



NOTA / NOTE

Dinámicas estacionales en el estuario interior del Guayas, Ecuador

Seasonal dynamics in the inner Guayas Estuary, Ecuador

María José Marín Jarrín^{1*}, José R. Marín Jarrín², Mercy J. Borbor-Córdova³,

0000-0002-9403-8397

0000-0002-4474-8323

0000-0002-7418-141X

Maria Esther Espinoza Celi³ y Luis Domínguez-Granda³

0000-0002-2734-9443

0000-0001-6527-4828

1. Earth Sciences Department, University of Oregon, Eugene, OR, USA. mmarinja@uoregon.edu*

2. Department of Fisheries Biology, California Polytechnic University, Humboldt, Arcata, CA, USA. jose.marinjarrin@humboldt.edu

3. Escuela Superior Politécnica del Litoral (Espol), Guayaquil, Ecuador. meborbor@espol.edu.ec, mareespi@espol.edu.ec, ldomingu@espol.edu.ec

* Autor de correspondencia / Corresponding author.

RESUMEN

El estuario del Guayas en Ecuador es el ecosistema estuarino más grande en América del Sur occidental. Su valor ecológico recae en la provisión de hábitats de refugio y pesquería, así como servicios de filtrado y desintoxicación proveído por organismos filtradores, vegetación y humedales. Para este análisis se usaron observaciones oceanográficas y meteorológicas para entender la variabilidad hidrodinámica de dos áreas de estudio en la parte interna del estuario, Manglares de Churute y Estero Salado, desde febrero de 2016 hasta febrero de 2017. Churute presentó menos impactos antropogénicos que Estero Salado, el cual actualmente no está acoplado al flujo del río y es altamente influenciado por Guayaquil, la segunda ciudad más grande del Ecuador, y efluentes de piscinas camaroneras adyacentes. La influencia del océano y río en Manglares de Churute se observa en los valores superiores de oxígeno disuelto (OD), y menores de salinidad, temperatura y fosfatos que en el Estero Salado, particularmente durante la temporada húmeda, cuando el río es el modo dominante del forzamiento en esos primeros meses calientes y lluviosos del año. Se encontraron niveles hipóxicos (OD debajo de 2 mg L⁻¹) en Estero Salado en varias estaciones durante la caliente temporada lluviosa. Esta información sugiere que la variabilidad estacional (temporada seca/lluviosa) es la mayor influencia de las condiciones hidrográficas del estuario interior del Guayas, agregando variabilidad a la salinidad, turbidez, nutrientes y OD en toda la columna de agua.

PALABRAS CLAVES: hidrodinámica, manglar, estuario, Guayas, estacionalidad.

ABSTRACT

The Guayas estuary in Ecuador is the largest estuarine ecosystem on the Pacific coast of South America. This estuary provides nursery and fisheries habitats, as well as filtering and detoxification services provided by suspension feeders, vegetation, and wetlands. We used oceanographic and meteorological observations to understand the hydrodynamic variability of two areas in the inner part of the estuary, Manglares de Churute and Estero Salado, from February 2016 to February 2017. Churute has less anthropogenic impacts than Estero Salado, which is currently uncoupled from river flow and highly influenced by Guayaquil, the second largest city in Ecuador, and adjacent shrimp pond effluents. The influences from the ocean and river on Churute include higher dissolved oxygen (DO) and lower salinity, temperature and phosphates than in Estero Salado, particularly during the wet season when the river is the dominant mode of forcing in those warm and rainy first months of the year. Hypoxic levels (DO below 2 mg L⁻¹) were found in Estero Salado in several stations during the hot, rainy season. These data suggest seasonal variability (dry/rainy season) influences the hydrographic conditions in the inner Guayas estuary mostly, adding variability to salinity, turbidity, nutrients and DO of the whole water column.

KEYWORDS: hydrodynamics, mangroves, estuary, Guayas, seasonality.

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2022.51.2.1125>

Publicado por Invemar

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by Invemar
This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

Los estuarios son uno de los ecosistemas más productivos, junto con los corales (Sharples *et al.*, 2017). Esta productividad se ve afectada por fluctuaciones en el forzamiento físico, incluidas las mareas, la descarga de los ríos, la influencia antropogénica y la geomorfología local. El estuario del Guayas es el ecosistema estuarino más grande de la costa del Pacífico de América del Sur y tiene un estuario interior y exterior (Stevenson, 1981; Cucalón, 1983; Twilley *et al.*, 2001; Figura 1a). El estuario exterior es el golfo de Guayaquil, mientras que el estuario interior incluye: 1) el estuario del río Guayas; 2) la Reserva Ecológica del Estero Manglares de Churute, influenciada por los ríos Guayas, Taura y Churute, y 3) la Reserva Faunística de Producción Estero Salado, actualmente desacoplada del caudal fluvial y altamente influenciada por la ciudad de Guayaquil y los efluentes de los estanques camaroneros. La entrada de agua dulce se ve afectada por proyectos hidrológicos, incluida la presa Daule-Peripa y el desvío Bulu Bulu-Cañar.

