

CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA DE LA BAHÍA ANCÓN DE SARDINAS (RÍO MATAJE)

Jorge Omar Pierinia
jpierini@criba.edu.ar

Diego Fernando Salguero Londoño^b
pertater@hotmail.com

Alexandra Chadid Santamaría^c

alexandrachadid@hotmail.com

Fecha de recepción: agosto de 2013, Fecha de aceptación: septiembre de 2013

Resumen: Utilizando los datos obtenidos mediante dos campañas oceanográficas realizadas por el (Centro Control Contaminación del Pacífico) CCCP durante dos épocas climáticas se efectuó una caracterización oceanográfica de la Bahía Ancón de Sardinas sector Río Mataje localizada en el sur del Pacífico colombiano. Se utilizaron mediciones de corrientes y parámetros físico-químicos para determinar patrones de circulación predominantes; otros parámetros como los meteorológicos se relacionaron para determinar su influencia en los procesos encontrados. Los resultados revelaron que la circulación en el mismo se encuentra dominada por la marea, los canales de interacción con agua dulce provenientes de las vertientes del río y los efectos del viento. Los parámetros físico- químicos trazaron y validaron dichos esquemas de circulación.

Palabras clave: Estuario, circulación, corrientes residuales, gradientes temperatura y salinidad, forzantes.

Abstract: Using data collected by two oceanographic surveys carried out by the CCCP (Pacific Pollution Control Center) for two climatic seasons, was

aOceanógrafo Físico Universidad Nacional del Sur (UNS), Argentina. Doctor en Ciencias, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Investigador, Comisión de Investigaciones Científicas, Centro Científico y Tecnológico de Bahía Blanca, Argentina.
cOceanógrafo Físico, Escuela Naval de cadetes "Almirante Padilla".

conducted oceanographic a characterization of Ancon de Sardinas Bay (Mataje River) located in the south of the Colombian Pacific. Current measurements and physicochemical parameters were used for determining prevailing circulation patterns, other meteorological parameters were related to determine their influence on processes found. The results revealed that the circulation in it is dominated by the tidal interaction channels with fresh water from the river tributaries and wind effects. The physicochemical parameters traced and validated circulation schemes.

Keywords: Estuary, circulation, residual currents, temperature and salinity gradients, forcings.

1. INTRODUCCIÓN

Es importante para la Armada Nacional y para el país la investigación científica en las cuencas transfronterizas o cuencas compartidas. El estuario de la Bahía Ancón de Sardinas sector Río Mataje es una de estas cuencas que colinda con el vecino país de Ecuador en el Pacífico colombiano. En el año 2011, la Dirección General Marítima Colombiana (DIMAR) por medio del Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) efectuó compromisos con la República de Ecuador para el estudio del área (CCCP, 2011). El aprovechamiento de los datos obtenidos por medio de las campañas oceanográficas realizadas en el marco de dicho compromiso permitió ampliar un conocimiento, por cierto muy escaso de esta área neurálgica.

La Bahía Ancón de Sardinas y la desembocadura del Río Mataje, son una zona con fuerte influencia oceánica, en la cual parámetros oceanográficos permitirán conocer los comportamientos y la realización de estimaciones de patrones de circulación predominante, con base en la influencia de características meteorológicas como el viento y geomorfológicas como las de batimetría de la zona.

El propósito de esta investigación es la de realizar un análisis de las variables oceanográficas teniendo en cuenta la circulación en el Estuario de la Bahía Ancón de Sardinas (Río Mataje), correlacionando la variación espacio — temporal de los parámetros físico-químicos obtenidos, la influencia de fuentes forzantes como el viento y los cambios representativos que puedan generar las condiciones de fondo y batimetría de la zona.

