



**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA**  
SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS  
SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS  
REPÚBLICA ARGENTINA



entidad binacional  
**yacyretá**

**PROYECTO “CALIDAD DEL AGUA  
EN EL EMBALSE DE YACYRETÁ Y SUS AFLUENTES”**



**ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA BASE DE DATOS DE  
CALIDAD DEL AGUA EN EL EMBALSE DE YACYRETÁ**  
**INFORME DE AVANCE**



*Proyecto LHA 225  
Informe LHA 01-225-03  
Ezeiza, Mayo de 2003*

**LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

## **AUTORIDADES DEL INA**

### **PRESIDENTE:**

Ing. Oscar V. LICO

### **GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS:**

Dr. Raúl A. LOPARDO

### **DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA:**

Ing. Julio C. DE LÍO

### **JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL:**

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

## **EQUIPO DE TRABAJO**

Ing. Patricia R. JAIME

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Ing. Oscar NATALE

# ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA BASE DE DATOS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL EMBALSE DE YACYRETÁ

## *Informe de Avance*

### RESUMEN

Este trabajo se enmarca en un proyecto interinstitucional cuyo principal objetivo es evaluar los escenarios de calidad de agua del embalse en relación a los contaminantes prioritarios .

En este informe se presentan resultados concernientes al análisis de la base de datos de calidad de agua que resume los muestreos periódicos realizados entre 1993 y 2002, con el propósito de caracterizar los procesos que afectan la calidad del recurso.

Tomando como referencia estaciones aguas arriba y dentro del embalse se analizan y evalúan parámetros físico-químicos, entre ellos oxígeno disuelto, carbono orgánico total, conductividad y nutrientes (fósforo y nitrógeno en sus diferentes formas).

Finalmente, se presenta el balance de masa de fósforo total en el período de muestreo.

**Descriptores temáticos:** Calidad de agua, nutrientes, estado trófico, balance de masa.

**Descriptores geográficos:** Embalse de Yacyretá, Río Paraná, República Argentina, República del Paraguay.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>ALCANCE DEL INFORME</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO YACYRETÁ</b>	<b>1</b>
<b>1.3</b>	<b>RED DE MONITOREO</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ANÁLISIS BÁSICO DE LOS DATOS</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>OBSERVACIONES BIOQUÍMICAS</b>	<b>14</b>
2.1.1	<i>Estadísticos básicos</i>	14
2.1.2	<i>Composición iónica</i>	17
2.1.3	<i>Conductividad Eléctrica y pH</i>	25
2.1.4	<i>Oxígeno Disuelto</i>	32
2.1.5	<i>Carbono Orgánico Total</i>	37
<b>2.2</b>	<b>NUTRIENTES</b>	<b>41</b>
2.2.1	<i>Fósforo Total</i>	41
2.2.2	<i>Fósforo de Ortofosfato</i>	45
2.2.3	<i>Nitrógeno de Nitrato</i>	51
2.2.4	<i>Nitrógeno Amoniacal</i>	55
2.2.5	<i>Nitrógeno Orgánico</i>	59
2.2.6	<i>Nutriente Limitante</i>	63
<b>2.3</b>	<b>ESTADO TRÓFICO</b>	<b>64</b>
2.3.1	<i>Clorofila<sub>a</sub></i>	64
2.3.2	<i>Fitoplancton</i>	66
2.3.3	<i>Transparencia</i>	69
<b>2.4</b>	<b>BACTERIAS COLIFORMES FECALES Y TOTALES</b>	<b>71</b>
<b>3</b>	<b>BALANCES DE MASA</b>	<b>75</b>
<b>3.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>75</b>
<b>3.2</b>	<b>BALANCE DE FÓSFORO A PARTIR DE LOS REGISTROS</b>	<b>75</b>
<b>3.3</b>	<b>BALANCE DE FÓSFORO DESDE REMUESTREOS</b>	<b>76</b>
<b>3.4</b>	<b>BALANCE DE FÓSFORO DESDE EL ANÁLISIS ESPECTRAL</b>	<b>81</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>84</b>

---

## **1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ALCANCE DEL INFORME**

En este primer informe de Avance del Proyecto "Calidad del agua en el embalse de Yacyretá y sus afluentes", financiado por la EBY a través del Acta Complementaria No 1 del Convenio Marco establecido entre la EBY y el INA, se presentan los primeros resultados obtenidos a partir del análisis de la base de datos de calidad de la EBY. Se llevan a cabo análisis estadísticos básicos y se efectúan los primeros balances máxicos de sustancias en el embalse.

### **1.2 DESCRIPCIÓN DEL COMPLEJO HIDROELÉCTRICO YACYRETÁ**

El embalse Yacyretá fue concebido con el objetivo principal de desarrollar el potencial hidroeléctrico del Río Paraná en la vecindad de las Islas Yacyretá y Apipé. Con sus 3.200 megavatios de potencia instalada, las turbinas de Yacyretá funcionando a pleno cubrirán el 40% de la demanda energética del sistema interconectado argentino.

La esclusa de Navegación, habilitada definitivamente en 1993, hizo desaparecer los rápidos, permitiendo la navegabilidad del Alto Paraná inclusive a buques de gran porte. Por medio de un sistema de monitoreo se tendrá información anticipada de las variaciones en el caudal del río y se podrá disminuir los efectos de las inundaciones en los momentos de crecidas extraordinarias.

Dos tomas para riego de similar construcción permitirán desarrollar la agricultura de regadío y la interconexión vial a través de una carretera internacional que unirá Argentina y Paraguay posibilitará una verdadera integración entre ambos países.

La presa está situada en el Río Paraná a aproximadamente 70 km aguas abajo de Posadas (Argentina) y Encarnación (Paraguay) (ver figura 1.2.1).

El proyecto se compone de una presa de material suelto mediante la cual se efectúa el cierre del río a la altura de Ituzaingó (Argentina) hasta San Cosme (Paraguay). La presa tiene un largo total de 65 km y una altura máxima de 43 m.

En el brazo Principal del río Paraná, lado argentino, se construyó la Central Hidroeléctrica equipada con 20 turbinas tipo Kaplan con una potencia de 160 MW cada una, para una potencia instalada total de 3,200 MW.

El vertedero del brazo principal está provisto de 18 compuertas radiales y una esclusa de navegación. En el brazo Aña-Cuá del mismo río, lado paraguayo, se levanta un vertedero dotado de 16 compuertas radiales, que junto con el vertedero principal, serán capaces de verter hasta 95,000 m<sup>3</sup>/s.

En ambos márgenes se instalaron Tomas de Riego, con una capacidad máxima de 109 m<sup>3</sup>/s cada una, que permitirán el desarrollo por regadío de las tierras aptas adyacentes. En la margen paraguaya se han previsto obras de protección de las cuencas de los arroyos Aguapey y Tacuary, consistentes en presas de materiales sueltos y canal de drenaje y protección del pueblo de Camen del Paraná, como también la construcción de un puerto comercial.

Algunos parámetros del proyecto están resumidos en la Tabla 1.2.1 y la figura 1.2.1 presenta el plano general de emplazamiento de las obras del proyecto.

Actualmente el embalse está operando a una elevación máxima de 76 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), en espera de la desocupación de los terrenos que serán inundados una vez se suba el nivel del embalse.

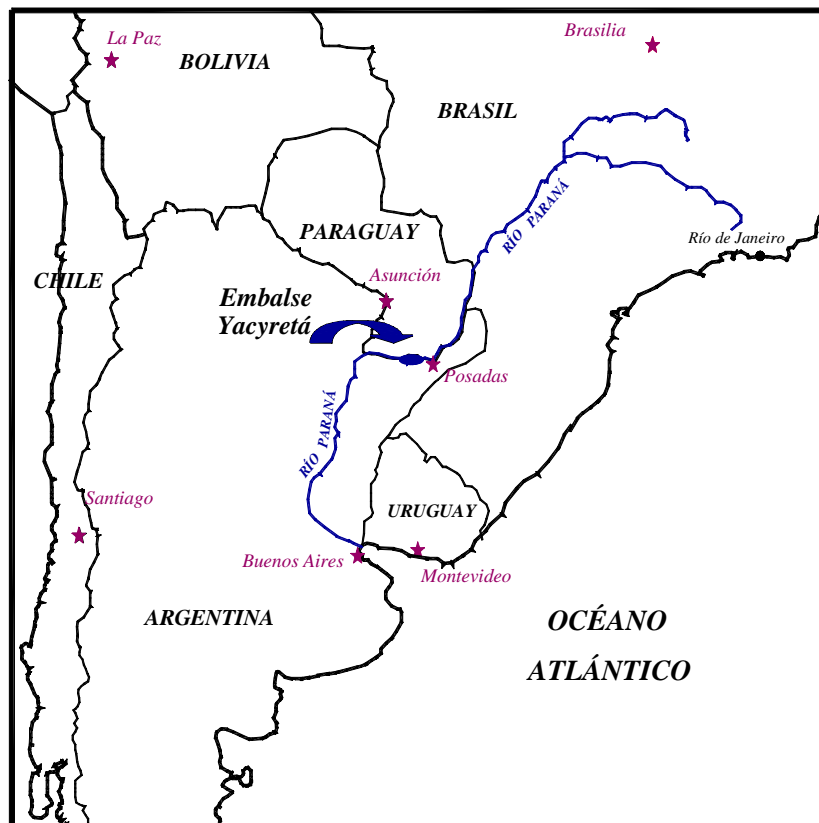


Figura 1.2.1 Mapa de Ubicación del Embalse de Yacyretá

**Tabla 1.2.1**  
Datos del Proyecto Yacyretá

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<i>Cuenca</i>	
Área	970000 km <sup>2</sup>
Precipitación media	1500 mm
Zona máximo aporte	840000 km <sup>2</sup>
Precipitación Máxima	2500 mm
<i>Río-crecidas</i>	
Caudal medio	12000 m <sup>3</sup> /s
Caudal Máximo registrado	53000 m <sup>3</sup> /s
Caudal mínimo registrado	2900 m <sup>3</sup> /s
Crecida de diseño	95000 m <sup>3</sup> /s
Crecida de construcción (recurrencia 50 años)	44000 m <sup>3</sup> /s
<i>Embalse</i>	
Nivel máximo normal	82 m
Nivel mínimo de la corona	87 m
Superficie del embalse (cota 83 m)	1300 km <sup>2</sup>
Volumen del embalse (cota 83 m)	17,500 millones m <sup>3</sup> (17.5 km <sup>3</sup> )
Longitud (por cauce)	342 km
Nivel máximo de inundación	84.5 m
<i>Central</i>	
Capacidad instalada	3,200 MW
Capacidad normal	3,080 MW
Generación de energía en años lluviosos	20,200 GWh
Generación de energía año medio	18,000 GWh
Generación de energía años secos	16,500 GWh
Salto de diseño	21.3 m



Figura 1.2.2 Plano de emplazamiento de las obras

### 1.3 RED DE MONITOREO

Las figuras 1.3.1, 1.3.2 y 1.3.3 presentan la ubicación de las estaciones de la Red de Monitoreo de calidad de agua establecida sobre el curso principal y los sub-embalses, arroyos y colectores urbanos (información suministrada por la EBY).

