

CAPÍTULO 4

VARIABLES OCEANOGRÁFICAS.

Una de las cuestiones de mayor interés para lograr un manejo ambiental integrado de los sistemas acuícolas es alcanzar una valoración objetiva del medio en que éstos se insertan, para el caso del Golfo de Guayaquil (GG) y los sistemas acuícolas que sustenta, es necesario e interesante comprender la naturaleza y descifrar los mecanismos de los procesos que ocurren en el sistema estuarino, esto forma parte del ámbito de acción de la oceanografía.

En oceanografía generalmente las variables se presentan agrupadas en tres grandes disciplinas: físicas, químicas y biológicas. Otras variables usadas en los estudios interdisciplinarios de ambientes marinos se relacionan con el suelo o fondo marino y con la atmósfera, éstas son variables geológicas y meteorológicas. El número de variables posibles a considerar es muy extenso y en general la inclusión de algunas de ellas dependerá de los objetivos, alcance y recursos de cada estudio.

A la vez estos parámetros o variables se pueden distinguir de acuerdo a si se refieren a propiedades físicas o químicas del agua misma, a sustancias o compuestos en disolución en ella, ó si se relacionan con las formas de energía que mueven el cuerpo de agua, es decir la hidrodinámica del flujo. Todos sirven para indistintamente caracterizar los cuerpos de agua y para explicar los fenómenos relacionados con su dinámica y los procesos físico-químicos y biológicos.

Un aspecto importante en los estudios integrales de los ecosistemas es la biota, representada por los organismos vivos del ambiente. La presencia y características de estas poblaciones son tomadas frecuentemente como indicadores del estatus y condiciones del medio, al ser ellas dependientes de las variaciones de los parámetros ambientales.

En este capítulo se describen las variables oceanográficas, en especial estuarinas, usadas con más frecuencia en los estudios e investigaciones realizados en el área, incluyendo datos disponibles relativos a ellas en el Golfo de Guayaquil. De entre los estudios realizados, los de Stevenson llevados a cabo entre 1962-1964 y 1970, son citados de manera recurrente como un referente por dos razones básicas; primero, cubren un periodo de 2 años de muestreos y segundo cubren el área de interés de la tesis en ciernes, esto es, los estuarios interior y exterior del GG.

4.1 Variables físicas

Las variables oceanográficas físicas concernientes a la dinámica del cuerpo de agua son las corrientes, mareas y olas; en los estuarios existen otras características de interés que se relacionan con la circulación y movimiento del agua en la cuenca, éstas son la mezcla, el prisma de mareas y la tasa de renovación. Estas variables son críticas a la hora de estimar las trayectorias y el comportamiento que podrían tener las sustancias que ingresan al sistema.

Entre las variables relacionadas con las propiedades físicas de la masa de agua que son usadas frecuentemente están la temperatura, profundidad, transparencia y turbiedad.

4.1.1 Circulación del agua y clasificación del Estuario

La circulación es el proceso dinámico que está relacionado con el movimiento del agua dentro del estuario tanto a nivel superficial como en toda la columna y que exhibe complejas variabilidades temporales y espaciales. Es conducida por los patrones de las corrientes.

Sobre la circulación a gran escala del agua en los estuarios se adopta generalmente un modelo de flujo de dos capas, una superior que es la descarga de agua dulce corriendo sobre otra

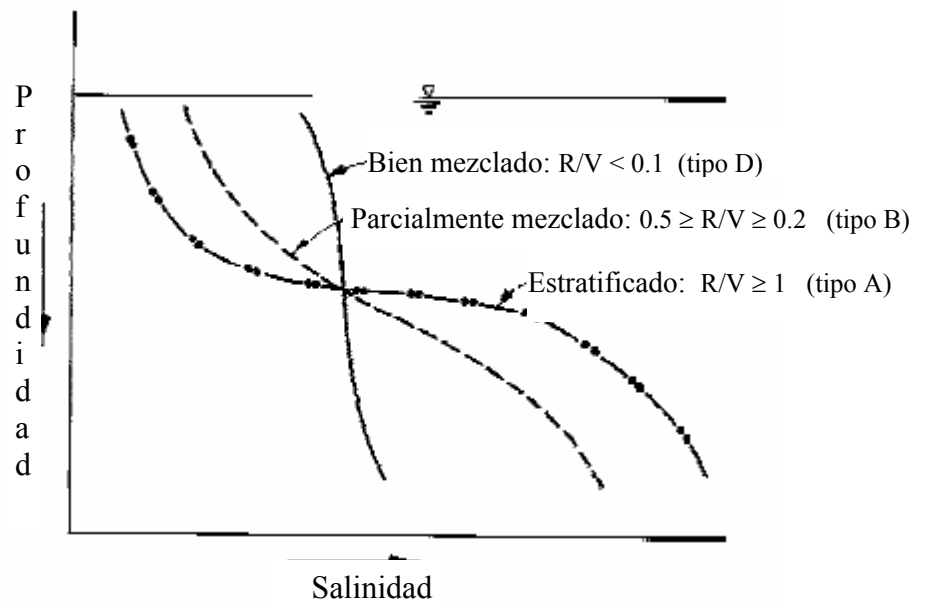
subyacente, que es la lengua de agua salina que se desliza por el fondo internándose en el continente. Las características singulares de cada estuario están dadas por el grado de mezcla de estos dos flujos, por la fuerza de las mareas y por la cantidad de descarga de agua dulce.

Los estuarios se pueden clasificar tanto por su estructura geológica (Pritchard, 1952), como por el modelo hidrodinámico de mezcla (Cameron y Pritchard, 1963); de acuerdo a estas precisiones Stevenson (1981), señala que el GG corresponde por el primer criterio al tipo tectónico y aunque consideró no tener los datos suficientes para clasificar los estuarios de acuerdo a criterios hidrodinámicos, de manera preliminar, señala al estuario exterior como siendo siempre de tipo D es decir bien mezclado y al estuario interior, dependiendo de la localidad, como variando entre tipo B, o sea parcialmente mezclado, en época lluviosa y tipo D en época seca. La razón de derrame, usada para separar las categorías es el denominado radio de Simmonds (R/V). En la Figura 8 se presentan esquemáticamente las dos escalas usadas para clasificar el estuario.

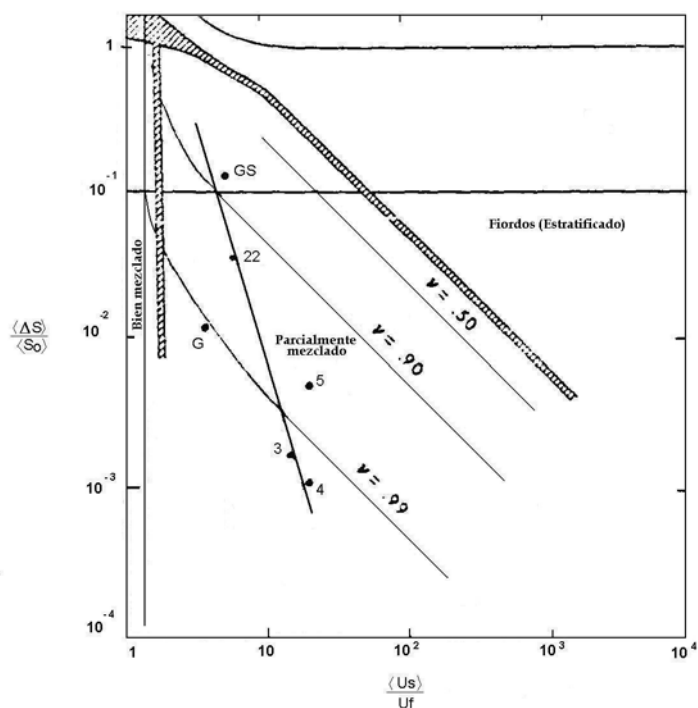
Figura 8.

a) Tipos de estuario según su estructura salina (Cameron y Pritchard; b) Clasificación según parámetros de circulación y estratificación de Hansen-Rattray aplicada al estuario del Río Guayas

a)



b)



Fuente: <http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em1110-2-1607/c-2.pdf>

Murray (1975), de acuerdo al diagrama de circulación - estratificación de Hansen y Rattray clasifica al sistema del río Guayas como un estuario tipo 2B pobremente desarrollado y parcialmente mezclado. En la escala de Hansen y Rattray los estuarios de tipo 2 son aquellos que experimentan reversión del flujo neto con profundidad, son parcialmente mezclados, en los que la difusión y la advección son importantes en el flujo neto de sal aguas arriba.

