

INFLUENCIA DE LA MAREA EN LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS EN EL PACÍFICO COLOMBIANO. (ENSENADA DE TUMACO)

Castro Suárez, L.A., Betancourt Portela, J.M; Casanova Rosero, R.E

Centro Control Contaminación del Pacífico.
División Asuntos Ambientales. Tumaco, Nariño, Colombia

RESUMEN

La variación de la marea en el Pacífico Colombiano tiene una importante influencia en la calidad de las aguas especialmente cuando se trata de cuerpos cerrados con características estuarinas como la ensenada de Tumaco.

El análisis de parámetros físico-químicos, de características conservativas, como la salinidad, la transparencia entre otros, muestran claramente una tendencia, como es la de aumentar los valores en marea baja y disminuir en marea alta. Los nutrientes, quienes poseen características no conservativas, presentan una tendencia similar a los anteriores, sin embargo, en varios estadios mostraron dispersión de los datos sin tendencias, para ambos estados de marea, por verse en cierto modo, afectados por los procesos Químico-Biológicos.

Los principales cambios de variación durante el presente estudio, se observaron hacia la zona continental en la desembocadura de los principales ríos, puesto que en la zona abierta no se aprecian las variaciones cuando hacen el arribo las aguas oceánicas.

Durante la fase de marea alta se vieron favorecidos los procesos de renovación, dilución e interacción de las aguas oceánicas y de los ríos, haciendo que las concentraciones de los nutrientes disminuyan en un porcentaje entre 20% a 39% que aumente la transparencia en un 43.5% y que haya una recuperación del oxígeno disuelto (OD) en toda la Ensenada gracias al arribo de aguas oceánicas más saladas, más claras y con menor cantidad de sales nutritivas disueltas.

INTRODUCCIÓN

La ensenada de Tumaco está localizada en el extremo suroccidental de Colombia, entre las latitudes 1°45'00" y 2°00'00"N y longitudes 78°30'00" y 78°45'00"W, posee un área aproximada de 350 Km² y una boca de gran intercambio oceánico con una longitud de 27Km. Con el fin de cubrir en el estudio toda el área se diseñó una grilla de 26 estaciones (fig.1) donde se muestrearon aguas a nivel superficial. (Proyecto calidad de aguas CCCP/ECOPETROL)

La dinámica del oxígeno disuelto en el medio marino se determina por la intensidad con que ocurren los procesos de la fotosíntesis, intercambio de oxígeno con la atmósfera, consumo de oxígeno por la oxidación bioquímica de la materia orgánica muerta inestable y los procesos de nitrificación en el agua y los sedimentos, como también por los procesos de renovación de las aguas estuarinas.

Cualquier variación que ocurre en el ecosistema se puede ver reflejada directamente en la calidad de las aguas y los datos físico-químicos servirán para la detección de estas anomalías las cuales a su vez se correlacionan directamente con los componentes bióticos y abióticos presentes en la Ensenada.

La hidrología de la Ensenada se caracteriza por un intercambio continuo del agua con el mar, a través de una boca que tiene una distancia aproximada de 27.5 Km; por el aporte de agua dulce de los ríos de la cuenca como el Rosario, Curay, Colorado, Tablones Chagüi y por el balance de la precipitación/evaporación.

En la actualidad, algunos indicadores de la calidad del agua como el DBO5 y PO4, señalan que la Ensenada de Tumaco se puede calificar como una cuenca poco contaminada, de mucho recambio en la cual se presentan niveles de oxígeno disuelto entre 1.1 y 5.0 ml/l, en los diferentes ciclos de marea.

Estas variaciones existentes en cada estación de muestreo se discutirán, pues la influencia del régimen mareal y de procesos estacionarios como precipitación y el aporte de los ríos son marcados y definitivos en la Ensenada.

El cambio de marea que se lleva a cabo diariamente en la Ensenada influye en la calidad del agua, donde una magnitud de marea de 3.5 m y un régimen semidiurno cambian continuamente hora a hora y día a día las condiciones de la Ensenada; provocando la dilución o concentración de los distintos compuestos hidroquímicos.

Metodología

Durante febrero de 1997 hasta marzo del 2000, se han realizado 34 muestreos, con una frecuencia mensual, permitiendo así contar con 30 datos por estación en promedio para el presente análisis. Los parámetros medidos superficialmente fueron clasificados de acuerdo al estado de marea, alta y baja sin considerar el flujo y reflujos. Dicha selección se realizó con base a la altura de marea en el día esto con el fin de observar el efecto de la marea en la calidad del agua de la Ensenada, y ver como la zona de mayores concentraciones se desplaza hacia el oriente, donde se da la influencia de los ríos, y estas mismas concentraciones que allí se obtienen, se reducen en el período de marea alta (el proyecto CCCP-ECOPETROL). También se escogieron tres estaciones de acuerdo a su ubicación con parámetros fisicoquímicos en estos tres puntos (E12, la E13 y la E20) la primera en zona intermedia, la E13 estación con características oceánicas y la E20 con la mayor influencia continental.

RÉGIMEN HIDROQUÍMICO DE LA ENSENADA DE TUMACO

Análisis de Parámetros Físico-Químicos

La transparencia de las aguas en la ensenada de Tumaco está muy relacionada con la influencia de los ríos, razón por la cual las estaciones costeras ubicadas en la parte oriental, muestran aguas turbias y a su vez la más amplia variabilidad de concentración de los parámetros hidroquímicos como nutrientes, salinidad, OD, DBO5 entre otros. En la figura 2A a 2F, se observa la variabilidad de los datos en cada uno de los monitoreos correspondientes y representados individualmente por un signo diferente para cada uno.

