

Estudio de Condiciones Físicas, Químicas y Biológicas en la Zona Intermareal de Dos Sectores del Estero Salado con Diferente Desarrollo Urbano

Lorena Monserrate ⁽¹⁾, José Francisco Medina ⁽²⁾, Paola Calle ⁽³⁾
Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales ^(1, 2, 3)
Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
Email del autor: bmonserr@espol.edu.ec ⁽¹⁾; jfmedin@espol.edu.ec ⁽²⁾; pcalle@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

Un estudio comparativo de las condiciones físicas, químicas y biológicas, durante la época seca del 2008 y lluviosa del 2009, se realizó en la zona intermareal de dos sectores del Estero Salado con diferente grado de desarrollo urbano, en base al porcentaje de cubiertas no permeables (techos de viviendas, carreteras), uso de suelo y densidad poblacional. El sector que atraviesa la ciudad (SAC), y un sector dentro de la Reserva de Producción y Faunística Manglares el Salado (RPFMS). Se evaluó: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación, Sulfuro de Hidrógeno, amoníaco en agua y sedimento, textura del sedimento (porcentajes de arenas, limos y arcillas), y macrobentos. El sector del Estero, SAC, presentó 83.21% de cubiertas no permeables y 96 ind/ha (urbano), y la RPFMS 16.34% de cubiertas no permeables, y 16.45% de camaronerías con 3 ind/ha (suburbano). Se encontró diferencias significativas entre sectores para la mayoría de los parámetros de agua y sedimento. SAC, presentó en ambas épocas, menor riqueza macrobentónica; concentraciones de oxígeno disuelto y sulfuro de hidrógeno sobrepasando los límites mínimo y máximo permisibles establecido por el TULAS respectivamente. Condiciones anóxicas durante el invierno en la RPFMS demuestra que la reserva está siendo afectada por el desarrollo urbano.

Palabras Claves: Estero Salado, desarrollo urbano, cubiertas no permeables, oxígeno disuelto, sulfuro de hidrógeno, macrobentos.

Abstract

A comparative study of the physical, chemical and biological condition of two sectors of the Salado Estuary was done during the dry and the wet seasons of 2008 and 2009 respectively. These sectors differed in urban development, percentage of impervious cover (housing roofs, roads), land use and population density. The first sector is the section of the estuary within the city Guayaquil (SAC) and the second sector is within the Reserve of Faunal Production El Salado Mangroves (RPFMS). Temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, percent saturation, hydrogen sulfide, ammonia in water and sediment, sediment texture (percentages of sand, silt and clay) and macrobenthos were evaluated in each sector. SAC, presented 83.21% of impervious cover and 96 ind./ha (urban); and the RPFMS presented 16.34% impervious cover, and 16.45% of shrimp farms with 3 ind./ha (Suburban). Significant differences for most parameters of water and sediment were observed between sectors. During both seasons SAC, presented low macrobenthos community, low dissolved oxygen and high hydrogen sulfide concentrations exceeding the Ecuadorian water quality guideline. The anoxic conditions observed during the wet season in the RPFMS indicates that this sector is being affected by urban development

Keywords: Estero Salado, urban development, impervious cover, dissolved oxygen, hydrogen sulphide, macrobenthos.

1. Introducción

El Estero Salado, de la ciudad de Guayaquil, es un sistema estuarino, de aproximadamente 60km de longitud desde el Puerto Marítimo de Guayaquil hasta Posorja. Forma parte del Golfo de Guayaquil, el más grande, y uno de los sitios más productivos de la costa Este del Pacífico en América del Sur, que concentra el 81% de sistema de manglares del Ecuador. Estos ecosistemas estuarinos ofrecen una variedad de bienes y servicios ecológicos importantes para la sustentación de comunidades costeras, albergando así peces, crustáceos y moluscos de valor ecológico y comercial [1].

Dentro del Estero Salado se han delimitado áreas de interés estratégico para el manejo sustentable de los recursos, como: El Bosque Protector Salado del Norte de 47,15 hectáreas¹, Bosque Protector Puerto Hondo de 2.000 hectáreas², y la Reserva de Producción Faunística Manglares el Salado con 5.407 hectáreas³.

Sin embargo, por incursionar en la ciudad más poblada del Ecuador [2], el Estero Salado, está siendo afectado en diferente forma por las actividades antropogénicas que se realizan en la urbe y en sus alrededores. Así tenemos, que el crecimiento acelerado de la población incluyendo asentamientos urbanos legales e ilegales, han conllevado a insuficientes sistemas de alcantarillado, tratamiento de aguas residuales, y disposición final de los desechos sólidos [3,4,5,6].

Aguas residuales con poco o ningún tratamiento, ingresan de manera puntual a los diferentes ramales del Estero, cerca de un 60% correspondientes a uso doméstico y 40% de uso industrial [7]. Adicionalmente, ingresan contaminantes de manera no puntual, por las escorrentías provenientes de zonas de cultivo y explotación de canteras ubicadas en la periferia de la ciudad [8], además de basura, lixiviados y contaminantes por escorrentías provenientes de superficies no permeables (techos, puentes, calles, aceras) [9].