4.1.2 Corrientes

En los cuerpos de agua el movimiento de traslación que mueve las masas de agua de un lugar a otro es el de las corrientes; en mar abierto éstas pueden ser causadas por la acción del viento, por las diferencias de densidad o por la acción de las mareas. Influyen sobre las características de las corrientes la rotación de la tierra y la fricción con los continentes.

Como se indicó en el capítulo 3, en los estuarios se distinguen tres fuerzas conductoras del movimiento del agua principales: la descarga de los ríos, el esfuerzo del viento sobre la superficie estuarina y las mareas, además por ser cuencas semicerradas la forma de los canales y la fricción causan distorsiones importantes en los patrones de circulación locales.

Para el caso del Golfo de Guayaquil, según Stevenson (1981), las corrientes en el estuario interior están formadas por una combinación del aporte fluvial y las corrientes de marea, existiendo una corriente de fondo, lenta y ascendente de agua salina para reemplazar a aquella desplazada por el aporte fluvial. En tanto que las corrientes en el estuario exterior son una combinación de corrientes geostróficas, corrientes

inducidas por el viento, corrientes de inercia y corrientes de marea.

Stevenson calculó la circulación geostrofica para el estuario exterior en las dos estaciones climáticas (seca y lluviosa), entre sus resultados encontró que la circulación en los primeros 20 m es hacia el sureste en la parte norte del estuario y hacia el suroeste en el sur y que la circulación es más rápida durante la temporada de lluvias.

En 1990 Medina F., realizó mediciones integradas de corrientes en una estación ubicada a 1.8 km al noroeste de la Isla Santa Clara, Golfo exterior; entre sus resultados señala que la circulación en el área está fuertemente influenciada por las corrientes de marea.

Datos cuantitativos obtenidos de mediciones directas durante el mes de julio del año 1970, en estudio complementario realizado por Stevenson en el estuario exterior y parte del interior hasta el Canal de Cascajal, señalan magnitudes de 1.63 m/s en el Canal de Morro en donde se midieron las velocidades más altas y de hasta 0.5 m/s en el Canal de Jambelí.

Según CAAM (1996), las corrientes encontradas en el estuario interior son las denominadas corrientes de marea, producto del

vaivén periódico de la onda de marea. Bajo su influjo el agua oscila horizontalmente distancias de hasta 30 km con velocidades entre 0.5 y 3.5 m/s dependiendo del rango de la marea y de la ubicación en el estuario.

Murray et al (1975), describen el campo de velocidades de corriente en el estuario interior para un ciclo completo de mareas durante la estación seca. En este estudio se encontró que las corrientes de marea presentan un desfase de aproximadamente 2 horas entre la boca del estuario interior (Canal de Jambelí al sur de la Isla Puná) y Guayaquil, desfase que también se observa en el Estero Salado; y que en toda la extensión del canal se produce un retardo entre la eosta y la pleamar de entre 30 y 40 minutos, lo que concuerda con el comportamiento de una onda en un canal irregular retardada por la fricción. Además se reveló un interesante patrón de circulación de cuatro fases en el ciclo de mareas en el Canal de Cascajal, en el que se presentan consecutivamente flujos en sentidos opuestos combinados con movimientos convergentes y divergentes de las corrientes.

La distribución de las velocidades verticales en una sección transversal del Río Guayas durante un ciclo de marea, descrita

y analizada también por Murray et al (1975), muestra magnitudes mayores en el lado este del canal y cerca de la superficie en todo el ciclo de la marea; las magnitudes de las velocidades fueron similares en el flujo y reflujo. La sección en la que se realizaron estas determinaciones se localizó 16.5 km aguas abajo de Guayaquil.

En el Estero Salado se encuentran débiles corrientes de densidad y fuertes corrientes de marea en los canales (APG-DHL, 1985). Las mediciones de corrientes realizadas entre los meses de septiembre y octubre de 1984, muestran que las velocidades a lo largo del canal del Estero fueron mayores en estaciones ubicadas cerca de la desembocadura del Estero Sabana Grande, en donde se encontró el valor máximo de velocidad de la corriente de 2.16 m/s en sicigia-flujo a 7 m de profundidad. La dirección de las corrientes en los canales concuerda con la dirección del movimiento de la marea, hacia el noreste en el flujo y hacia el suroeste en el reflujo, excepto para el caso del Canal de Cascajal, en donde fueron hacia el este en el flujo y el oeste en el reflujo, ligeramente diferente del patrón previamente encontrado por Murray en este canal.

En el proyecto conjunto entre VUB, INOCAR y ESPOL, “Implantación de un GIS en el río Guayas y estero Salado”, 1996-1997, el valor máximo de velocidad de la corriente de 2.42 m/s se encontró en agosto de 1996 en la estación ubicada en el río Guayas próxima a la Puntilla, en cuadratura flujo a 3 m de la superficie.

Tabla 3.

Valores máximos de corrientes medias en la columna de agua

Fuente:	Magnitud máxima (m/s)	
	DELFT (1984)	VUB- INOCAR –ESPOL (1996)
Sicigia-Flujo	1.86	1.30
Sicigia-Reflujo	1.72	1.26
Cuadratura-Flujo	1.16	1.87
Cuadratura-Reflujo	1.05	1.94

En general en los estuarios las mayores velocidades ocurren en la mitad de los ciclos de flujo y reflujo de la marea, en la boca y cabecera y durante las mareas vivas o de sicigia; mientras que las menores se registran durante las estoas de pleamar y bajamar (quiebre de la marea), en las localidades intermedias

del recorrido del canal, y durante las mareas muertas o fases de cuadratura.

4.1.3 Mareas

El sistema marino- fluvial formado por el Río Guayas y el Estero Salado está dominado por la fuerza de la marea.

Como lo señala Chavarría (1988), para las aguas estuarinas del Golfo, influenciadas por las mareas en particular, y para el mar ecuatoriano en general, existe una preponderancia de las componentes semidiurnas sobre las diurnas, lo cual permite tener dos pleamares y dos bajamares cada 24.8 horas.

La marea en todo el Golfo es por tanto de tipo semidiurna con pequeñas desigualdades diarias. Su rango cambia de acuerdo a las fases de la luna y debido a la fricción hidráulica lateral y de fondo, la que deforma la onda en su viaje aguas arriba a lo largo de los canales del Golfo interior (APG- DHL,1985). Así por ejemplo en el Golfo exterior el rango de la marea cambia entre 1.5 m en cuadratura a 2.3 m en sicigia y en el estuario interior, cerca de la ciudad de Guayaquil, el rango está entre 2.9 m en cuadratura y 4.0 m en sicigia.

La onda de marea procedente del océano viaja una distancia de 80 km desde su ingreso al Golfo, a través del meridiano 81° W, hasta las entradas de los canales de Jambelí y Morro, desde allí aguas arriba hasta Guayaquil recorre aproximadamente 130 y 70 km a lo largo del Río Guayas y el Estero Salado respectivamente.

El tiempo de viaje de la onda hasta Guayaquil (vía el río Guayas) respecto al momento de su ingreso al sistema es de aproximadamente 4 horas, mientras que hasta el Puerto Marítimo (vía Estero Salado), la onda llega con un desfase de 3 horas. El “retraso” y la distorsión del perfil de la onda, producen en el canal del Río Guayas que los reflujos sean más largos que los flujos.