En el lugar denominado El Quesillo, frente a la Isla del Morro (Estación 10), y hacia la zona central de la Ensenada (Estación 11) (fig. 1), se presentan aguas más claras y de mayor transparencia, con valores entre 50-470 cm y 30-320 cm respectivamente; y unos valores de oxígeno disuelto (OD) entre 3.4 y 5.3 ml/l (fig.3). Las concentraciones de los nutrientes para estos sitios son los más bajos, sin superar los 2.00 µg. at N/l para nitratos y amonio; y 0.50 µg. at / l para nitritos y fosfatos, lo cual indica la influencia de aguas oceánicas que llegan a esta zona. Al igual que en la figura 2, en la figura 3 cada símbolo representa el dato obtenido en cada monitoreo.

El oxígeno tiene un comportamiento cíclico en el océano, se encuentra como componente de la atmósfera y llega al mar a disolverse en el agua, de donde lo toman los vegetales y los animales para su respiración. Con las corrientes y el oleaje la cantidad de oxígeno en el agua aumenta, pero también contribuye a incrementar su cantidad los vegetales verdes, que durante el proceso de fotosíntesis, fijan el carbono y desprenden el oxígeno, como resultado de las reacciones químicas que efectúan, completándose el ciclo del oxígeno en el mar. El oxígeno disuelto, en las estaciones alejadas de las desembocaduras de ríos, de influencia oceánica y de aguas más claras, se encuentra cercano al nivel de saturación. Estas concentraciones están también relacionadas con las variaciones de salinidad y temperatura del agua.

La DBO₅ indicador de la materia orgánica biooxidable, presenta también datos que se correlacionan de manera similar. La mayor variabilidad de valores se encuentra en la estación 20 (fig. 1), estimado entre 0.6 - 3.5 ,ml/l de O₂ junto con las estaciones 16 y 17 todas éstas ubicadas en el borde costero de la ensenada y de mayor influencia continental. Mientras que las estaciones ubicadas hacia el sector central de la Ensenada, E10, E11 y E13 con mayor influencia oceánica, presentan el menor intervalo de variabilidad, con valores que no superan los 1,7, 1.4, y 1.5 ml/l respectivamente.

Si el consumo de oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica es más rápido de lo que es importado de la atmósfera o producido por fotosíntesis, hace que la disponibilidad sea menor. Fenómeno que se presenta en la estación La Caleta E20, por lo tanto presenta los menores valores de OD, la mayor DBO, (fig. 8), la concentración mas alta de sólidos en suspensión, y la menor transparencia. (Tabla 1) (Betancourt 1999, Informe Calidad de Aguas CCCP).

Influencia de la Marea en los Parámetros Hidroquímicos de la Ensenada de Tumaco

Para analizar esta relación de la altura de la marea con las concentraciones de parámetros, se realiza la gráfica del parámetro (eje y) contra la altura de la marea en el momento del muestreo (eje x). El lado negativo del eje x representa el período de *marea bajando* desde la máxima altura (-3.5m) hasta la altura más baja de marea (-0m); los valores positivos en el eje x representan el período de *marea subiendo* desde la más baja hasta la máxima altura, (fig. 4).

Con el fin de definir la influencia de la marea en la calidad del agua se tomaron tres estaciones en diferentes puntos de la Ensenada y caracterizados por el intercambio de aguas, de diferentes condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas (E12, E13, y E20) (Fig. 1). Esta elección se realizó también bajo el criterio de la extensión de la variabilidad de los datos observados en la figura 2 y la posición en la grilla; la E13 se encuentra ubicada en la parte central de la Ensenada de gran influencia oceánica; E20 la de mayor influencia continental como se dijo anteriormente; y la E12 es una estación ubicada en el medio de las anteriores y encerradas en un círculo en la Fig. 1.

Una comparación de la relación de la salinidad, propiedad conservativa, con la altura de la marea en las estaciones E13 y E20 se lleva a cabo en la Fig 5. En ella se puede observar la poca variación existente en la E13 debido a la baja influencia de esta estación por el aporte continental; contrario a la gran dispersión que se observa para la E20 durante el período de *marea bajando*. Teniendo en cuenta que en esta fase de marea baja, el caudal de los ríos es el máximo, de esta forma el agua dulce del río, por su menor densidad, fluye por la parte superficial mezclándose con el agua salada a medida que avanza.

En marea subiendo ya se ve una tendencia de aumento de la salinidad con el aumento del nivel de la marea observándose un comportamiento lineal, considerando que inicia la entrada de aguas oceánicas y el caudal de los ríos puede disminuir hasta llegar a cero.

La E12 que es una estación intermedia entre las dos, describe una forma en "V" con valores más bajos de salinidad en los momentos de mínima marea. Este análisis da un inicio del grado de mezcla de las aguas costeras de la Ensenada con las aguas dulces provenientes de los ríos situación que se hace en algunas estaciones más notoria.

Los parámetros químicos también sufren un efecto de dilución al subir la marea, de forma similar que la salinidad; sin embargo, y al contrario de ésta, se trata de compuestos no conservativos, es decir que los niveles están en continua variabilidad por diferentes causas además del cambio de volumen. La productividad, consumo del plancton, es una de las causas de estos cambios así como también los procesos oxidativos, entre otros.

La distribución del nitrógeno depende de la temperatura, la salinidad, la circulación de los procesos de mezcla y la difusión que se realiza en las aguas. En el caso de los nutrientes, una disminución de ellos en un momento dado, puede significar consumo por parte de los productores, baja propiedad de meteorización de la materia orgánica o cualquier otro factor que afecta la variabilidad de los niveles.

En la figura 6 (nitratos y fosfatos vs altura de marea en la E12), se observa una dispersión de los datos en marea entrando y saliendo. Dispersión causada

posiblemente por las características no conservativas de estas sustancias. Sin embargo, graficando los valores máximos y mínimos obtenidos para estos dos parámetros, se observa un comportamiento en "∩" con el cambio de marea, con un máximo en marea baja.

En las estaciones costeras como el caso de la La Caleta, E20 existe ocurrencia de valores altos de estos parámetros en marea alta, de tal forma que no presentan ninguna tendencia, esto puede ser debido a la influencia de los procesos Químico-Biológicos que ocurren continuamente en el ecosistema y especialmente en esa área, por los aportes continentales que llegan repetidamente con gran abundancia de microfauna, materia orgánica, sales nutritivas, etc, (tabla 1).