El Estero Salado, por ser un brazo de mar, y al no recibir aportes de afluentes o ríos situados aguas arriba, sus aguas tienen cierto movimiento que no está dirigido predominantemente hacia el mar abierto; el cuerpo de agua se desliza con la marea hacia el mar, pero recupera

su posición inicial con el reflujo de la misma; este comportamiento afecta al proceso de renovación y autodepuración de las aguas en el Estero Salado, especialmente hacia la zona que delimita con la ciudad de Guayaquil [3]. Adicionalmente, las zonas intermareales, son la conexión entre estuarios y tierras firmes, presentan una respuesta inmediata a las alteraciones de los ecosistemas aledaños a la zona intermareal [9].

Este efecto, sumado año tras año, ha influenciado de una u otra manera al deterioro de la calidad ambiental y estética paisajística del Estero, afectando al número de especies, abundancia y tamaño de organismos de importancia ecológica y comercial que habitan en el estero [10, 11].

Por este motivo, y por la preocupación existente de que el desarrollo de zonas costeras comprometa a la zona más prístina del Estero Salado, es necesario determinar si las condiciones físico-químicas (calidad del agua y sedimento); y biológicas (biodiversidad y abundancia de macrobentos) en SAC se encuentran mayormente degradada que en el sector del Estero que ingresa a la RPFMS.

Siendo los objetivos de la tesis: a) determinar el grado de desarrollo urbano en ambos sectores del Estero Salado, en base al porcentaje de cubiertas no permeables, densidad poblacional y uso de suelo (Holland [9]); b) determinar las condiciones físico-químicas y la distribución y abundancia de organismos macroinvertebrados bentónicos en SAC y en el sector de la RPFMS, y; c) comparar las condiciones ambientales de cada sector del Estero Salado.

2. Materiales y Métodos

Para este estudio se tuvo como referencia teórica el Modelo Conceptual de Holland *et. al.* [9], el cual indica que el grado de desarrollo de las zonas estuarinas está correlacionado con el grado de fluctuación en la calidad del agua y contaminación del sedimento, en base a las superficies no permeables (techos de casas, centros comerciales, industrias, puentes, carreteras, aceras y parqueaderos) producto del desarrollo urbano.

Por lo que, a través de este método, se refleja una respuesta inmediata de las condiciones físicas, químicas y biológicas de la zona intermareal, cuando las cubiertas no permeables aumentan, ya que estas zonas son la primera conexión entre tierras altas y estuarios. (Figura 1)

¹ Acuerdo Ministerial N° 406 del 30 Septiembre de 1986, publicado en el Registro Oficial 547 del 21 de Octubre de 1986

² Acuerdo Ministerial N° 238, publicado en el Registro Oficial 122 del 6 de julio de 1987

³ Acuerdo Ministerial N° 142, publicado en el Registro Oficial N° 5 del 2003

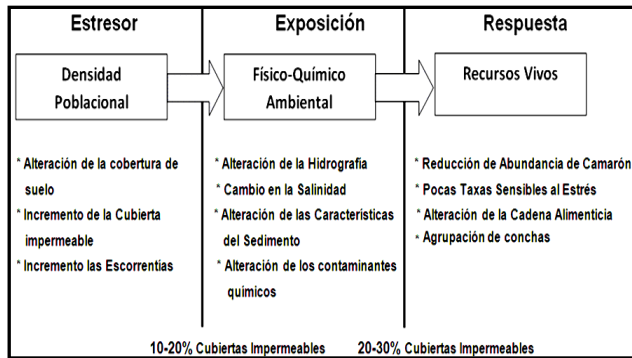


Figura 1. Resumen del Modelo Conceptual de Holland *et.al.*

Si las cubiertas impermeables exceden del 10 al 20%, existen cambios físicos y químicos en el ambiente por alteración en la hidrografía, cambios en la salinidad y características en la textura del sedimento, e incremento de contaminantes químicos y coliformes fecales, arrastrados por las escorrentías. En cambio, cuando exceden del 20 al 30%, existe además una respuesta de parte de los organismos vivos; como una reducción en la abundancia de camarones, taxas macrobentónicas sensibles al estrés ambiental, y alteraciones en la cadena alimenticia [9].

2.1 Clasificación de las Cuencas Incidentales o cobertura de suelo de los sectores de Estudio

Las cuencas incidentales de SAC y del sector de la RPFMS, fueron tomadas desde la cota más alta hacia los diferentes sectores de muestreo; sus respectivas cuencas incidentales urbano y suburbano, se consideró en base al sistema de clasificación empleado por Holland [9], donde se calculó el porcentaje de las cubiertas no permeables y permeables, uso de suelo y densidad poblacional humana.

Se delimitaron las cubiertas no permeables y permeables, cuerpo de agua del estero, y camaroneras en cada sector, por medio del software informático de sistema de información geográfica Arcmap. Se elaboraron dos mapas digitales, uno de SAC y otro del sector de la RPFMS a escala 1:50000, con los porcentajes de cobertura de suelo en cada sector; y estaciones y puntos de muestreos. (Figura 2a. y 2b.)

