyen un 68 %. Si no se tiene cuenta que hay todavía 21 estudiantes de las últimas 3 promociones terminando o desarrollando sus tesis (19 %), el porcentaje de graduados sube al 83 % (Figura 1).

La mayoría de los estudiantes que ingresaron al programa de maestría provienen de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (46 %) y de la Universidad Nacional (19 %). La mayoría son biólogos de formación (87 %), pero recibiendo también de otras carreras como licenciados en química y biología e ingenieros pesqueros (Figura 2)

### **Maestría, tesis**

Se han culminado y aprobado 76 tesis a julio de 2010. Una de estas fue laureada y siete recibieron la mención meritoria. Se ha obtenido un primer (1989) y un segundo (1992) puesto en el premio

“Enrique Pérez Arbeláez” – FEN de Colombia. Un premio Internacional a la mejor tesis de postgrado en México (1991). De las 108 tesis de maestría iniciadas, el mayor número se realizó en los programas del INVEMAR, debido obviamente a su cercanía con el programa. A partir de la creación en el 2002 del CECIMAR, este ha venido financiando varias tesis por promoción (Figura 3).

## **Maestría, publicaciones**

Se ha hecho un gran énfasis en la publicación de la información obtenida a través de las tesis. Esto ha conducido a que a julio de 2010, se hayan publicado 88 artículos en revistas de carácter Nacional e Internacional (1,2 por tesis en promedio), todas con reconocimiento por parte de COLCIENCIAS. Además, se han publicado dos libros cubriendo los resultados de las tesis, y varios capítulos de libros. Desde la vinculación de profesores para cumplir con el convenio en Santa Marta (iniciando en 1986), se han publicado más de 300 artículos, libros y capítulos de libros.

En cuanto a la temática de las publicaciones emanadas de las tesis de maestría, en la figura 4 se discriminan las publicaciones por grupos taxonómicos o sistemas ecológicos. El mayor porcentaje de las publicaciones corresponde a los grupos taxonómicos en los cuales se centran los profesores e investigadores especialistas disponibles para dirigir las tesis. El mayor porcentaje corresponde a las publicaciones relacionadas con peces, seguidos por temas relacionados con cadenas tróficas; en este caso así como en el de invertebrados, zooplancton, etc, se refiere a que no hay especificidad de un grupo taxonómico, ya que todos los componentes de la misma, no discriminan por especies como en los otros casos. Les sigue en porcentaje, las esponjas, los moluscos y los crustáceos.

En la figura 5 se da la distribución de las publicaciones derivadas de las tesis realizadas por, por ramas de las ciencias. Con porcentajes de alrededor del 30 %, los estudios ecológicos priman sobre los restantes. Igualmente, las publicaciones taxonómicas superan aquellas en las que se publican aspectos de la biología de las especies. Se incluyó en la figura el ítem CGSM en relación a que varias de las tesis (4 %) se han desarrollado en este ecosistema.

## **SEGUIMIENTO A EGRESADOS**

A julio de 2010, del total de los egresados (76), 56 están laborando en actividades relacionadas con la profesión en instituciones públicas o privadas o ya se pensionaron (4), correspondiendo a un 73.7 %. De los egresados, 29 (38.2 %) continuaron con estudios de doctorado, de los cuales 8 (10.5 %) se encuentran desarrollándolo en la actualidad. Del total de egresados 10.5 % no tienen vínculos laborales, o no se tienen noticias confirmadas del estatus, 4 de estos no residen en Colombia

### **Doctorado**

Al nivel de doctorado solamente han ingresado 6 estudiantes, de los cuales 4 están activos y podrán graduarse. Los tres primeros tienen ya listas sus tesis y las sustentarán durante el semestre II-2010. El tercer estudiante ingresó apenas el semestre I-2010 y se encuentra en etapa de cursos. Este bajo número se debe por un lado a una baja oferta de cupos por parte de profesores (los proyectos se financian por períodos más cortos que los tiempos de duración del doctorado), y baja oferta de becas y fuentes de financiación para el sostenimiento de los estudiantes, que siempre lo requieren.

## BIBLIOGRAFÍA

Montañéz Gómez, G. 2003. Presentación: 11 – 12. En Montañéz – Gómez, G., N. H. Campos, F. Avello y J. Polanía. (E.). El mundo marino en Colombia: Investigación y desarrollo de territorios olvidados. Universidad Nacional de Colombia: Red de Estudios del Mundo Marino, REMAR. 372 p.