Distribución Superficial de Algunos Parámetros

Físico-Químicos

Otra forma de observar la influencia o el efecto de dilución que ejercen las aguas oceánicas entrantes a la Ensenada es mediante la distribución espacial. Se graficó la distribución de la DBO₅, y el OD(fig.7); amonio, nitritos, nitratos y fosfatos (fig.8); la transparencia y las clorofilas (fig. 9) en ambos periodos de marea; alta y baja.

Los procesos de oxidación de la materia orgánica encuentran en las aguas de origen oceánico un suministro continuo de oxígeno de tal forma que no se alcanza a tener valores que constituyan un limitante para el ecosistema, tal como se puede observar en la figura 7 los valores de OD se recuperan durante el período de marea alta en la Ensenada especialmente hacia la zona de influencia continental, pues hacia la zona oceánica y en la zona de frontera abierta, la variación es muy pequeña dado que los niveles permanecen en los límites de saturación por tratarse de aguas oceánicas.

La estación que presentó mayores valores de oxígeno disuelto durante la marea alta, fue Vaquería la E26, (Fig. 1), situada en un punto sometida a condiciones altamente dinámicas en la zona de frontera, entrada que comunica las aguas exteriores y el litoral de la Ensenada de Tumaco.

La DBO, indicativo de la cantidad de materia orgánica que posee el ecosistema bien sea autóctona o alóctona, presenta en la ensenada una distribución superficial donde los mayores valores se registran hacia la zona de influencia continental en la desembocadura de los ríos, La Caleta E20, y en la zona litoral cubierta de mangle como ocurre en Llanaje E16 y Punta Cascajal E17 al NorOriente de la ensenada de Tumaco.

La Figura 7 presenta la distribución superficial de la DBO tanto en marea baja como en marea alta. La DBO durante la marea alta se ve disminuida principalmente hacia la zona central y zona continental de la ensenada, tanto por el efecto de dilución, aumento del volumen por la llegada de aguas oceánicas, como por el favorecimiento de la meteorización de la materia orgánica, gracias a que entran aguas con cantidad mayor de oxígeno disuelto favoreciendo este proceso.

En la Figura 8 se observa la distribución espacio-temporal de nutrientes concentrándose especialmente en el área de mayor influencia continental. La variación de los niveles en términos de porcentajes, en el paso de marea alta a marea baja se encuentran en un aumento de un 39.0% para los nitratos; 29.7% para los nitritos; 23.0% para el amonio y 20.4% para el fósforo. (Fig.10).

Debido al aporte de nutrientes por parte de los ríos, además por los producidos por la oxidación de la materia orgánica proveniente de la misma fuente (alóctonos) y los Autóctonos; se evidencia una disponibilidad permanente de éstos, puesto que a pesar de ser consumidos por las algas y microalgas, no se llega a casos de ausencia de éstos (fig 8). Esto debido a la presencia de materia orgánica permanente que se encuentra en partículas suspendidas que llegan a través de los ríos principalmente, presencia permanente de oxígeno y por supuesto bacterias reductoras que favorecen este proceso.

Los datos obtenidos, promediados y clasificados para los nutrientes y la transparencia, en los periodos de marea alta y baja, desde 1997 (tabla1), muestran como la transparencia aumenta y la concentración de nutrientes disminuye al aumentar la marea (fig 10).

La presencia de nutrientes determina en primera instancia la cantidad de productividad primaria del sistema, base fundamental de una parte sustancial de la trama trófica acuática. También influye otros parámetros como la transparencia, la materia orgánica fácilmente oxidable entre otros. La Figura 9 muestra como las clorofilas, pigmentos provenientes de los vegetales fotosintetizadores, se concentran hacia la zona donde existe la mayor concentración de nutrientes. Sin embargo por efecto de la marea, las clorofilas al igual que los otros parámetros ya discutidos anteriormente disminuyen su concentración cuando la marea sube.

A pesar de la variación en la concentración de los diferentes parámetros en los cambios de marea, se puede decir que siempre existe disponibilidad de sustancias nutritivas especialmente hacia la región costera y por lo tanto es una de las áreas de mayor productividad primaria de la Ensenada de Tumaco.

Los datos reportados en la tabla 1 muestran una alta variabilidad de la transparencia con los cambios de marea. El mayor cambio se observa en la estación 20, cuando la transparencia en marea baja pasa de 4.1m a 0.22m, es decir, que disminuye en un 94.6%, concentrando todas las sustancias allí presentes, las partículas en suspensión y aumentando la temperatura, factor que determina la cinética de reacciones químico-biológicas.

A pesar de la disminución de la transparencia, dependencia inmediata del crecimiento de las plantas, se observa que se acumulan partículas en suspensión del drenaje de los suelos, resuspensión del estuario y del agua dulce, produciendo un agua turbia que restringe la penetración de la luz para la fotosíntesis. Esta materia en suspensión acumulada incluye mucho detrito orgánico que hace que la producción primaria sea alta a pesar de la limitada fotosíntesis en este sistema, puesto que no se frena el proceso de oxidación. Dado que este es un proceso repetitivo cíclico se convierte en un proceso positivo para el ecosistema (fig 9).

Conclusiones

* La marea es un fenómeno que incide en la calidad del agua de la ensenada, favoreciendo los procesos de renovación y dilución de las aguas, durante la fase de

marea alta, haciendo que las concentraciones de los nutrientes disminuyan en porcentajes entre un 20% a 39%, aumente la disponibilidad del oxígeno y la transparencia aumente en un 43.5%, favoreciendo la vida de las comunidades del ecosistema.

* los rangos de concentraciones de parámetros fisicoquímicos más amplios fueron encontrados para las estaciones E20, E12 y E16, siendo éstas, las más costeras y de mayor influencia continental ubicadas en el sector oriental de la Ensenada lugar de desembocadura de varios ríos y zonas de mangle con aguas turbias con alto contenido de materia orgánica.