1 METODOLOGÍA

Se utilizaron datos de 02 campañas oceanográficas realizadas por el CCCP(CCCP, 2012) en dos épocas climáticas (21 mayo a 02 junio/2012 y 27 a 131 de noviembre/2012) donde la Primera Campaña se realizó en una época considerablemente más húmeda Se efectuaron muestreos de parámetros

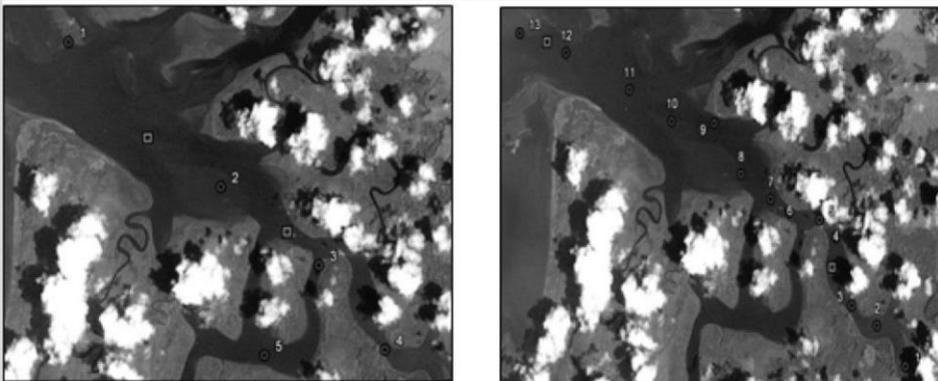


Figura 1. Posicionamiento de los equipos durante la Primera (imagen izquierda) y Segunda Campaña (imagen derecha) en el estuario del río Mataje realizado por el CCCP.

oceanográficos como corrientes, mareas y oleaje, y meteorológicos como dirección y velocidad del viento, durante las dos salidas de campo sobre la zona de estudio. Para lo anterior se utilizaron correntómetros AWAC, perfiladores CTD SBE-19plus y mareógrafos RBR TRG2050. En la figura 1 se observa la ubicación de las estaciones oceanográficas CTD y ADCP (cuadrados color azul).

Se llevó a cabo un procesamiento preliminar para los datos, donde se verificó la calidad de los mismos y se realizaron las correcciones pertinentes. Para los datos de corriente se efectuaron correcciones correspondientes a las limitaciones del equipo ADCP, en la frontera de blanqueo y la señal de lóbulo lateral. La dirección de la corriente arrojada por el ADCP se encontraba referida al norte magnético, por lo que se referenciaron nuevamente de acuerdo a un sistema cartesiano ortogonal plano donde el eje x se encuentra orientado a lo largo del eje longitudinal del estuario del Río Mataje. Esta corrección magnética correspondiente a su situación geográfica permitió resolver las componentes de la corriente en la dirección transversal y longitudinal del canal. Los datos de corrientes se procesaron en sus componentes U y V referidas al eje cartesiano ortogonal. Siendo U la componente longitudinal de la velocidad y V la componente Transversal de la velocidad.

Los datos de parámetros físico-químicos correspondientes a Salinidad y Temperatura se procesaron y filtraron para ser utilizados para generar gradientes horizontales.

Los datos arrojados del procesamiento preliminar fueron procesados mediante el empleo de herramientas informáticas de uso común para oceanógrafos. El tratamiento y visualización de los datos se realizó mediante el desarrollo de modelos matemáticos en MATLAB, también se generaron gráficos de los datos modelados con el software SURFER y ODV. Se utilizaron algunos procedimientos analíticos específicos como análisis armónico con T-Tide, cálculo de corriente residual de marea y clasificación estuarina con el método Hansen & Rattray.

3 RESULTADOS

3.1 Variables y forzamientos observados

3.1.1. Nivel del mar

El comportamiento de la marea en el área de estudio es de carácter semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares en el transcurso de un día. Para la Primera Campaña el rango mareal medio en la zona interior del estuario es de 2.6 metros y en la zona oceánica es de 2.5 metros. Para la Segunda Campaña el rango mareal medio en la zona interior del estuario es de 2.7 metros y en la zona oceánica es de 2.8 metros. La diferencia entre mareas mínimas y máximas (rango mareal) fue ligeramente mayor en la zona oceánica del estuario.

3.1.2. Variables meteorológicas

Se procesaron series de tiempo de humedad relativa, presión atmosférica, temperatura ambiente e intensidad del viento. Se efectuó énfasis en el viento como posible forzante, por lo que se graficaron todas las estaciones con mediciones de viento encontrando las mayores frecuencias en dirección NE-SW seguida por SWNE con valor promedio de 3.5 nudos y máximos de 11 nudos durante la Primera Campaña. Durante la Segunda Campaña la dirección predominante variaba entre el NE y el SW con magnitud promedio de 5.6 nudos y con valores máximos de 12 nudos.