**Tabla 1.** Plan de estudios de Maestría, Línea Biología Marina.

Semestre	Asignaturas obligatorias	Créditos	Asignaturas elegibles	Créditos
1	Seminario I	3		
2	Seminario II	3	Elegible 1	4
	Proyecto de tesis	10	Elegible 2	4
3	Tesis	40	Elegible 3	4
4			Elegible 4	4
<b>TOTAL</b>		<b>56</b>		<b>16</b>

**Tabla 2.** Plan de estudios de Doctorado, Línea Biología Marina.

Semestre	Asignaturas obligatorias	Créditos	Asignaturas elegibles	Créditos
1	Seminario Investigación I	3		
2	Seminario Investigación II	3		
3	Seminario Investigación III Proyecto de tesis Examen de Calificación	3 10 15	Elegible 1 Elegible 2 Elegible 3 Elegible 4	4 4 4 4
4	Tesis			
5	Tesis			
6	Tesis			
7	Tesis			
8	Tesis	100		
<b>TOTAL</b>		<b>134</b>		<b>16</b>

**Tabla 3.** Asignaturas elegibles para la Línea de Biología Marina.

Código	Nombre
2018815	MÉTODOS ESTADÍSTICOS
2018788	ECOFISIOLOGIA DE ORGANISMOS MARINOS
2018780	BIOLOGÍA ORGANISMOS MARINOS-MODOS DE VIDA EN EL MAR
2018791	ECOLOGÍA DE POBLACIONES
2018790	ECOLOGÍA DE ECOSISTEMAS
2018783	CARCINOLOGÍA
2018806	ICTIOLOGIA MARINA NEOTROPICAL
2018799	ELEMENTOS DE OCEANOGRAFIA
2018782	BOTANICA Y ZOOLOGIA MARINAS
2018796	ECOLOGÍA MARINA
2018812	INVERTEBRADOS MARINOS: GRUPOS SELECTOS
2018787	CONTAMINACION MARINA
2018842	TEMAS ESPECIALES
2018846	TÓPICOS SELECTOS
2018820	PASANTIA DE INVESTIGACION I
2018821	PASANTIA DE INVESTIGACION II

## LEYENDA DE LAS FIGURAS

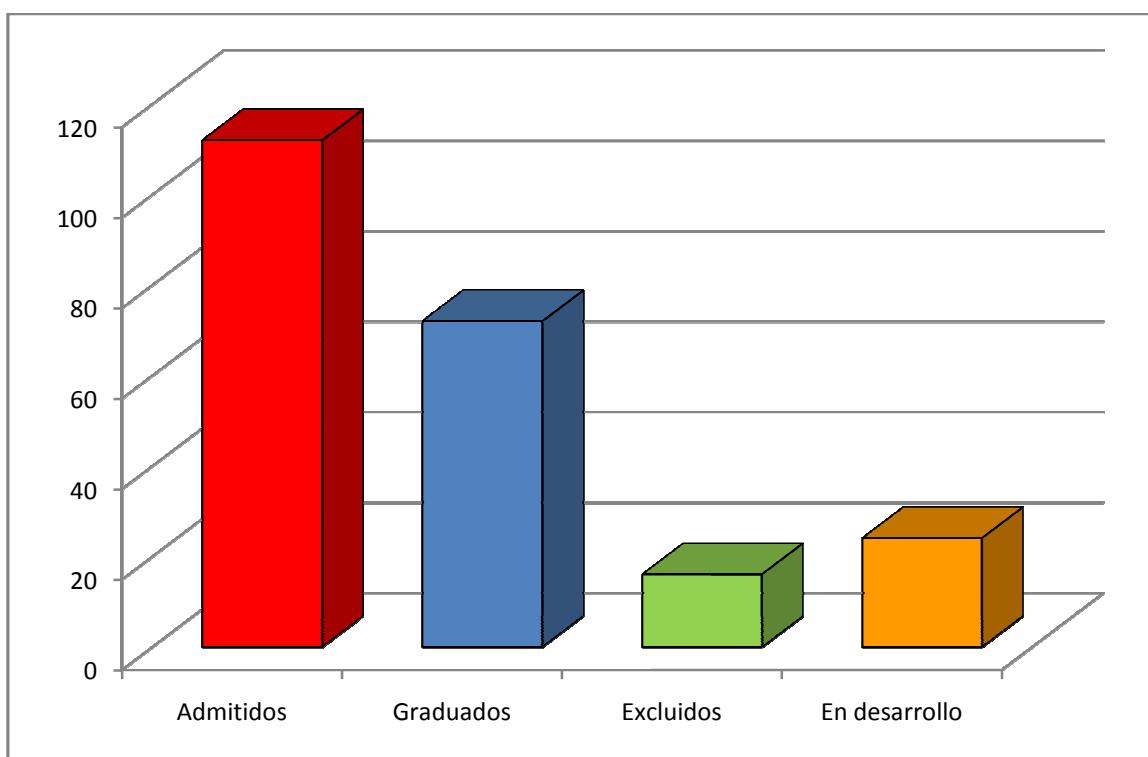
**Figura 1.** Resultados consolidados de la maestría a julio de 2010. Número estudiantes que ingresaron (112), graduados (76), que no se pueden graduar (15) y los que están actualmente desarrollando la tesis (21). Entre paréntesis se presenta el porcentaje del total que ingresaron.