Chavarría (1988), sostiene que es muy probable que en el Estero Salado el gasto de la energía de la marea sería mínimo al no existir la influencia directa de las aguas del Río Guayas; ésto daría lugar a la reflexión de dicha energía con la consiguiente tendencia a la formación de ondas estacionarias o cuasi-estacionarias, lo que producirá amplitudes mayores en la cabecera y menores en la boca del brazo de mar. Además señala un comportamiento típico de ondas estacionarias en el

sector norte del Estero Salado evidenciado por la distribución de las líneas de cofase y corango. En este mismo sector del Estero, el comportamiento de la onda es predominantemente influenciado por el océano, siendo los efectos locales despreciables. Estableció, también a partir del análisis de la estabilidad de los promedios anuales de los niveles de referencia de las mareas, que el sector norte del Estero Salado es una zona bastante protegida y con poco intercambio de agua con el océano.

El límite de influencia de las mareas varía considerablemente con los caudales y en los meses de estiaje cuando éstos disminuyen, la influencia de la marea es mayor dejándose sentir mucho más lejos aguas arriba, así en el río Daule en ocasiones llega hasta Palestina, localizada a 62 km de Guayaquil y en el río Babahoyo hasta un poco más arriba de dicha población, localizada a 71 km río arriba de Guayaquil.

4.1.4 Olas

No existe información abundante sobre este tópico, entre las fuentes consultadas se encontró la siguiente información:

Las ondas (olas) dentro del estuario consisten de ondas de viento generadas localmente con un periodo de cuatro segundos o menos y una altura que generalmente será menor que 0.5 m y rara vez excederán 1 m. (APG-DHL, 1985).

En Informe presentado por EDC del Programa de Monitoreo de agosto del 2001 sobre la explotación de gas por esta empresa en el estuario exterior, en las cercanías de la Isla Santa Clara, se indica que las olas presentes de acuerdo a los periodos encontrados son generadas localmente por el esfuerzo del viento y existen algunos componentes de mares de leva, las alturas están alrededor de los 0.3 m y las direcciones predominantes son del suroeste, sur y sureste.

4.1.4 Mezcla, prisma de mareas y tasa de renovación del agua

Mezcla en el estuario

La mezcla en los estuarios está en función de la energía de la descarga de agua dulce, las corrientes de marea, el viento y otros tipos de energía impulsores de origen y carácter diverso. La acción simultánea de estas fuerzas produce la mezcla en la mayoría de los estuarios, y por lo tanto su intensidad puede

cambiar en función de que ellas intensifiquen su acción a lo largo del tiempo.

- La diferencia de densidades (función principalmente de la salinidad para el caso de los estuarios) entre el río y el mar genera la circulación estuarina, la cual es una forma de mezcla advectiva. Los gradientes de presión ocurren por la inclinación de las isopichnas y controlan la dirección del flujo conducido por la densidad media, lo que conduce al clásico patrón de circulación estuarina (i.e., circulación gravitacional). (Robles, 1992).
- La fuerza de la marea usualmente es la más importante causa de mezcla en estuarios. La interacción entre las corrientes de marea y las fronteras estuarinas genera turbulencia y causa mezcla a larga escala como el bombeo de marea (mezcla advectiva) y efectos dispersivos (i. e., lavado, corte y atrapamiento). La mezcla se produce porque una parte de la energía de las mareas se convierte en energía cinética de turbulencia, parte de la cual se usa para aumentar la energía potencial del agua mediante mezcla vertical. (Robles, 1992 citando a Bowden, 1967).
- El esfuerzo del viento es importante en la mezcla del agua solo en estuarios abiertos y someros.

En sicigia con las amplitudes de marea y las corrientes intensificadas se produce un aumento de la mezcla vertical, permitiendo que los nutrientes y partículas de comida de la capa de fondo se mezclen en la zona fótica, aumente la producción y exista una renovación de oxígeno en toda la columna. Este hecho hace posible que un estuario dado alterne entre los estados estratificados a los bien mezclados, según varíe la fase de marea. (Robles, 1992).

Una medida de la mezcla en los estuarios es la distribución temporal y espacial del material disuelto/suspendido, entre éstos en especial la distribución de salinidad, ya que se trata de un constituyente conservativo de fácil determinación y que en la naturaleza presenta marcados gradientes en los estuarios.

Con la mezcla se usan los conceptos de coeficientes de difusión y dispersión, los que se relacionan con las transferencias de energía en el proceso. En estudios precedentes se ha encontrado los siguientes valores de los coeficientes en las localidades indicadas a continuación:

Tabla 4.
Cálculos de coeficientes de dispersión y difusión en el Golfo de Guayaquil

Localidad	Coeficiente de dispersión (cm²/s)	Coeficiente de difusión (km²/día)	Estación climática
Canal del Morro	330	10-100	Seca
Canal de Cascajal	330	10-100	Seca
Canal de Jambelí, borde interior	42	---	Seca
Canal de Jambelí, borde exterior	6	---	Seca
Río Guayas (Tramo Punta de Piedras-Isla Verde)	---	25-40	Seca

Prisma de mareas

El prisma de marea es la cuña de agua que ingresa al sistema del Golfo con la onda de la marea, se lo calcula de la diferencia entre los volúmenes de agua en la pleamar y la bajamar. En el sistema estuarino del Golfo se han obtenido $1\,228 \times 10^6 \text{ m}^3$

para el ramal del Estero Salado-Canal del Morro y $4\,432 \times 10^6$ m³ para el ramal del Río Guayas-Canal de Jambelí.

Tiempo de renovación

El tiempo de residencia ó tiempo promedio que le toma a una partícula de agua pasar a través del estuario se denomina tiempo de renovación. Se han hecho algunas estimaciones de esta variable en el estuario interior del Golfo de Guayaquil.

Murray et al (1975), identificó una zona de mezcla intensa de agua de río y mar al sur de Guayaquil y calculó el tiempo de renovación para el Río Guayas, indicado por la distribución longitudinal de la salinidad, en aproximadamente 21 días. Encontró que la convección gravitacional estaba pobremente desarrollada y se presentó solo localmente, pero un flujo de sal significativo aguas arriba ocurre en el prisma de marea.

Otro cálculo fue realizado por Palacios (1989) en el sistema Río Guayas-Canal de Cascajal, para un rango de caudales posibles entre 50 y 2500 m³/s, para la estación seca se obtuvo un valor de 13 días y 8 para la estación lluviosa.

V.H. Rivera-Monroy, R.R. Twilley y B.F. Jonsson, (2000), utilizando un modelo de cajas similar al de Twilley *et al.* (1999);

calcularon el tiempo de intercambio de agua para las estaciones lluviosa y seca en el Río Guayas en el tramo entre el sur de las Islas Santay y Mondragón, el que fue dividido, para fines de aplicación del modelo en tres secciones o cajas, los tiempos obtenidos fueron 8 y 9 días para la época lluviosa y seca respectivamente, estos resultados son similares a los estimados por Twilley *et al.* (1999), de 11 días, usando una aproximación del modelo de cajas de Miller y Mcpherson (1991).

Tabla 5.

Flujo de agua y tiempo de renovación en el Estuario del Río Guayas, estaciones seca y lluviosa

Estación	Flujo residual ($10^6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$)	Volumen de mezcla ($10^6 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$)	Tiempo de renovación (día)
Lluviosa (4 meses)	121	202	8
Seca (8 meses)	27	275	9
Anual	58	251	9

Fuente:<http://data.ecology.su.se/MNODE/South%20America/guayaquil/Guayaquil/Guayaquilbud.htm>

La suma de todos los flujos que entran y salen del sistema se denomina flujo residual, esta resultante puede ser un flujo neto entrante o saliente, aunque frecuentemente es tratado como un aporte, puede tener un valor negativo (lo que se traduciría como pérdida de flujo).