Se utilizaron observaciones oceanográficas y meteorológicas para describir la variabilidad hidrográfica de dos áreas de estudio en el estuario interior: Manglares de Churute y Estero Salado (en adelante, MC y ES). Estos sitios fueron elegidos por sus diferencias físicas y su importancia para varias especies pesqueras de importancia económica (Solórzano y Viteri, 1993; Naranjo, 2002; Zambrano y Meiners, 2018) y la gran ciudad de Guayaquil.

Se tomaron datos de seis estaciones en MC y siete en ES, desde la desembocadura hasta la cabecera de cada estero a lo largo del canal. Las estaciones se evaluaron mensualmente desde febrero/2016 hasta febrero/2017, durante diferentes etapas de marea, utilizando un perfilador de temperatura de conductividad y profundidad (CTD) (Sontek CastAway) para obtener la salinidad, temperatura y profundidad. La turbidez y el oxígeno disuelto (OD—contenido y porcentaje) se midieron en superficie utilizando un Turbidímetro 2100Q-Hach (calibrado antes de cada campaña) y un dispositivo multiparamétrico Hach-HQ40D, con una Sonda LDO10101-Campo. Los nutrientes (nitritos y fosfatos) se determinaron a partir de muestras de agua superficial tomadas en botellas Nalgene, siempre que estuvieran disponibles. Previo a la toma de muestras, las botellas fueron lavadas con agua Milli-Q y secadas en una campana, y enjuagadas con agua *in-situ*. La precipitación y temperatura del aire se obtuvieron de las estaciones más cercanas a los sitios de estudio: Aeropuerto de Guayaquil y Payo-Bulu Bulu (Figura 1). Se usó un Análisis de Varianza de dos vías (Anova) con el sitio, temporada y su interacción como factores fijos, y valores medios diarios

Estuaries are one of the most productive ecosystems, next to corals (Sharples *et al.*, 2017). This productivity is affected by fluctuations in the physical forcing including tides, river discharge, anthropogenic influence and local geomorphology. The Guayas estuary is the largest estuarine ecosystem on the Pacific coast of South America, and has an inner and outer estuary (Cucalón, 1983; Stevenson, 1981; Twilley *et al.*, 2001; Figure 1A). The outer estuary is the Gulf of Guayaquil, while the inner estuary includes: 1) the Guayas River estuary; 2) the Ecological Reserve of Manglares de Churute estuary, influenced by the Guayas, Taura and Churute rivers, and 3) the Faunistic Production Reserve of Estero Salado, currently uncoupled from river flow and highly influenced by the city of Guayaquil and shrimp pond effluents. Freshwater input is heavily affected by hydrologic projects, including the Daule-Peripa dam and the Bulubulu-Cañar diversion.

We used oceanographic and meteorological observations to describe the hydrographic variability of two study areas in the inner-estuary: Manglares de Churute and Estero Salado (here on referred to as MC and ES). These sites were chosen due to their physical differences, importance for several economically-important fishery species (Solórzano and Viteri, 1993; Naranjo, 2002; Zambrano and Meiners, 2018) and the large city of Guayaquil.

Data were taken from six stations in MC and seven in ES, from the mouth to the head of each estuary along the channel. Stations were evaluated monthly from February/2016 to February/2017, during different tidal stages, using a Conductivity Temperature Depth (CTD) profiler (Sontek CastAway) to obtain salinity, temperature and depth. Turbidity and dissolved oxygen (DO- content and percentage) were measured at the surface using a Turbidimeter 2100Q-Hach (calibrated before each campaign), and a multiparametric device Hach-HQ40D, with an LDO10101-Campo Sonde. Nutrients (nitrites and phosphates) were determined from surface water samples taken in Nalgene bottles, whenever available. These bottles were washed with Milli-Q water and dried in a hood in the lab, and then rinsed with *in-situ* water before sample collection. Precipitation and air temperature were obtained from stations nearest to the study sites: Guayaquil Airport and Payo-Bulu Bulu (Figure 1). We used a two-way Analysis of Variance (Anova) with site, season, and their interaction as fixed factors, and daily mean values as the sampling unit, to determine if the environmental properties varied significantly. The type III sum of squares was computed