Las estaciones de monitoreo que se identifican en esas figuras y cuya localización en términos de coordenadas en el sistema UTM-WGS84 Z 21J se muestra en la tabla 1.3.1 corresponden a:

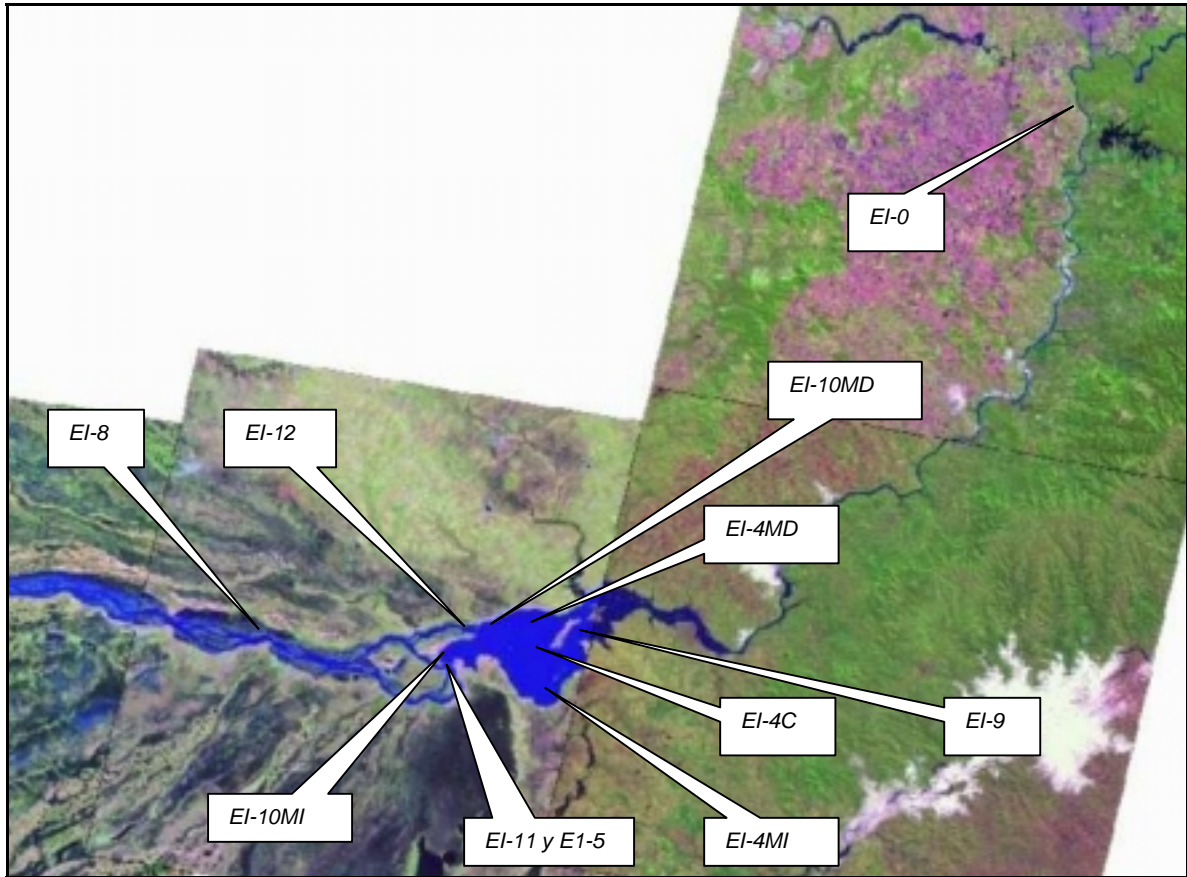
- **EI-0:** en el Río Paraná, puntos cuartos de la sección transversal correspondiente al Eje Pto Libertad – Pyrá Pitá.
- **EI-1:** en el Río Paraná, puntos cuartos de la sección transversal correspondiente al Eje Candelaria - Campichuelo.
- **EI-2:** sobre el curso principal, inmediatamente aguas arriba de la toma de agua para la ciudad de Posadas.

- **EI-3:** sobre el curso principal, inmediatamente aguas arriba de la toma de agua para la ciudad de Encarnación. Incorporando el muestreo aguas arriba y abajo del área de amarre de las barcazas p/transporte de combustible.
- **EI-VMBoy:** en el arroyo/subembalse urbano formado por el valle de inundación del arroyo Mboy Caé en margen derecha.
- **EI-VZai:** en el arroyo/subembalse urbano formado por el valle de inundación del arroyo Zaimán en margen izquierda.
- **EI-VMa** en el arroyo/subembalse urbano formado por el valle de inundación del arroyo Mártires en margen izquierda.
- **EI-VQUI** en el arroyo/subembalse semiurbano formado por el valle de inundación del arroyo Quiteria en margen derecha.
- **EI-VAg:** en el arroyo/subembalse rural formado por el valle de inundación del arroyo Aguapey en margen derecha.
- **EI-9: en el embalse**, a la altura de “Ombú Chico”.
- **EI-4:** en el embalse, sobre una sección transversal entre San Cosme y Pto. Valle. Corresponden a 3 verticales de muestreo ubicados en:
  - **EI-4MI:** sobre el ex-canal principal del río (al menos 2 profundidades).
  - **EI-4C:** sobre el ex-brazo del canal de los Jesuitas (al menos a 2 profundidades).
  - **EI-4MD:** sobre el ex-brazo Añá Cuá, aguas abajo de San Cosme (al menos 2 profundidades).
- **EI-5 (MI y MD)** – Sistema de Transferencia para peces.
- **EI-10:** en el embalse, aguas arriba de ambos cierres (en el medio líquido al menos dos puntos por vertical).
  - **EI-10MI:** en la boya, inmediatamente aguas arriba del cierre sobre el brazo principal (al menos a dos profundidades).
  - **EI-10MD:** aguas arriba del cierre sobre el brazo Aña Cuá (al menos a 2000 m de dicha estructura y a 2 profundidades).
- **EI-11:** punto medio subsuperficial, inmediatamente aguas abajo de la central en el brazo principal (EI-11C). De funcionar el VBP debe considerarse también el muestreo abajo de esta estructura (EI-11VP) .
- **EI-12:** punto medio subsuperficial, inmediatamente aguas abajo del cierre del brazo Aña Cuá **EI-6:** sobre el brazo principal del Río Paraná, en la toma de agua para la ciudad de Ituzaingó.

- **EI-7:** sobre el brazo Aña Cuá del Río Paraná, en la toma de agua para la ciudad de Ayolas.
- **EI-8:** en los puntos cuartos, subsuperficial, del Río Paraná, a la altura del eje de las localidades de Itá Ibaté y Panchito López.
- **EI-Tgarup:** sobre el Arroyo Garupá, en la toma de agua superficial para dicha localidad.
- **EI-Cand:** en la toma de agua superficial para la localidad de Candelaria.



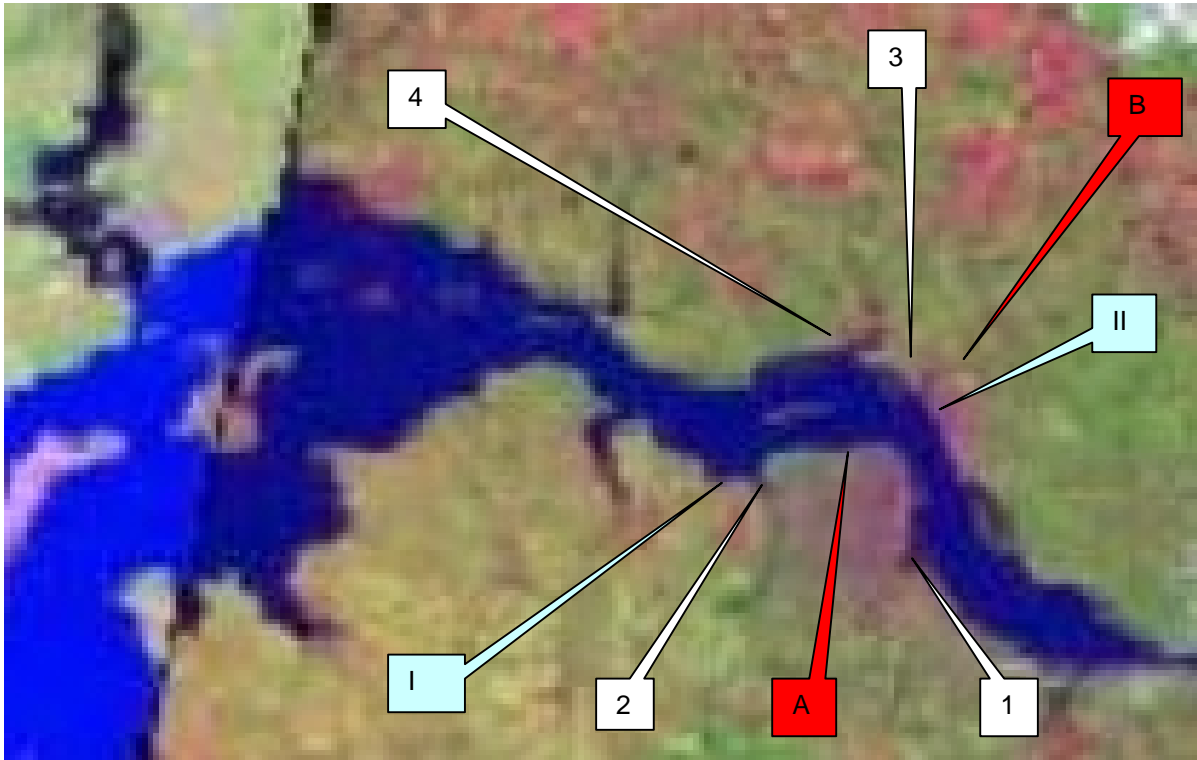
*Figura 1.3.1 Estaciones de Monitoreo de calidad de agua*



REFERENCIAS:

EI-0.	EJE PUERTO LIBERTAD - PYRA PYTA
EI-1.	EJE CANDELARIA - CAMPICHUELO
EI-4C.	CANAL DE LOS JESUITAS
EI-4MI.	CANAL PRINCIPAL PUERTO VALLE
EI-4MD.	EX BZO AÑÁ CUÁ SA COSME
EI-9.	OMBÚ CHICO
EI-10MI.	BOYA AGUAS ARRIBA DEL CIERRE SOBRE BZO.PPAL
EI-10MD	AGUAS ARRIBA DELCIERRE SOBRE BZO.AÑÁ CUÁ
EI-11 y EI-5	AGUAS ABAJO VP y SIST. TRANSFERENCIA
EI-12.	AGUAS ABAJO VAC
EI-8	ITÁ IBATÉ -PANCHITO LOPEZ

Figura 1.3.2 Red espacial de Monitoreo de calidad de agua sobre el curso principal (Cota 76 m)



REFERENCIAS:

1. ARROYO ZAIMAN SUB EMBALSE
2. ARROYO MARTIRES SUB EMBALSE
3. ARROYO MBOYCAÉ SUB EMBALSE
4. ARROYO QUITERIA SUB EMBALSE
- I. EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO CLOACAL POSADAS
- A. 3 COLECTORES URBANOS EN POSADAS
- B. 3 COLECTORES URBANOS EN ENCARNACIÓN.