**Figura 2.** Procedencia de los admitidos a la maestría por universidad y por carrera.

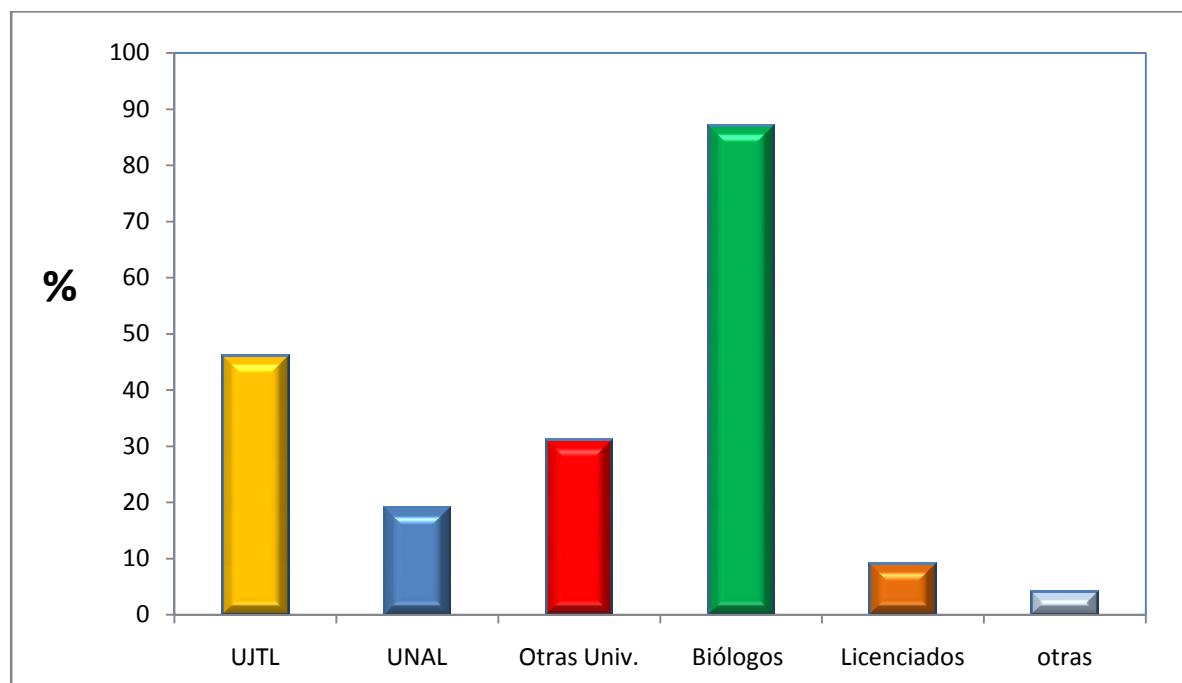
**Figura 3.** Número de tesis por programa o institución. INVEMAR: BEM: Biología de Ecosistemas Marinos, CAM: Calidad Ambiental Marina, VAR: Valoración y aprovechamiento de recursos, CSC: Coordinación de Servicios Científicos; CECIMAR: Centro de Estudios en Ciencias del Mar, Univ. Nal. Sede Caribe; San Andrés: Sede Caribe Univ, Nal.; Otros: INDERENA, Fundación Yubarta, Fundación Natura, Univ. Magdalena, Univ. Jorge Tadeo Lozano. Se dan los valores en porcentaje.