4.1.6 Temperatura

La principal fuente de calor en los cuerpos de agua es la radiación solar. Múltiples variables afectan la temperatura de una masa de agua, entre las cuales están: la latitud, la estación del año, la profundidad, el volumen, la temperatura de los tributarios, la temperatura de las descargas, etc.

Las especies vivas del agua tienen requerimientos de temperatura deseable para su óptimo desarrollo, razón de la importancia de la observación de este parámetro en los estudios relacionados con la evaluación del ambiente acuático.

Es posible describir de manera general un perfil zonal de la distribución vertical de temperatura de acuerdo a las regiones climáticas. En las zonas tropicales el patrón observado es una capa superior bien mezclada de espesor variable de temperatura uniforme que se llama zona de mezcla, seguida por una zona con un agudo gradiente de temperatura llamada

la termoclina, y bajo ella la capa profunda que es más fría y se extiende hasta el fondo oceánico.

La distribución superficial en el GG y las estructuras verticales de esta variable en varias secciones del mismo para las estaciones seca y lluviosa están documentadas en el estudio de Stevenson (1981), además ésta es una variable presente en la mayor parte de los estudios de campo realizados en el área.

El comportamiento de la temperatura en el Golfo muestra patrones estacionales tanto a nivel superficial como subsuperficial. En el estuario exterior a nivel superficial la temperatura está entre 21 y 23° en la estación seca y entre 25 y 27° en la estación de lluvias. A nivel de la columna de agua el Canal del Morro presenta consistentemente una estructura isotérmica a lo largo del año, mientras que en el Canal de Jambelí y en el estuario exterior se presentan gradientes mayores en la estación lluviosa.

Entre las fuentes consultadas los resultados de Stevenson, son considerados como referentes por el periodo de estudio y por la sistematización del trabajo realizado.

4.1.7 Profundidad, disco Secchi y turbiedad

Profundidad

La profundidad de los cuerpos de agua y especialmente de los estuarios es importante en la medida en que influye en la respuesta del cuerpo de agua a la acción de factores como el viento y las mareas para cambiar la distribución de la columna de agua.

En el GG de especial interés son las profundidades del Canal de Acceso en el estuario interior, debido a que el tránsito naviero hacia el Puerto depende de que se mantengan las profundidades adecuadas. Se han realizado varias determinaciones de la batimetría de este canal.

En 1984, de acuerdo al estudio hecho por la DELFT de la comparación de diferentes mapas hidrográficos y sondajes del estuario desde 1952 hasta 1984 y de datos históricos, el Estero Salado pareció estar en un estado de equilibrio dinámico, con cambios pequeños en la línea de costa principalmente debido a efectos de serpenteo y las profundidades naturales del agua no cambiaron en ese período excepto localmente debido al comportamiento dinámico de los canales y bancos,

particularmente en el área entre las boyas 17 y 39 del canal de acceso donde el estuario tiene más de un canal principal, también desde el Estero Corvinera hasta el Libertad se pudo observar en el período entre 1978 y 1984 un área de sedimentación visible. En este estudio se atribuye esto a la considerable reducción del área de almacenamiento del Estero Salado por la construcción de camarónicas.

Rada F., (1986) describe las profundidades y composición del fondo en el Estero Salado, distinguiendo 3 sectores:

- Desde la desembocadura hasta la boya 35, la profundidad disminuye de 20 a 8 m, con una pendiente media de 1:1000. La capa de sedimento aumenta desde cero (fondo rocoso en la desembocadura) hasta valores superiores a los 10 m.
- Entre las boyas 35 - 55 (parte media del Estero), el fondo es relativamente plano, la profundidad se mantiene en los 8 m y el espesor de los sedimentos supera los 10 m.
- De la boya 55 hasta cerca de Guayaquil, se mantiene la capa de sedimento pero se incrementa las profundidades hasta valores superiores a los 20 m.

El sedimento de fondo se encuentra depositado en dos tendencias, la una en los flancos del canal un sedimento tipo limo-arcilloso, mal clasificado y la otra un sedimento areno-limoso, moderadamente clasificado, que tiende a depositarse cerca del eje del canal.

El cauce del Río Guayas es más alto que el del Estero Salado debido a las grandes cantidades de sedimentos transportados desde la cuenca alta del Guayas. La batimetría del Río Guayas, parece estar cambiando más rápidamente en especial en la cabecera del estuario frente a Guayaquil, donde se presenta una visible sedimentación y formación de islas, las que son atribuidas a causas como la deforestación de la cuenca del Guayas, la incidencia del Fenómeno del Niño, el crecimiento de la ciudad, la construcción de la Presa Daule Peripa, principalmente.

En el oeste del estuario exterior del Golfo las isobatas se orientan en sentido norte sur, sin embargo hacia el este, adentrándose hacia el estuario interior, cambian y se ajustan al perfil de la línea de costa. El Golfo representa una gran porción de la plataforma continental, las profundidades del área están en el rango entre 20 y 150 m, la pendiente estimada es de

0.15% (CAAM, 1996). Las profundidades disminuyen hacia el este, excepción hecha para el Canal del Morro y algunos sectores del Canal de Jambelí (Stevenson ,1981).

Disco Secchi – Turbidez

Como señala Stevenson las determinaciones con el disco Secchi suministran una imagen general de la extensión vertical de la capa de agua superficial que recibe suficiente luz para la fotosíntesis.

Las lecturas del disco Secchi dependen de la turbidez que está dada por la cantidad de materia suspendida presente en el agua; la claridad de un cuerpo de agua es un determinante principal de la condición y la productividad del mismo.

Las determinaciones con el disco Secchi ayudan a evaluar el grado de turbidez en el agua y de manera indirecta se puede calcular la profundidad de la zona eufótica (PC) por medio de la relación derivada de la combinación de la ley de Lambert y la fórmula empírica de Sverdrup:

$$PC = 2.7 *lectura Disco Secchi$$

Stevenson (1981), encontró valores de 1-3 m en el estuario interior y 11 m en el estuario exterior, no halló variaciones estacionales importantes.

4.2 Variables químicas

La distribución espacial y temporal de determinadas variables consideradas dentro del campo de la oceanografía química es interesante en la medida que sus patrones de distribución se relacionan con los de otras de carácter biológico y físico y con los procesos geobioquímicos en la columna de agua.

Varios estudios en el GG han documentado el comportamiento de ellas en localidades de interés específico y para períodos “cortos”. El estudio de Stevenson (1981) analiza algunas de estas variables y cubre el periodo más largo de estudios sistemáticos en el Golfo.

4.2.1 Salinidad

La salinidad se define como los sólidos totales después de que todos los carbonatos han sido convertidos a óxidos, todo el bromo y yodo ha sido reemplazado por cloro y toda la materia orgánica ha sido oxidada. La salinidad es medida como gramos de sólidos disueltos en un kilogramo de agua de mar y se expresa en partes por mil ($^{\circ}/_{00}$ ó ppt).

La estructura salina de los cuerpos de agua cambia espacialmente y en el tiempo, los factores que influyen en la salinidad en un área particular son la evaporación, precipitación, congelamiento, escorrentías y advección.

La salinidad del agua de mar está dentro de un rango de 33 a 38 ppt; en las zonas costeras y estuarinas puede fluctuar entre 0 y 40 ppt y en algunas lagunas costeras y mares encerrados se han encontrado valores de hasta 270 ppt. (Impacts of Human Activities on Marine Ecosystems, 1990).

La salinidad es una de las variables ambientales importantes del agua de acuerdo a la cual se distribuyen las especies en una zona. En ambientes estuarinos la distribución de la salinidad juega un papel importante en la explicación de corrientes geostróficas.