Figura 1.3.3 Red Espacial de monitoreo de calidad de agua. Subembalses y Arroyos Urbanos-Yacyretá (Cota 76m)

**Tabla 1.3.1**

Coordenadas de las estaciones de la red de monitoreo de calidad de agua

<b>Número</b>	<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	EI-1-MD	624615	6964109
2	EI-1-C	625078	6963837
3	A <sup>a</sup> Zaiman	609925	6968667
4	A <sup>a</sup> Mboi-Cae	610788	6977086
5	A <sup>a</sup> Quiteria	607157	6979031
6	A <sup>a</sup> Martires	602864	6972309
7	EI-9	572644	6969004
8	EI-4-MD	564266	6974873
9	EI-8-MD	469636	6967247
10	EI-8-C	528038	6963488
11	EI-11	527912	6958278
12	EI-4-C	555242	6958763
13	EI-4-MI	556221	6947282
14	EI-1-MI	624680	6963282
15	EI-8-MI	468979	6966658
16	EI-12-VAC	527823	6972630
17	EI-10-MI	528011	6961285
18	EI-10-MD	543863	6970008
19	EI-0-C	739201	7133689
20	EI-0-MI	739375	7133645
21	EI-0-MD	739025	7133738

Los trabajos de muestreo, preservación, filtrado y determinaciones químicas son realizados conjuntamente por el CERIDE, la FACEN, la UNAM. La COMIP hace el apoyo operativo a las

embarcaciones y la EBY es responsable del Muestreo de las Redes Accesorias de Monitoreo (Pozos comunitarios, Balnearios costeros, Colectores urbanos, etc.).

En la tabla 1.3.2 se muestran, para los parámetros de calidad de agua de responsabilidad del CERIDE, las frecuencias, número de muestras a procesar y medios de muestreo para las distintas estaciones de monitoreo. Los Hidrocarburos que se determinan en el medio líquido son: benceno, etilbenceno, tolueno, estireno, xilenos; y en sedimento o medio particulado corresponden a: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluranteno, benzo(k)fluranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno y benzo(ghi)perileno

En relación a la metodología operativa de campaña, cuidados, preservaciones (materiales, métodos y tiempos) y a los principios observados en la definición de los requerimientos analíticos (objetivos de exactitud, límites de detección, etc.), se siguen las normas indicadas en la Guía Operativa GEMS/AGUA (OMS, PNUMA, UNESCO, OMM) o equivalentes.

En las tablas 1.3.3 y 1.3.4 se presenta la misma información para los parámetros de calidad de agua de responsabilidad de la FACEN y la UNAM, respectivamente.

**Tabla 1.3.2**  
RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA (Modelo anual) - Estaciones de Muestreo, parámetros y frecuencia

PARAMETRO	ESTACIONES DE MUESTREO - RED INDICE															
	Curso Principal											Subembalses (I)				
	EI-0	EI-1	EI-4 C	EI-4 MI	EI-4 MD	EI-8	EI-9	EI-10 MI	EI-10 MD	EI-11 MI	EI-12	Mboy Caé	Quiteria	Zaimán	Mártires	Aguapey
COD	M3															
COT	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M4	M2	C1	C1	C1	C1	C1
COT en Sedimentos			B1	B1	B1		B1	B1	B1			C1	C1	C1	C1	C1
Clorófila "a" (subsuperf)		B1	M2	M1	M1	B1	M1	M1	M1			C1	C1	C1	C1	C1
Microorg. Fotót. (p/epif.)		B1	M1			B1										C1
Microorg. Heterót.(p/epif.)		B1	M1			B1										C1
Aluminio Disuelto	B3		B2													
Aluminio Total	B3		B2													
Aluminio en Sól. Part.			C1													
Arsénico Disuelto	B3		B2													
Arsénico Total			B2							B2						
Arsénico en Sól. Part .	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Cadmio Disuelto	B3		B2													
Cadmio Total			B2							B2						
Cadmio en Sól. Part.	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Cromo Disuelto	B3		B2													
Cromo Total			B2							B2						

	ESTACIONES DE MUESTREO - RED INDICE															
	Curso Principal							Subembalses (I)								
							EI-11									
Cromo en Sól. Part.	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Cobre Disuelto	B3		B2													
Cobre Total	B3	B3	B2			B3				B2						
Cobre en Sól. Part.			C1													A1Sed
Hierro Disuelto	B3		B2													
Hierro Total	B3	B3	B2			B3										
Hierro en Sól. Part.			C1													
Plomo Disuelto	B3		B2													
Plomo Total			B2							B2						
Plomo en Sól. Part.	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Manganeso Disuelto	B3		B2													
Manganeso Total	B3	B3	B2			B3										
Manganeso en Sól. Part.			C1													A1Sed
Mercurio Disuelto	B3		B2													
Mercurio Total			B2							B2						
Mercurio en Sól. Part.	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Níquel Disuelto	B3		B2													
Níquel Total			B2							B2						
Níquel en Sól. Part.	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Zinc Disuelto	B3		B2													
Zinc Total			B2							B2						
Zinc en Sól. Part.	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Metales Pesados en tejidos grasos en peces Y Org. Bentónico: Cr, Cd, Hg,As, Cu y Pb				A34												
Biocidas Organoclorados Totales										B2						
Biocidas Organoclorados en Sól. Susp o Sedimentos	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Biocidas Organofosforados Totales																
Biocidas Organofosforados en Sól. Sup o Sedimentos	B3	B3	C1			B3						C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed
Organo Clorados en tejidos grasos o músculo (biota)				A34												
Hidrocarburos en el medio líquido (subs superficial)	B3		C1							B2		C1	C1	C1	C1	
Hidrocarburos en Sedimentos u otro sustrato		C1	C1			C1				M1		C1Sed	C1Sed	C1Sed	C1Sed	A1Sed

**NOTA ACLARATORIA :** 1) M, B, C y A indican una frecuencia mensual, bimestral, cuatrimestral y anual respectivamente. El número a continuación indica las muestras a extraer. Ej B3 indica que se extrae con una frecuencia bimestral en 3 puntos. 2) Para el caso de EI-0, EI-1 e EI-8 la extracción de las muestras corresponden a los puntos cuartos de la sección transversal. De ser menor el número de puntos (2 o 1) la extracción corresponde al centro del río, Ej. M1 (mensual en el centro) o B2 (bimestral en el centro con una muestra réplica). 3) Para el caso de las verticales en el lago (Ej.: EI-4MD) los puntos de muestreo corresponden a Subs superficial y a 1 m por encima del fondo. 4) Cuando el parámetro es en el medio particulado, se indica ya sea en sedimentos de fondo (Sed) o en Sólidos en Suspensión (SS). De no indicarse se selecciona uno u otro

de acuerdo a las dificultades operativas.5) Para el ítem Ajos. Colectores Urbanos y Emisario Cloacal, "M1+C3" indica una frecuencia mensual en el emisario y cuatrimestral en los Ajos colect. Urbanos. Para el caso de EI-5 (MI y MD) en forma mensual se extrae COT y en forma Bimestral los tóxicos (Metales, Biocidas e Hidroc) en forma bimestral, para la EI-11 en forma mensual dos muestras.

**Tabla 1.3.3**

**RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA - Curso principal y sub-embalses -Estaciones de Muestreo, parámetros y frecuencia**

PARAMETRO	ESTACIONES DE MUESTREO - RED INDICE															
	Curso Principal											Subembalses (I)				
	EI-0	EI-1	EI-4 C	EI-4 MI	EI-4 MD	EI-8	EI-9	EI-10 MI	EI-10 MD	EI-11 EI-5	EI-12	Mboy Caé	Quiteria	Zaimán	Mártires	Aguapey
Temperatura del Agua y aire	M3	M3	M8	M8	M8	M3	M8	M8	M8	M3	M1	C1	C1	C1	C1	C2
pH	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M3	M1	C1	C1	C1	C1	C1
Conductividad Eléctrica	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M3	M1	C1	C1	C1	C1	C1
Oxígeno Disuelto	M3	M3	M8	M8	M8	M3	M8	M8	M8	M3	M1	C1	C1	C1	C1	C2
Transparencia	M3	M3	M1	M1	M1	M3	M1	M1	M1	M1	M1	C1	C1	C1	C1	C1
Turbidez	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M3	M1	C1	C1	C1	C1	C1
P-Redox en sedimentos			M1	B1	C1		C1	C1	C1			C1	C1	C1	C1	C1
Calcio	M3	M3	M2			M3										
Magnesio	M3	M3	M2			M3										
Sodio	M3	M3	M2			M3										
Potasio	M3	M3	M2			M3										
Cloruro	M3	M3	M2			M3										
Fluoruro																
Sulfato	M3	M3	M2			M3										
Alcalinidad Total	M3	M3	M2			M3						C1	C1	C1	C1	C1
Dureza																
N-Nitratos	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M1	M1					C1
N-Nitritos	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M1	M1					C1
N-Amoniacal	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M1	M1	C1	C1	C1	C1	C1
N-Orgánico Total (agua)	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M3	M1	C1	C1	C1	C1	C1
N-Orgánico Total en (sed.)			M1	B1	C1		C1	C1	C1			C1	C1	C1	C1	C1
N-Orgánico Disuelto	M3															
Sílice Reactiva	M1	M1	M2	M2	M2	M1	M2	M2	M2							C1
Sólidos en suspensión	M6	M6	M2			M6				M2	M2					
Granulometría (sed.)			M1	B1	C1		C1	C1	C1						C1	C1
Sól. Sedimentables (24/ 48 hs.)																
Sulfuro en sedimento			M1									C1	C1	C1	C1	C1
Cianuros																
Hidrocarburos totales c/ aceites y grasas		B1	B1			B1										
SAAM		C1				C1						C1	C1	C1	C1	

**Tabla 1.3.4**

RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA - Curso principal y subembalses -Estaciones de Muestreo, parámetros y frecuencia (Excluye la campaña intensiva anual en la descarga del emisario Cloacal de Posadas y costeros)

PARAMETRO	ESTACIONES DE MUESTREO - RED INDICE																
	Curso Principal											Subembalses (I)					
	EI-0	EI-1	EI-4 C	EI-4 MI	EI-4 MD	EI-8	EI-9	EI-10 MI	EI-10 MD	EI-11 EI-5	EI-12	Mboy Caé	Quiteria	Zaimán	Mártires	Aguapey	
Fósforo Total (no filtrado)	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M4	M2	C1	C1	C1	C1	C1	
Fósforo Total (filtrado)	M3		M2	M2	M2		M2	M2	M2	M1	M1					C1	
Ortofosfato Disuelto	M3	M3	M2	M2	M2	M3	M2	M2	M2	M1	M1					C1	
Fósforo Total (en sedimentos)			M1	B1	C1		C1	C1	C1			C1	C1	C1	C1	C1	
DBO	M3									M2							
DQO	M3	M3				M3											
Color	M3	M3	M2			M3											
Sustancias Húmicas		M3	M2			M3				M1	M1						
Residuo a 550°C			M2														
Residuo a 105°C			M2														
Residuo a 550°C en sedimentos			M1													C1	
Residuo a 105°C en sedimentos			M1													C1	
Cloro residual																	
Coliformes Totales	M3	M3				M3						C1	C1	C1	C1		
Coliformes Fecales	M3	M3				M3						C1	C1	C1	C1		
Enterococos Fecales (NMP)												C1	C1	C1	C1		
Vibrión Colérico																	
Salmonella																	
Sustancias Fenólicas	B3	B1	M2			B1											
Fitopláncton		B1	M1	B1	B1	B1	B1	B1	B1							C1	C1
Zoopláncton		B1	B2	B1	B1	B1	B1	B1	B1							C1	C1
Bentos			C1	C1	C1			C1	C1							C1	C1

## 2 ANÁLISIS BÁSICO DE LOS DATOS

### 2.1 OBSERVACIONES BIOQUÍMICAS

El conjunto primario de datos analizado en esta etapa preliminar de caracterización comprende los correspondientes a las estaciones E1-C Candelaria (aguas arriba del embalse), E10-MI (aguas arriba del cierre sobre brazo principal) y E10-MD (aguas arriba del cierre sobre brazo Añá Cuá).