3.1.3. Variables físico-químicas

El Interpolador Kriging Universal del programa Surfer Version 8.09.2391, es un método interpolador que estima los valores de cada nodo utilizando el total de puntos en una zona de muestreo. El método geoestadístico de interpolación kriging permite, a través de definiciones de variogramas analizar el comportamiento

Durante la Segunda Campaña el gradiente de temperatura muestra una variación en promedio de 2°C con temperaturas elevadas al interior del estuario y que se van enfriando conforme se acerca a la boca. El gradiente de salinidad muestra un aumento desde el interior hasta el exterior del estuario a través de las estaciones de muestreo, en sentido longitudinal y vertical, relaciona los valores de salinidad más elevados en la boca del estuario y como el intercambio de agua salada influye hasta las estaciones que se encuentran en la cabeza del mismo. Este tipo de intercambio eficiente, para esta época del año particularmente, muestra una estructura de salinidad posiblemente diferente a la observada en la época húmeda, mostrando características diferentes a las de cuña salina que fueron posibles en la primera salida de campo.

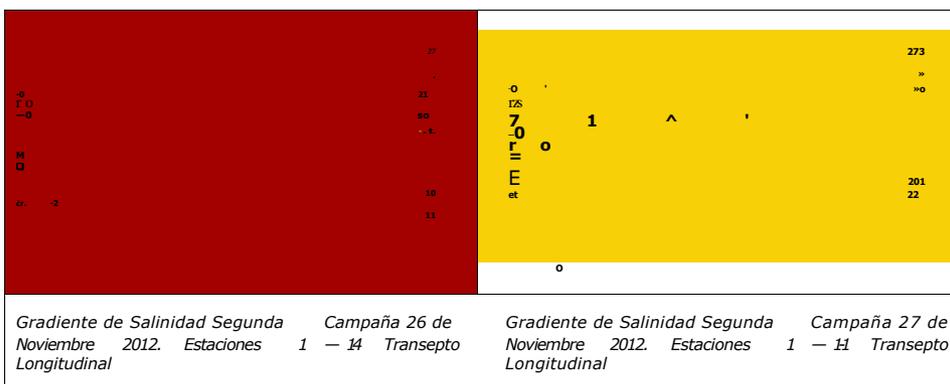
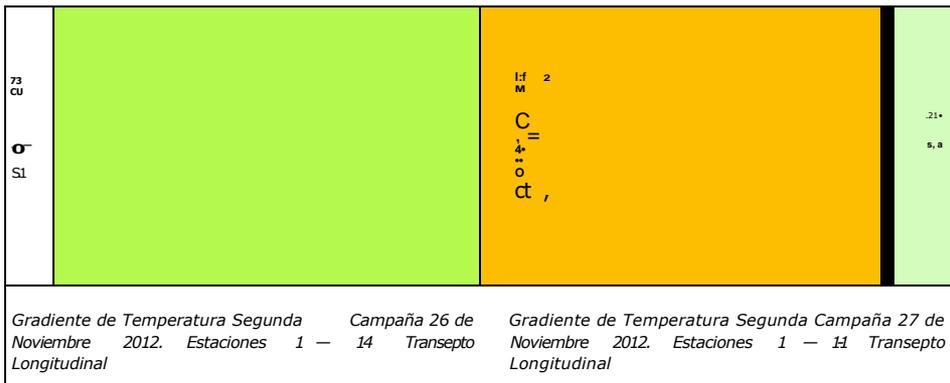


Figura 3. Gradientes de temperatura y salinidad durante la Segunda Campaña.

espacial de las propiedades salinas y de temperatura con su variabilidad. Se evaluaron temporalmente las temperaturas y salinidades en cada una de las estaciones y estableciendo un nivel de control para los parámetros físicos medidos en las estaciones teniendo como función la profundidad y agrupando la información se observó el comportamiento de la estructura vertical de los datos.

La visualización de los gradientes verticales y horizontales de salinidad muestra como la mezcla de agua salada, hacia el exterior del estuario y agua dulce hacia el interior, son producto de compensaciones de flujos en un sistema de dos capas distintas que se desarrollan durante variaciones promedios en sus intensidades . Las estructuras de parámetros físicos-químicos durante la Primera Campaña infieren una relación de los períodos de mareas vivas, observándose que la mayor variabilidad de la temperatura y la salinidad se presenta en las dos estaciones ubicadas en la boca de bahía debido a los posibles intercambios de agua ocasionados por el periodo final del flujo en la mañana y el reflujos, relacionado para estos parámetros.

