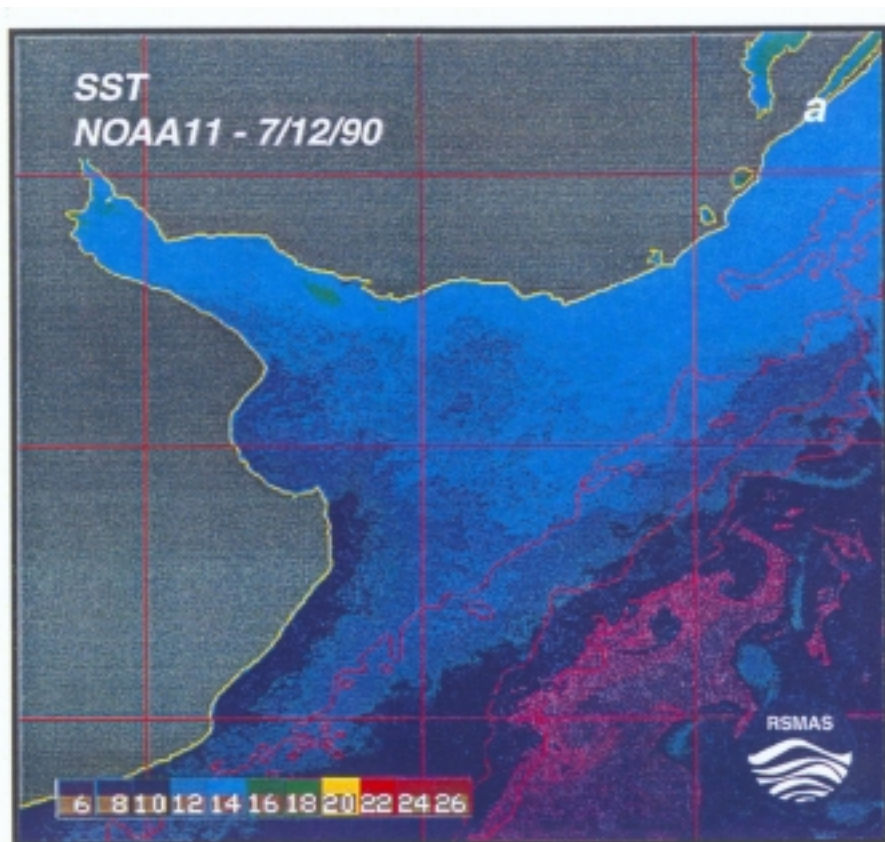


**MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA
SECRETARIA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS**



**BALANCE Y DINÁMICA DE NUTRIENTES PRINCIPALES
EN EL RÍO DE LA PLATA INTERIOR**



*Proyecto INA 10.4
Informe 01
Ezeiza, Septiembre 2001*

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE:

Ing. Adolfo L. CERIONI

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS:

Dr. Raúl A. LOPARDO

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA:

Ing. Julio C. DE LÍO

COORDINADOR DEL PROGRAMA NACIONAL DE CALIDAD DE AGUAS:

Ing. Oscar E. NATALE

EQUIPO DE TRABAJO

Ing. Patricia R. JAIME (Profesional Programa de Hidráulica Computacional LHA)

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ (Jefe del Programa de Hidráulica Computacional LHA)

Ing. Oscar E. NATALE (Coordinador Programa Nacional de Calidad de Aguas)

BALANCE Y DINÁMICA DE NUTRIENTES PRINCIPALES EN EL RÍO DE LA PLATA INTERIOR

Informe

Patricia Jaime, Ángel Menéndez y Oscar Natale

RESUMEN

Se efectuó un estudio tendiente a determinar el transporte y el destino de los nutrientes que llegan a las aguas del Río de la Plata Interior. Para ello se aplicaron técnicas de modelación matemática. Se explota el modelo hidrodinámico RIO DE LA PLATA 2000, desarrollado en el INA en base al software HIDROBID II, para cuantificar los parámetros de transporte (corrientes y coeficientes de mezcla). Luego se implementaron modelos de balance de contaminantes en base al software WASP5, los cuales se estructuran sobre una segmentación relativamente gruesa de la zona de estudio (12 segmentos).

Los resultados permiten efectuar una interpretación cualitativa de los fenómenos involucrados. Se identifican tres corredores de flujo (Palmas, Guazú y Uruguay), con escasa mezcla entre ellos. Se pone en evidencia un intenso proceso de mezcla en la boca del Río de la Plata Interior, resultado de las oscilaciones transversales de la corriente debido a la marea, que puede difundir contaminantes río arriba desde el Río de la Plata Exterior. Se cuantifica la influencia de las descargas costeras sobre la concentración de nutrientes. Se muestra que las concentraciones de Nitrógeno Inorgánico Total (NIT), Nitrógeno Orgánico Total (NOT), fósforo de fosfato (P-PO₄) y fósforo total (PT) no manifiestan cambios sobre la escala de análisis utilizada, es decir, se comportan como estacionarios en su transporte a lo largo de todo el Río de la Plata Interior, al menos dentro del margen de error determinado por la calidad de los datos utilizados. Sí en cambio se detecta un relativamente lento proceso de nitrificación entre el amonio y el nitrato. Por nitrificación, se oxidan diariamente 82 toneladas de nitrógeno amoniacal (N-NH₄) en nitrógeno de nitrato (N-NO₃) en el Río de la Plata Interior; mientras que el flujo de nitrógeno orgánico no evidencia mineralización en esta zona del Río de la Plata. Los porcentajes de aporte fluvial de nitrógeno total y fósforo total son superiores al 80%. En la franja costera sur, el aporte de cargas carbonáceas biodegradables provenientes de la margen argentina resulta el principal contribuyente a la carga de DBO₅ saliente del estuario (70%).

Descriptores temáticos: modelación matemática, simulación numérica, balance de nutrientes.

Descriptores geográficos: Río de la Plata, República Argentina, República Oriental del Uruguay

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	MOTIVACION DEL ESTUDIO.....	1
1.2	OBJETIVO DEL ESTUDIO	1
1.3	ZONA DE ESTUDIO.....	1
1.4	METODOLOGIA.....	2
2	CONDICIONES HIDRODINÁMICAS.....	3
2.1	MODELO HIDRODINAMICO “RIO DE LA PLATA 2000”	3
2.2	TRAYECTORIAS DE PARTICULAS.....	3
2.3	CORREDORES DE FLUJO	6
3	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS.....	8
3.1	SOFTWARE DE SIMULACIÓN WASP5	8
3.2	SEGMENTACION.....	10
3.3	DISPERSION	13
3.3.1	Concepto.....	13
3.3.2	Análisis puntual.....	13
3.3.3	Análisis integrado.....	14
3.3.4	Dispersión en flujo oscilante	18
3.3.5	Dispersión en el Río de la Plata.....	21
4	BALANCE Y DINAMICA DE UN INDICADOR CONSERVATIVO	24
4.1	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.....	24
4.2	DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	24
4.2.1	Río de la Plata	24
4.2.2	Tributarios.....	34
4.2.3	Aportes marginales.....	38
4.3	MODELACION MATEMATICA	38
4.3.1	Construcción de un escenario de trabajo.....	38
4.3.2	Calibración.....	45
5	BALANCE DE NITROGENO	48
5.1	PROCESOS BIOQUIMICOS DEL NITRÓGENO EN EL AGUA.....	48
5.2	DATOS DE LA SERIE NITROGENADA	49
5.2.1	Río de la Plata	49
5.2.2	Tributarios.....	62
5.2.3	Aportes marginales.....	67
5.3	MODELACION MATEMATICA	71
5.3.1	Construcción de un escenario de trabajo.....	71
5.3.2	Calibración.....	80
6	BALANCE DE FÓSFORO.....	83
6.1	FÓSFORO	83
6.2	DATOS DE FÓSFORO.....	83
6.2.1	Río de la Plata	83

6.2.2	Tributarios.....	96
6.2.3	Aportes marginales.....	100
6.3	MODELACION MATEMATICA	101
6.3.1	Construcción de un escenario de trabajo.....	101
6.3.2	Calibración.....	107
7	BALANCE DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	114
7.1	DEMANDAS DE OXÍGENO	114
7.2	DATOS DE DBO ₅	115
7.2.1	Río de la Plata	115
7.2.2	Tributarios.....	127
7.2.3	Aportes marginales.....	130
7.3	MODELACION MATEMATICA	134
7.3.1	Construcción de un escenario de trabajo.....	134
7.3.2	Calibración.....	139
8	VINCULACIÓN DE LOS FLUJOS DE NUTRIENTES CON EL ESTADO TRÓFICO DEL RÍO DE LA PLATA INTERIOR.....	142
8.1	PROCESOS Y ECUACIONES DEL MODELO WASP5	142
8.2	BALANCE DE FLUJOS MÁSICOS DE NUTRIENTES EN EL RÍO DE LA PLATA INTERIOR Y SU ESTADO TRÓFICO.....	145
9	CONCLUSIONES	148
	REFERENCIAS	150

1 INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACION DEL ESTUDIO

El importante incremento en el aporte de nutrientes a los recursos hídricos superficiales, como fruto del crecimiento de la ocupación y explotación del territorio por parte de la sociedad humana, está generando un aumento de las concentraciones capaz de llegar a producir cambios significativos en el estado trófico de esos sistemas, con las consiguientes consecuencias negativas tanto para su utilización como recurso como para el mantenimiento de su biota y de su rol ecológico.

Para definir acciones capaces de poner un límite eficaz a estos aportes es necesario, previamente, efectuar un adecuado diagnóstico, capaz de discriminar claramente el origen de los nutrientes encontrados en los cuerpos de agua. De esta manera puede determinarse la importancia de cada fuente y procederse, entonces, a diseñar las medidas que apunten a reducciones eficaces, en lugar de efectistas.

El Río de la Plata es el vehículo final de los excedentes hídricos superficiales de toda la Cuenca del Plata y, como tal, la calidad de sus aguas está determinada por la combinación de la de sus tributarios, incluyendo las descargas directas de efluentes domésticos e industriales. Dada la importancia estratégica del Río de la Plata, como proveedor de agua para consumo para el área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires, resulta de gran interés explicar la distribución espacial de los nutrientes transportados por sus aguas en base a su origen.

1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El presente estudio se plantea como objetivo establecer el origen y la magnitud de las cargas de los principales nutrientes transportados por el Río de la Plata.

1.3 ZONA DE ESTUDIO

Dadas las limitaciones de información disponible y de medios materiales para efectuar este estudio, el análisis se ha restringido al Río de la Plata Interior, es decir, el tramo que se extiende desde su cabecera hasta la línea Punta Piedras-Montevideo (figura 1.3.1).

Entonces, se establecerá la distribución de nutrientes principales en ese tramo en función de las cargas de los aportantes, incluyendo los tres tributarios principales (ríos Paraná de las Palmas, Paraná Guazú y Uruguay), los arroyos (Luján, Medrano, Maldonado, Riachuelo, Sarandí, Santo Domingo, etc.) y las descargas directas (como el emisario submarino de Berazategui).



El método de análisis consiste en segmentar el Río de la Plata Interior y efectuar el balance de nutrientes en cada segmento, teniendo en cuenta los flujos entrante y saliente por advección, por difusión turbulenta, por dispersión debida a la advección diferencial y por aporte directo. Se parte de la información existente, principalmente contenida en la “literatura gris”.

Para efectuar el balance se utiliza el software de calidad de aguas *WASP5* (ver capítulo 3). Los datos de entrada de este software relativos a los parámetros hidrodinámicos (corrientes, coeficientes de difusión y dispersión) se construyen a partir de los resultados obtenidos de la explotación del modelo hidrodinámico "*RIO DE LA PLATA 2000*", desarrollado en el INA (Jaime & Menéndez 1999).

2 CONDICIONES HIDRODINÁMICAS

2.1 MODELO HIDRODINAMICO “RIO DE LA PLATA 2000”

En el INA se implementó una primera versión de un modelo hidrodinámico de la totalidad del Río de la Plata, basado en un análisis bidimensional según el plano horizontal, en la tesis de grado de Molinari (1986). Fue mejorado y ampliado en trabajos posteriores (Albarracín 1988, Olalde 1988). La versión más actualizada (y mejorada) data de 1999, y fue denominada "RIO DE LA PLATA 2000" (Jaime & Menéndez 1999).

Todas las versiones se basaron en el software HIDROBID II, desarrollado en el INA (Menéndez 1985, 1990), que utiliza técnicas de diferencias finitas. La resolución espacial del modelo hidrodinámico actual es de 1 km, produciendo una grilla de 256 x 303 nodos. Ha sido validado a través de la comparación entre niveles observados y calculados en las estaciones hidrométricas existentes en el río y entre velocidades registradas y calculadas.

2.2 TRAYECTORIAS DE PARTICULAS

El modelo hidrodinámico fue explotado para obtener las trayectorias de las partículas fluidas, de modo de caracterizar las direcciones de transporte.

Se utilizó un escenario hidrometeorológico de relativa calma, correspondiente a la situación histórica que se extendió desde el 08/Feb/97 a las 02:17 horas hasta el 12/Feb/97 a las 10:22 horas. En la figura 2.2.1 se muestra el registro de marea de ese período en la ciudad de Buenos Aires. Esta condición de 4,74 días fue repetida periódicamente.

En los tributarios se impusieron los caudales medios: 4800 m³/s en el Paraná de las Palmas, 13200 m³/s en el Paraná Guazú y 5200 m³/s en el Uruguay. A título ilustrativo, en las figuras 2.2.2 y 2.2.3 se presentan las distribuciones espaciales instantáneas de nivel de agua y de corrientes correspondiente a la hora 22:20 del 10/Feb/97.

La figura 2.2.4 muestra, sobre la batimetría del cauce, las trayectorias calculadas, correspondientes a una serie de partículas originalmente distribuidas en distintos puntos del río. La forma espiralada de las trayectorias resulta de la combinación del efecto oscilatorio de la marea y del efecto de deriva neta hacia el océano causado por las descargas de los tributarios principales. Nótese que la espiral pasa de una forma elongada en la dirección de la corriente, dentro del Río de la Plata Interior, a una forma más circular en la zona exterior. Esto se debe a la existencia de un modo de oscilación transversal presente en el Río de la Plata Exterior que no logra penetrar en la región interior, tal como se explicó en la tesis de grado de Albarracín (1988). El tiempo necesario para que una partícula recorra toda la extensión del río resulta del orden de los 2 meses.

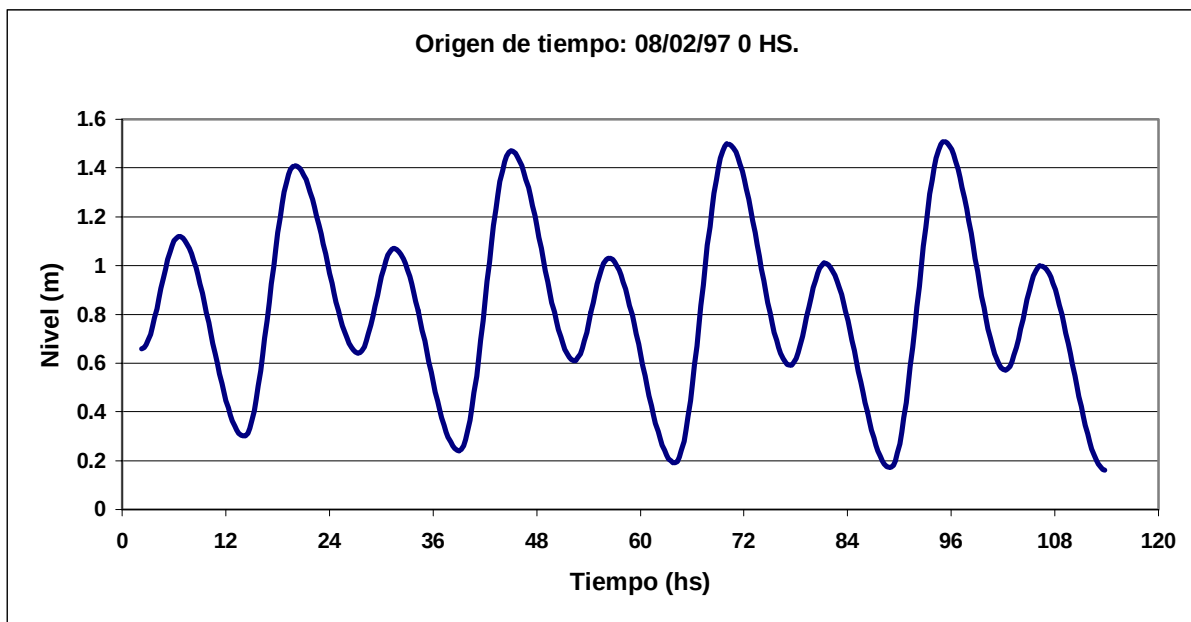


Figura 2.2.1 Marea en Buenos Aires para escenario de calma

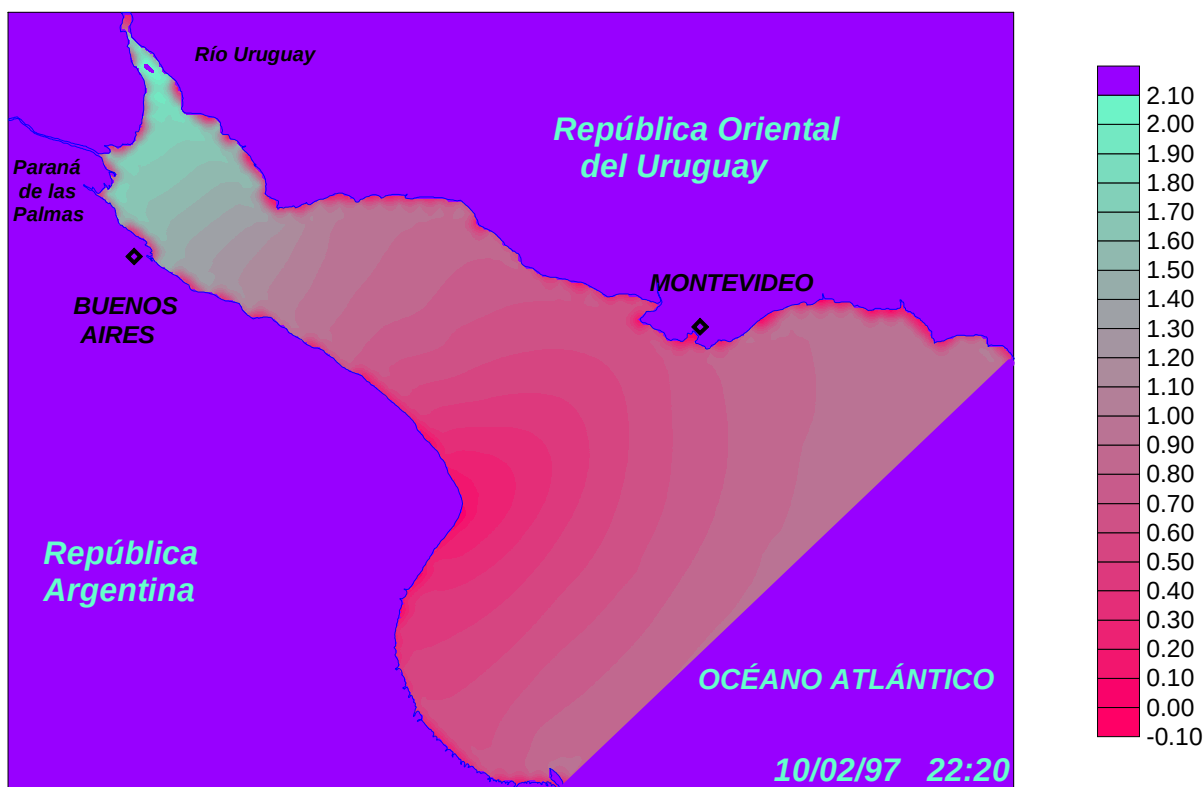


Figura 2.2.2 Distribución instantánea de nivel de agua para la hora 22:20 del 10/02/97

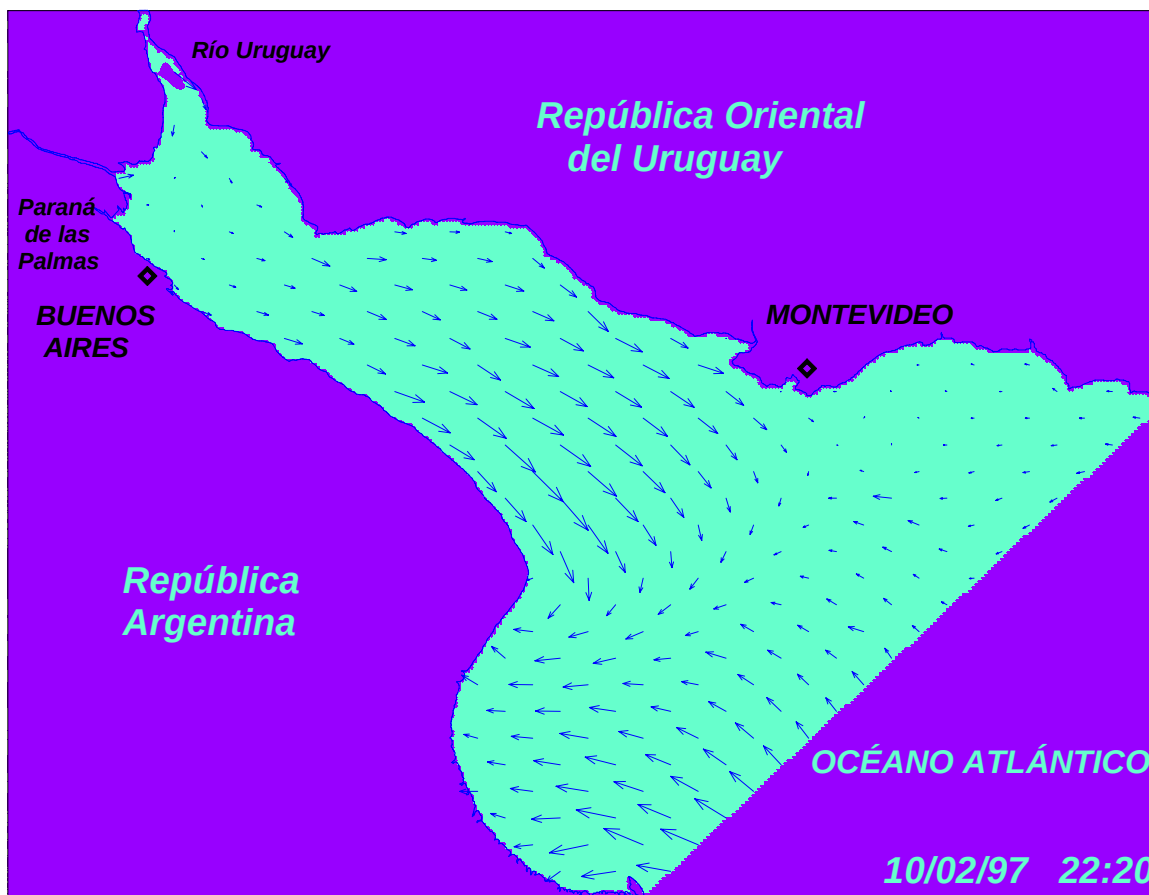


Figura 2.2.3 Distribución instantánea de corrientes para la hora 22:20 del 10/02/97

Para determinar las trayectorias medias de transporte se efectuó un filtrado de las oscilaciones. De esta manera se construyó el mapa de trayectorias medias mostrado en la figura 2.2.5. Se observa que las trayectorias tienden a seguir esencialmente los canales naturales: en el Río de la Plata Interior se vuelcan primero desde la costa uruguaya hacia la argentina, para luego volver hacia la uruguaya; en la zona exterior la tendencia es a bifurcarse, aunque con predominio de corrientes sobre el canal lindante a la costa uruguaya.

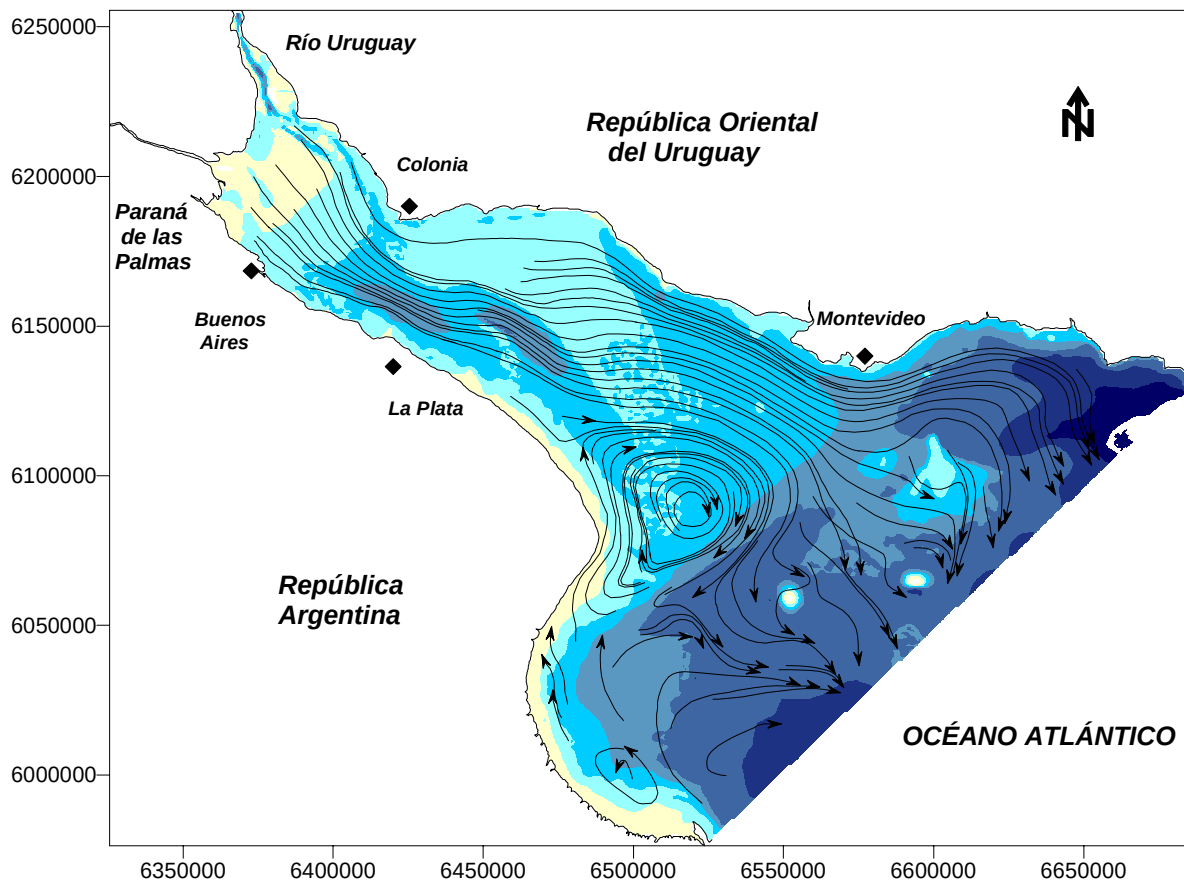


Figura 2.2.5 Trayectorias medias de partículas fluidas para escenario de calma

Se observa también claramente la existencia de una zona de recirculación general sobre la costa argentina centrada a la altura de la localidad de Punta Piedras, que indica el despegue de la capa límite costera. Ese despegue se debe exclusivamente a las condiciones topográficas del fondo.

2.3 CORREDORES DE FLUJO

Las trayectorias medias de las partículas, mostradas en la sección anterior, permiten construir corredores (medios) de flujo a lo largo de todo el río. El transporte medio (de cantidad de movimiento, energía, contaminantes) a lo largo del corredor está dominado por la advección, mientras que entre corredores se produce un transporte difusivo, sobre el que se superpone el advectivo oscilatorio, cuya importancia es mayor en el Río de la Plata Exterior.

Se distinguieron tres corredores de flujo, uno asociado a cada uno de los tres tributarios principales que, desde la costa argentina, son el Paraná de las Palmas, el Paraná Guazú y el Uruguay, tal como se muestra en la figura 2.3.1. Entonces, cada tubo de flujo transporta (en término medio) el caudal correspondiente al tributario asociado. Nótese que se ha separado como un compartimiento aparte la zona de recirculación.

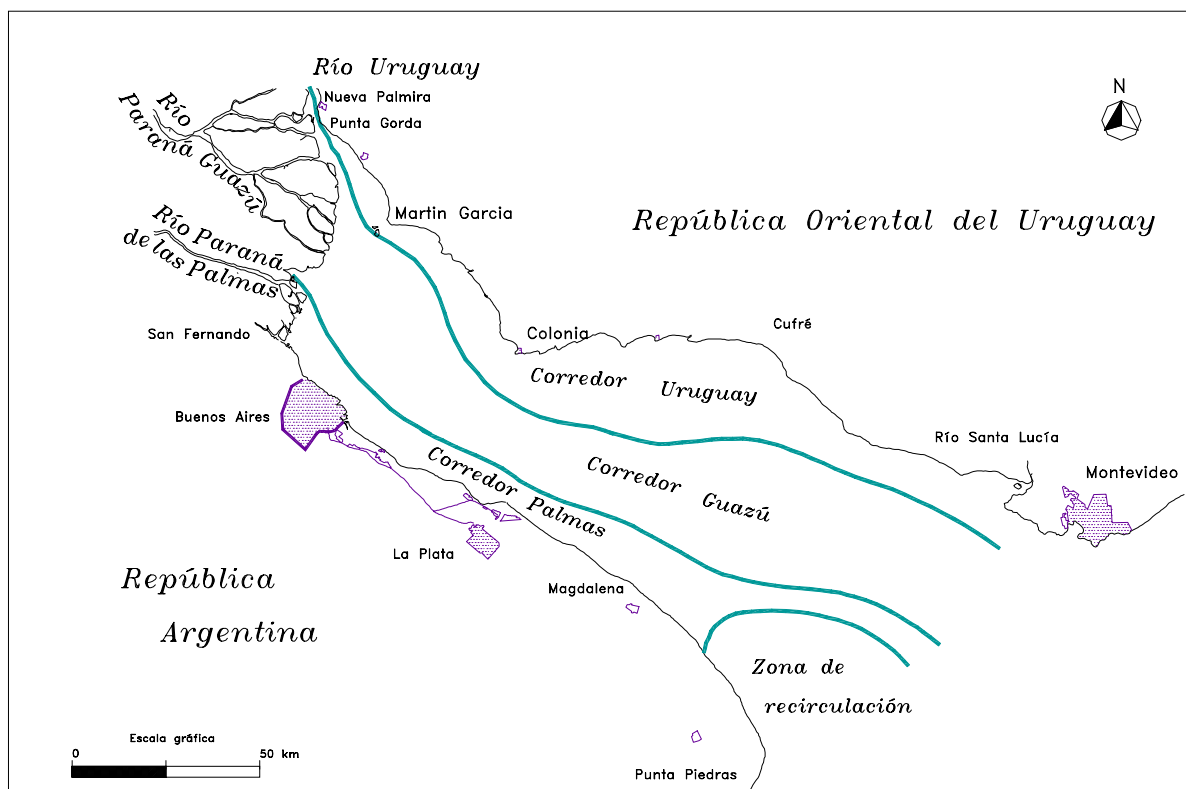


Figura 2.3.1 Corredores de flujo en el Río de la Plata Interior

3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS

3.1 SOFTWARE DE SIMULACIÓN WASP5

El modelo *WASP5* (Water Quality Analysis Simulation Program – Version 5) es una versión mejorada del original *WASP* (Di Toro et al. 1983, Connolly & Winfield 1984; Ambrose et al. 1988) que permite explicar y predecir respuestas de calidad de agua a los fenómenos naturales y a la contaminación introducida por las actividades humanas para varias decisiones de control de la contaminación. Es un programa de modelación dinámica por compartimientos para sistemas acuáticos que incluye la columna de agua y el sedimento subyacente y que representa los procesos variables en el tiempo de advección, dispersión, carga de masa distribuida y puntual e intercambio con el contorno.

WASP5 describe el movimiento y la interacción de contaminantes dentro de la masa de agua con sendos sub-modelos para simular dos de los principales problemas de calidad de agua, a saber: *EUTRO* para contaminación convencional (incluyendo oxígeno disuelto/demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes/eutroficación) y *TOXI* para contaminación tóxica (incluyendo químicos orgánicos y metales pesados en agua y sedimentos), los cuales han sido extensamente utilizados para examinar eutroficación y problemas de contaminación (Ambrose, R.B. et al., 1993).

Las ecuaciones resueltas por el modelo se basan en el principio de conservación de la masa, que exige que la masa de cada constituyente de calidad de agua sea considerada en el balance. *WASP5* transporta cada constituyente de calidad de agua desde su fuente hasta la descarga conservando la masa en el espacio y en el tiempo. Para efectuar estos cálculos deben definirse propiedades tales como: segmentación del modelo, características del transporte dispersivo y advectivo, concentraciones en los bordes, fuentes de cargas distribuidas y puntuales, parámetros cinéticos y concentraciones iniciales. Estos datos de entrada, junto a las ecuaciones de balance de masa y las ecuaciones de cinéticas químicas específicas, definen un conjunto de ecuaciones de calidad de agua que son integradas numéricamente en cada paso de tiempo.

La ecuación de balance de masa para las sustancias disueltas en un cuerpo de agua debe considerar toda la materia entrante y saliente a través de cargas directas o distribuidas, los transporte advectivo y difusivo y las transformaciones físicas, químicas y biológicas. Considerando un sistema de coordenadas donde x e y están en el plano horizontal y z en el vertical, la ecuación de balance en un volumen de fluido infinitesimal es:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} = & - \frac{\partial}{\partial x}(u_x c) - \frac{\partial}{\partial y}(u_y c) - \frac{\partial}{\partial z}(u_z c) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(e_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(e_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(e_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) \\ & + s_L + s_B + s_K \end{aligned} \quad (3.1.1)$$

donde:

C	=	concentración del constituyente de calidad de agua, [ML ⁻³]
t	=	tiempo, [T]
u_x, u_y, u_z	=	componentes de la velocidad advectiva, [LT ⁻¹]
e_x, e_y, e_z ¹	=	coeficientes de difusión, combinación de los efectos moleculares y turbulentos [L ² T ⁻¹]
S_L	=	aporte directo de cargas puntuales y distribuidas, [ML ⁻³ T ⁻¹]
S_B	=	aporte de cargas de los contornos (de aguas arriba, de aguas abajo, béntica y atmosférica), [ML ⁻³ T ⁻¹]
S_K	=	tasa de transformación cinética total; positiva para productos y negativa para reactivos, [ML ⁻³ T ⁻¹]

La versión integrada de la ecuación (3.1.1) sobre un segmento prismático de flujo es:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(VC) = & (U_x A_x C)_{x_1} - (U_x A_x C)_{x_2} + (U_y A_y C)_{y_1} - (U_y A_y C)_{y_2} + (U_z A_z C)_{z_1} - (U_z A_z C)_{z_2} \\ & + (K_x A_x \frac{\partial C}{\partial x})_{x_2} - (K_x A_x \frac{\partial C}{\partial x})_{x_1} + (K_y A_y \frac{\partial C}{\partial y})_{y_2} - (K_y A_y \frac{\partial C}{\partial y})_{y_1} \\ & + (K_z A_z \frac{\partial C}{\partial z})_{z_2} - (K_z A_z \frac{\partial C}{\partial z})_{z_1} + V(S_L + S_B + S_K) \end{aligned} \quad (3.1.2)$$

donde las mayúsculas indican que las variables ahora están promediadas sobre el segmento,

V	=	volumen del segmento, [L ³]
A_x, A_y, A_z	=	áreas de las secciones de flujo del segmento, [L ²]
x_1, x_2	=	coordenadas x de las caras del segmento normales a ese eje, [L]
y_1, y_2	=	coordenadas y de las caras del segmento normales a ese eje, [L]
z_1, z_2	=	coordenadas z de las caras del segmento normales a ese eje, [L]
K_x, K_y, K_z ²	=	coeficientes de dispersión, que involucran no sólo las difusiones molecular y turbulenta (en la respectiva dirección), sino también el desparramamiento generado por el gradiente transversal de velocidades (advección diferencial) en combinación con la difusión turbulenta transversal a la respectiva dirección, [L ² T ⁻¹]

La ecuación (3.1.2) representa los cuatro fenómenos de transporte y destino principales que hacen a la calidad de agua:

- *transporte advectivo*, que concierne el ingreso o egreso de sustancias desde el volumen de control con la velocidad de la corriente,

¹ En rigor se trata de un tensor, pero se lo ha considerado diagonal por simplicidad en la descripción.

² Ibid.

- *transporte dispersivo*, referido al ingreso o egreso de sustancias por el efecto combinado de las difusiones molecular y turbulenta y la advección diferencial,
- *fuentes externas*, es decir sustancias provenientes de fuentes externas puntuales (descargas de efluentes) y distribuidas (aportes superficiales y subsuperficiales inducidos por escorrentía). También incluye los sumideros externos asociados a materiales removidos del cuerpo de agua y
- *transformaciones o reacciones internas*, que dan cuenta de cambios en la cantidad de la sustancia por procesos de transformación física, química y biológica.

El modelo WASP5 trabaja sobre un conjunto de segmentos que subdividen el cuerpo de agua tanto lateral y verticalmente como en sentido longitudinal. Las concentraciones de las sustancias indicadoras de calidad se calculan dentro de cada segmento y sus tasas de transporte en la interfase de segmentos adyacentes. Estos segmentos pueden ser de distinto tipo: superficiales, subsuperficiales y bénticos y sus dimensiones están definidas por la escala temporal y espacial del problema que se analiza (Ambrose et al. 1993).

Una vez que la segmentación está establecida, la implementación del modelo procede a través de etapas que involucran la hidrodinámica, el transporte de masa y las transformaciones de calidad de agua. De aquí que una buena descripción de la geometría de los segmentos como una función de las condiciones de flujo y de las características del transporte advectivo (que controla directamente el transporte de contaminantes disueltos en los cuerpos de agua) sea esencial para describir o simular adecuadamente los procesos de transporte.

3.2 SEGMENTACION

La segmentación propuesta para el Río de la Plata Interior resulta de la combinación de criterios morfológicos e hidrodinámicos.

En el capítulo 2 se identificaron los corredores de flujo asociados a cada uno de los tres tributarios principales (Paraná de las Palmas, Paraná Guazú y Uruguay) y una zona de recirculación en las cercanías de Punta Piedras. Los segmentos fueron definidos a partir de los corredores (es decir, respetando ese criterio hidrodinámico), subdividiéndolos de acuerdo a tres cortes, relativamente normales a las direcciones de flujo, que representan una suerte de accidentes morfológicos (figura 3.2.1):

- i) El primero en la sección donde culmina Playa Honda.
- ii) El segundo en una sección adyacente a los bancos Chico de Ortiz y Magdalena.
- iii) El tercero en la sección donde culmina el Banco Grande de Ortiz.

El tercer corte no se implementó en el corredor Palmas para evitar la conformación de un segmento final demasiado pequeño.

La figura 3.2.2 presenta la numeración impuesta a los segmentos e indica la conectividad entre ellos, que involucra procesos de transporte longitudinal y transversal. Las características geométricas de los segmentos se detallan en la tabla 3.2.1. Se trata de valores medios sobre todo el ciclo de marea. En el caso de variables locales, son promedios espaciales.

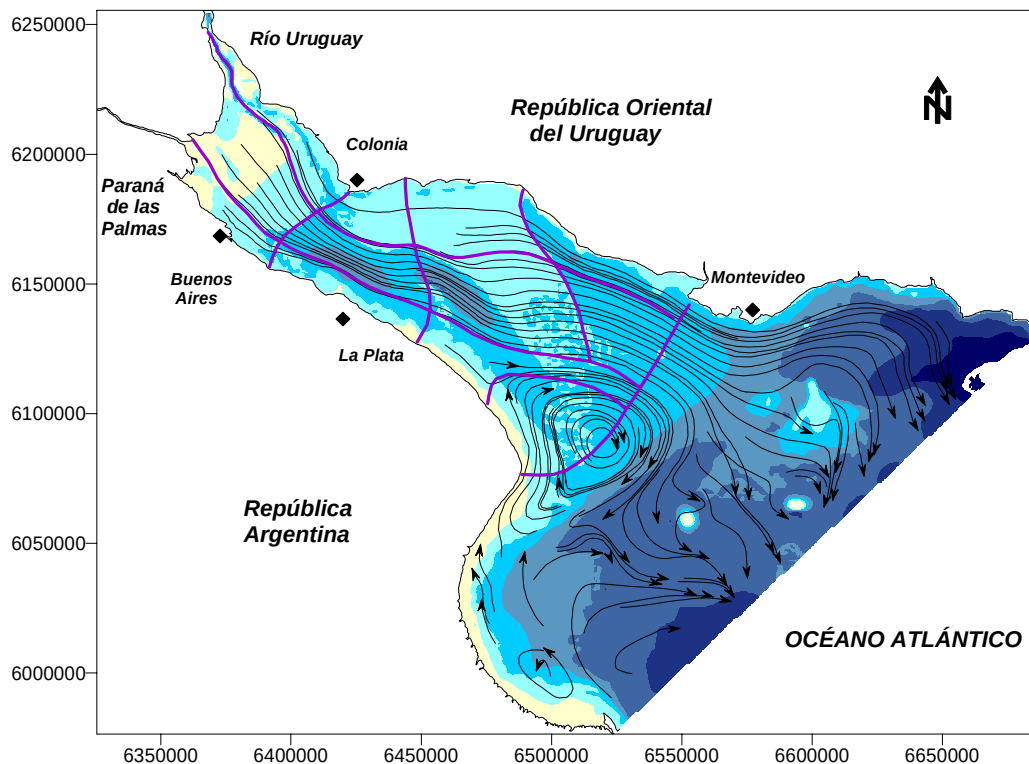


Figura 3.2.1 Segmentación del Río de la Plata Interior

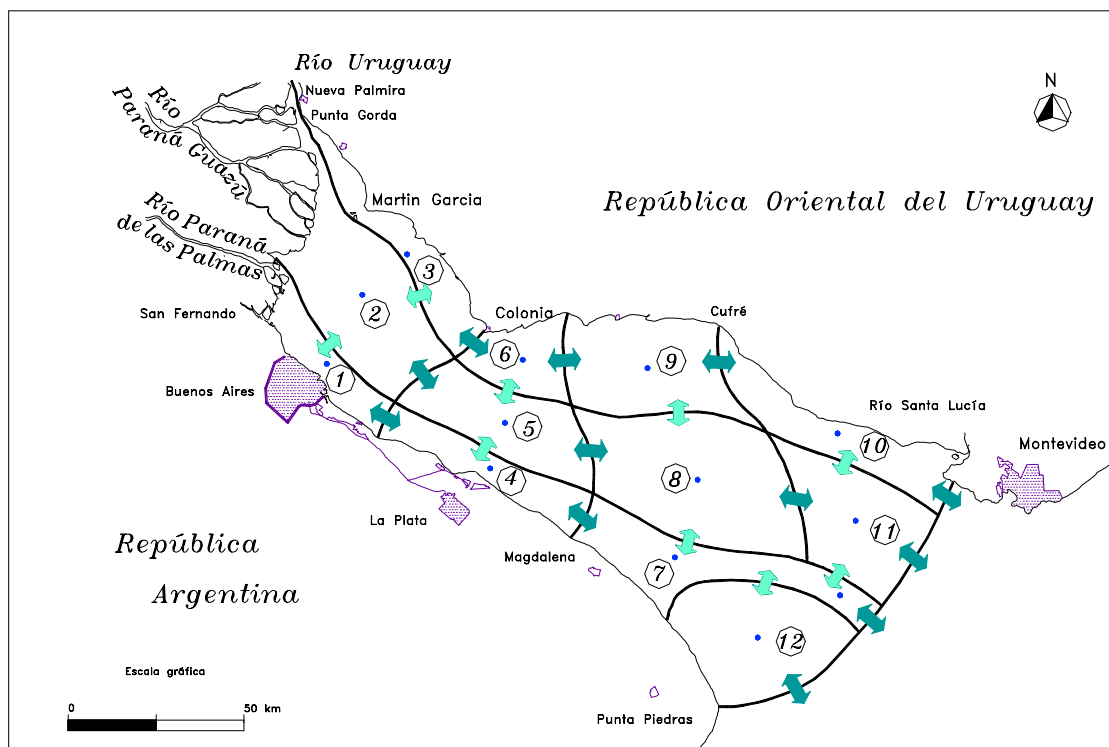


Figura 3.2.2 Identificación de segmentos y conectividad

Tabla 3.2.1
Características geométricas de los segmentos

Segmento	Área superficial (km²)	Ancho superficial (km)	Longitud (km)	Perímetro (km)	Profundidad (m)	Volumen (hm³)
1	435	9,95	45,4	117,6	4,05	1762
2	1462	25,40	53,3	224,5	4,03	5891
3	639	9,22	95,7	193,1	4,52	2887
4	605	9,26	63,3	151,8	5,03	3042
5	974	18,98	55,3	145,8	8,03	7815
6	503	18,95	27,7	100,8	5,52	2775
7	1016	11,56	87,9	214,8	6,40	6502
8	1904	31,07	61,0	185,6	6,94	13204
9	1216	29,27	46,1	164,9	4,77	5798
10	894	12,13	72,3	199,7	7,41	6627
11	1115	22,46	37,3	147,6	6,89	7682
12	1297	36,01	42,2	140,1	6,36	8256

En las tablas 3.2.2 y 3.2.3 se presentan los valores de los parámetros geométricos e hidrodinámicos necesarios para el cálculo de los transportes advectivos y difusivos longitudinal y transversal, respectivamente, entre segmentos adyacentes. Todos ellos son valores medios temporales sobre el ciclo de mareas, obtenidos a partir de los resultados provistos por el modelo hidrodinámico. Además, la profundidad, la velocidad normal y la velocidad de corte (cuadrática media) surgen de promediar valores medios temporales en tres a cinco estaciones distribuidas a lo largo de la interfase entre segmentos. Las longitudes de mezcla fueron tomadas como la distancia entre centroides.

Tabla 3.2.2
Parámetros de cálculo de transporte longitudinal entre segmentos

Interfase entre segmentos		Área (m²)	Profundidad (m)	Ancho (km)	Long. mezcla (km)	Veloc. normal (cm/s)	Veloc. corte (cm/s)
1	4	64200	5,72	11,21	54,99	4,2	1,03
2	5	134700	6,16	21,37	54,50	6,8	1,26
3	6	73000	5,66	11,51	43,95	9,8	1,55
4	7	70900	5,20	13,92	58,35	6,9	1,30
5	8	162500	7,43	21,72	57,01	8,1	1,22
6	9	119500	4,75	24,89	35,61	4,5	0,98
8	11	192100	5,99	30,39	46,48	6,9	1,12
9	10	108600	5,53	19,41	57,18	4,0	0,88
12	0	254200	5,52	46,41	18,46	5,1	1,70
7	0	64200	6,84	9,58	48,84	7,4	1,27
11	0	202300	6,78	29,70	20,94	6,8	1,02
10	0	72100	7,04	10,04	35,64	9,5	1,05

Tabla 3.2.3
Parámetros de cálculo de transporte transversal entre segmentos

Interfase entre segmentos		Área (m²)	Profundidad (m)	Ancho (km)	Long. mezcla (km)	Veloc. corte (cm/s)
1	2	189800	3,58	52,68	21,55	1,33
2	3	443900	5,42	75,08	17,07	1,37
4	5	501000	8,08	61,83	13,46	1,02
5	6	201500	5,89	39,44	18,31	1,31
7	8	426600	6,63	64,34	22,66	1,46
8	9	264400	4,86	55,42	34,61	1,01
12	7	367100	5,79	55,75	25,03	1,52
7	11	153400	6,19	24,85	21,54	1,28
11	10	394300	7,18	54,94	25,15	0,96

3.3 DISPERSION

3.3.1 Concepto

El fenómeno de dispersión es la acción por la cual el flujo desparrama y diluye una masa de contaminante por la acción combinada de la distribución de la velocidad y la difusión turbulenta (Fisher, H. 1973).

Las sustancias contaminantes se disuelven o mezclan con el agua y son transportadas por el movimiento natural del flujo. Este movimiento puede descomponerse en un flujo medio (en el sentido de Reynolds) y uno turbulento. Así, si un material soluble es descargado en un ambiente acuático, será transportado desde el punto de descarga por el movimiento de la masa de agua y será desparramado longitudinal y perpendicularmente al flujo por los efectos difusivos del movimiento turbulento. Cuando el material se difunde a través del flujo se desparrama en regiones que poseen diferentes velocidades. El desparramamiento en corrientes moviéndose a diferentes velocidades acelera la dispersión de los materiales en la dirección del flujo. Este efecto combinado o, más específicamente, el gradiente espacial de la velocidad del flujo y la difusión turbulenta, recibe el nombre de "dispersión".

La tasa a la cual un contaminante se desparrama, la disminución del pico de concentración y el patrón de concentración resultante a lo largo de una corriente son de gran importancia en el control de la contaminación. Para estimar cuantitativamente la dispersión sufrida por un material descargado en un ambiente acuático es necesario modelar el proceso de difusión turbulenta y tener un conocimiento cuantitativo de la velocidad de la masa de agua.

3.3.2 Análisis puntual

Por analogía con la difusión molecular, se supone que el flujo de masa en una dirección dada debido a la mezcla turbulenta es proporcional al gradiente de concentración

en esa dirección, donde el coeficiente de proporcionalidad E es el coeficiente de difusión turbulenta. Así, el flujo longitudinal de masa en la dirección x es

$$-E_x \rho \frac{\partial c}{\partial x} \quad (3.3.1)$$

donde $c(x)$ es la concentración, ρ la densidad del agua y el signo se impone para tener flujo de masa positivo en la dirección de decrecimiento de la concentración. También existirá flujo de masa correspondiente a las direcciones vertical (z) y lateral (y), con coeficientes de difusión turbulenta E_z y E_y , respectivamente, que no necesariamente serán iguales entre sí o a E_x ³.

Para obtener el flujo de masa total es necesario sumar a la contribución turbulenta el flujo de material transportado por la corriente. Así:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left[u_i c - E_i \frac{\partial c}{\partial x_i} \right] = 0 \quad (3.3.2)$$

donde c es la concentración, t el tiempo, x_i (con $1 \leq i \leq 3$) las coordenadas espaciales, u_i las componentes de la velocidad y E_i las componentes de la difusividad turbulenta.

Con apropiadas condiciones de contorno, y suponiendo conocidos los valores de velocidad y de los coeficientes de difusión turbulenta, esta ecuación puede, en principio, ser resuelta para determinar la distribución espacial y temporal de la concentración c . Sin embargo, este grado de detalle no es necesario en las aplicaciones ingenieriles. Además ni u_i ni E_i podrían conocerse con suficiente precisión y los datos de campo no serían suficientemente detallados como para verificar los resultados. Si a esto se agrega el enorme y costoso esfuerzo computacional que implica resolver la ecuación (3.3.2), se concluye que es conveniente introducir simplificaciones adicionales.

El procedimiento convencionalmente adoptado es promediar la ecuación sobre una o más dimensiones espaciales. Promediando en la vertical se tiene un modelo bidimensional en planta, adecuado para estuarios y bahías anchos bien mezclados verticalmente. Integrando en la dirección lateral se obtiene un modelo bidimensional en corte, apropiado para el estudio de estuarios estratificados angostos. Promediando en vertical y transversal se tiene un modelo unidimensional, apto para estuarios bien mezclados en vertical y lateral (Menéndez 1986, 1991).

3.3.3 Análisis integrado

Una forma integrada relativamente más general de la ecuación de transporte es la (3.1.2). Ahora bien, si se alinea el eje x con la dirección (local) de la corriente, ésta se reduce a

³ Ibid.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(VC) = & (UA_x C)_{x_1} - (UA_x C)_{x_2 z_2} \\ & + (K_x A_x \frac{\partial C}{\partial x})_{x_2} - (K_x A_x \frac{\partial C}{\partial x})_{x_1} + (E_y A_y \frac{\partial C}{\partial y})_{y_2} - (E_y A_y \frac{\partial C}{\partial y})_{y_1} \\ & + (E_z A_z \frac{\partial C}{\partial z})_{z_2} - (E_z A_z \frac{\partial C}{\partial z})_{z_1} + V(S_L + S_B + S_K) \end{aligned} \quad (3.3.3)$$

es decir, se anulan los transportes advectivos en las caras normales a los ejes y y z y los coeficientes de dispersión en estas dos direcciones se reducen a los coeficientes de difusión, por ausencia de la advección diferencial.

Es común desdoblar el coeficiente de dispersión K_x en componentes, a saber

$$K_x = E_x + K_{xy} + K_{xz} \quad (3.3.4)$$

donde K_{xz} y K_{xy} son los coeficientes de dispersión longitudinal debido, respectivamente, a los gradientes de velocidad vertical y horizontal.

Cuando la altura del segmento es toda la profundidad de flujo, existen estimaciones del valor de la difusividad turbulenta. Para la componente longitudinal se tiene (Gallagher & Hobbs):

$$E_x \cong 0.1 h u_* \quad (3.3.5)$$

donde h es el tirante y u_* la velocidad de corte, la cual puede expresarse en términos del coeficiente de rugosidad n de Manning como:

$$u_* = \frac{\sqrt{g n U}}{R^{1/6}} \quad (3.3.6)$$

siendo R el radio hidráulico y g la aceleración de la gravedad. Cabe mencionar que, de todos modos, el efecto de la difusión turbulenta longitudinal es, en general, muy pequeño en relación al producido por la dispersión debida a los gradientes de velocidad (ver más abajo).

Estudios de mezcla turbulenta (Elder 1959; Fisher 1968b) dieron el siguiente valor para la difusión turbulenta en la dirección vertical:

$$E_z = 0,067 h u_* \quad (3.3.7)$$

para un perfil de velocidad logarítmico y usando el valor 0,4 para la constante de von Karman.

La difusión turbulenta transversal fue medida por Elder (1959) en canales de laboratorio:

$$E_y = 0,23 h u_* \quad (3.3.8)$$

valor que representa un mínimo para canales uniformes rectos. Valores muy similares del coeficiente (0,17-0,24) fueron obtenidos por otros autores (Orlob 1959, Sayre & Chamberlain 1964, Fisher 1967a) en canales de laboratorio y en pequeños cursos naturales. En grandes ríos se han estimado mayores valores de la constante de proporcionalidad: Yotsukura et al. (1970) midieron un valor de 0,6 en el río Missouri y Glover (1964) obtuvo 0,72 en el río Columbia. Fisher (1969) demostró que hay un incremento de la mezcla transversal por la presencia de meandros, presentando estudios para canales curvos de laboratorio que resultaron en un valor máximo experimental de $E_y/hu_* = 2,4$.

Taylor (1954) fue el primero en encontrar un valor analítico para el coeficiente de dispersión debido al gradiente vertical de velocidades K_{xz} , considerando flujo turbulento uniforme y estacionario en una tubería recta:

$$K_{xz} = 10,1 au_* \quad (3.3.9)$$

donde a es el radio de la tubería y u_* la velocidad de corte. Elder (1959) extendió el resultado de Taylor para tuberías cilíndricas a canales anchos y poco profundos en régimen permanente y concluyó que la distribución vertical de la velocidad y la difusión resultan en una dispersión longitudinal dada por:

$$K_{xz} = 5,9 hu_* \quad (3.3.10)$$

Bowden (1965) generalizó este resultado para canales irregulares y perfiles de velocidad arbitrarios:

$$K_{xz} = 6 \text{ a } 200 hu_* \quad (3.3.11)$$

correspondiendo el valor 6 al perfil logarítmico de Elder y el valor 200 a un perfil característico de circulación densimétrica en los tramos salinos de un estuario. El valor de la constante de proporcionalidad es claramente muy sensible a la forma del perfil vertical de velocidad.

Fisher (1967b) observó que, en canales naturales y estuarios, el efecto del gradiente horizontal es dominante, a tal punto que en muchos casos la dispersión debida al gradiente vertical puede despreciarse. Dedujo, usando argumentos paralelos a los de Taylor y Elder que:

$$K_{xy} = -\frac{1}{A} \int_0^b q'(y') \int_0^{y'} \frac{1}{E_y d(y'')} \int_0^{y''} q'(y''') dy''' dy'' dy' \quad (3.3.12)$$

donde

$$q'(y) = \int_0^{d(y)} [u(y, z) - U] dz, \quad (3.3.13)$$

siendo A es el área de la sección transversal, b el ancho del canal en la superficie libre, $d(y)$ la profundidad a la distancia y a través del canal, U la velocidad media en la sección y $u(y,z)$ la velocidad real en un punto de la sección transversal. La evaluación de la ecuación (3.3.13) demanda detallados datos hidrográficos, de los que no se dispone en muchas circunstancias. Fisher obtuvo una aproximación de la ecuación que expresa K_{xy} en términos de los parámetros globales del estuario

$$K_{xy} \cong 0,30 \frac{\overline{(u')^2}}{u_*^2} \left(\frac{L}{R}\right)^2 R u_* \quad (3.3.14)$$

donde L es la distancia en la superficie libre del lugar de máxima velocidad a la margen más distante (aproximadamente $B/2$, donde B es el ancho del curso) y u' es la desviación de la velocidad longitudinal respecto de su media transversal. Introduciendo valores típicos en estas ecuaciones, se advierte rápidamente que en general K_{xy} es mucho mayor que K_{xz} . Fisher (1966,1967b,1968a,1968b) también mostró que la ecuación (3.3.14) daba buenos resultados para experimentos de laboratorio y datos de campo y presentó resultados para anchos de hasta 61 m con un valor máximo de $B/R = 62$, aún cuando la mayoría de los valores de esta relación estaba entre 15 y 35. Yotsukura (1967) reportó experimentos en un tramo del río Missouri con $B/R = 60$, obteniendo valores de K_{xy}/Ru_* desde 1000 a 4000, en acuerdo con lo sugerido por la ecuación (3.3.14), en el sentido de que corrientes más anchas (con grandes valores de L/R) tendrán valores mayores de K_{xy}/Ru_* .