Los nutrientes bajo estudio consistieron de 2 formas de fósforo, fósforo total y fósforo de ortofosfato y 3 especies de nitrógeno, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitrato y nitrógeno orgánico. Carbono orgánico total, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, transparencia, clorofila y coliformes fueron también parámetros bajo estudio.

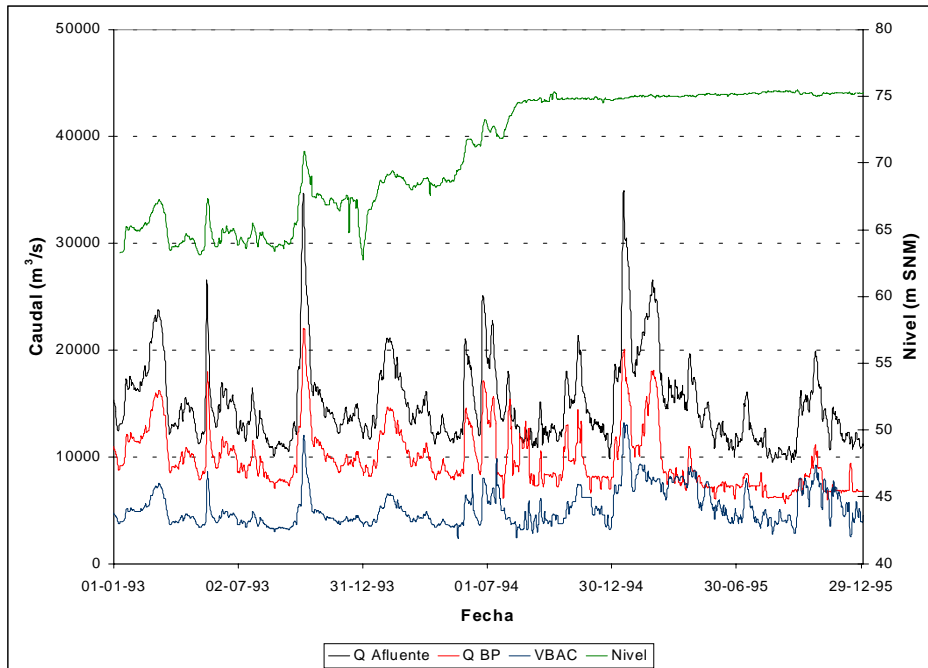
#### 2.1.1 Estadísticos básicos

Con el objetivo de caracterizar en forma global la variabilidad de los datos se calcularon los estadísticos descriptivos de las series temporales de concentración en el período de muestreo. Para cada constituyente, se resume en forma tabular los valores de las medidas descriptivas calculadas en las estaciones de la red y, para las estaciones que se analizan en esta etapa, se presenta el diagrama de caja de las series temporales de concentración en el período de muestreo. En estos gráficos, los extremos de la caja representan los percentiles de 25 y 75%, expresando la variabilidad de los valores, mientras que la tendencia central está indicada por la mediana. Las marcas horizontales definen los valores máximo y mínimo del período, indicando el rango de los valores de concentración. Asimismo, la evolución temporal de concentración en el período de muestreo se presenta para cada constituyente.

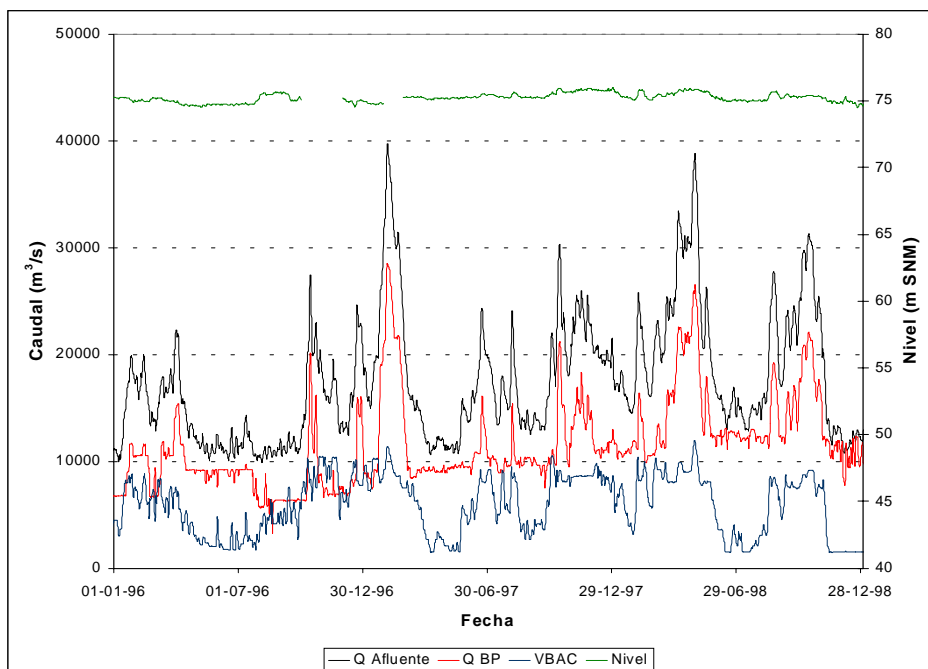
Previo al análisis de los datos disponibles, es importante sumarizar el comportamiento de los caudales afluente y efluente del embalse (Brazo Principal, BP, y vertedero del Brazo Añá Cuá, VBA) en el período de análisis y las fluctuaciones del nivel de agua, resultado de los cambios de volumen del embalse. Las figuras 2.1.1 a 2.1.3 presentan la evolución temporal de estos parámetros en el período 1993-2002, elaborada a partir de valores diarios y la tabla 2.1.1 resume los estadísticos descriptivos básicos calculados.

Durante el período, el nivel de embalse varió entre un mínimo de 62.73 m y un máximo de 76.28 m, pero la tasa de cambio diario es de apenas unos milímetros, con un valor medio en el período de 0.0033 m. La variabilidad de los caudales afluentes está dominada por la variabilidad del río Paraná, con altos caudales ocurriendo en los meses de verano y bajos caudales que prevalecen en invierno. Se registraron valores de afluencia mínima y máxima de 8039m<sup>3</sup>/s y 39736 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. El valor medio en el período fue de 15051 m<sup>3</sup>/s.

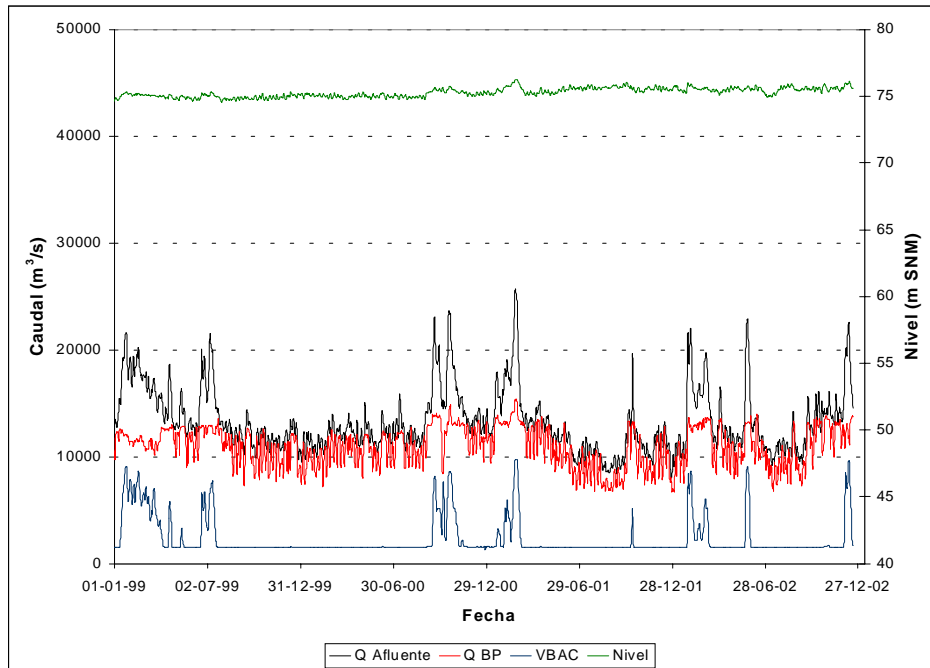
Las figuras 2.1.4 y 2.1.5 muestran los diagramas de caja para los caudales afluente y efluentes del embalse, indicando la tendencia central y la variabilidad de los datos diarios.



*Figura 2.1.1 Nivel de embalse y caudales afluente y efluentes del Embalse de Yacyretá en el período 1993-1995*



*Figura 2.1.2 Nivel de embalse y caudales afluente y efluentes del Embalse de Yacyretá en el período 1996-1998*



*Figura 2.1.3 Nivel de embalse y caudales afuente y efluentes del Embalse de Yacyretá en el período 1999-2002*

**Tabla 2.1.1**

Estadísticos descriptivos de caudales afuente y efluentes del Embalse de Yacyretá (1993-2002)

	<b>Caudal afuente (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal VAC (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caudal BP (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Nivel (m)</b>
N	3638	3638	3638	3540
Media	15051	4285	10772	73.88
Mediana	13627	3910	10405	75.11
Mínimo	8039	1273	3250	62.73
Máximo	39736	13211	28474	76.28
Cuartile Inferior	11830	1542	8774	74.79
Cuartil Superior	16902	6336	12262	75.39
Rango	31697	11938	25224	13.55
Varianza	21791808	7178984	9385323	10.54
Desvío estándar	4668	2679	3064	3.25
Asimetría	1.70	0.60	1.53	-2.18
Kurtosis	3.58	-0.76	4.35	3.24

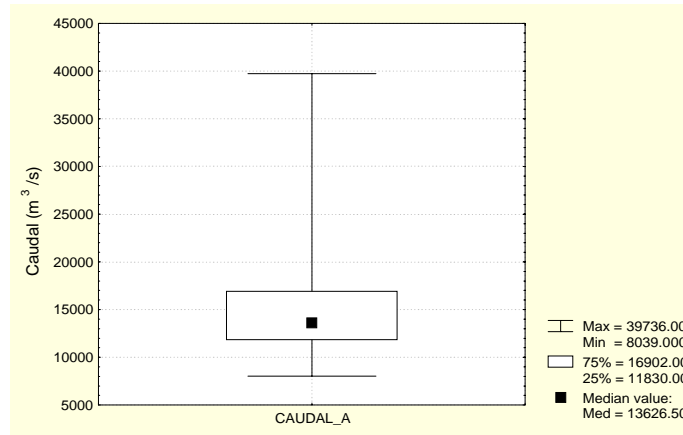


Figura 2.1.4 Diagrama de caja del caudal medio diario afluente al Embalse de Yacyretá (1993-2002)

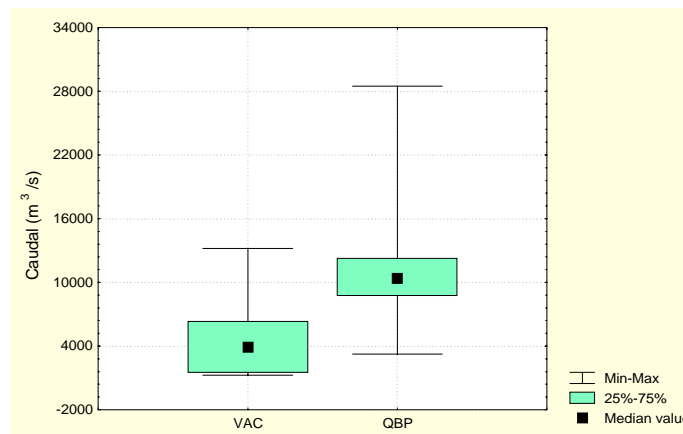


Figura 2.1.5 Diagramas de caja del caudal medio diario efluente del Embalse de Yacyretá (1993-2002). QBP por Brazo principal, QVAC por vertedero brazo Aña Cuá

### 2.1.2 Composición iónica

La determinación de la salinidad, la proporción relativa de cada uno de los iones, como así también su variación temporal y espacial son de interés ya que pueden ser indicativas de diversos aspectos relacionados con las condiciones limnológicas de las aguas y procesos químicos que involucran el nivel trófico del embalse.