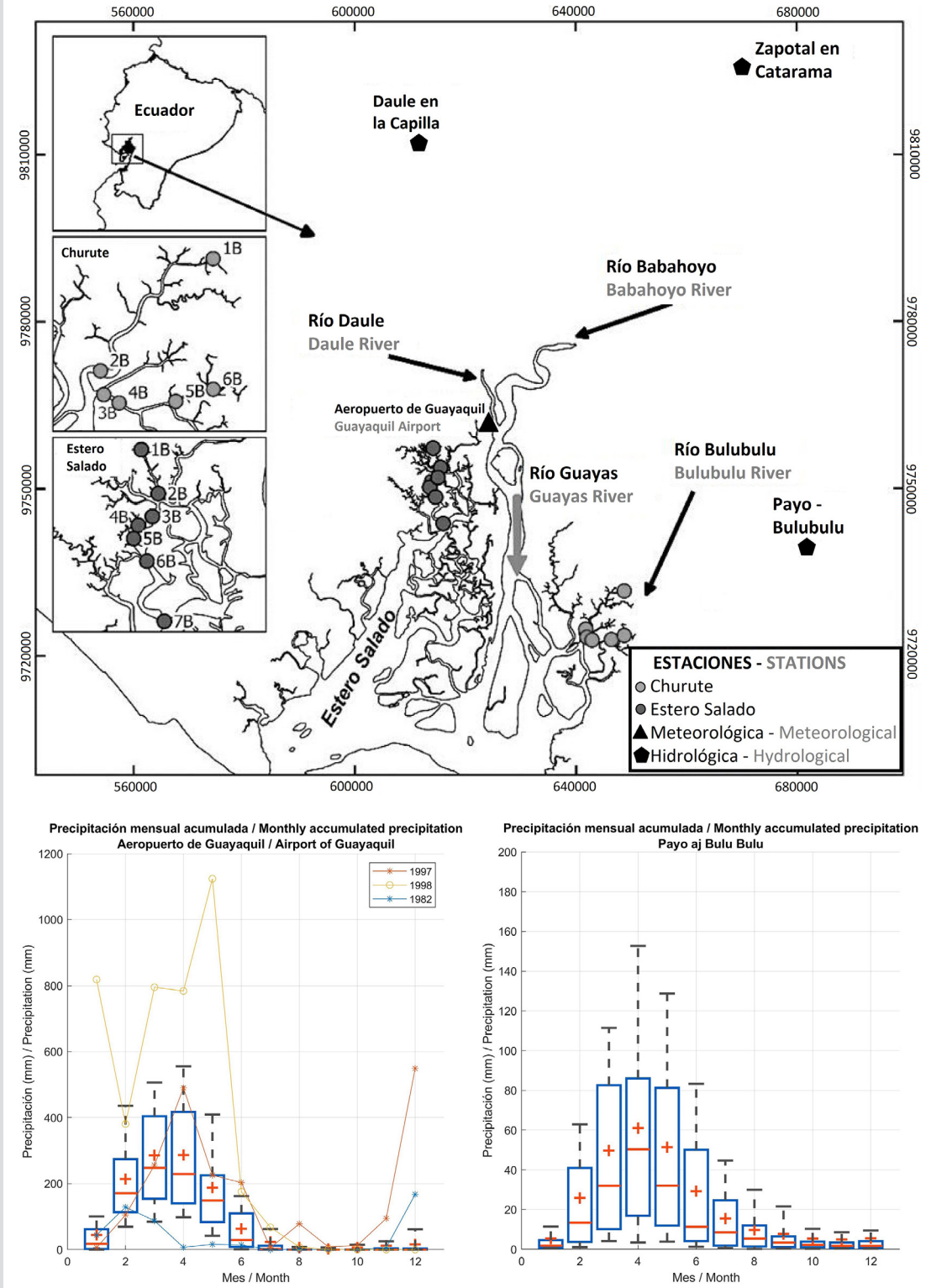


Figura 1. Estuario interior del golfo de Guayaquil: estaciones de Manglares Churute en círculos gris claro; estaciones de Estero Salado en círculos de color gris oscuro; estaciones meteorológicas/hidrológicas en triángulos y pentágonos. Diagrama de caja de precipitación promedio mensual de 1964-2015 para a) Guayaquil y b) Payo-Bulu Bulu. Las líneas negras y grises indican El Niño 1997-1998 (datos no disponibles en la estación Payo). Precipitación del Anuario Meteorológico 1998 del Instituto Nacional de Meteorología del Ecuador N°38.

Figure 1. Gulf of Guayaquil inner estuary: Manglares Churute stations in light grey circles; Estero Salado stations in dark grey circles; meteorological/hydrological stations in triangles and pentagons. Boxplot of monthly-averaged precipitation for 1964-2015 for a) Guayaquil and b) Payo-Bulu Bulu. Black and grey lines show 1997-1998 El Niño (data not available at Payo station). Precipitation from the 1998 Meteorological yearbook of INAMHI (Ecuadorian National Institute of Meteorology) N°38.

como unidad de muestreo, para determinar si las propiedades físicas variaban significativamente. Se calculó la suma de cuadrados de tipo III para determinar significancia porque el diseño de muestreo estuvo desbalanceado (Underwood, 1981). Los datos se transformaron en $\log_{10}(x + 1)$ para cumplir con las suposiciones paramétricas. Las suposiciones se probaron utilizando gráficas de probabilidad normal (cuantiles-cuantiles) y gráficas de caja de residuos versus valores ajustados (Sokal y Rohlf, 1995). Las comparaciones por pares se realizaron utilizando la prueba de Diferencia Honestamente Significativa de Tukey.

La circulación y distribución de la salinidad en el estuario se ven afectadas por dos estaciones: seca (junio a noviembre) y húmeda (diciembre a mayo). La salinidad en el estuario interior (8 a 20 PSU) refleja la estacionalidad de la descarga y la precipitación, junto con el flujo de intercambio (Murray *et al.*, 1975; Cifuentes *et al.*, 1996; Barrera Crespo, 2016). En escalas de tiempo más largas los eventos interanuales como El Niño Oscilación Sur (ENOS) tienen una fuerte influencia en la precipitación y temperatura. Las anomalías positivas de temperatura superficial del mar (SST) en el Pacífico aumentan la convección, lo que genera grandes eventos de precipitación en la costa de Ecuador. Este muestreo comenzó al final de un fuerte ENOS del Pacífico Central (finales de 2014, Tollefson, 2014). Estas anomalías cálidas no desaparecieron del área hasta la tríada de abril-mayo-junio de 2017 (CPC, 2019). El mar ecuatoriano, en la región ENOS 1+2, registró anomalías positivas desde abril/2015 (1,35 °C) hasta mayo/2017 (0,78 °C), con un pico de 2,87 °C en julio/2015. Los muestreos se realizaron durante este evento cálido; por lo tanto, los datos de este trabajo describen el estero del Guayas en condiciones más cálidas y potencialmente más húmedas.