2.2 Recolección de muestras

Se realizaron cuatro muestreos, tanto en SAC y en el sector de la RPFMS: dos en época seca (verano) del 2008 (14 y 24 de noviembre del 2008); dos en época lluviosa (invierno) del 2009 (6 y 8 de abril del

2009). Cada sector de muestreo fue dividido en tres estaciones y en cada estación se tomaron 3 puntos de muestreo georeferenciados con GPS, a una distancia aproximadamente de 50 metros entre sí, obteniendo 9 puntos en SAC y 9 en el sector de la RPFMS, con un total de 18 puntos de muestreo en verano y 18 en invierno.

Se midieron *in situ*, con el equipo electrónico Multiparámetro YSI-556, los siguientes parámetros para la calidad de agua: temperatura (T°C), salinidad (ups), potencial de hidrógeno (pH), concentración de oxígeno disuelto (mg/L), porcentaje de saturación (%), los sólidos disueltos totales (g/L) y la conductividad (mS/cm). El Sulfuro de hidrógeno (SH₂) se midió con el kit HS-C de Hach-2000.

Muestras de agua y sedimento con sus respectivas réplicas, se recolectaron en la zona intermareal para la determinación de la concentración de amoníaco intersticial en agua y sedimento, textura de sedimento (porcentajes de arenas, limos y arcillas), y muestras de macrobentos para biodiversidad y abundancia. El amonio intersticial se analizó utilizando el kit de medición de amoníaco TNT 381 de Hach, y el equipo de espectrofotometría DR2800 de Hach.

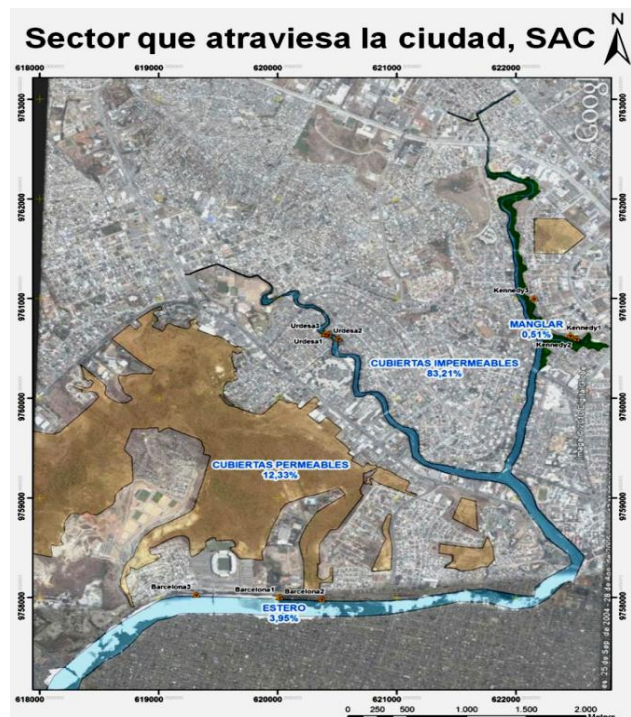


Figura 2a. Estaciones y puntos de muestreo en SAC (Barcelona, Kennedy y Urdesa)

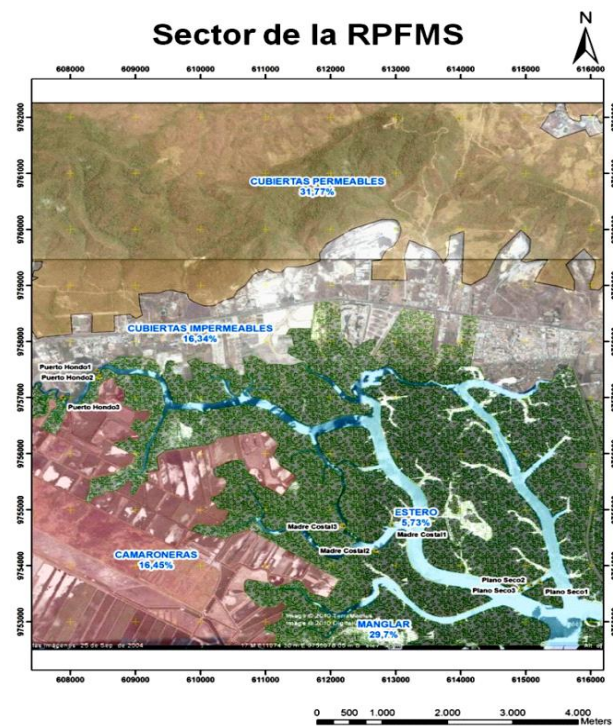


Figura 2b. Estaciones y puntos de muestreo en la RPFMS (Puerto Hondo, Madre Costal y Plano Seco)

La textura física del sedimento se procesó con el método de la Pipeta modificado por Plumb [12], y la determinación de la textura granulométrica se la realizó mediante la clasificación de Shepard [13].