En el Golfo de Guayaquil, el gradiente espacial de salinidad superficial es más agudo en el estuario interior en la época de lluvias, mientras que el estuario exterior es menos influenciado por el factor estacional. A nivel de la estructura de la columna de agua en el estuario interior es notable la diferencia entre épocas seca y lluviosa, en esta última se presentan gradientes verticales dos veces mayores respecto a los de la estación

seca; en el estuario exterior los gradientes son semejantes y cambia la posición de las isohalinas (Stevenson, 1981).

En el Estero Salado las salinidades presentan diferencias significativas entre superficie y fondo, entre época seca y lluviosa y de una localidad a otra. En estudios realizados entre 1992-1995, el valor medio inferior encontrado fue de 18.64 ppt ocurrió en mayo de 1993 y el valor más alto 29.86 ppt se halló en noviembre de 1994. En el Río Guayas a lo largo del eje del canal a nivel superficial, desde Guayaquil hasta Punta Mandinga, se encontraron valores, para la época lluviosa entre 0.0 y 10.0 ppt en el reflujó, mientras en época seca en el flujo variaron entre 10 ppt y 33.0 ppt en las mismas ubicaciones.

4.2.2 Densidad

La distribución de densidad en los estuarios está en función de la salinidad, y también fue determinada en el GG por Stevenson (1981).

Las densidades a nivel superficial son menores en la época de lluvias y la estructura vertical en varias secciones es coherente con la notable influencia de la descarga del Río Guayas en los cambios de los valores del parámetro.

4.2.3 pH

El pH es uno de los criterios usados para el control de calidad de agua, debido a que es un factor crítico en el medio al existir especies que requieren un ambiente de condiciones relativamente estables para sobrevivir, ellas son más sensitivas que otras a los cambios de pH. Se han establecido valores estándares esperados para los distintos tipos de cuerpos acuáticos.

El océano actúa como una solución buffer por la gran cantidad de carbonatos en solución presente, su pH es aproximadamente 8, y fenómenos como la lluvia ácida no ocasionan alteración en esos valores. Sin embargo aquellos procesos en que se involucra una gran cantidad de CO₂ como la fotosíntesis y la respiración, pueden cambiar el equilibrio del carbonato aumentando o disminuyendo el pH hasta valores de 9 y 7.5 respectivamente. Generalmente los valores de pH encontrados en la superficie difieren de los del fondo por la intensidad con que estos procesos se desarrollan a distintos niveles de agua.

En los resultados de Stevenson (1981) esta variable siempre crece hacia el océano, se encuentran diferencias de hasta 0.5 unidades entre el estuario interior y exterior en la época lluviosa y la estructura vertical difiere para cada lugar y época, así mientras en algunas secciones los pH menores se encuentran en el fondo en otros se encuentran núcleos de pH mayor en niveles inferiores. Las distribuciones del pH en el Golfo fueron representadas gráficamente por Stevenson (1981).

La distribución del pH en un estuario es un indicador del grado de descomposición y remineralización de los compuestos orgánicos a nutrientes inorgánicos usados por el fitoplancton. A la vez en los estuarios, el pH del agua puede ser alterado por factores antropogénicos como las descargas químicas de las comunidades e industrias asentadas en sus riberas.

4.2.4 Sedimentos suspendidos

La concentración de sólidos suspendidos, está relacionada cercanamente con la turbidez, y se refiere a las partículas presentes en suspensión en el agua, cuyo origen y naturaleza son diversos y que ocasionan una disminución de la penetración de la luz a las capas más profundas por absorción y dispersión. Valores elevados de este parámetro afectan la

producción primaria al bajar el ritmo de la fotosíntesis interfiriendo seriamente la vida y reproducción de muchas especies.

Los sólidos sedimentables, aquellos suspendidos que se depositan en el corto periodo, pueden causar daños graves a los organismos bentónicos obstruyendo los espacios destinados a reproducción y alimentación de esos y otros organismos.

Los sedimentos en los estuarios se originan frecuentemente de la erosión y lavado de suelos de las cuencas y de formaciones rocosas aledañas, de minería, de operaciones de dragado y del océano en que desembocan; la depositación de los suspendidos es función de la energía de la corriente, del tamaño de grano y densidad de las partículas.

Los estudios realizados en 1984-1985 por Delft revelan los siguientes detalles sobre los sólidos en suspensión en el Estuario del Río Guayas, considerado como un todo:

- Las tasas de transporte de sedimento suspendido en el estuario del río Guayas están relacionadas a las corrientes y por lo tanto a la marea.

- Las cantidades de sedimento moviéndose en vaivén con la marea, a través de las varias secciones transversales son enormes.
- En general el transporte de sedimento suspendido parece ser más grande en la estación lluviosa, debido al sedimento erosionado por la lluvia suministrado por los ríos de la cuenca de drenaje. Una estimación gruesa de la cantidad de sedimento anual producida por el área de drenaje de la cuenca de 250 a 500 t/Km² da como resultado de 8 a 15 millones de toneladas de sedimento anuales pasando por Guayaquil; adicionalmente se aportarían de 0.2 a 0.5 millones de t desde el oeste (en el Estero Salado) y 3 a 7 millones desde el este al estuario aguas abajo de Guayaquil.
- El sedimento en la época seca consiste de material más fino
- Las concentraciones de sedimento son mayores en el fondo y cuando ocurren las mayores corrientes
- Hay una tendencia general de los sedimentos suministrados por los ríos a moverse hacia el mar hasta una ubicación (cercana o fuera de la boca del estuario) donde

las corrientes son suficientemente débiles para evitar posterior transporte.

- También se produce sedimentación dentro del estuario a lo largo de sus costas, particularmente en las áreas pantanosas de manglares. Este patrón es complicado por las corrientes de densidad las cuales llevan aguas de altas turbiedades a lo largo del fondo hacia la región del límite de la intrusión salina.
- El estuario del río Guayas es un sistema muy complejo. No se establecieron conclusiones sobre la trayectoria de los sedimentos suspendidos.
- Se cree que mucho del sedimento suministrado al Estero Salado es llevado al mar en donde se asentará en las partes más profundas del delta sumergido en frente del estuario. En general solo una pequeña parte del sedimento suministrado será llevado a las áreas de manglares, donde se asentará muy gradualmente, reduciendo el área de almacenamiento del estuario.
- En todo caso el sistema tiene un mecanismo rápido de respuesta y una gran cantidad de sedimento está disponible para la recuperación de las condiciones originales o para alcanzar un nuevo estado de equilibrio, cuando hay una

interferencia al delicado equilibrio entre sedimentación y erosión.

De las estimaciones realizadas por INOCAR (1986) y por Cruz Orozco (1974) y citadas en CAAM (1996), se destaca en las primeras el hecho de presentarse consistentemente las concentraciones máximas en el periodo de sicigia y de las segundas, el que son mayores siempre en el fondo y en el Río Guayas.

4.2.5 Oxígeno disuelto

Al hablar en términos biológicos, el oxígeno disuelto es el más importante de los gases en disolución en el agua. Puede originarse desde la atmósfera, como producto de la fotosíntesis y por advección. Las concentraciones del oxígeno disuelto en el agua están siempre cambiando por los procesos físicos, químicos y biológicos.

Cuando el aire está en contacto con el agua, se establece un flujo del oxígeno del aire al agua hasta el momento en que la presión del oxígeno en el agua es igual a la presión del oxígeno en el aire. La solubilidad del oxígeno en el agua se expresa en miligramos de oxígeno por litro de agua y disminuye a medida

que la temperatura y la salinidad del agua aumenta y disminuye, respectivamente. Cuando el contenido de oxígeno disuelto del agua corresponde al valor calculado teóricamente para la profundidad, temperatura y salinidad dados, se dice que el agua está saturada, si la concentración difiere de ese valor se producirá una sub o sobre saturación del agua.

Los animales, las plantas y bacterias consumen oxígeno continuamente en la respiración, transformando el carbón orgánico en carbón inorgánico oxidado en tanto que en la fotosíntesis se produce oxígeno y el carbón inorgánico se reduce a carbón orgánico.