* La disponibilidad del oxígeno disuelto indicador básico para describir la calidad del ecosistema está sujeto a los cambios de marea y sólo en sitios muy puntuales, como la zona de influencia de aportes directos de los ríos, el valor desciende a los valores mínimos aceptados para un ecosistema estuarino, pero con la gran ventaja de ser éste recuperado una vez se inicia el cambio de marea y el arribo de aguas de origen oceánico.

* Se demostró que la zona de más alta productividad, por clorofilas, se encuentra ubicada hacia la zona de la desembocadura de los ríos, por ser una zona rica en nutrientes, materia orgánica con disponibilidad permanente pero variable de oxígeno disuelto. Pero al igual que los otros parámetros sus valores cambian al cambiar la marea.

Bibliografía

ATLAS (1984). En: LEVIN Morris and GEALT Michael A. Biotratamiento de residuos tóxicos peligrosos, Mc Graw-Hill, 1a Edición, España, 1997. p.25.

CARPENTER, E. J. And CAPONE D. G. Nitrogen in the Marine Environment, Academic Press Inc., New York, 1983. p. 2-22.

FOODGATA, 1979. En: LEVIN, Morris and Gealt, Michael A. Biotratamiento de residuos tóxicos peligrosos, Mc Graw-Hill, 1a Edición, España, 1997. p. 25.

KIELY, Gerard. Ingeniería Ambiental. Mc Graw Hill, 1a Edición. España, 1999. p. 105, 1185.

LEVIN, Morris And GEALT, Michael A. Biotratamiento de residuos tóxicos peligrosos, Mc Graw-Hill, 1a Edición, España. 1997. p. 25, 29.

MC-GLONE, M. L., Et al. Nutrient Mediated Stress on the Marine Communities of a coastal Lagoon (Puerto Galera, Philippines). En : Marine Pollution Bulletin, 1995. VOL 31, Nos. 4-12, pp. 355.366.

MARGALEF, R. Ecología, ediciones Omega, S.A. Barcelona, 1982. p. 25, 37, 52, 58.

STANDARD METHODS. For the examination of water and wastewater, Fefteenth Edition, 1981.

STRICKLAND, J.D. Y PARSONS T.R. 1968. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board of Canada. Segunda edición, Otawa.

TURK, A. Et al. Tratado de Ecología. Iberoamericana, Mexico, D.F. 1981. p. 51,533.

Figura 1

Ubicación de las estaciones de muestreo (Puntos Rojos) en la Ensenada de Tumaco

| N°. Est. | Nombre Est. |
|----------|----------------|
| 10 | Quesillo |
| 11 | Once |
| 12 | Doce |
| 13 | Trece |
| 14 | Isla del Gallo |
| 15 | Salahonda |
| 16 | Llanage |
| 17 | Punta Laura |
| 20 | Caleta |
| 26 | Vaqueria |

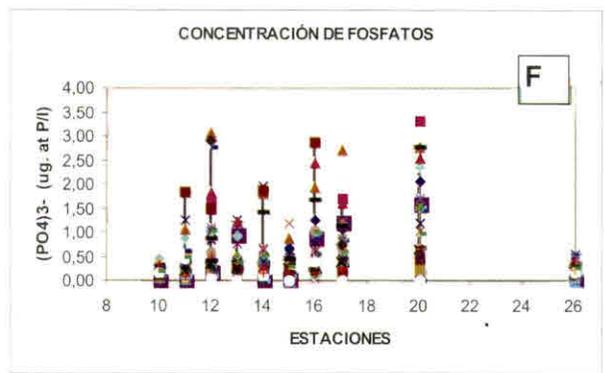
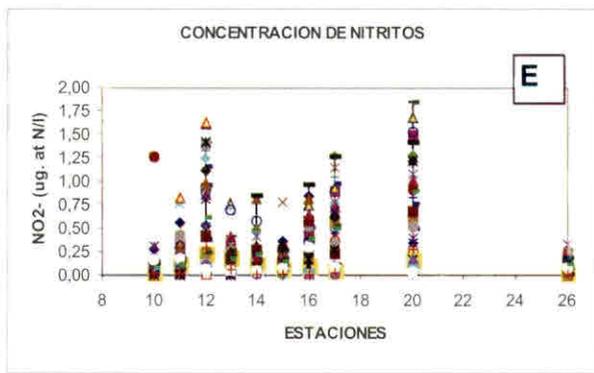
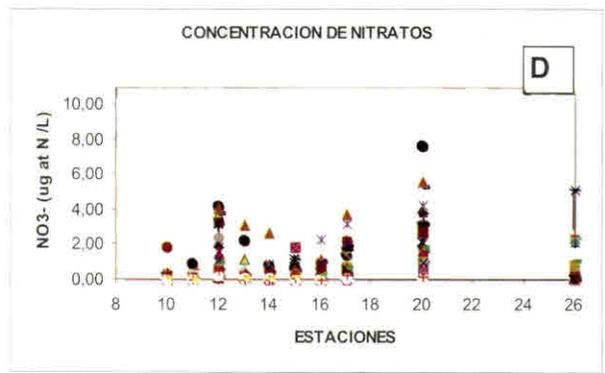
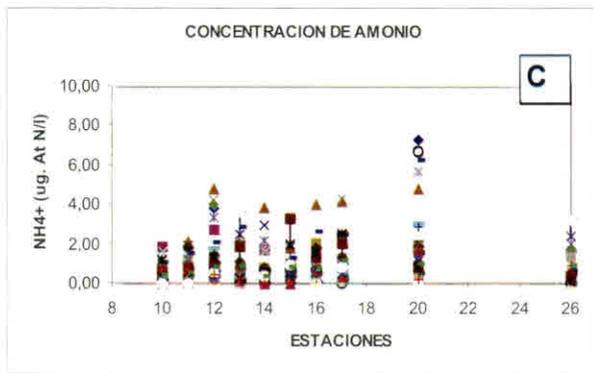
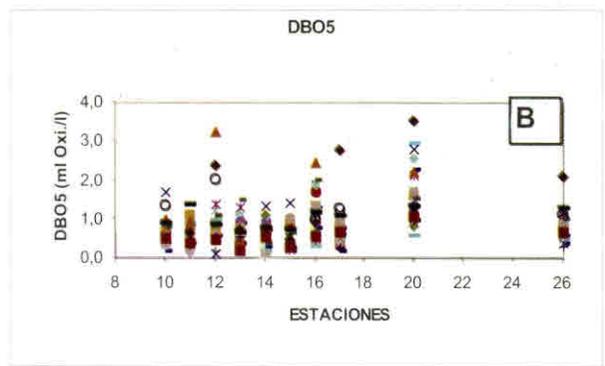
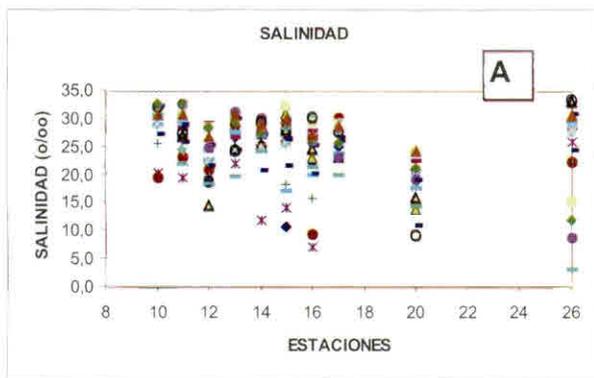
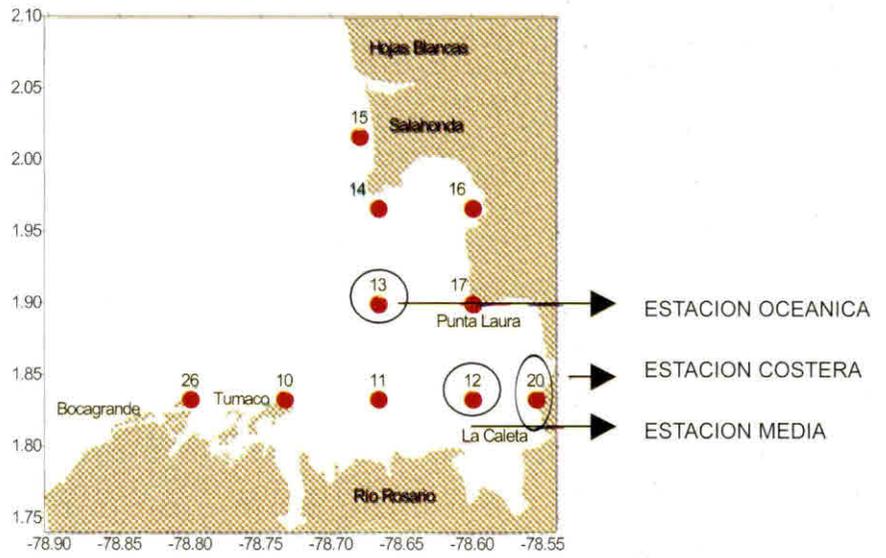