La temperatura del agua superficial (Figura 2a) osciló entre 24,2 y 29,2 °C en MC y entre 26,1 y 36,0 °C en ES, con valores significativamente más altos en esta última ($F_{1,22} = 25,01$, $p < 0,001$). Se encontraron temperaturas más altas en ambos sitios durante la temporada de lluvias (húmeda: $28,6 \pm 1,2$ vs. seca: $26,7 \pm 0,5$, $F_{1,22} = 51,20$, $p < 0,001$) junto con salinidades más bajas (0,08 PSU / 37,9 °C en MC, 10,33 PSU / 36,00 °C en ES, Figura 2b). La precipitación en Guayaquil durante enero – abril/2016 tuvo valores $> 150 \text{ mm} \times \text{mes}^{-1}$; para todos los demás meses los valores estuvieron por debajo de $1 \text{ mm} \times \text{mes}^{-1}$. Datos de precipitación no estuvieron disponibles para Payo-Bulu Bulu durante el estudio; sin embargo, datos anteriores muestran valores mensuales de 0 a 278 mm, con un máximo en abril (Figura 1c). Al inicio de la temporada seca, la temperatura del

for determining significance because the sampling design was unbalanced (Underwood, 1981). Data were $\log_{10}(x + 1)$ transformed to meet parametric assumptions. Assumptions were tested using normal probability (quantile–quantile) plots, and boxplots of residuals versus fitted values (Sokal and Rohlf, 1995). Pair-wise comparisons were conducted using Tukey’s Honestly Significant Difference test.

Circulation and salinity distribution in the estuary are impacted by two seasons: dry (June to November) and wet season (December to May). Salinity in the inner estuary (8 to 20 PSU) reflect the seasonality of discharge and precipitation, along with exchange flow (Murray *et al.*, 1975; Cifuentes *et al.*, 1996; Barrera Crespo, 2016). On longer timescales, interannual events such as El Niño Southern Oscillation (ENSO) have a strong influence on precipitation and temperature. Positive sea surface temperatures (SST) anomalies in the Pacific enhance convection, leading to large precipitation events on the coast of Ecuador. This survey started at the end of a strong Central Pacific ENSO (late 2014 -Tollefson, 2014). These warm anomalies did not disappear from the area until the 2017 April-May-June triad (Climate Prediction Center, 2020). The Ecuadorian Sea, in the ENSO 1+2 region, registered positive anomalies from April 2015 (1.35 °C) to May of 2017 (0.78 °C), with a peak of 2.87 °C in July 2015. Our surveys were performed during this warm event; thus, our data describe the Guayas estuary in warmer and potentially wetter conditions.

Surface water temperature (Figure 2A) ranged from 24.2 to 29.2 °C in MC and from 26.1 to 36.0 °C in ES, with significantly higher values in the latter ($F_{1,22} = 25.01$, $p < 0.001$). Higher temperatures were found in both sites during the rainy season (Wet: 28.6 ± 1.2 vs. Dry: 26.7 ± 0.5 , $F_{1,22} = 51.20$, $p < 0.001$) along with lower salinities (0.08 PSU / 37.9 °C in MC, 10.33 PSU / 36.00 °C in ES, Figure 2B). Precipitation in Guayaquil during January–April 2016 had values $> 150 \text{ mm} \times \text{month}^{-1}$; for all other months, values were below $1 \text{ mm} \times \text{month}^{-1}$. Precipitation was not available at Payo-Bulu Bulu for the survey; however previous data show monthly values from 0 to 278 mm, with a maximum in April (Figure 1C). As the dry season began, air temperatures decreased from 28.30 °C, in May, to 25.70 °C, in October (at the Guayaquil Airport), and mean salinity increased, reaching a maximum of 29.03 PSU in MC, and 28.50 PSU in ES. Water temperature during the dry season reached its minimum values of 24.20 °C in MC, and 26.10 °C in ES. Salinity in ES was significantly higher than in MC (22.1 ± 5.0 vs. 12.9 ± 7.8 , $F_{1,21} = 4.96$,