De todas estas consideraciones teóricas se desprende la importancia que tiene el conocimiento de los patrones de oxígeno en el agua y de los factores que influyen en su comportamiento.

Stevenson (1981), presenta la distribución superficial y a través de algunas secciones de las isopletras de oxígeno para las estaciones seca y lluviosa. Las concentraciones de oxígeno son mayores a nivel superficial en época seca y en el estuario exterior.

4.2.6 Nutrientes

Hay un grupo de compuestos esenciales para la vida marina, estos son los nutrientes inorgánicos los cuales son útiles para el crecimiento de las plantas. Se destacan principalmente el fósforo, el nitrógeno y el sílice, que en sus formas minerales sirven como alimento al fitoplancton, base de la cadena alimenticia en el agua.

Otros compuestos como algunos metales traza son también requeridos por las plantas en menor proporción y se consideran nutrientes secundarios.

En los estuarios se pueden encontrar altos niveles de nutrientes debido a los mecanismos de circulación y transporte que tienden a acumularlos, lo cual hace de los estuarios zonas muy productivas.

Stevenson (1981) realizó la determinación de los patrones de distribución espacial y transversal en algunas secciones del Golfo de las concentraciones de nitrito, fosfato y silicato; sus hallazgos coinciden con los comportamientos esperados de estos compuestos.

Las especies de Nitrógeno en el agua

El nitrógeno inorgánico en el agua proviene en mayor proporción de su fijación de la atmósfera por diferentes mecanismos. Puede estar presente molecularmente (N_2) o como alguna de sus formas iónicas (NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-). El paso de un estado iónico a otro es realizado por las bacterias, oxidando y reduciendo alternadamente estas especies.

El ciclo del nitrógeno en el agua es eminentemente biológico, una vez que es asimilado por las plantas como amonio, amoníaco o nitrato inorgánico puede pasar al tejido animal como parte de su alimento o descomponerse directamente a amoníaco por muerte del tejido vegetal. El nitrógeno incorporado en los organismos animales a través del alimento se transforma de igual forma en amoníaco al estos fallecer y por medio de sus excreciones. La descomposición de la materia orgánica de origen animal o vegetal es realizada por las bacterias, quienes separan de las proteínas las aminos que se asimilan en el tejido bacteriano o se libera al ambiente el amoníaco mineralizado. Esta fase se llama amonificación.

La oxidación del amonio a nitrato, realizada por bacterias y llamada nitrificación, tiene lugar en presencia de oxígeno en

dos fases, en la primera se produce nitrito y en la segunda nitrato. Cuando hay ausencia de oxígeno las bacterias pueden usar el oxígeno de las formas oxidadas del nitrógeno para la respiración y reducir los nitratos a nitritos y posteriormente a amoníaco, este proceso se llama denitrificación.

El Fósforo

El fósforo es necesario para el crecimiento de plantas y animales y es añadido a los cuerpos de agua en las descargas naturales (tributarios) y antropogénicas (desechos domésticos e industriales). Generalmente está contenido en los fertilizantes y pesticidas arrastrados en el lavado del suelo por lluvias y escorrentías, en las aguas evacuadas por las industrias y en los compuestos de limpieza de uso extendido. También puede originarse de lechos de rocas con alto contenido de fosfato.

En el agua el fósforo puede estar presente en muchas formas, como fósforo orgánico disuelto, como componente de las sustancias particuladas inorgánicas y orgánicas, como polifosfatos inorgánicos, etc. Algunos de estos compuestos de fósforo finalmente se degradan por acción bacteriana a iones ortofosfatos solubles. Esta fase es la más simple y la más fácilmente asequible a las plantas. La concentración de fósforo

se expresa comúnmente como el contenido de éste en forma elemental presente en cualquiera de sus formas.

El ciclo de este elemento no es cerrado, involucra fuentes naturales y contaminantes de fósforo que incluyen formas biológicas, orgánicas e inorgánicas. Los principales compuestos inorgánicos son el H_2PO_4^- y el HPO_4^{2-} los cuales son solubles y el $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$ que es no soluble. Los procesos microbiológicos en agua y suelo son muy importantes en el ciclo del fósforo. La biodegradación de los compuestos fosforados es importante porque mediante el proceso de mineralización se libera el fósforo orgánico como inorgánico, suministrando una fuente de ortofosfato nutritivo para las plantas, y a través de la biodegradación se desactivan compuestos organofosfatados altamente tóxicos.

Silicato

El silicato es un compuesto de especial importancia para organismos marinos como las diatomeas y radiolarios, pues les sirve para la construcción de las estructuras de los exoesqueletos.

El ciclo del silicato en los estuarios está formado por procesos biológicos y no biológicos.

La fluctuación de los niveles de silicato depende de la proporción de absorción de los organismos, de la razón de conversión de detritos y de la rapidez del transporte de silicatos dentro y fuera del área local. Debido a que la remineralización del silicato requiere de considerable tiempo el aporte fluvial constituye una fuente muy importante de silicato inorgánico para el estuario. En consecuencia los niveles de silicato en el golfo exhiben marcadas variaciones estacionales y espaciales. (CAAM, 1996).

4.2.7 Clorofila

La clorofila es un pigmento constituyente del fitoplancton y es una medida de la biomasa disponible en el primer nivel de la cadena trófica. Junto con la energía lumínica forma parte del proceso fotosintético.

Todas las plantas verdes contienen clorofila "a" la cual constituye aproximadamente el 1 a 2 % del peso seco de las algas fitoplanctónicas, otros pigmentos presentes son la clorofila "b" y "c" así como otros productos de degradación. La

presencia o ausencia de todos estos elementos es usada para separar los grupos principales de algas presentes.

En el GG muchos estudios han documentado las concentraciones de clorofila. Stevenson(1981), p.e. para el estuario interior durante la temporada de lluvias reportó una concentración promedio de clorofila “a” en superficie de 2.9 mg/m³ y de 4.6 mg/m³ en época seca, y un promedio anual de 3.8 mg/m³; para el estuario exterior se encontraron los valores de 1.4 mg/m³, 2.4 mg/m³ y 1.7 mg/m³ respectivamente. En otros estudios oceanográficos realizados por INOCAR se han encontrado valores de hasta 20 mg/m³. Los rasgos más notables del comportamiento de la clorofila en el Golfo se señalan en el informe de la CAAM (1996):

- En el Golfo se reportan los valores más altos en superficie entre todas las áreas oceánicas y costeras del Ecuador.
- Las concentraciones más altas se presentan entre los 10 y 20 m de profundidad.
- Parte de la fertilidad del Golfo es transferida al Sur del Frente Ecuatorial vía las corrientes superficiales zonales.
- Los cambios en la fertilidad afectan a los niveles superiores de la cadena trófica en el área oceánica.

4.3 Variables biológicas

Los estuarios sobresalen entre los ecosistemas por su alta productividad, en ellos se puede encontrar la mayor cantidad de organismos vivientes que en cualquier otra zona costera u oceánica. Los organismos en el estuario tienen la capacidad de alterar la química de los mismos a través de los procesos de transformación biótica.

Las especies vivas que se desarrollan o viven temporal o permanentemente en un cuerpo acuático pueden ser consideradas como variables o indicadores biológicos, ellas se dividen en especies pelágicas y bentónicas, según su hábitat sea el cuerpo de agua o el fondo marino.

Los organismos pelágicos en los estuarios presentan una gran riqueza y abundancia; el plancton constituido por el fitoplancton y el zooplancton, es especialmente abundante. La presencia y distribución de las poblaciones depende de factores ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno, disponibilidad de nutrientes principalmente y también de la hidrodinámica del flujo.

Las diatomeas, los dinoflagelados y los cocolitofóridos son los tipos de algas más importantes en la composición del fitoplancton del Golfo de

Guayaquil. Las concentraciones del fitoplancton en el estuario del río Guayas parecen estar controladas por la turbulencia (Benítez, 1994). Como se esperaría en el estuario del río Guayas se han identificado especies fitoplanctónicas típicas de salinidades bajas y en el Estero Salado algas planctónicas de aguas más salinas.