Figura 2

Intervalo de variabilidad de los parámetros:

- A) salinidad
- B) DBO5
- C) amonio
- D) nitratos
- E) nitritos
- F) fosfatos

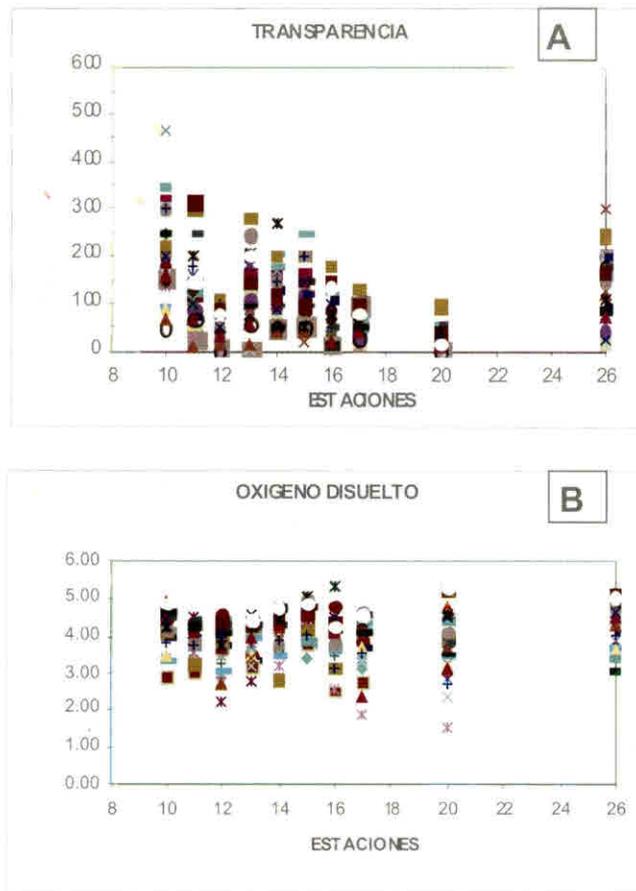


Figura 3

Intervalo de variabilidad para los parámetros: A) transparencia B) oxígeno disuelto. En las estaciones de muestreo