La estimación teórica de los coeficientes de dispersión longitudinal se basa en dos hipótesis:

- La distribución de concentración de equilibrio establecida perpendicularmente al flujo es tal que las desviaciones respecto del valor medio en la sección son pequeñas comparadas con ese valor medio
- Los efectos dispersivos del gradiente transversal de velocidades y de la difusión turbulenta transversal se contrabalancean

La primera hipótesis se invalida en zonas donde se producen grandes gradientes de concentración (efluentes flotantes, estuarios fuertemente estratificados, etc.).

Por su parte, la segunda hipótesis se invalida si el tiempo es insuficiente para que se establezca el equilibrio después de la inyección del contaminante. La ecuación de balance de masa no es aplicable a una nube de contaminante que se está dispersando inmediatamente después de la introducción del mismo. Existe un período inicial durante el cual el movimiento de la nube de contaminante es controlado primariamente por la distribución de las velocidades convectivas dentro de la sección transversal de flujo. Dentro de este período inicial o convectivo se produce una distribución asimétrica de la concentración longitudinal. Fisher (1966, 1967b) razonó que la duración del período inicial o convectivo T_I se relaciona a la escala de tiempo para la mezcla por difusión en la sección transversal T_d , que puede ser definida como

$$T_d = \lambda^2 / E \quad (3.3.15)$$

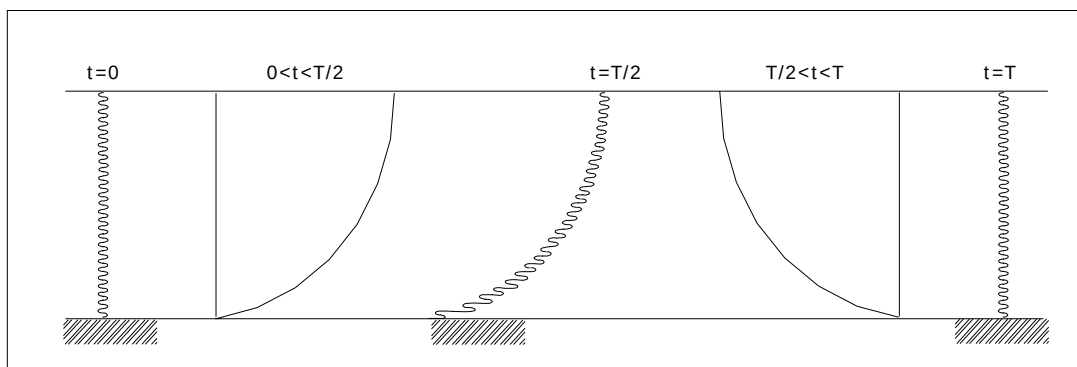
donde λ es la distancia sobre la cual la difusión debe tomar lugar y E es el coeficiente de difusión en la dirección correspondiente. La relación propuesta es

$$T_I = 0,4T_d \quad (3.3.16)$$

3.3.4 Dispersión en flujo oscilante

La mayor diferencia entre ríos y estuarios bien mezclados es que el flujo en estos últimos oscila con el tiempo.

En flujo estacionario el coeficiente de dispersión alcanza un valor constante después de una distancia inicial cuya extensión se relaciona con el tiempo de mezcla T_d en la sección transversal. Holley et al. (1970) analizaron la situación de flujo de marea y distinguieron dos regímenes diferentes, según que el tiempo necesario para que se establezca el equilibrio difusivo sea pequeño o grande comparado al período de la marea. En el primer caso no se requiere ninguna modificación a la teoría de flujo estacionario, ya que en cada instante el balance corte/difusión perpendicular al flujo tiene tiempo para ajustarse a los nuevos valores de las velocidades. En el segundo caso, en cambio, la difusión perpendicular al flujo no tiene tiempo para destruir la distorsión del perfil de concentración antes que la distorsión sea removida por la inversión del propio flujo. Entonces, la nube se extiende por diferencia de velocidad durante la mitad del período de oscilación, pero cuando las velocidades se invierten la nube es llevada de nuevo a su posición inicial y no existe dispersión neta, como lo indica la siguiente figura. Para que ocurra dispersión neta, el período debe ser suficientemente grande, de modo que se produzca alguna mezcla en la sección transversal.



Dispersión nula para tiempo de difusión mucho mayor que el período de la marea (Holley et al.1970)

Así, la dispersión en un flujo oscilante depende de la relación entre el período de la oscilación T y la escala de tiempo para la mezcla en la sección transversal T_d , es decir, de

$$T' = \frac{T}{T_d} \quad (3.3.17)$$

Holley et al. (1970) encontraron la dependencia analítica exacta del proceso de dispersión con la variable T' para geometrías simples, obteniendo que para $T' > 1$ el

coeficiente de dispersión K_x es esencialmente independiente de T' e igual al valor correspondiente a un ciclo de marea infinitamente largo K_∞ , mientras que para $T' < 0,1$ K_x varía con el cuadrado de T' :

$$\begin{cases} K_x(T') = K_\infty & \text{para } T' > 1 \\ K_x(T') = 10 T'^2 K_\infty & \text{para } T' < 0,1 \end{cases} \quad (3.3.18)$$

Para valores intermedios de T' , entre 0,1 y 1, puede utilizarse la siguiente expresión, obtenida por los autores utilizando interpolación

$$K_x / K_\infty = 1,3475T'^4 - 3,6458T'^3 + 3,0029T'^2 + 0,0112T' - 0,0032 \quad (3.3.19)$$

A pesar de que este análisis se realizó para difusividad vertical constante y una geometría simplificada, la simulación numérica de casos más realistas confirmó los resultados de Holley et al.. Por ejemplo, aún si la difusividad vertical varía, la relación K_x / K_∞ se mantiene prácticamente idéntica a aquella con E_z constante.

Holley et al. supusieron, tanto para sus resultados numéricos como analíticos, que la sección transversal de flujo permanecía constante durante el ciclo de marea y variaba sólo gradualmente en la dirección de flujo, de modo que sólo deberían aplicarse el análisis de flujo oscilante limitándolos a porciones homogéneas de estuarios.

El parámetro T' puede ser definido en base al tiempo de difusión en la dirección lateral, usando la mitad del ancho B como la distancia sobre la cual la difusión toma lugar, o en la dirección vertical, usando la profundidad h :

$$T'_l = \frac{T}{B^2 / E_y} \quad (3.3.20)$$

$$T'_v = \frac{T}{h^2 / E_z} \quad (3.3.21)$$

Como se estableció previamente, el valor límite K_∞ para T' grande es el mismo que el coeficiente de dispersión para flujo estacionario correspondiente a condiciones hidráulicas medias para el flujo del estuario. Así, el coeficiente de dispersión limitante asociado con la distribución vertical de la velocidad puede ser aproximado (si el perfil vertical es logarítmico) por la expresión:

$$\frac{K_{\infty_v}}{hu_*} = 6 \quad (3.3.22)$$

mientras que el coeficiente de dispersión límite asociado con la distribución lateral de la velocidad puede ser aproximado como:

$$\frac{K_{\infty l}}{hu_*} = 0,30 \frac{(\overline{u'})^2}{u_*^2} \left(\frac{B}{h}\right)^2 \quad (3.3.23)$$

suponiendo que h y R son esencialmente iguales.

El uso de la ecuación (3.3.23) en estuarios puede ser cuestionable ya que ha sido verificada sólo para flujo estacionario con una relación ancho/profundidad máxima de 60 y en estuarios esta relación puede ser del orden de 600. Sin embargo, a falta de otra información se la usa para estimar los efectos de la distribución transversal de velocidades en estuarios.

Debido a que en la mayoría de los estuarios T'_v es mayor que 1, el coeficiente de dispersión K_v puede ser aproximado por

$$K_v = K_{\infty v} = 6hu_* \quad (3.3.24)$$

Además, generalmente T'_l es menor que 0,1, de modo que

$$K_l = 10(T'_l)^2 K_{\infty l} = 0,16T^2 \frac{(\overline{u'})^2}{B^2} hu_* \quad (3.3.25)$$

De las ecuaciones (3.3.24) y (3.3.25) surge la relación

$$\frac{K_l}{K_v} = 0,011 \left(\frac{U_T T}{B}\right)^2 \left[\frac{(\overline{u'})^2}{\left(\frac{2}{\pi} U_T\right)^2} \right] \quad (3.3.26)$$

donde U_T es la velocidad pico de la marea y $(2/\pi)U_T$ la velocidad media de la marea durante un semiperíodo de oscilación. Para calcular esta relación se requiere información sobre la distribución de la velocidad en el estuario, de modo de evaluar el término entre corchetes. Como en general no se dispone de información, Holley et al. adoptaron 2 valores representativos: 0,01 y 0,04 (para una distribución logarítmica de velocidad en flujo bidimensional el valor es aproximadamente 0,02). Llegando a la conclusión de que en algunos estuarios relativamente angostos K_l puede ser el dominante, mientras que en estuarios más anchos puede predominar K_v . En consecuencia, cada situación debe ser analizada en particular.

El análisis de Holley et al. incluye un número de hipótesis simplificadoras que restringen su aplicación a tipos especiales de estuarios. La más importante es la suposición de que la geometría de la sección transversal no varía significativamente en un ciclo de marea. Muchos estuarios naturales incluyen extensas áreas de bancos que pueden ser expuestas durante la bajamar y estar cubiertas por agua durante la pleamar y la presencia de curvas o barras incrementa la probabilidad de que los gradientes transversales de velocidad sean importantes para el proceso de dispersión. Así, las variaciones verticales pueden dominar la dispersión en un estuario y en otros las transversales y también puede

ser el caso que mecanismos diferentes dominen distintos tramos del mismo estuario. En general, una combinación cuidadosamente balanceada de conclusiones cualitativas de la teoría y conclusiones cuantitativas de los limitados datos de campo pueden proporcionar estimaciones razonables de K_x .

3.3.5 Dispersión en el Río de la Plata

Para estimar la dispersión longitudinal a través de las caras de los segmentos normales a la corriente se utilizó la superposición indicada en la ecuación (3.3.4).

La difusión turbulenta longitudinal se calculó usando la ecuación (3.3.5), con lo cual surgen los valores mostrados en la tabla 3.3.1. Nótese que se ha considerado que la difusión turbulenta vertical coincide en valor con la anterior, lo cual proviene de redondear hacia arriba el coeficiente mostrado en la ecuación (3.3.7).

En esa misma tabla se indica el valor estimado de la relación entre el período de la marea y el tiempo de difusión sobre la vertical T_v' , que surge de la ecuación (3.3.21). Se observa que esta relación es siempre definidamente mayor que 1, por lo que el coeficiente de dispersión longitudinal debido al gradiente vertical de la velocidad puede calcularse de acuerdo a la expresión de flujo estacionario, ecuación (3.3.24). Sólo que el coeficiente fue incrementado de 6 a 20 en base a estudios antecedentes para el Río de la Plata (Carreras & Menéndez 1988), de donde se obtienen los valores mostrados en la tabla 3.3.1.

Tabla 3.3.1
*Difusividad turbulenta longitudinal y dispersión
longitudinal por gradiente vertical de velocidad*

Interfase entre segmentos		$h u^*$ (m^2/s)	$E_x=E_z$ (m^2/s)	T_v'	K_{xz} (m^2/s)
1	4	0,057	0,0059	7,8	1,18
2	5	0,078	0,0078	8,8	1,55
3	6	0,088	0,0088	11,8	1,75
4	7	0,068	0,0068	10,8	1,35
5	8	0,090	0,0090	7,1	1,81
6	9	0,046	0,0046	8,9	0,93
8	11	0,067	0,0067	8,1	1,34
9	10	0,049	0,0049	6,9	0,97
12	0	0,094	0,0094	13,3	1,88
7	0	0,087	0,0087	8,0	1,73
11	0	0,069	0,0069	6,5	1,38
10	0	0,074	0,0074	6,5	1,48

En la tabla 3.3.2 se muestra la relación entre el período de la marea y el tiempo de difusión sobre la dirección lateral T_l' , que surge de la ecuación (3.3.20), donde el coeficiente de difusión transversal se calculó de acuerdo a la ecuación (3.3.8). Se observa que T_l' resulta siempre muy inferior a 0,1, lo que significa que el coeficiente de dispersión longitudinal por el gradiente transversal de velocidades puede ser evaluado por medio de la ecuación (3.3.25). Para calcular este valor límite, la desviación de la velocidad longitudinal respecto de su media transversal se determinó como la máxima diferencia entre las velocidades medias longitudinales de segmentos contiguos en la dirección lateral. Como

forma alternativa de cálculo se utilizó la ecuación (3.3.26), fijando el valor de la expresión entre corchetes en 0,02. Los dos resultados se muestran en la tabla 3.3.2. Nótese que las estimaciones resultan consistentes entre sí. En cualquier caso, se observa que el efecto de la marea reduce significativamente la intensidad de la dispersión por gradiente transversal de velocidades (el parámetro T_l' toma valores muy inferiores a 0,1), por lo que resulta dominante la dispersión por el gradiente vertical de velocidades.

Tabla 3.3.2
Coeficiente de dispersión longitudinal por gradiente transversal de velocidad

Interfase entre segmentos		E_y (m ² /s)	T_l' x10 ⁶	u'' (mm/s)	U_T (m/s)	K_{ool} (m ² /s) (3.3.24)	K_{ool}/hu^* (3.3.24)	K_l (m ² /s) (3.3.25)	K_l/hu^* (3.3.25)	K_l (m ² /s) (3.3.26)	K_l/hu^* (3.3.26)
1	4	0,0136	1,26	0,51	0,51	2,03x10 ⁷	3,44x10 ⁸	3,24x10 ⁻⁴	5,49x10 ⁻³	2,72x10 ⁻⁴	4,60x10 ⁻³
2	5	0,0178	2,64	6,74	0,61	9,80x10 ⁷	12,6 x10 ⁸	68,5 x10 ⁻⁴	88,4x10 ⁻³	8,13x10 ⁻⁴	1,05x10 ⁻³
3	6	0,0202	2,99	6,74E	0,57	7,65x10 ⁷	8,72x10 ⁸	68,5x10 ⁻⁴	78,1x10 ⁻³	7,90x10 ⁻⁴	9,00x10 ⁻³
4	7	0,0155	3,71	0,34	0,56	0,40x10 ⁷	0,59x10 ⁸	5,48x10 ⁻⁴	8,10x10 ⁻³	9,61x10 ⁻⁴	14,2x10 ⁻³
5	8	0,0208	2,68	1,25	0,64	1,54x10 ⁷	1,70x10 ⁸	11,0x10 ⁻⁴	12,2x10 ⁻³	9,07x10 ⁻⁴	10,0x10 ⁻³
6	9	0,0107	1,37	1,25	0,47	5,83x10 ⁷	12,6x10 ⁸	11,0x10 ⁻⁴	23,7x10 ⁻³	2,51x10 ⁻⁴	5,41x10 ⁻³
8	11	0,0154	0,56	0,90	0,58	7,19x10 ⁷	10,7x10 ⁸	2,22x10 ⁻⁴	3,31x10 ⁻³	1,52x10 ⁻⁴	2,27x10 ⁻³
9	10	0,0112	0,40	0,90	0,57	13,6x10 ⁷	28,0x10 ⁸	2,22x10 ⁻⁴	4,57x10 ⁻³	1,07x10 ⁻⁴	2,19x10 ⁻³
12	0	0,0216	1,49	15,2	0,80	32,4x10 ⁷	34,4x10 ⁸	72,0x10 ⁻⁴	76,6x10 ⁻³	7,89x10 ⁻⁴	8,39x10 ⁻³
7	0	0,0200	1,86	0,63	0,65	1,16x10 ⁷	1,34x10 ⁸	4,03x10 ⁻⁴	4,64x10 ⁻³	6,50x10 ⁻⁴	7,48x10 ⁻³
11	0	0,0159	1,48	0,63	0,55	1,84x10 ⁷	2,67x10 ⁸	4,03x10 ⁻⁴	5,84x10 ⁻³	3,70x10 ⁻⁴	5,36x10 ⁻³
10	0	0,0171	1,17	0,16	0,65	0,56x10 ⁷	0,76x10 ⁸	0,76x10 ⁻⁴	1,03x10 ⁻³	4,07x10 ⁻⁴	5,49x10 ⁻³

Para el cálculo de la difusión lateral a través de las caras de los segmentos paralelas a la corriente se utilizó la ecuación (3.3.8), pero se redondeó el coeficiente a 1,0. La tabla 3.3.3 muestra los resultados. Nótese que ésto significa despreciar el efecto del transporte advectivo oscilatorio entre tubos.

Tabla 3.3.3
Difusividad turbulenta en la dirección transversal

Interfase entre segmentos		$h u^*$ (m ² /s)	E_y (m ² /s)
1	2	0,048	0,048
2	3	0,074	0,074
4	5	0,083	0,083
5	6	0,077	0,077
7	8	0,097	0,097
8	9	0,049	0,049
12	7	0,088	0,088
7	11	0,079	0,079
11	10	0,069	0,069

La figura 3.3.1 presenta la distribución espacial de los valores resultantes de K_x sobre las caras transversales de los segmentos, en un diagrama de celdas que se adopta por la facilidad de visualización. En la figura 3.3.2 se hace lo propio con la distribución de

los coeficientes de difusión turbulenta en la dirección transversal sobre las caras longitudinales de los segmentos.

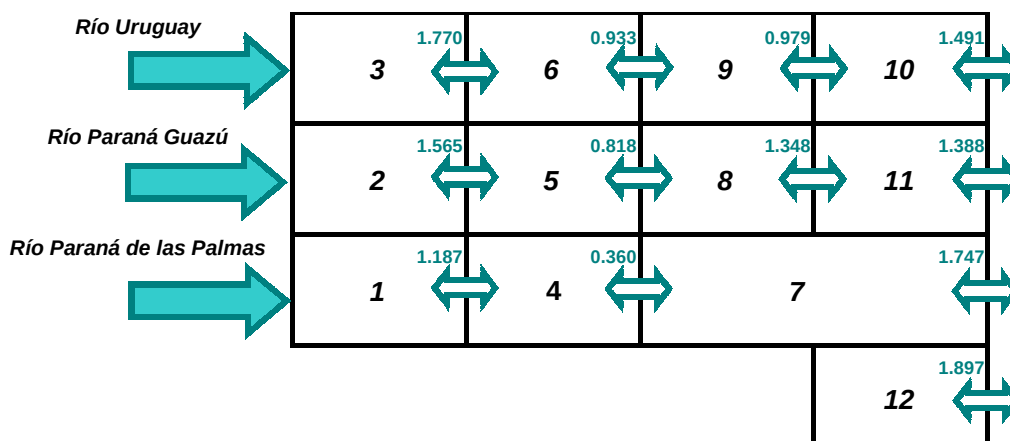


Figura 3.3.1 Distribución del coeficiente de dispersión longitudinal K_x (m^2/s) en el Río de la Plata Interior

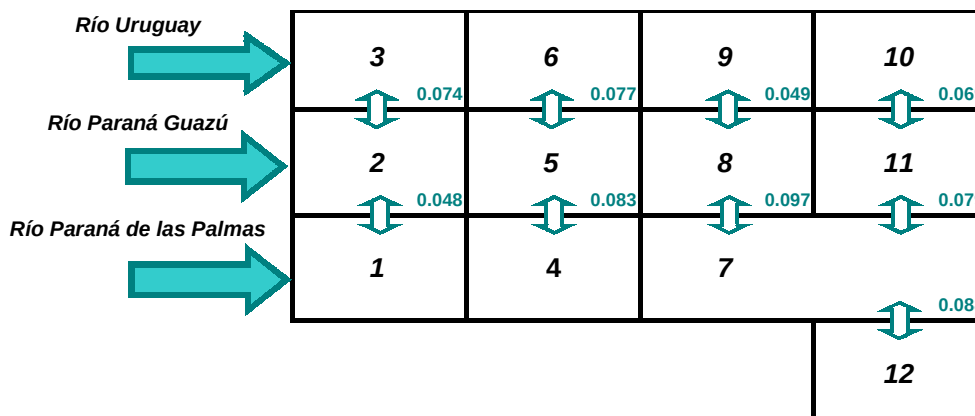


Figura 3.3.2 Distribución de difusividad turbulenta en la dirección transversal E_y (m^2/s) en el Río de la Plata Interior

4 BALANCE Y DINAMICA DE UN INDICADOR CONSERVATIVO

4.1 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Una sustancia conservativa es una sustancia bioquímicamente no reactiva que es transportada pasivamente a través de un cuerpo de agua. La presencia de la sustancia es expresada a través de una concentración (por ejemplo, la salinidad) o de un indicador (por ejemplo, la conductividad eléctrica).

La calibración de los parámetros del modelo de calidad de aguas para este tipo de sustancias es un primer paso recomendable en la simulación de variables de calidad más complejas, dado que no requiere considerar procesos de transformación.

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica. Depende de la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad y balance y de la temperatura. Soluciones de compuestos inorgánicos son relativamente buenas conductoras, mientras que compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas conducen muy poco la corriente eléctrica. La conductividad eléctrica es utilizada como un indicador de contaminación salina, es de muy fácil determinación y fue elegida como el indicador conservativo para la cual se efectuó la calibración de los parámetros del modelo.

4.2 DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

4.2.1 Río de la Plata

Quirós & Senone (1985) han reportado estudios tendientes a estimar los niveles de nutrientes totales y de pigmentos fotosintéticos en el Río de la Plata Interior, en la zona delimitada por las líneas que unen Buenos Aires-Colonia y Punta Piedras-Montevideo. En oportunidad de esos estudios se realizaron campañas de mediciones, que formaron parte de un programa más amplio del SIHN, en las que se muestrearon 24 estaciones durante los días 22 y 23 de septiembre y 22 y 23 de noviembre de 1982. La figura 4.2.1 presenta la ubicación (y nomenclatura) de las estaciones de muestreo para estas campañas. En la primera campaña se hizo un muestreo de Fósforo Total, Nitrógeno Orgánico Total y pigmentos fotosintéticos (clorofila) y se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En la segunda se midieron, además, el contenido de Oxígeno Disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez.

En la figura 4.2.2 se reproducen las isolíneas de conductividad trazadas en el informe de Quirós & Senone (1985) para la campaña de noviembre de 1982, junto a los valores medidos, los cuales se detallan en la tabla 4.2.1.

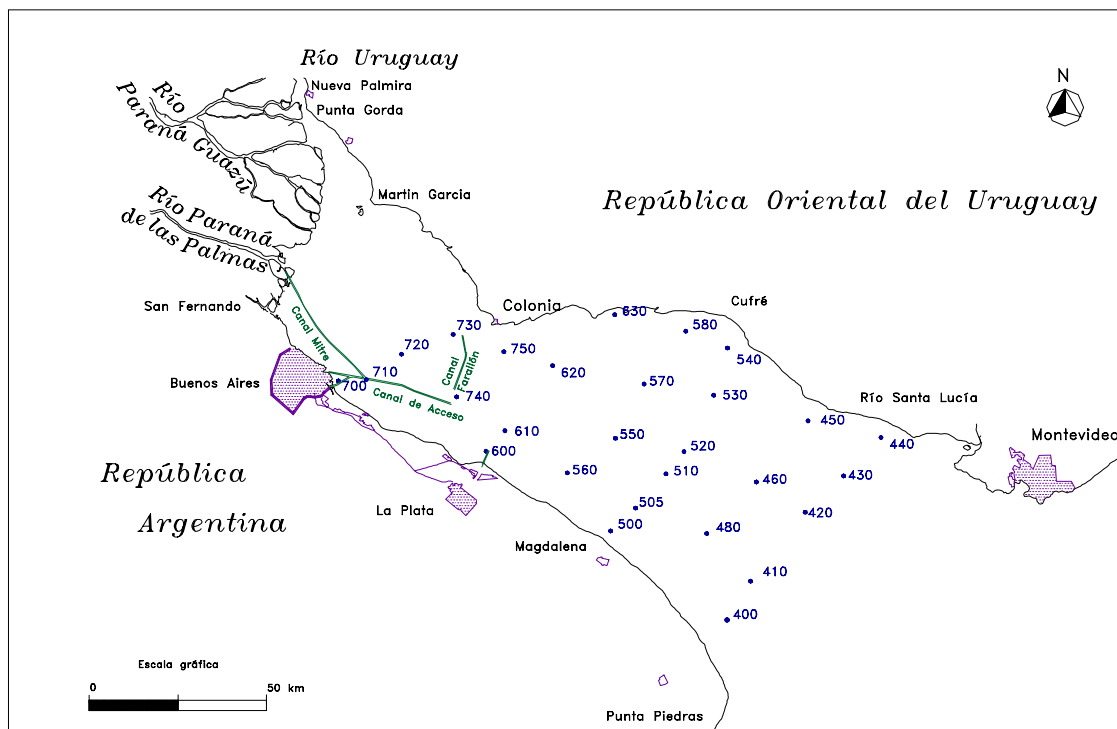


Figura 4.2.1 Estaciones de muestreo de las campañas de 1982 en el Río de la Plata Interior

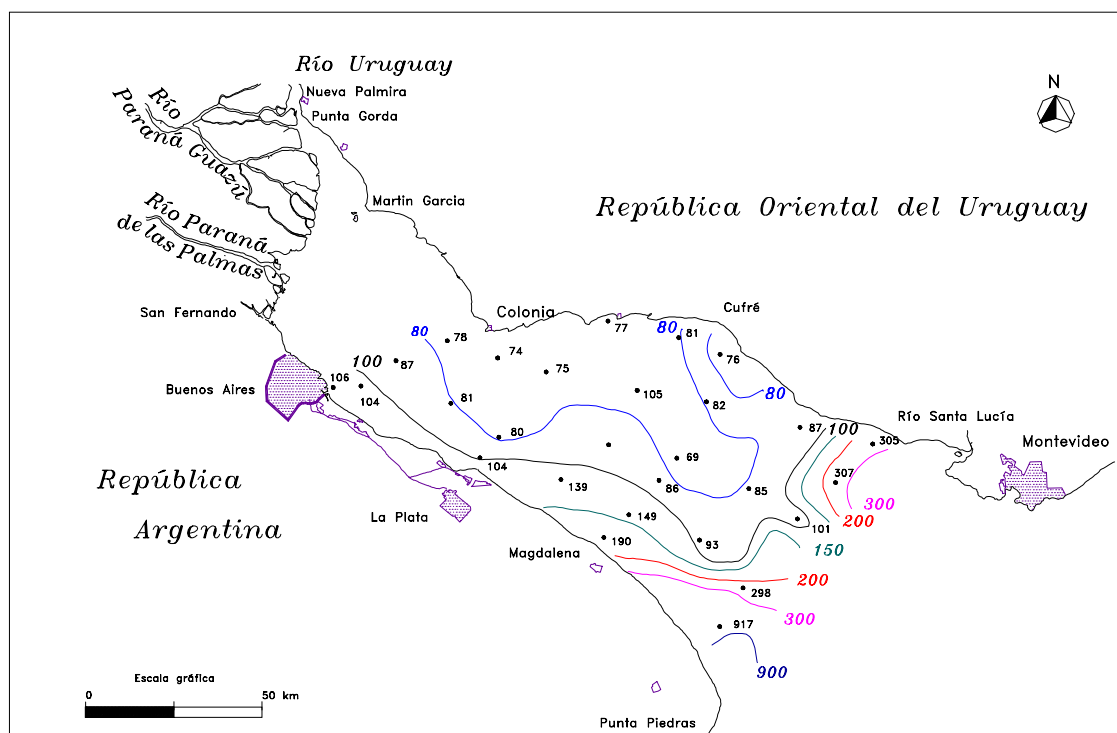


Figura 4.2.2 Datos de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la campaña de noviembre de 1982

Tabla 4.2.1
*Conductividad eléctrica – Campaña 22-23 de noviembre de 1982
(Quirós & Senone 1985)*

Estación Código	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
700	21,0	106
710	21,1	104
720	21,2	87
730	21,5	78
630	21,5	77
620	21,6	75
610	21,2	80
600	21,2	104
560	20,5	139
500	20,3	190
505	20,5	149
510	20,3	86
520	20,2	69
530	21,0	82
540	21,0	76
450	20,5	87
440	20,0	305
430	20,0	307
420	20,0	101
410	20,0	298
400	19,8	917
480	20,0	93
740	21,5	81
750	21,4	74
570	21,2	77
580	21,3	81
460	20,0	85

El patrón de distribución de la conductividad eléctrica permite observar la salida del agua dulce por el centro del río y la influencia marina aumentando hacia ambos márgenes. Sobre la parte superior de la costa uruguaya los valores son, en general, inferiores a 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que sobre la costa argentina superan 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con elevados gradientes transversales aguas abajo de la ciudad de La Plata.

Durante 1987 se llevaron a cabo estudios para determinar expeditivamente el grado de contaminación de las aguas de la franja costera argentina del Río de la Plata, en el marco del proyecto de cooperación técnica suscripto entre los gobiernos de la República Argentina y España para el “Estudio del tratamiento y disposición de los efluentes domésticos del Gran Buenos Aires en el Río de la Plata” (Plata Bedmar et al. 1988). En base a una serie de perfiles de muestreo, orientados en dirección aproximadamente normal a la línea de costa, se determinaron isolíneas de conductividad, las cuales se muestran en

la figura 4.2.3. Esta distribución representa el efecto medio sobre muchos ciclos de marea de todos los vertidos en condiciones hidrometeorológicas normales, es decir, en ausencia de temporales. Para completar el panorama, en la tabla 4.2.2 se indican valores (medios) de conductividad eléctrica en algunos sitios específicos.

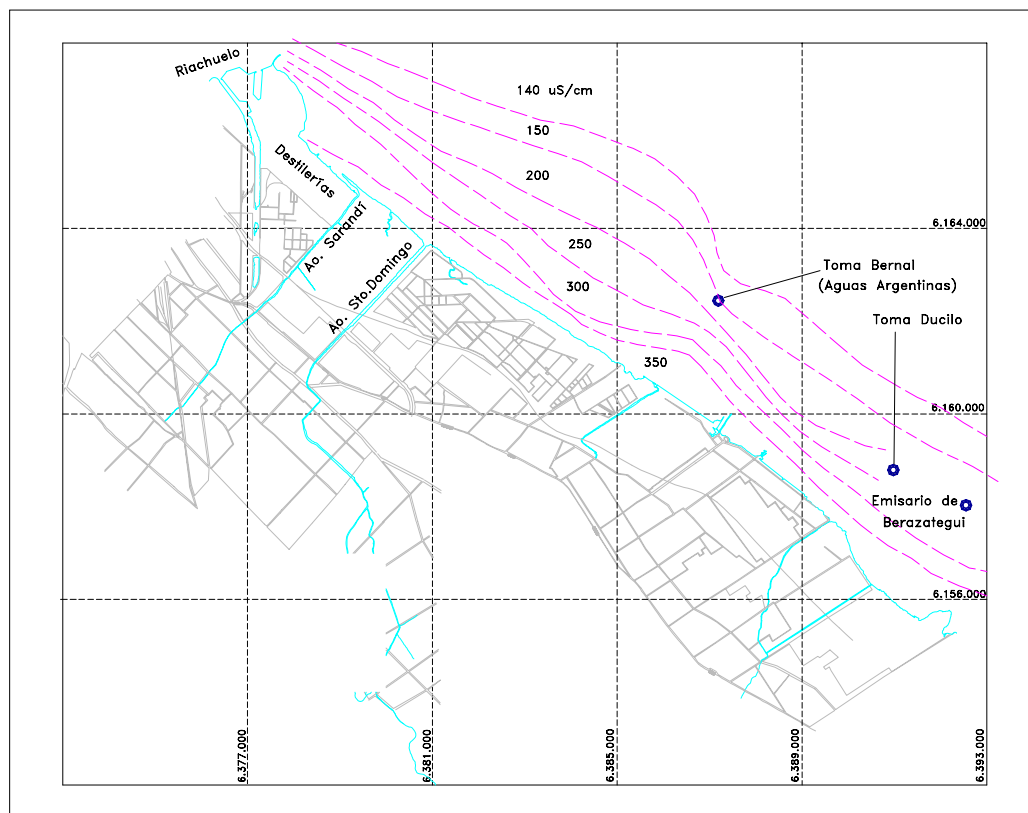


Figura 4.2.3 Líneas de isoconductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la campaña de 1987 sobre la margen argentina

Tabla 4.2.2
Valores de referencia de conductividad eléctrica
entre Buenos Aires y Punta Lara (Plata Bedmar et al. 1988)

Ubicación	Conductividad a 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Distancia a la costa > 5 km	147
Emisario de Berazategui	767
50 m aguas abajo del emisario	350/600
Puerto de la Boca	467

Ubicación	Conductividad a 25°C ($\mu\text{S/cm}$)
Toma de Bernal	148 a 250

En el estudio de referencia se hace notar que los altos niveles de contaminación (conductividad $> 200 \mu\text{S/cm}$) surgen a partir de la desembocadura del Riachuelo. Además, se observa que de la zona de destilerías parte la isolínea de $350 \mu\text{S/cm}$, lo cual refleja la importancia de las contribuciones de este foco, así como de los arroyos Sarandí y Santo Domingo.

En el estudio de Plata Bedmar también se establece que, en oportunidad de precipitaciones intensas que aumentan considerablemente el caudal de los arroyos, se produce el desprendimiento de grandes masas de agua muy contaminadas desde la desembocadura de los arroyos hacia el Río de la Plata. Estas masas son arrastradas por las corrientes de marea, que le producen una traslación neta hacia aguas abajo. Los autores observaron un evento particular en el cual la masa contaminada desprendida del Riachuelo tenía, a las pocas horas de haber sido expulsada, una conductividad pico similar al valor dentro de la propia desembocadura (alrededor de $460 \mu\text{S/cm}$). Luego de 9 horas el pico de conductividad, ubicado a la altura de la toma de agua de Bernal, aún mostraba un valor significativo (algo menor a $390 \mu\text{S/cm}$).

En el marco del proyecto efectuado sobre la franja costera sur del Río de la Plata (Consejo Permanente para el Monitoreo de la Calidad de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata 1997), se estudió la zona comprendida entre San Fernando y Magdalena, desde 500 hasta 10000 metros de la costa. Los resultados y conclusiones presentados en este estudio se basan en datos obtenidos en campañas realizadas entre 1992 y 1995 (totalizando 33 campañas de muestreo), en campañas realizadas por AGOSBA en 1992 y en las campañas embarcadas que encaró entre 1994 y 1995 la empresa Aguas Argentinas (AA). La figura 4.2.4 presenta la localización (y nomenclatura) de las estaciones de muestreo consideradas. En la figura 4.2.5 se detallan los valores de conductividad promedio para los muestreos realizados en el período 1992/93, mientras que la figura 4.2.6 presenta los valores promedio de la conductividad eléctrica en el período 1994/95. En la tabla 4.2.3 se indican la localización de las estaciones de muestreo y los valores promedio de temperatura y conductividad eléctrica para ambos períodos.

Para el período 92/93 el valor medio de conductividad en la franja costera sur fue de $224 \mu\text{S/cm}$, con un máximo de $432 \mu\text{S/cm}$ en la estación 602 (situada cerca de la descarga cloacal de Berazategui) y un mínimo de $130 \mu\text{S/cm}$ en las estaciones 703 y 905, mientras que para el período 94/95 el valor medio fue de $259 \mu\text{S/cm}$, con un máximo de $1770 \mu\text{S/cm}$ en la estación 401 (ubicada cerca de la desembocadura de los arroyos Sarandí y Sto. Domingo) y un mínimo de $121 \mu\text{S/cm}$ en la estación 559. Se observa una fuerte tendencia a la disminución de la conductividad al alejarse de la línea de la costa en sentido transversal, y una leve tendencia al aumento de la misma en sentido longitudinal (San Fernando-Magdalena).

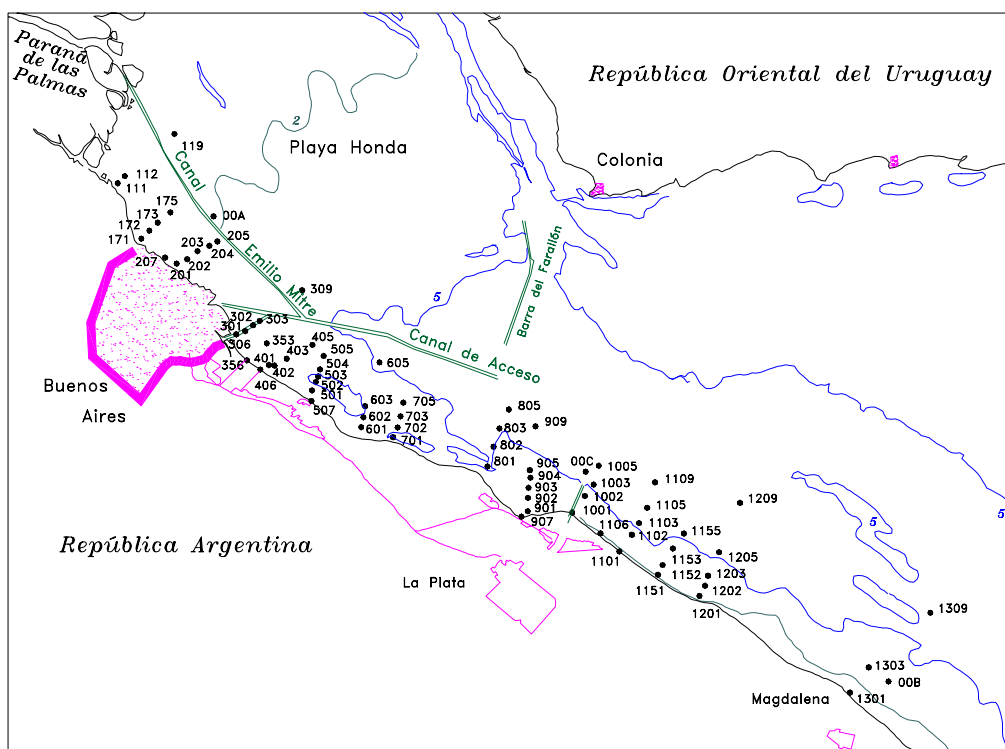


Figura 4.2.4 Estaciones de muestreo de la Franja Costera Sur

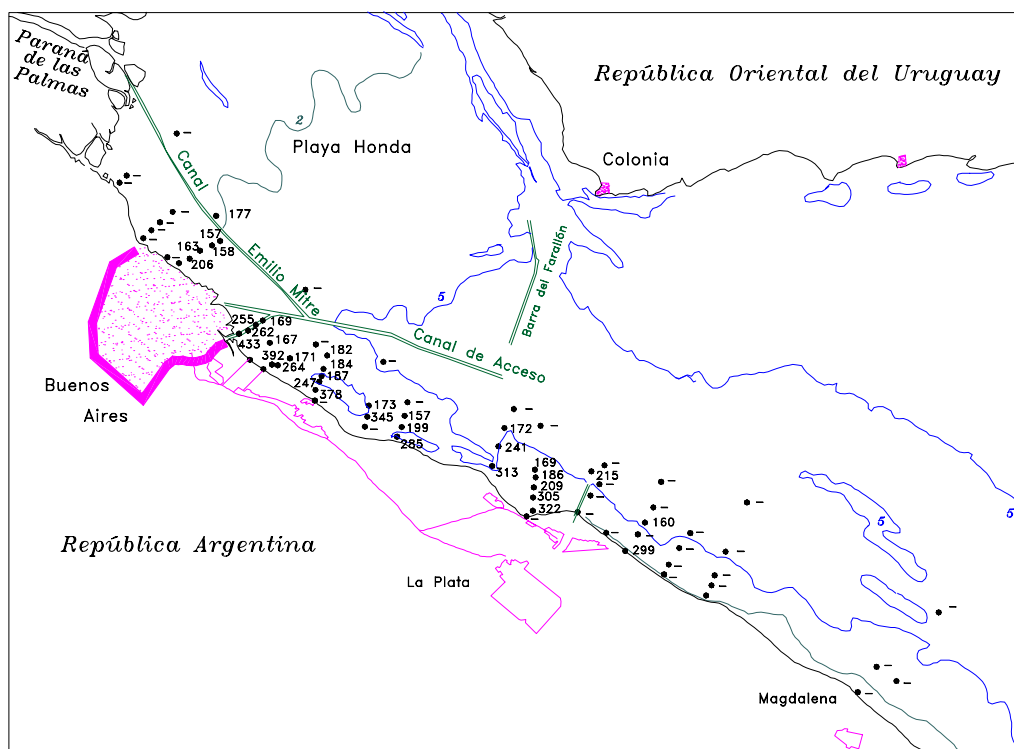


Figura 4.2.5 Datos de conductividad eléctrica promedio ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para el período 1992/93

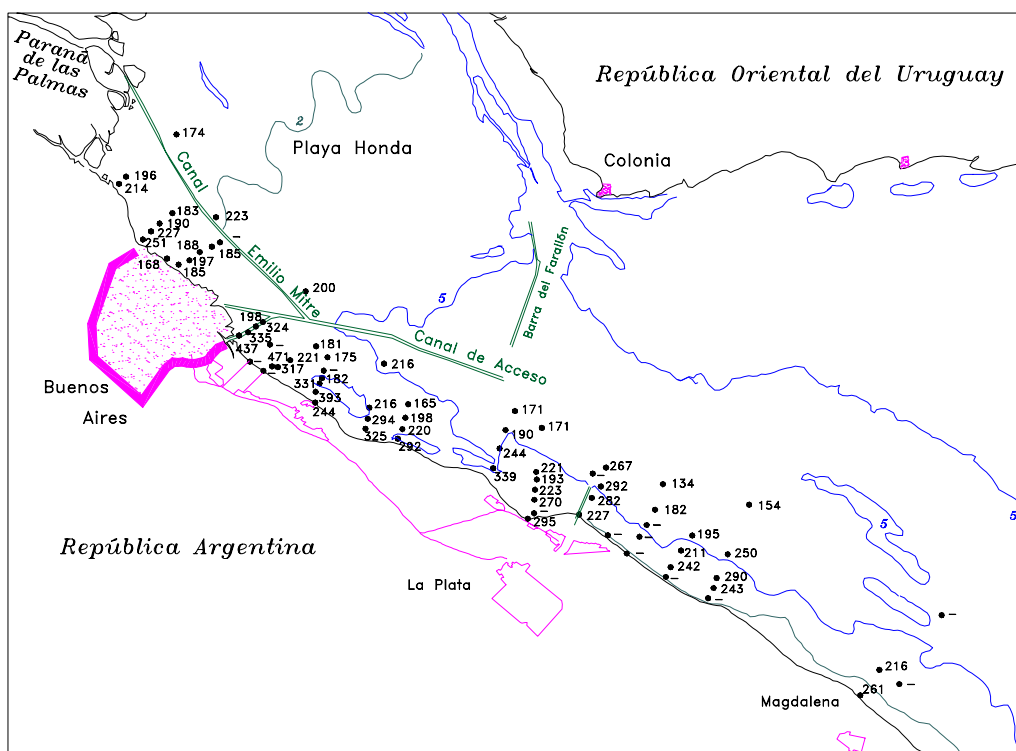


Figura 4.2.6 Datos de conductividad eléctrica promedio ($\mu\text{S/cm}$) para el período 1994/95

Tabla 4.2.3

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y Conductividad eléctrica promedio ($\mu\text{S/cm}$) en la Franja Costera Sur (Consejo Permanente para el Monitoreo de la Calidad de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata 1997)

Estación			1992/93		1994/95	
Nombre	Código	Distancia (m)	Temperatura	Conductividad eléctrica	Temperatura	Conductividad eléctrica
Estaciones de muestreo	00A	Canal Mitre km 27.5	20,6	177	21,6	223
	00B	3000(Magdalena)				
Aisladas	00C	10000(Boya S. Agustín)	24,7	215	-	-
	1		19,3	177		
San Fernando	101	Desembocadura Luján	19,3	197	24,7	256
San Isidro	110		-	-	30,7	263
San Isidro	111	500	-	-	19,1	214
San Isidro	112	1500	-	-	20,6	196
San Isidro	119	10000	-	-	20,6	174
Olivos	150		-	-	29,7	312
Vicente López	171	500	-	-	13,8	251
Vicente López	172	1500	-	-	15,9	227
Vicente López	173	3000	-	-	18,1	190
Vicente López	175	5000	-	-	13,8	183
Palermo	201	500	19,3	206	19	185
Palermo	202	1500	19,3	163	18,1	197

Estación			1992/93		1994/95	
Nombre	Código	Distancia (m)	Temperatura	Conductividad eléctrica	Temperatura	Conductividad eléctrica
Palermo	203	3000	19,1	158	16	188
Palermo	205	5000	25,1	157	18	185
Palermo	207	Toma de agua a 1050 m	-	-	-	168
El Abanico	210		-	-	28,8	326
3	3	Rio de la Plata	20,2	175	-	-
Riachuelo	301	500	20,5	255	17,8	335
Riachuelo	302	1500	27,6	262	15,5	324
Riachuelo	303	3000	19,1	169	17,8	198
Riachuelo	306	Desembocadura	-	433	16	437
Riachuelo	309	10000	-	-	17,8	200
Sarandí	353	3000	19	167	-	-
Sarandí	356	Desembocadura	-	-	-	-
4	4	-	20,5	174	-	-
A° Sto Domingo	401	500	20,1	392	17,7	471
A° Sto Domingo	402	1500	19,7	264	19	317
A° Sto Domingo	403	3000	18,8	171	16,2	221
A° Sto Domingo	405	5000	-	-	18	181
A° Sto Domingo	406	Desembocadura	-	-	-	-
5	5	-	20,7	176	-	-
Bernal	501	500	25,7	378	19,4	393
Bernal	502	1500	19,3	247	15,6	331
Bernal	503	3000	18,5	187	19,2	182
Bernal	504	4000	25,2	184	-	-
Bernal	505	5000	25,1	182	20,9	175
Bernal	507	Toma de agua a 2450 m	-	-	-	244
510	510		-	-	22,7	483
551	551	-	15,8	429	-	-
552	552	-	-	-	17,1	309
553	553	-	-	-	18,5	190
555	555	-	-	-	14,3	179
559	559	-	-	-	14,6	168
Berazategui	601	500	-	-	17,4	325
Berazategui	602	2500	19,3	345	16,7	294
Berazategui	603	3000	18,8	173	13,4	216
Berazategui	605	5000	-	-	13,5	216
661	661	-	25,9	303	-	-
Punta Colorada	701	500	19,4	285	13,8	292
Punta Colorada	702	1500	19	199	14,7	220
Punta Colorada	703	3000	18,8	157	15	198
Punta Colorada	705	5000	-	-	20,4	165
Plátanos	710	-	-	-	20,1	359
Punta Lara	801	500	19,8	313	14,7	339
Punta Lara	802	1500	19,4	241	15,1	244
Punta Lara	803	3000	19,5	172	16,3	190
Punta Lara	805	5000	-	-	19,4	171
Punta Lara	850	-	-	-	22,2	303
El Arca	90	-	-	-	28,1	368
AGOSBA	901	500	27,6	322	-	-

Estación			1992/93		1994/95	
Nombre	Código	Distancia (m)	Temperatura	Conductividad eléctrica	Temperatura	Conductividad eléctrica
AGOSBA	902	1500	26,7	305	15,9	270
AGOSBA	903	3000	19,6	209	16,4	223
AGOSBA	904	4000	19,1	186	15,6	193
AGOSBA	905	5000	19	169	20,9	221
AGOSBA	907	Toma canal	-	-	-	295
AGOSBA	909	10000	-	-	15,5	171
910	910		12,7	133	-	-
Puerto La Plata	1001	500	-	-	19,5	227
Puerto La Plata	1002	1500	-	-	19,5	282
Puerto La Plata	1003	3000	-	-	19,8	292
Puerto La Plata	1005	5000	-	-	-	267
Berisso	1101	500	13,6	299	-	-
Berisso	1102	1500	-	-	-	-
Berisso	1103	3000	13,1	160	-	-
Berisso	1105	5000	-	-	19,7	182
Berisso	1109	10000	-	-	19,6	134
B, Gagliardi	1151	500	-	-	-	-
B, Gagliardi	1152	1500	-	-	16	242
B, Gagliardi	1153	3000	-	-	16,5	211
B, Gagliardi	1155	5000	-	-	16,2	195
B, Gagliardi	1159	10000	-	-	-	-
Punta Blanca	1201	500	-	-	-	-
Punta Blanca	1202	1500	-	-	19,9	243
Punta Blanca	1203	3000	-	-	20,5	290
Punta Blanca	1205	5000	-	-	19,9	250
Punta Blanca	1209	10000	-	-	19,9	154
Magdalena	1301	500	-	-	9,7	261
Magdalena	1303	3000	-	-	10	216
Magdalena	1309	10000	-	-	10,5	144

En las figuras 4.2.7 y 4.2.8 se presentan las distribuciones longitudinales de conductividad eléctrica promedio a distintas distancias de la costa, donde se observan incrementos de la conductividad en las cercanías de las desembocaduras del Riachuelo, Arroyo Santo Domingo y de la descarga cloacal de Berazategui.

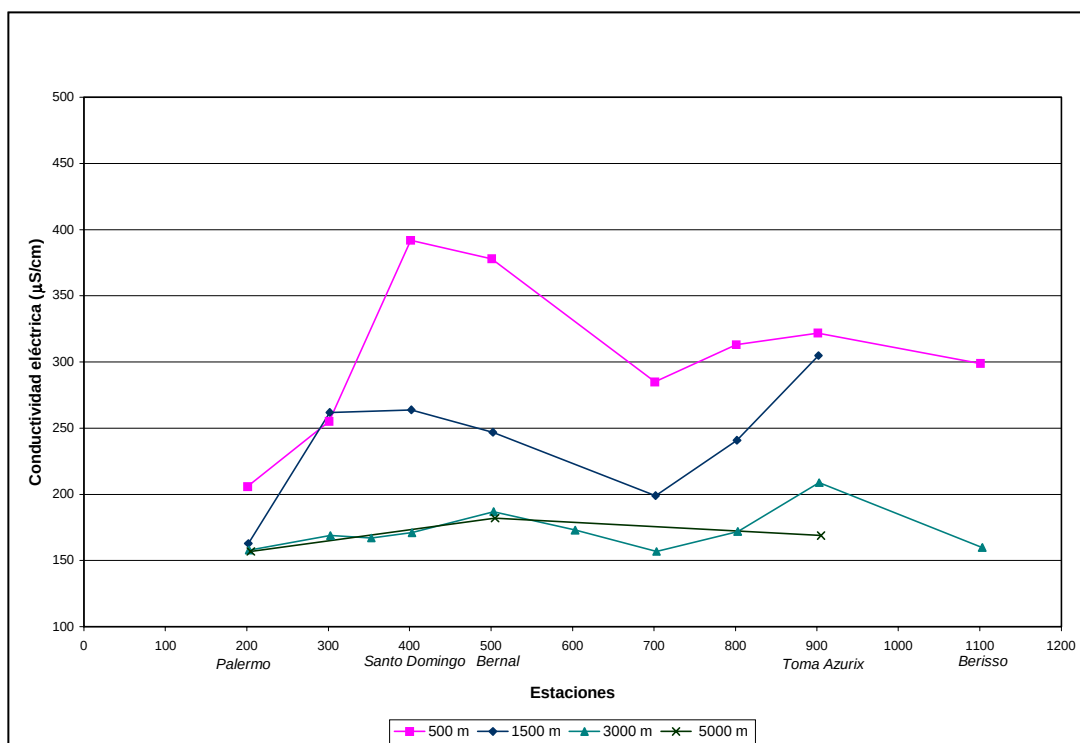


Figura 4.2.7 Distribuciones longitudinales de conductividad eléctrica promedio para el período 1992/93

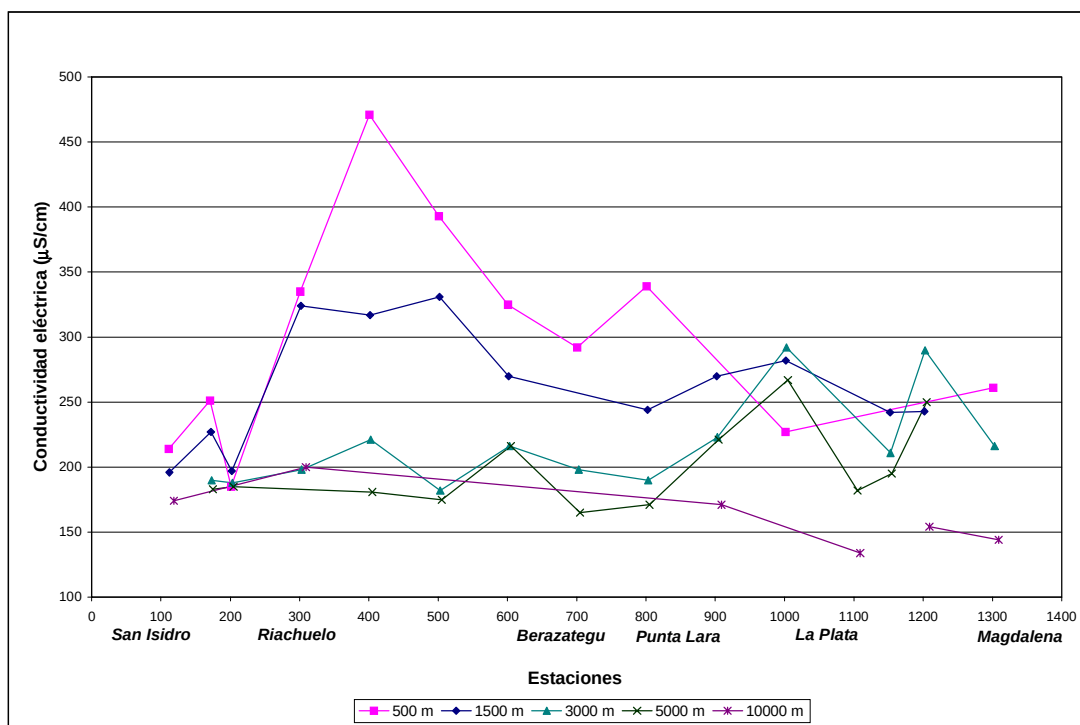


Figura 4.2.8 Distribuciones longitudinales de conductividad eléctrica promedio para el período 1994/95

4.2.2 Tributarios

Para caracterizar la conductividad eléctrica del Río Uruguay se contó con datos provenientes de 11 estaciones localizadas aguas arriba de la presa Salto Grande (figura 4.2.9), correspondientes al año 1991. Los valores reportados (CARU, 1991) se reproducen en la tabla 4.2.4.



Figura 4.2.9 Estaciones de medición de conductividad eléctrica sobre el río Uruguay

Tabla 4.2.4
*Temperatura (°C) y Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el Río Uruguay
aguas arriba de la presa de Salto Grande (CARU 1991)*

<i>Estación</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Conductividad eléctrica</i>
Represa	19,5	47,3
Constitución	18,8	47,4
Belén	19,9	48,3
Mocoretá (Puente)	16,1	97,0
Mocoretá	19,4	76,5
Mandisoví	18,4	58,9
Gualeguaychú	20,1	48,5
Itapebí	20,5	62,4
Bella Unión (Monte Caseros)	18,0	45,8
Gualeguaycito (Cabecera)	20,9	49,7
Arapey	16,2	91,4

Entre 1985 y 1994 el INA realizó una serie de campañas en la estación Concepción del Uruguay del río Uruguay (figura 4.2.9), midiéndose conductividad eléctrica, además de otros parámetros. Estos valores se presentan en la tabla 4.2.5.