En cuanto al zooplancton en el GG las investigaciones se han centrado en dos categorías: el mesozooplancton y el macrozooplancton, en cuanto a estudios taxonómicos y de la sistemática del zooplancton se han realizado a los siguientes grupos: tintínidos, quetognatos, pterópodos y heterópodos (CAAM, 1996).

Landívar, J. y Torres G. (1998), en estudio realizado sobre la estructura de las comunidades fito y zooplanctónicas en el Estero Salado y Río Guayas, durante el mes de agosto de 1996, encuentran que la contribución de la familia *bacillariophyceae* a la abundancia del fitoplancton fue mayor al 70% en la mayoría de las estaciones muestreadas; el análisis de las comunidades mostró una clara diferenciación entre las estaciones aguas arriba y las restantes, estando mucha de la varianza en las especies del fitoplancton (44%) explicada por factores ambientales: temperatura, concentración de silicatos y salinidad.

La comunidad zooplanctónica estuvo dominada por copepódos, otras taxa cobran importancia aguas arriba del Estero Salado, en tanto que en el Río Guayas destacó la dominancia del género *Pseudodiaptomus* en las estaciones centrales. La varianza de la distribución de especies (74%) fue explicada por las variables salinidad, concentración de oxígeno disuelto, relación diatomeas/no diatomeas y concentración de silicatos.

Entre los estudios sobre organismos bentónicos, uno de los más recientes es el realizado en las campañas del estudio GIS-Guayas-Salado 1996-1997, en cuyas muestras se identificaron algunas características de los organismos del macro y meiobentos. Cruz, M. (1998), del análisis de 16 muestras de la campaña de 1996, encontró 11 grupos de organismos de la meiofauna, de los cuales los nemátodos fueron los más abundantes y frecuentes y de toda el área estudiada la mayor abundancia y diversidad de organismos se encontró en el Estero Salado.

4.4 Calidad de agua y sedimentos en estuarios y piscinas camaroneras

4.1.1 Calidad del agua en piscinas camaroneras

Cuando se habla de la calidad del agua se hace referencia a los niveles permisibles o deseables de un conjunto de parámetros indicadores, a fin de sustentar un determinado uso o actividad en un cuerpo de agua.

En el campo de la acuicultura del camarón se han establecido un conjunto de características básicas cuyos niveles deben ser monitoreados y mantenidos entre ciertos rangos para asegurar la “buena” calidad del agua destinada al cultivo del camarón, estos se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 6.

Rangos óptimos de características del agua para acuicultura del camarón

Parámetro	Rango óptimo
Oxígeno disuelto (ppm)	4-6
Temperatura (° C)	24-30
pH	7.5-8.6
Turbidez (prof. Disco Secchi en cm)	25-40

Parámetro	Rango óptimo
Salinidad (ppt)	8-15
Amonio (ppm)	0.7-1.0
Nitritos (ppm)	< 0.09
Nitratos	1.5-2.0
Sulfuro de hidrógeno (ppm)	0.01
Fosfato reactivo (ppm)	0.15-0.2
Silicatos (ppm)	3.5

Fuente: Fundación Cenaim-ESPOL, "Curso básico de capacitación "

La calidad del agua en las piscinas camaroneras que se encuentran en el GG está ligada íntimamente a la de la fuente de la que se abastecen, o sea el agua circulando en el Golfo.

Se ha señalado algunos factores directamente involucrados con ella, en todo caso el intercambio recíproco de masa (flujo) que se establece entre camaroneras y golfo vía las cargas y descargas de agua, por un lado introduce contaminantes presentes en el golfo a las piscinas y por otro lleva cargas de elementos añadidos al agua durante el cultivo y producción del crustáceo hacia el sistema.

4.4.2 Calidad del sedimento en piscinas

La composición de los sedimentos en piscinas camaroneras es un resultado de la naturaleza y composición del suelo que sirve de asiento a los sistemas acuícolas y del manejo o las prácticas de cultivo que se efectúen en ellos. Entre estas últimas están las actividades de preparación y mantenimiento de las piscinas y las de alimentación durante el cultivo.

En 1999, el CENAIM realizó un estudio denominado “Propiedades Químicas y Físicas de Suelos de Piscinas Camaroneras en Ecuador”. Para este trabajo se recolectaron muestras de suelo del fondo de 40 camaroneras y parte de los resultados obtenidos de este estudio muestran que la mayoría de piscinas no son acídicas (media de $\text{pH} > 6$) y un bajo porcentaje de suelos tiene un elevado contenido de carbón total ($> 2.5\%$), asociados estos últimos a suelos de manglar.

El sedimento de las piscinas durante el cultivo estará compuesto probablemente de residuos de alimento balanceado, plancton, bentos y camarones muertos, restos de mudas, heces y otros detritos orgánicos e inorgánicos. Los resultados preliminares de un estudio reciente sobre los organismos presentes en el suelo de las camaroneras (CENAIM, 2001)

revelaron que los más frecuentes y abundantes de éstos son los poliquetos, copépodos y nemátodos, los cuales de acuerdo a propósitos del estudio tienen potencial para servir en la producción de alimento para el camarón.

En granjas intensivas el sedimento de las piscinas es el mayor desaguadero de N, P y material orgánico, y se acumula en proporciones de casi 200 t (carga seca) por hectárea y ciclo de producción (Briggs y Funge-Smith, 1994).

Los sedimentos son una parte importante del microecosistema de las camaroneras, pues la calidad de ellos es un aspecto clave del manejo integral de los sistemas, hay varias variables consideradas como buenos indicadores de la calidad del sedimento: textura, color, pH, materia orgánica, acidez, espesor.

4.4.3 La calidad del agua del estuario

La calidad del agua en el GG es influenciada por las actividades que tienen lugar en él y en la cuenca terrestre y por los procesos oceanográficos presentes.

La mayoría de las actividades identificadas en el Golfo y su zona de influencia generan descargas, por esa razón las

descargas o efluentes pueden provenir de una variedad de fuentes (puntuales o difusas), entre ellas están los centros poblados, las industrias, las áreas agrícolas, las áreas acuícolas, las zonas mineras, las áreas petrolíferas, las actividades portuarias y navieras.

Entre los contaminantes asociados a la calidad del agua en el Golfo están los metales pesados, los pesticidas, hidrocarburos, carga bacteriana y una excesiva carga de nutrientes.

Como señala Montaña (1992), en el establecimiento de la calidad del agua de un receptor, cada descarga requiere evaluaciones de cantidad, frecuencia y composición.

La calidad es una característica dinámica del cuerpo de agua al ser el resultado de la conjugación de otras características también variables y debería considerársela como una función espacio temporal y su seguimiento ser establecido mediante programas de monitoreo sistemáticos continuos y herramientas convenientes ya disponibles para el manejo y representación.

4.4.4 Calidad del sedimento en el estuario

La calidad del sedimento está relacionada con sus características físico-químicas, granulométricas y con las de la columna de agua que circula sobre él.

Entre 1994 y 1995 se realizó un estudio para determinar las características físico-químicas de los sedimentos del estuario interior del GG y sus afluentes Daule y Babahoyo, los resultados obtenidos permitieron establecer 2 zonas sedimentarias bien diferenciadas, en los ríos se encontró fondos de textura limo-arcillosa y en el Estero Salado fondos con predominancia de arenas. Características del sedimento como concentración de materia orgánica, carbón orgánico, nitrógeno y fósforo total mostraron patrones de distribución similar en toda el área. La concentración de materia orgánica se incrementa conforme es más fino el sedimento, para el área de estudio los valores de materia orgánica oscilaron de 6.30 – 7.19% en noviembre y 6.10 – 6.50% en junio. (Chalen F., Pérez E., Macías P, INP, 1995).