La concentración de iones como calcio y sulfato pueden ser indicadores de procesos que se desarrollan en la interfase agua-sedimento. El estudio de la dinámica química de esta interfase es de gran importancia debido a que los sedimentos pueden ser una fuente interna de aporte de nutrientes, dependiendo de las condiciones fisicoquímicas del sistema. Por otro lado, la composición iónica de las aguas superficiales es un reflejo de la

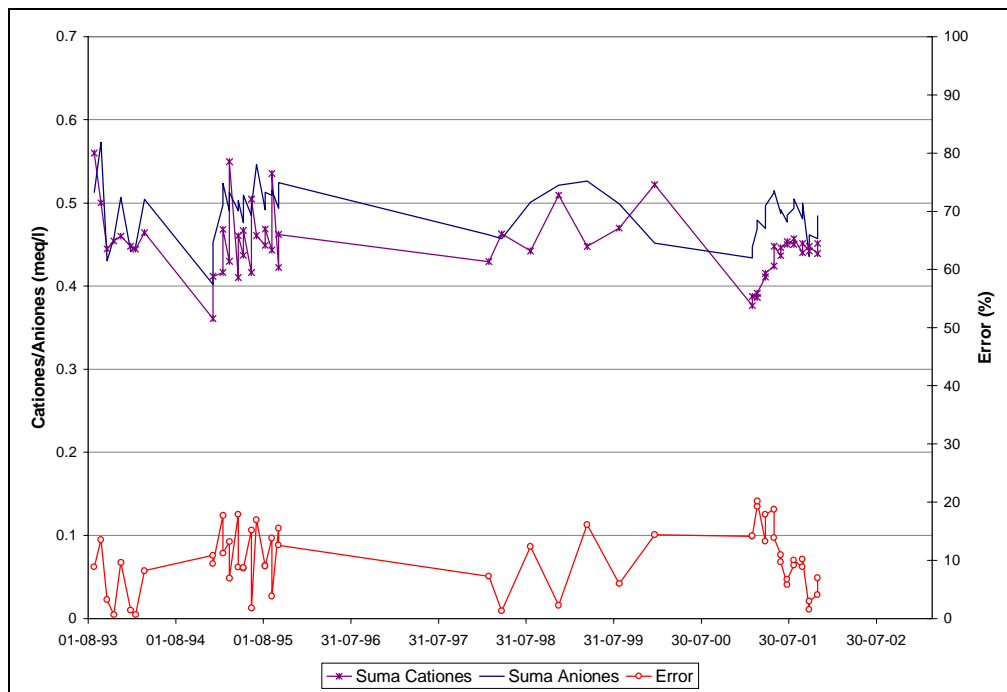
geoquímica de la cuenca y puede brindar información sobre la presencia de fuentes de contaminación allí presentes.

Para validar los datos resultantes del análisis químico se realizó el balance de aniones y cationes mayoritarios que se presenta, para las estaciones E1-C, E4-C, E10-MD y E10-MI, en las figuras 2.1.6 a 2.1.9.

En todas las estaciones el porcentaje de error del balance del análisis calculado por

$$\text{Error(\%)} = 200 \frac{\sum \text{cat} - \sum \text{an}}{\sum \text{cat} + \sum \text{an}}$$

resultó inferior al 30% , valor indicativo admisible para aguas con conductividad promedio de 50  $\mu\text{S/cm}$ . Para realizar este balance, la concentración de bicarbonatos fue calculada a partir de la alcalinidad total.



*Figura 2.1.6 Balance de aniones y cationes en la estación E1-C (Candelaria)*

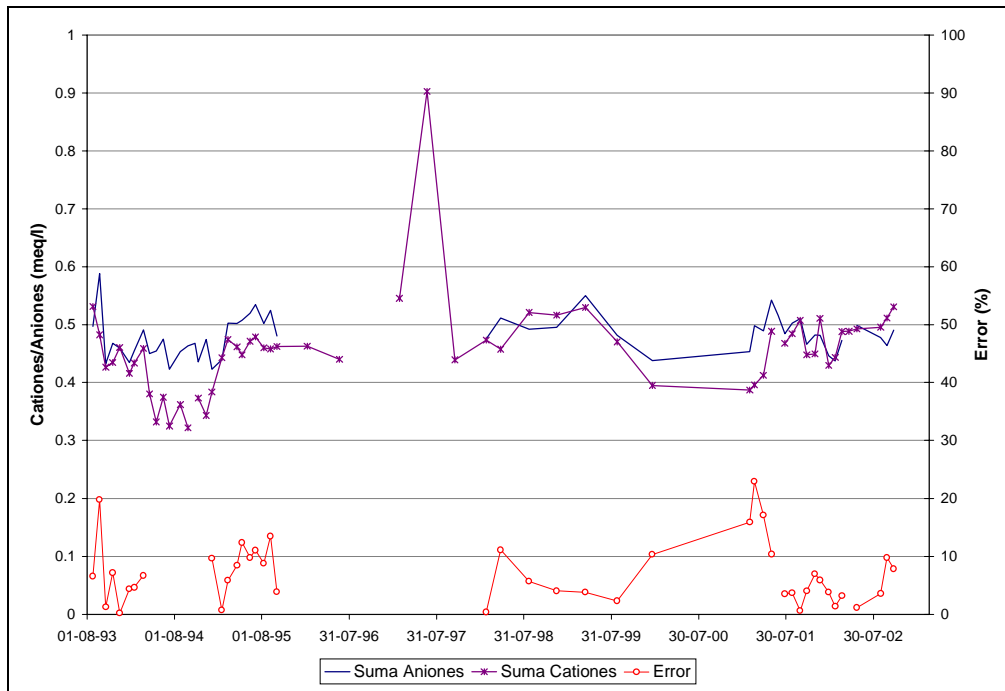


Figura 2.1.7 Balance de aniones y cationes en la estación E4-C (Canal de los Jesuitas)

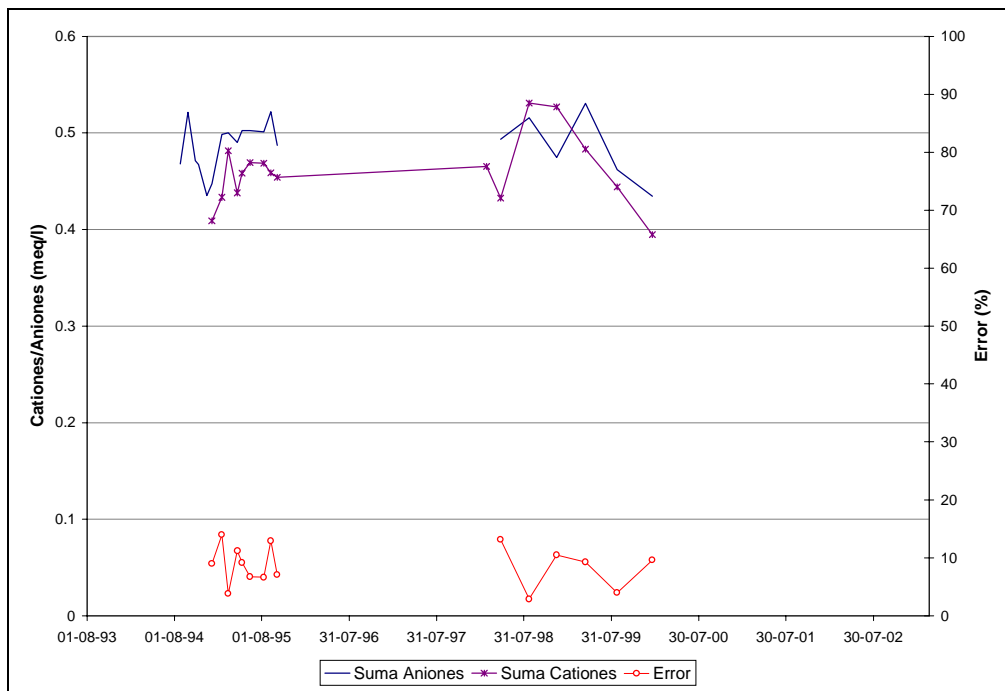


Figura 2.1.8 Balance de aniones y cationes en la estación E10-MD

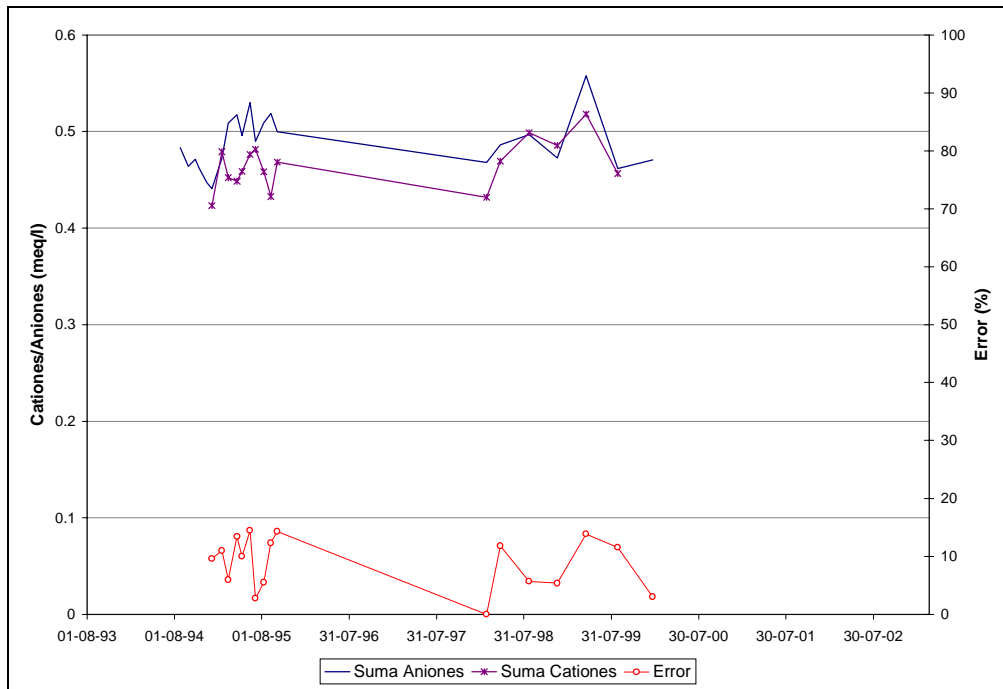
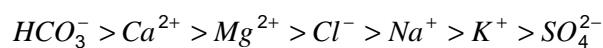