Para la recolección de los macrobentos, se utilizó un core de 10,5cm de diámetro a una profundidad de 15cm. Los organismos fueron separados del sedimento utilizando un tamiz de 250µm, según la metodología reportada en Gillett *et. al.* [14]. Todos estos organismos identificados fueron fijados en formol al 8% y preservados en etanol al 70%.

Para determinar la abundancia relativa y biodiversidad de las muestras biológicas, se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Weaver, que contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la abundancia relativa de individuos de cada una de esas especies, aplicando la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

2.3 Análisis de Datos

Los resultados obtenidos por sector fueron analizados utilizando la estadística descriptiva y el análisis

multivariado. Para este último, se utilizó el programa Statistica v7, para determinar diferencias significativas entre sectores y estaciones con un grado de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), mediante las pruebas no paramétricas Mann Whitney U test y el método de comparación múltiple de la prueba Kruskal Wallis T Test.

3. Resultados

3.1 Uso y clasificación de la cobertura de suelo en los sectores de estudio

SAC comprendió un área de estudio de 31,28km² con 96 individuos por hectárea; de los cuales el 83,21% corresponde a cubiertas no permeables (carreteras, aceras y techos de casas, edificios e industrias); 12,33% cubiertas permeables (cerros de San Eduardo y de Bellavista); 3,95% cuerpo de agua del Estero Salado, y 0,51% a cubiertas de manglar. Por lo que, la cuenca de incidencia de este sector fue considerada urbana con facilidades industriales.

El sector de la RPFMS comprendió un área de 91,78km² con 3 individuos por hectárea; de los cuales el 16,34% correspondió a cubiertas no permeables (carreteras y techos de urbanizaciones privadas); 31,77% a cubiertas permeables (Cordillera Chongón Colonche, Bosque Protector Cerro Blanco, entre otros); 16,45% a camaroneras (localizadas al oeste y sur de la Reserva); 29,70% cubiertas de manglar; y 5,73% agua del Estero Salado. En este sector la cuenca de incidencia fue considerada suburbana.

3.2 Comparación de los parámetros físico-químicos entre los dos sectores durante las dos épocas de estudio

Para la comparación de los parámetros físicos y químicos, se realizó un análisis entre los dos sectores de estudios, teniendo así:

Verano del 2008 (Época Seca)

Se encontraron diferencias significativas durante la época seca, en los siguientes parámetros:

- Temperatura promedio en SAC fue de 27,45°C±0,78 significativamente mayor ($p=0,0380$), respecto al sector de la RPFMS con 26,83°C±0,47.
- El promedio de la concentración de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación en SAC fue de 1,69mg/l±1,63 y 21,52% ± 24,79 significativamente menor ($p=0,0005$), respecto al sector de la RPFMS con 6,46mg/l±1,05 y 93,69% ± 13,62.

- La salinidad promedio en SAC fue de $9,66\text{ups}\pm 9,17$ significativamente menor ($p=0,0003$), respecto al sector de la RPFMS con $26,25\text{ups}\pm 0,73$.
- El pH promedio en SAC fue de $6,94\pm 0,27$, significativamente menor ($p=0,0118$), respecto al sector de la RPFMS con $7,20\pm 0,13$.
- El valor promedio de sólidos disueltos totales (TDS) fue de $10,34\text{g/l} \pm 9,3$ significativamente menor ($p=0,0003$), respecto al sector de la RPFMS $26,70\text{g/l} \pm 0,68$.
- La conductividad promedio de SAC fue de $15,92\text{mS/cm} \pm 15,30$ significativamente menor ($p=0,003$), respecto al sector de la RPFMS con $42,55\text{mS/cm} \pm 0,95$.
- El nivel promedio de sulfuro de hidrógeno encontrado en SAC fue de $0,35\text{mg/l} \pm 0,65$ significativamente mayor ($p=0,0273$), respecto al sector de la RPFMS con $0,04\text{mg/l} \pm 0,10$.
- En lo referente, al promedio global del porcentaje de limos en SAC fue de $39,36\pm 7,72$ significativamente mayor ($p=0,0023$), respecto al sector de la RPFMS con $21,91\% \pm 8,62$.
- Y el valor promedio del porcentaje de arcillas en SAC fue de $37,34\% \pm 11,75$ significativamente menor ($p=0,0041$), respecto al sector de la RPFMS con $64,83\% \pm 17,91$.

Por lo que, SAC se caracterizó por tener un suelo areno-limo-arcilloso; a diferencia del sector de la RPFMS, que se encontró un suelo limo- arcilloso.