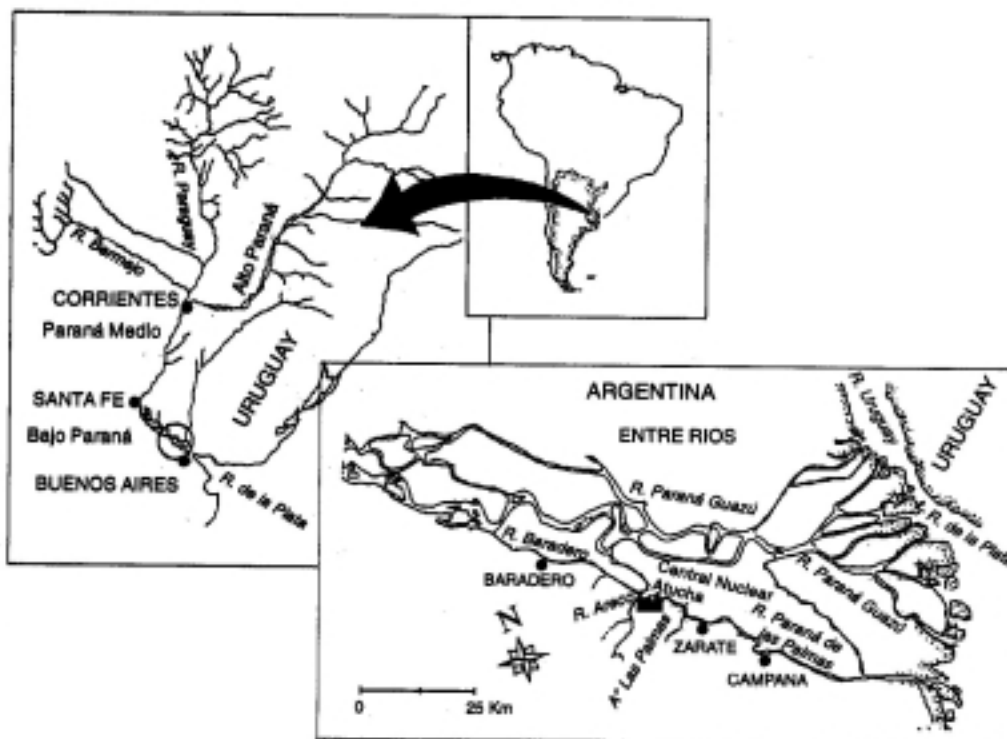


Figura 4.2.10 Estaciones de medición de conductividad eléctrica sobre el río Paraná de las Palmas

Tabla 4.2.5
*Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) en el Río Uruguay
Estación Concepción del Uruguay (INA, SRNyDS 1999)*

Fecha	Campaña	Margen	Conductividad Eléctrica
09/03/87	1	centro sup.	55
08/03/88	1	derecha sup.	70
08/03/88	1	centro sup.	67
08/06/88	2	derecha sup.	40
08/06/88	2	centro sup.	35
15/09/88	4	derecha sup.	50
15/09/88	4	centro sup.	68
15/11/88	5	derecha sup.	55
15/11/88	5	centro sup.	60
15/03/89	1	derecha sup.	50
15/03/89	1	centro sup.	55
14/06/89	2	derecha sup.	145
14/06/89	2	centro sup.	145
04/10/89	3	derecha sup.	45
04/10/89	3	centro sup.	45
06/12/89	4	derecha sup.	160
06/12/89	4	centro sup.	130
15/03/90	10	derecha sup.	-
15/03/90	10	centro sup.	-
15/06/92	19	derecha sup.	-
15/06/92	19	centro sup.	-
15/12/92	21	derecha sup.	-
15/12/92	21	centro sup.	-
15/06/94	27	derecha sup.	40
15/06/94	27	centro sup.	40
15/12/94	29	derecha sup.	50
15/12/94	29	centro sup.	50

Villar & Bonetto (1998) han reportado datos sobre la composición física y química de las aguas del río Paraná de las Palmas en la zona de la Central Nuclear Atucha (figura 4.2.10) para 11 campañas realizadas entre marzo de 1995 y agosto de 1996. Los sitios de muestreo se ubicaron a alrededor de 1000 m aguas arriba de la central (estación I), en el canal de toma del circuito de enfriamiento (estación II), en el canal de salida del mencionado circuito (estación III) y nuevamente sobre el río Paraná a aproximadamente 1500 m aguas abajo de la central (estación IV).

Los valores de conductividad eléctrica, temperatura y pH para estos muestreos se reproducen en la tabla 4.2.6.

Tabla 4.2.6
Conductividad eléctrica en el Río Paraná en la zona de Atucha
(Villar & Bonetto 1998)

Estación	Nivel (m)	Fecha	Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (μS/cm)
I	2,24	21/03/95	26	7,3	121
II		21/03/95	26	7,3	123
III		21/03/95	37	7,2	123
IV		21/03/95	26	7,3	123
I	2,24	03/05/95	20	6,2	162
II		03/05/95	20	6,4	162
III		03/05/95	31	6,5	192
IV		03/05/95	20	6,6	158
I	2,25	13/06/95	17	6,5	153
II		13/06/95	16	6,9	149
III		13/06/95	28	6,9	154
IV		13/06/95	17	7	158
I	1,7	08/08/95	14	-	-
II		08/08/95	14	-	-
III		08/08/95	22	-	-
IV		08/08/95	14	-	-
I	1,45	21/09/95	18	7,4	139
II		21/09/95	18	7,4	137
III		21/09/95	29	7,4	132
IV		21/09/95	18	7,5	140
I	1,92	14/11/95	23	7,3	156
II		14/11/95	23	7,1	161
III		14/11/95	35	7,1	157
IV		14/11/95	24	7,1	152
I	2,3	19/12/95	27	7,3	131
II		19/12/95	28	7,4	132
III		19/12/95	36	7,4	132
IV		19/12/95	27	7,4	124
I	2,1	27/02/96	27	7,1	134
II		27/02/96	26	7,2	135
III		27/02/96	38	7,2	131
IV		27/02/96	26	7	135
I	1,98	23/04/96	21	7,1	120
II		23/04/96	23	7,1	118
III		23/04/96	34	7,1	117
IV		23/04/96	22	7,1	117
I	1,54	25/06/96	14	7	135
II		25/06/96	14	7	133
III		25/06/96	25	7,1	136
IV		25/06/96	14	7,2	132
I	1,1	21/08/96	17	7,3	122
II		21/08/96	18	7,3	122
III		21/08/96	19	7,3	123
IV		21/08/96	18	7,4	125

Se observa que, básicamente, no hay influencia de la central sobre la conductividad del agua.

No se cuenta con datos de conductividad eléctrica para el río Paraná Guazú.

4.2.3 Aportes marginales

En el caso de los aportes marginales, hay escasa información disponible acerca de datos de conductividad eléctrica sobre la costa argentina del Río de la Plata Interior.

Se cuenta, como ya fue mencionado, con un valor de referencia medio de conductividad para la descarga de Berazategui (Plata Bedmar 1988 y AGOSBA-OSN-SIHN 1992) de 767 $\mu\text{S/cm}$.

El INA (1999) reportó una estadística de datos de calidad de agua para los períodos octubre 1982/septiembre 1983 y octubre 1983/septiembre 1984 para la estación semáforo del Riachuelo. El mismo informe presenta datos de conductividad eléctrica de las campañas de monitoreo realizadas en la estación Puente Pueyrredón durante 1999, con valores medio, máximo y mínimo de 1846, 2000 y 856 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente. Los valores de conductividad eléctrica para esas dos estaciones se reproducen en las tablas 4.2.7 y 4.2.8, respectivamente.

Tabla 4.2.7
*Conductividad eléctrica del Riachuelo en la estación
Semáforo del Riachuelo ($\mu\text{S/cm}$) – (INA, 1999)*

Período	Media	Máximo	Mínima	Desviación Estandar	Cant. de datos
Octubre 1982 - Septiembre 1983	603	1000	360	192	48
Octubre 1983 - Septiembre 1984	600	1836	170	367	30

Tabla 4.2.8
*Conductividad eléctrica del Riachuelo en la estación
Puente Pueyrredón ($\mu\text{S/cm}$) – (INA, 1999)*

Diciembre-Enero			Agosto			Septiembre			Octubre		
MI	C	MD	MI	C	MD	MI	C	MD	MI	C	MD
>2000	>2000	>2000	1894	1878	1881	861	859	848	2123	1171	2129

4.3 MODELACION MATEMATICA

4.3.1 Construcción de un escenario de trabajo

El primer desafío del trabajo encarado fue construir, a partir de los datos presentados en la sección anterior, escenarios completos y representativos de alguna condición particular.

Definir completamente un escenario significa establecer unívocamente los forzantes y la respuesta del sistema. Los forzantes son los flujos de conductividad eléctrica desde los

tributarios, los aportes marginales y el océano. La respuesta del sistema (es decir, del Río de la Plata Interior) es la distribución de conductividad sobre el río.

4.3.1.1 Distribución de conductividad eléctrica

En el marco de la esquematización adoptada, conocer la distribución de conductividad eléctrica significa disponer de valores medios de conductividad en cada uno de los 12 segmentos en que se subdividió el Río de la Plata Interior.

En las figuras 4.3.1 y 4.3.2 se muestran las líneas de isoconductividad eléctrica promedio para la franja costera argentina para los períodos 92/93 y 94/95, respectivamente, construidas en base a los datos presentados en las figuras 4.2.5 y 4.2.6. Se observa que los dos patrones son consistentes entre sí cualitativa y cuantitativamente, aunque se producen algunas diferencias locales apreciables. Se optó por tomar el ciclo 92/93 como representativo de condiciones medias, dada su mayor homogeneidad.

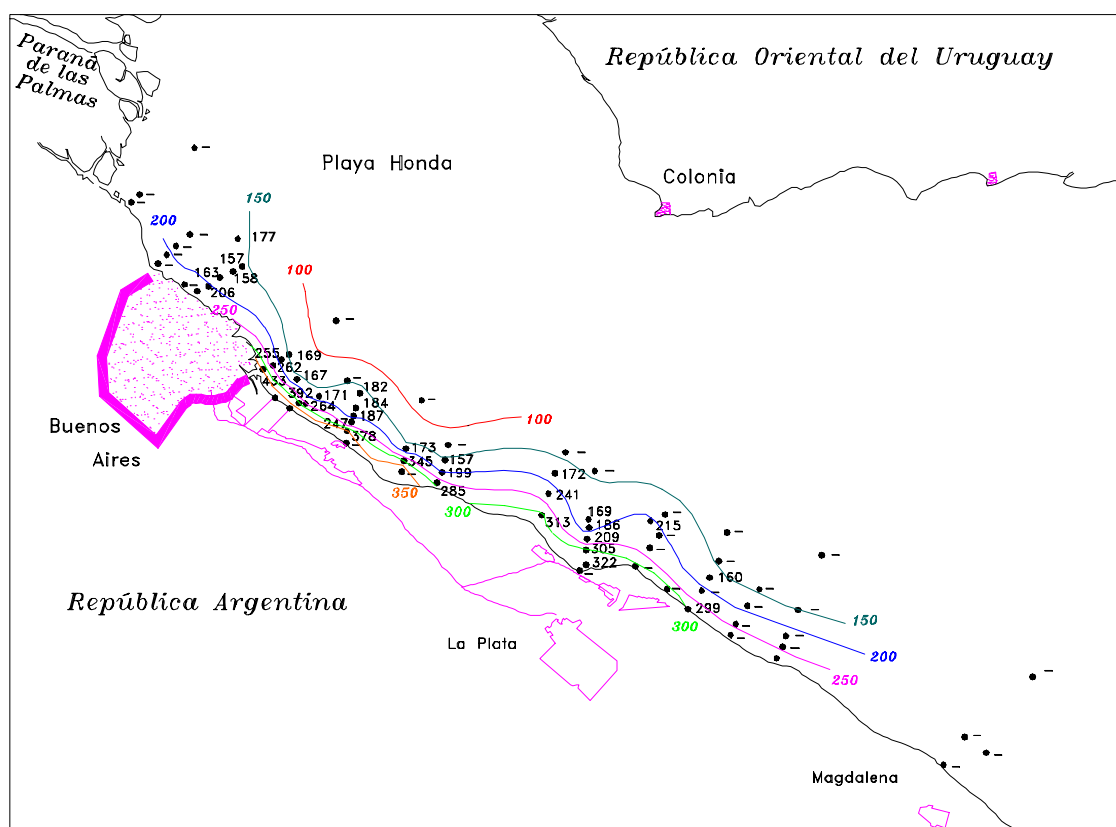


Figura 4.3.1 Líneas de isoconductividad eléctrica promedio ($\mu\text{S/cm}$) para el período 1992/93

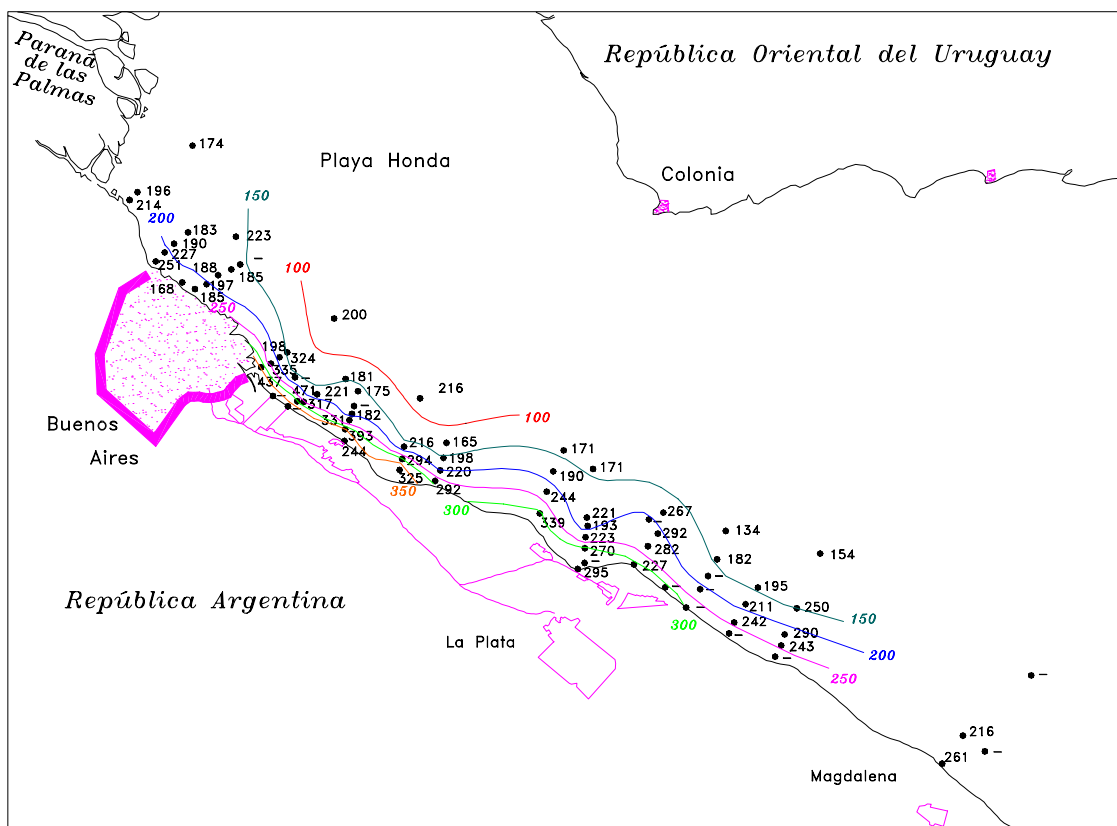


Figura 4.3.2 Líneas de isoconductividad eléctrica promedio ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para el período 1994/95

Se combinaron, entonces, los datos de conductividad de franja costera para el período 92/93 con los obtenidos en el interior del río en noviembre de 1982, mostrados en la figura 4.2.2, obteniéndose las isolíneas de conductividad presentadas en la figura 4.3.3, que proporcionan un patrón más completo que el mostrado en la figura 4.2.2. Nótese que se efectuaron extrapolaciones criteriosas hacia la cabecera del Delta y hacia la línea Punta Piedras-Montevideo.

En el primer caso se respetó la tendencia de establecimiento de un gradiente transversal. En el segundo caso, se supuso una tendencia hacia la homogeneidad transversal en el Río de la Plata exterior, compatible con lo observado para la salinidad (figura 4.3.4), que es la principal determinante de la conductividad en esa zona.

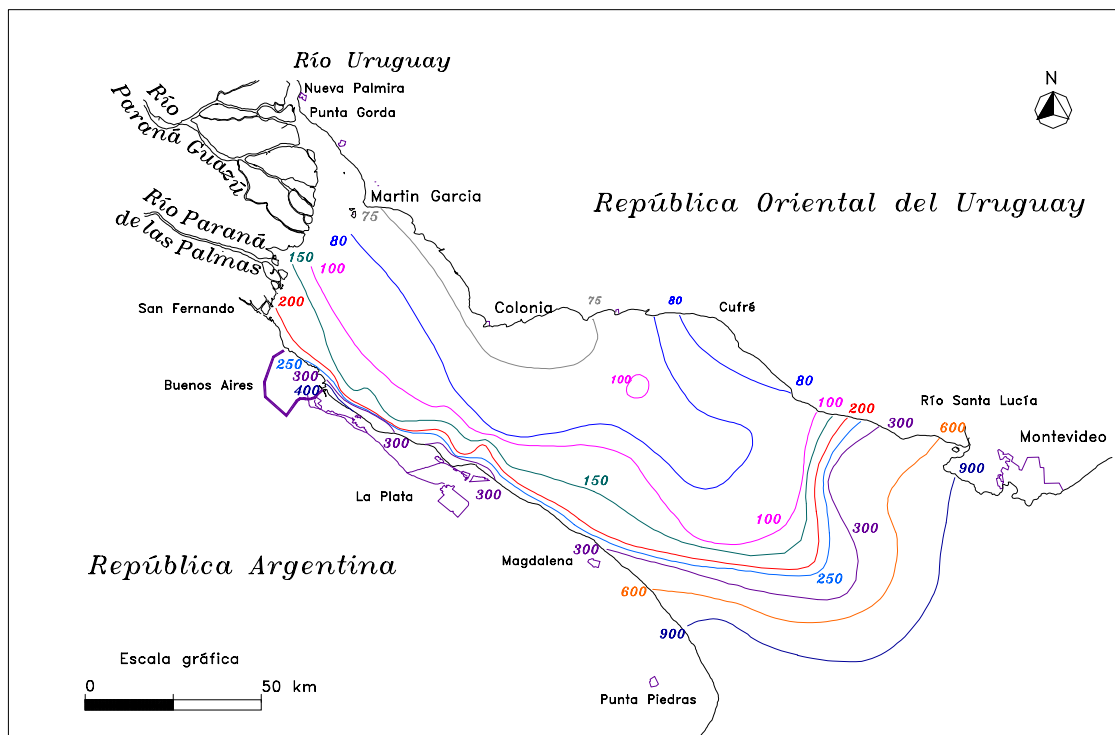


Figura 4.3.3 Distribución de isoconductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) para el Río de la Plata Interior

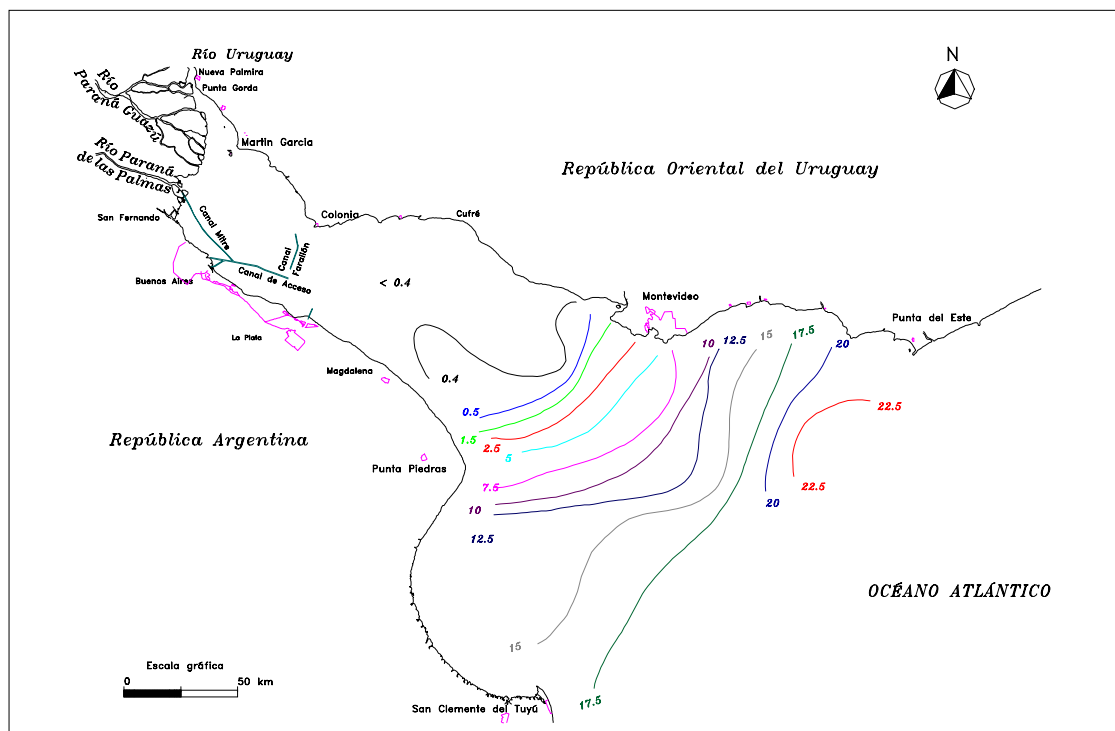


Figura 4.3.4 Líneas de isohalinidad ($‰$) media superficial

La figura 4.3.3 fue tomada como representativa de una distribución media temporal.

La figura 4.3.5 repite las isolíneas de la figura anterior, pero le superpone la segmentación adoptada para el Río de la Plata Interior. Utilizando esta figura y sopesando los valores de conductividad con el área comprendida entre curvas, se obtuvieron los valores medios de conductividad sobre cada segmento mostrados en la figura 4.3.6, donde también se incluye el esquema del modelo, con los segmentos representados como cajas.

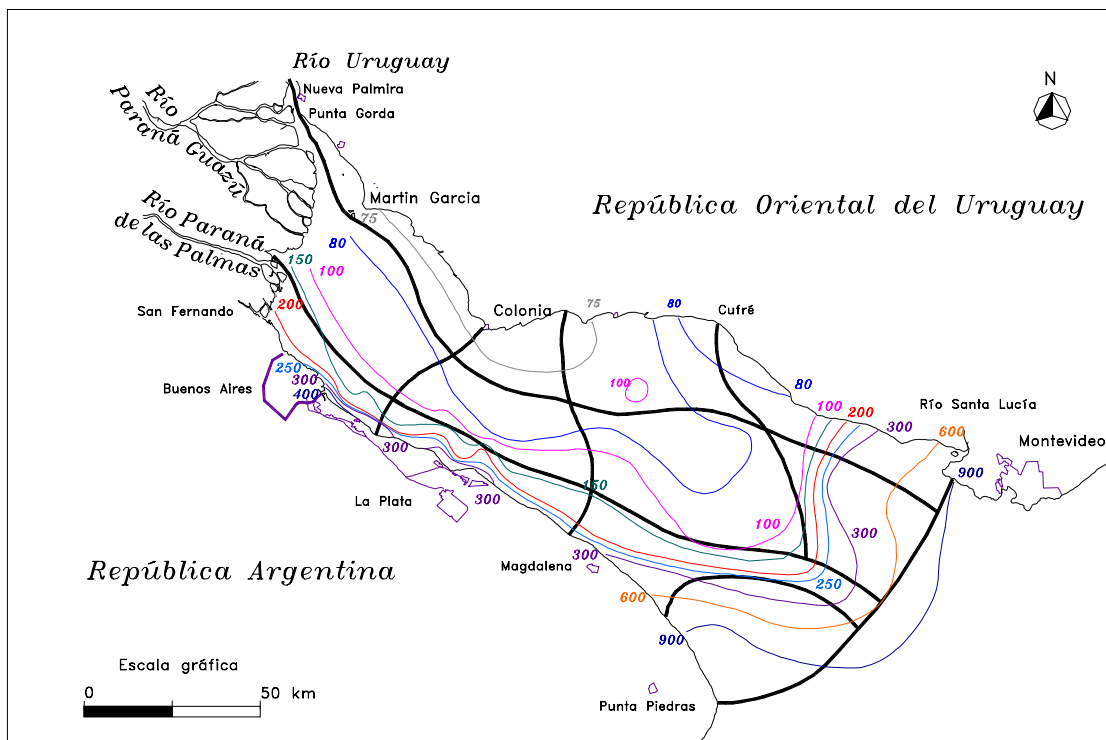


Figura 4.3.5 Líneas de isoconductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$) y segmentación

4.3.1.2 Aporte de los tributarios

En noviembre de 1982, que es cuando se efectuaron las mediciones de conductividad eléctrica en el Río de la Plata Interior, se dio una condición de muy alto caudal del río Uruguay. En consecuencia se decidió que, aún manteniendo la segmentación basada en los tubos construidos para un escenario asociado a caudales medios, era importante utilizar los caudales correspondientes a esa situación particular, que fueron de de $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ para el río Uruguay, de $12.320 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Paraná Guazú y de $3680 \text{ m}^3/\text{s}$ para el Paraná de las Palmas.

Las tablas 4.2.4 y 4.2.5 muestran una distribución longitudinal y una temporal, respectivamente, de conductividad del río Uruguay. Se observa que, aunque pueden aparecer picos que van de 100 a $150 \mu\text{S/cm}$, la mayoría de los valores cae en el rango aproximado de 50 a $70 \mu\text{S/cm}$, por lo que se ha considerado que este debe ser el orden de

la conductividad media del río. Esto genera un flujo advectivo de conductividad que penetra en la cabecera del segmento # 3.

Los valores de conductividad eléctrica del río Paraná de las Palmas en Atucha se presentan en la tabla 4.2.6. Se observa una dispersión relativamente pequeña en la distribución temporal, con un valor medio de 137 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que fue el asumido como representativo de las condiciones medias. El flujo advectivo de conductividad resultante penetra en la cabecera del segmento # 1.

Tal como se comentó en la sección anterior, no existen datos de conductividad del río Paraná Guazú. El flujo advectivo de conductividad desde el Guazú penetra en la cabecera del segmento # 2.

4.3.1.3 Aportes marginales

Los datos de conductividad eléctrica de aportes marginales se reducen a algunos valores en dos estaciones sobre el Riachuelo, mostrados en las tablas 4.2.7 y 4.2.8. Se observa una importante dispersión, posiblemente asociada a la dilución periódica provocada por el régimen de mareas, ya que se trata de estaciones muy próximas a la desembocadura. El orden de magnitud de la conductividad es allí de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En la tabla 4.3.1 se presenta el detalle de los caudales medios de los tributarios marginales, de acuerdo a lo reportado por Aguas Argentinas (AA, 1998). De allí surge que los caudales medios totales que se aportan a los dos segmentos adyacentes a la costa argentina son:

- o Segmento # 1: 285 m^3/s
- o Segmento # 4: 42 m^3/s

Tabla 4.3.1
*Caudal de los aportes marginales sobre la costa argentina
(m^3/s) – (AA 1998)*

Descarga	Nombre	Q (m^3/s)		
		Máximo	Mínimo	Medio
D10	Luján	623	56	192
D20	Arca	1,13	0,17	0,53
D30	Orientales	1,30	0,07	0,29
D40	Perú	4,80	0,06	1,36
D50	Borges	2,82	0,08	0,84
D60	Villate	0,13	0,01	0,03
D70	Yrigoyen	0,32	0,04	0,12
D80	Medrano	9,42	0,22	1,98
D90	White	0,39	0,01	0,23
D100	Vega	0,43	0,03	0,23
D110	Maldonado	0,32	0,02	0,16
D120	Ugarteche	2,56	0,29	1,03
D125	Doble cond.	1,55	0,16	0,90

D130	Triple cond.	6	0,38	3,03
D140	C Dep la Boca	0,10	0,05	0,07
D150	Pte. Avellaneda	173	6	66,73
D160	C.Sarandí	22	0,25	5,67
D170	C. Santo Domingo	27,50	0,50	8,58
D180	C.Jimenez	3,06	0,33	1,06
D190	Desc.Berazategui	26,83	11,92	18,34
D200	Ao.Las Conchitas	4,20	0,54	1,34
D210	C.Carnaval	4,98	2,01	3,51
D220	Villa Elisa	17,02	3,67	7,16
D230	Ao.El gato	12,77	1,53	7,31
D240	C. Oeste	6,06	1,03	3,02
D250	C. Este	1,34	0,02	0,25
D260	Berisso	1,11	0,44	0,82

No se dispuso de datos de aportes marginales sobre la costa uruguaya. Estos provienen de la ciudad de Colonia y harían su entrada en el segmento # 6, aunque su efecto, de existir, parece sentirse más significativamente a la altura del segmento # 9.

4.3.1.4 Aporte oceánico

Desde el océano (en rigor, desde el Río de la Plata Exterior) se produce un flujo difusivo de conductividad eléctrica, asociado a la salinidad. La conductividad media a la salida de los segmentos # 10, # 11, # 7 y # 12 fue obtenida a partir de la figura 4.3.5, arribándose, respectivamente, a los siguientes valores: 600, 600, 450 y 655 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El flujo difusivo depende de la dispersión longitudinal, discutida en la sección 3.3.5.

4.3.1.5 Escenario de trabajo

La información generada en las secciones precedentes puede resumirse en el esquema mostrado en la figura 4.3.7. Nótese que no se ha definido completamente el aporte de dos tributarios (Uruguay y Paraná Guazú) ni de los aportes marginales.

En la tabla 3.2.2 se presentan los valores de la velocidad media de advección en la interfase entre segmentos correspondientes a un mismo corredor, que fueron utilizados en el modelo. Para la dispersión longitudinal en esas mismas interfases se aplicaron los valores mostrados en la tabla 3.3.1, correspondientes a un coeficiente de dispersión de 20. Por su parte, sobre las interfases de los segmentos pertenecientes a distintos corredores se impusieron los valores de difusividad lateral presentados en la tabla 3.3.3, asociado a un coeficiente de difusividad de 1. Nótese que esto significa no considerar, en principio, efectos de mezcla debido a las corrientes laterales oscilatorias (más arriba se menciona que su efecto debería ser relativamente pequeño en el Río de la Plata Interior). No obstante, luego se efectúan ensayos de sensibilidad incrementando la mezcla lateral.

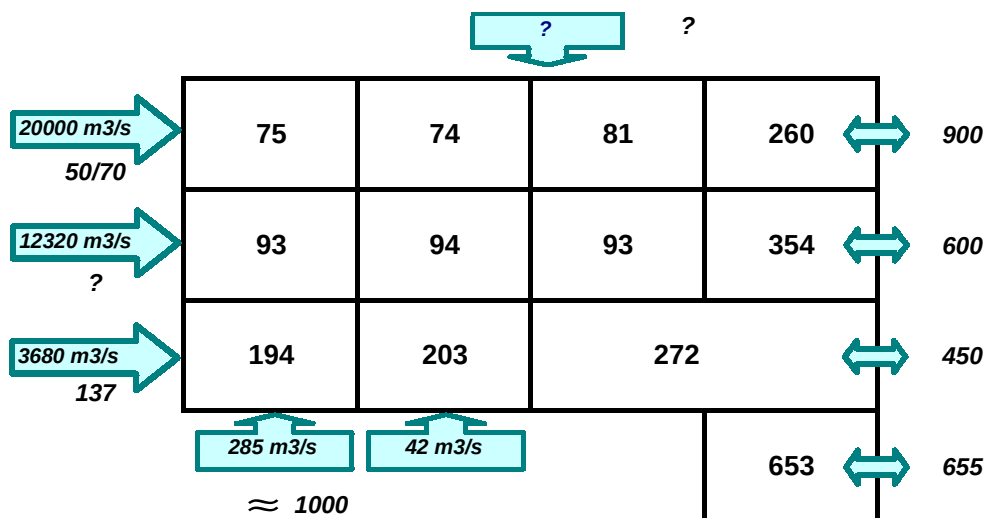


Figura 4.3.7 Datos para el escenario de trabajo (conductividad eléctrica en $\mu\text{S/cm}$)

4.3.2 Calibración

Calibrar el modelo para el escenario de trabajo significa poder establecer los valores de los siguientes parámetros:

- ❑ La conductividad media del río Uruguay, con el condicionante de que sea próxima al intervalo 50-70 $\mu\text{S/cm}$.
- ❑ La conductividad media del río Paraná Guazú.
- ❑ El coeficiente de dispersión longitudinal en las caras de los segmentos que limitan con el Río de la Plata Exterior.
- ❑ La conductividad media de los aportes marginales desde la costa argentina.
- ❑ El aporte desde la costa uruguaya.

De la experimentación con el modelo surgieron rápidamente las siguientes conclusiones:

- a) La difusión lateral es lo suficientemente baja como para que el transporte lateral entre segmentos sea despreciable.
- b) En ausencia de aportes marginales, la conductividad del primer segmento de un corredor (en el sentido de flujo hacia el océano) está determinada enteramente por el valor de conductividad del tributario respectivo.
- c) El coeficiente de dispersión longitudinal en las caras de los segmentos finales (#10, 11, 7 y 12) debe ser incrementado fuertemente respecto del valor en el interior para explicar los altos valores de conductividad observados en esos segmentos.

La primera conclusión significa que los resultados son prácticamente idénticos si directamente se anula la difusividad lateral. Y esto no cambia aún incrementando

sensiblemente el coeficiente de difusividad por encima de 1 (se efectuaron ensayos hasta con valores de 100 sin notar una influencia efectiva).

A partir de la segunda conclusión se establecieron los siguientes valores de conductividad para los tributarios: 75 $\mu\text{S/cm}$ para el río Uruguay y 93 $\mu\text{S/cm}$ para el Paraná Guazú.

La explicación física para el incremento de la dispersión longitudinal en el borde exterior del modelo (tercera conclusión) reside en la aparición de corrientes laterales en el Río de la Plata Exterior, que generan una mayor capacidad de transporte lateral. Entonces, en lugar de utilizar una escala de tiempos difusiva en la ecuación (3.3.20), se debe usar una escala de tiempos advectiva, es decir,

$$T'_l = \frac{T}{B/U_y} \quad (4.3.1)$$

Si se efectúa la estimación $U_y \cong 0,05$ m/s, entonces $T'_l \cong 0,05$ en lugar del valor de orden 10^{-5} mostrado en la tabla 3.3.2. Esto significa que, si bien puede seguir utilizándose la ecuación (3.3.25) para calcular K/hu^* , los valores obtenidos para el Río de la Plata Interior, del orden de 10^{-3} (de acuerdo a lo mostrado en la misma tabla 3.3.2) basados en el tiempo difusivo, deben ser incrementados en un factor igual al cuadrado de la relación entre el antiguo y el nuevo valor de T'_l , es decir, en un factor del orden de 10^7 . Esto significa que K/hu^* debe ser del orden de 10^4 . El valor adoptado durante la calibración fue de 2×10^4 para todas las caras exteriores.

Para completar el ajuste en los corredores de los ríos Uruguay y Paraná de las Palmas fue necesario incorporar los siguientes aportes marginales:

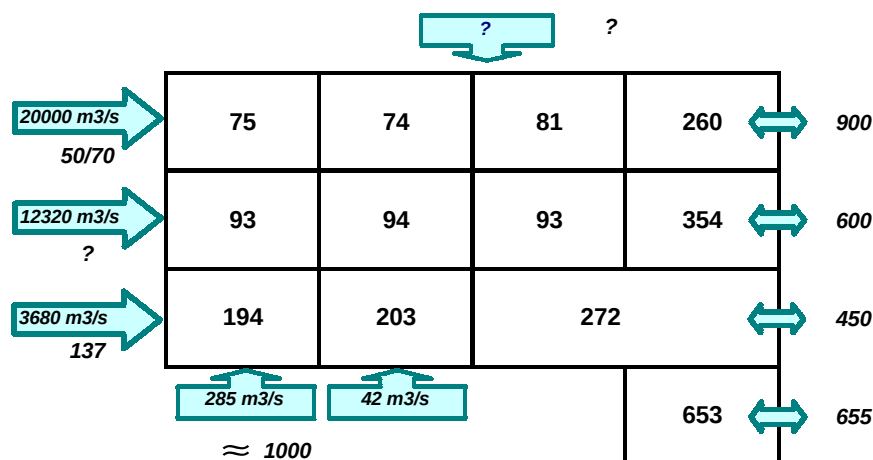
- o Costa uruguaya; segmento # 9: $1,0 \times 10^7 \mu\text{S/cm m/s}$
- o Costa argentina; segmento # 1: $1,8 \times 10^7 \mu\text{S/cm m/s}$
- o Costa argentina; segmento # 4: $3,0 \times 10^7 \mu\text{S/cm m/s}$

Utilizando los datos de caudales medios disponibles para la costa argentina, estos aportes significan las siguientes conductividades medias:

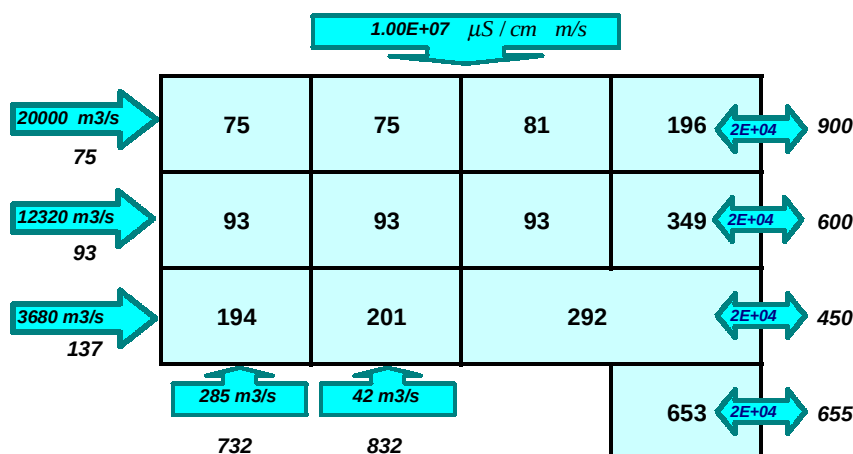
- o Costa argentina; segmento # 1: 732 $\mu\text{S/cm}$
- o Costa argentina; segmento # 4: 832 $\mu\text{S/cm}$

Se observa que los valores de conductividad obtenidos son totalmente consistentes con el orden de magnitud de la conductividad media del Riachuelo, de 1000 $\mu\text{S/cm}$, de acuerdo a lo informado más arriba. Esto constituye una suerte de validación parcial de la metodología de análisis, ya que el cierre del balance es consistente con la información disponible.

Los resultados de la calibración se muestran en la figura 4.3.8, donde se repiten los valores que surgen de las mediciones. Se observa que se pudo lograr un acuerdo muy satisfactorio entre ambos.



a) Escenario construido a partir de mediciones



b) Escenario construido a partir del modelo WASP5

Figura 4.3.8 Resultados de la calibración del modelo WASP5 para el escenario de trabajo (conductividad eléctrica en $\mu S/cm$)

5 BALANCE DE NITROGENO

5.1 PROCESOS BIOQUIMICOS DEL NITRÓGENO EN EL AGUA

Los denominados nutrientes corresponden a todas aquellas formas de los elementos nitrógeno, fósforo y silicio que puedan ser asimilados por la base de la cadena alimentaria en ambientes acuáticos, tanto para reproducción como para el crecimiento de los organismos involucrados (microorganismos, fitoplancton). Los más importantes son iones derivados de la descomposición de la materia orgánica y de aportes inorgánicos.

La descomposición de la materia orgánica nitrogenada por medio de bacterias proteolíticas produce amoníaco (amonificación). A su vez, el grupo de bacterias autotróficas del tipo de las nitrosomonas convierten al amoníaco (NH_3) o al ión amonio (NH_4^+) en nitrito (NO_2^-). Un segundo grupo de bacterias autotróficas (nitrobacterias) transforman el nitrito en nitrato (NO_3^-). Todas estas transformaciones corresponden a procesos de oxidación.

El amoníaco es la forma más reducida del nitrógeno. Se encuentra disuelto en el agua y en equilibrio con el ión amonio. Ambos son muy solubles en el medio acuoso y, generalmente, el estado iónico es transitorio, ya que en condiciones adecuadas se transforma por oxidación en nitrito y finalmente en nitrato. Las aguas naturales contienen concentraciones típicas menores de 0,1 mg/l, expresado como mg NH_3 /l; concentraciones mayores pueden indicar aportes antropogénicos.

Dado que el amoníaco resulta tanto de la descomposición orgánica nitrogenada (desechos vegetales y animales) como de la reducción microbiana de nitratos y nitritos en condiciones anaeróbicas, es un constituyente común de las descargas cloacales (tratadas y sin tratar). También puede descargarse a partir de una amplia variedad de operaciones industriales y de limpieza, entrar en el ambiente acuático a través de la erosión de suelos arcillosos o ser aportado en concentraciones significativas por las precipitaciones atmosféricas y el intercambio atmósfera-aire.

El nitrito es la especie química del nitrógeno que usualmente se halla en cantidades muy pequeñas en las aguas superficiales (aproximadamente 0,001 mg/l como N- NO_2^-). Este ión es muy inestable en presencia de oxígeno, y representa una forma intermedia entre amonio y nitrato (nitrificación) o nitrato y gas nitrógeno (denitrificación). Su presencia en concentraciones relativamente elevadas indica procesos biológicos activos, influenciados por la contaminación orgánica.

El nitrato es la forma principal del nitrógeno inorgánico que se halla en aguas naturales. Es altamente soluble y es la forma más estable en aguas superficiales. Representa el mayor estado de oxidación del nitrógeno y sus compuestos. Aún cuando la mayoría de las aguas superficiales contienen nitrato, la presencia de concentraciones superiores a 5 mg/l (N- NO_3^-) puede reflejar condiciones no sanitarias, ya que una de las mayores fuentes de nitrato son los desechos humanos y animales. Puesto que los nitratos estimulan el crecimiento de la vegetación acuática, los organismos acuáticos en un medio

con elevada concentración de nitrato pueden alcanzar un crecimiento excesivo, degradando las condiciones ambientales (proceso de eutroficación). Al igual que el amoníaco, las fuentes principales de nitrato las constituyen las descargas industriales, las descargas cloacales y los fertilizantes que drenan desde zonas de cultivo.

5.2 DATOS DE LA SERIE NITROGENADA

5.2.1 Río de la Plata

5.2.1.1 Especies inorgánicas

La CARP coordinó un proyecto de establecimiento de la calidad del agua del Río de la Plata que reunió una porción sustantiva de información sobre los parámetros físico-químicos medidos en el Río de la Plata medio (CARP 1989). Dicha información procede de tres fuentes distintas:

- Recopilaciones bibliográficas y de datos, provenientes de estudios y archivos disponibles en los servicios hidrográficos participantes del proyecto (SIHN, SOHMA) y en otros organismos
- Fuentes permanentes y de oportunidad (estaciones mareográficas y/o meteorológicas permanentes, actividades hidrográficas y/u oceanográficas ajenas al proyecto, etc.)
- Actividades de campaña específicamente realizadas en el marco del proyecto

Los datos informados corresponden al período 1981-1987. Se reportan datos de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, pH, alcalinidad total, nutrientes (amonio, nitrato, nitrito, fosfato y silicato) y material en suspensión y/o turbiedad.

En la figura 5.2.1 se muestra la localización de las estaciones de medición durante las actividades de campaña. La tabla 5.2.1 detalla los valores promedio de concentraciones superficiales de la serie nitrogenada asociados a cada una de las especies (obtenidas a partir de las concentraciones de las especies mismas) en las estaciones de muestreo del Río de la Plata Interior. También se muestran las concentraciones de nitrógeno inorgánico total (NIT), obtenidas como la suma de los correspondientes a cada especie. Las distribuciones de amonio, nitrito y nitrato se representan en las figuras 5.2.2 a 5.2.4, respectivamente. Nótese que en el Río de la Plata Exterior sólo se efectuaron mediciones de nitrato. Se observa que todas las distribuciones muestran una relativamente amplia dispersión de valores.

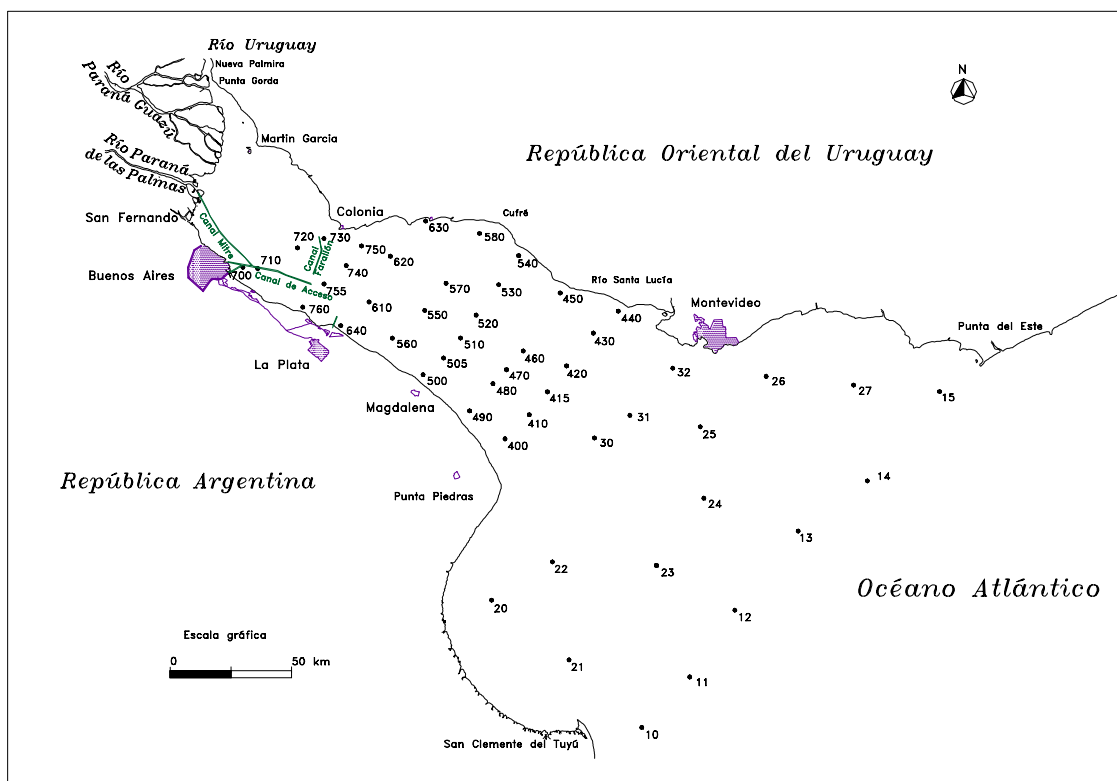


Figura 5.2.1 Localización de las estaciones de medición en el estudio de la CARP (1989)

Tabla 5.2.1
Especies nitrogenadas inorgánicas en el Río de la Plata Interior (mg N/l)
(CARP 1989)

Estación	$N-NH_4$	$N-NO_2$	$N-NO_3$	NIT
700	0,073	0,007	0,189	0,268
710	0,102	0,005	0,204	0,311
720	0,081	0,005	0,195	0,282
730	0,067	0,006	0,253	0,326
740	0,045	0,006	0,222	0,273
750	0,033	0,006	0,328	0,367
600	0,040	0,009	0,237	0,286
610	0,038	0,005	0,203	0,245
620	0,068	0,005	0,272	0,346
630	0,074	0,006	0,365	0,445
540	0,099	0,004	0,326	0,430
530	0,055	0,004	0,207	0,267
560	0,045	0,010	0,223	0,278
550	0,061	0,004	0,174	0,238

Estación	$N-NH_4$	$N-NO_2$	$N-NO_3$	NIT
570	0,038	0,005	0,336	0,379
580	0,025	0,005	0,289	0,319
520	0,061	0,003	0,249	0,313
510	0,030	0,003	0,232	0,266
505	0,037	0,004	0,220	0,260
500	0,072	0,005	0,377	0,454
480	0,063	0,003	0,203	0,269
460	0,029	0,002	0,176	0,207
450	0,047	0,009	0,343	0,398
400	0,069	0,004	0,292	0,364
410	0,059	0,003	0,201	0,262
420	0,045	0,003	0,232	0,281
430	0,044	0,006	0,215	0,265
440	0,086	0,003	0,277	0,366

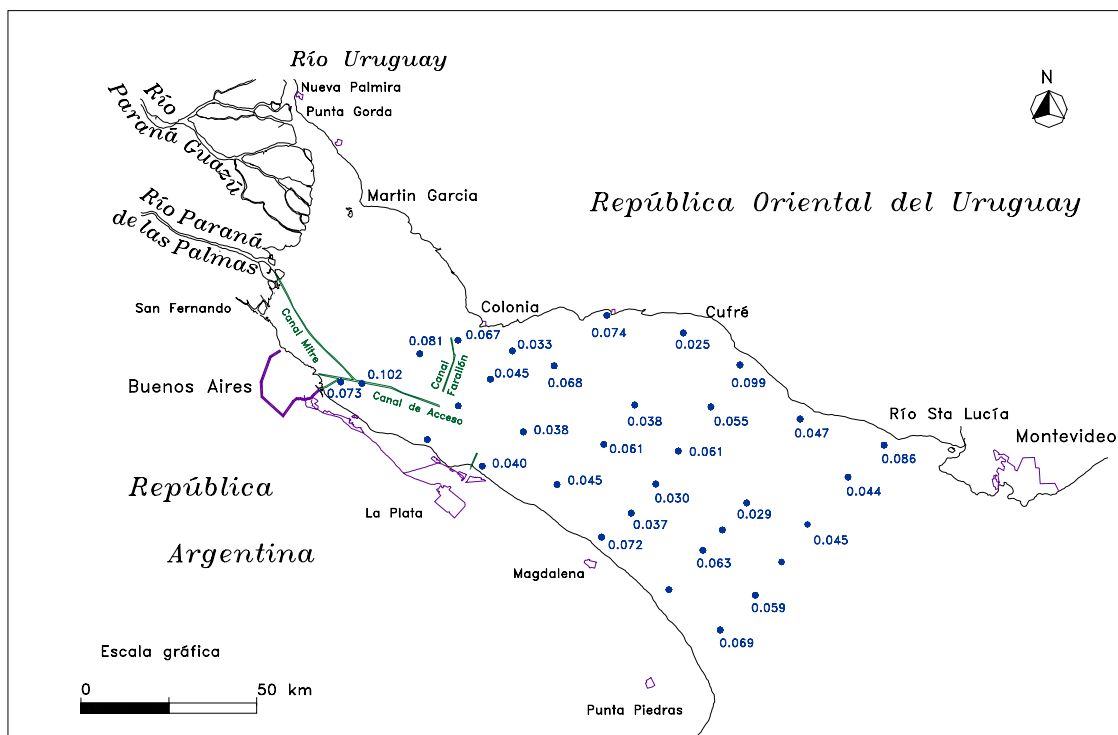


Figura 5.2.2 Datos de $N-NH_4$ en superficie. Valores medios 1981/85 (mg N/l)

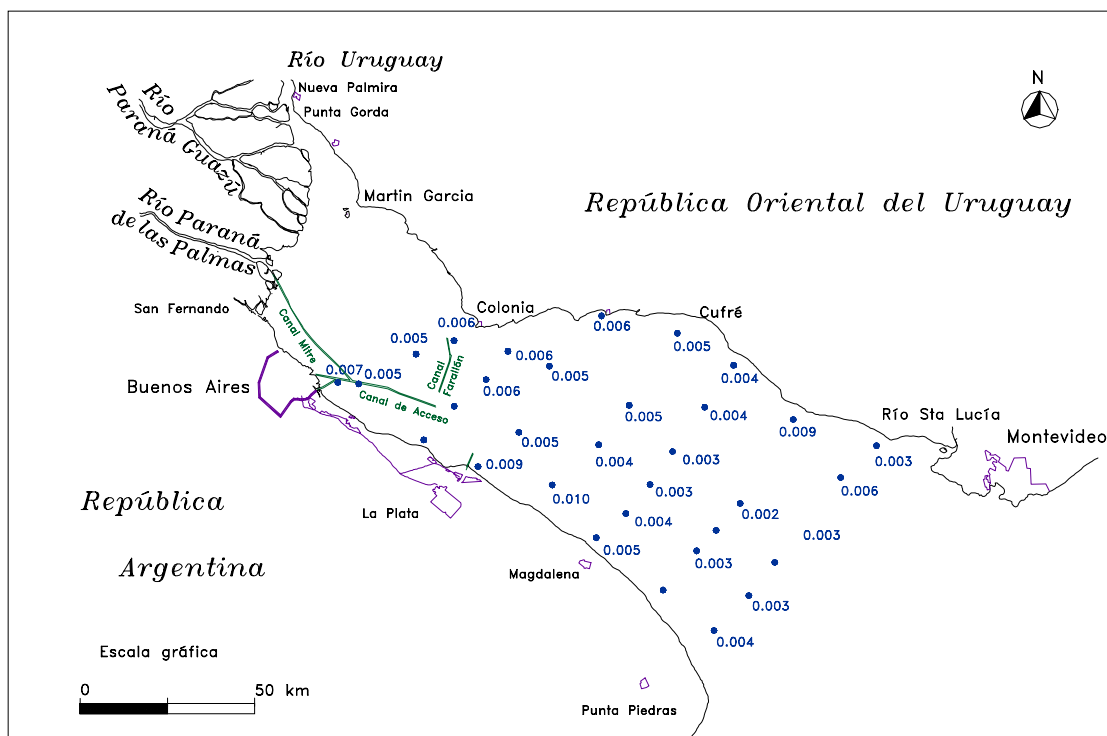


Figura 5.2.3 Datos de $N-NO_2$ en superficie. Valores medios 1981/85 (mg N/l)

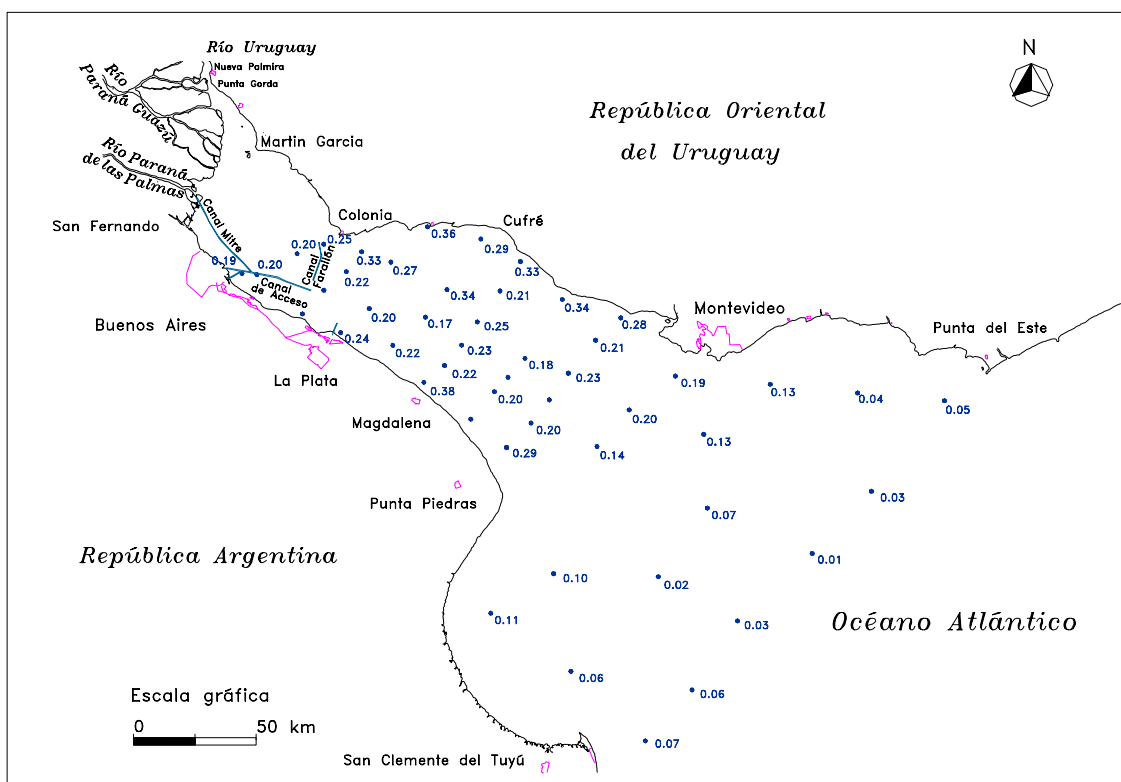


Figura 5.2.4 Datos de $N-NO_3$ en superficie. Valores medios 1981/85 (mg N/l)

La tabla 5.2.2 presenta los valores de especies de nitrógeno obtenidos en las campañas de noviembre de 1989 y junio de 1990 correspondientes al programa de estudio de calidad de las aguas de la Franja Costera Sur (AGOSBA-OSN-SIHN 1992).

Tabla 5.2.2
Especies de nitrógeno inorgánico en la Franja Costera Sur (mg N/l)
(AGOSBA-OSN-SIHN 1992)

Estación			Campaña noviembre 1989			Campaña junio 1990		
Nombre	Código	Distancia (m)	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃
San Isidro	101	500	0,63	0,01	1,20	0,24	0,03	3,00
Palermo	201	500	0,44	0,01	2,20	0,46	0,01	4,00
Palermo	202	1500	0,24	0,01	1,60	0,05	0,02	1,00
Palermo	203	3000	0,21	0,00	1,40	0,05	0,03	1,00
Palermo	204	3000	-	0,01	1,70	-	0,02	-
Riachuelo	301	500	0,75	0,07	1,10	0,86	0,10	8,00
Riachuelo	302	1500	0,60	0,07	1,30	0,05	0,03	3,00
Riachuelo	303	3000	-	-	2,00	0,05	0,01	1,00
Sto Domingo	401	500	1,26	0,30	2,30	1,60	0,14	13,00
Sto Domingo	402	1500	0,48	0,07	2,50	0,27	0,04	11,00
Sto Domingo	403	3000	0,25	-	-	0,05	0,01	1,00
Bernal	501	500	-	0,25	4,20	1,15	0,07	6,00
Bernal	502	1500	1,27	0,50	3,00	0,27	0,04	4,00
Bernal	503	3000	0,25	0,01	2,50	0,05	0,01	1,00
Berazategui	601	500	0,81	0,50	4,50	0,26	0,07	3,00
Berazategui	602	1500	0,10	0,55	3,30	0,82	0,07	5,00
Berazategui	603	3000	0,70	0,15	2,50	-	0,02	-
Berazategui	604	3000	-	0,25	2,30	-	0,01	-
Punta Colorada	701	500	1,27	0,25	3,40	1,65	0,10	11,00
Punta Colorada	702	1500	0,59	0,25	2,50	0,34	0,02	4,00
Punta Colorada	703	3000	-	-	-	0,05	0,01	1,00
Punta Lara	801	500	1,88	0,50	-	1,56	0,10	12,00
Punta Lara	802	1500	0,68	0,10	2,70	0,05	0,02	2,00
Est. AGOSBA	901	500	0,78	0,50	4,50	1,38	0,07	3,00
Est. AGOSBA	902	1500	1,44	0,50	2,70	0,25	0,01	-
Est. AGOSBA	903	3000	1,44	0,25	4,60	0,75	0,05	5,00
Est. AGOSBA	904	3000	-	0,50	3,00	-	0,05	-
Cuatro Bocas	1001		1,21	0,35	3,20	0,92	0,05	5,00
Cloacal La Plata	1101	500	1,16	0,30	4,20	0,82	0,01	2,00
Cloacal La Plata	1102	1500	-	0,30	4,00	0,05	0,01	11,00
Cloacal La Plata	1103	3000	0,30	0,10	2,20	0,05	0,01	3,00
Tipo B	1200		0,60	0,01	3,10	0,60	0,01	3,10
Tipo A	0		0,20	0,01	3,00	0,63	0,01	7,00

En las figuras 5.2.5 y 5.2.6 se presentan las distribuciones longitudinales, a las distintas distancias de la costa, correspondientes a cada una de las dos campañas. Se observa que la tendencia general es a la disminución de la concentración a medida que las estaciones de muestreo se alejan de la costa. A 500 m de la costa, las tres especies suelen presentar sus máximos valores en las estaciones Santo Domingo y Punta Lara o Punta

Colorada. La influencia de la descarga cloacal de Berazategui (que se produce a 2500 m de la costa) se detecta en la distribución longitudinal a 1500 m de la costa.