**Figura 4.** Publicaciones (porcentaje), derivadas de las tesis grupo taxonómico o sistemas ecológicos.

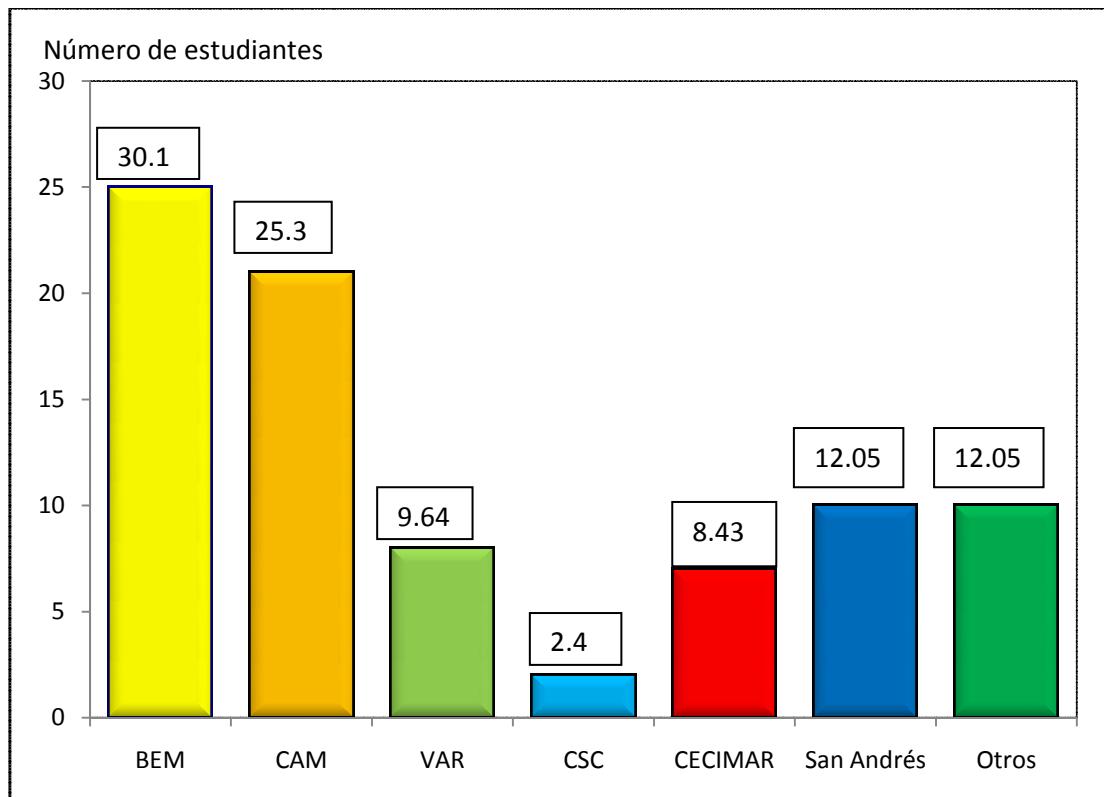
**Figura 5.** Publicaciones en porcentaje, derivadas de las tesis por áreas de las ciencias biológicas.