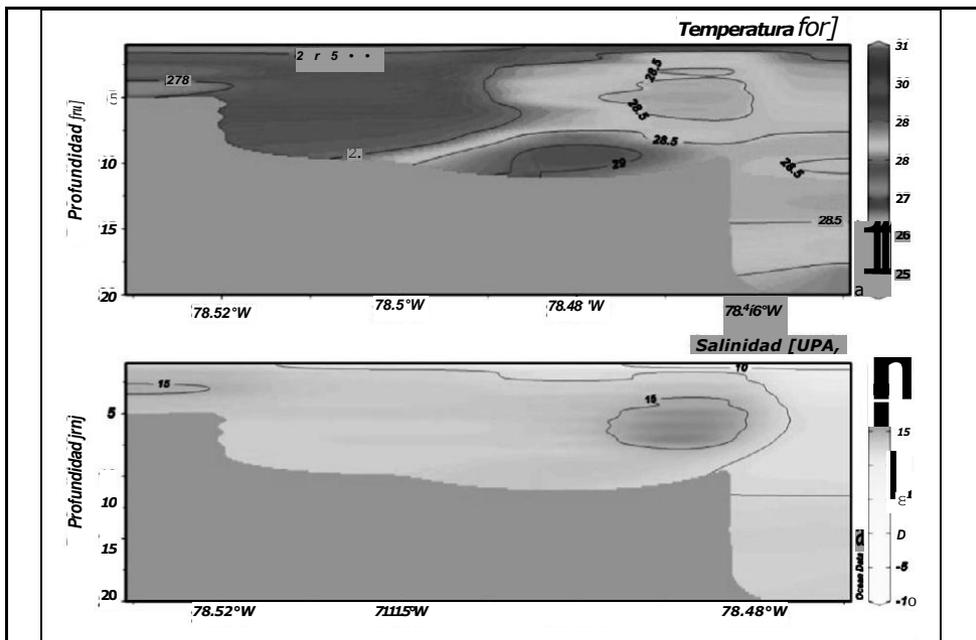


Figura 2. Gradientes de temperatura y salinidad durante la Primera Campaña

32 Corrientes

3.2.1 Corrientes totales

La componente transversal (y) fue más energética, homogénea y armónica que la componente longitudinal (u) durante ambas campañas y sectores oceánicos e interior del estuario. Las mayores variaciones de velocidad se presentaron en la superficie. Se observó la asociación de la marea con el estuario, debido a que las corrientes fluyen en una dirección y en sentido opuesto dependiendo del comportamiento del ciclo de la marea presente. El análisis armónico a la serie de tiempo de corriente permitió establecer el dominio de los constituyentes semidiurnos (M2) y diurnos (K1) sobre los demás constituyentes, en la tabla 1, se observan los valores de las componentes u y v. Se puede observar también el efecto de fricción en esta área del estuario al generarse constituyentes significativos de aguas someras como el M4, M6 y M8 a partir de las frecuencias fundamentales.

3.2.2. Corrientes residuales

En el sector interior del estuario durante la Primera Campaña los valores de las corrientes residuales calculadas oscilan en un rango de 0.16 cm³/s hasta 3.7 cm³/s; se encontró una particularidad con la dirección de la corriente contraria a lo esperado ya que se dirige hacia el interior del estuario, lo que se relacionó con la escasa profundidad a la cual se ubicó el equipo y el posible aporte de una vertiente cercana. Durante la Segunda Campaña los valores de las corrientes residuales calculadas oscilan en un rango de 0.03 cm³/s hasta 1.2 cm³/s y se direccionaron de acuerdo a lo esperado hacia la boca del estuario. Las corrientes residuales mostraron estructuras en su superficie que parecen relacionadas con la magnitud y dirección del viento.

En el sector oceánico del estuario durante la Primera Campaña los valores de las corrientes residuales calculadas oscilan en un rango de 0.1 cm³/s hasta 5.6

cm³/s. De igual forma a los hallazgos en el interior del estuario la ubicación del equipo pareció afectar las mediciones al encontrarse cerca de una vertiente bastante amplia, en la capa superficial se observó una dirección que confirma este hecho; mientras que en capas medias y fondo se direcciona hacia el interior del estuario. Durante la Segunda Campaña los valores de las corrientes residuales calculadas oscilan en un rango de 0.01 cm³/s hasta 4.4 cm³/s y se encuentra bastante direccionado saliendo del estuario. En la superficie la corriente residual es considerablemente mayor y con un ángulo de rotación que indica la afectación por efecto del viento. La figura 4 muestra esquemáticamente las corrientes residuales resultantes en las posiciones de los equipos ADCP durante las dos campañas realizadas.