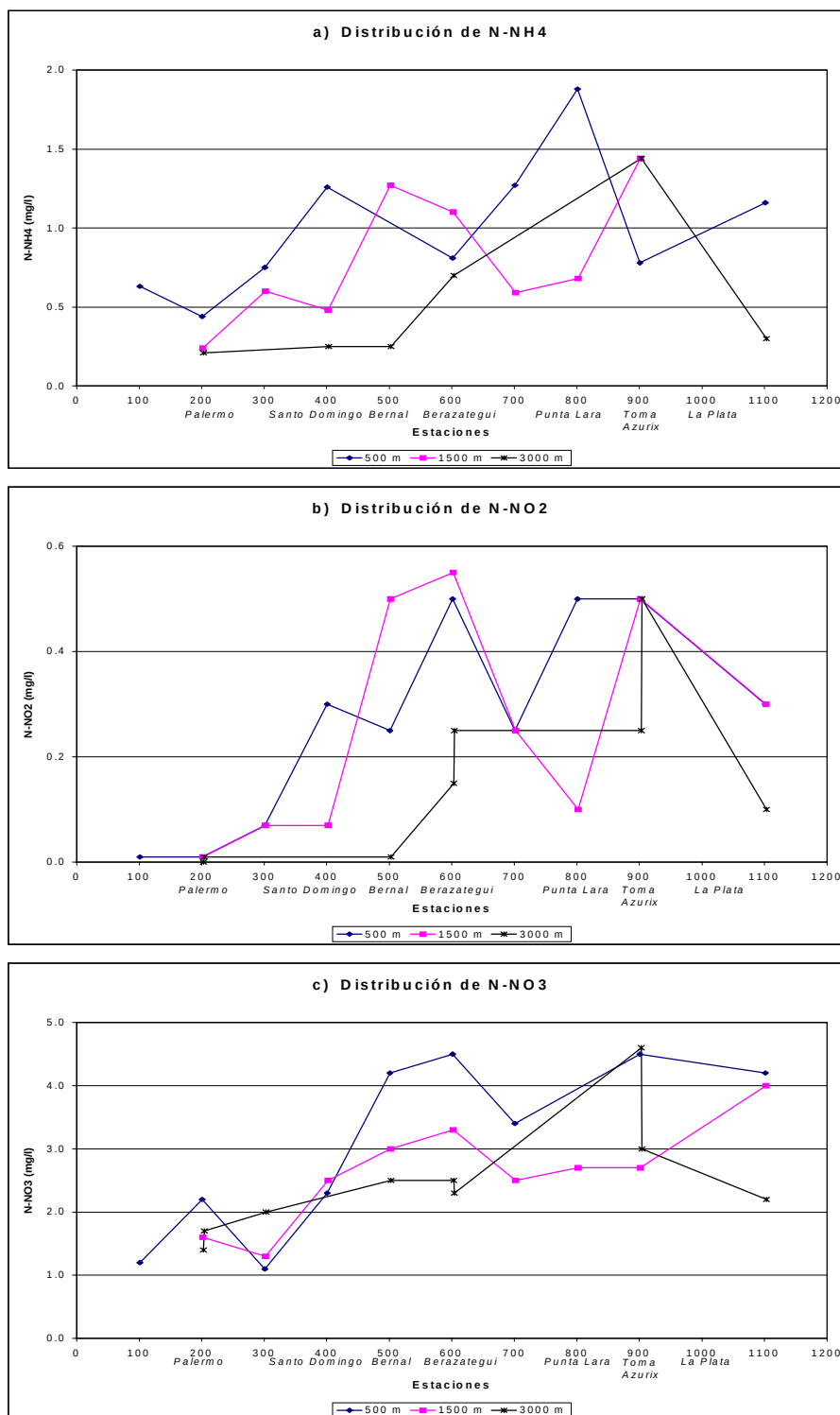


Figura 5.2.5 Distribuciones longitudinales de especies de inorgánicas del N. Noviembre 1989

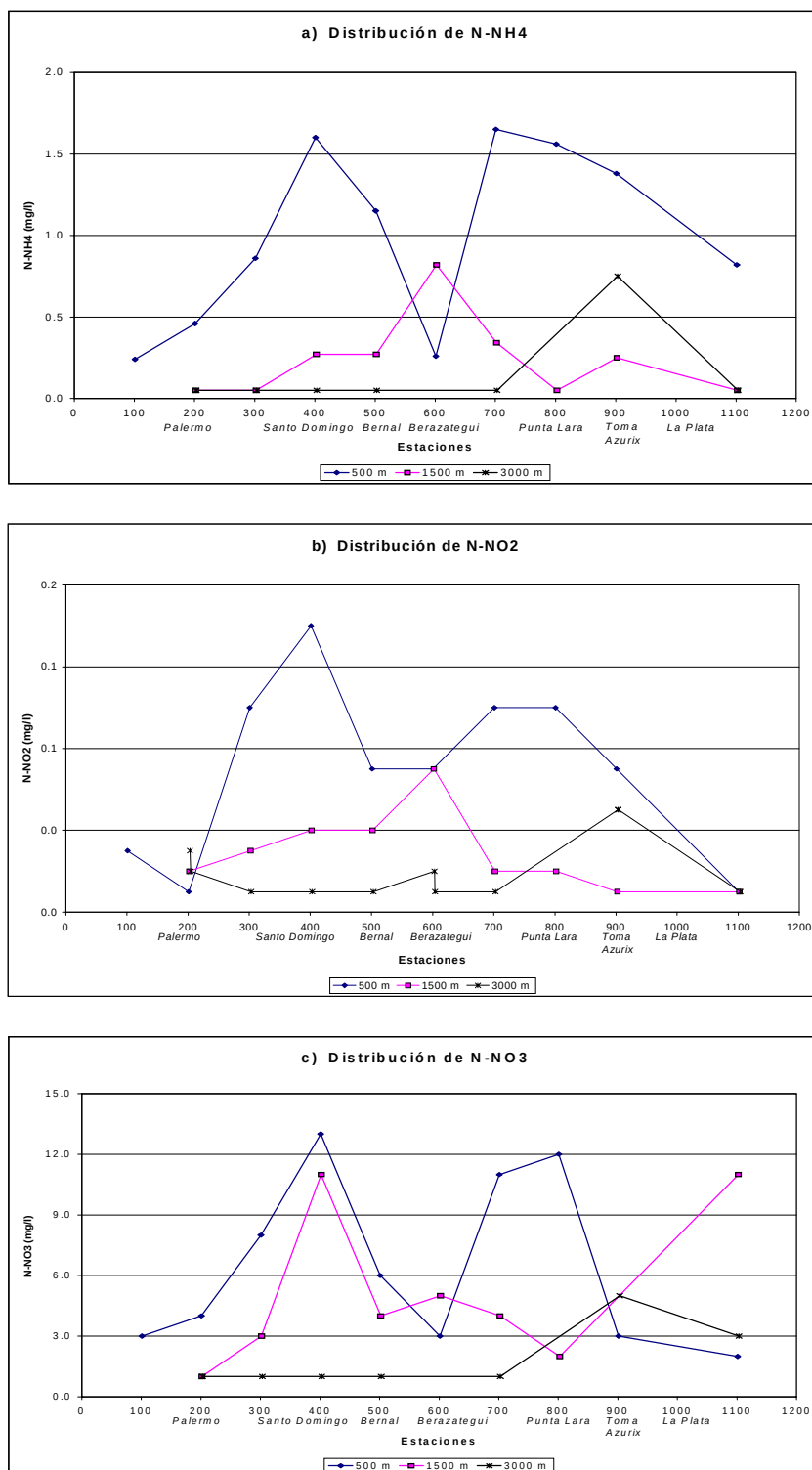


Figura 5.2.6 Distribuciones longitudinales de especies de inorgánicas del N. Junio 1989

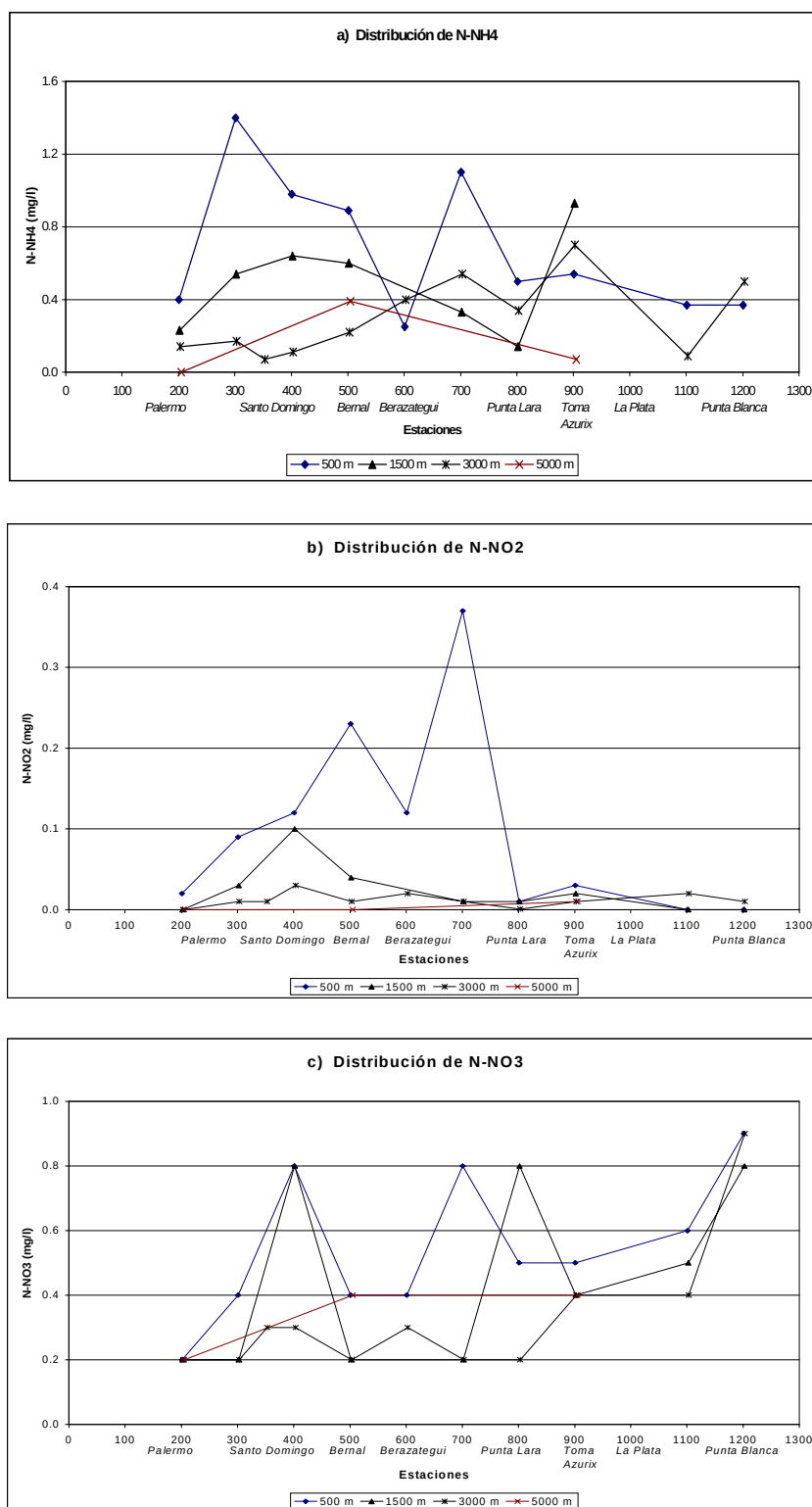


Figura 5.2.7 Distribuciones longitudinales de especies inorgánicas del N. Promedio 1992/93

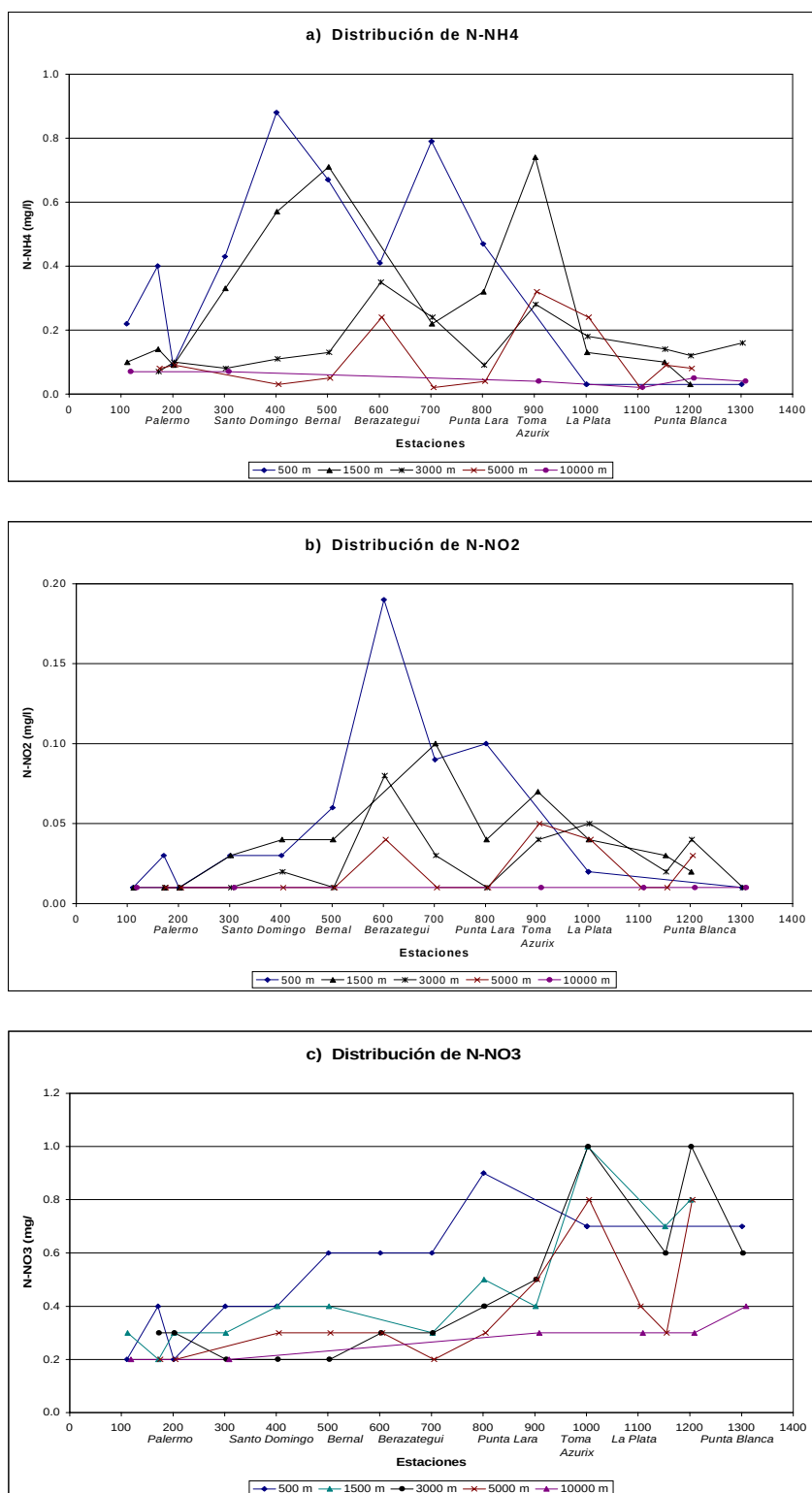


Figura 5.2.8 Distribuciones longitudinales de especies inorgánicas del N. Promedio 1994/95

En la tabla 5.2.3 se presentan los valores medios correspondientes a los períodos 1992/1993 y 1994/1995 de las especies del nitrógeno relacionados a campañas efectuadas en el marco del mismo programa para la Franja Costera Sur (AGOSBA-SIHN-OSN 1997).

Tabla 5.2.3
Especies de nitrógeno inorgánico en la Franja Costera Sur (mg N/l)
(AGOSBA-OSN-SIH 1997)

Estación			1992/1993			1994/1995		
Nombre	Código	Distancia (m)	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃
Estaciones de	00A	Canal Mitre km 27.5	0,17	0,00	0,30	-	0,01	0,40
muestreo	00B	3000(Magdalena)	0,20	-	0,70	-	-	-
Aisladas	00C	10000(Boya San Agustín)	0,42	0,03	0,30	-	-	-
1			-	-	-			
San Fernando	101	Desembocadura Luján	0,24	0,00	0,20	0,32	0,01	0,40
San Isidro	110		-	-	-	0,35	0,04	0,60
San Isidro	111	500	-	-	-	0,22	0,01	0,20
San Isidro	112	1500	-	-	-	0,10	0,01	0,30
San Isidro	119	10000	-	-	-	0,07	0,01	0,20
Olivos	150		-	-	-	0,56	0,15	0,80
Vicente López	171	500	-	-	-	0,40	0,03	0,40
Vicente López	172	1500	-	-	-	0,14	0,01	0,20
Vicente López	173	3000	-	-	-	0,07	0,01	0,30
Vicente López	175	5000	-	-	-	0,08	0,01	0,20
Palermo	201	500	0,40	0,02	0,20	0,09	0,01	0,20
Palermo	202	1500	0,23	0,00	0,20	0,09	0,01	0,30
Palermo	203	3000	0,14	0,00	0,20	0,10	0,01	0,30
Palermo	205	5000	-	0,00	0,20	0,09	0,01	0,20
Palermo	207	Toma de agua a 1050 m	0,24	0,00	0,20	0,10	0,02	0,30
El Abanico	210		-	-	-	0,87	0,12	0,70
3	3	Rio de la Plata	0,12	0,02	-	-	-	-
Riachuelo	301	500	1,40	0,09	0,40	0,43	0,03	0,40
Riachuelo	302	1500	0,54	0,03	0,20	0,33	0,03	0,30
Riachuelo	303	3000	0,17	0,01	0,20	0,08	0,01	0,20
Riachuelo	306	Desembocadura	1,70	0,02	0,20	1,30	0,05	0,20
Riachuelo	309	10000	-	-	-	0,07	0,01	0,20
Sarandí	353	3000	0,07	0,01	0,30	-	-	-
Sarandí	356	Desembocadura	14,40	0,02	0,10	-	-	-
4	4		0,12	0,01	-	-	-	-
A° Sto Domingo	401	500	0,98	0,12	0,80	0,88	0,03	0,40
A° Sto Domingo	402	1500	0,64	0,10	0,80	0,57	0,04	0,40
A° Sto Domingo	403	3000	0,11	0,03	0,30	0,11	0,02	0,20
A° Sto Domingo	405	5000	-	-	-	0,03	0,01	0,30
A° Sto Domingo	406	Desembocadura	16,20	0,01	0,00	-	-	-
5	5		0,20	0,02	-	-	-	-
Bernal	501	500	0,89	0,23	0,40	0,67	0,06	0,60
Bernal	502	1500	0,60	0,04	0,20	0,71	0,04	0,40
Bernal	503	3000	0,22	0,01	0,20	0,13	0,01	0,20
Bernal	504	4000	0,45	0,00	0,40	-	-	-
Bernal	505	5000	0,39	0,00	0,40	0,05	0,01	0,30

Estación			1992/1993			1994/1995		
Nombre	Código	Distancia (m)	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃
Bernal	507	Toma de agua a 2450 m	0,37	0,02	0,20	0,62	0,03	0,50
510	510		-	-	-	-	-	-
551	551		-	-	-	0,59	0,15	0,70
552	552		-	-	-	0,38	0,04	0,50
553	553		-	-	-	0,04	0,01	0,30
555	555		-	-	-	0,03	0,01	0,30
559	559		-	-	-	0,05	0,01	0,20
Berazategui	601	500	0,25	0,12	0,40	0,41	0,19	0,60
Berazategui	602	2500	3,10	0,03	0,30	0,96	0,03	0,40
Berazategui	603	3000	0,40	0,02	0,30	0,35	0,08	0,30
Berazategui	605	5000	-	-	-	0,24	0,04	0,30
661	661		1,30	0,13	0,20	-	-	-
Punta Colorada	701	500	1,10	0,37	0,80	0,79	0,09	0,60
Punta Colorada	702	1500	0,33	0,01	0,20	0,22	0,10	0,30
Punta Colorada	703	3000	0,54	0,01	0,20	0,24	0,03	0,30
Punta Colorada	705	5000	-	-	-	0,02	0,01	0,20
Plátanos	710		-	-	-	-	-	-
Punta Lara	801	500	0,50	0,01	0,50	0,47	0,10	0,90
Punta Lara	802	1500	0,14	0,01	0,80	0,32	0,04	0,50
Punta Lara	803	3000	0,34	<0,01	0,20	0,09	0,01	0,40
Punta Lara	805	5000	-	-	-	0,04	0,01	0,30
Punta Lara	850		-	-	-	-	-	-
El Arca	90		-	-	-	2,80	0,03	0,40
AGOSBA	901	500	0,54	0,03	0,50	-	-	-
AGOSBA	602	1500	0,93	0,02	0,40	0,74	0,07	0,40
AGOSBA	903	3000	0,70	0,01	0,40	0,28	0,04	0,50
AGOSBA	904	4000	0,39	-	0,30	0,18	0,02	0,20
AGOSBA	905	5000	0,07	0,01	0,40	0,32	0,05	0,50
AGOSBA	907	Toma canal	0,75	0,04	0,70	-	-	-
AGOSBA	909	10000	-	-	-	0,04	0,01	0,30
910	910		0,07	0,00	0,30	-	-	-
Puerto La Plata	1001	500	-	-	0,70	0,03	0,02	0,70
Puerto La Plata	1002	1500	-	-	-	0,13	0,04	1,00
Puerto La Plata	1003	3000	-	-	-	0,18	0,05	1,00
Puerto La Plata	1005	5000	-	-	-	0,24	0,04	0,80
Berisso	1101	500	0,37	0,00	0,60	-	-	-
Berisso	1102	1500	-	0,00	0,50	-	-	-
Berisso	1103	3000	0,09	0,02	0,40	-	-	-
Berisso	1105	5000	-	-	-	0,02	0,01	0,40
Berisso	1109	10000	-	-	-	0,02	0,01	0,30
B. Gagliardi	1151	500	-	-	-	-	-	-
B. Gagliardi	1152	1500	-	-	-	0,10	0,03	0,70
B. Gagliardi	1153	3000	-	-	-	0,14	0,02	0,60
B. Gagliardi	1155	5000	-	-	-	0,09	0,01	0,30
B. Gagliardi	1159	10000	-	-	-	-	-	-
Punta Blanca	1201	500	0,37	0,00	0,90	-	-	-
Punta Blanca	1202	1500	0,52	0,00	0,80	0,03	0,02	0,80
Punta Blanca	1203	3000	0,50	0,01	0,90	0,12	0,04	1,00

Estación			1992/1993			1994/1995		
Nombre	Código	Distancia (m)	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃
Punta Blanca	1205	5000	-	-	-	0,08	0,03	0,80
Punta Blanca	1209	10000	-	-	-	0,05	0,01	0,30
Magdalena	1301	500	-	-	-	0,03	0,01	0,70
Magdalena	1303	3000	-	-	-	0,16	0,01	0,60
Magdalena	1309	10000	-	-	-	0,04	0,01	0,40

Las figuras 5.2.7 y 5.2.8 presentan las distribuciones longitudinales para las distintas distancias a la costa. Nuevamente se advierte la disminución de las concentraciones de las tres especies de Nitrógeno con el aumento de la distancia a la costa. Los patrones presentan algunas características similares a las asociadas a las campañas de 1989 y 1990.

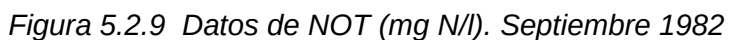
5.2.1.2 Nitrógeno orgánico total

Valores de nitrógeno orgánico total (NOT) medidos durante las campañas realizadas en 1982 por el SIHN y reportados por Quirós & Senone (1985) se presentan en la tabla 5.2.4.

Tabla 5.2.4
Nitrógeno Orgánico Total (mg N/l)
(Quirós & Senone 1985)

Estación	Campaña septiembre 1982	Campaña noviembre 1982
400	0,85	0,97
410	1,23	1,57
420	0,99	1,58
430	0,81	0,71
440	0,87	1,06
450	0,63	1,18
460	-	1,04
480	0,70	0,80
500	1,48	1,34
505	0,66	1,48
510	0,67	1,01
520	0,94	1,30
530	0,92	1,26
540	0,73	0,99
550	0,80	-
560	0,71	1,64
570	-	1,13
580	-	0,78
600	0,63	1,30
610	0,60	1,46

Las distribuciones se muestran en las figuras 5.2.9 y 5.2.10, junto con las curvas de nivel presentadas en el mismo informe. Se observa que los mayores valores se dan sobre la costa argentina, en la zona comprendida entre la ciudad de La Plata y Punta Piedras.



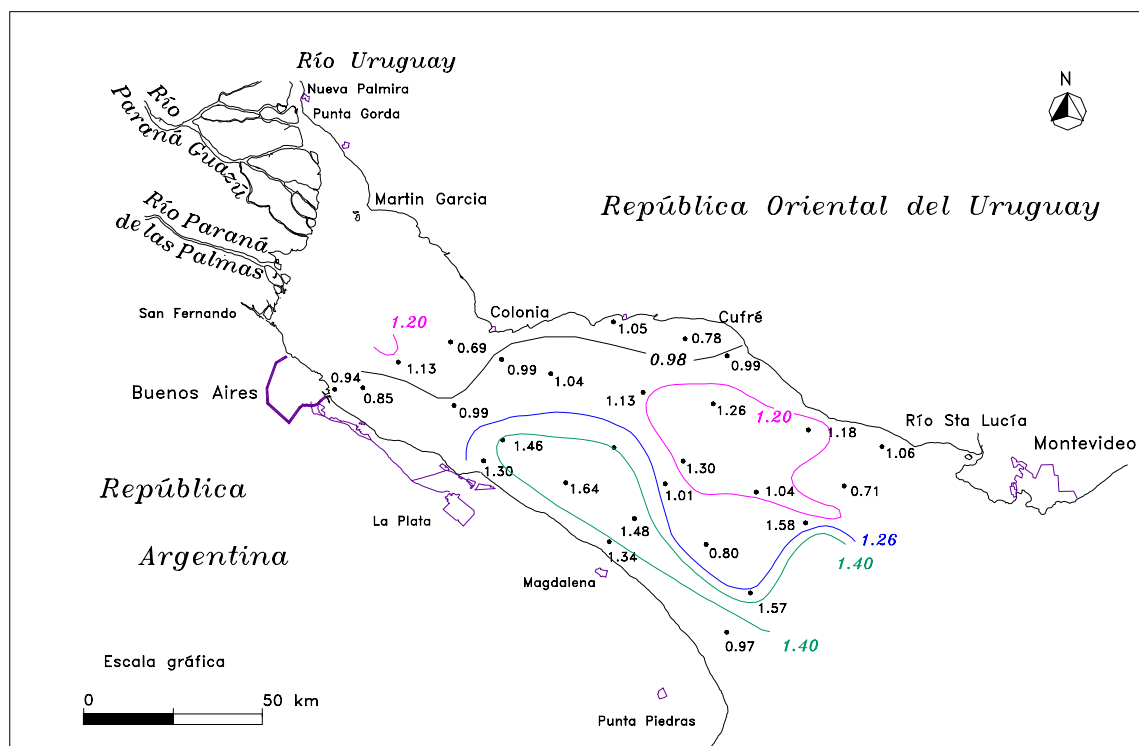


Figura 5.2.10 Datos de NOT (mg N/l). Noviembre 1982

Para el nitrógeno orgánico no se dispone de información de detalle sobre la franja costera argentina, como era el caso para las especies inorgánicas.

5.2.2 Tributarios

Para el río Uruguay, CARU (1991) reportó valores de especies de nitrógeno determinados en 1991 aguas arriba de la presa de Salto Grande durante 1991, los cuales se reproducen en la tabla 5.2.5. Las concentraciones de NOT informadas allí han sido obtenidas como la diferencia entre el NTK y el $N-NH_4$.

Tabla 5.2.5
Especies de Nitrógeno en el Río Uruguay aguas arriba de Salto Grande (mg N/l)
(CARU 1991)

Estación	$N-NH_4$	$N-NO_2$	$N-NO_3$	NTK	NOT
Represa	0,073	0,004	0,138	0,31	0,237
Constitución	0,076	0,005	0,131	0,37	0,294
Belén	0,066	0,004	0,129	0,22	0,154
Mocoretá (Puente)	0,118	0,005	0,047	0,38	0,262
Mocoretá	0,101	0,004	0,063	0,21	0,109
Mandisoví	0,069	0,005	0,102	0,24	0,171
Guauguaychú	0,073	0,003	0,106	0,21	0,137
Itapebí	0,066	0,004	0,117	0,23	0,164
Bella Unión-Monte Caseros	0,076	0,004	0,131	0,32	0,244

Estación	N-NH₄	N-NO₂	N-NO₃	NTK	NOT
Guauguaycito (Cabecera)	0,090	0,005	0,081	0,33	0,240
Arapey	0,087	0,004	0,065	0,20	0,113

En los muestreos realizados por el INA (INA, SRNyDS 1999) entre 1987 y 1994 en la estación Concepción del Uruguay se obtuvieron valores de nitrógeno de amonio, nitrito y nitrato para 13 campañas y se informaron valores de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) para 7 campañas. Los valores informados se reportan en la tabla 5.2.6 junto a los de nitrógeno orgánico total (obtenido como la diferencia entre el NTK y el amonio), nitrógeno inorgánico total (NIT, como la suma de los valores de amonio, nitrito y nitrato) y los de nitrógeno total (para las campañas en las que el NTK fue determinado).

Tabla 5.2.6
Especies de Nitrógeno en el río Uruguay (mg N/l)
Estación Concepción del Uruguay (INA, SRNyDS 1999)

Fecha	Campaña	Margen	NTK	N-NH₄	N-NO₂	N-NO₃	NOT	NIT	NT
09/03/87	1	centro sup.	-	0,001	0,002	0,850		0,853	-
08/03/88	1	derecha sup.	-	0,002	0,002	0,370		0,374	-
08/03/88	1	centro sup.	-	0,001	0,001	0,310		0,312	-
08/06/88	2	derecha sup.	-	0,001	0,002	0,760		0,763	-
08/06/88	2	centro sup.	-	0,003	0,001	0,660		0,664	-
15/09/88	4	derecha sup.	0,270	0,037	0,002	0,090	0,233	0,130	0,362
15/09/88	4	centro sup.	0,360	0,031	0,001	0,088	0,329	0,120	0,449
15/11/88	5	derecha sup.	0,280	0,046	0,000	0,214	0,234	0,261	0,495
15/11/88	5	centro sup.	0,290	0,036	-	-	0,254	-	-
15/03/89	1	derecha sup.	-	0,002	0,001	0,720		0,723	-
15/03/89	1	centro sup.	-	0,001	0,002	0,850		0,853	-
14/06/89	2	derecha sup.	-	0,085	0,003	0,680		0,768	-
14/06/89	2	centro sup.	-	0,041	0,003	0,710		0,754	-
04/10/89	3	derecha sup.	-	0,067	0,004	0,670		0,741	-
04/10/89	3	centro sup.	-	0,044	0,005	0,680		0,729	-
06/12/89	4	derecha sup.	-	0,020	0,000	0,650		0,670	-
06/12/89	4	centro sup.	-	0,028	0,002	0,000		0,030	-
15/03/90	10	derecha sup.	0,960	0,047	0,000	0,038	0,913	0,085	0,999
15/03/90	10	centro sup.	0,550	0,042	0,000	0,045	0,508	0,087	0,595
15/06/92	19	derecha sup.	0,990	0,003	0,001	0,140	0,987	0,144	1,131
15/06/92	19	centro sup.	1,300	0,002	0,001	0,181	1,298	0,184	1,481
15/12/92	21	derecha sup.	1,130	0,054	0,001	0,131	1,076	0,185	1,262
15/12/92	21	centro sup.	1,050	0,036	0,003	0,126	1,014	0,165	1,179
15/06/94	27	derecha sup.	1,150	0,014	0,002	0,217	1,136	0,233	1,369
15/06/94	27	centro sup.	1,200	0,011	0,001	0,228	1,189	0,239	1,429
15/12/94	29	derecha sup.	1,060	0,151	0,002	0,108	0,909	0,261	1,170
15/12/94	29	centro sup.	1,070	0,088	0,002	0,178	0,982	0,268	1,250

De la promediación de los valores presentados en la tabla 5.2.6 surgen los mostrados en la tabla 5.2.7.

Tabla 5.2.7
*Estadística descriptiva de nitrógeno en el río Uruguay
(Estación Concepción del Uruguay)*

Especie	Valor medio (mg N/l)	Máximo (mg N/l)	Mínimo (mg N/l)
<i>Nitrógeno orgánico</i>	1,000	1,298	0,233
<i>Nitrógeno inorgánico</i>	0,185	0,853	0,030
<i>N-NH₄</i>	0,045	0,151	0,001
<i>N-NO₂</i>	0,0016	0,005	0,000
<i>N-NO₃</i>	0,140	0,850	0,000

En los estudios llevados a cabo en el entorno de la Central Nuclear Atucha (Villar & Bonetto 1998), con el objetivo de evaluar el impacto térmico de la central sobre el río Paraná de las Palmas, se informan valores de N-NH₄ y N-NO₃ para 10 observaciones realizadas entre 1995 y 1996 en las cuatro estaciones, los cuales se presentan en la tabla 5.2.8.

Tabla 5.2.8
*Especies de nitrógeno en el río Paraná en la zona de Atucha (mg N/l)
(Villar & Bonetto 1998)*

Estación	Nivel (m)	Fecha	N-NH₄	N-NO₃
I	2,24	21/03/95	0,008	0,116
II		21/03/95	0,010	0,124
III		21/03/95	0,008	0,116
IV		21/03/95	0,016	0,146
I	2,24	03/05/95	0,022	0,293
II		03/05/95	0,019	0,312
III		03/05/95	0,022	0,300
IV		03/05/95	0,025	0,292
I	2,25	13/06/95	0,020	0,203
II		13/06/95	0,018	0,196
III		13/06/95	0,013	0,185
IV		13/06/95	0,015	0,187
I	1,70	08/08/95	0,014	0,221
II		08/08/95	0,015	0,208
III		08/08/95	0,012	0,215
IV		08/08/95	0,011	0,199
I	1,45	21/09/95	0,037	0,267
II		21/09/95	0,038	0,407
III		21/09/95	0,115	0,407

<i>Estación</i>	<i>Nivel (m)</i>	<i>Fecha</i>	<i>N-NH₄</i>	<i>N-NO₃</i>
IV		21/09/95	0,181	0,433
I	1,92	14/11/95	0,039	0,346
II		14/11/95	0,032	0,335
III		14/11/95	0,032	0,323
IV		14/11/95	0,051	0,318
I	2,30	19/12/95	0,018	-
II		19/12/95	0,018	-
III		19/12/95	0,026	-
IV		19/12/95	0,018	-
I	2,10	27/02/96	0,023	0,259
II		27/02/96	0,014	0,214
III		27/02/96	0,017	0,201
IV		27/02/96	0,034	0,222
I	1,98	23/04/96	0,036	0,218
II		23/04/96	0,029	0,208
III		23/04/96	0,019	0,213
IV		23/04/96	0,040	0,214
I	1,54	25/06/96	0,027	0,248
II		25/06/96	0,034	0,310
III		25/06/96	0,041	0,270
IV		25/06/96	0,05	0,270
I	1,10	21/08/96	0,043	0,166
II		21/08/96	0,051	0,175
III		21/08/96	0,075	0,224
IV		21/08/96	0,037	0,175

Los valores medios que surgen de la tabla 5.2.8 se presentan en la tabla 5.2.9. Nótese que allí también se incluye el NIT, obtenido como suma de las concentraciones de amonio y nitrato, bajo la suposición de que el contenido de nitritos es despreciable.

Tabla 5.2.9

Estadística descriptiva de nitrógeno inorgánico en el río Paraná de las Palmas

<i>Especie</i>	<i>N-NH₄</i>	<i>N-NO₃</i>	<i>NIT</i>
<i>Valor medio</i>	0,031 mg N/l	0,250 mg N/l	0,290 mg N/l
<i>Desvío</i>	0,015 mg N/l	0,090 mg N/l	0,130 mg N/l

En el histórico estudio de Boneto (1976) se informa un valor de 0,32 mg/l de nitrógeno inorgánico total para el río Paraná a la altura del Puerto de Rosario que es consistente con el mostrado en la tabla 5.2.9.

La tabla 5.2.10 presenta datos de mediciones efectuadas por el CIMA-CIC para los ríos Paraná, Paraná de las Palmas y Río de la Plata, en el marco del estudio de impacto ambiental del dragado de la ruta de navegación Santa Fe Océano (CIMA-CIC 1995).

Los valores de N-NO₃ informados resultan muy altos en relación a las otras mediciones disponibles. Allí también se proporcionan concentraciones de NTK, pero no es

posible estimar de ellas el contenido de nitrógeno orgánico total en el río Paraná debido al límite de detección empleado en la determinación del amonio. De todos modos, esos datos de NTK indicarían, en general, valores muy inferiores a 1 mg N/l, incluyendo el Río de la Plata, los cuales resultan muy bajos en relación a las otras determinaciones. Debido a estas discrepancias, esos datos no fueron tenidos en cuenta.

Tabla 5.2.10
Nutrientes de nitrógeno en el río Paraná (mg N/l)
(CIMA-CIC 1995)

Estación	Ubicación	Profundidad (m)	Fecha	N-NO₃	NTK
Canal Emilio Mitre	Km 46.5 - boyado*	2	05/09/95	8,13	0,4
Canal Emilio Mitre	Km 46.5 - boyado*	0,5	05/09/95	8,13	0,5
Canal Emilio Mitre	Km 18 - boyado*	2	05/09/95	8,81	0,4
Canal Emilio Mitre	Km 18 - boyado*	0,5	05/09/95	8,81	0,3
Canal de acceso a Puerto Bs.As.	Km 37 - boyado*	2	07/09/95	4,29	0,5
Canal de acceso a Puerto Bs.As.	Km 37 - boyado*	0,5	07/09/95	4,29	0,6
Paraná de las Palmas	Vuelta de San Antonio	2	11/09/95	6,77	0,8
Paraná de las Palmas	Vuelta de San Antonio	0,5	11/09/95	7,45	-
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	2	11/09/95	6,55	0,4
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	0,5	11/09/95	7,90	0,4
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	2	11/09/95	4,06	0,3
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	0,5	11/09/95	3,61	0,3
Paraná Paso de Borghi		2	14/09/95	1,58	0,3
Paraná Paso de Borghi		0,5	14/09/95	1,58	0,2
Paraná Paso de Borghi		2	14/09/95	1,58	0,2
Paraná Paso de Borghi		0,5	14/09/95	-	-
Paraná Rosario	Margen entrerriana	2	14/09/95	0,68	0,2
Paraná Rosario	Margen entrerriana	0,5	14/09/95	1,35	0,3
Paraná Rosario	Margen entrerriana	2	14/09/95	0,68	0,3
Paraná Rosario	Margen entrerriana	0,5	14/09/95	0,68	0,2
Paraná Paso Alvear		2	11/10/95	0,68	0,4
Paraná Paso Alvear		0,5	11/10/95	0,68	0,4
Paraná Paso Alvear		2	11/10/95	0,68	0,4
Paraná Paso Alvear		0,5	11/10/95	0,68	0,3
Diamante	Km 527	2	21/09/95	0,68	1,3
Diamante	Km 527	0,5	21/09/95	0,68	0,07
Diamante	Km 528	2	21/09/95	0,68	1,4
Diamante	Km 528	0,5	21/09/95	0,68	0,7

<i>Estación</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Profundidad (m)</i>	<i>Fecha</i>	<i>N-NO₃</i>	<i>NTK</i>

Para el río Paraná Guazú no se dispone de ninguna información sobre sus parámetros de calidad.

5.2.3 Aportes marginales

En los estudios realizados por Aguas Argentinas para el Plan de Saneamiento Integral (AA 1998) se proporciona información de valores máximos, mínimos y promedios para el período 1994 a 1997 de la concentración de amonio de los aportes marginales al Río de la Plata desde la costa argentina. Los valores medios, junto con el caudal líquido y el flujo másico resultante, se presentan en la tabla 5.2.11.

Tabla 5.2.11
*Valores medios, máximos y mínimos históricos de caudales y flujo de amonio
descargados al Río de la Plata (1994-1997) – (AA 1998)*

<i>Descarga</i>	<i>Nombre</i>		<i>Caudal (m³/s)</i>	<i>Flujo NH₄ (kg/h)</i>	<i>NH₄ (mg/l)</i>	<i>N-NH₄ (mg N/l)</i>
D11	Luján	Máximo	623	796,00	0,355	0,123
		Medio	192	483,84	0,700	0,243
		Mínimo	56	29,00	0,144	0,050
D20	Arca	Máximo	1,13	127,00	31,219	10,840
		Medio	0,53	43,96	23,040	8,000
		Mínimo	0,17	15,00	24,510	8,510
D30	Orientales	Máximo	1,3	9,01	1,925	0,668
		Medio	0,29	5,00	4,790	1,663
		Mínimo	0,07	0,01	0,040	0,014
D40	Perú	Máximo	4,8	58,90	3,409	1,184
		Medio	1,36	44,55	9,100	3,160
		Mínimo	0,06	2,00	9,259	3,215
D50	Borges	Máximo	2,82	145,00	14,283	4,959
		Medio	0,84	72,88	24,100	8,368
		Mínimo	0,08	5,00	17,361	6,028
D60	Villate	Máximo	0,13	2,00	4,274	1,484
		Medio	0,03	1,51	13,940	4,840
		Mínimo	0,01	0,40	11,111	3,858
D70	Irigoyen	Máximo	0,32	8,75	7,595	2,637
		Medio	0,12	4,06	9,400	3,264
		Mínimo	0,04	1,39	9,653	3,352
D80	Medrano	Máximo	9,42	78,00	2,300	0,799
		Medio	1,98	30,29	4,250	1,476
		Mínimo	0,22	4,14	5,227	1,815

Descarga	Nombre		Caudal (m3/s)	Flujo NH₄ (kg/h)	NH₄ (mg/l)	N-NH₄ (mg N/l)
D90	White	Máximo	0,39	1,60	1,140	0,396
		Medio	0,23	4,46	5,390	1,872
		Mínimo	0,01	0,04	1,111	0,386
D100	Vega	Máximo	0,43	25,00	16,150	5,608
		Medio	0,23	12,66	15,290	5,309
		Mínimo	0,03	2,00	18,519	6,430
D111	Maldonado	Máximo	0,32	3,00	2,604	0,904
		Medio	0,16	1,56	2,710	0,941
		Mínimo	0,02	0,30	4,167	1,447
D110	Maldonado	Máximo	2,56	254,00	27,561	9,570
		Medio	1,03	52,80	14,240	4,944
		Mínimo	0,29	3,05	2,921	1,014
D125	Doble cond.	Máximo	1,55	121,00	21,685	7,529
		Medio	0,9	51,00	15,741	5,466
		Mínimo	0,16	9,00	15,625	5,425
D130	Triple cond.	Máximo	6	581,00	26,898	9,340
		Medio	3,03	166,89	15,300	5,313
		Mínimo	0,38	11,00	8,041	2,792
D140	C Dep la Boca	Máximo	0,1	0,70	1,944	0,675
		Medio	0,07	0,49	1,940	0,674
		Mínimo	0,05	0,41	2,278	0,791
D150	Pte. Avellaneda	Máximo	173	2085,00	3,348	1,162
		Medio	66,73	1229,97	5,120	1,778
		Mínimo	6	52,00	2,407	0,836
D160	C. Sarandí	Máximo	22	1081,00	13,649	4,739
		Medio	5,67	295,97	14,500	5,035
		Mínimo	0,25	10,00	11,111	3,858
D170	C. Santo Domingo	Máximo	27,5	1811,00	18,293	6,352
		Medio	8,58	333,59	10,800	3,750
		Mínimo	0,5	20,00	11,111	3,858
D180	C. Jimenez	Máximo	3,06	73,00	6,627	2,301
		Medio	1,06	26,44	6,930	2,406
		Mínimo	0,33	2,00	1,684	0,585
D190	Desc. Berazategui	Máximo	26,83	1879,00	19,454	6,755
		Medio	18,34	1080,81	16,370	5,684
		Mínimo	11,92	410,00	9,554	3,318
D200	Ao. Las Conchitas	Máximo	4,2	177,66	11,750	4,080
		Medio	1,34	56,73	11,760	4,083
		Mínimo	0,54	6,91	3,555	1,234
D210	C. Carnaval	Máximo	4,98	10,99	0,613	0,213
		Medio	3,51	3,89	0,308	0,107
		Mínimo	2,01	0,26	0,036	0,012
D220	Villa Elisa	Máximo	17,02	947,36	15,462	5,369
		Medio	7,16	25,18	0,977	0,339
		Mínimo	3,67	0,31	0,023	0,008
D230	A°. El gato	Máximo	12,77	514,91	11,201	3,889
		Medio	7,31	191,29	7,269	2,524

Descarga	Nombre		Caudal (m ³ /s)	Flujo NH ₄ (kg/h)	NH ₄ (mg/l)	N-NH ₄ (mg N/l)
		Mínimo	1,53	23,68	4,299	1,493
D240	C.. Oeste	Máximo	6,06	279,94	12,832	4,456
		Medio	3,02	170,88	15,717	5,457
		Mínimo	1,03	53,79	14,506	5,037
D250	C. Este	Máximo	1,34	23,84	4,942	1,716
		Medio	0,25	10,50	11,667	4,051
		Mínimo	0,02	1,23	17,083	5,932
D260	Berisso	Máximo	1,11	127,87	31,999	11,111
		Medio	0,82	83,74	28,367	9,850
		Mínimo	0,44	30,69	19,375	6,727

La estadística de datos de calidad de agua del Riachuelo reportada por el INA (1999) contiene datos de Nitrógeno de amonio, nitritos y nitrato del río en la estación Semáforo del Riachuelo, los cuales se presentan en la tabla 5.2.12. También se informan datos de nutrientes de nitrógeno obtenidos en las campañas de monitoreo realizadas en la estación Puente Pueyrredón durante 1999, los que se detallan en la tabla 5.2.13. La tabla 5.2.14 presenta las medianas y rangos de valores de las especies de nitrógeno correspondientes a ese año.

Tabla 5.2.12
*Especies de Nitrógeno en el Riachuelo
en la estación Semáforo (mg N/l) - (INA 1999)*

	Período					
	Octubre 1982-Septiembre 1983			Octubre 1983-Septiembre 1984		
	N-NH ₄	N-(NO ₂ +NO ₃)	N-Kjeldhal	N-NH ₄	N-(NO ₂ +NO ₃)	N-Kjeldhal
Media	2.55	0.225	6.59	4.29	0.327	6.3
Máximo	7.80	1.78	29.00	14.00	0.821	21.3
Mínima	0.15	<0.001	1.70	0.60	0.099	2.1
Desv.Std	2.55	0.312	5.47	3.49	0.134	3.5
Nº Datos	47	47	47	30	30	30

Tabla 5.2.13
*Especies de Nitrógeno en el Riachuelo
en la estación Puente Pueyrredón (mg N/l) - (INA 1999)*

		N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	NTK
Diciembre-Enero	MI	13,4	0,001	1,2	19,0
	C	12,1	0,001	1,6	18,0
	MD	11,3	0,005	1,1	21,0
Agosto	MI	9,2	0,002	0,8	9,3
	C	9,0	0,009	1,0	9,3

		N-NH₄	N-NO₂	N-NO₃	NTK
	MD	9,4	0,007	0,9	13,0
Septiembre	MI	2,9	0,006	0,7	19,0
	C	2,1	0,17	0,6	18,0
	MD	1,1	0,001	0,4	13,0
Octubre	MI	11,2	0,008	1,1	16,0
	C	10,3	0,004	0,6	14,0
	MD	12,4	0,4	1,2	13,0

Tabla 5.2.14

Medianas y rangos de valores de las especies de nitrógeno generados durante 1999 en la estación Puente Pueyrredón (mg N/l) - (INA 1999)

Pte Pueyrredón	N-NH₃	NTK	N-NO₂	N-NO₃
Mediana	10,25	15,50	0,033	0,92
MIN	2,03	10,53	0,002	0,58
MAX	12,27	19,33	0,137	1,30

Con el objeto de evaluar las concentraciones que aportan las descargas y conductos más significativos al Río de la Plata, AGOSBA-OSN-SIHN (1992) efectuaron relevamientos sobre ellos (desde su nacimiento hasta la desembocadura) teniendo como base para determinar los puntos de extracción de muestras las posibles fuentes contaminantes más importantes (y la posibilidad material de aproximación al punto). En la tabla 5.2.15 se indican los valores promedios para las distintas descargas monitoreadas en sus puntos de desembocadura durante un período de aproximadamente diez años.

Tabla 5.2.15

*Valores de N-NH₄ promedio en la desembocadura (mg N/l)
(AGOSBA - OSN – SIHN 1992)*

Descarga	N-NH₄
Arroyo Medrano	4,51
Arroyo Vega	2,08
Arroyo White	1,04
Arroyo Maldonado	0,73
Arroyo Gauto	4,41
Arroyo Pavón	4,69
Rio Matanza-Riachuelo	1,18
Rio Reconquista	0,24
Rio Tigre	0,14
Canal Sarandí	2,81

Descarga	N-NH₄
Arroyo Santo Domingo	6,42
Arroyo San Francisco	3,33
Arroyo Las Piedras	1,22
Arroyo Jiménez	0,63
Canal San Juan	1,91
Arroyo las Conchitas	2,19
Arroyo Pereyra	0,17
Arroyo Carnaval	0,59
Arroyo Martín	-
Arroyo Rodríguez	-
Cañada La Andaluza	3,65
Canal Argentino	0,38
Canal Acceso Pto. La Plata	0,21
Arroyo La Guardia	0,28

5.3 MODELACION MATEMATICA

5.3.1 Construcción de un escenario de trabajo

5.3.1.1 Distribución del nitrógeno inorgánico

A partir de los datos de distribución en el Río de la Plata Interior mostrados en las figuras 5.2.2 y 5.2.4, correspondientes a valores medios 81/83, y de las concentraciones sobre la franja costera argentina durante el período 94/95 (elegido en virtud de tener una mayor cantidad de datos), presentados en la tabla 5.2.2, se construyeron las líneas de isoconcentración de amonio y de nitrato que se muestran en las figuras 5.3.1 y 5.3.2, respectivamente. No se hizo lo propio con el nitrito por considerarse que su presencia se da en una cantidad demasiado pequeña como para poder ser discriminado en el balance. Para dibujar las líneas de isoconcentración de amonio se tuvo en cuenta la tendencia a la homogeneización lateral a la altura de la zona de transición hacia el Río de la Plata Exterior ya observada para la conductividad y reafirmada al menos para los valores máximos superficiales de amonio, mostrados en la figura 5.3.3 (Bazán & Arraga 1991). Por su parte, las isolíneas de nitrato mostradas en la figura 5.3.2 son una redefinición de las líneas presentadas por el mismo Bazán & Arraga (1991), mostradas en la figura 5.3.4.