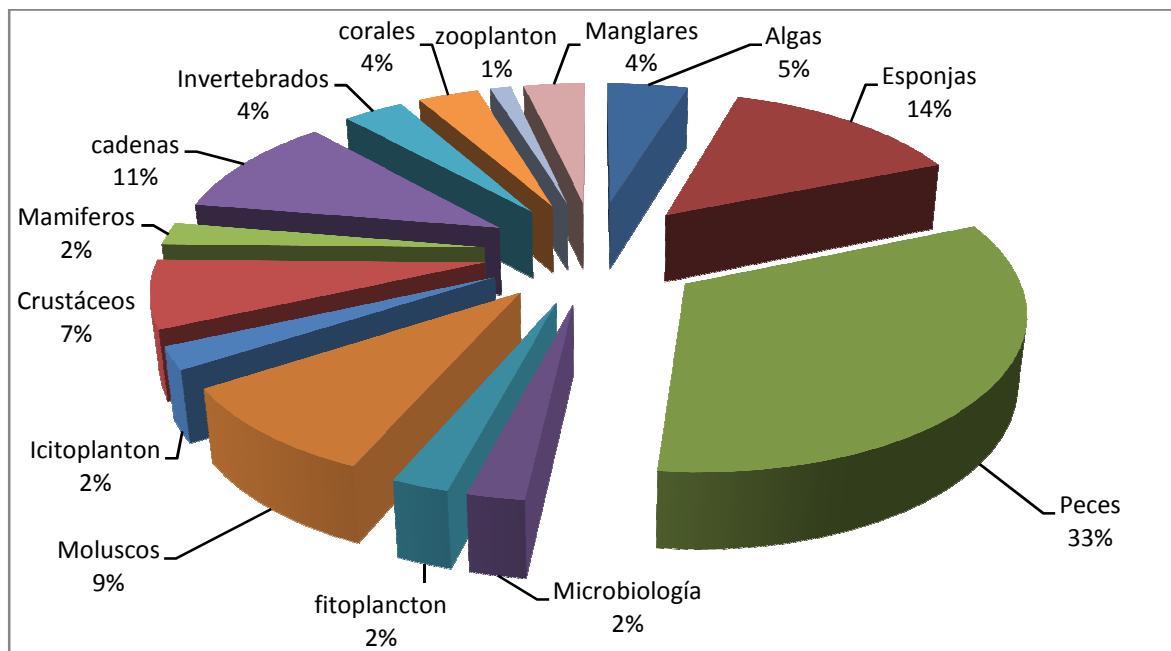
**Figura 1.**



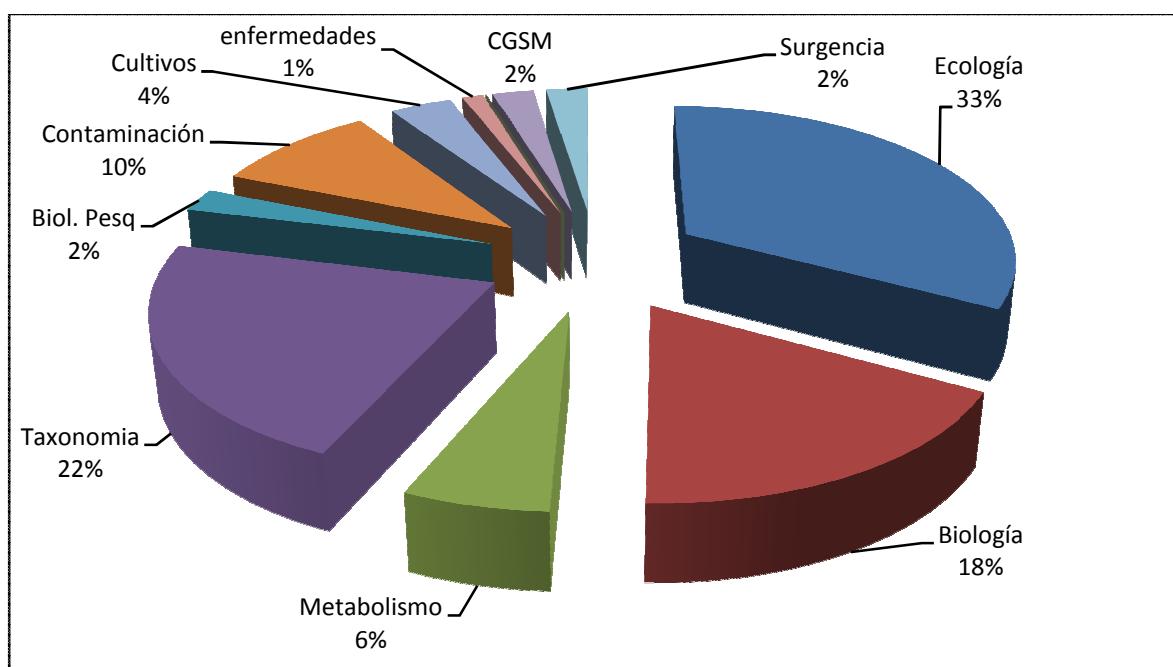
**Figura 2.**



**Figura 3.**



**Figura 4..**



**Figura 5.**