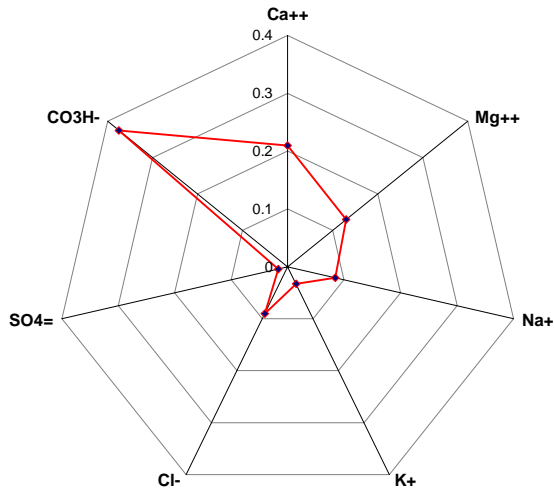
Figura 2.1.9 Balance de aniones y cationes en la estación E10-MI

La figura 2.1.10 muestra la composición iónica media relativa de las aguas superficiales en las 4 estaciones analizadas.

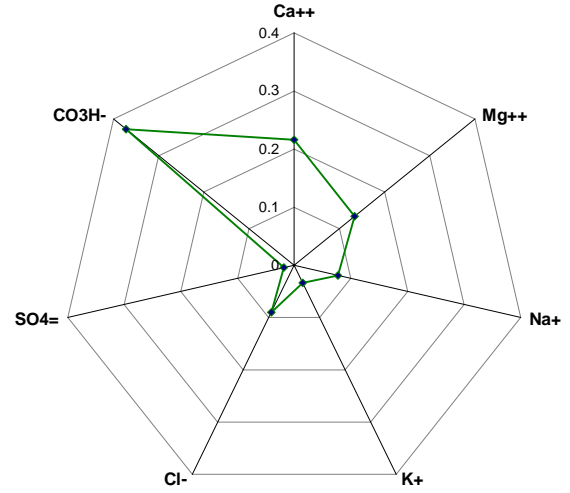
En todas las estaciones el tipo de agua es bicarbonatado cálcico siendo el orden de concentración media de las especies el siguiente (meq/l)



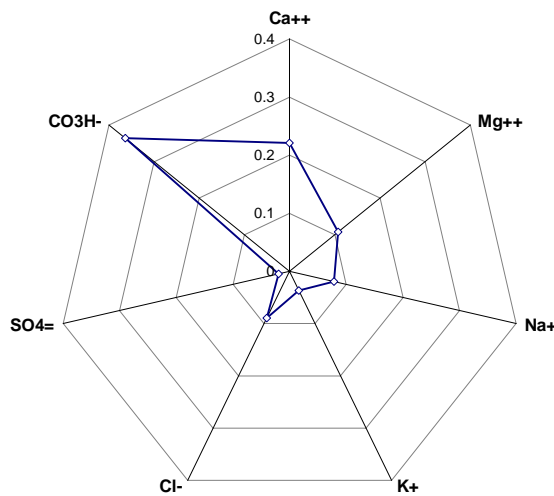
Las figuras 2.1.11 a 2.1.14 presentan la variación temporal de la composición iónica a nivel de superficie de las cuatro estaciones. A lo largo del período de muestreo, la composición iónica no presentó variaciones importantes en su orden. En las estaciones E1-C y E4-C se advierte que el magnesio presentó la mayor variación temporal, detectándose un cambio en la concentración relativa que desplaza al calcio, mientras en E10 MD y E10 MI es el sodio el ión que presenta mayor fluctuación, con tendencia creciente en el período 1994-2000, desplazando su concentración relativa a la de Magnesio en junio de 1995 y abril de 1998.



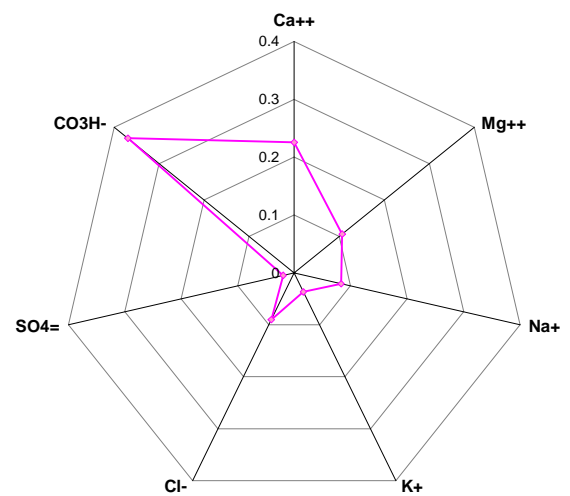
a)



b)

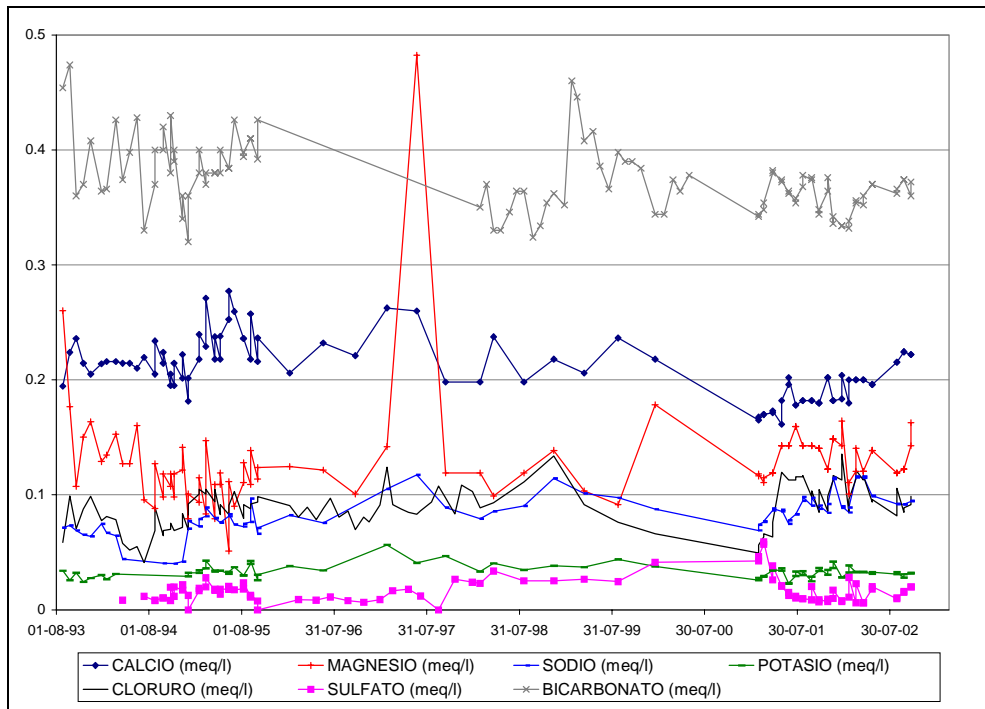


a)

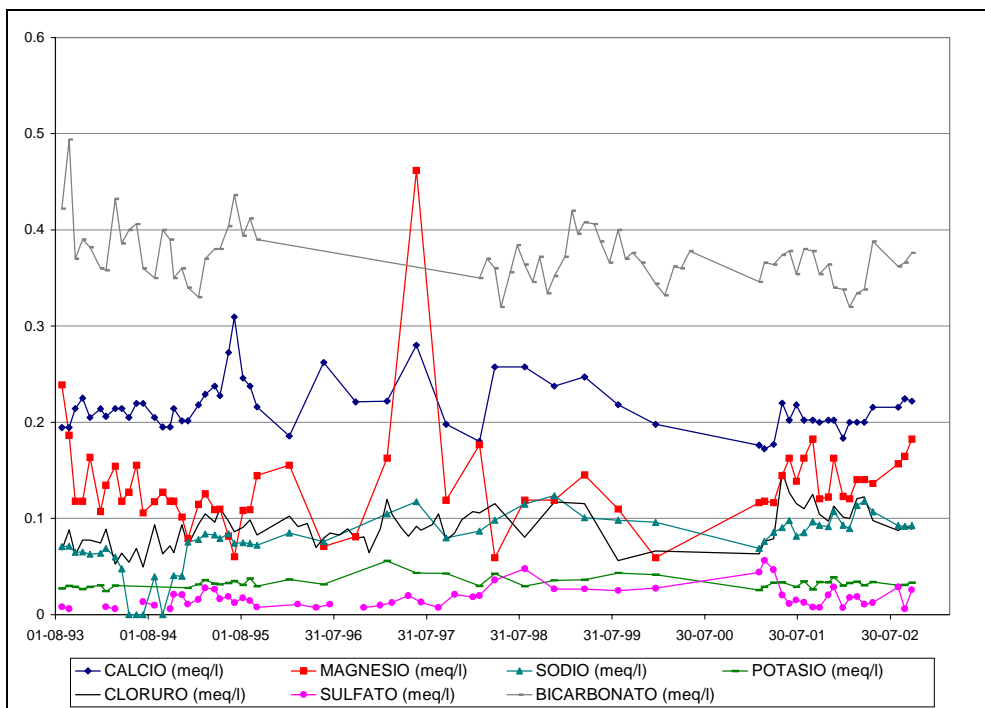


b)

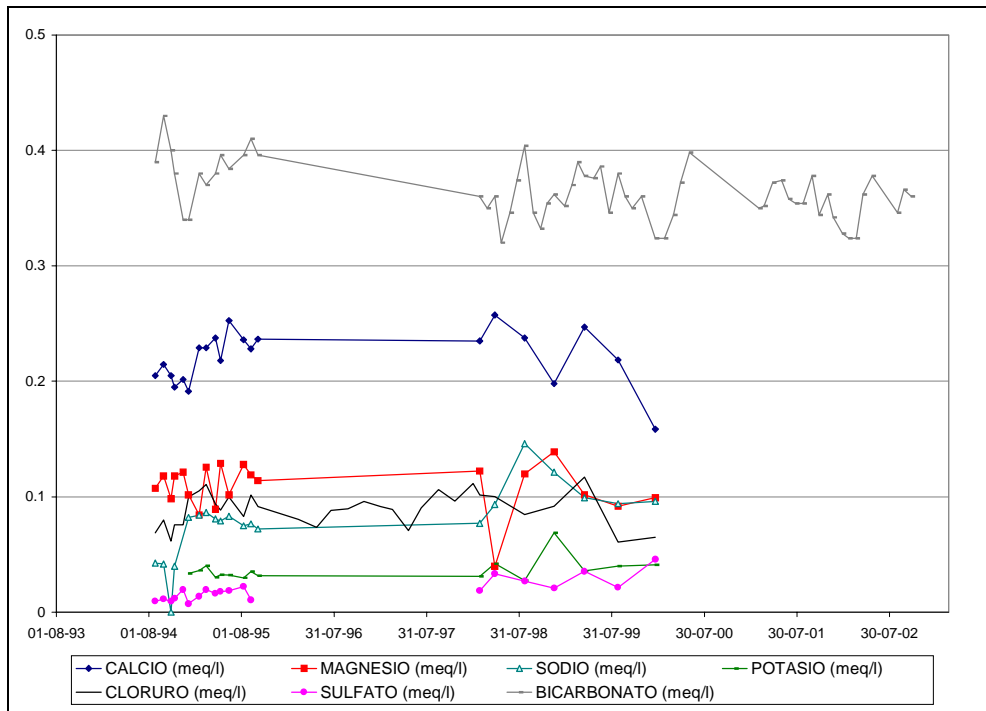
Figura 2.1.10 Composición iónica media relativa (meq/l):  
a) Estación E1-C; b) Estación E4-C; c) Estación E10MD, d) Estación E10MI