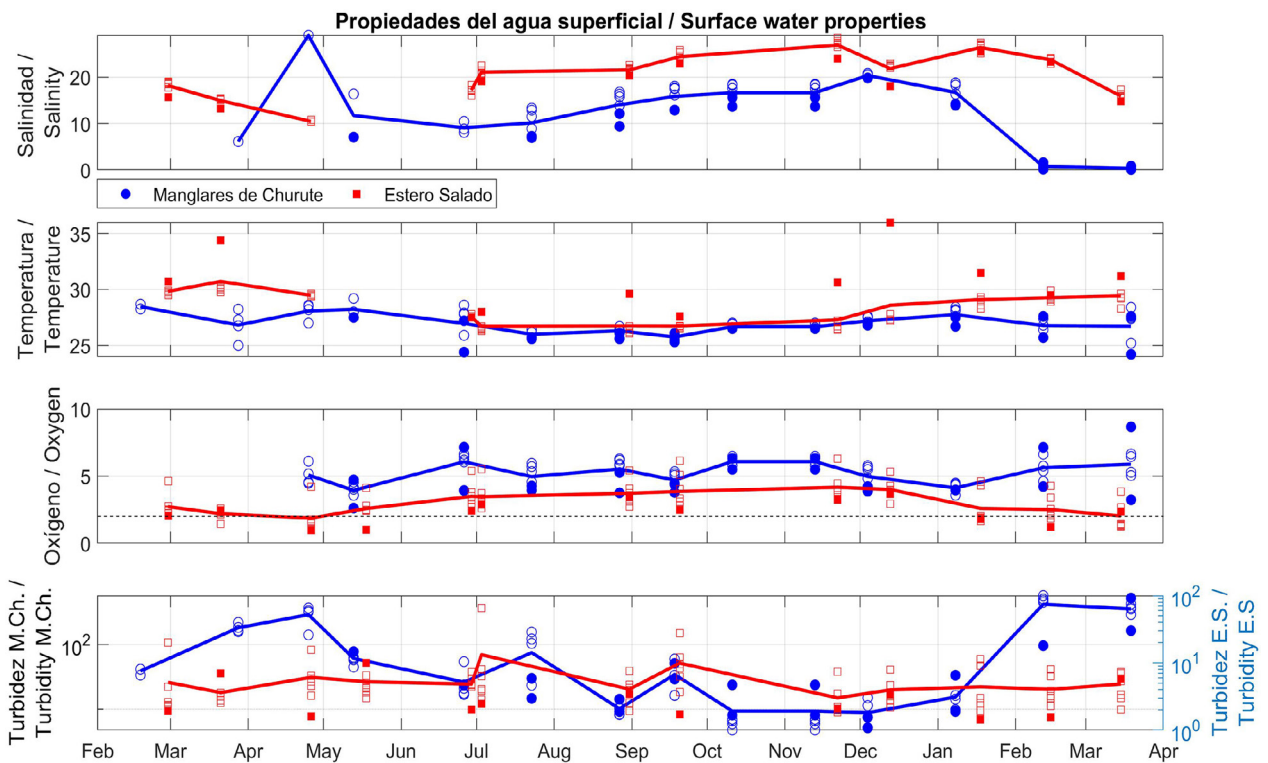


Figura 2. Propiedades del agua superficial en Manglares Churute (seis estaciones en azul) y Estero Salado (siete estaciones en rojo). a) Salinidad (PSU). b) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). c) OD ($\text{mg} \times \text{L}^{-1}$), la línea punteada indica valores bajos de OD a $2 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$. d) Turbidez (log NTU) en MC (eje izquierdo) y ES (eje derecho). Promedios de la encuesta en líneas continuas.

Figure 2. Surface water properties at Manglares Churute (six stations in blue) and Estero Salado (seven stations in red). a) Salinity (PSU). b) Temperature ($^{\circ}\text{C}$). c) DO ($\text{mg} \times \text{L}^{-1}$), the dashed line indicates low DO values at $2 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$. d) Turbidity (log NTU) in MC (left axis), and ES (right axis). Survey averages in continuous lines, samples taken at mouths of each site are shown as filled symbols.

aire disminuyó de $28,30^{\circ}\text{C}$ en mayo a $25,70^{\circ}\text{C}$ en octubre (en el aeropuerto de Guayaquil), y la salinidad media aumentó, alcanzando un máximo de $29,03$ PSU en MC y $28,50$ PSU en ES. La temperatura del agua durante la temporada seca alcanzó sus valores mínimos de $24,20^{\circ}\text{C}$ en MC y $26,10^{\circ}\text{C}$ en ES. La salinidad en ES fue significativamente mayor que en MC ($22,1 \pm 5,0$ vs $12,9 \pm 7,8$, $F_{1,21} = 4,96$, $p = 0,04$), lo que indica la influencia del agua dulce principalmente por la precipitación y la falta de entrada del río en ES (Figura 2b).

La mayoría de las estaciones MC presentaron valores de OD entre 2 y $6,5 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$, mientras que ES registró valores más bajos (promedio $2,5 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$), con hipoxia ($< 2,0 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$) de enero a abril (Figura 2c). MC registró niveles de OD significativamente más altos que ES ($5,3 \pm 0,8$ vs $3,0 \pm 0,8$, $F_{1,21} = 73,53$, $p < 0,001$). Los valores promedio de OD en ambas áreas aumentaron en la temporada seca: MC promedió $5,1 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$ y ES $4 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$. Los valores fueron significativamente más bajos durante la temporada de lluvias ($F_{1,21} = 4,96$, $p = 0,001$). Las diferencias entre la desembocadura y la cabecera de los estuarios muestran la

$p = 0,04$), indicando la influencia de agua dulce principalmente por la precipitación, y la falta de entrada del río en ES (Figura 2b).