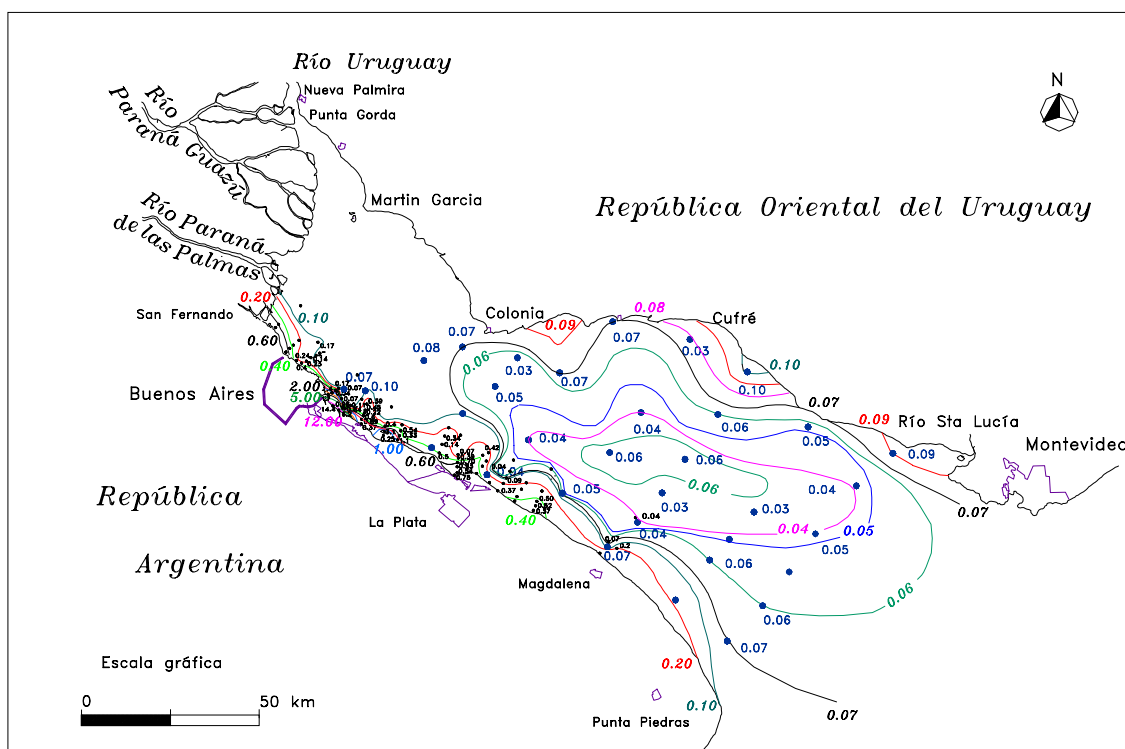


Figura 5.3.1 Líneas de isoconcentración de N-NH_4 (mg N/l)

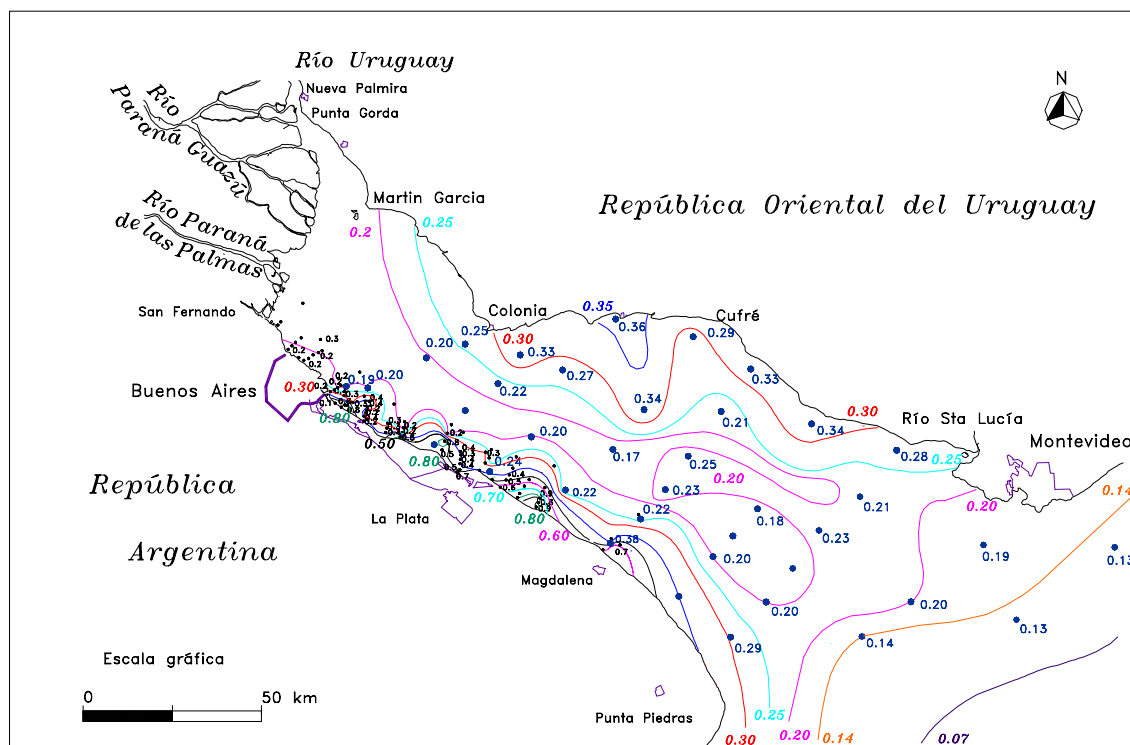


Figura 5.3.2 Líneas de isoconcentración de N-NO_3 (mg N/l)

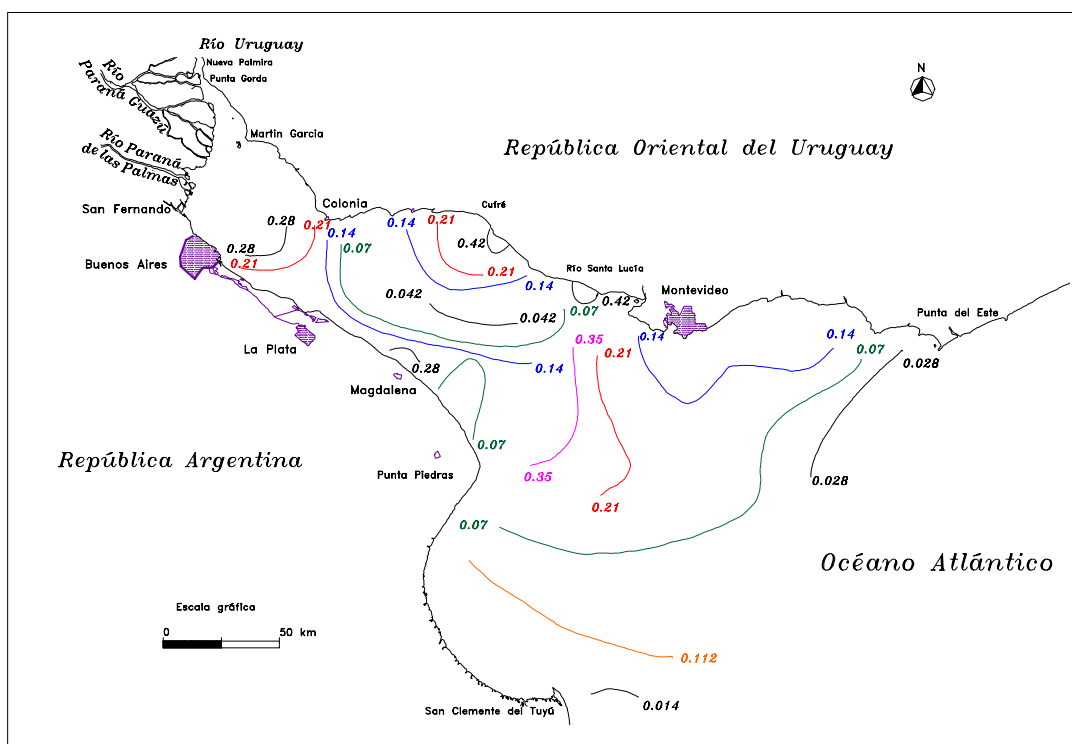


Figura 5.3.3 Curvas de máximos superficiales de N-NH_4 (mg N/l) de acuerdo a Bazán (1991)

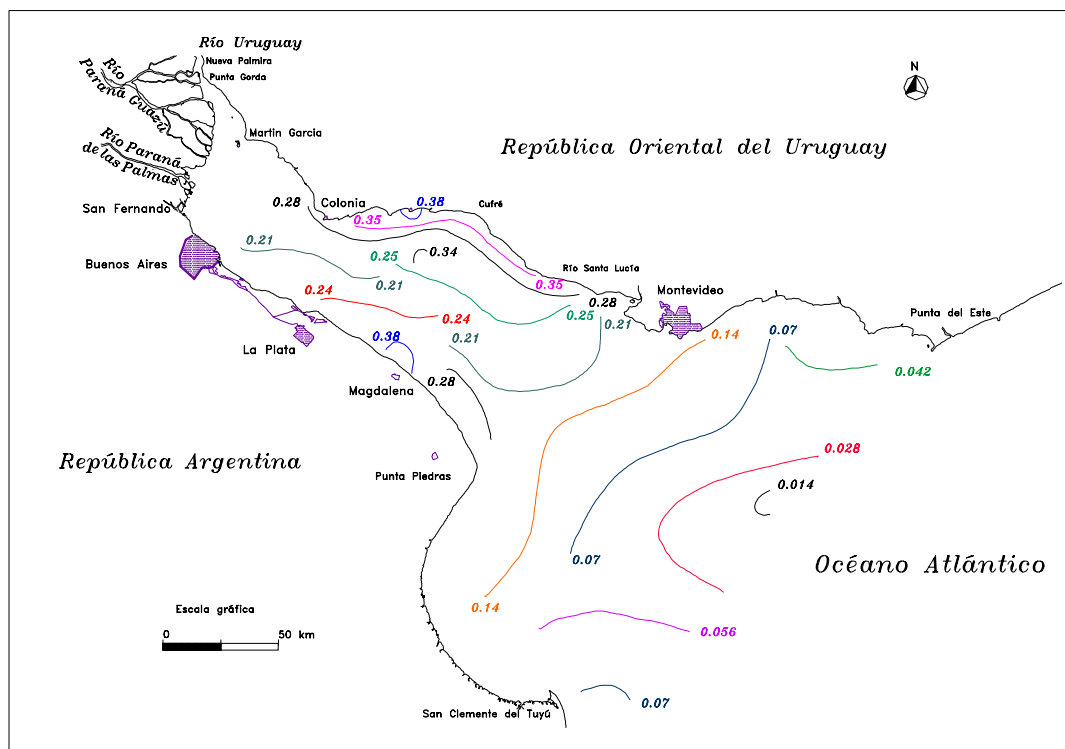


Figura 5.3.4 Curvas de isoconcentración de N-NO_3 (mg N/l) de acuerdo a Bazán (1991)

En la figura 5.3.1 se observa claramente la caída de la concentración de amonio desde ambas costas hacia el centro del río, lo cual se asocia con los aportes marginales. También se nota que, recorriendo el Río de la Plata Interior a lo largo de la franja central desde su cabecera, hay una caída de esa concentración en dirección al océano, lo cual se interpreta como decaimiento debido al proceso de nitrificación. Sin embargo, luego de alcanzar un mínimo ésta comienza a recuperarse, induciendo a pensar sobre la presencia de una fuente de amonio en el Río de la Plata Exterior.

Por su parte, la figura 5.3.2 también indica caídas de concentración de nitratos desde ambos márgenes hacia el centro del río. Pero, siguiendo nuevamente la línea media del Río de la Plata Interior, ahora hay primero una leve tendencia al crecimiento, compatible con la idea de la existencia de un proceso de nitrificación, seguido de un decaimiento.

Si se suman los valores de amonio y nitrato para dar concentraciones de nitrógeno inorgánico total (siempre despreciando la presencia de nitrito) se obtienen las isolíneas de la figura 5.3.5.

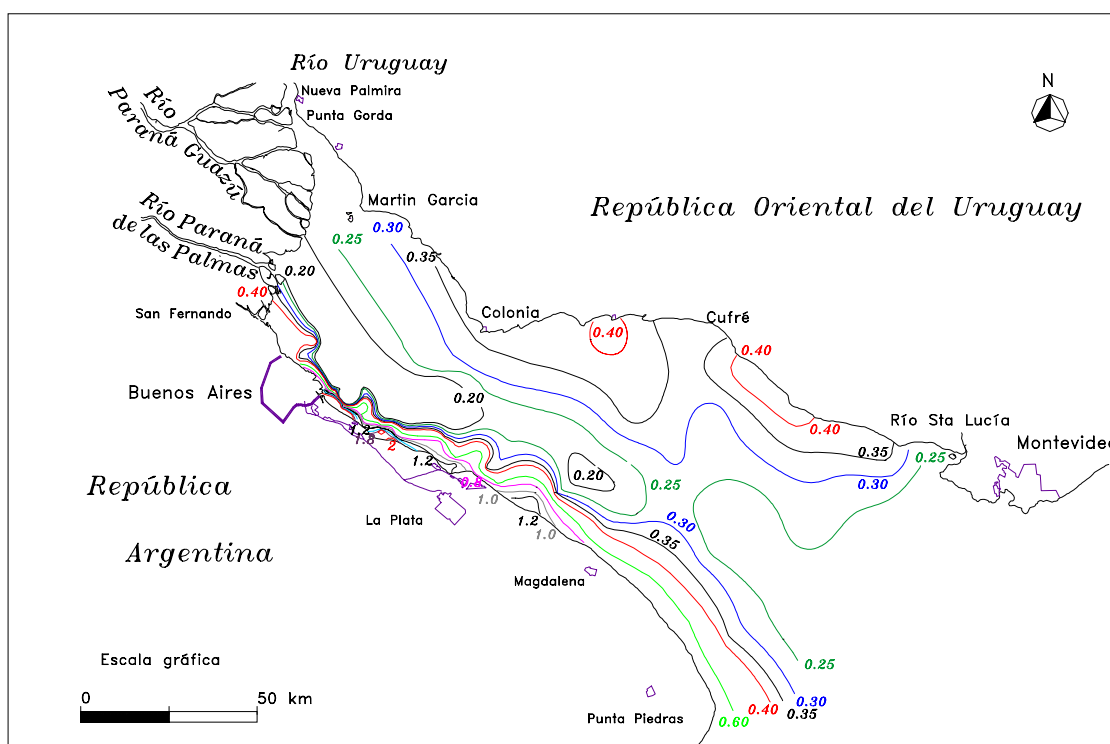


Figura 5.3.5 Curvas de isoconcentración de NIT (mg N/l)

Se observa que el patrón es básicamente de decaimiento desde ambas márgenes hacia el centro del río, pero que la concentración permanece relativamente uniforme a lo largo de la franja central. Esto estaría indicando conservación del nitrógeno inorgánico

total, es decir, si bien hay un proceso identificable de nitrificación, no hay un proceso de magnitud similar de mineralización (oxidación del nitrógeno orgánico).

A partir de las curvas trazadas surgen los valores medios en los segmentos de la concentración de amonio y nitrato mostrados en la figura 5.3.6.

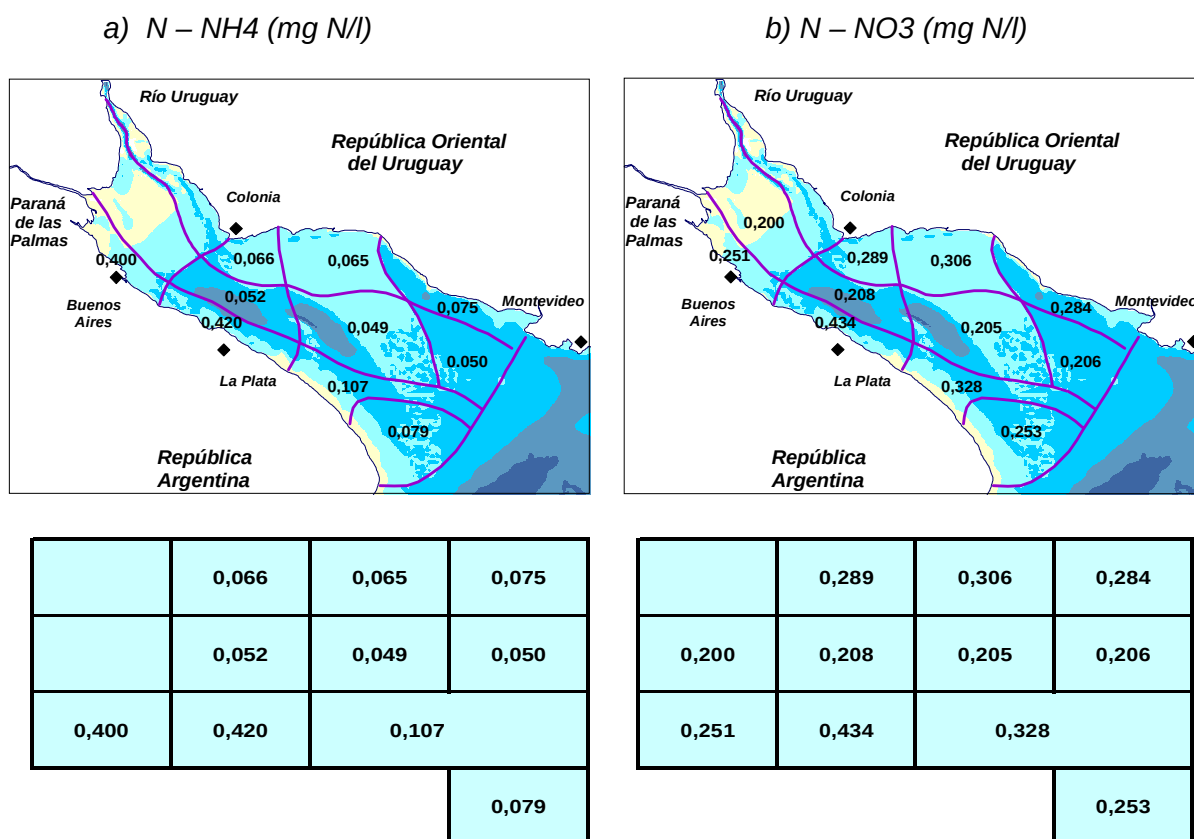


Figura 5.3.6 Concentraciones medias en segmentos de especies inorgánicas del N

5.3.1.2 Distribución del nitrógeno orgánico

De las dos distribuciones mostradas en las figuras 5.2.9 y 5.2.10 se eligió la segunda, correspondiente a noviembre de 1982, por mostrar un patrón menos disperso, pero se redefinieron las líneas de isoconcentración, arribándose a la figura 5.3.7. Recuérdese que no se dispone de información de detalle sobre la franja costera argentina, de modo que la distribución en las inmediaciones de esa costa está seguramente subvalorada en esa figura.

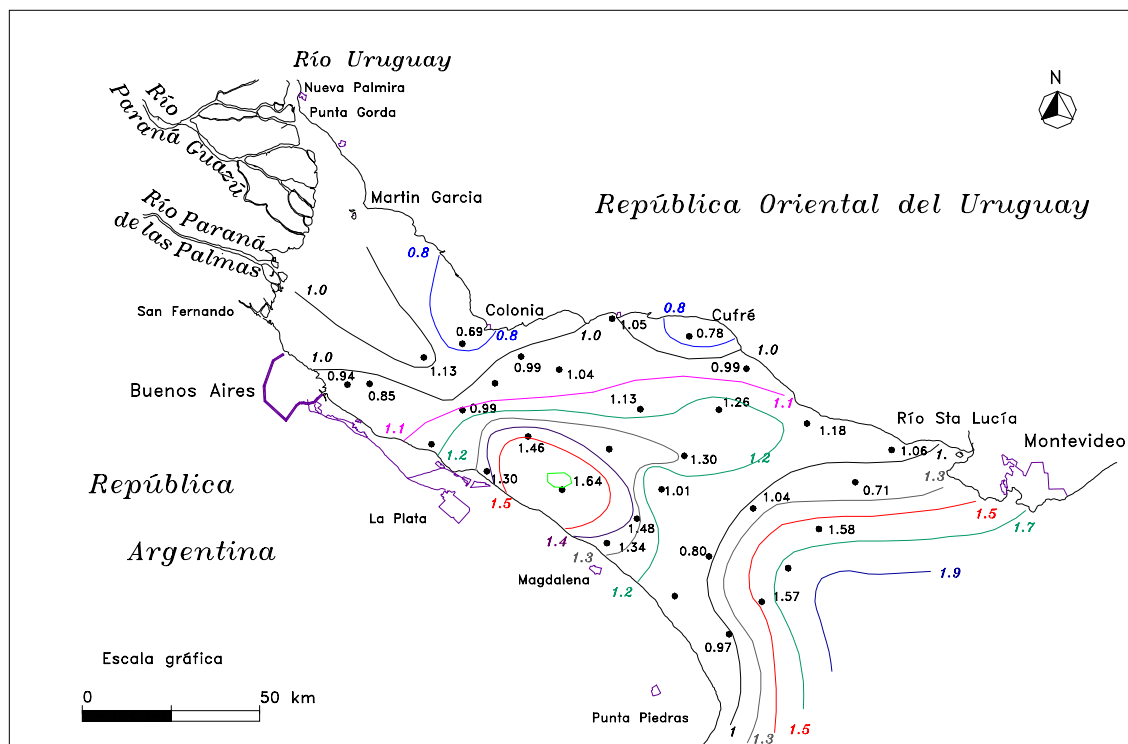


Figura 5.3.7 Líneas de isoconcentración de NOT (mg N/l)

La figura 5.3.7 indica caídas hacia la costa uruguaya, atisbos de incremento hacia la costa argentina (recordar, una vez más, que falta información de la franja costera) y, a pesar de alguna oscilación, un incremento hacia el océano en la franja central. Esto último indicaría la presencia de una fuente de nitrógeno orgánico en el Río de la Plata Exterior.

De la promediación surgen los valores de concentración por segmento de la figura 5.3.8.

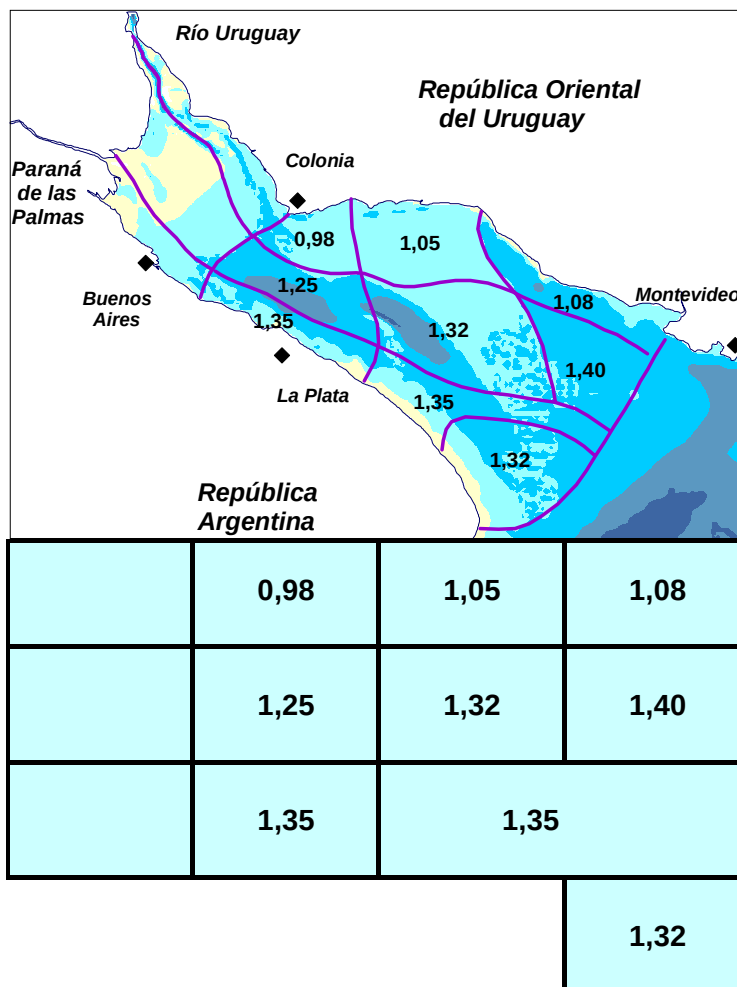


Figura 5.3.8 Concentraciones medias en segmentos de NOT (mg N/l)

5.3.1.3 Aporte de los tributarios

La tabla 5.2.7 muestra los valores medios de concentración de amonio (0,045 mg N/l), nitrato (0,140 mg N/l) y nitrógeno orgánico (1,00 mg N/l) para el río Uruguay en la estación Concepción del Uruguay. Estos fueron tomados como representativos de las concentraciones medias del río en su desembocadura.

Para el río Paraná de las Palmas se dispone de los valores medios para las dos especies inorgánicas medidos en Atucha y mostrados en la tabla 5.2.9: 0,031 mg N/l para el amonio y 0,250 mg N/l para el nitrato. No se dispuso de valores de concentración de nitrógeno orgánico.

Tampoco se dispuso de datos sobre concentraciones de la serie nitrogenada en el río Paraná Guazú.

5.3.1.4 Aportes marginales

En el caso del nitrógeno de amonio, de los datos de la tabla 5.2.11 surgen los siguientes valores medios de concentración sobre la margen argentina:

- o Segmento # 1: 2,17 mg N/l
- o Segmento # 4: 8,38 mg N/l

Para el nitrógeno de nitrato y el nitrógeno orgánico sólo se tiene el dato de concentración media sobre el Riachuelo mostrado en la tabla 5.2.14: 0,92 mg N/l y 5,25 mg N/l, respectivamente.

No se dispuso de datos sobre la margen uruguaya.

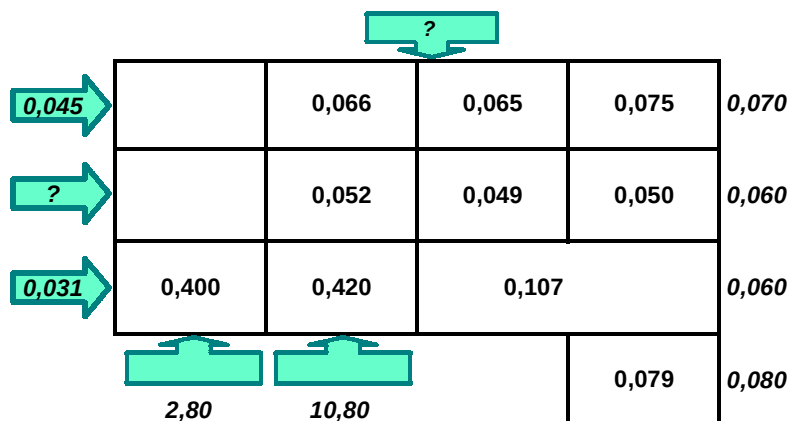
5.3.1.5 Aporte oceánico

Los valores de concentración de las tres especies del nitrógeno fueron obtenidos a partir de las proyecciones de las curvas de nivel correspondientes, presentadas en las figuras 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.7, con los siguientes resultados:

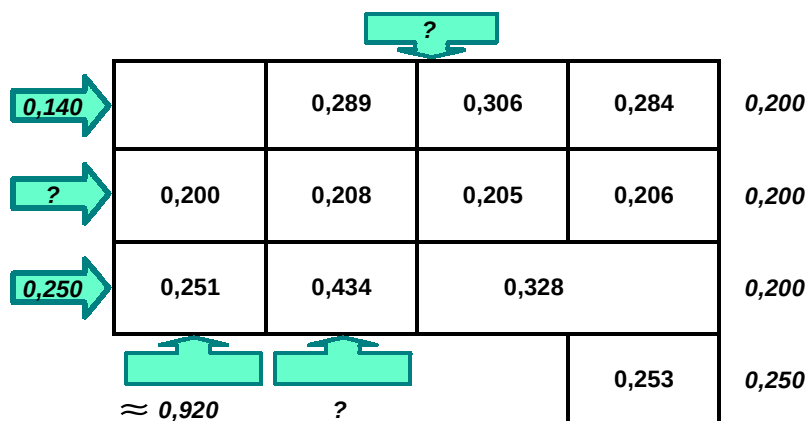
Segmento #	N-NH₄ (mg N/l)	N-NO₃ (mg N/l)	NOT (mg N/l)
10	0,070	0,200	1,40
11	0,060	0,200	1,60
7	0,060	0,200	1,70
12	0,080	0,250	1,60

5.3.1.6 Escenario de trabajo

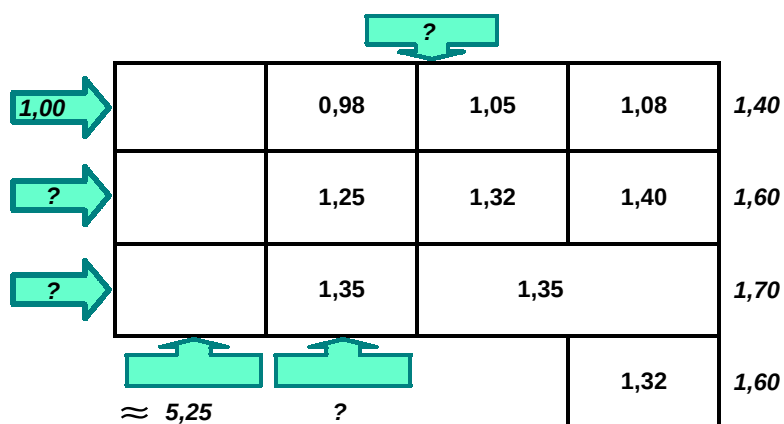
De lo analizado en las secciones precedentes surgen los escenarios de trabajo mostrados en la figura 5.3.9. Recordar que los valores de nitrógeno orgánico total en los segmentos recostados sobre la costa argentina están subestimados.



a) N-NH₄ (mg N/l)



b) N-NO₃ (mg N/l)



c) NOT (mg N/l)

Figura 5.3.9 Escenarios de trabajo para las especies del N

5.3.2 Calibración

A partir de lo discutido precedentemente, surge una esquematización de los procesos en la cual los balances de las dos especies inorgánicas (amonio y nitrato) están acoplados entre sí a través de la constante de nitrificación, mientras que la constante de mineralización resulta despreciable. En consecuencia, es pertinente discutir la calibración en forma separada.

5.3.2.1 Especies inorgánicas del nitrógeno

La calibración de los modelos de balance para las especies inorgánicas del nitrógeno implica determinar los valores de los siguientes parámetros:

- ❑ Las concentraciones de ambas especies en el río Paraná Guazú.
- ❑ La constante de nitrificación, suponiendo que es una reacción de primer orden.
- ❑ Las concentraciones medias de ambas especies en los aportes marginales desde la costa argentina.
- ❑ Los aportes de ambas especies desde la costa uruguaya.

Como estrategia de calibración, se ajustó primero el corredor Guazú, que no tiene aporte lateral alguno, definiéndose entonces las concentraciones de las dos especies en el tributario y la constante de nitrificación. El resultado fue:

- o Concentración de nitrógeno de amonio del Paraná Guazú: $0,060 \text{ mg N/l}$
- o Concentración de nitrógeno de nitrato del Paraná Guazú: $0,200 \text{ mg N/l}$
- o Constante de nitrificación del Paraná Guazú: $0,012 \text{ 1/día}$

El próximo paso fue ajustar las cargas marginales. Ahora bien, en función del amplio rango en el que varían las concentraciones de nitratos en los ríos Uruguay y Paraná de las Palmas (ver tablas 5.2.7 y 5.2.9), también se efectuó algún ajuste de estas concentraciones respecto del valor medio para lograr un patrón de aportes marginales similar al del amonio. Ambos fueron llevados a $0,2 \text{ mg N/l}$. Se llegó, entonces, a los siguientes valores de descargas:

Nitrógeno de Amonio:

- o Descarga desde costa argentina, segmento # 1: $160 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
- o Descarga desde costa argentina, segmento # 4: $20 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 6: $13 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 9: $4,0 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 10: $11 \times 10^3 \text{ kg N/d}$

Nitrógeno de Nitrato:

- o Descarga desde costa argentina, segmento # 1: $15 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
 - o Descarga desde costa argentina, segmento # 4: $45 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
 - o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 6: $35 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
 - o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 9: $7,0 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
 - o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 10: $10 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
- Utilizando los caudales conocidos sobre la costa argentina surge:

- o Concentración de N de amonio desde costa argentina, segmento # 1: 6,50 mg N/l
- o Concentración de N de amonio desde costa argentina, segmento # 4: 5,50 mg N/l
- o Concentración de N de nitrato desde costa argentina, segmento # 1: 0,61 mg N/l
- o Concentración de N de nitrato desde costa argentina, segmento # 4: 12,5 mg N/l

Nótese que las concentraciones medias de nitrógeno de amonio sobre los segmentos # 1 y # 4 resultan del orden de los valores que surgen de las mediciones (2,2 y 8,4 mg/l, respectivamente). Lo mismo sucede para la concentración media de nitrógeno de nitrato en el segmento # 1 en relación a la correspondiente al Riachuelo (0,92 mg N/l). Los resultados de la calibración de las dos especies inorgánicas se sintetizan en las figuras 5.3.10a y b.

5.3.2.2 Nitrógeno orgánico total

El caso del nitrógeno orgánico total tiene dos particularidades. Por un lado, dado que se trata de una distribución medida en noviembre de 1982, se utilizaron los caudales de los tributarios de ese mes que, tal como ya se comentó en el capítulo 4 en relación al balance de conductividad eléctrica, muestran un alto valor para el río Uruguay.

Por otro lado, se sabe que hay una subvaloración de las concentraciones medias de nitrógeno orgánico en los segmentos adyacentes a la costa argentina. En consecuencia, no se planteó como objetivo reproducir los valores informados en la figura 5.3.8 (ó la 5.3.9c) para estos segmentos, sino que se estableció el aporte marginal y se verificó que las concentraciones resultantes superaran aquellos valores. Ahora bien, establecer el aporte marginal desde la costa argentina significa especificar los valores de concentración media en cada uno de los dos segmentos activos (# 1 y # 4). Se tomó como representativo el valor 5,25 mg/l obtenido para el Riachuelo (tabla 5.2.14), de donde surgen las siguientes descargas:

- o Descarga desde costa argentina, segmento # 1: $129 \times 10^3 \text{ kg N/d}$
- o Descarga desde costa argentina, segmento # 4: $19 \times 10^3 \text{ kg N/d}$

La calibración del modelo de balance para el nitrógeno orgánico total debió establecer los valores de los siguientes parámetros:

- ❑ Las concentraciones en los ríos Paraná Guazú y Paraná de las Palmas.
- ❑ Los aportes desde la costa uruguaya.

Se siguió una estrategia similar a la utilizada para las especies inorgánicas. Se obtuvo el siguiente valor de concentración para el Paraná Guazú:

- o Concentración de nitrógeno orgánico: 1,200 mg N/l

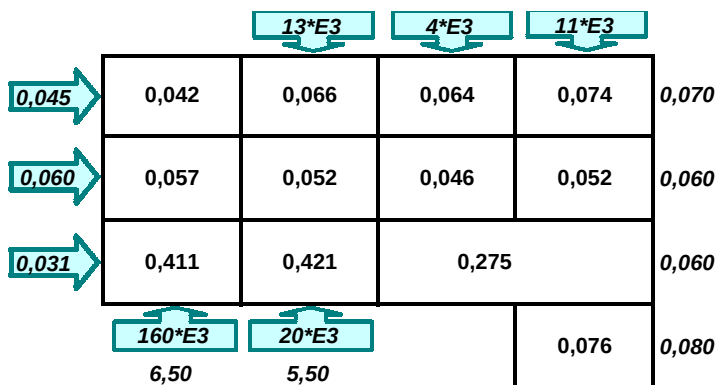
Para ajustar el corredor Uruguay se obtuvo:

- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 9: $50 \times 10^3 \text{ kg N/d}$

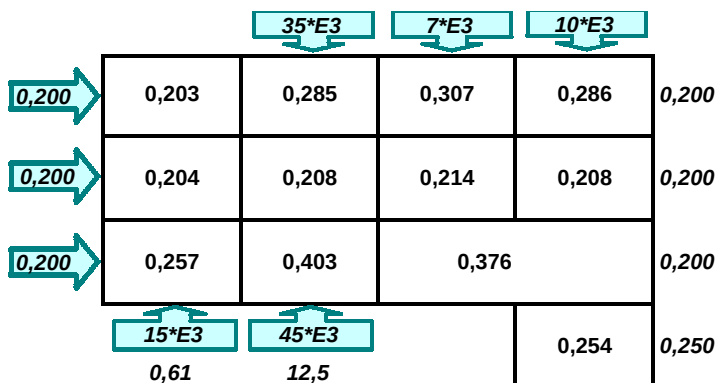
Finalmente, para cerrar el balance en el corredor Palmas se impuso:

- o Concentración de nitrógeno orgánico: 0,90 mg N/l

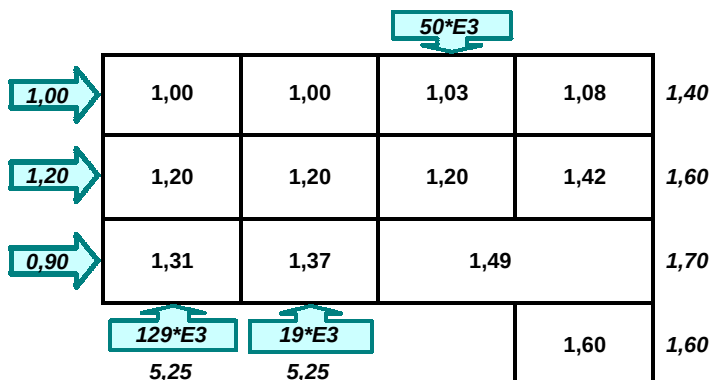
La síntesis de resultados se presenta en la figura 5.3.10c. Comparando con los valores medidos, mostrados en la misma figura, se observa un acuerdo satisfactorio. Sobre el corredor Palmas los resultados del modelo son algo superiores a los medidos, tal como se especuló, aunque la diferencia no parece muy significativa.



a) N-NH₄ (mg N/l)



b) N-NO₃ (mg N/l)



c) NOT (mg N/l)

Figura 5.3.10 Calibración del modelo de balance para las especies del N

6 BALANCE DE FÓSFORO

6.1 FÓSFORO

El fósforo puede estar presente en las aguas como una especie disuelta o particulada, y dado que es un nutriente esencial para los vegetales, según su concentración puede ser un factor limitante para su crecimiento. En solución acuosa la forma combinada del elemento está en un equilibrio dinámico entre las formas ligadas orgánicas y las oxidadas inorgánicas, debido a los procesos de descomposición y síntesis.

Debido al consumo de los vegetales durante la fotosíntesis, en aguas superficiales raramente las concentraciones son significativas. En áreas no contaminadas son del orden de 0,01 mg/l, expresado como P-PO₄ (AGOSBA-OSN-SIH 1992).

Las fuentes naturales de fósforo son minerales tales como fluorapatita (Ca₅(PO₄)₃F), hidroxilapatita (Ca₅(PO₄)₃OH), strengita (Fe(PO₄)₂H₂O), whitloibita (Ca₃(PO₄)₂) y berlinita (Al PO₄) (CCREM 1987). Las principales fuentes antropogénicas de fósforo son los desechos domésticos que contienen excrementos humanos, los fosfatos provenientes de los detergentes, los efluentes industriales y el drenaje agrícola de las tierras fertilizadas, característica que comparte con los nutrientes del nitrógeno.

Los fosfatos son un constituyente normal de los excrementos humanos: son excretados 1,3 g a 1,5 g de P per cápita y por día (AGOSBA-OSN-SIH 1997). El tripolifosfato es el bloque constituyente básico de los detergentes domésticos comunes, que son una de las fuentes principales de contaminación por fósforo.

En aguas superficiales, los fosfatos son raramente encontrados en concentraciones significativas, debido a que son utilizados por las plantas y convertidos en estructuras celulares por acción fotosintética. Algunos autores afirman que más de 0,20 mg P/l en aguas superficiales y subterráneas indican que hay presente fósforo de origen cloacal.

6.2 DATOS DE FÓSFORO

6.2.1 Río de la Plata

6.2.1.1 Fósforo de fosfato

En la recopilación efectuada por CARP (CARP 1989) se reportan datos de fosfato correspondientes al período 1981-1985. La tabla 6.2.1 reproduce los valores promedio de concentraciones superficiales de fósforo de fosfato en las estaciones de muestreo del Río de la Plata Interior y Exterior obtenidos a partir de los datos de base.

Las distribución de fósforo de fosfato obtenida a partir de estos valores se representa en la figura 6.2.1; que evidencia que la concentración media de fosfatos en el

The map illustrates the salinity distribution in the Río de la Plata region. Key features include:

- Geographical Labels:** República Oriental del Uruguay, República Argentina, Río Uruguay, Río Paraná, Río de las Palmas, Montevideo, Buenos Aires, La Plata, Magdalena, Punta Piedras, San Clemente del Tuyú, Punta del Este, Punta Gorda, Nueva Palmira, Martín García, San Fernando, Cufre, Colonia.
- Salinity Contours:** Blue lines representing salinity levels with values such as 0.017, 0.020, 0.022, 0.023, 0.024, 0.025, 0.026, 0.027, 0.028, 0.029, 0.030, 0.031, 0.032, 0.033, 0.035, 0.036, 0.037, 0.038, 0.039, 0.040, 0.041, 0.042, 0.043, 0.044, 0.046, 0.048, 0.049, 0.050, 0.052, 0.053, 0.054, 0.055, 0.056.
- Scale and Orientation:** Escala gráfica (0 to 50 km), North arrow (N).

Tabla 6.2.1
Fósforo de fosfato en el Río de la Plata (mg/l)
(CARP 1989)

Río de la Plata Interior		Río de la Plata Exterior	
Estación	P-PO4	Estación	P-PO4
700	0,036	10	0,023
710	0,032	11	0,024
720	0,032	12	0,020
730	0,031	13	0,020
740	0,038	14	0,017
750	0,029	15	0,024
600	0,052	20	0,032
610	0,030	21	0,028
620	0,036	22	0,039

Río de la Plata Interior		Río de la Plata Exterior	
Estación	P-PO₄	Estación	P-PO₄
630	0,028	23	0,025
540	0,038	24	0,026
530	0,035	25	0,023
560	0,043	26	0,027
550	0,035	27	0,027
570	0,044	30	0,049
580	0,023	31	0,041
520	0,041	32	0,066
510	0,058		
505	0,049		
500	0,049		
480	0,043		
460	0,047		
450	0,041		
400	0,047		
410	0,042		
420	0,046		
430	0,038		
440	0,037		

El patrón de distribución de los valores promedio de este nutriente indica que las concentraciones más altas corresponden a la costa argentina, desde Berazategui hasta Punta Piedras, extendiéndose hasta el centro del río, mientras que los mínimos se concentran en la margen Norte entre Colonia y la estación 580 (0,023 mg P-PO₄/l). Se explica la zona de máximas concentraciones de fósforo de fosfato por el aporte antropogénico a través de los desagües urbanos así como por la desorción desde los sedimentos finos debido al ingreso de aguas salobres. A lo largo del río medio concentraciones de P-PO₄ próximas a 0,03 mg P-PO₄/l se mantienen hasta la altura de Playa Honda, aumentando hasta 0,049 mg P-PO₄/l aproximadamente en la zona en que se mezclan los aportes urbanos, combinando con la zona del límite móvil de intrusión salina, donde coexisten fenómenos de aporte antropogénico, interacción agua-material en suspensión y zonas de depósito de arcillas.

En el Río de la Plata Exterior hay una gran dispersión de los valores, con una media próxima a 0,031 mg P-PO₄/l. La aparición de altos valores de concentraciones medias en la zona de máxima turbiedad indica la desorción de los fosfatos de las arcillas fosfatos. Una vez sobrepasado el límite de la zona de máxima turbiedad, y aguas abajo del Río de la Plata Exterior, la concentración media disminuye hasta valores de 0,0186 mg P-PO₄/l en la boca, como fue señalado por Bazán y Arraga (1991) que presentan la distribución espacial de concentración media de fosfato que se reproduce en la figura 6.2.2 expresada como fósforo de fosfato.

La tabla 6.2.2 presenta los valores de fósforo de fosfato obtenidos en las campañas de noviembre de 1989 y junio de 1990 correspondientes al programa de estudio de calidad de las aguas de la Franja Costera Sur (AGOSBA-OSN-SIHN 1992).

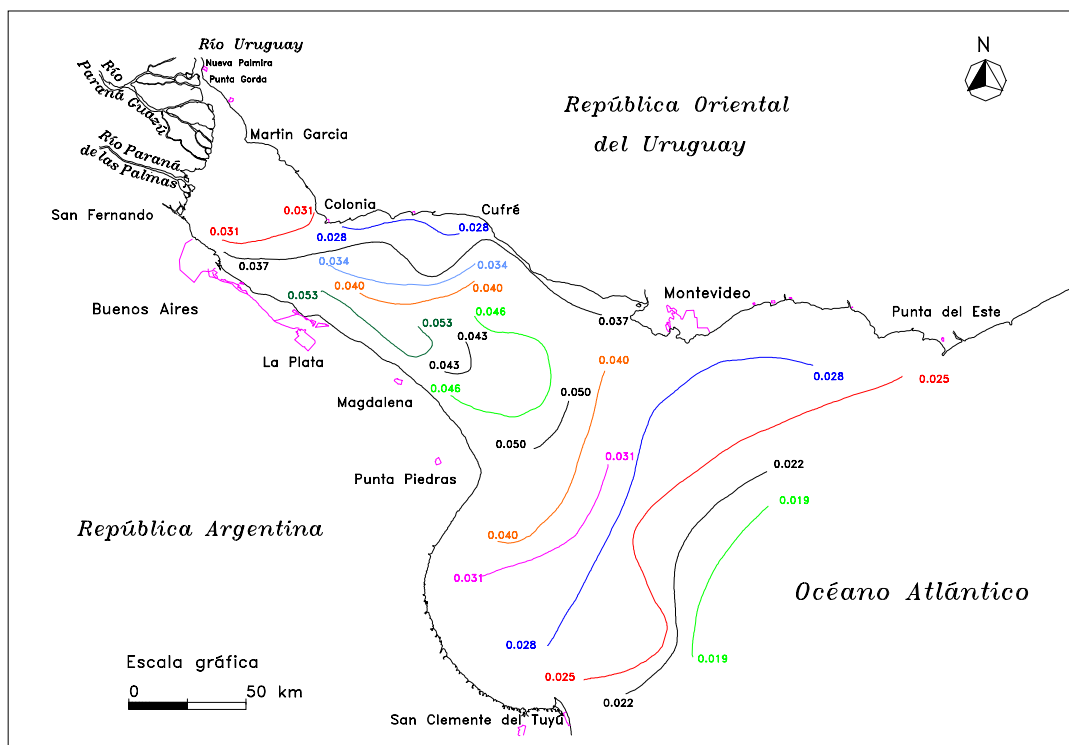


Figura 6.2.2 Valores medios superficiales de $P-PO_4$ (mg P/l) en el período 1981-1985 (Bazán 1991)

Tabla 6.2.2
Fósforo de fosfato en la Franja Costera Sur (mg $P-PO_4$ /l)
(AGOSBA-OSN-SIHN 1992)

Estación			Noviembre de 1989	Junio de 1990
Nombre	Código	Distancia (m)	$P-PO_4$	$P-PO_4$
San Isidro	101	500	0,09	0,05
Palermo	201	500	0,08	0,06
Palermo	202	1500	0,11	0,04
Palermo	203	3000	0,11	0,04
Palermo	204	3000	-	-
Riachuelo	301	500	0,16	0,09
Riachuelo	302	1500	0,11	0,04
Riachuelo	303	3000	-	0,03
A° Sto Domingo	401	500	0,16	0,15
A° Sto Domingo	402	1500	0,09	0,06
A° Sto Domingo	403	3000	-	0,05
Bernal	501	500	0,16	0,13
Bernal	502	1500	0,13	0,07
Bernal	503	3000	0,10	0,06
Berazategui	601	500	0,11	0,10

Estación			Noviembre de 1989	Junio de 1990
Nombre	Código	Distancia (m)	P-PO4	P-PO4
Berazategui	602	2500	0,11	0,10
Berazategui	603	3000	0,11	0,07
Berazategui	604	3000	-	-
Punta Colorada	701	500	0,16	0,12
Punta Colorada	702	1500	0,11	0,08
Punta Colorada	703	3000	-	0,06
Punta Lara	801	500	0,17	0,14
Punta Lara	802	1500	0,10	0,05
Toma Azurix	901	500	0,13	0,10
Toma Azurix	902	1500	0,15	0,04
Toma Azurix	903	3000	0,14	0,08
Toma Azurix	904	4000	-	-
C. Bocas	1001	500	0,15	0,08
Berisso	1101	500	0,15	0,08
Berisso	1102	1500	-	0,04
Berisso	1103	3000	0,10	0,03
Tipo A	0		0,07	0,04
Tipo B	1200		-	-

En las figuras 6.2.3 y 6.2.4 se presentan las distribuciones longitudinales de fósforo de fosfatos, a distintas distancias de la costa, correspondientes a cada una de las dos campañas. Se observa que la tendencia general es a la disminución de la concentración a medida que las estaciones de muestreo se alejan de la costa.

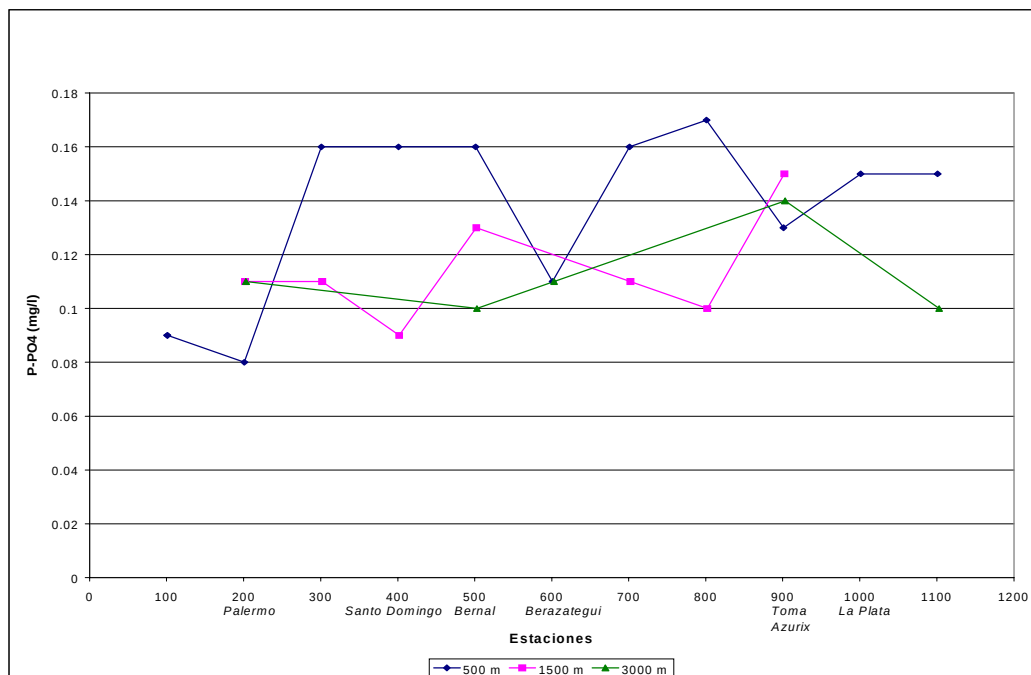


Figura 6.2.3 Distribución longitudinal de P-PO4 (mg P/l). Noviembre 1989

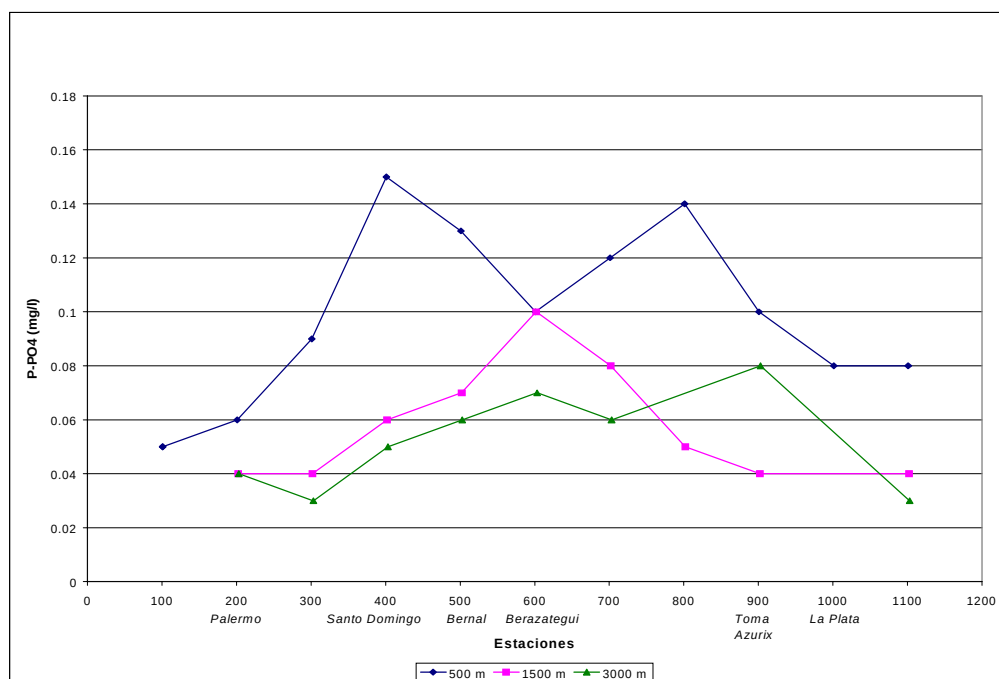


Figura 6.2.4 Distribución longitudinal de P-PO₄ (mg P/l). Junio 1990

En noviembre de 1989 aparecen los valores más altos de todo el muestreo a 500 m, con valores superiores a 0,15 mg P-PO₄/l entre Riachuelo y Punta Lara excepto frente a la descarga de Berazategui (0,10 mg P-PO₄/l), ya que la descarga cloacal se produce a 2500 m de la costa. A 1500 m la concentración desciende a valores cercanos a 0,11 mg P-PO₄/l, con picos un poco más altos frente a Bernal y la Toma de Azurix.

A 3000 m estos valores se mantienen en el orden de 0,10 mg P-PO₄/l con un leve aumento frente a la toma de Azurix de 0,13 mg P-PO₄/l, evidenciando que el pico de contaminación se desplaza hacia el sur a medida que se avanza desde la línea de costa.

En junio de 1990, con el río crecido, la distribución de concentración también es decreciente hacia el centro del río. A 500 m aparecen dos picos pronunciados frente al arroyo Santo Domingo y Punta Lara, con valores semejantes a los de la campaña de noviembre (0,15 mg P-PO₄/l), decreciendo también frente a la descarga de Berazategui. La influencia de esta descarga se hace evidente a 1500 m (0,10 mg P-PO₄/l) y a 3000 m de la costa. Nuevamente se destaca el corrimiento hacia el Sur, con un máximo frente a la Toma de Azurix.

La tabla 6.2.3 presenta los valores medios correspondientes a los períodos 1992/1993 y 1994/1995 de fósforo de fosfato correspondientes a campañas efectuadas en el marco del mismo programa para la Franja Costera Sur (AGOSBA-SIHN-OSN 1997).

Tabla 6.2.3
Fósforo de fosfato en la Franja Costera Sur (mg P-PO₄/l)
(AGOSBA-OSN-SIH 1997)

Estación			1992/1993	1994/1995
Nombre	Código	Distancia (m)	P-PO₄	P-PO₄
Estaciones de	00A	Canal Mitre km 27.5	0,04	-
muestreo	00B	3000(Magdalena)	0,10	-
aisladas	00C	10000(Boya San Agustín)	0,11	-
1			-	
San Fernando	101	Desembocadura Luján	0,07	0,11
San Isidro	110		-	-
San Isidro	111	500	-	0,06
San Isidro	112	1500	-	4,10
San Isidro	119	10000	-	0,03
Olivos	150		-	-
Vicente López	171	500	-	0,04
Vicente López	172	1500	-	0,04
Vicente López	173	3000	-	-
Vicente López	175	5000	-	-
Palermo	201	500	0,07	0,03
Palermo	202	1500	0,05	0,07
Palermo	203	3000	0,05	0,02
Palermo	205	5000	0,06	-
Palermo	207	Toma de agua a 1050m	0,06	-
El Abanico (Aeroparque)	210		-	-
3	3	Rio de la Plata	-	-
Riachuelo	301	500	0,15	0,07
Riachuelo	302	1500	0,11	0,04
Riachuelo	303	3000	0,06	0,03
Riachuelo	306	Desembocadura	0,32	0,20
Riachuelo	309	10000	-	0,02
Sarandí	353	3000	0,08	-
Sarandí	356	Desembocadura	0,87	-
4	4		-	-
A° Sto Domingo	401	500	0,21	0,26
A° Sto Domingo	402	1500	0,14	0,28
A° Sto Domingo	403	3000	0,08	0,09
A° Sto Domingo	405	5000	-	0,29
A° Sto Domingo	406	Desembocadura	0,60	-
5	5		-	-
Bernal	501	500	0,15	0,15
Bernal	502	1500	0,12	0,11
Bernal	503	3000	0,05	0,12
Bernal	504	4000	0,05	-
Bernal	505	5000	0,06	0,27
Bernal	507	Toma de agua a 2450m	0,05	-
510	510		-	-
551	551		-	0,28
552	552		-	0,14

Estación			1992/1993	1994/1995
Nombre	Código	Distancia (m)	P-PO₄	P-PO₄
553	553		-	0,40
555	555		-	0,27
559	559			0,1
Berazategui	601	500	0,19	0,36
Berazategui	602	2500	0,34	0,27
Berazategui	603	3000	0,13	0,67
Berazategui	605	5000	-	-
661	661		0,12	-
Punta Colorada	701	500	0,14	0,28
Punta Colorada	702	1500	0,08	0,12
Punta Colorada	703	3000	0,06	0,12
Punta Colorada	705	5000	-	0,30
Plátanos	710		-	-
Punta Lara	801	500	0,13	0,35
Punta Lara	802	1500	0,12	0,25
Punta Lara	803	3000	0,09	0,32
Punta Lara	805	5000	-	0,46
Punta Lara	850		-	-
El Arca	90		-	-
Toma Azurix	901	500	0,16	-
Toma Azurix	902	1500	0,16	0,59
Toma Azurix	903	3000	0,12	0,13
Toma Azurix	904	4000	0,10	0,06
Toma Azurix	905	5000	0,06	0,27
Toma Azurix	907	Toma canal	0,16	0,22
Toma Azurix	909	10000	-	0,12
910	910			-
Puerto La Plata	1001	500	0,05	0,06
Puerto La Plata	1002	1500		0,04
Puerto La Plata	1003	3000	-	0,27
Puerto La Plata	1005	5000	-	0,23
Berisso	1101	500	0,10	-
Berisso	1102	1500	0,06	-
Berisso	1103	3000	0,04	-
Berisso	1105	5000		0,34
Berisso	1109	10000	-	0,28
Balneario Gagliardi	1151	500	-	
Balneario Gagliardi	1152	1500	-	0,27
Balneario Gagliardi	1153	3000	-	0,07
Balneario Gagliardi	1155	5000	-	0,04
Balneario Gagliardi	1159	10000		
Punta Blanca	1201	500	0,17	
Punta Blanca	1202	1500	0,14	0,02
Punta Blanca	1203	3000	0,11	0,03
Punta Blanca	1205	5000	-	1,80
Punta Blanca	1209	10000	-	0,90
Magdalena	1301	500	-	0,06
Magdalena	1303	3000	-	0,07

Estación			1992/1993	1994/1995
Nombre	Código	Distancia (m)	P-PO ₄	P-PO ₄
Magdalena	1309	10000	-	0,08

Estos valores promedio de fósforo de fosfatos se detallan en las figuras 6.2.5 y 6.2.6 para ambos períodos, mientras que las figuras 6.2.7 y 6.2.8 presentan las distribuciones longitudinales de concentración a distintas distancias a la costa. Los patrones de distribución presentan algunas características similares a las asociadas a las campañas de 1989 y 1990; se advierte la disminución de las concentraciones con el aumento de la distancia a la costa y el desplazamiento de las plumas de contaminación hacia el Sur y aguas adentro.