Otro estudio que presenta datos sobre algunas características del sedimento en el Sistema Estero Salado-Río Guayas es el de Implementación de un GIS en el Golfo de Guayaquil,

realizado entre 1996 y 1999 por INOCAR-VUB-ESPOL, en este estudio se determinó para dos campañas sedimentología, metales pesados, pesticidas, PCBs y bentos de los sedimentos en varias estaciones seleccionadas.

En un estudio patrocinado por la Cámara de Acuicultura (1999) y realizado en conjunto por PBS&J y Boyd C., se determinó la concentración de varios compuestos presentes en los sedimentos del Estero Salado entre las boyas 44 y 66 y en los Esteros Grande y Sabana Grande. Se encontró que los pesticidas y PCBs estuvieron bajo los límites de detección en todas las muestras, y los metales pesados presentes en todos los sitios muestreados reportaron concentraciones sobre aquellas encontradas en los sedimentos de piscinas camaroneras (Boyd, 1994).

Otros estudios realizados en la zona confirman la presencia de metales pesados en el Río Guayas y Estero Salado. Sin embargo no se hace referencia en ellos a las normas o límites permisibles de estos compuestos para este medio.

Otro indicador de la calidad de los sedimentos es la microbiología, de acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental del Dragado del Canal de Acceso, realizado por el INOCAR, 1998,

en los sedimentos del Estero Salado se presentan mohos y levaduras, bacterias coliformes totales y microorganismos patógenos como *Salmonella ssp*, *Vibrio alginolyticus*, *Aeromonas salmonicidas*, *Aeromonas Hydrophilas* y *Flavo bacterium*. Estos resultados no revelaron evidencia de contaminación severa por microorganismos patógenos.

4.5 Determinación de la calidad de los efluentes de las camaroneras

Este ha llegado a ser un tópico de mucho interés en el escenario del Golfo de Guayaquil, ya que en él se encuentran la mayor cantidad de camaroneras de toda la zona costera y es una zona de gran estrés ambiental.

En las piscinas camaroneras es crítico el balance de materia orgánica. Como lo cita Boyd, el suministro de alimento es el principal factor causante de deterioro de la calidad del agua y sedimento. Toda la materia orgánica, incluyendo el alimento no consumido se descompone y produce el consumo de oxígeno por parte de las bacterias.

De los estudios realizados por Guerrero (2000), sobre efluentes y afluentes para cinco camaroneras en el estuario interior se encontró un aumento estadísticamente significativo del oxígeno disuelto y el

amoníaco (80% de la población muestreada) en las descargas. Los nitratos, nitritos y nitrógeno total mostraron una tendencia a disminuir en la descarga, y las concentraciones de fósforo y los sólidos suspendidos a aumentar. El uso de carbonatos y cales hidratadas en las piscinas influyó en el pH de los efluentes, los que mostraron un aumento significativo.

Ormaza F., (1994), en estudio de efluentes y afluentes de camaroneras en la zona de Taura, encontró menores las concentraciones de amonio y nitrito en los efluentes comparados con los afluentes y lo contrario para la materia particulada total y la materia orgánica particulada las que fueron un 30% mayores en las descargas. En ese estudio el oxígeno no presentó un patrón claramente discernible.

De los resultados obtenidos en estos dos estudios se deduce que como lo dice Guerrero (2000), el comportamiento de las variables físico químicas en las piscinas es único y que parece responder en gran medida al manejo productivo.

4.6 Selección de variables de interés

A lo largo de todo el capítulo se ha tratado sobre las características, llámense variables o parámetros, que ayudan a determinar el estado del medio acuático desde la óptica de diferentes disciplinas.

Cada investigador encontrará determinado grupo de parámetros de interés para su trabajo, entonces al seleccionar aquí un grupo de ellas no se pretende ser excluyente sino limitar el trabajo y enfocarlo para obtener algunas precisiones e información interesante, de no ser así sería una meta muy extensa el pretender cubrir todas las áreas posibles de estudio en un ámbito tan complejo como es el Golfo de Guayaquil. No obstante se deja abierta la posibilidad para que nuevos escenarios con otros “actores” sean probados.

Las siguientes razones han gravitado en la selección del conjunto de variables presentado:

- La disponibilidad y calidad de los de datos
- El potencial de una variable como indicadora
- La formación académica de la autora, orientada hacia la oceanografía física

Las variables que se usan con mayor frecuencia son:

Velocidad de corrientes

Sólidos suspendidos

Oxígeno disuelto

Sin embargo se consideraron también pH, turbidez, los nutrientes y coliformes para realizar el análisis comparativo de los mapas resultantes.

4.7 Comparación de Indicadores de Calidad de Agua y Sedimentos con Normas Nacionales e Internacionales

En lo que se refiere a normas e indicadores de calidad de agua a nivel local el Reglamento para el Control y Prevención de la Contaminación en lo relativo al Recurso Agua, estuvo en vigencia hasta el año 2002, en el mismo se fijan los criterios de calidad de aguas en función de sus usos.

En diciembre del año 2002 entró en vigencia el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, cuya Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: recurso agua, establece límites permisibles de los parámetros de acuerdo a los usos. En la Tabla 7 se presentan los valores admisibles en aguas estuarinas y marinas.

Tabla 7.

Criterios de calidad admisibles para preservación de flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite Máximo Permissible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Clorofenoles		mg/l	0.5	0.5	0.5
Bifenilos policlorados/PCBs	Concentración total de PCBs	mg/l	0.001	0.001	0.001
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6.5-9	6.5-9	6.5-9
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/l	0.0002	0.0002	0.0002
Amoniaco	NH ₃	mg/l	0.02	0.02	0.4
Aluminio	Al	mg/l	0.1	0.1	1.5
Arsénico	As	mg/l	0.05	0.05	0.05
Bario	Ba	mg/l	1.0	1.0	1.0
Berilio	Be	mg/l	0.1	0.1	1.5
Boro	B	mg/l	0.75	0.75	5.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.001	0.001	0.005
Cianuro Libre	CN-	mg/l	0.01	0.01	0.01
Zinc	Zn	mg/l	0.18	0.18	0.17

			Límite Máximo Permissible		
Cloro residual	Cl	mg/l	0.01	0.01	0.01
Estaño	Sn	mg/l			2.00
Cobalto	Co	mg/l	0.2	0.2	0.2
Plomo	Pb	mg/l			0.01
Cobre	Cu	mg/l	0.02	0.02	0.05
Cromo total	Cr	mg/l	0.05	0.05	0.05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0.001	0.001	0.001
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3	0.3	0.3
Hierro	Fe	mg/l	0.3	0.3	0.3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0.5	0.5	0.5
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	Concentración total de HAPs	mg/l	0.0003	0.0003	0.0003
Manganeso	Mn	mg/l	0.1	0.1	0.1
Materia flotante	visible	mg/l	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0.0002	0.0002	0.0001
Níquel	Ni	mg/l	0.025	0.025	0.1
Plaguicidas organoclorados totales	Concentración organoclorados totales	µg/l	10.0	10.0	10.0
Plaguicidas organofosforados totales	Concentración organofosforados totales	µg/l	10.0	10.0	10
Piretroides	Concentración piretroides totales	mg/l	0.05	0.05	0.05
Plata	Ag	mg/l	0.01	0.01	0.005

			Límite Máximo Permissible		
Selenio	Se	mg/l	0.01	0.01	0.01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5	0.5	0.5
Temperatura	□C		Condiciones naturales + 3 Máxima 20	Condiciones naturales + 3 Máxima 32	Condiciones naturales + 3 Máxima 32
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		200	200	200

Fuente: Efficacitas, http://www.efficacitas.com/5301_norma_agua.pdf.

Para sedimentos no existen normas establecidas a nivel local. Generalmente los estándares o rangos usados en cada localidad obedecen a estudios locales de los efectos de determinados contaminantes en los organismos endémicos.