Most of the MC stations had DO values between 2 and $6.5 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$, while ES registered lower values (average $2.5 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$), with hypoxia ($< 2.0 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$) from January to April (Figure 2C). MC registered significantly higher DO levels than ES (5.3 ± 0.8 vs. 3.0 ± 0.8 , $F_{1,21} = 73.53$, $p < 0.001$). Average DO values in both areas increased in the dry season: MC averaged $5.1 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$, and ES $4 \text{ mg} \times \text{L}^{-1}$. Values were significantly lower during the wet season ($F_{1,21} = 4.96$, $p = 0.001$). Differences between the mouth and the head of the estuaries show the influence of the ocean, with lowest values at the heads of the estuaries. The wet 2017 season had lower values of DO in both study areas compared to 2016, as expected from the solubility relationship (higher DO under lower temperatures, and vice versa -Weiss, 1970). Higher DO values in MC, in particular during the wet season, might suggest city-related contamination, waters from shrimp farms and lack of mixing or entrainment in ES (Solorzano and Viteri, 1993; Limongi *et al.*, 2018).

influencia del océano, con valores más bajos en las cabeceras de los estuarios. La temporada húmeda de 2017 tuvo valores más bajos de OD en ambas áreas de estudio en comparación con 2016, como se esperaba de la relación de solubilidad (OD más alto a temperaturas más bajas y viceversa -Weiss, 1970). Los valores más altos de OD en MC, en particular durante la temporada de lluvias, podrían sugerir contaminación relacionada con la ciudad, aguas de granjas camaroneras y falta de mezcla o aislamiento en ES (Solórzano y Viteri, 1993; Limongi *et al.*, 2018).

La turbidez en MC fue un orden de magnitud mayor que en ES (Figura 2d). En MC, la turbidez más alta se encontró en la temporada de lluvias y pareció estar asociados con una salinidad más baja, mientras que la temporada seca mostró la turbidez más baja y la salinidad más alta. En contraste, los valores de turbidez de ES fueron más altos durante la temporada seca entre marzo y septiembre, cuando la precipitación se redujo a su mínimo. Los nitritos (Tabla 1) muestran interacción significativa entre sitios y estaciones ($F_{1,20} = 5,69$, $p = 0,03$), con valores más altos en ES durante la temporada húmeda y seca que en MC durante la temporada húmeda ($p < 0,04$). Los fosfatos fueron significativamente más altos en ES que en MC ($0,31 \pm 0,17$ vs $0,17 \pm 0,16$, $F_{1,22} = 10,64$, $p = 0,004$) y durante la temporada seca en comparación con la temporada húmeda ($0,34 \pm 0,22$ vs $0,17 \pm 0,10$, $F_{1,22} = 7,17$, $p = 0,01$). Los valores elevados de nutrientes en ES, aunque escasos, son indicativos de la influencia antropogénica (Borbor-Córdova *et al.*, 2006; Cárdenas Calle, 2010; Limongi *et al.*, 2018).

Tabla 1. Nutrientes superficiales en Manglares Churute y Estero Salado durante 2016. Medias y desviaciones estándar determinadas para cada estación y cada temporada.

		Época seca / Dry season		Época húmeda / Rainy season	
		Media / Mean	Desviación estandar / Standard deviation	Media / Mean	Desviación estandar / Standard deviation
Nitritos / Nitrites	Esteros Salado	0.0614	0.0326	0.0909	0.0550
	Manglares de Churute	0.0498	0.0191	0.0288	0.0258
Fosfatos / Phosphates	Esteros Salado	0.3923	0.2978	0.2316	0.1390
	Manglares de Churute	0.2207	0.4884	0.1338	0.1469

Los perfiles de densidad fueron más altos en la estación 3 en MC ($1007 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ en febrero, $10105 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ en septiembre), con los valores más altos en profundidad indicativos del forzamiento del océano (Fig. 3). La densidad en MC también disminuyó en las estaciones de los brazos de

Turbidity values in MC were an order of magnitude greater than in ES (Figure 2D). In MC, the highest turbidity values were found in the wet season and appeared to be associated with lower salinity, while the dry season showed the lowest turbidity and high salinity. In contrast, ES's turbidity values were higher during the dry season between March and September, when precipitation was reduced to its minimum. There was a significant interaction in nitrites between sites and seasons ($F_{1,20} = 5.69$, $p = 0.03$, Table 1), with higher values in ES during the wet and dry season than in MC during the wet season ($p < 0.04$). Phosphates were significantly higher in ES than MC (0.31 ± 0.17 vs. 0.17 ± 0.16 , $F_{1,22} = 10.64$, $p = 0.004$) and during the dry when compared to the wet season (0.34 ± 0.22 vs. 0.17 ± 0.10 , $F_{1,22} = 7.17$, $p = 0.01$). Elevated nutrient values in ES, though scarce, are indicative of anthropogenic influence in the estuary (Borbor-Córdova *et al.*, 2006; Cárdenas Calle, 2010; Limongi *et al.*, 2018).

Table 1. Surface nutrients in Manglares Churute and Estero Salado during 2016. Means and standard deviations determined for each station and each season.