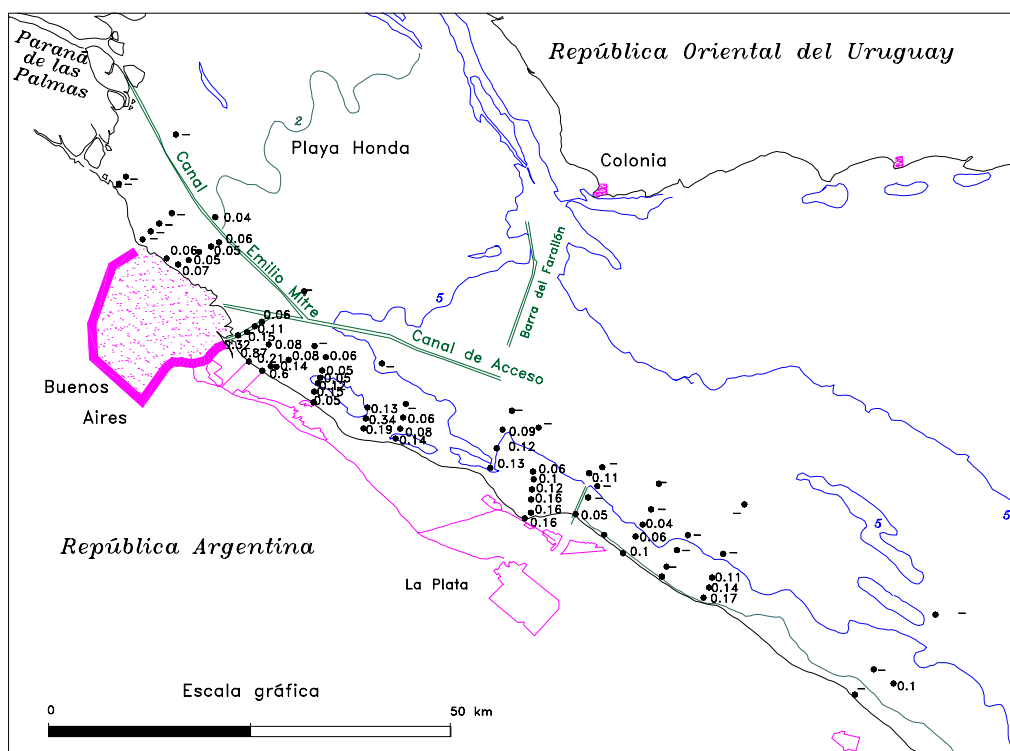


Figura 6.2.5 Datos de P-PO₄ promedio (mg P/l) para el período 1992/93

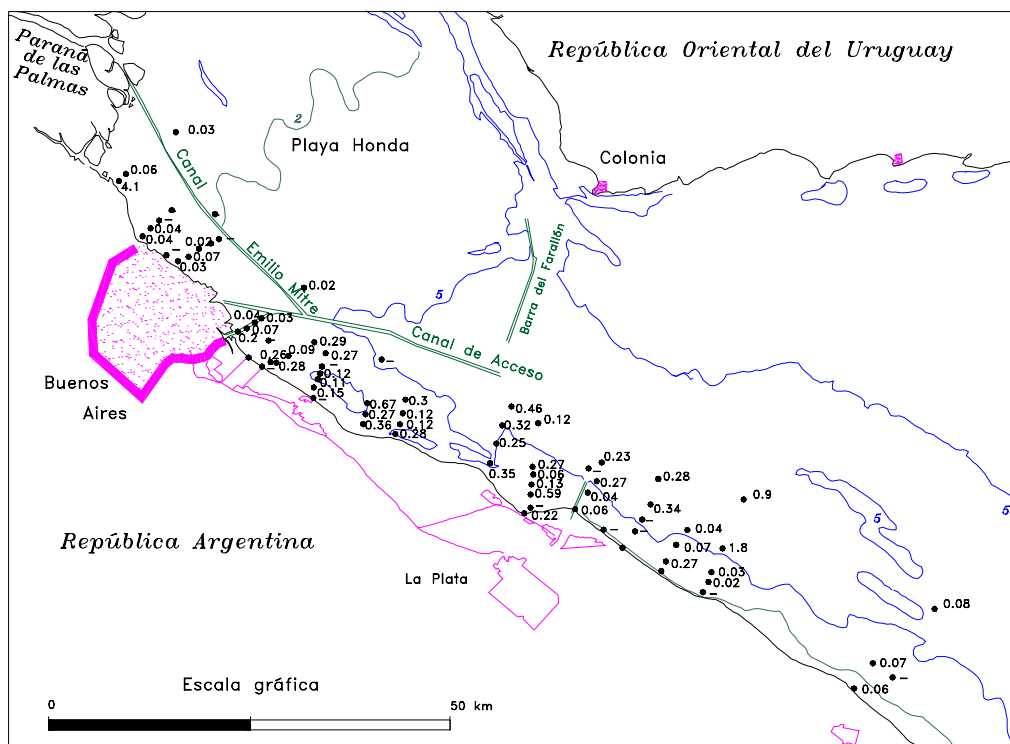


Figura 6.2.6 Datos de $P\text{-PO}_4$ promedio (mg P/l) para el período 1994/95

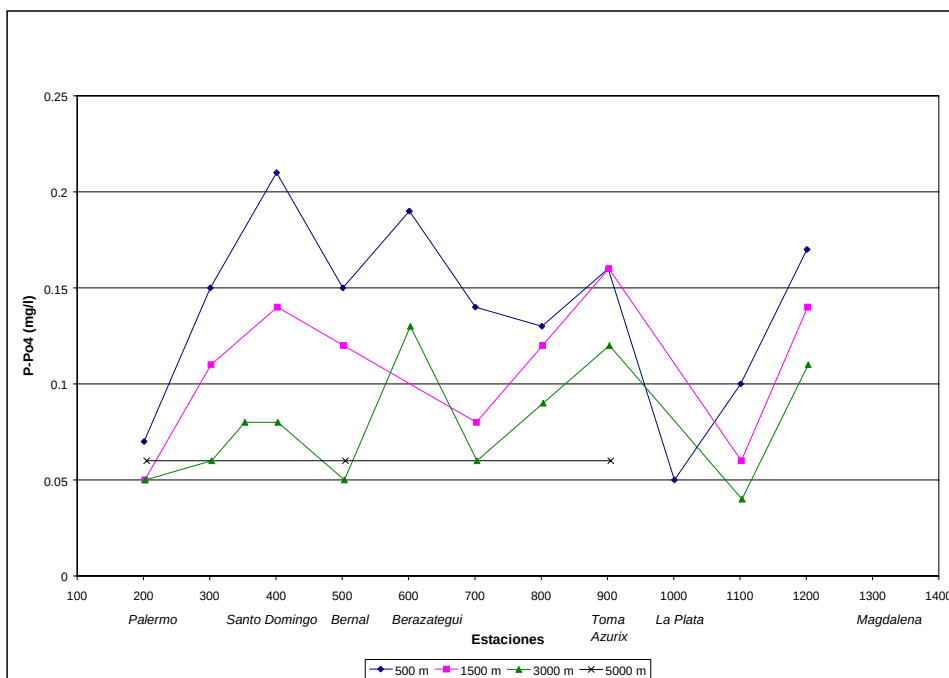


Figura 6.2.7 Distribución longitudinal de $P\text{-PO}_4$ promedio (mg P/l) para el período 1992/93

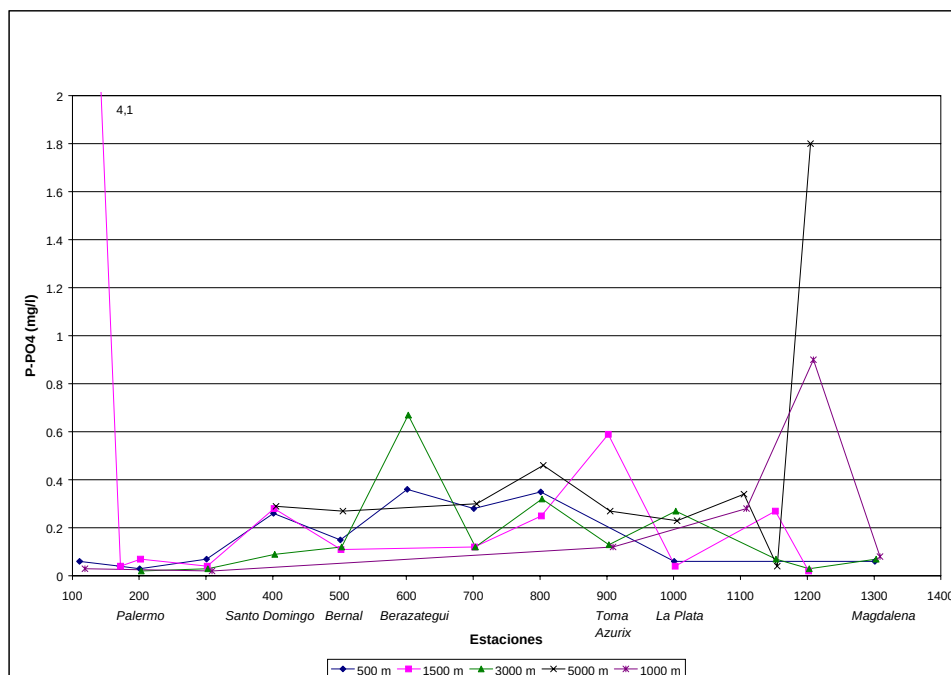


Figura 6.2.8 Distribución longitudinal de $P\text{-PO}_4$ promedio (mg P/l) para el período 1994/95

Durante las campañas del período 92/93 se observaron máximos locales frente a Santo Domingo, Berazategui y La Toma de Azurix entre 0,21 y 0,16 mg $P\text{-PO}_4$ /l. Concentraciones de aproximadamente 0,1 a 0,15 mg $P\text{-PO}_4$ /l se midieron a 3000 m de la costa y entre 0,05 y 0,1 mg $P\text{-PO}_4$ /l a 5000 m con máximos en Berazategui y frente a la Toma de Azurix (0,13 y 0,12 mg $P\text{-PO}_4$ /l respectivamente).

En el período 1994/95, los valores medios de concentración de fósforo de fosfato fueron, en general, inferiores a 0,50 mg $P\text{-PO}_4$ /l con máximos bien notables, probable consecuencia de las plumas de distribución de contaminantes provenientes de las descargas cloacales, observándose el desplazamiento de dichas plumas hacia el Sur y aguas adentro. A 500 m las concentraciones medias se mantuvieron entre 0,20 y 0,40 mg $P\text{-PO}_4$ /l entre Santo Domingo y Punta Lara y decrecieron hacia el Sur. A 1500 m el valor medio se conserva entre 0,1 y 0,3 mg $P\text{-PO}_4$ /l, pero existe un máximo de 4,1 mg $P\text{-PO}_4$ /l frente a la desembocadura del Río Luján y otro menor frente a la Toma de Azurix. A 3000 m la influencia de la descarga de Berazategui origina un máximo de 0,67 mg $P\text{-PO}_4$ /l que se traslada a Punta Lara a los 5000 m de la costa. A esta distancia, existe un máximo de 1,8 mg $P\text{-PO}_4$ /l en la estación Punta Blanca (1205) que conserva su ubicación a 10000 m.

6.2.1.2 Fósforo total

Valores de fósforo total (PT) medidos durante las campañas realizadas los días 22 y 23 de septiembre y 22 y 23 de noviembre de 1982 por el SIHN en el Río de la Plata Interior, en la zona delimitada por las líneas que unen Buenos Aires-Colonia y Punta Piedras-Montevideo y reportados por Quirós & Senone (1985) se presentan en la tabla 6.2.4 y en las figuras 6.2.9 y 6.2.10 se reproducen las isolíneas de fósforo total trazadas en ese informe, junto a los valores medidos.

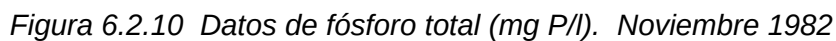
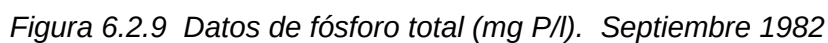


Tabla 6.2.4
Fósforo Total (mg P/l)
(Quirós & Senone 1985)

Estación	Campaña septiembre 1982	Campaña noviembre 1982
400	0,113	0,163
410	0,119	0,173
420	0,127	0,182
430	0,152	0,101
440	0,111	0,960
450	0,112	0,810
460	-	0,127
480	0,116	0,140
500	0,208	0,205
505	0,990	0,165
510	0,890	0,132
520	0,101	0,121
530	0,110	0,660
540	0,135	0,151
550	0,107	-
560	0,119	0,125
570	-	0,170
580	-	0,900
600	0,122	0,104
610	0,770	0,128
620	0,860	0,132
630	0,960	0,105
700	0,131	0,121
710	0,980	0,110
720	0,990	0,117
730	0,820	0,127
740	0,720	0,137
750	-	0,135

Los resultados de la primera campaña indican, en general, que los niveles de este nutriente aumentan hacia las zonas costeras y hacia la parte exterior del río. La zona costera argentina presenta mayores niveles de fósforo total que la uruguaya hasta la transecta trazada desde la estación 500 (frente a Magdalena) hasta la 540. Desde esta transecta, los niveles de fósforo presentan un incremento en el centro del río y sobre la costa argentina. La estación 500 presentó la máxima concentración de fósforo durante esta campaña (0,208 mg P/l).

En la campaña de noviembre el patrón de distribución es similar al de la primera campaña, aunque sus valores absolutos son mayores en la zona central de acuerdo con el mayor caudal durante ese muestreo. Se observa que los menores valores se registraron sobre la costa uruguaya, aumentando hacia el centro del río y disminuyendo en forma relativa hacia la costa argentina. Sobre esta última se evidencia un aumento a partir de la

zona al sudeste de la ciudad de La Plata. Nuevamente, la concentración máxima se registró frente a Magdalena con un valor de 0,205 mg P/l.

Quirós y Senone (1985) expresaron que, al igual que en otros sistemas de la Cuenca del Plata con bajos tiempos de permanencia del agua, los contenidos de fósforo total están en gran proporción, ligados al sedimento en suspensión. En septiembre con caudales menores (aproximadamente 29.000 m³/s) y concentraciones menores en la transecta de entrada, en la parte interior del tramo estudiado los niveles de fósforo total fueron menores en el centro del río que sobre las costas, en particular sobre la margen argentina. Mientras que durante noviembre, con mayores caudales, el patrón de distribución se invierte, como puede observarse en la distinta inflexión de las isolíneas de fósforo total en ambos muestreos. Siendo que, por lo menos para el río Uruguay, los niveles de PT van ligados a los de turbidez y éstos a su vez están relacionados directamente con el caudal del río (20.000 m³/s en noviembre de 1982), es de esperar que el patrón observado sea una característica propia del tramo estudiado (Quirós & Senone 1985).

6.2.2 Tributarios

Para el río Uruguay, CARU (1991) reportó valores de fósforo total y fósforo de fosfato determinados aguas arriba de la presa de Salto Grande durante 1991, los cuales se reproducen en la tabla 6.2.5, en la que también se incluyen los estadísticos calculados sobre estas observaciones.

Tabla 6.2.5
*Fósforo Total y Fósforo de fosfato en el Río Uruguay
aguas arriba de Salto Grande (mg/l)
(CARU 1991)*

Estación	P T	P-PO₄
Estación Represa	0,065	0,021
Estación Constitución	0,066	0,022
Estación Belén	0,064	0,023
Estación Mocoretá (Puente)	0,072	0,023
Estación Mocoretá	0,067	0,021
Estación Mandisoví	0,022	0,022
Estación Gualaguaychú	0,055	0,017
Estación Itapebí	0,054	0,018
Estación Bella Unión-Monte Caseros	0,102	0,021
Estación Gualaguaycito (Cabecera)	0,076	0,017
Estación Arapey	0,047	0,021
Promedio	0,063	0,021
Desvío Standard	0,020	0,002
Máximo	0,102	0,023
Mínimo	0,022	0,017

En los muestreos realizados entre 1987 y 1994 (INA, SRNyDS 1999) en la estación Concepción del Uruguay del mismo río se obtuvieron valores de fósforo total y fosfato para 10 y 7 campañas, respectivamente. Los valores informados se reportan en la tabla 6.2.6.

Tabla 6.2.6
*Fósforo Total y Fósforo de fosfato en el río Uruguay (mg/l)
Estación Concepción del Uruguay (INA, SRNyDS 1999)*

Fecha	Campaña	Margen	PT	PO4	P-PO4
09/03/87	1	centro sup.	0,090		
08/03/88	1	derecha sup.	0,450		
08/03/88	1	centro sup.	0,720		
08/06/88	2	derecha sup.	0,040		
08/06/88	2	centro sup.	0,320		
15/09/88	4	derecha sup.	0,030	0,006	0,002
15/09/88	4	centro sup.	0,040	0,005	0,002
15/11/88	5	derecha sup.	0,070	0,005	0,002
15/11/88	5	centro sup.	0,000	0,013	0,004
15/03/89	1	derecha sup.	0,210		
15/03/89	1	centro sup.	0,009		
14/06/89	2	derecha sup.	0,050		
14/06/89	2	centro sup.	0,090		
04/10/89	3	derecha sup.	0,070		
04/10/89	3	centro sup.	0,050		
06/12/89	4	derecha sup.	0,040		
06/12/89	4	centro sup.	0,040		
15/03/90	10	derecha sup.	0,040		
15/03/90	10	centro sup.	0,040		
15/12/92	21	derecha sup.	0,097	0,089	0,029
15/12/92	21	centro sup.	0,095	0,082	0,027

La estadística descriptiva de los valores presentados en la tabla 6.2.6 se resumen en la tabla 6.2.7.

Tabla 6.2.7
*Estadística descriptiva de fósforo en el río Uruguay
(Estación Concepción del Uruguay)*

	PT (mg/l)	P-PO4 (mg/l)
Valor medio	0,123	0,011
Desvío Standard	0,174	0,013
Máximo	0,720	0,029
Mínimo	0,000	0,002

En los estudios llevados a cabo en el entorno de la Central Nuclear Atucha (Villar & Bonetto 1998), se informan valores de fósforo total y fósforo reactivo soluble (PRS) para las

observaciones realizadas entre 1995 y 1996 en las cuatro estaciones de muestreo, los cuales se presentan en la tabla 6.2.8.

Tabla 6.2.8
Fósforo Total y Fósforo Reactivo Soluble en el río Paraná en la zona de Atucha (mg/l)
(Villar & Bonetto 1998)

<i>Estación</i>	<i>Nivel (m)</i>	<i>Fecha</i>	<i>PRS</i>	<i>PT</i>
I	2,24	21/03/95	0,039	0,143
II		21/03/95	0,037	0,165
III		21/03/95	0,041	0,154
IV		21/03/95	0,043	0,154
I	2,24	03/05/95	0,081	0,233
II		03/05/95	0,082	0,227
III		03/05/95	0,078	0,218
IV		03/05/95	0,078	0,215
I	2,25	13/06/95	0,045	0,185
II		13/06/95	0,041	0,165
III		13/06/95	0,041	0,180
IV		13/06/95	0,040	0,174
I	1,70	08/08/95	0,033	0,128
II		08/08/95	0,037	0,122
III		08/08/95	0,035	0,139
IV		08/08/95	0,036	0,143
I	1,45	21/09/95	0,030	0,182
II		21/09/95	0,033	0,151
III		21/09/95	0,039	0,161
IV		21/09/95	0,032	0,154
I	1,92	14/11/95	0,072	0,255
II		14/11/95	0,074	0,238
III		14/11/95	0,070	0,302
IV		14/11/95	0,082	0,252
I	2,30	19/12/95	0,053	0,200
II		19/12/95	0,050	0,223
III		19/12/95	0,061	0,223
IV		19/12/95	0,052	0,228
I	2,10	27/02/96	0,081	-
II		27/02/96	0,081	-
III		27/02/96	0,081	-
IV		27/02/96	0,074	-
I	1,98	23/04/96	0,054	0,207
II		23/04/96	0,043	0,207
III		23/04/96	0,051	0,214
IV		23/04/96	0,043	0,193
I	1,54	25/06/96	0,037	0,160
II		25/06/96	0,036	0,140
III		25/06/96	0,036	0,154
IV		25/06/96	0,039	0,140
I	1,10	21/08/96	0,026	0,000
II		21/08/96	0,023	0,114
III		21/08/96	0,026	0,103
IV		21/08/96	0,023	0,111

Los valores estadísticos que surgen de la tabla 6.2.8 se presentan en la tabla 6.2.9.

Tabla 6.2.9
Estadística descriptiva de fósforo en el río Paraná de las Palmas

	PT (mg/l)	PRS (mg/l)
Valor medio	0,181	0,050
Desvío Standard	0,072	0,019
Máximo	0,302	0,082
Mínimo	0,000	0,023

Boneto (1976) informó un valor menor a 0,03 mg/l de fosfato para el río Paraná a la altura del Puerto de Rosario, equivalente a un valor inferior a 0,01 mg/l de fósforo de fosfato.

La tabla 6.2.10 presenta datos de mediciones efectuadas por el CIMA-CIC para los ríos Paraná, Paraná de las Palmas y Río de la Plata entre septiembre y octubre de 1995, en el marco del estudio de impacto ambiental del dragado de la ruta de navegación Santa Fe Océano (CIMA-CIC 1995). Los valores de fósforo total informados resultan muy altos en relación a las otras mediciones disponibles.

Tabla 6.2.10
*Fósforo total en el río Paraná (mg/l)
(CIMA-CIC 1995)*

Estación	Ubicación	Profundidad (m)	Fecha	PT
Paraná de las Palmas	Vuelta de San Antonio	2	11/09/95	0,6
Paraná de las Palmas	Vuelta de San Antonio	0,5	11/09/95	0,6
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	2	11/09/95	0,6
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	0,5	11/09/95	0,7
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	2	11/09/95	0,8
Paraná de las Palmas	Vuelta del Este	0,5	11/09/95	0,9
Paraná Paso de Borghi		2	14/09/95	0,6
Paraná Paso de Borghi		0,5	14/09/95	0,3
Paraná Paso de Borghi		2	14/09/95	0,5
Paraná Paso de Borghi		0,5	14/09/95	-
Paraná Rosario	Margen entrerriana	2	14/09/95	0,2
Paraná Rosario	Margen entrerriana	0,5	14/09/95	0,2
Paraná Rosario	Margen entrerriana	2	14/09/95	0,4

<i>Estación</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Profundidad (m)</i>	<i>Fecha</i>	<i>PT</i>
Paraná Rosario	Margen entrerriana	0,5	14/09/95	0,5
Paraná Paso Alvear		2	11/10/95	0,6
Paraná Paso Alvear		0,5	11/10/95	0,1
Paraná Paso Alvear		2	11/10/95	0,3
Paraná Paso Alvear		0,5	11/10/95	0,1

Cono ya fuera expresado en 5.2.3, no se dispone de ninguna información sobre sus parámetros de calidad para el Río Paraná Guazú.

6.2.3 Aportes marginales

En la tabla 6.2.11 se indican los valores promedios de fosfato reportados en AGOSBA-OSN-SIHN (1992) para algunas descargas al Río de la Plata monitoreadas en sus puntos de desembocadura durante un período de aproximadamente diez años. En la misma tabla se detallan los valores calculados para el aporte de fósforo de fosfato.

Tabla 6.2.11
Fosfato en descargas al Río de la Plata.
Valores promedio en la desembocadura (mg/l)
(AGOSBA - OSN – SIHN 1992)

<i>Arroyos</i>	<i>PO4</i>	<i>P-PO4</i>
Rio Matanza-Riachuelo	0,290	0,095
Cañada La Andaluza	0,270	0,088
Canal Acceso Pto. La Plata	0,230	0,075
Arroyo La Guardia	0,390	0,127

La estadística de datos de calidad de agua del Riachuelo presentada por el INA (1999) reportó valores de fósforo de fosfato del río en la estación Semáforo del Riachuelo para el período Abril de 1984-Septiembre de 1984 obtenidos sobre 6 observaciones, los cuales se presentan en la tabla 6.2.12.

En los estudios realizados por Aguas Argentinas para el Plan de Saneamiento Integral (AA 1998) se reporta un promedio diario en la descarga de Berazategui de 4 mg/l de fósforo total.

Tabla 6.2.12
Estadística descriptiva de Fósforo de fosfato en el Riachuelo
en la estación Semáforo (mg/l) - (INA 1999)

Media	Máximo	Mínimo	Desv.Standard	No. Datos
0,62	1,64	0,21	0,56	6

6.3 MODELACION MATEMATICA

6.3.1 Construcción de un escenario de trabajo

6.3.1.1 Distribución de fósforo de fosfato

En las figuras 6.3.1 y 6.3.2 se muestran las isolíneas de fósforo de fosfato promedio para la franja costera argentina para los períodos 92/93 y 94/95, respectivamente, construidas en base a los datos presentados en las figuras 6.2.5 y 6.2.6. Se observa que los dos patrones de distribución presentan apreciables diferencias originadas por la existencia de máximos locales de envergadura en localizaciones alejadas de la costa para el período 1994/95. Se optó por tomar el ciclo 92/93 como representativo de condiciones medias, dada su mayor homogeneidad.

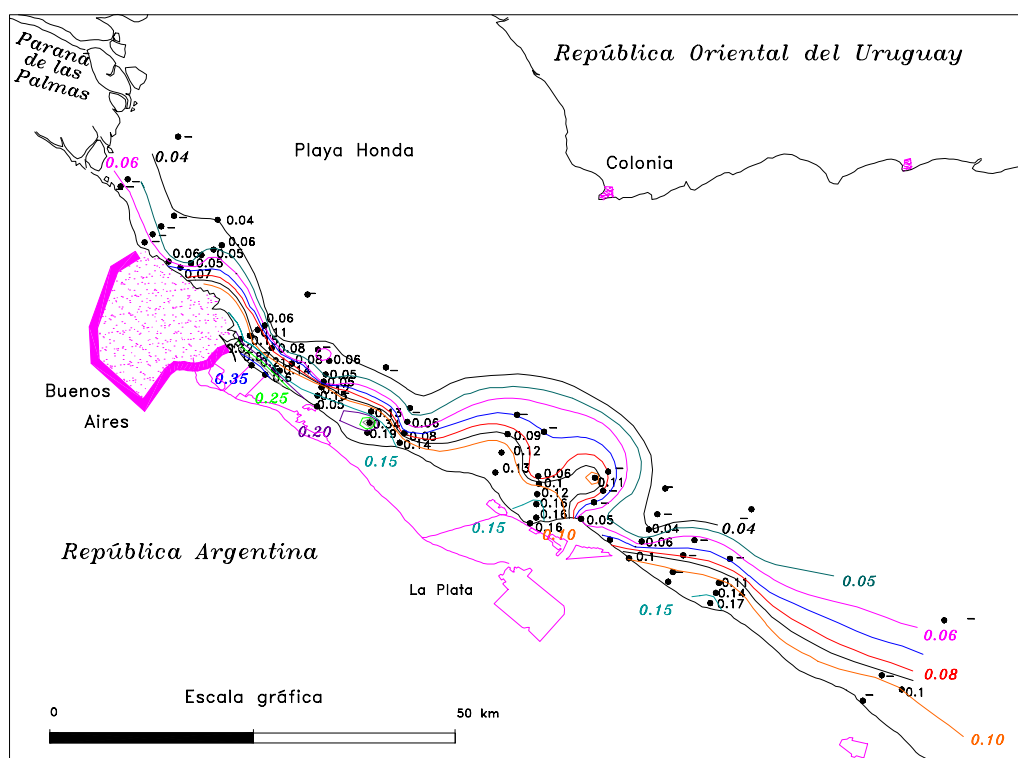


Figura 6.3.1 Líneas de isoconcentración de $P-PO_4$ promedio (mg P/l) para el período 1992/93

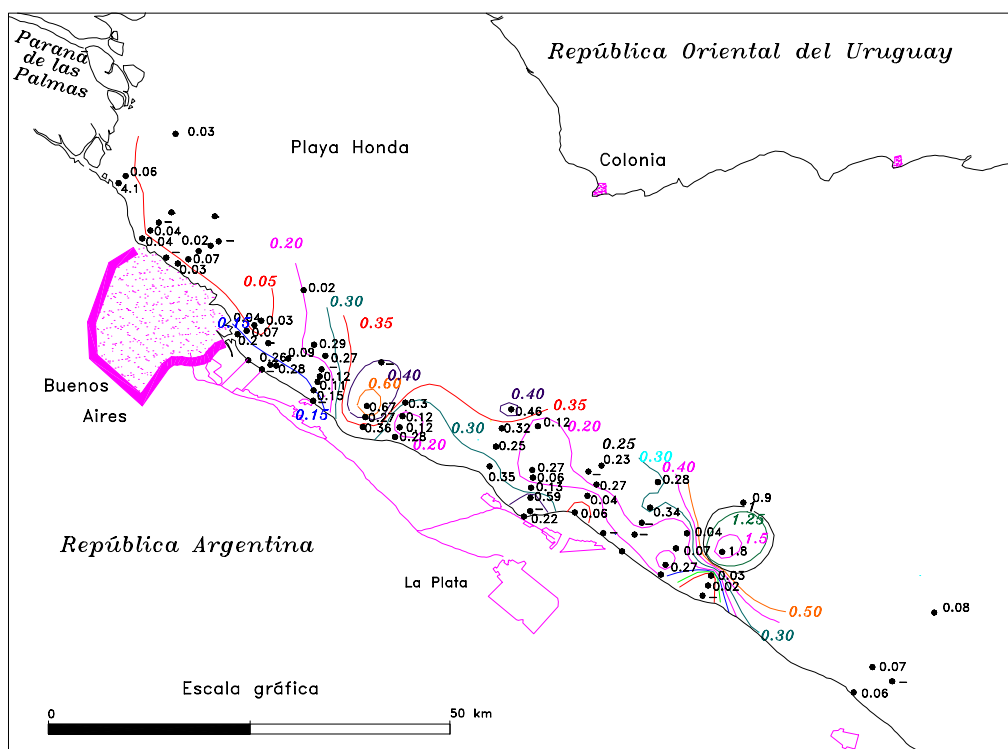


Figura 6.3.2 Líneas de isocóncntración de $P-PO_4$ promedio (mg P/l) para el período 1994/95

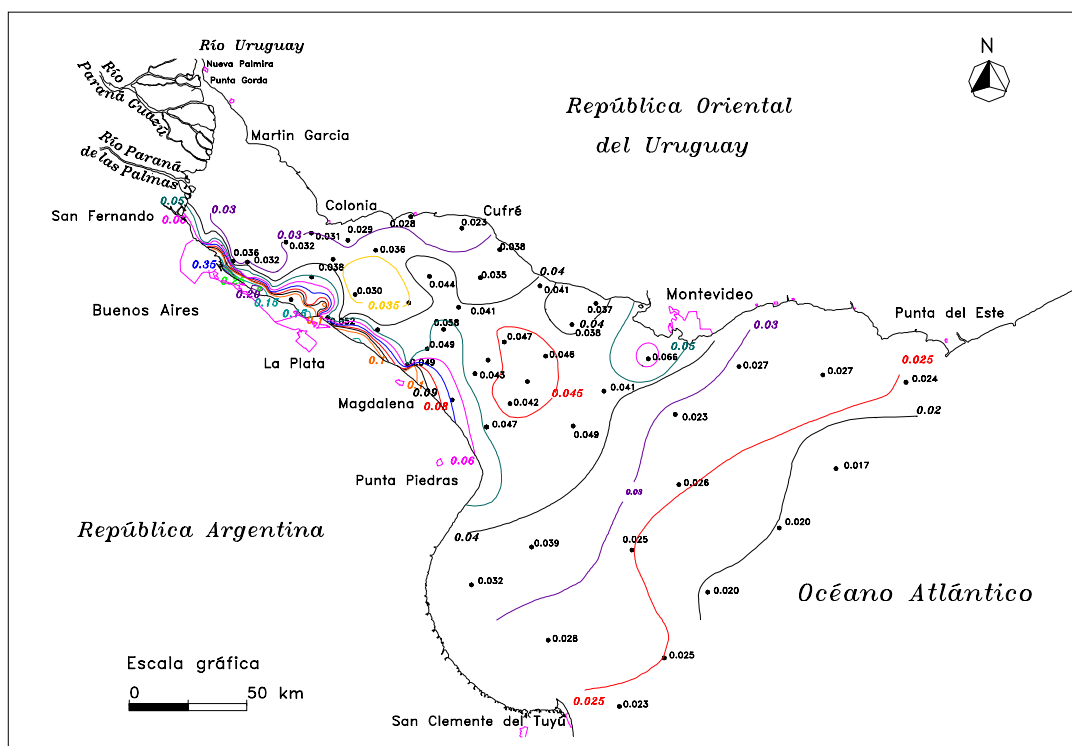


Figura 6.3.3 Distribución de $P-PO_4$ (mg P/l) en el Río de la Plata

Los datos de fósforo de fosfato de franja costera para el período 92/93 se combinaron con los obtenidos en el interior del río en el período 1981/85, mostrados en la figura 6.2.1, obteniéndose las isolíneas de fósforo de fosfato presentadas en la figura 6.3.3, que proporcionan un patrón más completo que el mostrado en las figuras 6.2.1 y 6.2.2 ya que se ha incorporado información detallada de la zona costera sur.

En la figura 6.3.3 se observa claramente la caída de la concentración de fósforo de fosfato desde la costa argentina hacia el centro del río, lo cual se asocia con los aportes marginales.

A partir de las curvas trazadas surgen los valores medios en los segmentos de la concentración de fósforo de fosfato mostrados en la figura 6.3.4.

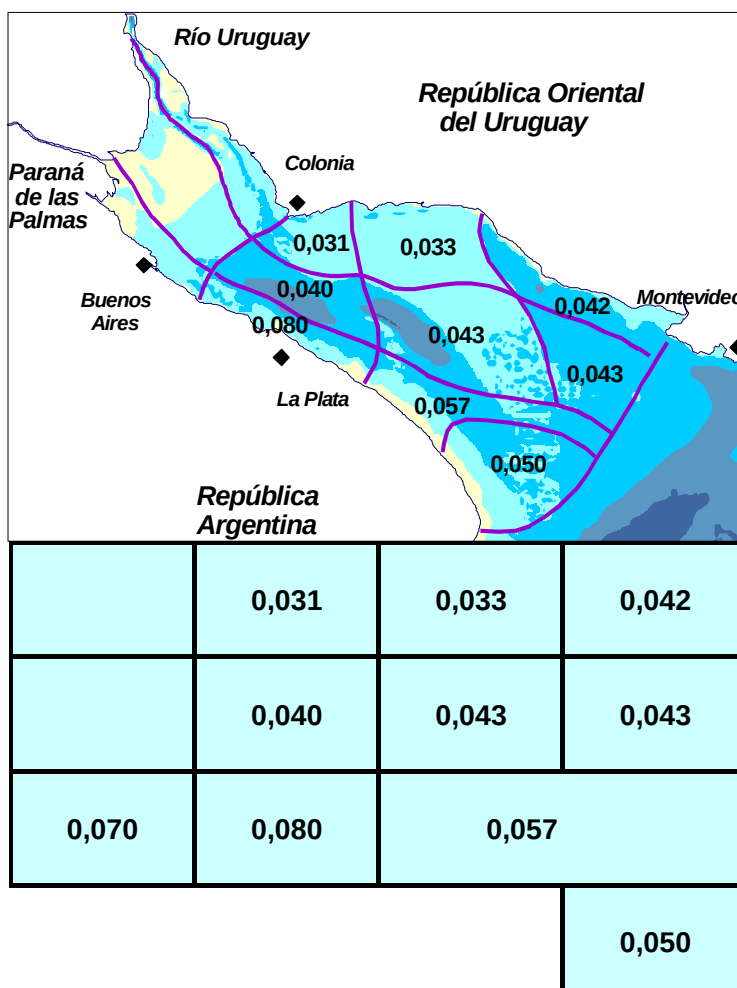


Figura 6.3.4 Concentraciones medias de fósforo de fosfato (mg P/l) en segmentos

6.3.1.2 Distribución de fósforo total

Las dos distribuciones mostradas en las figuras 6.2.9 y 6.2.10 correspondientes a septiembre y noviembre de 1982 fueron analizadas por mostrar un patrón de distribución diferente. Las líneas de isoconcentración de fósforo total fueron redefinidas a partir de los datos de base y se muestran en las figuras 6.3.5 y 6.3.6 en las que se ha superpuesto la segmentación adoptada para la modelación del Río de la Plata Interior. Dado que no se dispone de información de detalle sobre la franja costera argentina, la distribución en las inmediaciones de esa costa está subvalorada en esas figuras.

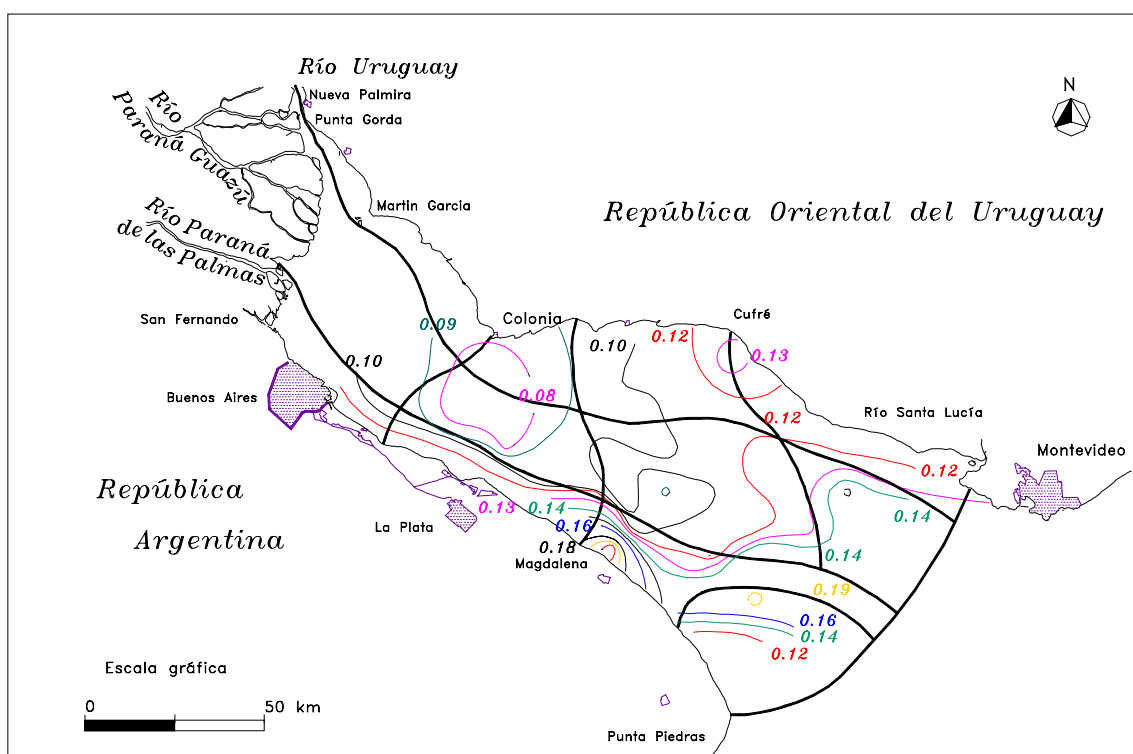


Figura 6.3.5 Distribución de fósforo total (mg P/l) y segmentación. Septiembre 1982

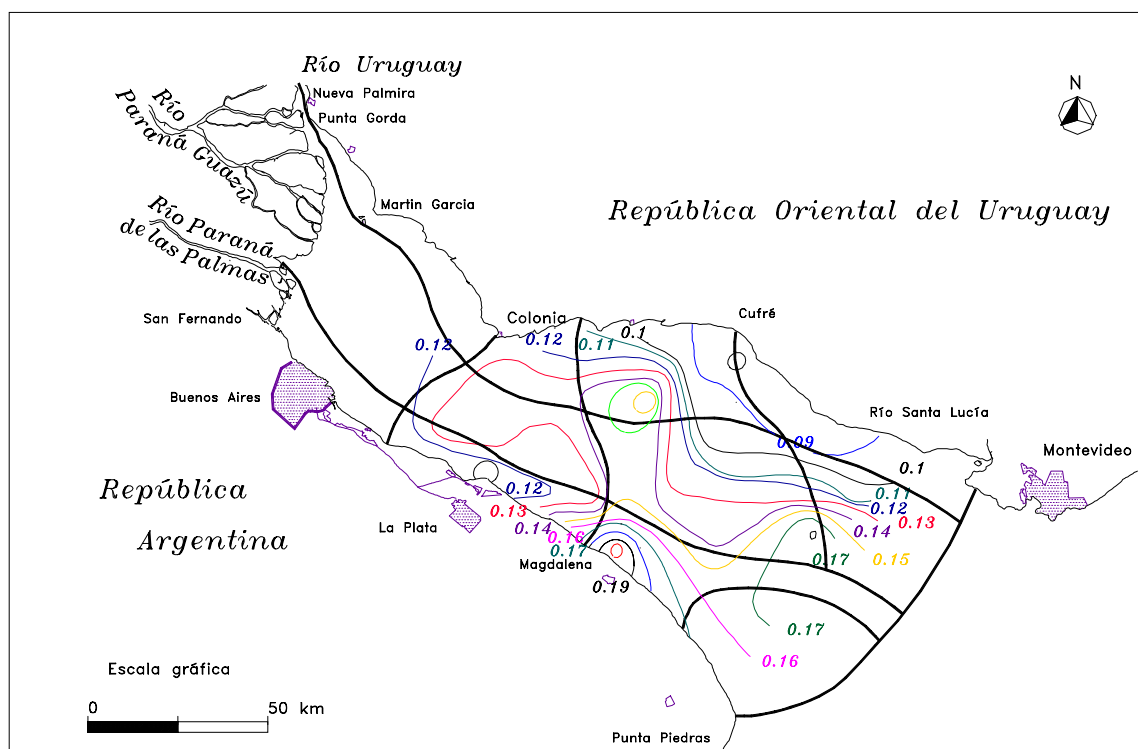
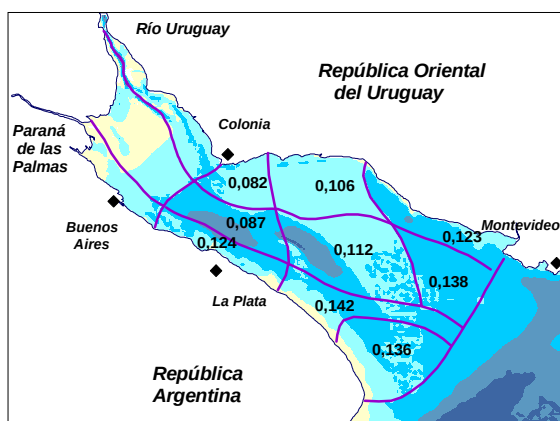


Figura 6.3.6 Distribución de fósforo total (mg P/l) y segmentación. Noviembre 1982

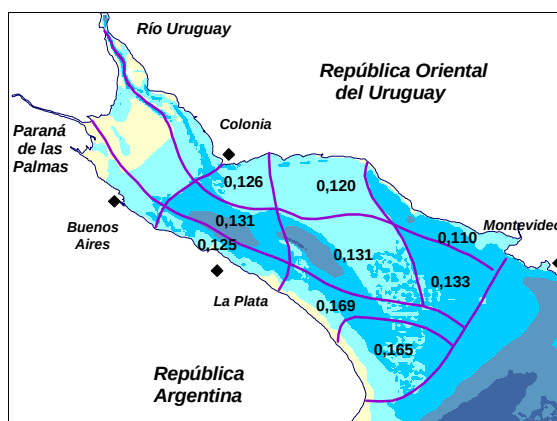
De la promediación surgen los valores de concentración por segmento de la figura 6.3.7 para las dos situaciones.

a) PT (mg P/l). Septiembre de 1982



	0,082	0,106	0,123
	0,087	0,112	0,138
	0,124	0,142	
			0,136

b) PT (mg P/l). Noviembre de 1982



	0,126	0,120	0,110
	0,131	0,131	0,133
	0,125	0,169	
			0,165

Figura 6.3.7 Concentraciones medias de fósforo total (mg P/l) en segmentos

6.3.1.3 Aporte de los tributarios

La tabla 6.2.7 muestra los valores medios de concentración de fósforo total (0,123 mg P/l), fósforo de fosfato (0,011 mg P-PO₄/l) para el río Uruguay en la estación Concepción del Uruguay. Estos fueron tomados, inicialmente, como representativos de las concentraciones medias del río en su desembocadura.

Para el río Paraná de las Palmas se dispone del valor medio para fósforo total de 0,181 mg P/l medido en Atucha y mostrado en la tabla 6.2.9. No se dispuso de valores de concentración de fósforo en el río Paraná Guazú. El valor de fósforo de fosfato 0,01mg P-PO₄/l estimado a partir del valor reportado por Bonetto (1972) es la única estimación disponible de este constituyente para el Río Paraná.

6.3.1.4 Aportes marginales

Sólo se cuenta con datos de concentraciones medias en 10 años de fósforo de fosfato en algunas descargas del Río de la Plata y el valor medio de 6 observaciones

(0,622 mg/l) reportado por el INA (1999), mostrado en la tabla 6.2.12 para el Riachuelo en la estación Semáforo del Riachuelo. Con respecto a la concentración de fósforo total, sólo se conoce el promedio diario de la descarga cloacal de Berazategui con un valor de 4 mg/l (AA 1998).

No se dispuso de datos sobre la margen uruguaya.

6.3.1.5 Aporte oceánico

Los valores de concentración de fósforo de fosfato y fósforo total fueron obtenidos a partir de las proyecciones de las curvas de nivel correspondientes, presentadas en las figuras 6.3.3, 6.3.5 y 6.3.6, con los siguientes resultados (mg/l):

Segmento #	P-PO ₄	P T (Septiembre 1982)	PT (Noviembre 1982)
10	0,050	0,130	0,100
11	0,045	0,160	0,140
7	0,042	0,160	0,170
12	0,045	0,140	0,165

6.3.1.6 Escenarios de trabajo

De lo analizado en las secciones precedentes surgen los escenarios de trabajo mostrados en la figura 6.3.8. Se destaca la necesidad de analizar 2 escenarios de distribución de fósforo total asociados a las condiciones hidrodinámicas diferentes registradas en las 2 campañas. En ambas se presume que los valores de fósforo total en los segmentos recostados sobre la costa argentina están subestimados.

6.3.2 Calibración

A partir del análisis de los valores de concentración del nutriente de fósforo calculados para el Río de la Plata interior presentados precedentemente, se evidencia un comportamiento cuasi-conservativo de estos constituyentes en esta escala de análisis.

6.3.2.1 Fósforo de fosfato

La calibración del modelo de balance para esta especie del fósforo implica determinar los valores de los siguientes parámetros:

- ❑ Las concentraciones medias de la especie en los ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas, con el condicionante de que sean del orden de 0,01 mg/l (P-PO₄).
- ❑ Las concentración media en los aportes marginales desde la costa argentina.
- ❑ Los aportes desde la costa uruguaya.

Como estrategia de calibración, en primer lugar se ajustó el corredor Guazú, que no recibe aportes laterales, pudiéndose así estimar la concentración de fósforo de fosfato en el

tributario. El mismo valor se asumió como representativo del aporte del Paraná de las Palmas, ya que se consideró que el valor informado por Boneto ($< 0,010 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$) era demasiado pequeño.

- o Concentración de fósforo de fosfato del Paraná Guazú: $0,040 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$
- o Concentración de fósforo de fosfato del Paraná de las Palmas: $0,040 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$

La experimentación del modelo de balance evidenció que la concentración media de fósforo de fosfato en el río Uruguay también está subestimada, ya que con ese nivel de fósforo de fosfato entrante en el corredor norte los valores del orden de $0,03 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$ en el segmento 6 sólo podrían ser explicados por aportes significativos desde margen uruguaya antes de las descargas asociadas a la localidad de Colonia, situación que no aparenta presentar acuerdo con la realidad. A partir de esta observación se estableció una concentración de fósforo de fosfato para el río Uruguay de $0,03 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$, valor más próximo al medio de las observaciones reportadas por CARU (1991) aguas arriba de Salto grande:

- o Concentración de fósforo de fosfato del río Uruguay: $0,030 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$

El paso siguiente consistió en el ajuste de los aportes marginales para las condiciones definidas por el patrón de escurrimiento medio (caudales módulo para los 3 tributarios), concentraciones medias en los afluentes y concentraciones en la frontera del Río de la Plata Exterior extrapoladas del patrón de distribución medio de fósforo de fosfato detalladas en el párrafo 6.3.1.5. Para lograr el ajuste en los corredores de los ríos Uruguay y Paraná de las Palmas fue necesario incorporar los siguientes aportes costeros:

- o Descarga desde costa argentina, segmento # 1: $14,0 \times 10^3 \text{ kg P-PO}_4/\text{d}$
- o Descarga desde costa argentina, segmento # 4: $3,0 \times 10^3 \text{ kg P-PO}_4/\text{d}$
- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 6: $1,0 \times 10^3 \text{ kg P-PO}_4/\text{d}$
- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 9: $1,5 \times 10^3 \text{ kg P-PO}_4/\text{d}$

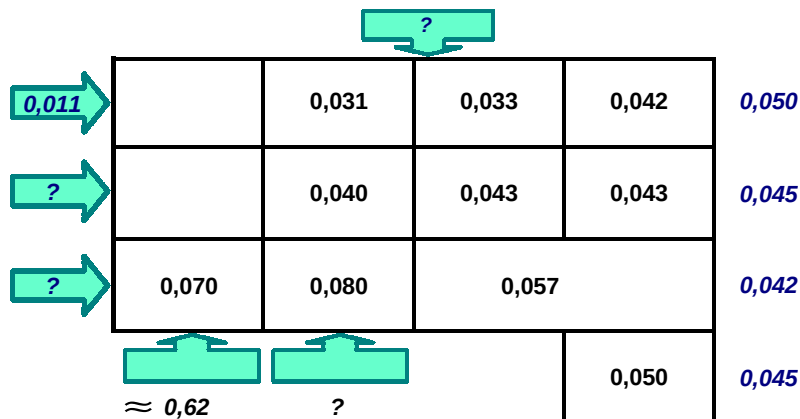
Utilizando los caudales conocidos sobre la costa argentina surge:

- o Concentración de fósforo de fosfato desde argentina, segmento #1: $0,57 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$
- o Concentración de fósforo de fosfato desde argentina, segmento #4: $0,83 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$

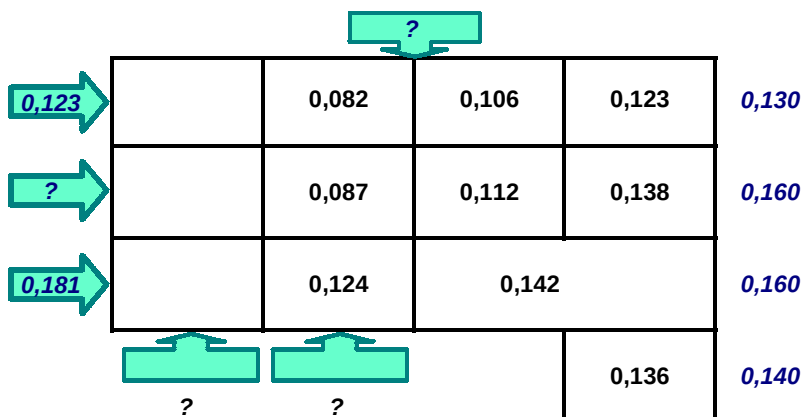
Nótese que la concentración media de fósforo de fosfato sobre el segmento # 1 resulta del orden del valor medio para el Riachuelo ($0,62 \text{ mg P-PO}_4/\text{l}$) reportado por el INA (1999).

Los resultados de la calibración de este escenario se sintetizan en la figura 6.3.9.

a) $P-PO_4$ (mg P/l)



b) PT (mg P/l). Septiembre de 1982



c) PT (mg P/l). Noviembre de 1982

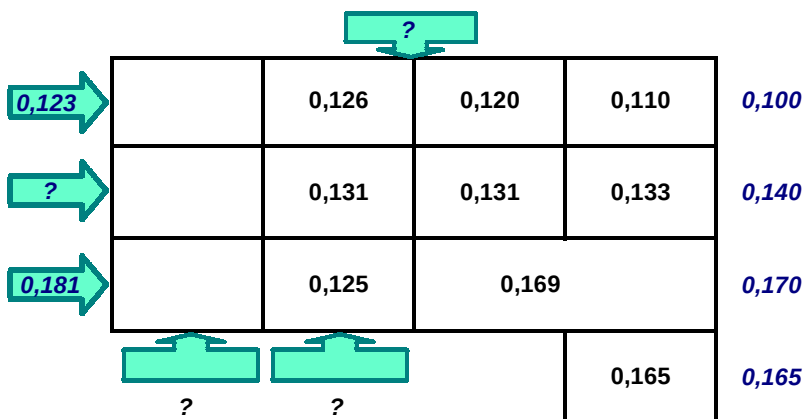
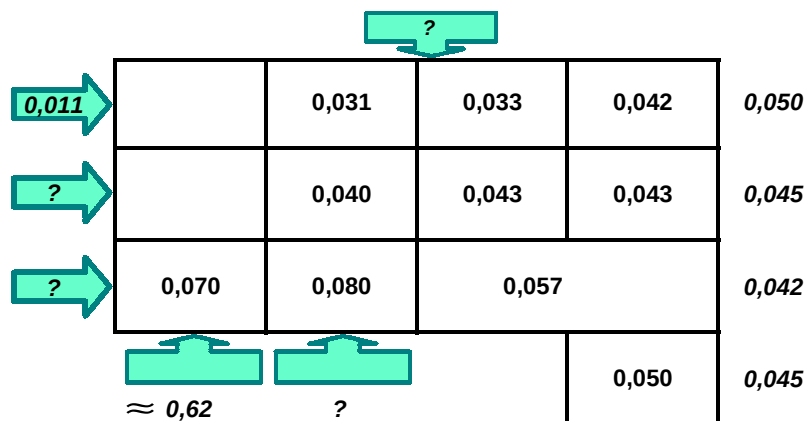


Figura 6.3.8 Escenarios de trabajo para las especies de fósforo

a) Escenario construido a partir de mediciones



b) Escenario construido a partir del modelo WASP5

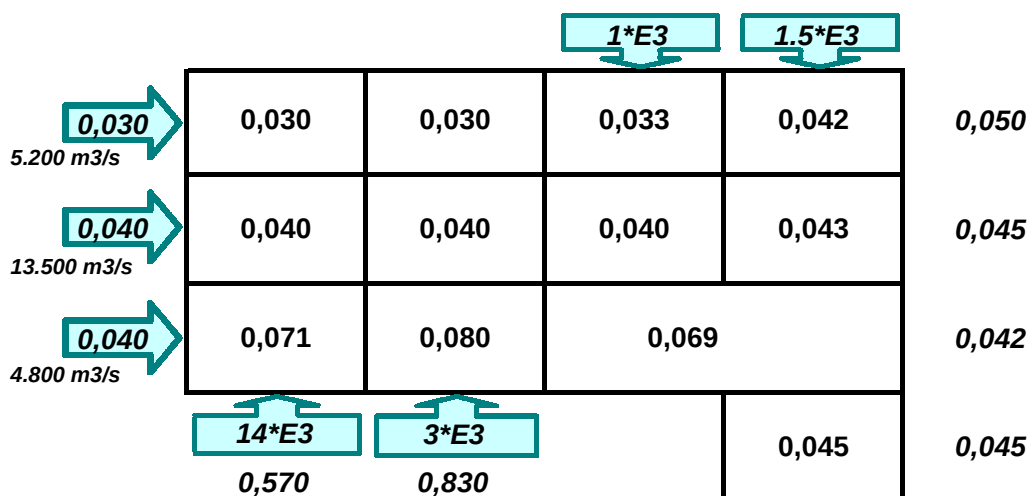


Figura 6.3.9 Resultados de la calibración del modelo WASP5 para el escenario de trabajo de fósforo de fosfato (mg P/l)

6.3.2.2 Fósforo total

Como fue señalado en el párrafo 6.2.1.2, las dos distribuciones de fósforo total medidas en 1982 son similares, aunque los valores absolutos son mayores en la zona central en noviembre de 1982. Dado que se trata de muestreos efectuados bajo diferentes condiciones hidrodinámicas, se utilizaron los valores de caudales correspondientes a estas fechas en los tributarios.

Por otro lado, ya se explicó que hay una subvaloración de las concentraciones medias de fósforo total en los segmentos adyacentes a la costa argentina debido a que los

muestreos no incluyeron la franja costera sur. En consecuencia, la estrategia seguida (similar a la descrita en el párrafo 5.3.2.2 para el caso del nitrógeno orgánico total) no tendió a reproducir los valores calculados para los segmentos lindantes con la margen argentina, sino que se estimó la carga marginal y se verificó que las concentraciones resultantes superaran aquellos valores.

Así, la calibración del modelo de balance para el fósforo total debió establecer los valores de los siguientes parámetros:

- ❑ La concentración en el río Paraná Guazú.
- ❑ Los aportes desde la costa argentina.
- ❑ Los aportes desde la costa uruguaya.