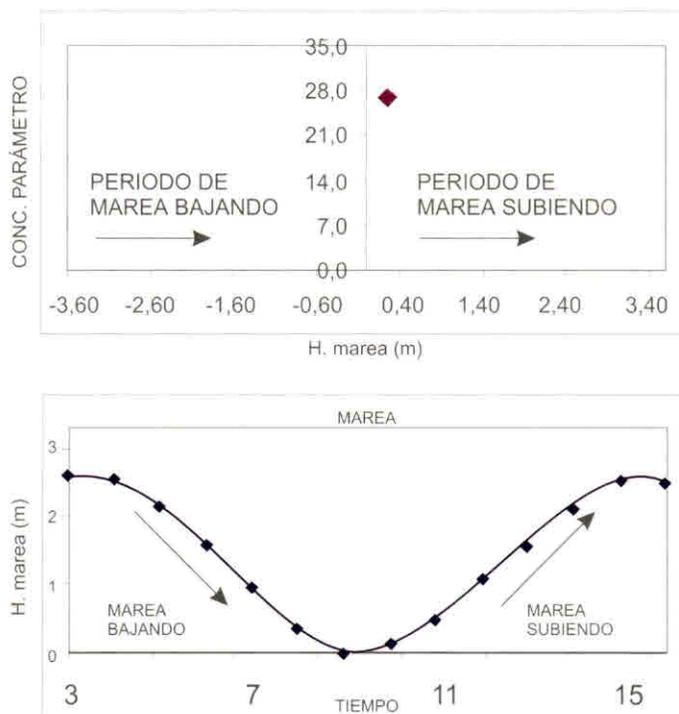


Figura 4

Metodología para la correlación de parámetros hidroquímicos con la altura de la marea

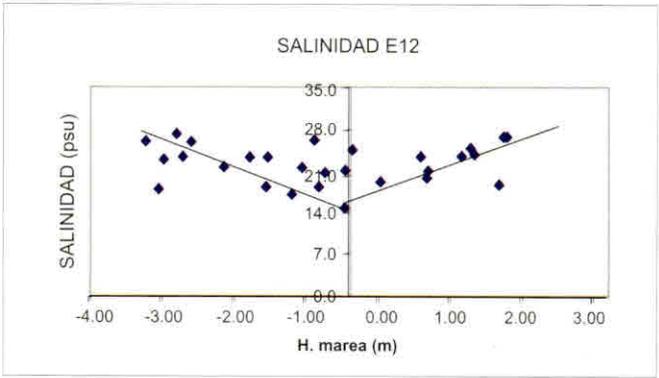
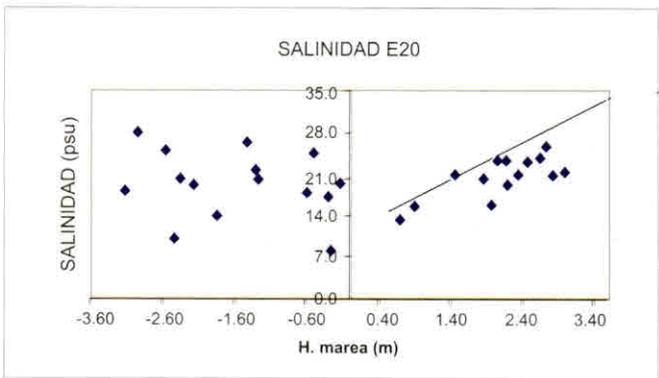
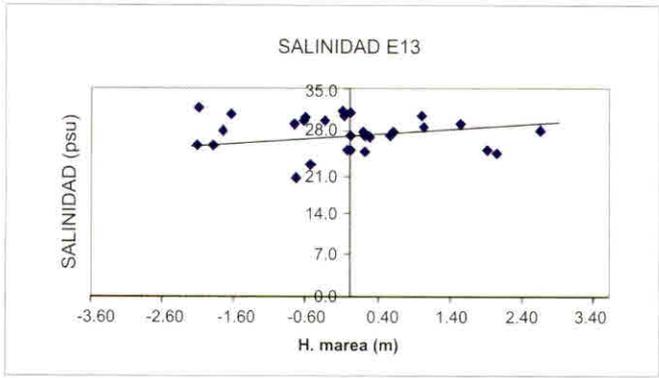


Figura 5

Salinidad vs altura de la marea para la E13, E20 Y E12

| Estación | | | Transparencia | Nitratos | Nitritos | Amonio | Fosfatos |
|---------------|------------|----------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 12 | Marea alta | Promedio | 3.80 | 0.72 | 0.53 | 0.59 | 79.83 |
| | Marea baja | Promedio | 0.35 | 1.51 | 0.80 | 1.52 | 0.92 |
| 13 | Marea alta | Promedio | 4.0 | 0.17 | 0.10 | 0.36 | 181.36 |
| | Marea baja | Promedio | 1.21 | 0.38 | 0.24 | 0.94 | 0.36 |
| 20 | Marea alta | Promedio | 4.1 | 1.82 | 0.76 | 0.87 | 31.91 |
| | Marea baja | promedio | 0.22 | 3.02 | 0.97 | 2.64 | 1.11 |
| Toda Ensenada | Marea alta | Promedio | 1.32 | 0.47 | 0.26 | 0.81 | 0.43 |
| | Marea baja | Promedio | 0.92 | 0.77 | 0.37 | 1.06 | 0.54 |

Tabla 1

Variación de los valores promedios para los parámetros en las fases de marea. (Transparencia en m, y los nutrientes en mg, at/l) para las estaciones 12, 13, 20 y toda la Ensenada.

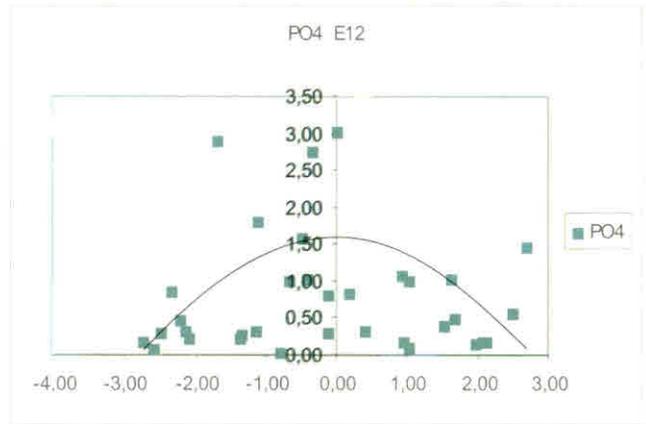
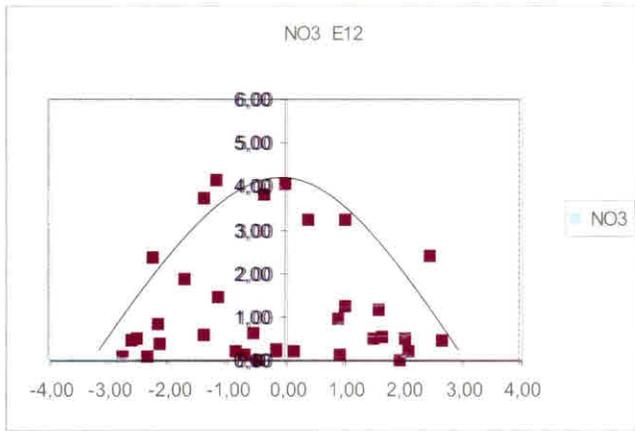


Figura 6

Relación de nitratos y fosfatos con la altura de la marea para la estación E12.