Tabla 1. Intensidad componentes U y V de cada campaña

Campaña	1 componente	ADCP	mit,	max	media
1	u	oceánico	-0.6105	0.5105	0.1776
	y	oceánico	-0.8048	1.091	0.4304
	u	interior	-0.7308	0.39	0.1552
	y	interior	-0.6821	0.9402	0.3487
2	u	oceánico	-0.6616	0.6835	0.1636
	y	oceánico	-0.8688	0.7676	0.4257
	u	interior	-0.5257	0.1891	0.1007
	y	interior	-0.5893	0.7245	0.2928

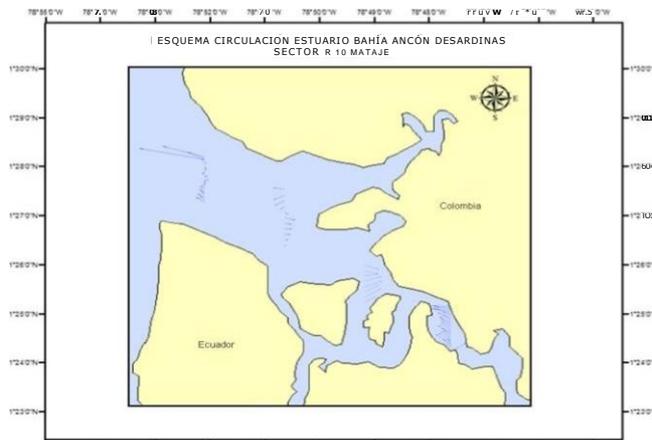


Figura 4. Esquema de circulación residual

3.1. Clasificación del estuario usando parámetros de circulación y estratificación

Con la finalidad de enmarcar el estuario en una clasificación cuantitativa por medio de parámetros adimensionales, se utilizaron los métodos de (Hansen & Rattray, 1966) y el número de Richardson estuarino (Ri) (Fischer H. , 1972). Ambos métodos de clasificación parten de una misma base, que corresponde a la distribución de salinidad en las dimensiones longitudinal y vertical. De acuerdo a Hansen & Rattray durante la Primera Campaña el comportamiento del estuario en el área interior tiene una tendencia 2b (débilmente estratificada) y en el área oceánica se clasificó variando entre como 2b (débilmente estratificada) y 2a (bien mezclado). Para la Segunda Campaña el comportamiento del estuario en el área interior y oceánica se clasificó como la (verticalmente mezclada).