Con una estrategia similar a la utilizada para el fósforo de fosfato se obtuvo el valor de concentración para el Paraná Guazú y se atribuyó este mismo valor de concentración al Paraná de las Palmas:

Septiembre de 1982

- o Concentración de fósforo total en el Río Paraná Guazú: 0,110 mg P/l
- o Concentración de fósforo total en el Río Paraná de las Palmas: 0,110 mg P/l

Noviembre de 1982

- o Concentración de fósforo total en el Río Paraná Guazú: 0,130 mg P/l
- o Concentración de fósforo total en el Río Paraná de las Palmas: 0,130 mg P/l

Para ajustar el corredor Uruguay fue necesario disminuir la concentración de fósforo entrante por este tributario en consideración del valor medio estimado para el segmento 6, obteniéndose un valor de concentración de 0,082 mg P/l para el escenario de septiembre, que es del orden del valor medio de los valores de fósforo total informados por CARU (1994), de 0,062 mg P/l. En noviembre se impuso al afluente un valor de concentración de fósforo de 0,11 mg P/l. Para completar el ajuste en el corredor fue necesario incorporar los siguientes aportes marginales:

Septiembre de 1982

- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 9: 14×10^3 kg P/d
- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 10: 9×10^3 kg P/d

Noviembre de 1982

- o Descarga desde costa uruguaya, segmento # 6: 25×10^3 kg P/d

Ahora bien, para establecer el aporte marginal desde la costa argentina se tomó como valor representativo de los aportes de fósforo el valor diario promedio obtenido para la descarga cloacal de Berazategui de 4,00 mg/l, que ingresa al Río de la Plata Interior en el segmento 4 de la red planteada. Asumiendo que las concentraciones de fósforo de los aportes marginales a los segmentos # 1 y # 4 mantienen la misma relación calculada para las especies inorgánicas del nitrógeno ($N-NH_{4\#4}/NH_{4\#1} = 3,85$) se atribuyó una concentración de la descarga al segmento # 1 de 1,039 mg/l, resultando:

- o Descarga desde costa argentina, segmento # 1: 25×10^3 kg P/d
- o Descarga desde costa argentina, segmento # 4: 14×10^3 kg P/d

La síntesis de resultados se presenta en las figuras 6.3.10 y 6.3.11, respectivamente para septiembre y noviembre de 1982. La comparación con los valores medidos, que se repiten en la misma figura, evidencia un acuerdo satisfactorio. Sobre el corredor Palmas los resultados del modelo son superiores a los medidos, con diferencias entre 30 y 50%, excepto para el escenario de noviembre donde se obtiene para el segmento 4 una diferencia superior al 100% respecto del valor medio calculado con la información disponible.

a) Escenario construido a partir de mediciones



b) Escenario construido a partir del modelo WASP5

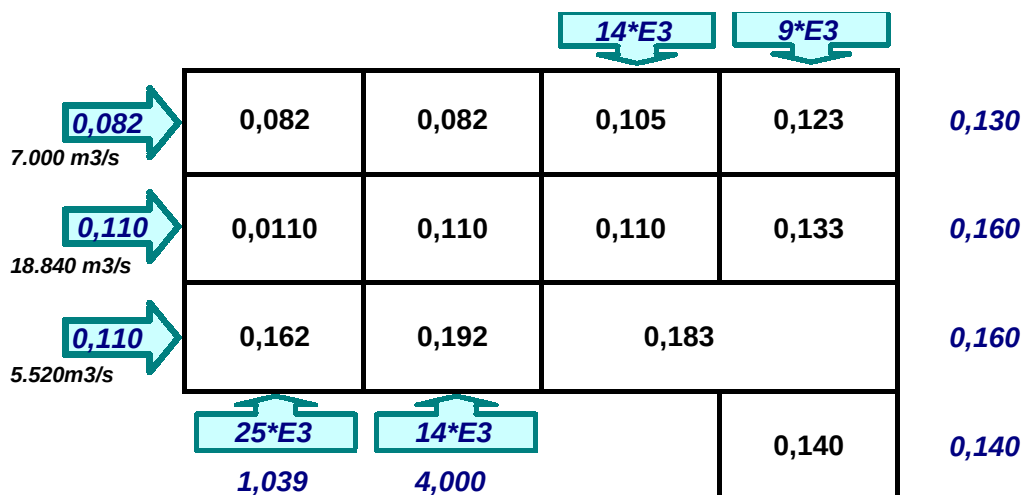
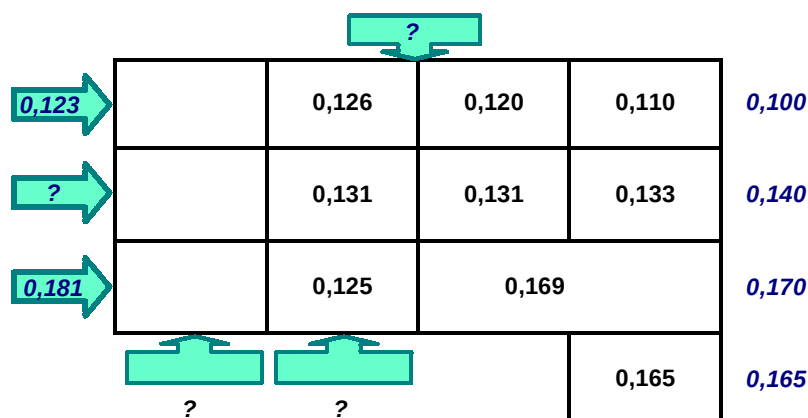


Figura 6.3.10 Resultados de la calibración del modelo WASP5 para el escenario de trabajo de fósforo de total (mg P/l) de Septiembre de 1982

a) Escenario construido a partir de mediciones



b) Escenario construido a partir del modelo WASP5

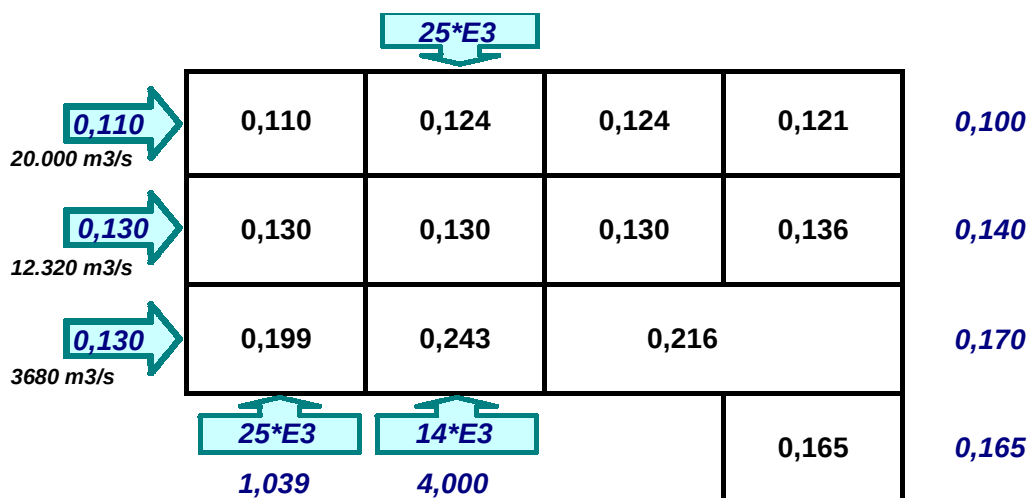


Figura 6.3.11 Resultados de la calibración del modelo WASP5 para el escenario de trabajo de fósforo de total (mg /l) de Noviembre de 1982

7 BALANCE DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

7.1 DEMANDAS DE OXÍGENO

La cantidad de materia orgánica disuelta y/o particulada en aguas naturales y de desecho puede evaluarse utilizando métodos que hacen uso de una propiedad común de la misma, a saber, los que cuantifican indirectamente la materia orgánica por medición de la cantidad de oxígeno requerida para su transformación aeróbica por microorganismos, conocida como demanda bioquímica de oxígeno.

La demanda química de oxígeno (DQO) evalúa la cantidad total de materia orgánica e inorgánica presentes en la muestra que es oxidable por un oxidante orgánico fuerte. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) cuantifica la fracción de materia orgánica total presente que puede ser biodegradada, es decir, degradada por microorganismos presentes o adicionados a las aguas. Este último es entonces un índice de biodegradabilidad.

La cantidad de materia orgánica biodegradable es uno de los indicadores principales de la calidad de agua de un río. Esta cantidad es estimada en forma global e indirecta por medio de la DBO_5 , que es la cantidad de oxígeno (en $mg\ O_2/l$) que se debe proporcionar a un cultivo bacteriano natural para que oxide o degrade los compuestos orgánicos durante 5 días. A un líquido cloacal tipo le corresponde una DBO_5 que varía en el rango de 100-300 $mg\ O_2/l$. La DBO_5 de un líquido residual industrial puede ser, según el tipo de industria, desde prácticamente nula a muy elevada. Como nivel guía de calidad se indica una DBO_5 menor de 3 $mg\ O_2/l$ para todos los usos (AGOSBA-OSN-SIHN 1992).

Mientras la DBO_5 da una buena estimación de la contaminación debida a la materia orgánica biodegradable, la DQO permite estimar la totalidad del oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica.

San Diego – Mc. Glone y colaboradores (1999) determinaron relaciones típicas de distintos parámetros de medición de formas de nutrientes carbonáceos nitrogenados y fosforados con la DBO para las descargas típicas de origen agropecuario, industrial y urbano que se detallan en la tabla 7.1.1.

San Diego – Mc. Glone y colaboradores (1999) sintetizan los resultados presentados en la tabla 7.1.1 en las siguientes relaciones estequiométricas generales para $DQO / COT / NT / PT / DBO$: 2,60 / 1,70 / 0,50 / 0,042 / 1,00.

Estos mismos autores destacan que la materia orgánica carbonácea de origen terrestre presenta una mayor relación estequiométrica molar ($DQO/COT=1,55$) que la correspondiente dada por Redfield y colaboradores (1963) para aguas marinas ($DQO/COT=1,30$).

Tabla 7.1.1
Relación estequiométrica de los distintos nutrientes con la DBO
(San Diego – Mc Glone et al. 1999)

	Categoría^a	N^b	R^c	CD^d (F test)
DQO/DBO	1	14	3,500	0,9750 (1%)
	2	10	2,300	0,8750 (1%)
	3	5	2,900	0,8648 (5%)
	4	24	2,300	0,9532 (1%)
	1,4	38	2,700	0,9707 (1%)
	1,2,3,4	53	2,600	0,9608 (1%)
NT/DBO	1	10	0,640	0,8807 (1%)
	4	23	0,440	0,9819 (1%)
	1,4	33	0,500	0,9698 (1%)
PT/DBO	1	18	0,200	0,7838 (1%)
	2	10	0,004	0,5493 (5%)
	4	30	0,038	0,9674 (1%)
	1,4	48	0,071	0,8764 (1%)
	1,2,3,4	62	0,042	0,7315 (1%)
COT/DBO	2	5	2,100	0,9758 (1%)
	4	5	1,400	0,9770 (1%)
	2,4	10	1,700	0,9888 (1%)
NTK//DBO	1,4	26	0,350	0,5741 (1%)
NH4/DBO	4	23	0,230	0,4601 (1%)
PO4/DBO	1	9	0,060	0,5586 (5%)
	4	14	0,040	0,8938 (1%)
	1,4	23	0,040	0,7543 (1%)

^a Categorías: 1= Agricultura animal y producción ganadera; 2= Industrias de alimentación, curtiembres, manufactura de madera, manufactura de papel; 3= Industrias químicas; 4= Servicios Sanitarios.

^b números de datos

^c relación estequiométrica molar

^dCD = coeficiente de determinación

7.2 DATOS DE DBO₅

7.2.1 Río de la Plata

La tabla 7.2.1 presenta los valores de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno obtenidos en la campaña de noviembre de 1989 correspondiente al programa de estudio de calidad de las aguas de la Franja Costera Sur (AGOSBA-OSN-SIHN 1992).

Tabla 7.2.1
*Demandas de Oxígeno en la Franja Costera Sur (mg O₂/l)
(AGOSBA-OSN-SIHN 1992)*

Estación			Noviembre 1989		
Nombre	Código	Distancia (m)	DBO ₅	DQO	DQO/DBO ₅
San Isidro	101	500	1,3	14,20	10,92
Palermo	201	500	3,5	4,20	1,20
Palermo	202	1500	0,9	3,30	3,67
Palermo	203	3000	2,6	4,20	1,62
Palermo	204	3000	0,7	11,70	16,71
Riachuelo	301	500	3,9	16,90	4,33
Riachuelo	302	1500	0,7	7,50	10,71
Riachuelo	303	3000	-	-	-
A° Sto Domingo	401	500	3,3	22,00	6,67
A° Sto Domingo	402	1500	1,4	10,00	7,14
A° Sto Domingo	403	3000	-	-	-
Bernal	501	500	10,4	17,00	1,63
Bernal	502	1500	2,7	17,00	6,30
Bernal	503	3000	0,8	23,00	28,75
Berazategui	601	500	11,1	30,00	2,70
Berazategui	602	1500	4,2	30,00	7,14
Berazategui	603	3000	1,8	30,00	16,67
Berazategui	604	3000	4,8	17,00	3,54
Punta Colorada	701	500	11,6	30,00	2,59
Punta Colorada	702	1500	1,6	17,00	10,63
Punta Colorada	703	3000	-	-	-
Punta Lara	801	500	0,5	30,00	60,00
Punta Lara	802	1500	1,9	11,00	5,79
Toma Azurix	901	500	5,3	11,70	2,21
Toma Azurix	902	1500	2,9	13,30	4,59
Toma Azurix	903	3000	4,7	32,00	6,81
Toma Azurix	904	4000	4,3	17,00	3,95
C. Bocas	1001	500	4,1	27,00	6,59
Berisso	1101	500	4,1	21,00	5,12
Berisso	1102	1500	3,7	17,20	4,65
Berisso	1103	3000	0,6	17,20	28,67
Tipo A	0		2,6	4,20	1,62
Tipo B	1200		1,4	21,00	15,00

Las figuras 7.2.1 y 7.2.2 presentan las distribuciones longitudinales de las demandas de oxígeno a distintas distancias a la costa.

A 500 m de la costa la DBO₅ presenta un promedio de 6,3 mg O₂/l, con una zona de máxima entre Bernal y Punta Colorada superior a 10 mg O₂/l. Luego la concentración

disminuye a 5,3 mg O₂/l en la Toma de Azurix coincidente con la disminución de DQO (12 mg O₂/l) y a 4 mg O₂/l en la estación 1101 (descarga de la colectora cloacal de La Plata).

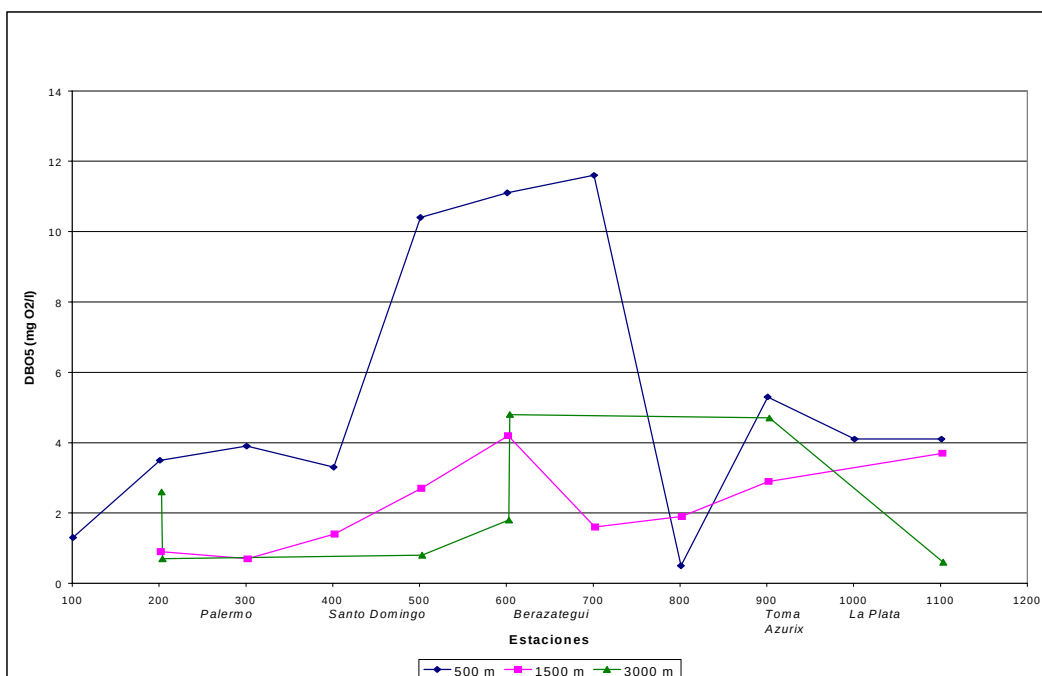


Figura 7.2.1 Distribución longitudinal de DBO₅ (mg O₂/l). Noviembre 1989

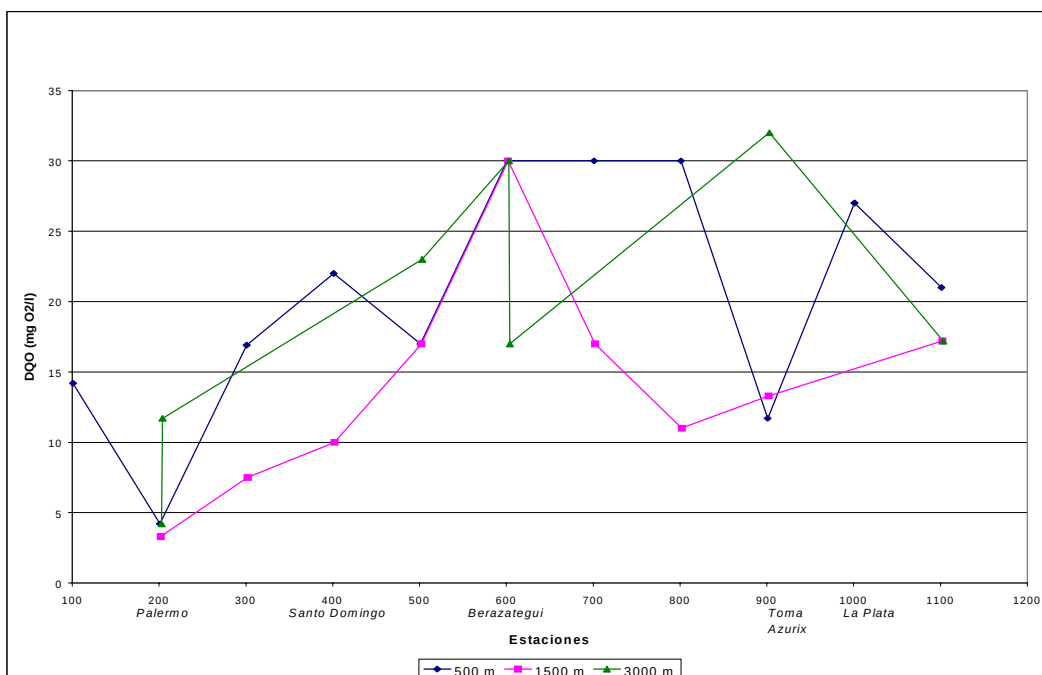


Figura 7.2.2 Distribución longitudinal de DQO (mg O₂/l). Noviembre 1989

A 1500 m de la costa la DBO₅ da un promedio de 2,2 mg O₂/l, con un máximo frente a Berazategui de 4,2 mg O₂/l. A lo largo de la franja costera sur la DBO₅ varía entre 1 y 4 mg O₂/l.

A 3000 m de la costa y a partir de la descarga de Berazategui se observa un incremento de la DBO₅ cuyos valores aumentan hacia el sur. Se justifican estos valores ya que, al estar el río en bajante, prevalece el flujo de agua hacia el sur de la descarga de la colectora cloacal máxima, con transporte de dicha carga a través de la canalización natural que se ubica entre los 3000 y 4000 m del punto de referencia.

A 500 m de la costa, la DQO tiene un valor promedio de 19,7 mg O₂/l, con una zona máxima en la desembocadura del Ao. San Antonio (22 mg O₂/l) que disminuye en Bernal (17 mg O₂/l) y luego se incrementa en Berazategui (30 mg O₂/l), manteniéndose constante hasta Punta Lara (30 mg O₂/l). Finalmente, desciende considerablemente en la Toma de Azurix (12 mg O₂/l).

A 1500 m de la costa la concentración mínima de DQO es de 3 mg O₂/l en Palermo con valores crecientes en los demás puntos hasta alcanzar un máximo en Berazategui (30 mg O₂/l), para ir descendiendo hasta alcanzar 11 mg O₂/l en Punta Lara, 13 mg O₂/l en la Toma de Azurix y 17 mg O₂/l en la colectora La Plata, dando un promedio de 16,44 mg O₂/l.

A 3000 m de la costa también se experimenta un incremento de la DQO a partir de la descarga de Berazategui, alcanzando un máximo de 32 mg O₂/l en la Toma de Azurix.

En las figuras 7.2.3 a 7.2.6 se detallan los valores de demanda bioquímica y química de oxígeno promedio de las campañas realizadas en los periodos 1992/93 y 1994/95 en el marco del mismo programa para la Franja Costera Sur (AGOSBA-SIHN-OSN 1997), los que se reproducen en la tabla 7.2.2. Las correspondientes distribuciones longitudinales de DBO₅ y DQO se muestran en las figuras 7.2.7 a 7.2.10.

Tabla 7.2.2
Demandas de Oxígeno en la Franja Costera Sur (mg O₂/l)
(AGOSBA-OSN-SIHN 1997)

Estación			1992/93			1994/95		
Nombre	Código	Distancia (m)	DBO₅	DQO	DQO/ DBO₅	DBO₅	DQO	DQO/ DBO₅
Estaciones de muestreo aisladas	00A	Canal Mitre km 27.5	1,2	11,00	9,17	2,0	-	-
	00B	3000(Magdalena)	-	-	-	-	-	-
	00C	10000(Boya San Agustín)	0,9	6,70	7,44	-	-	-
	1		1,0	28,00	28,00		-	-
San Fernando	101	Desembocadura Luján	1,6	12,00	7,50	1,9	16,00	8,42
San Isidro	110		-	-	-	2,5	17,00	6,80
San Isidro	111	500	-	-	-	1,0	14,00	14,00
San Isidro	112	1500	-	-	-	1,5	30,00	20,00

Estación			1992/93			1994/95		
Nombre	Código	Distancia (m)	DBO₅	DQO	DQO/ DBO₅	DBO₅	DQO	DQO/ DBO₅
San Isidro	119	10000	-	-	-	0,8	15,00	18,75
Olivos	150		-	-	-	4,3	17,00	3,95
Vicente López	171	500	-	-	-	2,3	17,00	7,39
Vicente López	172	1500	-	-	-	1,1	15,00	13,64
Vicente López	173	3000	-	-	-	0,9	10,00	11,11
Vicente López	175	5000	-	-	-	1,0	13,00	13,00
	2		-	18,00	-	-	-	-
Palermo	201	500	2,3	29,00	12,61	-	-	-
Palermo	202	1500	1,5	18,00	12,00	0,9	18,00	20,00
Palermo	203	3000	1,3	16,00	12,31	0,9	11,00	12,22
Palermo	205	5000	1,3	26,00	20,00	0,8	9,60	12,00
Palermo	207	Toma de agua a 1050 m	2,1	17,00	8,10	0,4	10,00	25,00
El Abanico	210		-	-	-	4,5	18,00	4,00
	3	Rio de la Plata	2,0	18,00	9,00	-	-	-
Riachuelo	301	500	3,4	39,00	11,47	2,3	17,00	7,39
Riachuelo	302	1500	2,3	10,00	4,35	2,3	25,00	10,87
Riachuelo	303	3000	0,9	8,00	8,89	1,3	20,00	15,38
Riachuelo	306	Desembocadura	4,1	17,00	4,15	3,3	24,00	7,27
Riachuelo	309	10000	-	-	-	1,3	18,00	13,85
Sarandí	353	3000	2,0	7,50	3,75	-	-	-
Sarandí	356	Desembocadura	130,0	360,00	2,77	-	-	-
	4		1,0	14,00	14,00	-	-	-
A° Sto Domingo	401	500	4,6	20,00	4,35	5,0	34,00	6,80
A° Sto Domingo	402	1500	3,2	10,00	3,13	3,1	20,00	6,45
A° Sto Domingo	403	3000	1,9	7,30	3,84	1,0	13,00	13,00
A° Sto Domingo	405	5000	-	-	-	1,3	8,60	6,62
A° Sto Domingo	406	Desembocadura	150,0	320,00	2,13	-	-	-
	5		1,0	12,00	12,00	-	-	-
Bernal	501	500	5,5	25,00	4,55	4,7	40,00	8,51
Bernal	502	1500	5,4	23,00	4,26	3,3	23,00	6,97
Bernal	503	3000	2,2	15,00	6,82	1,3	11,00	8,46
Bernal	504	4000	0,9	12,00	13,33	-	-	-
Bernal	505	5000	1,6	15,00	9,38	2,0	10,00	5,00
Bernal	507	Toma de agua a 2450m	1,2	11,00	9,17	1,7	10,00	5,88
	510		-	-	-	9,0	55,00	6,11
	551		6,1	-	-	-	22,00	-
	552		-	-	-	4,2	15,00	3,57
	553		-	-	-	0,9	14,00	15,56
	555		-	-	-	1,0	15,00	15,00
	559		-	-	-	1,4	9,40	6,71
Berazategui	601	500	9,3	57,00	6,13	6,6	26,00	3,94
Berazategui	602	2500	29,0	71,00	2,45	4,5	19,00	4,22
Berazategui	603	3000	4,7	44,00	9,36	0,9	15,00	16,67
Berazategui	605	5000	-	-	-	0,8	15,00	18,75
	661		6,0	26,00	4,33	-	-	-
Punta Colorada	701	500	5,6	28,00	5,00	4,8	19,00	3,96
Punta Colorada	702	1500	1,6	11,00	6,88	1,7	13,00	7,65

Estación			1992/93			1994/95		
Nombre	Código	Distancia (m)	DBO₅	DQO	DQO/ DBO₅	DBO₅	DQO	DQO/ DBO₅
Punta Colorada	703	3000	1,2	14,00	11,67	1,0	11,00	11,00
Punta Colorada	705	5000	-	-	-	3,0	14,00	4,67
Plátanos	710		-	-	-	7,0	9,00	1,29
Punta Lara	801	500	3,8	15,00	3,95	6,4	16,00	2,50
Punta Lara	802	1500	3,7	9,00	2,43	2,6	12,00	4,62
Punta Lara	803	3000	2,4	15,00	6,25	1,5	10,00	6,67
Punta Lara	805	5000	-	-	-	2,0	10,00	5,00
Punta Lara	850		-	-	-	3,0	33,00	11,00
El Arca	90		-	-	-	12,0	56,00	4,67
Toma Azurix	901	500	4,1	22,00	5,37	-	-	-
Toma Azurix	902	1500	3,8	21,00	5,53	4,5	16,00	3,56
Toma Azurix	903	3000	2,4	12,00	5,00	2,3	12,00	5,22
Toma Azurix	904	4000	1,3	14,00	10,77	1,7	13,00	7,65
Toma Azurix	905	5000	1,7	11,00	6,47	4,0	15,00	3,75
Toma Azurix	907	Toma canal	4,7	26,00	5,53	6,1	11,00	1,80
Toma Azurix	909	10000	-	-	-	1,1	11,00	10,00
910	910		0,6	-	-	1,0	-	-
Puerto La Plata	1001	500	-	-	-	1,0	10,00	10,00
Puerto La Plata	1002	1500	-	-	-	4,0	18,00	4,50
Puerto La Plata	1003	3000	-	-	-	1,0	10,00	10,00
Puerto La Plata	1005	5000	-	-	-	1,0	10,00	10,00
Berisso	1101	500	2,5	30,00	12,00	-	-	-
Berisso	1102	1500	2,2	16,00	7,27	-	-	-
Berisso	1103	3000	1,1	16,00	14,55	-	-	-
Berisso	1105	5000	-	-	-	5,0	13,00	2,60
Berisso	1109	10000	-	-	-	1,0	10,00	10,00
Balneario Gagliardi	1151	500	-	-	-	-	31,00	-
Balneario Gagliardi	1152	1500	-	-	-	2,2	20,00	9,09
Balneario Gagliardi	1153	3000	-	-	-	2,0	14,00	7,00
Balneario Gagliardi	1155	5000	-	-	-	2,0	14,00	7,00
Balneario Gagliardi	1159	10000	-	-	-	-	-	-
Punta Blanca	1201	500	2,6	30,00	11,54	-	-	-
Punta Blanca	1202	1500	2,1	24,00	11,43	1,0	10,00	10,00
Punta Blanca	1203	3000	2,5	26,00	10,40	1,0	10,00	10,00
Punta Blanca	1205	5000	-	-	-	3,0	12,00	4,00
Punta Blanca	1209	10000	-	-	-	1,0	10,00	10,00
Magdalena	1301	500	-	-	-	3,0	22,00	7,33
Magdalena	1303	3000	-	-	-	3,5	14,00	4,00
Magdalena	1309	10000	-	-	-	2,1	15,00	7,14

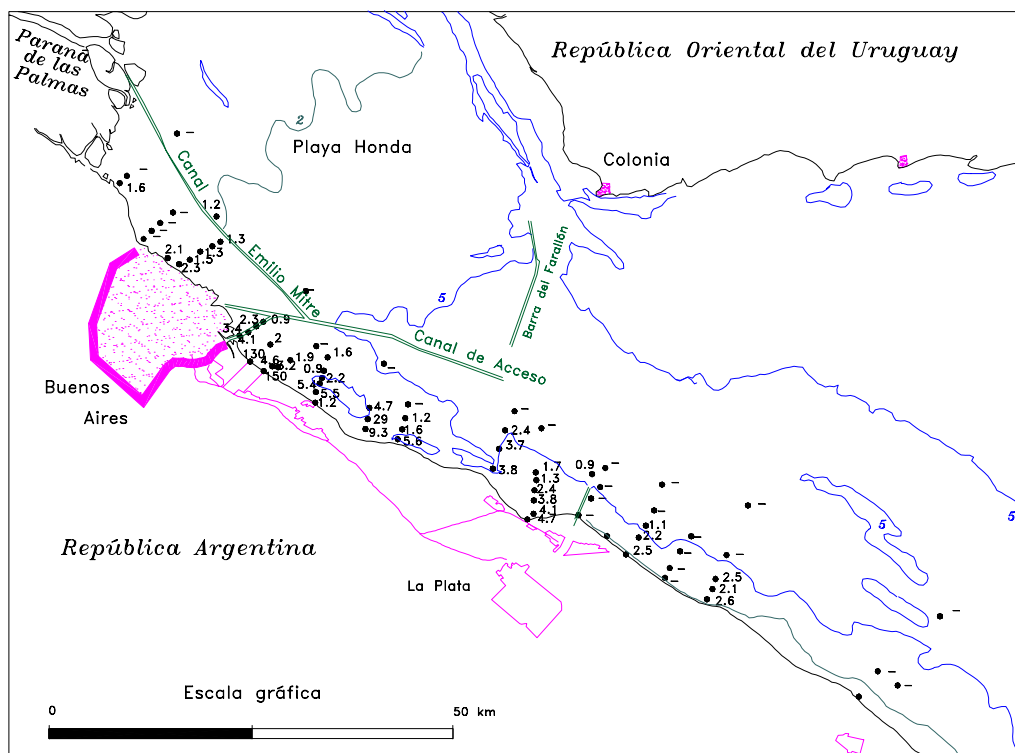


Figura 7.2.3 Datos de DBO_5 promedio ($mg\ O_2/l$) para el período 1992/93

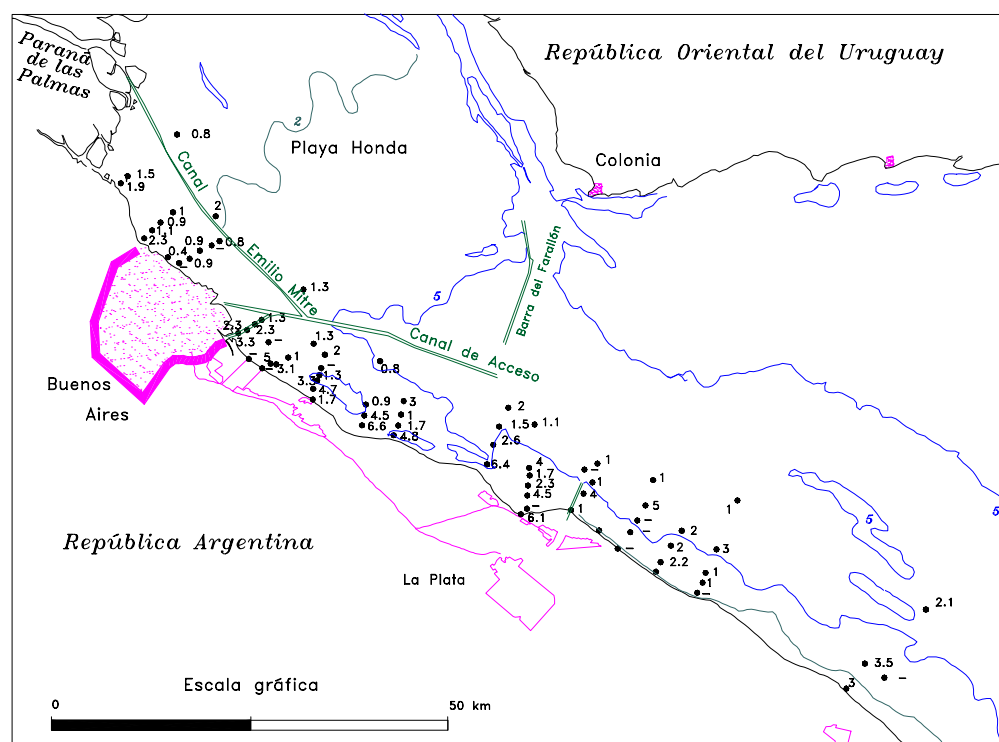


Figura 7.2.4 Datos de DBO_5 promedio ($mg\ O_2/l$) para el período 1994/95

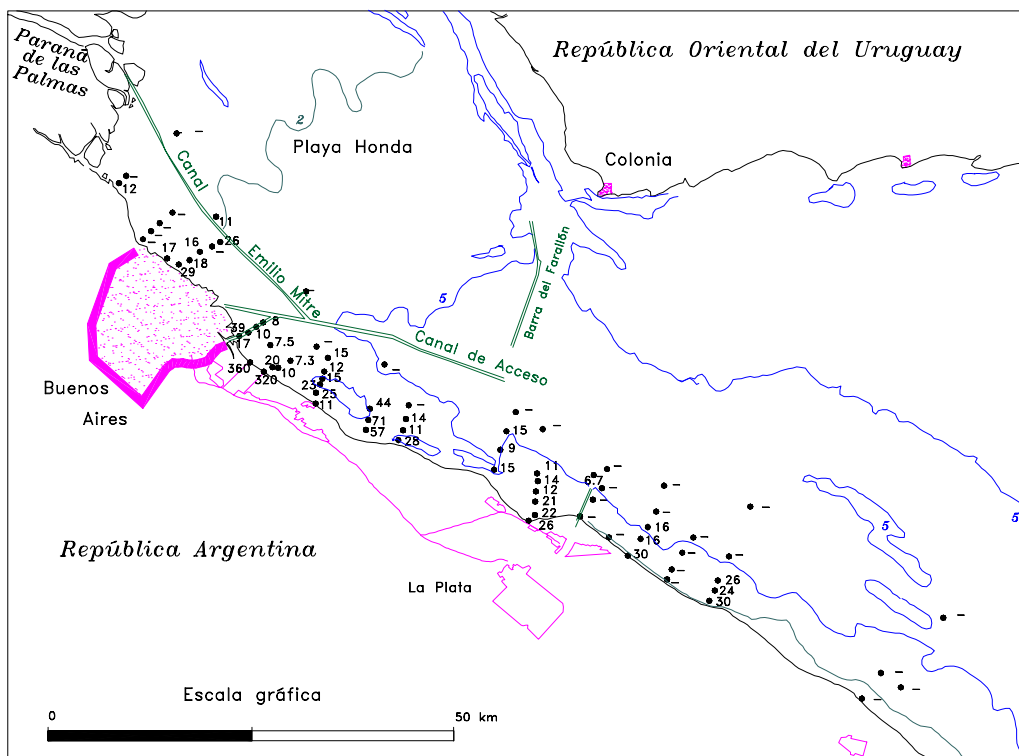


Figura 7.2.5 Datos de DQO promedio (mg O₂/l) para el período 1992/93

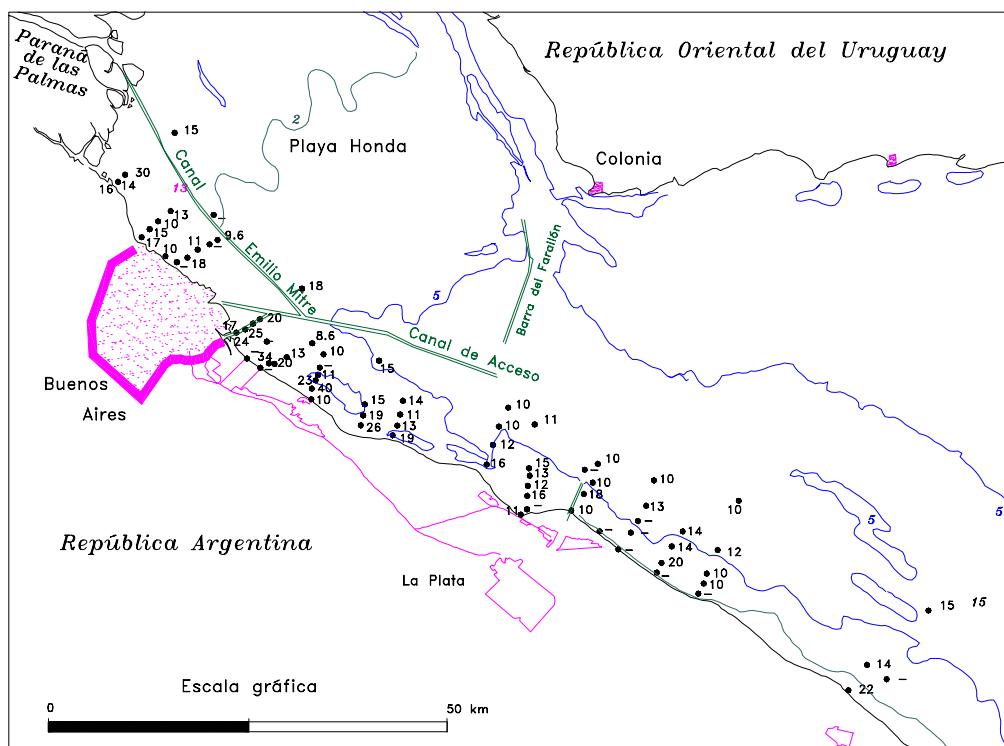


Figura 7.2.6 Datos de DQO promedio (mg O₂/l) para el período 1994/95

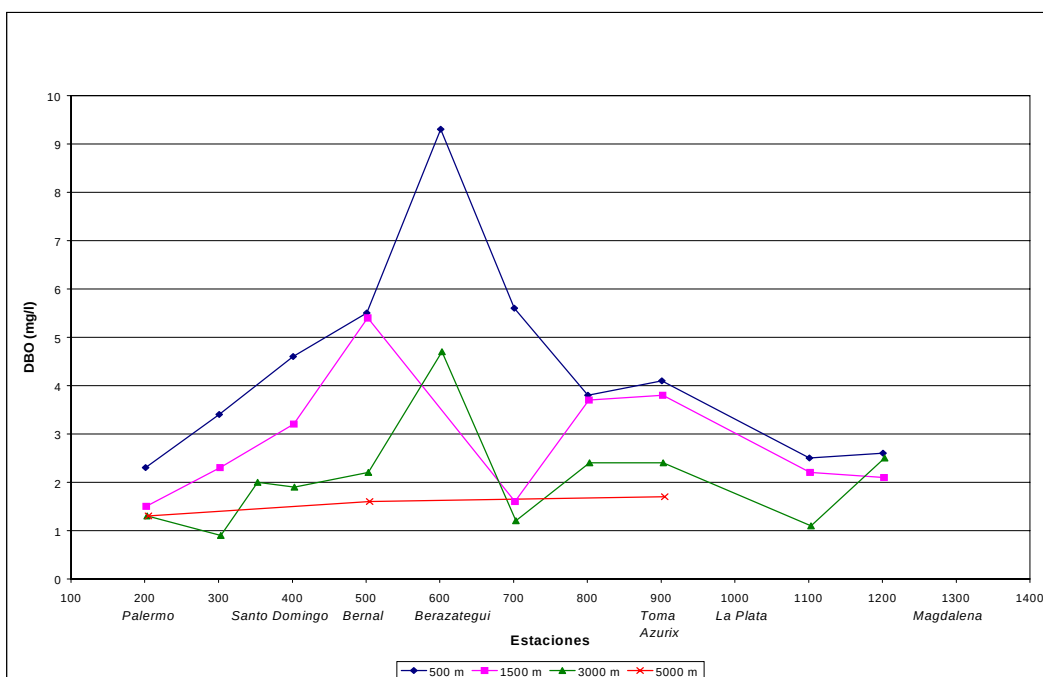


Figura 7.2.7 Distribución longitudinal de DBO_5 promedio ($mg\ O_2/l$) para el período 1992/93

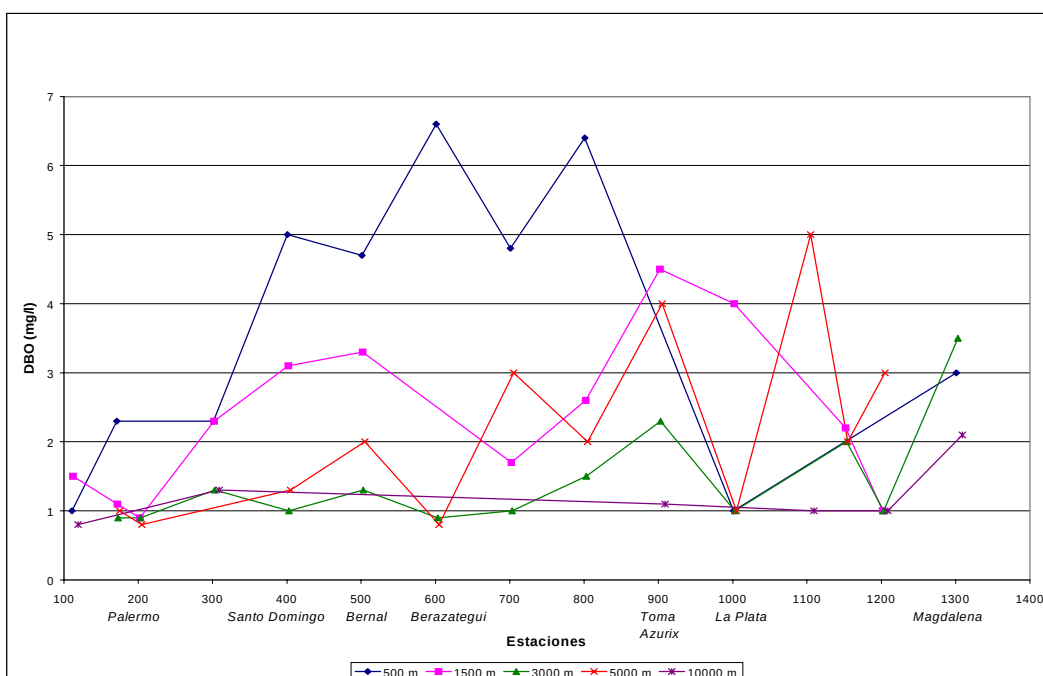


Figura 7.2.8 Distribución longitudinal de DBO_5 promedio ($mg\ O_2/l$) para el período 1994/95

La figura 7.2.7 evidencia que a 500 m de la costa la DBO₅ es creciente, desde valores cercanos a 2 mg O₂/l, hasta alcanzar el máximo frente a Berazategui (9,3 mg O₂/l) y nuevamente decreciente hacia el sur. A 1500 y 3000 m de la costa, nuevamente los máximos se presentan entre Bernal y Berazategui, y a 5000 m de la costa la DBO₅ se mantiene con valores del orden de 1,5 mg O₂/l. El valor medio para el período 1992/93 fue de 8,3 mg O₂/l (el valor máximo registrado fue de 67 mg O₂/l en la estación 602 y el mínimo de 0,3 mg O₂/l en las estaciones 1103 y 00C).

Para el período 1994/95 (figura 7.2.8) el valor medio fue de 2,7 mg O₂/l (con un máximo de 16 mg O₂/l en la estación 551 y un mínimo de 0,3 mg O₂/l en varias estaciones). En general no se observa una tendencia definida en la dirección longitudinal, ya que a 500 m los máximos de DBO₅ se presentan entre Berazategui y Punta Lara (6,6 mg O₂/l y 6,4 mg O₂/l, respectivamente), mientras que a distancias mayores de la costa la zona de máximos se desplaza hacia el sur. En cambio, se observa la disminución de los valores en la dirección transversal a la línea costera a mayor distancia de la costa. El promedio a 500 m es de 3,7 mg O₂/l y a 10000 m de 1,2 mg O₂/l. Se observa una fuerte influencia de la descarga cloacal en Berazategui y, en menor medida, de la descarga del Riachuelo y los arroyos Santo Domingo y Sarandí. Los datos de DBO₅ ponen en evidencia que el drenado en la zona de Berazategui y Berisso y en la zona de descarga del Riachuelo y los arroyos Sarandí y Santo Domingo, implica un aporte neto de materia orgánica al río.

La figura 7.2.9 presenta la distribución longitudinal de DQO a distintas distancias de la costa para el período 1992/93 y muestra la zona de máximos frente a Berazategui para las diferentes distancias a la costa. El valor medio para la DQO en este período fue de 33 mg O₂/l, con un valor máximo de 100 mg O₂/l en la estación 301 y un valor mínimo de 4 mg O₂/l en la estación 403 y en la 00C.

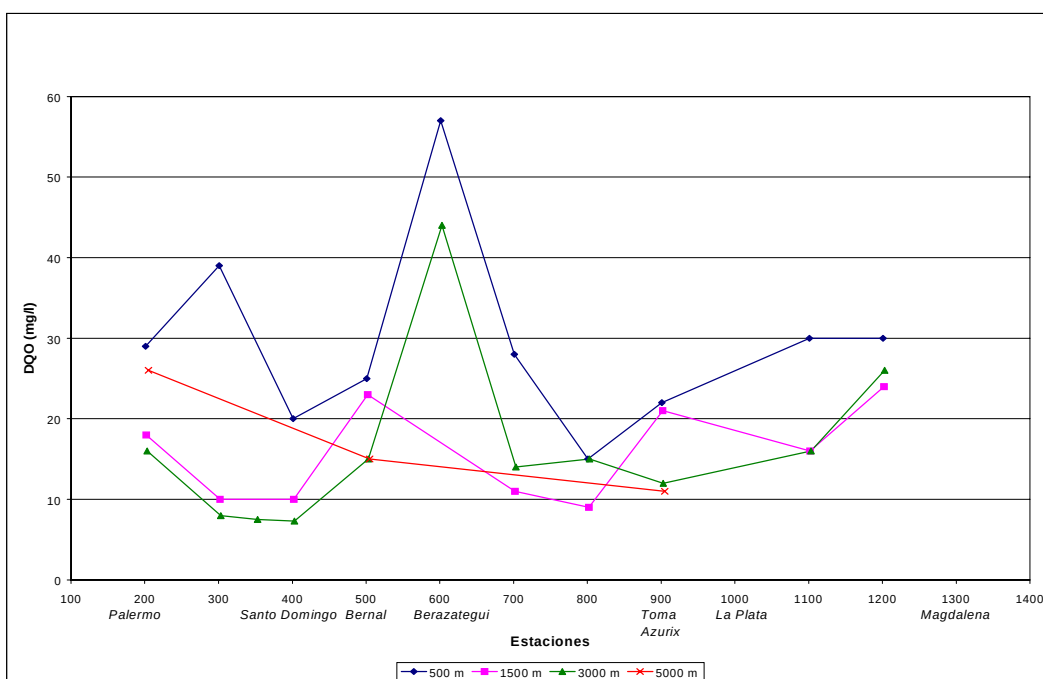


Figura 7.2.9 Distribución longitudinal de DQO promedio (mg O₂/l) para el período 1992/93

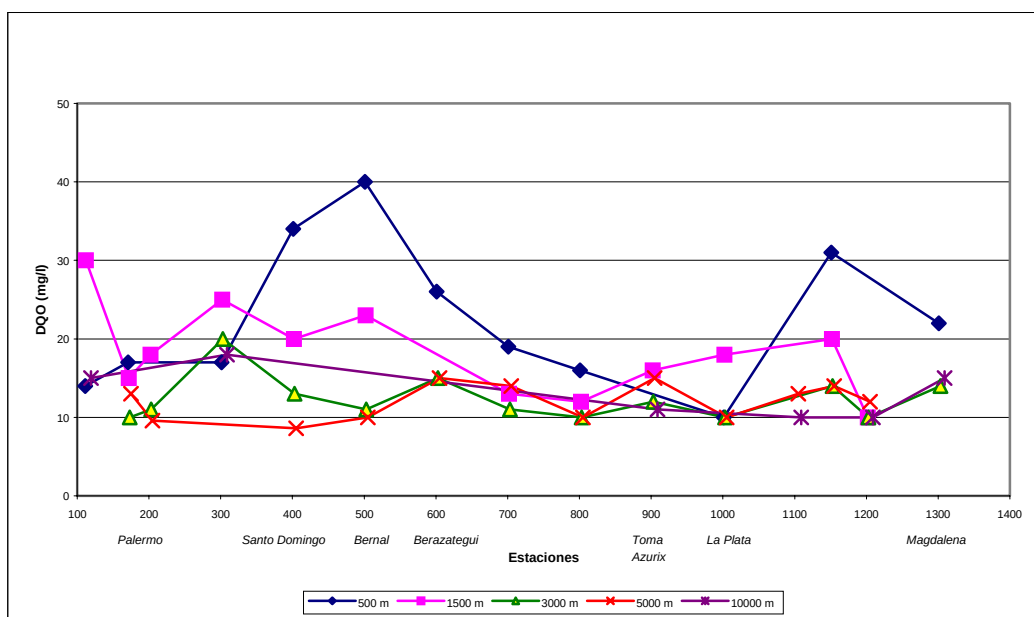


Figura 7.2.10 Distribución longitudinal de DQO promedio (mg O₂/l) para el período 1994/95

En las campañas del período 1994/95 el valor medio de DQO fue de 17 mg O₂/l, con un valor máximo de 170 mg O₂/l en la estación 501 y un valor mínimo de 4 mg O₂/l en las estaciones 909 y 703 (Toma de Azurix y Punta Colorada). Como se observa en la figura 7.2.10, en este período se verifica una alta perturbación para la DQO en la zona limitada al norte por el Riachuelo y al sur por Punta Colorada, zona donde se ubican las descargas más importantes al sistema.

En ambos períodos se observaron los valores de DQO más altos en la franja comprendida entre la línea costera y los 500 m, en especial en la zona de las descargas y su área de influencia. En general los valores de DQO son decrecientes a mayor distancia de la costa, llegando a niveles estables mínimos a partir de los 1500 m.

Los valores de demanda química de oxígeno (DQO) determinados en el Río de la Plata Interior durante las campañas realizadas los días 22 y 23 de septiembre y 22 y 23 de noviembre de 1982 por el SIHN y reportados por Quirós & Senone (1985) se presentan en la tabla 7.2.3. En las figuras 7.2.11 y 7.2.12 se reproducen las isolíneas de DQO presentadas en ese informe para ambas campañas, junto a los valores medidos en las estaciones de muestreo.

La figura 7.2.11 evidencia una tendencia de aumento de los niveles de DQO en la zona central y exterior del tramo con valores aún superiores en las estaciones con mayor influencia costera. Esto último se ve acrecentado para las estaciones en la margen argentina. En la segunda campaña los niveles son menores sobre la costa uruguaya, aumentando hacia el centro, la zona exterior y la costa argentina. La comparación entre ambas campañas permite visualizar que en la segunda los valores fueron mayores con respecto a los de la primera campaña, de manera similar a lo observado para el fósforo total.

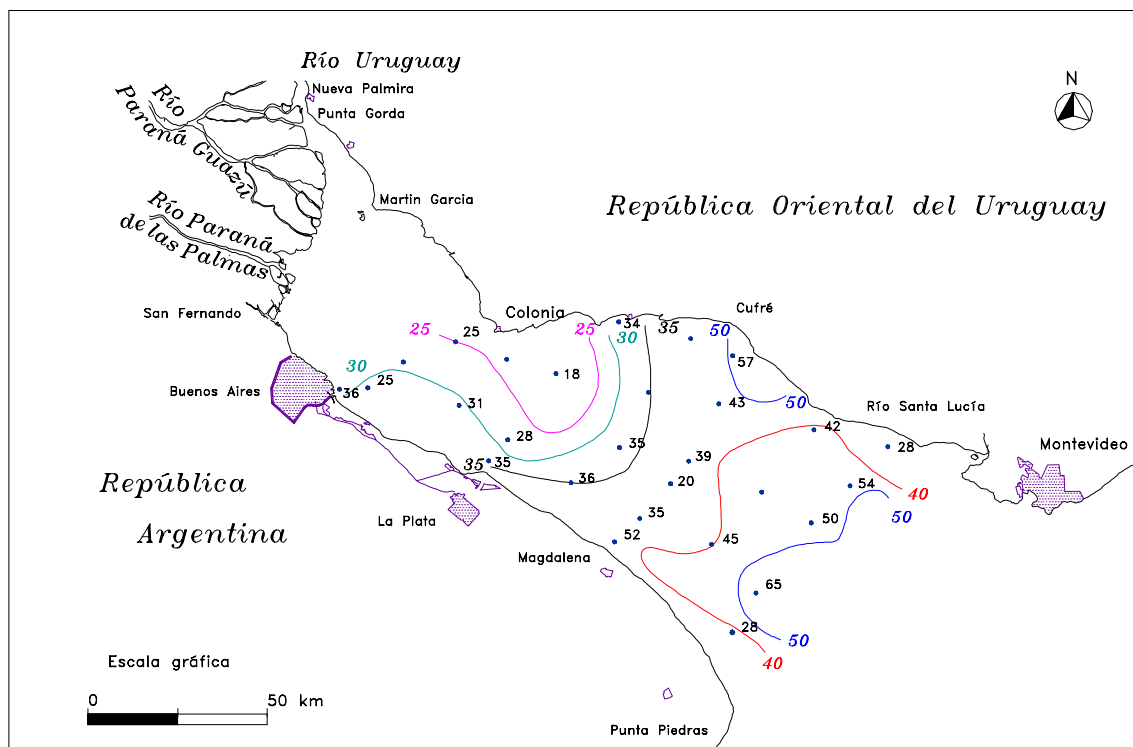


Figura 7.2.11 Datos de DQO (mg O₂/l). Septiembre 1982

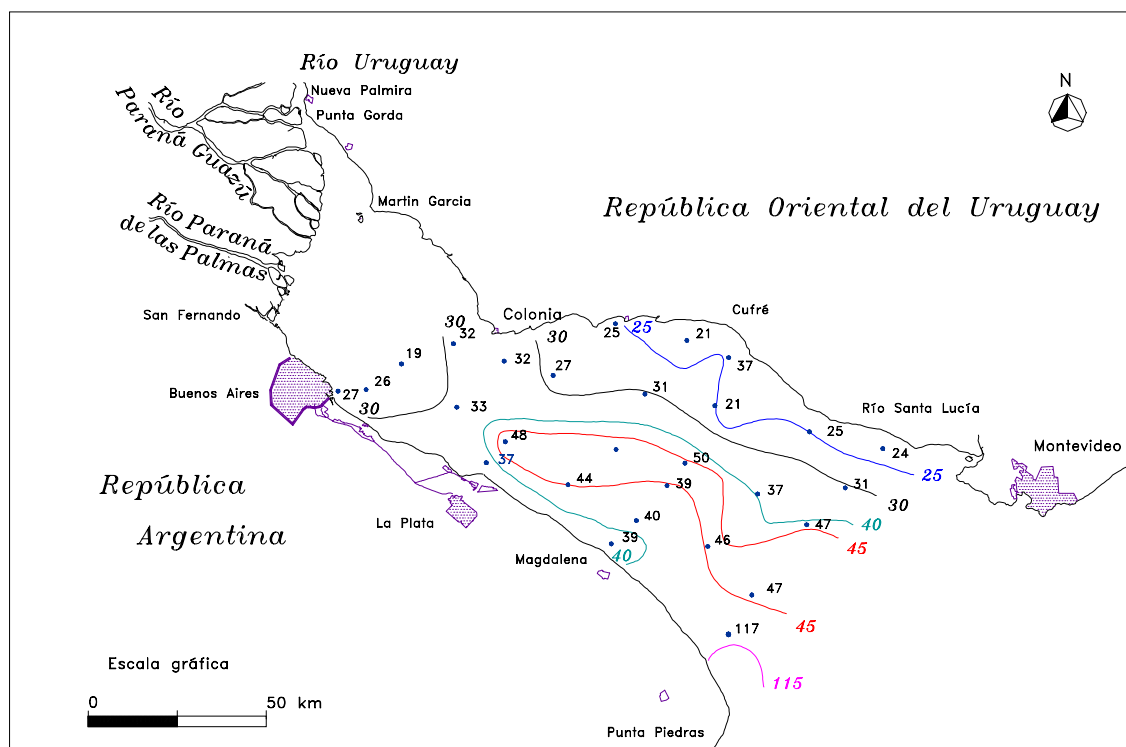


Figura 7.2.12 Datos de DQO (mg O₂/l). Noviembre 1982

Tabla 7.2.3
*Demanda Química de Oxígeno en el Río de la Plata Interior (mg O₂/l)
(Quirós & Senone 1985)*

Estación	Campaña Septiembre de 1982	Campaña Noviembre de 1982
400	28,00	117,00
410	65,00	47,00
420	50,00	47,00
430	54,00	31,00
440	28,00	24,00
450	42,00	25,00
460	-	37,00
480	45,00	46,00
500	52,00	39,00
505	35,00	40,00
510	20,00	39,00
520	39,00	50,00
530	43,00	21,00
540	57,00	37,00
550	35,00	-
560	36,00	44,00
570	-	31,00
580	-	21,00
600	35,00	37,00
610	28,00	48,00
620	18,00	27,00
630	34,00	25,00
700	36,00	27,00
710	25,00	26,00
720	32,00	19,00
730	25,00	32,00
740	31,00	33,00
750	-	32,00

7.2.2 Tributarios

Para caracterizar las demandas de oxígeno en el Río Uruguay se contó con datos de DBO₅ provenientes de 11 estaciones localizadas aguas arriba de la presa Salto Grande (figura 4.2.9), correspondientes al año 1991. Los valores reportados (CARU, 1991) se reproducen en la tabla 7.2.4.

Los estadísticos calculados para estas observaciones indican un valor medio de DBO₅ para el río de 1,2 mg O₂/l con una desviación standard de 0,24 mg O₂/l.

Tabla 7.2.4
*Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O₂/l) en el Río Uruguay
aguas arriba de la presa de Salto Grande (CARU 1991)*

Estación	DBO₅
Represa	0,7
Constitución	1,0
Belén	1,0
Mocoretá (Puente)	1,5
Mocoretá	1,3
Mandisoví	1,4
Gualeduaychú	1,0
Itapebí	1,1
Bella Unión (Monte Caseros)	1,0
Gualeduaycito (Cabecera)	1,2
Arapey	1,4

La tabla 7.2.5 reporta los valores de DBO₅ y DQO determinados para las campañas realizadas entre 1985 y 1994 por CARU en la estación Concepción del Uruguay del río Uruguay junto a los estadísticos calculados:

Tabla 7.2.5
*Demandas de Oxígeno (mg O₂/l) en el Río Uruguay
Estación Concepción del Uruguay (INA, SRNyDS 1999)*

Fecha	Campaña	Margen	DBO₅	DQO
09/03/87	1	centro sup.	5,0	10,00
08/03/88	1	derecha sup.	3,0	20,00
08/03/88	1	centro sup.	3,0	20,00
08/06/88	2	derecha sup.	7,0	20,00
08/06/88	2	centro sup.	5,0	20,00
15/09/88	4	derecha sup.	2,0	10,00
15/09/88	4	centro sup.	1,0	60,00
15/11/88	5	derecha sup.	1,0	37,00
15/11/88	5	centro sup.	1,0	-
15/03/89	1	derecha sup.	8,0	10,00
15/03/89	1	centro sup.	5,0	10,00
14/06/89	2	derecha sup.	5,0	10,00
14/06/89	2	centro sup.	4,0	17,00
04/10/89	3	derecha sup.	6,0	39,00
04/10/89	3	centro sup.	9,0	37,00
06/12/89	4	derecha sup.	1,0	10,00
06/12/89	4	centro sup.	1,0	10,00
15/06/94	27	derecha sup.	8,0	68,00
15/06/94	27	centro sup.	9,0	20,00

<i>Fecha</i>	<i>Campaña</i>	<i>Margen</i>	<i>DBO₅</i>	<i>DQO</i>
15/12/94	29	derecha sup.	3,0	15,00
15/12/94	29	centro sup.	6,0	30,00
Valor medio			4,4	23,00
Desv. Standard			2,75	17,79
Mínimo			1,0	10,00
Máximo			9,0	68,00

Entre junio y julio de 1976 el INCYTH realizó una serie de campañas de muestreo entre los kilómetros 111 y 90 del río Paraná de las Palmas con el propósito de determinar la incidencia de descargas residuales de la zona Zarate-Campana en la calidad de las aguas de ese río (INCYTH 1978). Durante esos muestreos, realizados en la época de bajante del río, se efectuaron, entre otras, determinaciones de demanda bioquímica de oxígeno, las que se reportan en la tabla 7.2.6.