Invierno del 2009 (Época Húmeda)

En la época lluviosa se encontraron diferencias significativas en los siguientes parámetros:

- Temperatura promedio en SAC fue de $29,29^{\circ}\text{C}\pm 0,74$ significativamente mayor ($p=0,0071$), respecto al sector de la RPFMS con $28,50^{\circ}\text{C}\pm 0,34$.
- El promedio de la concentración de oxígeno disuelto en SAC fue de $0,95\text{mg/l}\pm 1,09$ y $13,11\% \pm 15,06$ significativamente menor ($p=0,0380$) respecto al sector de la RPFMS con $1,97\text{mg/l}\pm 1,31$ y $27,38\% \pm 18,14$.
- La salinidad promedio en SAC fue de $5,11\text{ups}\pm 4,11$ significativamente menor ($p=0,0031$), respecto al sector de la RPFMS con $13,46\text{ups}\pm 2,45$.
- pH promedio en SAC fue de $7,28\pm 0,46$ significativamente mayor ($p=0,0305$), respecto al sector de la RPFMS con $6,79\pm 0,18$.
- El valor promedio de sólidos disueltos totales (TDS) fue de $5,91\text{g/l} \pm 5,20$ significativamente menor ($p=0,0041$), respecto al sector de la RPFMS $14,58\text{g/l} \pm 2,47$.

- La conductividad promedio de SAC fue de $9,18\text{mS/cm} \pm 9,11$ significativamente menor ($p=0,0031$), respecto al sector de la RPFMS con $23,96\text{mS/cm} \pm 4,09$.
- El promedio global del porcentaje de arenas en SAC fue de $28,58\% \pm 19,00$ significativamente mayor ($p=0,0005$) respecto al sector de la RPFMS con $3,44\% \pm 2,05$.
- Y el valor promedio del porcentaje de arcillas en SAC fue de $52,87\% \pm 14,38$ significativamente menor ($p=0,0013$), respecto al sector de la RPFMS con $78,95\% \pm 8,04$.

Por lo tanto, SAC se caracterizó por tener un suelo arena- arcilloso; a diferencia del sector de la RPFMS, que se encontró un suelo arcilloso.

3.3 Parámetros Biológicos

3.3.1 Comunidades Macroinvertebrados Bentónicas en Verano 2008 (época ceca)

En SAC se registró 5.734 macroinvertebrados pertenecientes a 8 especies. El índice de Shannon y el de equitatividad fueron 0,07 y 0,03 respectivamente. Mientras que en el sector de la RPFMS, se registró un total de 539 correspondiente a 22 especies; además, los índices de Shannon y equitatividad fueron 1,57 y 0,51. Por lo que, para ambos sectores, la familia Tubificidae fue la más abundante con el 98,98% en SAC y 54,52% en el sector de la RPFMS.

El análisis estadístico entre SAC y el sector de la RPFMS muestran diferencias significativas en diversidad ($p=0,0193$), más no en abundancia (ver tabla 1 y 2, donde se resumen estos resultados).

3.3.2 Comunidades Macroinvertebrados Bentónicas en Invierno 2009 (época lluviosa)

En SAC se registró 1.136 macroinvertebrados pertenecientes a 5 especies. El índice de Shannon y el de equitatividad fueron 0,57 y 0,35 respectivamente. Mientras que en el sector de la RPFMS, se registró un total de 12.553 macroinvertebrados, correspondiente a 12 especies; donde los respectivos índices de Shannon y equitatividad fueron 1,14 y 0,46. Siendo, para SAC la familia Tubificidae la más abundante con el 79,48%; mientras que en el sector de la RPFMS, los nemátodos representan el 57,40% y la familia Tubificidae el 21,10%.

Además, el análisis estadístico muestra diferencias significativas ($p=0,0081$) en diversidad más no en abundancia entre SAC y el sector de la RPFMS. En la tabla 1 y 2 se resumen los resultados.

Tabla 1 Resumen de los organismos macroinvertebrados bentónicos encontrados en SAC

Taxones	SAC-2008		SAC-2009	
	Verano (época Seca)		Invierno (época Húmeda)	
	Total (ind/m ²)	Abundancia Relativa	Total (ind/m ²)	Abundancia Relativa
Phylum Annelida	5699	0,99405436	1122	0,9876713
F. Tubificidae (1 especie N.I.)	5675	0,98980747	903	0,7948149
<i>Capitella</i> spp.	24	0,00424689	219	0,1928564
Phylum Mollusca	34	0,00594564	8	0,0070450
<i>Cerithidea valida</i>	18	0,00311438	-	-
<i>Cerithidea montganeii</i>	2	0,00028313	-	-
individuos N.I. de la F. Potamididae	5	0,00084938	-	-
individuos N.I. de la F. Melampidae	3	0,00056625	-	-
<i>Mytella strigata</i>	-	-	8	0,0070450
<i>Mytella</i> spp.	5	0,00084938	-	-
<i>Protothaca</i> spp.	2	0,00028313	-	-
Phylum Arthropoda	0	0,0000000	6	0,0052837
<i>Balanus</i> spp.	-	-	3	0,0026419
<i>Nitocra</i> spp.	-	-	3	0,0026419
	5734	1,0000000	1136	1,0000000

Tabla 2 Resumen de los organismos macroinvertebrados bentónicos encontrados en el sector de la RPFMS