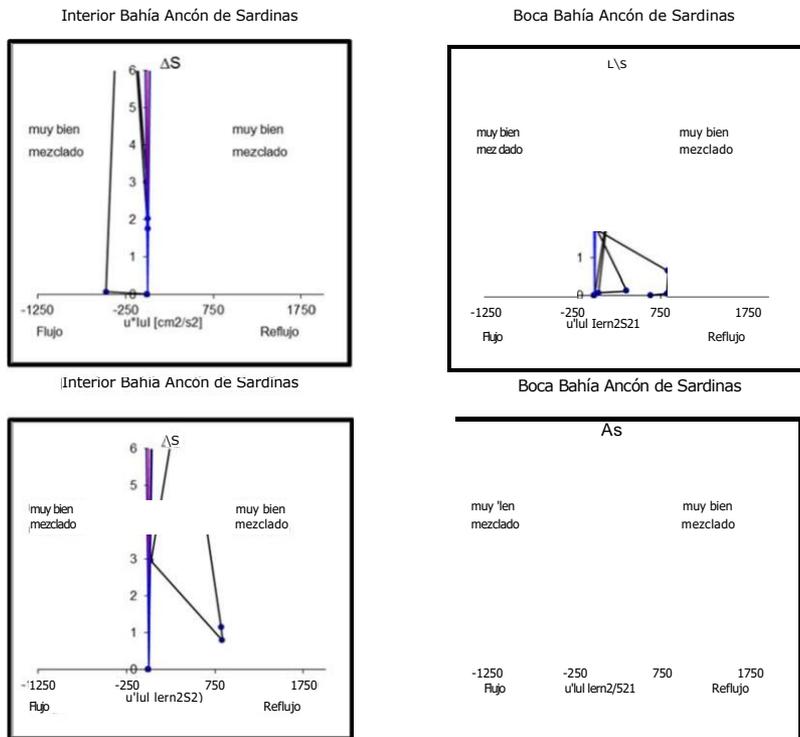


Figura 5. Diagrama Hansen & Rattray para la primera y segunda campaña

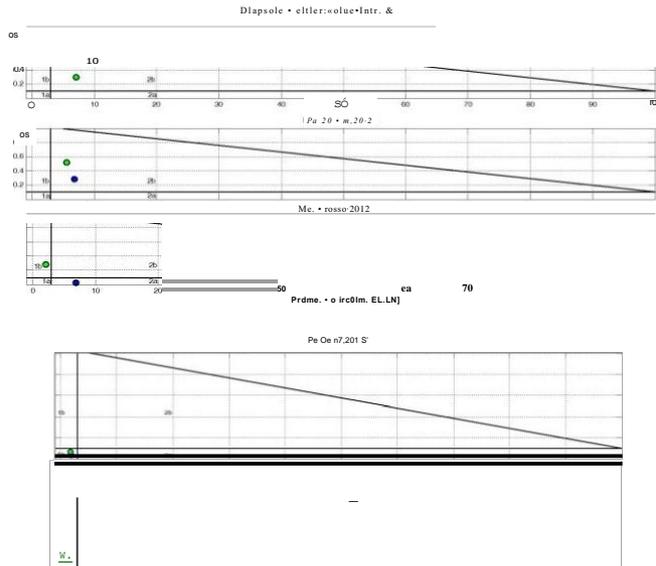


Figura 6. Diagrama Número de Richardson estuarino para los sectores interior y oceánico del estuario. Primera Campaña (arriba), Segunda Campaña (abajo).

Por medio del Número de Richardson estuarino (R_{E}) se representa la relación de ganancia de energía potencial debido a la descarga de un río y la capacidad de mezcla de las corrientes de marea (Fischer, 1972). Este parámetro para estuarios se basa en las estructuras de los perfiles salinos. R_{E} define con claridad la separación dentro del diagrama de Hansen & Rattray, de las sub — regiones a y b, es decir, aclara el grado de formación o destrucción de la estratificación de 2 capas definidas.

Para la Primera Campaña en el interior del estuario se observan valores de $R_{E}=0.148$ que corresponden a los de una zona parcialmente mezclada ($0.8 > R_{E} > 0.08$), en el área oceánica del estuario se obtuvieron valores de $R_{E}=0.039$ ($R_{E} < 0.08$), que corresponden a los de una región no estratificada y mezclada. Para la Segunda Campaña, en el interior del estuario, se observaron valores de $R_{E}=0.0164$ que corresponden a los de una región no estratificada y mezclada, en el área oceánica del estuario se obtuvieron valores de $R_{E}=0.27$ que corresponden a los de una zona parcialmente mezclada.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la variación espacial en periodos de tiempo de los parámetros de salinidad y temperatura, han logrado mostrar la distribución eficiente de las propiedades de la masa de agua oceánica y su interacción con el aporte del eje principal del Río Mataje y sus afluentes a lo largo del estuario.

Las mayores velocidades de la corriente observadas en la boca del estuario, y la relación de la amplitud de los rangos mareales con la distribución de los gradientes de salinidad y temperatura permiten identificar la disminución de estos rangos a medida que se desplazan al interior de la bahía; los gradientes de salinidad disminuyeron hacia el interior de la bahía, y los de temperatura aumentaron en ese mismo sentido, reflejando que las propiedades características que son importadas por el agua salada al estuario se comportan de acuerdo a los efectos de convergencia menores que los de fricción, destacándola como una zona hiposincrónica.

En el intento de clasificar un sistema como la *Bahía Ancón de Sardinias* — *Río Mataje*, se nota que las variaciones estacionales son importantes, mostrando que pueden ser de un **tipo 2-a** en época de máxima humedad hasta de un **tipo 1-b** en época húmeda de menores precipitaciones.