Tabla 7.2.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O₂/l) en el Río Paraná de las Palmas (INCYTH 1978)

<i>Estación</i>	<i>Distancia a la costa (m)</i>	<i>Progresiva (km)</i>	<i>Medio</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
1	MD	111,00	0,7	0,2	0,9
	C		0,7	0,4	1,0
	MI		0,8	0,4	1,3
2	0	99,30	0,8	0,2	1,1
	20		0,8	0,5	1,0
	40		0,7	0,3	1,2
	60		0,7	0,5	1,2
4	0	98,90	0,9	0,5	1,4
	20		0,7	0,2	1,3
	40		0,8	0,6	1,1
	60		0,8	0,3	1,2
5	0	96,60	0,9	0,3	2,1
	20		0,9	0,5	1,1
	40		0,6	0,2	1,0
	60		0,6	0,3	1,1
7	0	95,80	0,8	-	1,2
	20		0,8	0,5	1,3
	40		0,7	0,4	1,2
	60		0,6	0,2	1,1
8	0	95,20	0,8	0,3	1,6
	20		0,8	0,1	1,3
	40		0,8	0,2	1,5
	60		0,7	0,1	1,1

Estación	Distancia a la costa (m)	Progresiva (km)	Medio	Mínimo	Máximo
10	0	94,80	1,7	0,4	3,8
	20		1,0	0,5	1,8
	40		0,9	0,3	1,5
	60		0,7	0,2	1,3
11	MD	90,00	0,8	0,3	1,7
	C		0,6	0,3	1,4
	MI		0,7	0,2	1,3

El valor medio calculado para el tramo es de 0,79 mg O₂/l con una desviación standard de 0,20 mg O₂/l.

7.2.3 Aportes marginales

El INA (1999) reportó una estadística de datos de calidad de agua para los períodos octubre 1982/septiembre 1983 y octubre 1983/septiembre 1984 para la estación semáforo del Riachuelo, que incluye valores de demanda bioquímica y química de oxígeno. Asimismo, se presentan datos de demanda bioquímica de oxígeno de las campañas de monitoreo realizadas en la estación Puente Pueyrredón durante 1999, con valores de mediana, máximo y mínimo de 38,00, 45,00 y 21,30 mg O₂/l, respectivamente. Los valores de demanda de oxígeno para esas dos estaciones se reproducen en las tablas 7.2.7, 7.2.8 y 7.2.9 respectivamente.

Tabla 7.2.7

*Demandas de Oxígeno del Riachuelo en la estación
Semáforo del Riachuelo (mg O₂/l) – Período Octubre 1982-Septiembre 1983
(INA, 1999)*

	Media	Máximo	Mínimo	Desviación Standard	Cantidad de datos
DBO₅	23,00	112,00	2,00	27,00	15,00
DBO₇	18,00	31,00	5,00	7,00	29,00
DQO	77,80	195,00	15,00	43,70	44,00

Tabla 7.2.8

*Demandas de Oxígeno del Riachuelo en la estación
Semáforo del Riachuelo (mg O₂/l) – Período Octubre 1983-Septiembre 1984
(INA, 1999)*

	Media	Máximo	Mínimo	Desviación Standard	Cantidad de datos
DBO₅	13,00	20,00	8,00	4,40	12,00
DBO₇	25,00	47,00	6,00	17,00	16,00
DQO	81,00	280,00	25,00	55,00	29,00

Tabla 7.2.9

Demanda Bioquímica de Oxígeno del Riachuelo en la estación

Puente Pueyrredón (mg O₂/l) – (INA, 1999)

Diciembre-Enero			Agosto			Septiembre			Octubre		
MI	C	MD	MI	C	MD	MI	C	MD	MI	C	MD
58,00	29,00	48,00	38,00	42,00	37,00	27,00	1,90	18,00	36,00	33,00	36,00

En la tabla 7.2.10 se indican los valores promedios de DBO₅ para las distintas descargas al Río de la Plata, monitoreadas en sus puntos de desembocadura durante un período de aproximadamente diez años por AGOSBA-OSN-SIHN (1992) con el objeto de evaluar las concentraciones que aportan las descargas y conductos más significativos al curso.

Tabla 7.2.10
*Valores de DBO₅ promedio en la desembocadura (mg O₂/l)
(AGOSBA - OSN – SIHN 1992)*

Descarga	DBO₅
Arroyo Medrano	60,00
Arroyo Vega	14,50
Arroyo White	46,00
Arroyo Maldonado	38,00
Arroyo Gauto	73,00
Arroyo Pavón	38,00
Rio Matanza-Riachuelo	26,20
Rio Reconquista	4,00
Rio Tigre	2,20
Canal Sarandí	179,00
Arroyo Santo Domingo	168,50
Arroyo San Francisco	187,00
Arroyo Las Piedras	130,00
Arroyo Gimenez	205,00
Canal San Juan	360,00
Arroyo las Conchitas	165,00
Arroyo Pereyra	7,00
Arroyo Carnaval	7,00
Arroyo Martin	25,00
Arroyo Rodriguez	16,00
Cañada La Andaluz	28,00
Canal Argentino	10,70
C. Acceso Pto. La Plata	6,20
Arroyo La Guardia	6,00

En los estudios realizados por Aguas Argentinas para el Plan de Saneamiento Integral (AA 1998) se proporciona información de valores máximos, mínimos y promedios de la concentración de DBO₅ de los aportes marginales al Río de la Plata desde la costa argentina para el período 1994 a 1997. Los valores medios, junto con el caudal líquido, se presentan en la tabla 7.2.11. En la tabla 7.2.12 se reproducen los valores máximo y mínimo de flujo de DBO₅ de las descargas.

Tabla 7.2.11
*Valores promedio de caudales y concentraciones históricos de DBO₅
descargados al Río de la Plata (1994-1997) – (AA 1998)*

Descarga	Nombre	Q (m³/s)	DBO (mg O₂/l)
D10	Luján	192,00	4,10
D20	Arca	0,53	115,63
D30	Orientales	0,29	51,10
D40	Perú	1,36	136,00
D50	Borges	0,84	146,80
D60	Villate	0,03	60,71
D70	Yrigoyen	0,12	45,10
D80	Medrano	1,98	48,25
D90	White	0,23	31,33
D100	Vega	0,23	104,60
D110	Maldonado	0,16	17,40
D120	Ugarteche	1,03	76,80
D125	Doble cond.	0,90	95,37
D130	Triple cond.	3,03	76,20
D140	C. Dep. la Boca	0,07	5,40
D150	Pte. Avellaneda	66,73	26,12
D160	C. Sarandí	5,67	119,40
D170	C. Santo Domingo	8,58	67,50
D180	C. Jimenez	1,06	84,88
D190	Desc. Berazategui	18,34	121,00
D200	Ao. Las Conchitas	1,34	93,89
D210	C. Carnaval	3,51	10,26
D220	Villa Elisa	7,16	4,38
D230	Ao. El gato	7,31	16,95
D240	C. Oeste	3,02	30,64
D250	C. Este	0,25	29,12
D260	Berisso	0,82	130,50

Tabla 7.2.12
*Valores máximos y mínimos históricos de caudales y flujo de DBO₅
descargados al Río de la Plata (1994-1997) – (AA 1998)*

Descarga	Nombre		Q (m3/s)	Flujo DBO (kg/h)
D10	Luján	Máximo	623,00	22428,00
		Mínimo	56,00	360,00
D20	Arca	Máximo	1,13	774,00
		Mínimo	0,17	37,00
D30	Orientales	Máximo	1,30	92,00
		Mínimo	0,07	3,00
D40	Perú	Máximo	4,80	4217,00
		Mínimo	0,06	14,00
D50	Borges	Máximo	2,82	1122,00
		Mínimo	0,08	30,00
D60	Villate	Máximo	0,13	14,00
		Mínimo	0,01	2,00
D70	Irigoyen	Máximo	0,32	52,20
		Mínimo	0,04	3,90
D80	Medrano	Máximo	9,42	10,85
		Mínimo	0,22	69,00
D90	White	Máximo	0,39	9,00
		Mínimo	0,01	0,14
D100	Vega	Máximo	0,43	139,00
		Mínimo	0,03	10,00
D110	Maldonado	Máximo	0,32	18,00
		Mínimo	0,02	2,00
D120	Ugarteche	Máximo	2,56	608,00
		Mínimo	0,29	20,00
D125	Doble cond.	Máximo	1,55	998,00
		Mínimo	0,16	36,00
D130	Triple cond.	Máximo	6,00	2079,00
		Mínimo	0,38	48,00
D140	C. Dep. La Boca	Máximo	0,10	2,19
		Mínimo	0,05	0,73
D150	Pte. Avellaneda	Máximo	173,00	11664,00
		Mínimo	6,00	108,00
D160	C. Sarandí	Máximo	22,00	9642,00
		Mínimo	0,25	131,00
D170	C. Santo Domingo	Máximo	27,50	7089,00
		Mínimo	0,50	81,00
D180	C. Jimenez	Máximo	3,06	968,00
		Mínimo	0,33	30,00
D190	Desc. Berazategui	Máximo	26,83	11986,00
		Mínimo	11,92	5488,00
D200	Ao. Las Conchitas	Máximo	4,20	950,54
		Mínimo	0,54	52,92

Descarga	Nombre		Q (m³/s)	Flujo DBO (kg/h)
D210	C. Carnaval	Máximo	4,98	166,61
		Mínimo	2,01	92,92
D220	Villa Elisa	Máximo	17,02	159,59
		Mínimo	3,67	66,06
D230	Ao. El gato	Máximo	12,77	735,44
		Mínimo	1,53	54,66
D240	C. Oeste	Máximo	6,06	831,06
		Mínimo	1,03	85,32
D250	C. Este	Máximo	1,34	96,70
		Mínimo	0,02	2,74
D260	Berisso	Máximo	1,11	619,38
		Mínimo	0,44	55,44

7.3 MODELACION MATEMATICA

7.3.1 Construcción de un escenario de trabajo

7.3.1.1 Distribución de demanda bioquímica de oxígeno

En las figuras 7.3.1 y 7.3.2 se muestran las líneas de isoconcentración de demanda bioquímica de oxígeno promedio para la franja costera argentina para los períodos 1992/93 y 1994/95, construidas en base a los datos presentados en las figuras 7.2.3 y 7.2.4. Se observa que los dos patrones son consistentes entre sí cualitativa y cuantitativamente, aunque se producen algunas diferencias locales apreciables, como en la zona al sur de la localidad de Berisso en la que los valores medios para el período 1994/95 exceden sensiblemente los del período anterior.

Las figuras 7.3.3 y 7.3.4 muestran las distribuciones de DQO construídas para ambos períodos. Aún cuando el patrón es similar entre ambas en términos cualitativos, los valores de 1994/95 son mayores en toda la franja costera.

Para ninguna de las dos demandas se cuenta con datos en el período 1992/93 en las estaciones que limitan la franja costera frente a Magdalena, por lo que las isolíneas dibujadas en el último segmento del corredor Palmas son una extrapolación.

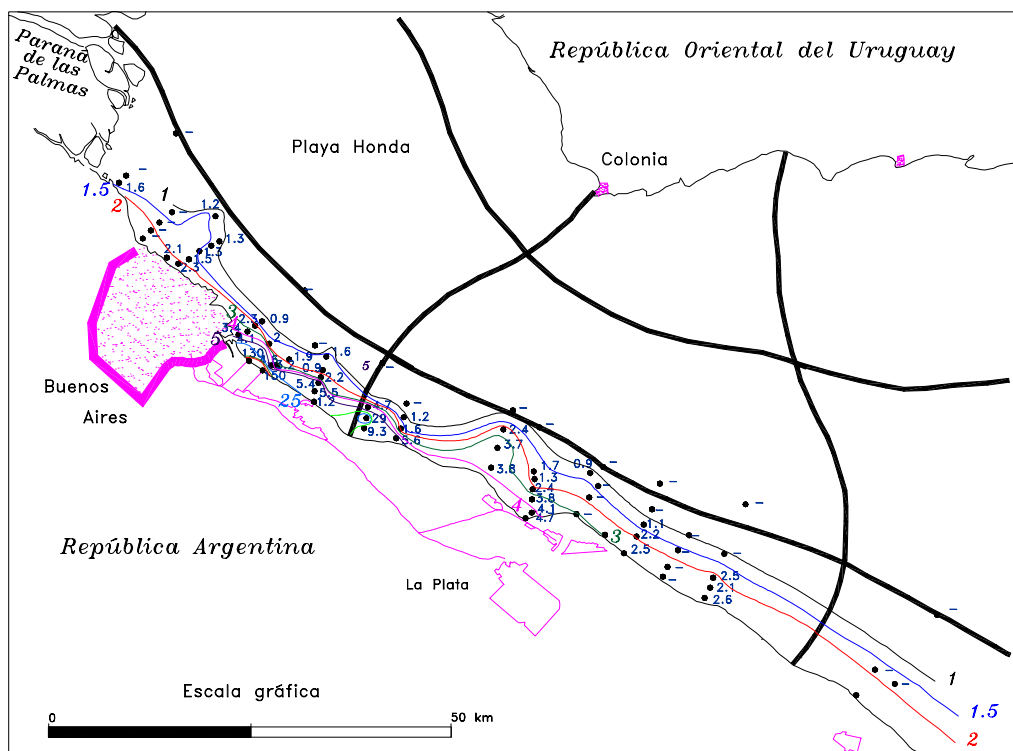


Figura 7.3.1 Líneas de isoconcentración de DBO₅ promedio (mg O₂/l) para el período 1992/93

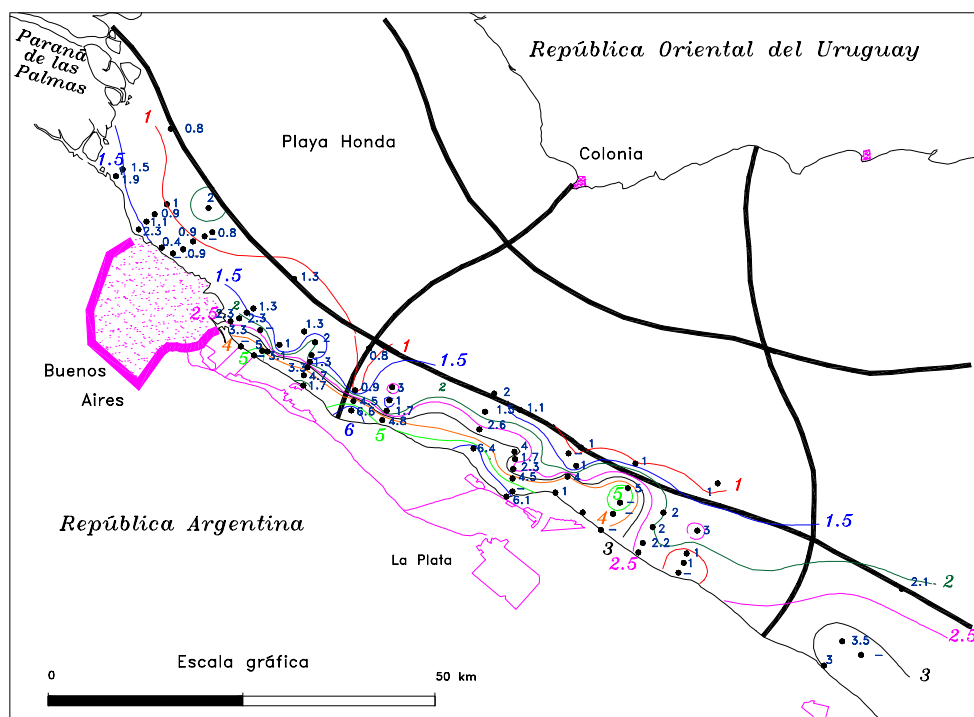


Figura 7.3.2 Líneas de isoconcentración de DBO₅ promedio (mg O₂/l) para el período 1994/95

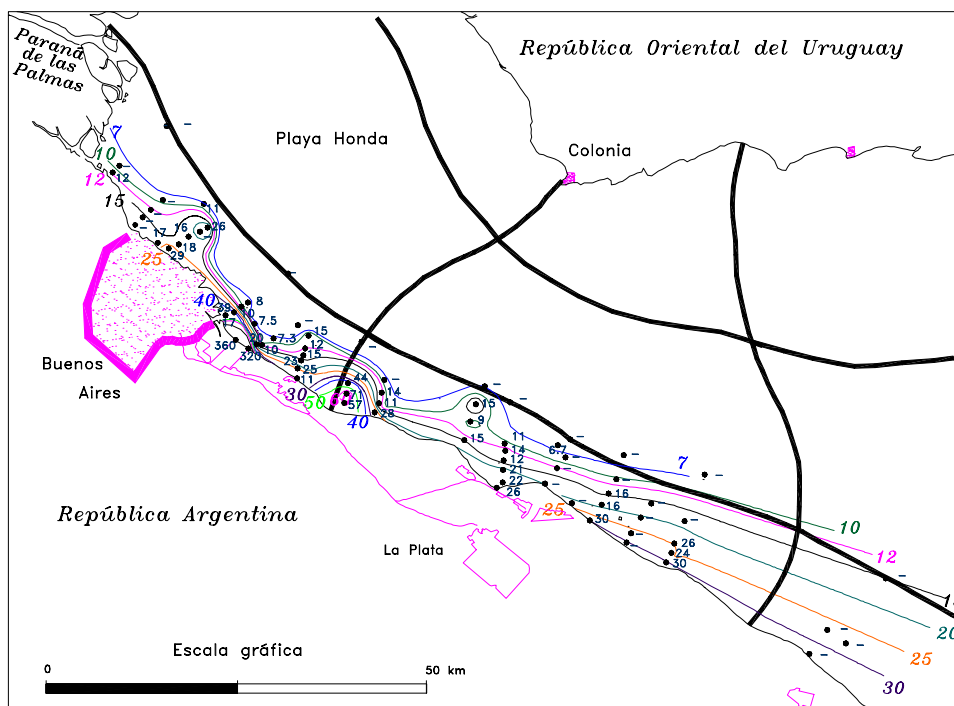


Figura 7.3.3 Líneas de isoconcentración de DQO promedio ($\text{mg O}_2/\text{l}$) para el período 1992/93

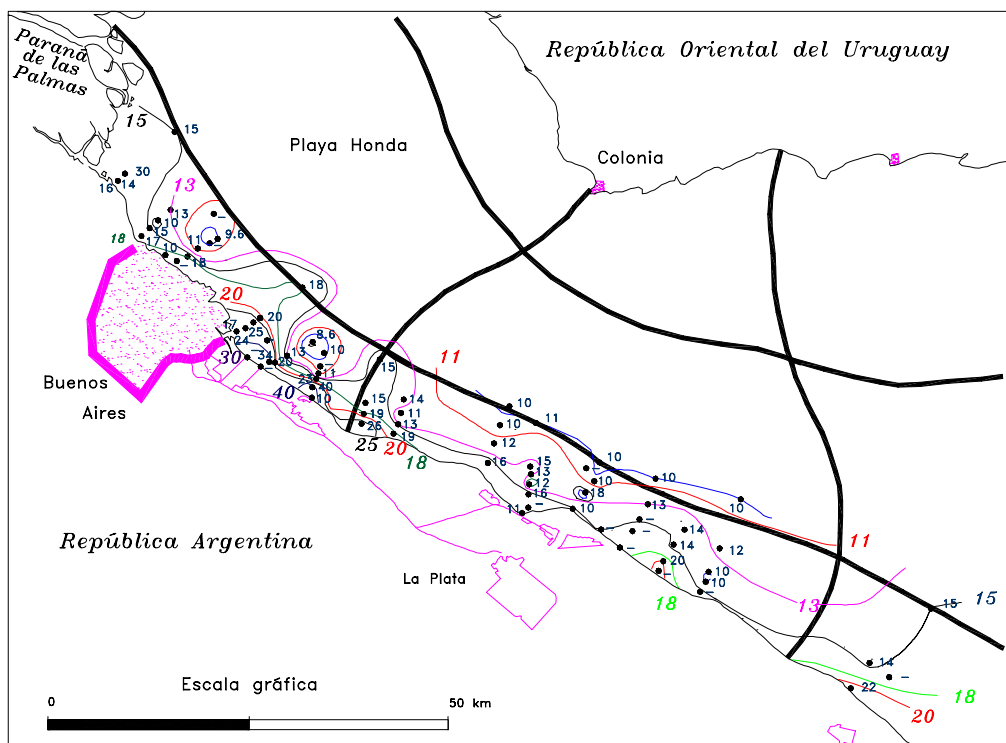


Figura 7.3.4 Líneas de isoconcentración de DQO promedio ($\text{mg O}_2/\text{l}$) para el período 1994/95

Aún con las diferencias mencionadas, las líneas de isoconcentración de DQO trazadas, así como las distribuciones longitudinales presentadas en las figuras 7.2.9 y 7.2.10, evidencian que aproximadamente entre los 5000 y 10000 m de la costa se alcanzan niveles de DQO entre 10 y 15 mg O₂/l, que deberían ser comparables a los valores de esta demanda en el cauce principal del río.

Sin embargo, como fue señalado en el párrafo 7.2 los únicos datos disponibles de DQO en el Río de la Plata Interior son los reportados por Quirós y Senone (1985) para las 2 campañas realizadas en 1982. Ambas evidencian un gran desacuerdo con los valores promedio de la franja costera en las posiciones de medición comunes, así como en la proyección de los valores de la franja hacia el interior del río. Por esta razón se planteó la realización del balance de demanda de oxígeno sólo en los segmentos de la franja costera, donde se asume que la información reportada es más confiable, eligiéndose como parámetro la DBO₅ para los dos escenarios de trabajo definidos por los períodos de muestreo 1992/93 y 1994/95.

Utilizando las distribuciones obtenidas y sopesando los valores de DBO₅ con el área comprendida entre curvas, se obtuvieron los valores medios sobre cada segmento de la franja costera mostrados en la figura 7.3.5. Los valores asignados al segmento # 7 deben considerarse solamente como estimaciones groseras ya que, como fue mencionado con anterioridad, la información disponible es insuficiente para caracterizar la concentración media del segmento.

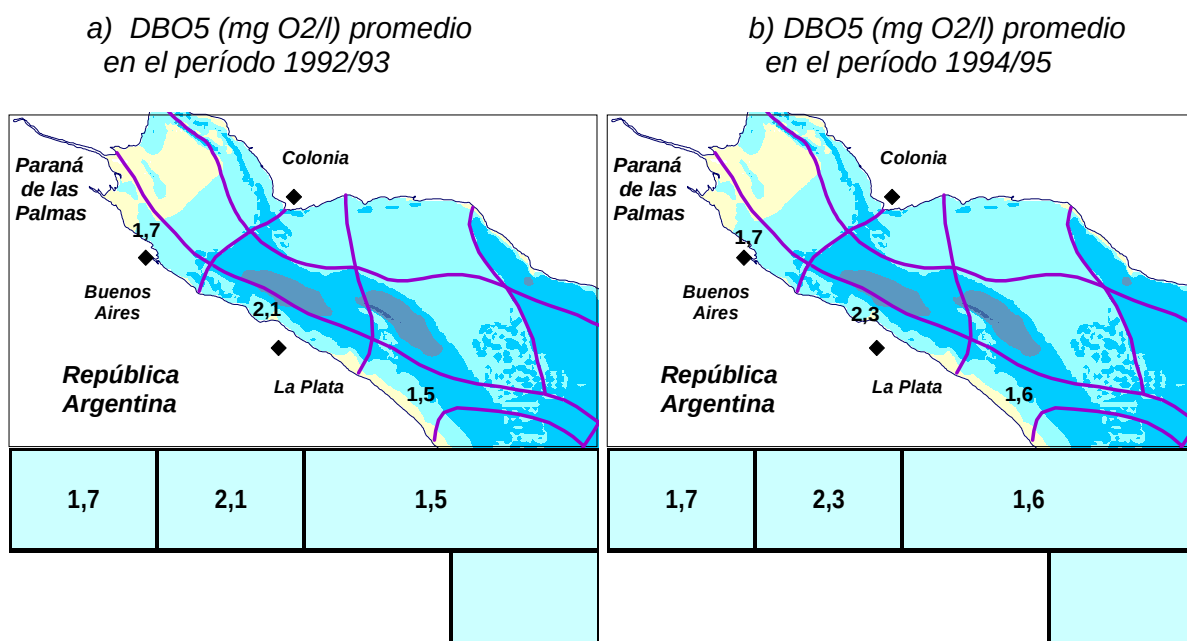


Figura 7.3.5 Concentraciones medias de DBO₅ (mg O₂/l) en los segmentos

7.3.1.2 Aporte del tributario

Al restringir el área sobre la que se efectuará el balance de DBO₅ a la franja costera sur del río, el único aporte a ser considerado resulta ser la carga aportada por el río Paraná

de las Palmas. Tal como se comentó en la sección anterior, los datos disponibles para este río, detallados en la tabla 7.2.6, definen un aporte medio de 0,8 mg O₂/l que se asumió como representativo de las condiciones medias.

7.3.1.3 Aportes marginales

En la tabla 7.2.11 se presentó el detalle de los caudales y concentraciones de DBO₅ medios de los tributarios marginales, de acuerdo a lo reportado por Aguas Argentinas (AA, 1998). De allí surge que los caudales medios totales que se aportan a los dos segmentos adyacentes a la costa argentina son:

- o Segmento # 1: 285 m³/s
- o Segmento # 4: 42 m³/s

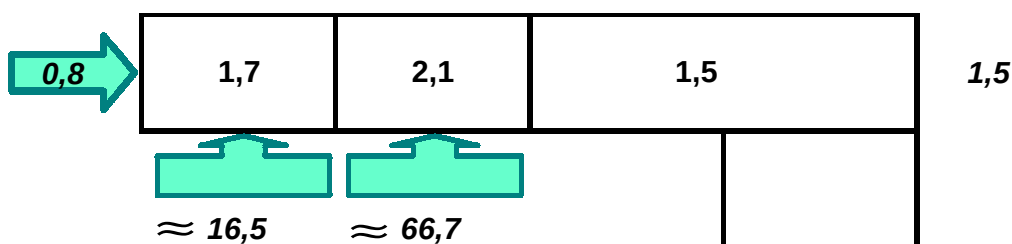
correspondientes a los siguientes valores medios de concentración de DBO₅ sobre la margen argentina:

- o Segmento # 1: 16,5 mg O₂/l
- o Segmento # 4: 66,2 mg O₂/l

7.3.1.4 Escenarios de trabajo

La información generada en las secciones precedentes puede resumirse en los esquemas mostrados en la figura 7.3.6.

a) DBO₅ (mg O₂/l) promedio en el período 1992/93



b) DBO₅ (mg O₂/l) promedio en el período 1994/95

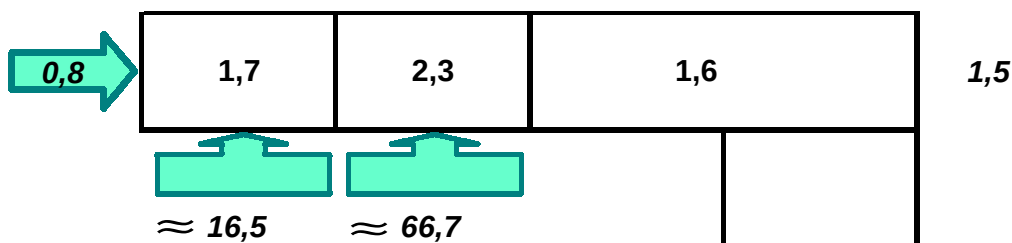


Figura 7.3.6 Escenarios de trabajo para la DBO₅

7.3.2 Calibración

La calibración del modelo de balance para la demanda bioquímica de oxígeno en la franja costera del Río de la Plata implica determinar los valores de los siguientes parámetros:

- ❑ La constante de desoxigenación, suponiendo que es una reacción de primer orden.
- ❑ Las concentraciones medias de los aportes marginales desde la costa argentina.

De la experimentación con el modelo surgió un valor de la constante de desoxigenación de 0,030 1/d. Este coeficiente, que tiene en cuenta el decaimiento que se produce por la biodegradación de la carga orgánica en el agua, se supone constante. Su valor resultó algo inferior al utilizado por Aguas Argentinas (AA 1998) de 0,033 1/d en la modelación localizada de las descargas.

Para completar el ajuste fue necesario incorporar los siguientes aportes marginales:

Período 1992/93

- o Descarga en segmento # 1: $450 \times 10^3 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$
- o Descarga en segmento # 4: $330 \times 10^3 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$

Período 1994/95

- o Descarga en segmento # 1: $410 \times 10^3 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$
- o Descarga en segmento # 4: $400 \times 10^3 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$

Utilizando los caudales conocidos sobre la costa argentina surge:

Período 1992/93

- o Concentración de DBO_5 desde costa argentina, segmento # 1: $18,3 \text{ mg O}_2/\text{l}$
- o Concentración de DBO_5 desde costa argentina, segmento # 4: $90,9 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Período 1994/95

- o Concentración de DBO_5 desde costa argentina, segmento # 1: $18,3 \text{ mg O}_2/\text{l}$
- o Concentración de DBO_5 desde costa argentina, segmento # 4: $110,2 \text{ mg O}_2/\text{l}$

Las concentraciones medias de DBO_5 sobre los segmentos # 1 y # 4 resultan del orden de los valores que surgen de las mediciones ($16,5$ y $66,2 \text{ mg O}_2/\text{l}$, respectivamente) para ambos períodos.

Los resultados de la calibración de DBO_5 se sintetizan en la figuras 7.3.7 y 7.3.8.

Utilizando la relación estequiométrica de la tabla 7.1.1 (San Diego-Mc.Glove, 1999) entre carbono orgánico total y demanda bioquímica de oxígeno para industrias de alimentación, curtiembres, manufactura de madera y papel y servicios sanitarios:

$$\text{COT}/\text{DBO}_{2,4} = 1,7$$

es posible estimar los aportes marginales en términos de carbono orgánico total:

Período 1992/93

- o Descarga en segmento # 1: $765 \times 10^3 \text{ kg COT/d}$
- o Descarga en segmento # 4: $561 \times 10^3 \text{ kg COT/d}$

Período 1994/95

- o Descarga en segmento # 1: $765 \times 10^3 \text{ kg COT/d}$
- o Descarga en segmento # 4: $680 \times 10^3 \text{ kg COT/d}$

y utilizando los caudales medios de las descargas sobre la costa argentina resultan los siguientes valores de concentración media de carbono orgánico total :

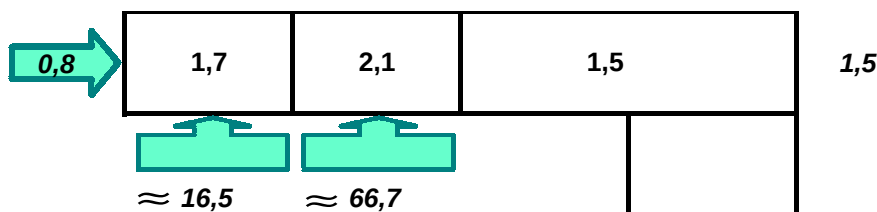
Período 1992/93

- o Concentración de COT desde costa argentina, segmento # 1: $31,1 \text{ mg /l}$
- o Concentración de COT desde costa argentina, segmento # 4: $154,5 \text{ mg /l}$

Período 1994/95

- o Concentración de COT desde costa argentina, segmento # 1: $31,1 \text{ mg /l}$
- o Concentración de COT desde costa argentina, segmento # 4: $187,3 \text{ mg /l}$

a) Escenario construido a partir de mediciones



a) Escenario construido a partir del modelo WASP5

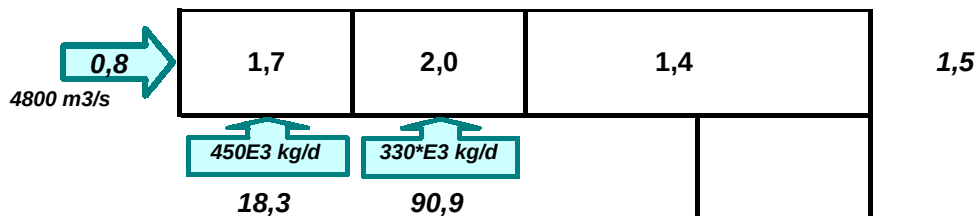
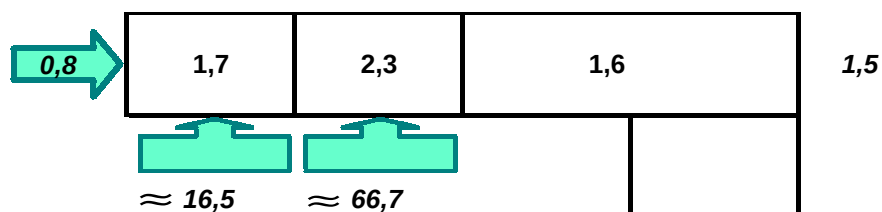


Figura 7.3.7 Resultados de la calibración del modelo WASP5 para el escenario de trabajo de DBO₅ (mg O₂/l). Período 1992/93

a) Escenario construido a partir de mediciones



a) Escenario construido a partir del modelo WASP5

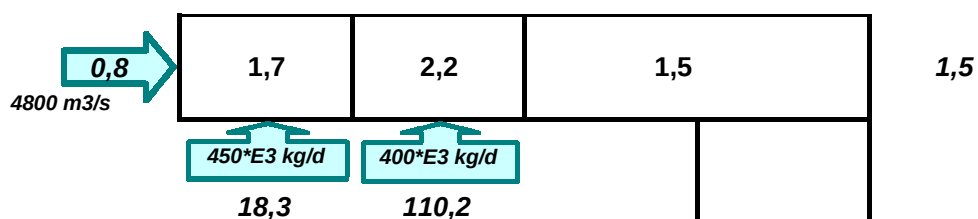


Figura 7.3.8 Resultados de la calibración del modelo WASP5 para el escenario de trabajo de DBO_5 ($mg\ O_2/l$). Período 1994/95

8 VINCULACIÓN DE LOS FLUJOS DE NUTRIENTES CON EL ESTADO TRÓFICO DEL RÍO DE LA PLATA INTERIOR

8.1 PROCESOS Y ECUACIONES DEL MODELO WASP5

El desarrollo del fitoplancton en el cuerpo de agua depende de la disponibilidad de nutrientes asimilables (C, P, N, Si) y de la radiación solar. El zooplancton a su vez, a través de la tasa de consumo del fitoplancton, regula el desarrollo fitoplanctónico. La penetración de la radiación solar fotosintetizadora es, por otra parte limitada por la concentración de material particulado.

Los procesos de balance de masa correspondientes a los ciclos del carbono orgánico, oxígeno, nitrógeno y fósforo relacionados con la eutroficación del cuerpo de agua se encuentran en la subrutina *EUTRO* del modelo matemático *WASP5*. A los efectos de identificarlos se presentan a continuación las ecuaciones conceptuales correspondientes a los balances de masa en unidades de volumen del sistema:

a) *Ciclo del carbono orgánico (DBO) y del oxígeno disuelto (OD):*

a.1) *DBO:*

Variación temporal de la masa de DBO = ***DBO transportada – oxidación de la DBO + DBO de plancton muerto - DBO sedimentada – DBO consumido en la desnitrificación + descargas directas de DBO al sistema***

a.2) *OD:*

Variación temporal de la masa de OD = ***OD transportado + reaireación del sistema – oxidación de la DBO – nitrificación del N-NH₄ – demanda béntica – respiración del plancton + crecimiento del fitoplancton + descargas directas de OD al sistema***

b) *Ciclo del fósforo (P):*

b.1) *Fósforo del fitoplancton (PF) :*

Variación temporal de la masa de PF = ***PF transportado + PF por crecimiento del fitoplancton – PF por muerte del fitoplancton – sedimentación del PF + descargas directas de PF al sistema***

b.2) *Fósforo orgánico (PO) :*

Variación temporal de la masa de PO = ***PO transportado + PO por muerte del plancton – mineralización del PO – sedimentación del PO + descargas directas de PO al sistema***

b.3) Fósforo de ortofosfato ($P-PO_4$) :

Variación temporal de la masa de $P-PO_4$ = **$P-PO_4$ transportado** + mineralización del POT – $P-PO_4$ para el crecimiento del fitoplancton + $P-PO_4$ por muerte del plancton + **descargas directas de $P-PO_4$ al sistema**

c) Ciclo del nitrógeno (N):

c.1) Nitrógeno fitoplanctónico (NF) :

Variación temporal de la masa de NF = NF transportado + NF por crecimiento del fitoplancton – NF por muerte del fitoplancton – sedimentación del NF + descargas directas de NF al sistema

c.2) Nitrógeno orgánico total (NOT):

Variación temporal de la masa de NOT = **NOT transportado** + NOT por muerte del plancton – mineralización del NOT + sedimentación del NOT + **descargas directas de NOT al sistema**

c.3) Nitrógeno amoniacal ($N-NH_4$) :

Variación temporal de la masa de $N-NH_4$ = **$N-NH_4$ transportado** + $N-NH_4$ por muerte del plancton + mineralización del NOT – $N-NH_4$ para el crecimiento del plancton – nitrificación del $N-NH_4$ + **descargas directas de $N-NH_4$ al sistema**

c.4) Nitrógeno de nitrato y nitrito ($N-NO_3$):

Variación temporal de la masa de $N-NO_3$ = **$N-NO_3$ transportado** + **nitrificación del $N-NH_4$** – $N-NO_3$ para crecimiento del fitoplancton – $N-NO_3$ consumido por desnitrificación + **descargas directas de $N-NO_3$ al sistema**

d) Sílice (Si) :

Variación temporal de la masa de Si = Si transportado – Si para crecimiento del fitoplancton (diatomeas) + descargas directas de Si al sistema

En estas ecuaciones de balance de masa para los ciclos de los nutrientes se presentan en **negrita itálica** los procesos que se consideraron en las corridas del WASP5 en función de la disponibilidad de información secundaria.

Los términos de transporte de estas ecuaciones de balance incluyen tanto el transporte advectivo como el dispersivo. Y las expresiones cinéticas correspondientes al fitoplancton son del tipo Monod con respecto al nutriente limitante. A bajas concentraciones del sustrato, la tasa de crecimiento del plancton es linealmente proporcional a la concentración del sustrato. Reduciéndose la tasa de crecimiento por un factor $N_j/(K_m+N_j)$. Donde N_j es la concentración del nutriente j empleada por el sustrato y K_m la constante de Michaelis.

Las ecuaciones cinéticas simplificadas de eutroficación en el modelo *EUTRO5* para simular el crecimiento neto del fitoplancton interactuando con el ciclo del nutriente limitante o la luz, quedando:

Flujo de masa de fitoplancton de fuentes y sumideros = crecimiento neto de fitoplancton – sedimentación del fitoplancton.

Interactuando con el nutriente limitante (fósforo o nitrógeno):

- i) Flujo de masa de PO de fuentes y sumideros = PO de muerte del fitoplancton – mineralización de PO – sedimentación del PO

Flujo de masa de P-PO₄ de fuentes y sumideros = mineralización del PO- toma del P- PO₄ por el fitoplancton – sedimentación del P-PO₄.

- ii) Flujo de masa de NOT de fuentes y sumideros = NOT de muerte del fitoplancton – mineralización del NOT – sedimentación del NOT.

Flujo de masa de N-NH₄ de fuentes y sumideros = mineralización del NOT – toma de N-NH₄ por el fitoplancton – nitrificación del fitoplancton

Flujo de masa de N-NO₃ de fuentes y sumideros = mineralización de N-NH₄ – toma de N-NO₃ por el fitoplancton.

Adviértase que esta variante simplificada del modelo de eutroficación no se incluye el proceso de desnitrificación y las ecuaciones cinéticas son de primer orden con respecto a las especies químicas del nutriente limitante en juego ($dN/dt=kN_i$), considerándose exceso del sustrato planctónico o de las especies químicas reactivas, excepto aquella sujeta a balance.

Las corridas realizadas con el modelo *WASP5* no correspondieron a un modelo de eutroficación propiamente dicho ya que no se dispuso de suficiente información secundaria de crecimiento fitoplanctónico, ni la relativa a los procesos de sedimentación ni desnitrificación.

Se consideró, por otra parte que las formas orgánicas de los nutrientes carbonáceos y nitrogenados ingresantes por los afluentes (ríos Paraná y Uruguay) y presentes en el Río de la Plata interior corresponden, principalmente, a sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos). Que son polímeros ácidos predominantemente aromáticos, resistentes a la degradación biológica, y que se originan en la cuenca imbrífera por descomposición de plantas terrestres y acuáticas y que en concentraciones elevadas imparten a las aguas el color pardo característico del Río de la Plata. De ahí que no se haya considerado la mineralización del nitrógeno orgánico ingresante, mayoritariamente por los afluentes. Mientras que los aportes carbonáceos, como DBO, de la franja costera sur de origen esencialmente antropogénico estarían sujetos a una efectiva biodegradación.

Bajo estos condicionantes y supuestos las corridas del modelo *EUTRO* del *WASP5* corresponden al balance de los nutrientes en el Río de la Plata interior explicado casi exclusivamente por la hidrodinámica del cuerpo receptor y los aportes de las cargas de los afluentes y descargas costeras.

8.2 BALANCE DE FLUJOS MÁSCOS DE NUTRIENTES EN EL RÍO DE LA PLATA INTERIOR Y SU ESTADO TRÓFICO.

Los balances de masa de los nutrientes en el Río de la Plata interior estimados en los capítulos precedentes nos permiten determinar los flujos de nutrientes ingresantes y salientes de este cuerpo de agua.

En las tablas 8.2.1 y 8.2.2 se presentan los flujos de las especies de nitrógeno, fósforo y demanda bioquímica de oxígeno ingresantes por vía de los ríos Paraná y Uruguay, descargas costeras argentina y uruguaya y salientes hacia el estuario. Se advierte, que por nitrificación, se oxidan diariamente 82 toneladas de nitrógeno amoniacal (N-NH_4) en nitrógeno de nitrato (N-NO_3) en el Río de la Plata interior; mientras que el flujo de nitrógeno orgánico no evidencia mineralización en esta zona del Río de la Plata. Los porcentajes de aporte fluvial de nitrógeno total y de fósforo total son superiores al 80%.

Tabla 8.2.1
Balance de flujos máscos de nutrientes en el Río de la Plata Interior

Nutriente		Flujo ingresante de los ríos Paraná y Uruguay (kg/día)	Flujo ingresante de la margen argentina (kg/día)	Flujo ingresante de la margen uruguaya (kg/día)	Flujo total ingresante por vía acuática (kg/día)	Flujo saliente al estuario (kg/día)	Δ Flujo (kg/día)
N-NH₄		101500	180000	28000	309500	227500	-82000
N-NO₃		400900	60000	52000	512900	594900	82000
NOT (Nov. 1982)		3291500	148000	50000	3489500	3489500	0
NT	% del total	3793900	388000	130000	4311900	4311900	0
		88	9	3	100		
P-PO₄		75700	17000	2500	95200	95200	0
PT (Sept. 1982)		281000	39000	23000	343000	343000	0
	% del total	82	11	7	100		
PT (Nov. 1982)		370000	39000	25000	434000	434000	0
	% del total	85	9	6	100		

Tabla 8.2.2
Balance de flujos másicos de DBO₅ en la Franja Costera Sur

Nutriente		Flujo ingresante del río Paraná de las Palmas (kg/día)	Flujo ingresante de la margin argentina (kg/día)	Flujo total ingresante por vía acuática (kg/día)	Flujo saliente al estuario (kg/día)	Δ Flujo (kg/día)
DBO₅ (1992/93)	% del total	331800 30	780000 70	1111800 100	562200	-549600
DBO₅ (1994/95)	% del total	331800 28	850000 72	1181800 100	621900	-559900

Por otra parte, en la franja costera sur, el aporte de cargas carbonáceas biodegradables provenientes de la margen argentina resulta el principal contribuyente a la carga de DBO₅ saliente al estuario (70%).

En la tabla 8.2.3 se presenta la comparación de los flujos de nutrientes salientes al estuario estimados por este estudio versus los estimados por S.V. Smith (1997). De esta comparación surge la posible sobrestimación de las cargas de nitrógeno inorgánico (amoníaco y nitratos) realizada por S. V. Smith y la confirmación de sus estimaciones del orden de magnitud de las cargas de fósforo de ortofosfato.

Finalmente en cuanto a la definición del nutriente limitante para el Río de la Plata interior se determinaron relaciones de nitrógeno total a fósforo total (NT/ PT) de 13 a 10, que no permiten establecer cuál es el nutriente limitante conforme a lo señalado por Thomann y Mueller (1987). Relaciones de NT/ PT próximas a 10 corresponden a una zona de transición en estuarios con aguas salobres. La relación de NI/ PI = 11 resultante de las estimaciones de S. V. Smith es coincidente con la aquí derivada.

En los estuarios tanto el fósforo como el nitrógeno pueden limitar el desarrollo del fitoplancton dependiendo de los aportes relativos de cargas puntuales versus no puntuales. Para nuestro caso las cargas no puntuales de nutrientes son principalmente las aportadas por los ríos Paraná y Uruguay, mientras que las cargas puntuales son las de origen urbano costero, principalmente las de la margen argentina.

Tabla 8.2.3

Comparación de flujos máxicos de nutrientes salientes del Río de la Plata Interior

Nutriente	Jaime et.al. (2001) Flujo (MilesTon/año)	Smith (1997) Flujo (Miles Ton/año)	Δ Flujo (MilesTon/año)
N-NH ₄	84	98	-14
N-NO ₃	217	280	-63
NI	301	378	-77
NOT	1273		
NT			
P-PO ₄	35	34	1
PT (Sep. 1982)	125		
PT (Nov.1982)	158		
NT/PT Sep. 1982	13	11 (NI/P-PO ₄)	
Nov.1982	10		

9 CONCLUSIONES

Los balances efectuados en el presente estudio se desarrollaron sobre una escala espacial que abarca todo el Río de la Plata Interior y una escala temporal superior a la de marea, de modo que los efectos de la oscilación de marea no están resueltos sino integrados. En particular, el forzante principal del transporte es la corriente de deriva hacia el océano.

Los balances sirvieron básicamente para poder efectuar una interpretación cualitativa de los fenómenos involucrados, siendo las principales las que se presentan a continuación:

- o En el Río de la Plata Interior pueden identificarse tres corredores de flujo, con escasa mezcla entre ellos, cada uno de los cuales conduce las aguas descargadas por los tres principales afluentes que, desde la costa argentina, son los ríos Paraná de las Palmas, Paraná Guazú y Uruguay.
- o El transporte de contaminantes a lo largo de cada corredor es predominantemente advectivo (con la corriente de deriva), aunque en la boca del Río de la Plata Interior aparece un intenso proceso de mezcla, resultado de las oscilaciones transversales de la corriente debido a la marea, que puede difundir contaminantes río arriba desde el Río de la Plata Exterior.
- o La calidad de las aguas del corredor Guazú, intermedio entre los otros dos corredores, está determinada esencialmente por la del río Paraná Guazú, con alguna influencia eventual en su extremo final del Río de la Plata Exterior. En cambio, la calidad de las aguas de los dos corredores costeros se ve afectada no sólo por sus tributarios directos y, eventualmente, el río exterior sino también por las descargas costeras, particularmente significativas sobre el lado argentino.
- o Se detecta un relativamente lento proceso de nitrificación, con una constante de reacción de alrededor de 0,012 1/día.
- o El Nitrógeno Orgánico Total (NOT) también se manifiesta como conservativo sobre la escala de análisis utilizada, al menos dentro del margen de error determinado por la calidad de los datos utilizados.
- o Tanto el fósforo de fosfato como el fósforo total muestran un comportamiento conservativo sobre la escala de análisis utilizada, al menos dentro del margen de error determinado por la calidad de los datos utilizados.
- o La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) sufre un lento proceso de decaimiento a lo largo del corredor Palmas (único con información disponible), con una constante de reacción de alrededor de 0,030 1/día.
- o Por nitrificación, se oxidan diariamente 82 toneladas de nitrógeno amoniacal (N-NH₄) en nitrógeno de nitrato (N-NO₃) en el Río de la Plata interior; mientras que el

flujo de nitrógeno orgánico no evidencia mineralización en esta zona del Río de la Plata. Los porcentajes de aporte fluvial de nitrógeno total y de fósforo total son superiores al 80%.

- o En la franja costera sur, el aporte de cargas carbonáceas biodegradables provenientes de la margen argentina resulta el principal contribuyente a la carga de DBO5 saliente al estuario (70%).

REFERENCIAS

1. Jaime, P., Menéndez, A.N., 1999, *Modelo hidrodinámico Río de la Plata 2000*, Informe LHA-INA 183-01-99.
2. Molinari, G. N., 1986, *Simulación Numérica de la Circulación en el Río de La Plata*, tesis de grado para la Licenciatura en Oceanografía, Director: A. Menéndez, ITBA (marzo de 1986), Informe LHA-INCYTH S5-017-86.
3. Albarracín, J., 1988, *Análisis de la Hidrodinámica del Río de La Plata a partir de una Simulación Numérica*, tesis de grado para la Licenciatura en Oceanografía, Director: A. Menéndez, ITBA (abril de 1987), Informe LHA-INCYTH 065-001-88.
4. Olalde, A. M., 1988, *Simulación numérica de corrientes de deriva en el Río de la Plata*, tesis de grado para la Licenciatura en Oceanografía, Director: A. Menéndez, ITBA (mayo de 1988), Informe LHA-INCYTH 065-002-88.
5. Menéndez, A. N., 1985, *Simulación Numérica de Flujos Cuasi-Bidimensionales a Superficie Libre*, Informe LHA-INCYTH S5-016-85.
6. Menéndez, A. N., 1990, *Sistema HIDROBID II para simular corrientes en cuencos*, Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, vol. 6, 1.
7. Di Toro, D. M., Fitzpatrick, J. J. and Toman, R. V., 1981, rev.1983, " *Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) and Model Verification Program (MVP) – Documentation*" . Hydroscience, Inc., Westwood, NY, for U.S. EPA, Duluth, MN, Contract No. 68-01-3872.
8. Connolly, J. P. and Winfield, R., 1984, "A User's Guide for WASTOX, a Framework for Modeling the Fate of Toxic Chemicals in Aquatic Environments". Part 1: Exposure Concentration. U.S. Environmental Protection Agency, Gulf Breeze, Fl. EPA – 600/3-84-077.
9. Ambrose, R.B. et al., 1988, "WASP4, A Hydrodynamic and Water Quality Model-Model Theory, User's manual, and Programmer's Guide" , U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA. EPA – 600/3-87-039.
10. Ambrose, R.B., Wool, T. A. and Martin, J. L., 1993, "The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5" , Part A: Model Documentation, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia 30613.
11. Fisher, H., 1973, "Longitudinal dispersion and turbulent mixing in open channel flow", Annual review of Fluid Mechanics, pp. 59-78.
12. Gallagher L. and Hobbs, G. D. : "Estuarine Dispersion"

13. Elder, J. W., 1959, "*The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow*", Journal of Fluid mechanics, Vol.5, part 4.
14. Fisher, H. B., 1968b, "*Dispersion predictions in natural streams*", Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, Vol. 94, No SA5, Proc. Paper 6169, pp. 927-943.
15. Orlob, G. T, 1959, "*Eddy diffusion in homogeneous turbulence*", Journal of Hydraulics Division, ASCE., 89 (HY9)
16. Sayre, W. W., and Chamberlain, A. R., 1964, "*Exploratory laboratory study of lateral turbulent diffusion at the surface of an alluvial channel*", U. S. Geol. Survey Circular 484.
17. Fisher, H., 1967a, "*Transverse mixing in a sand-bed channel*", U. S. Geological Survey, Professional Paper 575-D, pp. 267-272.
18. Yotsukura, N., Fisher, H. B., and Sayre, W. W., 1970, "*Mixing characteristics of the Missouri river between Sioux City, Iowa and Plattsmouth, Nebraska*", U. S. Geol. Survey Water Supply Paper 1899-g, G1-G29.
19. Glover, R. E., 1964, "*Dispersion of dissolved or suspended materials in flowing streams*", U.S. Geol. Survey Prof. Paper.
20. Fisher, H. B., 1969, "*The effects of bends on dispersion in streams*", Water Resources Research, Vol. 5, N° 2, pp.496-506.
21. Taylor, G., 1954, "*The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe*", Proceedings Royal Society of London, Series A, Vol.223, N° 1155.
22. Bowden, K. F., 1965, "*Horizontal mixing in the sea due to a shearing current*", Journal of Fluid Mechanics, 21 (2).
23. Fisher, H., 1967b, "*The mechanics of dispersion in natural streams*", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 93, No. HYD 6, Proc. Paper 5592, pp. 187-216.
24. Fisher, H. B., 1966, "*Longitudinal dispersion in laboratory and natural streams*", report KH-R-12, Keck Laboratory, California Institute of technology, Pasadena, Calif., p. 250.
25. Fisher, H. B., 1968a "*Methods for predicting dispersion coefficients in natural streams, with applications to lower reaches of the Green and Duwamish rivers, Washington*", U. S. Geological Survey, Professional Paper 582-A, Washington, D.C., 27 pp.
26. Yotsukura, N., 1967, "*General discussion*", proceedings, Twelfth Congress, International Association for Hydraulic Research, Vol. 5.
27. Holley, E.R., Harleman, D. R. F, and Fisher, H., 1970, "*Dispersion in homogeneous estuary flow*", Journal of the Hydraulics Division.

28. Carreras, P., Menéndez, A.N., 1988, "*Proyecto de tratamiento y disposición de efluentes domésticos del Gran Buenos Aires. Informe final del modelo matemático de dispersión de contaminantes*", Informe LHA-INCYTH 070-004-88, Comitente: OSN.
29. Quirós, R. y Senone, H., 1985, "*Niveles de nutrientes y pigmentos fotosintéticos en el Río de la Plata interior (55° - 59° W, 34° - 36° S)*", Informe Técnico No.1, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Departamento de Aguas Continentales.
30. Plata Bedmar, A., Baonza del Prado, E., Funes, G., 1988, "*Estudio de la contaminación del Río de la Plata entre Buenos Aires y Punta Lara*", Informe para OSN.
31. Consejo Permanente para el Monitoreo de la Calidad de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata, 1997, "*Calidad de las aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata (San Fernando -Magdalena)*".
32. CARU, 1991, "*II Seminario de Calidad de Aguas y Control de la Contaminación del Río Uruguay. Estudio sobre la Calidad de Agua en el embalse de Salto Grande*", Comisión Administradora del Río Uruguay.
33. Villar, C.A., Bonetto, C.A., 1998, "*Caracterización Física y Química del Bajo Paraná. Efecto de la Central Nuclear Atucha*", Aquatec, Boletín Técnico N° 5, "Estudio limnológico del río Paraná en la zona de Atucha", Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet", CONICET-UNLP.
34. AGOSBA - OSN – SIHN, 1992, "*Calidad de las Aguas Franja Costera Sur (San Isidro - Magdalena)*".
35. INA, 1999, "*Operación de una red de monitoreo de calidad de agua y sedimentos en la cuenca Matanza-Riachuelo y puesta a punto de un modelo de calidad*".
36. AA. SA (Aguas Argentinas S. A), 1998, "*Plan de Saneamiento Integral-Memoria Técnica-Documento D. Anexo 8: Modelización Matemática de los Ríos. Anexo 8.1: Modelo de Calidad de Agua de la Franja Costera del Río de la Plata*", Informe de Etapa I, Volumen I.
37. Menéndez, A., N., 1986, "*Simulación numérica de la dispersión de contaminantes en regiones localizadas*", Informe LHA-066-01-86.
38. Menéndez, A., N., 1991, "*Métodos numéricos para problemas de transporte de contaminantes*", Informe LHA-S5-043-91.
39. INA, SRNyDS, 1999, "*Reporte detallado de datos de calidad de agua recolectados durante el período Abril 1987-Marzo 1998 por la contraparte técnica Argentina*". CIC. Control de Calidad de las Aguas de la Cuenca del Plata.
40. Smith, S. V., 1997, "*N P Budget for the Río de la Plata Estuary, Argentina/Uruguay*". <http://data.ecology.su.se/MNODE/South%20America/RiodelaPlata/RLP.HTM>.

41. San Diego, M. L., Smith, S. V. And Nicolor, V. F., 1999, "*Stoichiometric interpretation of C:N:P ratios in organic waste materials*". <http://data.ecology.su.se/MNODE/Methods/wload.htm>.
42. Redfield, A. C., Ketchum, B. H. And Richards, F. A., 1963, "*The influence of organisms on the composition of sea water*". The Sea, Vol.2 (M.G. Hill, ed) Interscience, New York, pp 26-87.
43. CCREM (Canadian Council of Resource and Environment Ministers), 1987, Canadian Water Quality Guidelines.
44. Thomann, R. V. And Mueller, J. A., 1987, "*Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*". Horper Collins Publishers