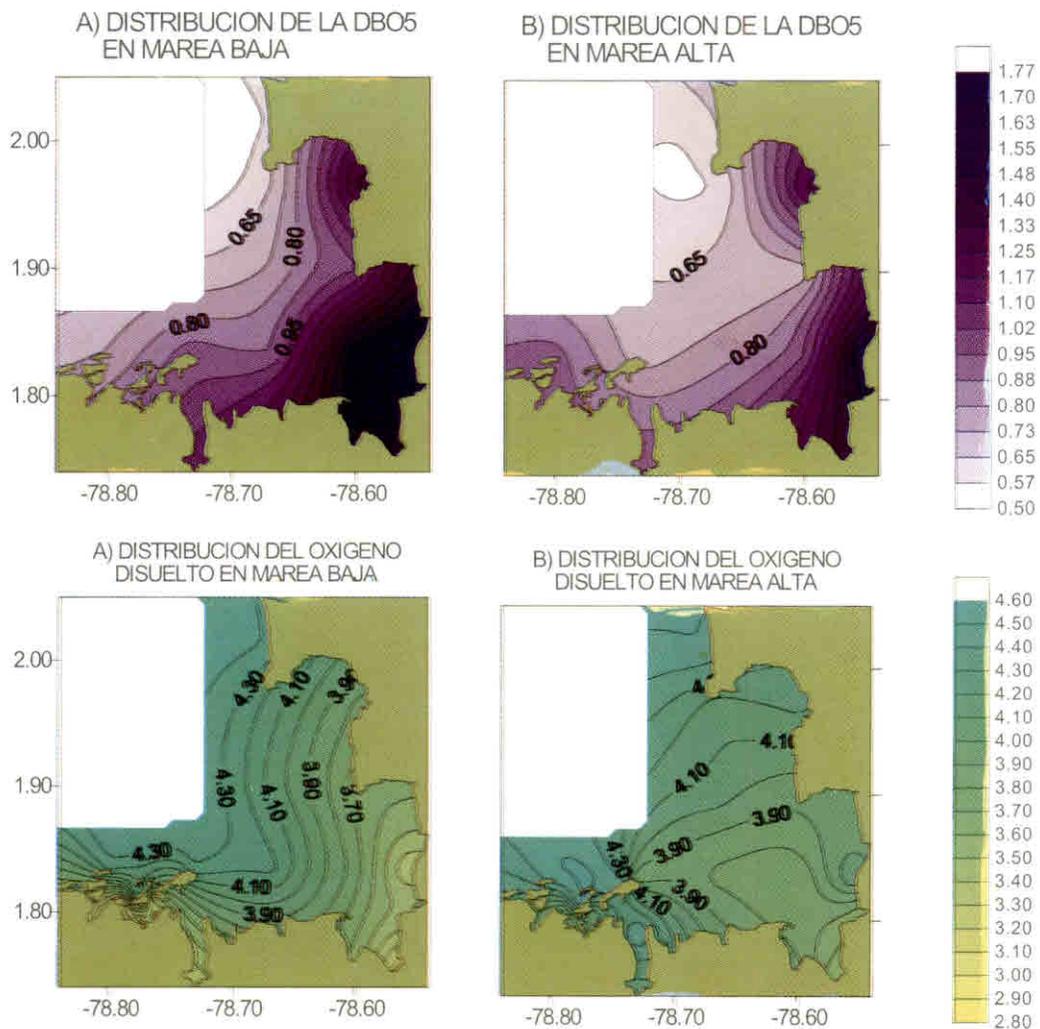


Figura 7

Distribución espacial de la dbo_5 (mg/l), el OD (mg/l), en los periodos de marea alta y marea baja