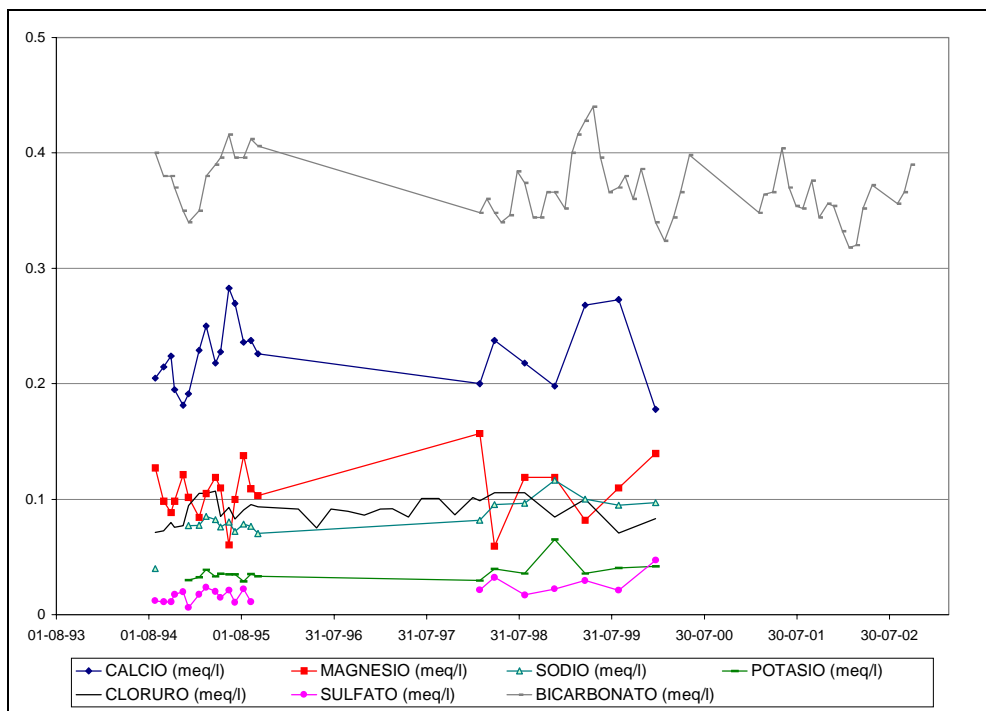
*Figura 2.1.11 Variación temporal de iones principales en la estación E1-C*



*Figura 2.1.11 Variación temporal de iones principales en la estación E4-C*



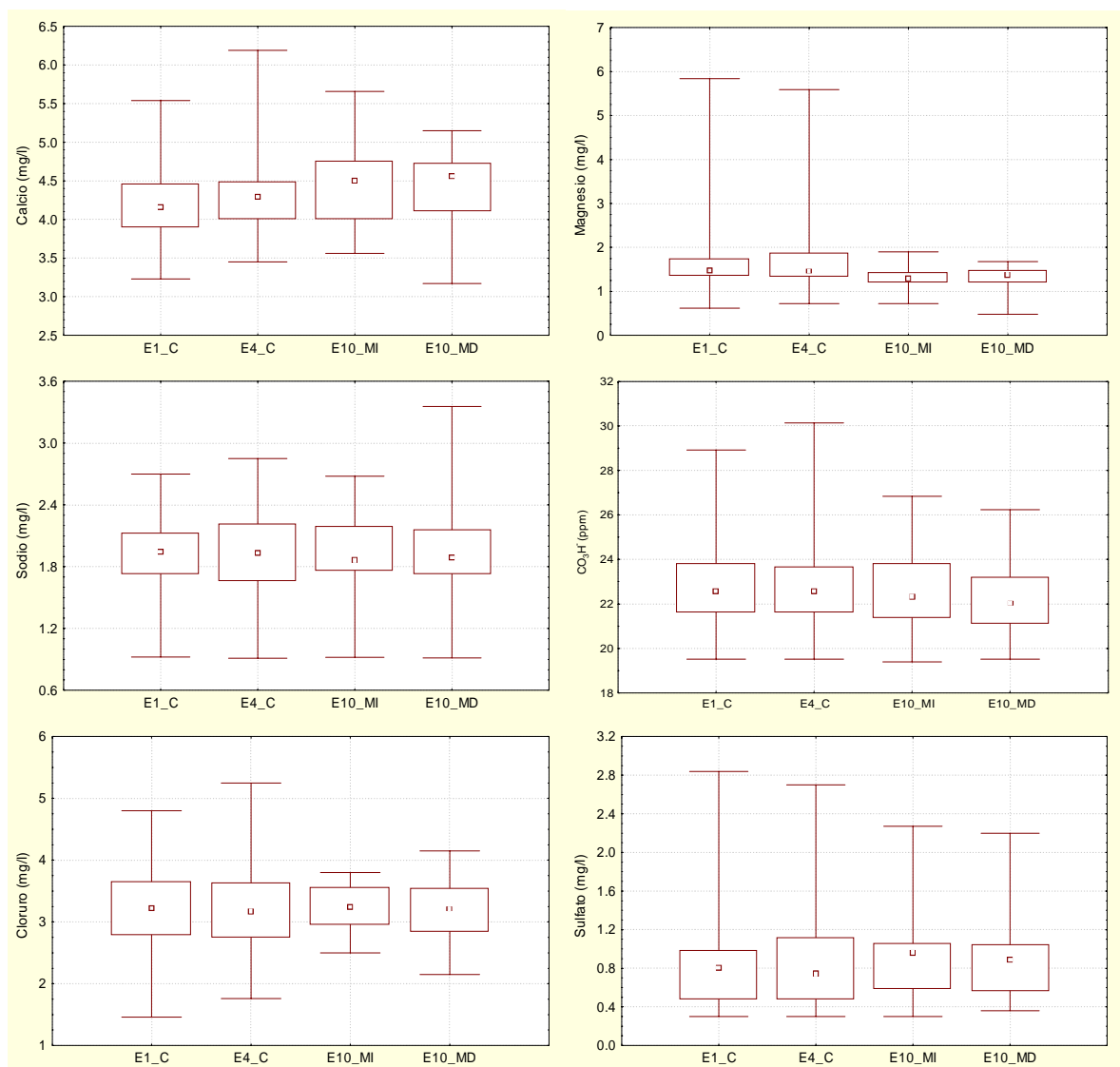
*Figura 2.1.13 Variación temporal de iones principales en la estación E10-MD*



*Figura 2.1.14 Variación temporal de iones principales en la estación E10-MI*

La variación espacial de la concentración de iones se muestra en la figura 2.1.15 a través de diagramas de caja donde se indican los valores máximo, mínimo, mediana y percentiles de 25 y 75 %. Se observa que, avanzando desde aguas arriba hacia las estaciones de salida, la concentración de calcio tiene una tendencia creciente, la concentración de sodio es relativamente uniforme y la de magnesio decrece hacia la salida.

En el caso de los aniones, se observa relativa constancia espacial en las concentraciones de cloruro y sulfato, mientras el bicarbonato es mayor en las estaciones de E1-C y E4-C.



*Figura 2.1.15 Variación espacial de concentración de iones principales en el Embalse de Yacretá*

### 2.1.3 Conductividad Eléctrica y pH

Las figuras 2.1.16 a 2.1.18 presentan la evolución temporal de conductividad eléctrica en las estaciones E1-C, aguas arriba del embalse, E4-C Canal de los jesuitas y en las estaciones de salida E120-MI y E10-MD.

En la tabla 2.1.2 se resumen las medidas descriptivas básicas calculadas para los datos de conductividad eléctrica en las estaciones de la red de muestreo y en las figuras 2.1.19 y 2.1.20 se presentan los diagramas de caja para las estaciones analizadas en esta etapa.

Se observa que la conductividad eléctrica de las aguas a la entrada del embalse varió en el período entre 34 y 65  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor medio de 44  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras en la estación E4-C, representativa de las condiciones medias del embalse y con un valor medio similar, la variabilidad en el período fue mayor. A la salida, las concentraciones fluctuaron entre 34 y 70  $\text{mg}/\text{l}$  en la estación E10-MI y entre 33 y 65  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en E10-MD, con valores medios de 43.6 y 44.4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente.

La figura 2.1.21 presenta la evolución anual promedio en el período 1993-2002 de la conductividad eléctrica, indicando uniformidad a lo largo del año, con valores apenas inferiores en julio y agosto.

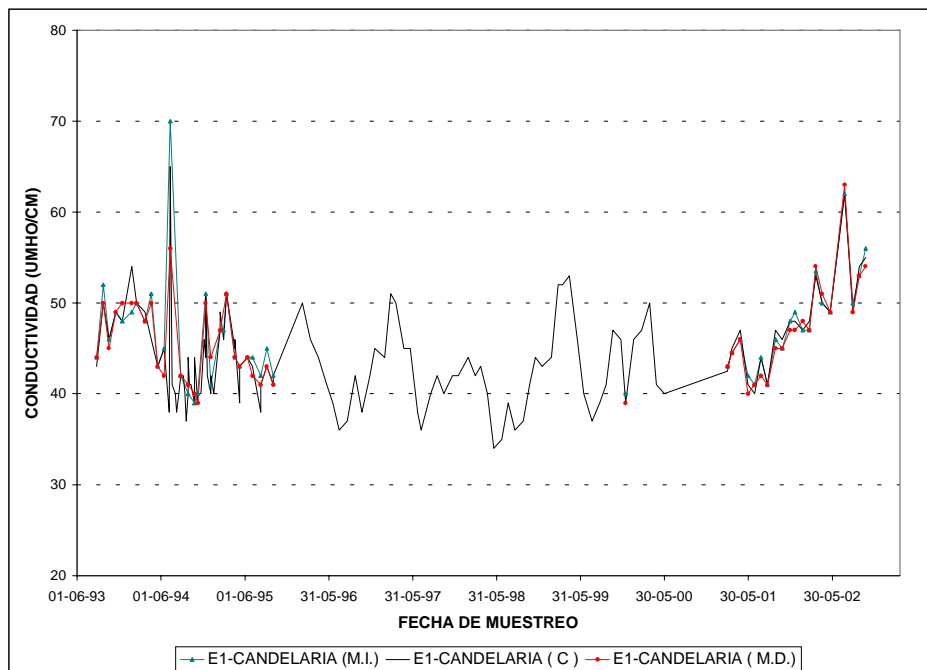


Figura 2.1.16 Conductividad eléctrica ( $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ) en la estación Candalaria. Período 1993-2002