		Época seca / Dry season		Época húmeda / Rainy season	
		Media / Mean	Desviación estandar / Standard deviation	Media / Mean	Desviación estandar / Standard deviation
Nitrites / Nitrites	Estero Salado	0.0614	0.0326	0.0909	0.0550
	Manglares de Churute	0.0498	0.0191	0.0288	0.0258
Phosphates / Phosphates	Estero Salado	0.3923	0.2978	0.2316	0.1390
	Manglares de Churute	0.2207	0.4884	0.1338	0.1469

CTD profiles of density were highest at station 3 in MC ($1007 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ in February, $1010.5 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ in September), with the highest values at depth indicative of the ocean forcing (Fig. 3). Density at MC also decreased at the stations up the arms of the estuary (from stations 3 to 1 and

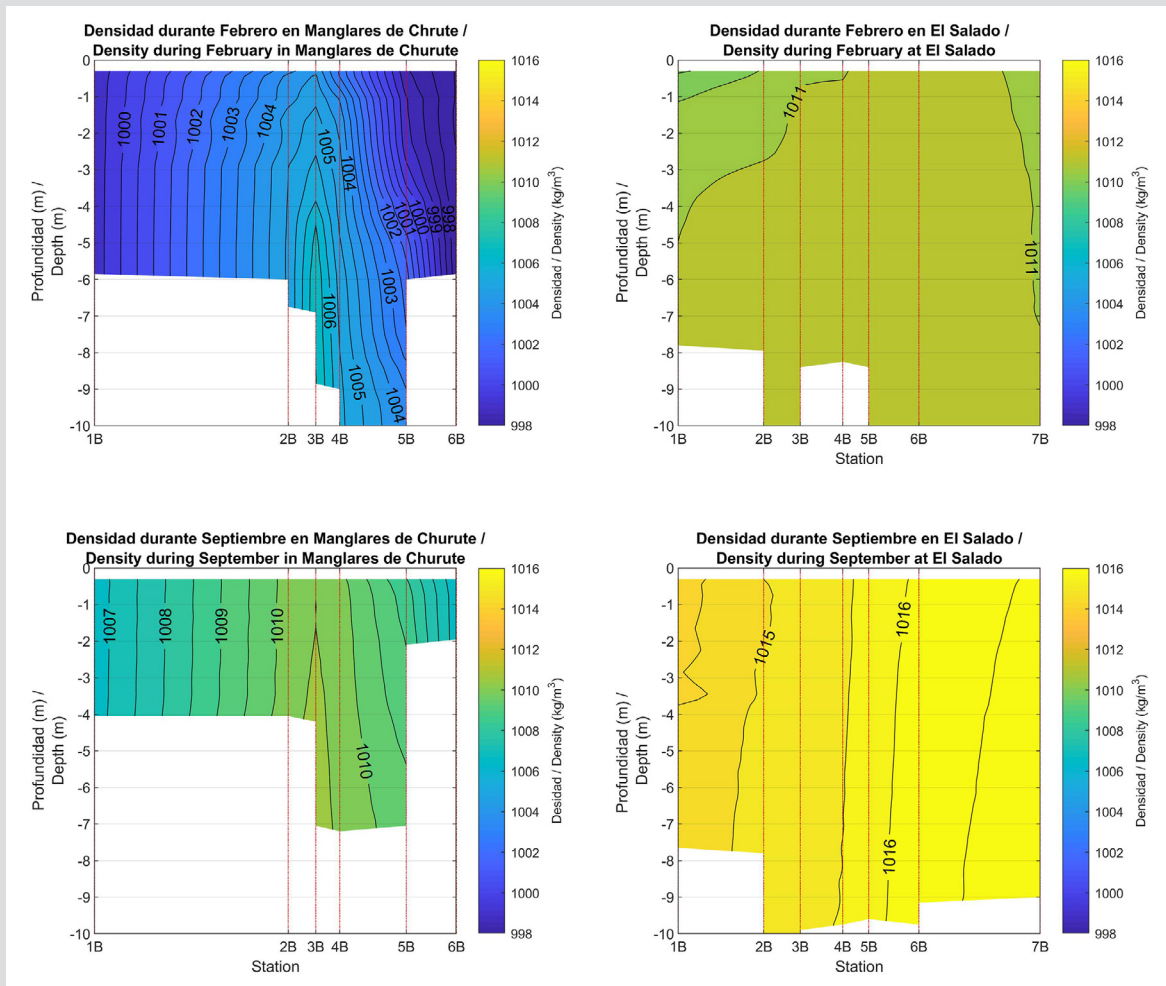


Figura 3. Paneles de la izquierda: Contornos del perfil de densidad durante febrero (arriba) y septiembre (abajo) en el medio del canal en Manglares de Churute (paneles de la izquierda) y Estero Salado (paneles de la derecha).

Figure 3. Left panels: Density profile contours during February (top) and September (bottom) in the middle of the channel at Manglares de Churute (left panels) and Estero Salado (right panels).

la ría (de las estaciones 3 a 1 y de 3 a 6). En ES, la densidad disminuyó con la distancia a la desembocadura del estuario y aumentó con profundidad, posiblemente debido a la falta de entrada de agua dulce (Figura 3c-d). En septiembre se encontró mayor densidad (relacionada con mayor salinidad y menor temperatura) ($1014 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ en la cabeza y $1017 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ en la boca); en febrero las lecturas fueron menores con valores entre $1010 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ en la estación 1 (cabeza) y $1011 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ en la estación 7 (boca).