Especies	RPFMS-2008		RPFMS-2009	
	Verano (Epoca Seca)		Invierno (Epoca Húmeda)	
	Total (Ind/m ²)	Abundancia Relativa	Total (ind/m ²)	Abundancia Relativa
Phylum Nemata	97	0,18072285	7206	0,5740460
Nemátodos N.I.	97	0,18072285	7206	0,5740460
Phylum Annelida	334	0,62048179	3231	0,2573887
F. Tubificidae (1 especie N.I.)	294	0,54518060	2649	0,2110253
<i>Nereis</i> spp.	3	0,00602410	6	0,0004780
<i>Nephtys singularis</i>	23	0,04216867	83	0,0066120
individuos NI de la F. Sabellidae	3	0,00602410	409	0,0325819
<i>Onuphis</i> spp.	3	0,00602410	-	-
una especie N.I. de la F. Onuphidae	2	0,00301205	-	-
<i>Capitella</i> spp.	6	0,01204819	84	0,0066916
Phylum Mollusca	37	0,06927709	9	0,0007170
<i>Cerithidea valida</i>	21	0,03915662	5	0,00039831
<i>Cerithidea obtusa</i>	2	0,00301205	-	-
<i>Mytella strigata</i>	10	0,01807229	-	-
<i>Mytella</i> spp.	2	0,00301205	2	0,0001593
<i>Donax</i> spp.	2	0,00301205	-	-
<i>Crassostrea columbiensis</i>	2	0,00301205	-	-
individuos N.I. de la F. Ostreidae	-	-	2	0,0001593
Phylum Arthropoda	70	0,12951827	2107	0,1678483
individuos N.I. del Orden Conchostraca	2	0,00301208	-	-
sp 1 de la F. Corophiidae	2	0,00301208	-	-
sp 2 de la F. Corophiidae	2	0,00301208	-	-
individuos N.I. de la F. Sphaeromatidae	2	0,00301208	-	-
<i>Uca</i> spp.	2	0,00301208	-	-
una especie N.I. de la F. Hyppolytidae	2	0,00301208	-	-
<i>Nitocra</i> spp.	58	0,10843371	2099	0,1672110
<i>Tigriopus</i> spp.	2	0,00301208	5	0,0003983
<i>Cyclops</i> spp.	-	-	3	0,0002390
	539	1,0000000	12553	1,0000000

4. Discusión

El incremento de cubiertas no permeables, producto del desarrollo urbano en SAC, repercuten en la reducción del área de manglar, alteración de calidad de

agua, sedimento y recursos biológicos. Lo que se ha venido evidenciando en este sector, es que tanto para la época seca y lluviosa, hubo fluctuaciones grandes de salinidad, concentraciones de oxígeno disuelto y sulfuro de hidrógeno que sobrepasaron los límites mínimo y máximo permisible establecido en el TULAS[15], lo cual es crítico para los organismos que viven en el Estero Salado, ya que pudo verse reflejado en la baja riqueza de macroinvertebrados bentónicos, cuyo resultado de la tesis fue de 8 especies en verano y 5 especies en invierno.

Para el sector de la RPFMS, y por estar ubicada en las afueras de la ciudad de Guayaquil, es un lugar con menor influencia antropogénica. Por lo que, en este sector se registró mayor riqueza de macroinvertebrados, contando con 22 especies en la época seca y 12 especies en la lluviosa. Los parámetros físicos-químicos se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por el TULAS, con excepción del oxígeno disuelto que, durante la época lluviosa, alcanzó niveles de anoxia (<2mg/l). Además, este sector, se encuentra influenciado por áreas de camaroneras, donde el porcentaje de cubiertas no permeables tiende a aumentar, porque es un territorio planificado para la ampliación urbanística de la ciudad de Guayaquil.

Entre los sectores analizados (SAC y RPFMS), tanto en verano como en invierno, se encontraron diferencias significativas para la mayoría de los parámetros de calidad de agua y sedimento (OD, pH, salinidad, temperatura, SH₂, TDS, conductividad, y porcentaje de arenas, limos y arcillas), y diversidad macrobentónica; lo que muestra que SAC, se encuentra más degradado que el sector de la RPFMS.

Los macroinvertebrados bentónicos suelen ser especies de ciclo de vida corto, bastantes sensibles y presentan una respuesta inmediata a los cambios en el ecosistema donde viven. Por lo general, estos organismos son considerados como variables o indicadores biológicos de contaminación ambiental [14,16]. La distribución y zonificación de estas comunidades dependen principalmente de la salinidad y de otros factores como la temperatura, oxígeno disuelto, concentraciones de sulfuro de hidrógeno, textura del sedimento, de las mareas, y de la contaminación antropogénica [17,18,19,20].

Tanto en SAC, verano del 2008 e invierno del 2009, se presentaron un 99% y 98% de anélidos para cada época. Así también, en el sector de la RPFMS se encontró un 62% para verano 2008 y un 26% para invierno 2009. Esto concuerda con estudios realizados en

Carolina del Sur que reportan que oligoquetos y poliquetos dominan la zona intermareal, por ser algunos de estos organismos tolerantes a condiciones de estrés [9, 14,19].