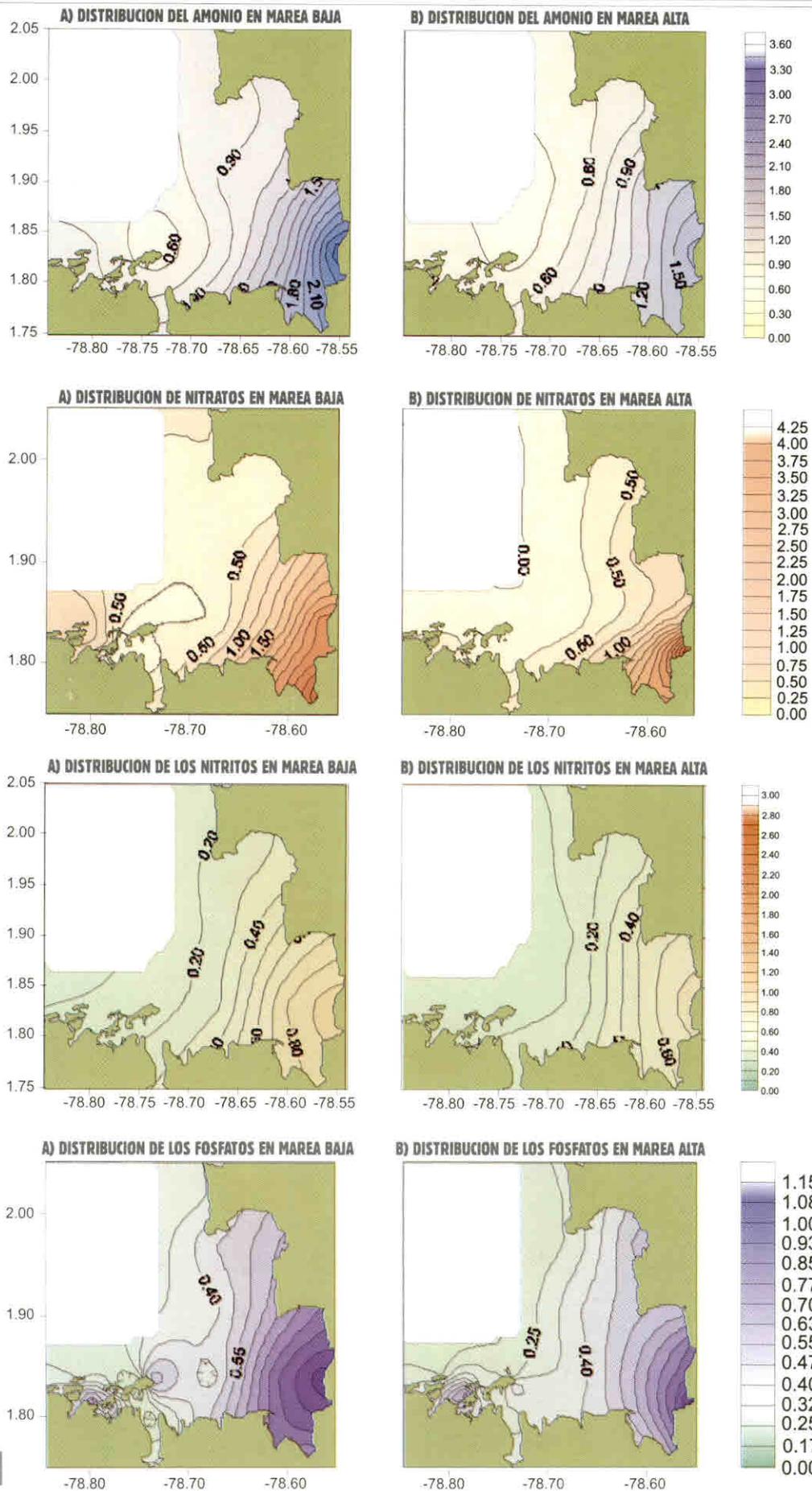


Figura 8

Distribución espacial de nutrientes amonio, nitritos y nitratos ($\mu\text{g. at N/l}$) y fosfatos ($\mu\text{g. at P/l}$); en los periodos de marea alta y marea baja

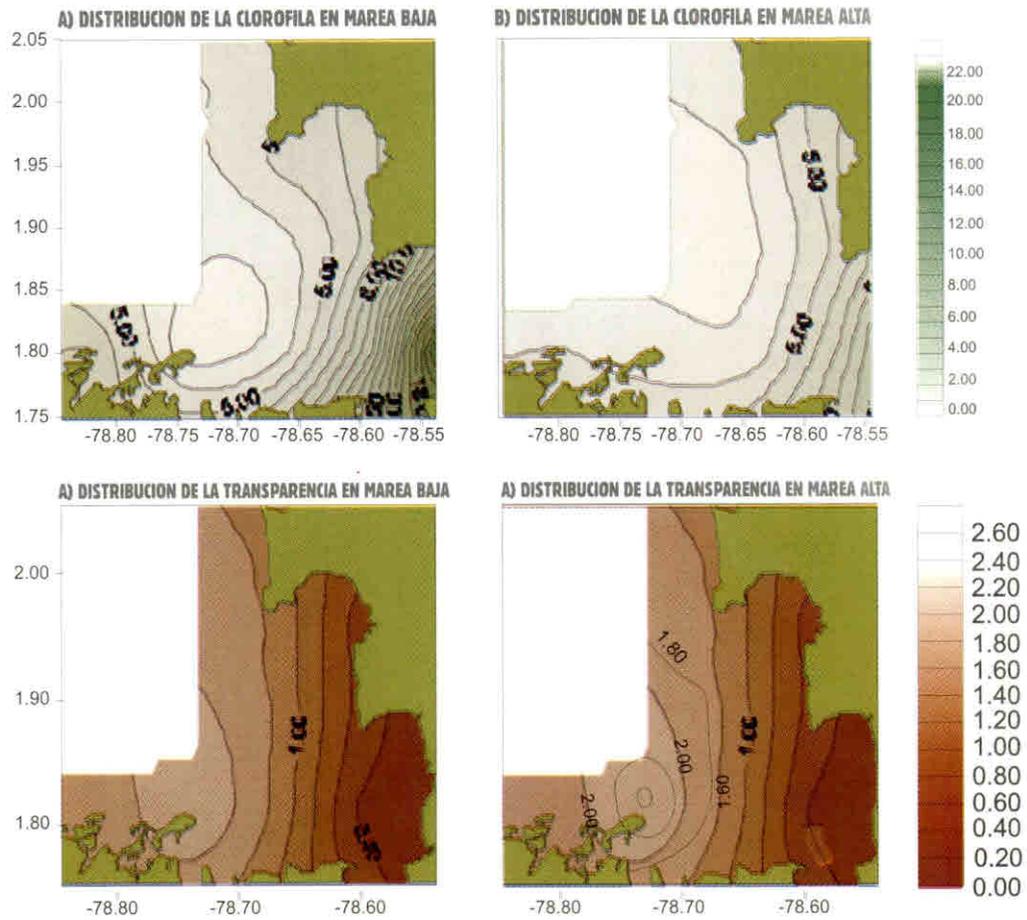


Figura 9

Distribución espacial de clorofilas (mg/l) y transparencia (m) en los periodos de marea alta y marea baja



Figura 10

Variación de los valores promedio para los parámetros en las fases de marea expresados en porcentajes. (Transparencia en m, y los nutrientes en µg, at/l).