Los resultados sugieren que las condiciones hidrográficas en el estuario interior del Guayas están influenciadas por la variabilidad estacional y las actividades antropogénicas. Variabilidad estacional influye de manera diferente en los dos estuarios, ya que MC está más conectado con el río Guayas y tiene un efecto de aislamiento más fuerte que ES, que no está conectado a un río y en una ubicación urbana.

from 3 to 6). In ES, density decreased with distance from the mouth of the estuary, and increased with depth, potentially due to the lack of freshwater input (Figure 3c-d). Higher density (related to higher salinity and lower temperature) were found in September ($1014 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ at the head and $1017 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ at the mouth), while in February, readings were lower with values between $1010 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ at station 1 (head) and $1011 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ at station 7 (mouth).

Our results suggest that hydrographic conditions in the inner Guayas estuary are influenced by seasonal variability and anthropogenic activities. Seasonal variability influences the two estuaries differently, as MC is more connected to the Guayas River, and has a stronger runoff effect than ES, which is not connected to a river and in an urban location.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador, bajo la concesión número Senescyt M2-DI-2015. Se agradece al Dr. Stanislaus Sonnenholzner (Cenaim-Espol) por el préstamo del perfilador CastAway CTD utilizado durante este estudio y, especialmente, a Michelle Schuiteman por revisar un borrador anterior, así como a dos revisores anónimos y al editor. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R Core.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Education, Science, Technology, and Innovation Secretary of Ecuador, under grant number Senescyt M2-DI-2015. We are thankful to Dr. Stanislaus Sonnenholzner (Cenaim -Espol) for the loan of the Cast CTD profiler used in the casts during this study. We are especially grateful to Michelle Schuiteman for reviewing an earlier draft, as well as two anonymous reviewers and the Editor. Statistical analyses were performed using the R Core software.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Barrera Crespo, P.D., 2016. Delft3D Flexible Mesh modelling of the Guayas River and estuary system in Ecuador. TUDelft.
- Cifuentes, L.A., R.B. Coffin, L. Solórzano, W. Cárdenas, J. Espinoza and R.R. Twilley. 1996. Isotopic and elemental variations of carbon and nitrogen in a mangrove estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 43: 781-800. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0103>
- Cucalón, E., 1983. Temperature, Salinity and Water Mass Distribution Off Ecuador During an El Niño Event in 1976. *Rev. Ciencias del Mar y Limnol.* 2, 1-25 p.
- Limongi, D., M. Cárdenas-Calle, L. Troccoli. 2018. Compuestos nitrogenados en los sedimentos del Estero San Camilo: Guayas, Ecuador, y su relación con actividades antropicas adyacentes 13.
- Murray, S., D. Cordon, A. Siripong and J. Santoro. 1975. Circulation and salinity distribution in the rio Guayas estuary, Ecuador, in: *Geology and Engineering*. Elsevier, 345–363 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-197502-9.50026-5>
- Naranjo, C. 2002. Zooplankton en el estuario interior del golfo de Guayaquil, durante Mayo del 2001. *Acta Ocean. del Pacífico*, Inocar 11, 101-112 p.
- Sharples, J., J.J. Middelburg, K. Fennel and T.D. Jickells. 2017. What proportion of riverine nutrients reaches the open ocean? *Global Biogeochem. Cycles* 31, 39–58 p. <https://doi.org/10.1002/2016GB005483>
- Sokal, R. and F. Rohlf. 1995. *Biometry*, 3rd ed. San Francisco.
- Solorzano, L. and G. Viteri. 1993. Investigación química del Estero Salado. *Rev. Ciencias del Mar y Limnol.* 3, 227 P.
- Stevenson, M. 1981. Variaciones estacionales en el golfo de Guayaquil. *Bol. Cient. y Tec. INP* 4, 1–133 p.
- Tollefson, J. 2014. El Niño tests forecasters. *Nature* 508, 20-21 p.
- Twilley, R.R., W. Cardenas, V.H. Rivera-Monroy, J. Espinoza, R. Suescum, M.M. Armijos and L. Solorzano. 2001. The Gulf of Guayaquil and the Guayas river estuary, Ecuador, in: *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Berlin, 245–263 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7>
- Underwood, J. A. 1981. Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. *Annu. Rev. Oceanogr. Mar. Biol.* 19, 513-605 p.
- Weiss, R.F. 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep. Res.* 17, 721–735 p.
- Zambrano, R. y C. Meiners. 2018. Notas sobre taxonomía, biología y pesquería de *Ucides occidentalis* (Brachyura: Ocypodidae) con énfasis en el golfo de Guayaquil, Ecuador. *Rev. Perú. Biol.* 25, 55-66 p. <https://doi.org/10.15381/rpb.v25i1.13821>

RECIBIDO/RECEIVED: 16/12/2020

ACEPTADO/ACCEPTED: 07/04/2022