Oligoquetos del género *Monopylephorus* han sido reportados como un organismo indicador de estrés ambiental, presentes comúnmente en zonas estuarinas con niveles de hipoxia, cambios en el pH, mayor temperatura, altas concentraciones de metales pesados [18,21].

Adicionalmente se ha reportado al oligoqueto *Monopylephorus rubroniveous* como tolerante bajo condiciones de hipoxia severa (<7%) con un LT50 mayor a 14 días, [22]. Además, poliquetos del género *Nereis* han sido reportados como resistentes a niveles de anoxia [23].

Los oligoquetos tubificidos y poliquetos nereidos y capitelidos encontrados en SAC en las estaciones de Kennedy y Urdesa no fueron observados en la estación de Barcelona. Estos oligoquetos consumen plantas vasculares, detritus y normalmente habitan en suelos lodosos [14,23]; lo que explicaría la ausencia de estos organismos en la estación de Barcelona, por la poca presencia de manglares y que el sedimento de dicho sector es de textura arenosa.

La diferencia de riqueza y abundancia de especies entre ambos sectores del Estero, podría darse debido al mayor flujo de marea que existe en el sector de la RPFMS, lo cual permite una intrusión de agua oxigenada [24], proporcionando así un ambiente más estable para los organismos en comparación a SAC.

Adicionalmente, la presencia de anélidos y moluscos en SAC durante el verano, y la notable reducción de moluscos y presencia de individuos del Phylum Artrópoda durante el invierno, podría deberse a que los moluscos necesitan mayor salinidad y concentración de oxígeno, presentes en época seca [24], y de la tolerancia de ciertos crustáceos a condiciones bajas de oxígeno y de sulfuro de hidrógeno [25].

La poca presencia de especies en SAC, y los cambios de distribución y abundancia de época seca a lluviosa, son una respuesta de la biota al incremento de escorrentías y fluctuación de la salinidad por las modificaciones de la cobertura de suelo, especialmente cuando las cubiertas impermeables exceden del 20 al 30% [9].

5. Conclusiones

En general, para ambos sectores (SAC y RPFMS), en la época lluviosa, se pueden percibir las condiciones más adversas del año, debido a que se presentaron condiciones más estresantes para las especies, evidenciado también por: fluctuaciones mayores de salinidad; niveles más bajos de oxígeno que alcanzó niveles de hipoxia (< 30%) en las RPFMS; y de hipoxia severa (10% saturación) y anoxia (< 2% de saturación) en SAC.

En este estudio, la riqueza, distribución y abundancia de las especies fue diferente en cada sector para ambas épocas. Una mayor diversidad de especies se encontró en el sector de la RPFMS, tanto en la época seca del 2008 como en la lluviosa del 2009, dado a que este sector posee una menor influencia antropogénica, una mayor área de manglar, la influencia de mareas, y la extensión de sus ramales en comparación con SAC.

Los organismos más abundantes, que posiblemente serían indicadores de estrés ambiental en el Estero, correspondieron a: individuos de la familia Tubificidae y especie *Capitella* spp., reportados como indicadores de nivel de anoxia; y especies de los géneros *Nitocra*, *Nephtys* y *Nereis* como tolerantes a nivel de hipoxia.

Finalmente, el Estero Salado en SAC (urbano) se encuentra más degradado en cuanto a sus condiciones físicas, químicas y biológicas que el sector de la RPFMS (suburbano), y esta degradación está relacionada directamente con el grado de desarrollo de la cuenca incidental de cada sector. Sin embargo, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto reportadas durante el invierno en la RPFMS, indican que se deben tomar las medidas necesarias para preservar este sector que ha comenzado a ser afectado por el crecimiento urbano acelerado de la ciudad.

6. Agradecimientos

En primer lugar al Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT), y a la FIMCBOR por el financiamiento brindado a esta tesis. Al personal administrativo y docente de la FIMCBOR y al laboratorio de Ecotoxicología. Al Ministerio de Ambiente, Instituto Nacional de Pesca (INP), M.I. Municipalidad de Guayaquil por la bibliografía proporcionada. A la Blga. Karina González por su ayuda en la identificación taxonómica del bentos, a Blga. Madeleine Calle, Ac. Verónica Ruiz, Ing. Jorge Calle, y Blgo. Marco Álvarez por su aporte técnico en la colección de muestras y análisis estadísticos resultados. A nuestros amigos, en especial a: David Altamirano,

Alejandra Ibarra, Cristina Morales y David Pacheco por su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.