La circulación del Estuario Bahía Ancón de Sardinias se caracteriza por la distorsión de la onda de marea, el estuario tiene un canal mareal delimitado por un sentido longitudinal en la cual convergen canales que aportan agua dulce y agua salada. El movimiento predominante de las direcciones del flujo (NNW) y el reflujos (SSE) son evidentes en las estaciones de los AWAC y están modulados por los periodos de mareas vivas y mareas muertas a lo largo del estuario.

Las corrientes residuales observadas infieren una interacción con la batimetría característica de la zona; los flujos demuestran que las corrientes

residuales generan movimientos hacia el área limítrofe ecuatoriana, evidenciándose en zonas de sedimentación ubicadas a lo largo del estuario en dirección NE.

5 CONCLUSIONES

El Estuario de la Bahía Ancón de Sardinas — Río Mataje es un estuario parcialmente mezclado que presenta características de uno bien mezclado de acuerdo a la influencia climática sobre el caudal del río, donde la época húmeda, y el aumento de descarga de agua dulce, pueden llevar al estuario a tener zonas con mínimas influencias de estratificación.

Los resultados revelan que la circulación del Estuario de la Bahía Ancón de Sardinas — Río Mataje, está dominada por la interacción de la marea, los canales de interacción con agua dulce provenientes de vertientes del río, y los efectos del viento.

Las velocidades de las corrientes varían de acuerdo al aporte del Río Mataje dependiendo la época climática que modula el caudal de río y su influencia en la zona interior del estuario. Se observan procesos de rectificación por generación de sub-armónicos como M4 y M6, los mismos que adquieren mayores valores energéticos a medida que se ingresa desde la boca de la bahía hasta la cabeza del estuario.

Los parámetros fisicoquímicos recolectados durante las dos permitieron trazar y validar los esquemas de circulación, de corrientes residuales y de clasificación. La influencia continental proveniente del Río Mataje fue marcada a través de los gradientes de salinidad y temperatura que relacionaron la dirección y el flujo residual predominante.

El gradiente de salinidad refleja posible procesos de mezcla que

incrementan los procesos de salinidad hacia el fondo y generan capas a mayores profundidades de características no homogéneas, creando cambios continuos en la estratificación producto de las variaciones de los flujos residuales. En contraste con el periodo lluvioso para la zona, el aumento del caudal del río conlleva a una débil estratificación disminuyendo la intensidad de la circulación gravitacional y permitiendo el transporte de sal hasta zonas interiores del estuario. De esta forma en el estuario el transporte de sales puede estar dominado en la boca por la advección y difusión mareal, mientras que en la cabeza las sales son influidas por la advección y la difusión turbulenta fluvial y la existencia de un gradiente de salinidad en sentido longitudinal del estuario. En el tramo intermedio la circulación gravitacional asociada al gradiente de salinidad y las corrientes residuales pueden llegar a dominar la distribución salina y poner límite a la advección mareal e intrusión salina.

El gradiente de temperatura es un indicador del intercambio periódico de agua ocasionada por la marea predomina durante el flujo y el reflujó; durante el reflujó, se hace evidente el desplazamiento desde el interior del estuario hasta la boca de las temperaturas más elevadas provenientes del río y su aporte continental.

REFERENCIAS

CCCP. (2011). *Ficha técnica del proyecto; Estudio y caracterización oceanográfica y morfodinámica litoral de la bahía ancón de sardinas (sector río Mataje): base para la definición del límite fronterizo entre los países de Colombia y Ecuador. San Andrés de Tumaco.*

CCCP. (2012). *Informe Mataje Arope. Tumaco.*

Dye, H. R. (1973). *stuaries: A physical introduction.* New York and London: Wiley- Interscience.

Fischer, H. (1972). Mass transport mechanisms in partially stratified estuaries. *J. Fluid Mech*, 672-687.

Golden Software. (2002). Surfer Version 8.09.2391.

Hansen, D., & Rattray, M. j. (1996). New dimensions in estuary classification. *Limnol Oceanog* 11, 319-326.

NortekAS. (2005). *AWAC Acousticwave ad current meter User Guide*. Noruega.

Pawlowitz, R., Bearsley, B., & Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB. *Computers & Geosciences* 28, 929937 (P. Elsevier, Ed). Obtenid de http://champs.ces.ucf.edu/library/Journal_Articles/pdfs/matlab_t_tide.pdf.