7. Referencias

- [1]. Pritchard, D. W. 1967. What is an estuary: Physical viewpoint. In Lauff GH, Ed. Estuaries. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, pp 93-99.
- [2]. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) 2001. Censo de población y vivienda, 2001. [Acceso el 18 de Enero de 2010]. Página web: http://www.inec.gob.ec/web/guest/descargas/basedatos/cen_nac/cen_pob_nac_2001?doAsUserId=p%252Bx9vuBVM9g%253D. Visitado el 18 de Enero de 2010.
- [3]. Empresa Municipal de Alcantarillado de Guayaquil (EMAG). 1980. Plan de Recuperación del Estero Salado primera parte. Guayaquil- Ecuador.
- [4]. Ayarza, W., Coello, S., Chalén, N., Garcés, P., García, L., García, M.L., Omarza, F., Pérez, E., Pesantes, F., Solórzano, L. 1993. Estudios Geobioquímicos de la Sección Urbana del Estero Salado. Ecuador. Revista de Ciencias del Mar y Limnología. Guayaquil Vol. 3 (1): 1-19.
- [5]. Solórzano, L., Viteri, G. 1993. Investigación Química del Estero Salado. Revista de Ciencias del Mar y Limnología Vol. 3 (1): 41- 48.
- [6]. M.I. Municipalidad de Guayaquil. 2007. Plan de Manejo Reserva de Producción Faunística Manglares el Salado Tomo I-Fase II. Ecuador.
- [7]. Lahmeyer-Cimentaciones. 1997. Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y Selección de la Mejor Alternativa del PIRES. Preparado para la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador; 1997.
- [8]. Calle, P. 2010. Diferencias en distribución y abundancia de macro invertebrados bentónicos en sectores del Estero Salado con diferente grado de influencia antropogénica. Primer Simposio de Biodiversidad Marina y Costera de Latinoamérica y el Caribe y Segundo Simposio Nacional de Biodiversidad Marina y Costera. Manta-Ecuador Diciembre 2010.
- [9]. Holland, A.F., Sanger, D.M., Gawle, C. P., Lerberg, S.B., Santiago, M.S., Riekerk, G.H.M., Zimmerman, L.E., Scott, G.E.. 2004. Linkages between Tidal Creek Ecosystems and the Landscape and Demographic Attributes of their Watersheds. Journal Experimental Marine Biology and Ecology Vol. 298: 151-178.
- [10]. Mora, E., Reinoso, B. 1981. Investigaciones Preliminares sobre el estado actual de las poblaciones de ostiones en tres zonas del Estuario Interior del Golfo de Guayaquil. Revista de Ciencias del Mar y Limnología Vol. 1: 49-59.
- [11]. Carvajal, R., Jiménez, M., Iturralde, P. 2006. Zonificación de la Reserva de Producción de Fauna Manglares El Salado. Fundación Natura. Guayaquil-Ecuador.
- [12]. Plumb Jr. R.H. 1981. Procedures for handling and chemical analysis of sediment and water samples. Technical Report EPA/CE-81-1. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency/Corps of Engineers Technical Committee on Criteria for Dredged and Filled Material. Published by Environmental Laboratory, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, M.S.
- [13]. Sheppard, F.P., 1954. Nomenclature bases on sand-silt clay ratios. J. Sediment Petrol. 24(3): 151-158.
- [14]. Gillet, D., Holland, A.F., Sanger, D. 2005. Secondary Production of a dominant Oligochaete (*Monopylephorus rubroniveus*) in the Tidal Creeks of South Carolina and its relation to ecosystem Characteristics. Limnology and Oceanography Vol.50 (2): 566-577.
- [15]. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, TULAS. 2007. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua; Libro VI Anexo 1.Tabla 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. Ministerio de Ambiente, Ecuador
- [16]. M.I. Municipalidad de Guayaquil. 2007. Plan de Monitoreo Ambiental del Plan de Manejo de la Reserva de Producción Faunística Manglares el Salado Tomo II-Fase II. Guayaquil – Ecuador.
- [17]. Alonso, A., Camargo, J.A. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadores del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. Dpto. Interuniversitario de Ecología. Sección de Alcalá. Edificio de Ciencias. Universidad de Alcalá, España.
- [18]. Chapman P.M., Wang, F. 2001. Assessing Sediment Contamination in Estuaries. Annual Review Environmental Toxicology and Chemistry Vol. 20, (1): 3-22
- [19]. Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., Parra, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76: 275-285.
- [20]. Vásquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., Castro, T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-X.
- [21]. Sandberg, E., Vismann, B., Hagerman, L. 1999. Tolerance of the Baltic Amphipod *Monoporeia Affinis* to Hypoxia, Anoxia and Hydrogen Sulfide. OPHELIA 50 (1): 61-68.
- [22]. Calle, K.P. 2006. Tolerance of Tidal Creek Macroinvertebrates to Multiple Stressors: Implications on Distributional Patterns. University of South Carolina. United State.
- [23]. Cheng, J., Levinton, J.S., McCartney, M., Martinez, D., Weissburg, M.J. 1993. A Bioassay Approach to Seasonal Variation in the Nutritional Value of Sediment. Marine Ecology Progress Series Vol. 94: 275-285.
- [24]. Cruz, M. 2003. Malacología Bentónica existente en los alrededores de la ciudad de Guayaquil (Estero Salado y Río Guayas), Durante 2003. Acta Oceanográfica del Pacífico Vol. 12 (1): 135-145.
- [25]. Llansó, R. J. 1991. Tolerance of Low Dissolved Oxygen and Hydrogen Sulfide by the Polychaete *Streblospio benedicti* (Webster). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Vol. 153: 165-178.