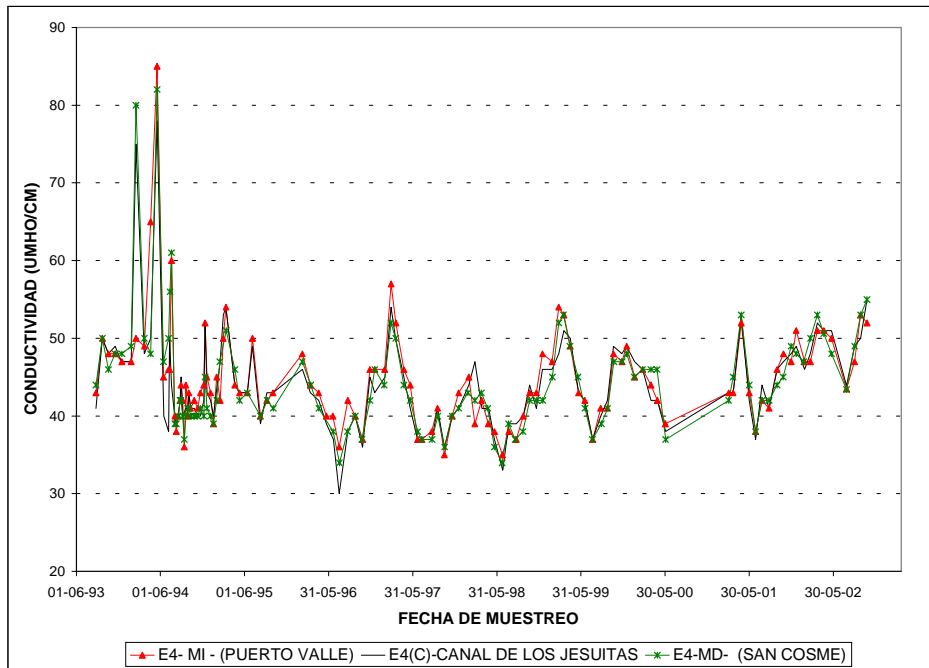


Figura 2.1.17 Conductividad eléctrica (µmho/cm) en las estaciones E4. Período 1993-2002

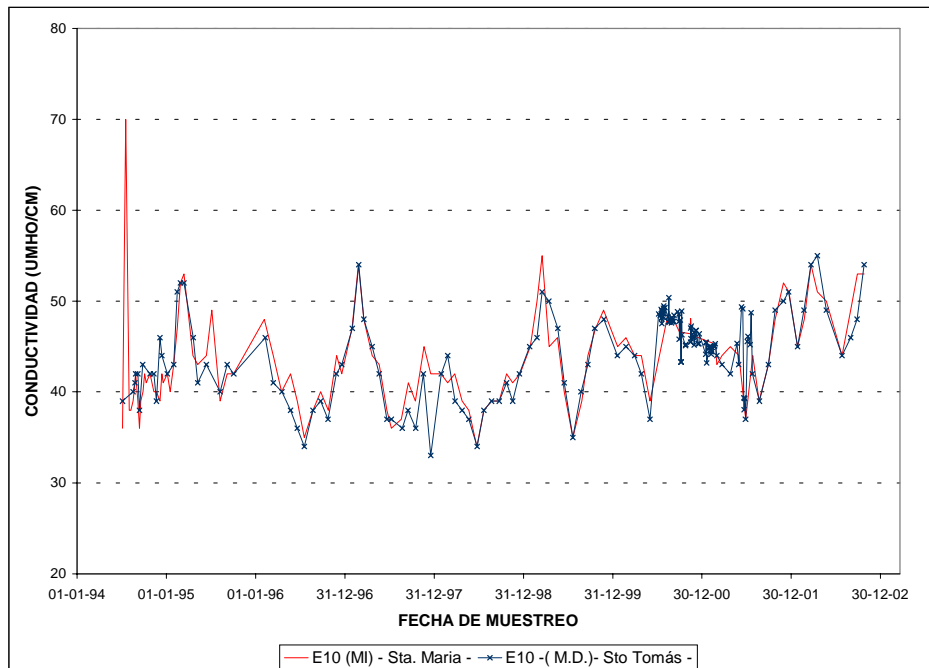


Figura 12.1.18 Conductividad eléctrica (µmho/cm) en las estaciones Santa María y Santo Tomás. Período 1993-2002

**Tabla 2.1.2**

Estadísticos descriptivos de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en estaciones de la red de monitoreo de Yacretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	49	46.8	46.0	39.0	70.0	43.0	49.0	31.0	32.6	5.7	1.8	5.1
E1_C	130	43.9	43.0	34.0	65.0	40.0	47.0	31.0	26.2	5.1	1.0	2.1
E1_MD	48	46.2	45.0	39.0	63.0	42.0	50.0	24.0	24.8	5.0	0.9	1.3
E4_MI	116	44.8	43.3	35.0	85.0	41.0	47.5	50.0	41.5	6.4	2.5	12.8
E4_C	114	44.3	43.0	30.0	78.0	40.0	48.0	48.0	42.1	6.5	2.1	9.3
E4_MD	113	44.4	42.0	34.0	82.0	40.0	47.0	48.0	50.0	7.1	2.6	11.4
E9_OMBÚ	86	43.6	42.5	33.0	62.0	40.0	46.0	29.0	27.9	5.3	0.8	0.8
E10_MI	113	43.6	43.0	34.0	70.0	40.0	46.6	36.0	28.3	5.3	1.3	4.2
E10_MD	165	44.4	45.0	33.0	55.0	42.0	47.8	22.0	19.6	4.4	-0.3	-0.3
E11_VBP	102	43.1	42.0	33.0	61.0	39.0	46.0	28.0	27.1	5.2	0.9	1.2
E12_VAC	169	44.9	45.6	25.0	68.0	41.0	48.3	43.0	26.9	5.2	0.2	2.7
E4_MI_P	102	43.4	43.0	34.0	57.0	40.0	46.0	23.0	22.7	4.8	0.4	-0.1
E4_C_P	102	42.9	42.0	31.0	54.0	40.0	45.0	23.0	23.7	4.9	0.3	-0.2
E4_MD_P	99	43.5	43.0	33.0	55.0	40.0	47.0	22.0	25.4	5.0	0.4	-0.3
E9_P	85	44.2	43.0	34.0	69.0	40.0	47.0	35.0	35.5	6.0	1.2	2.6
E10_MI_P	101	43.2	42.5	7.2	70.0	40.0	46.0	62.8	43.4	6.6	-0.6	10.5
E10_MDP	94	42.4	42.0	34.0	54.0	39.0	45.0	20.0	22.7	4.8	0.4	-0.4

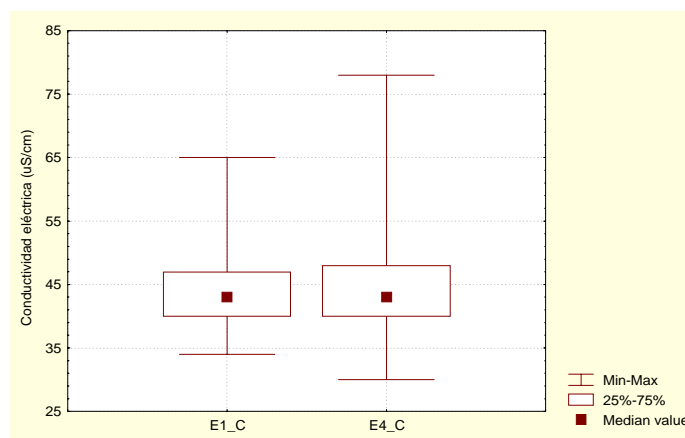


Figura 2.1.19 Diagramas de caja de la conductividad eléctrica en E1-Candelaria y E4-Canal de los Jesuitas (1993-2002)

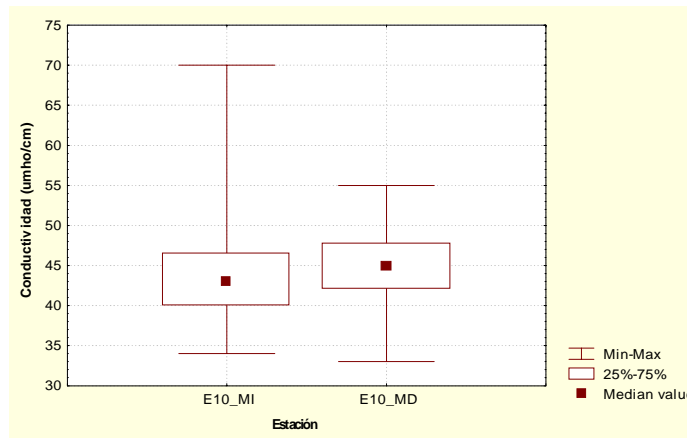


Figura 2.1.20 Diagramas de caja de la conductividad eléctrica en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

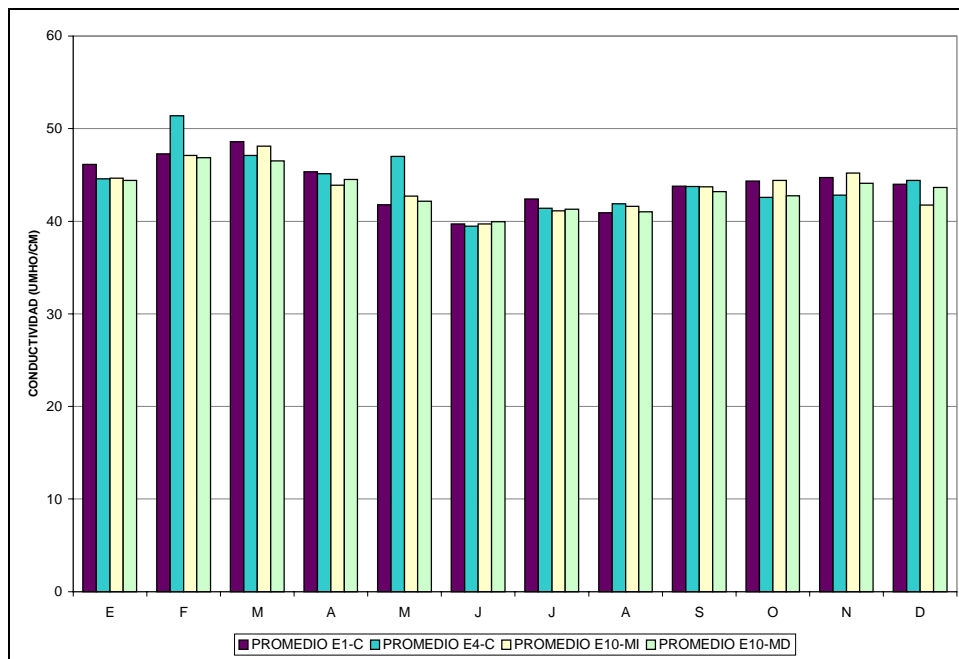


Figura 2.1.21 Distribución anual promedio de conductividad eléctrica

En las figuras 2.1.22 a 2.1.24 se muestran los valores de pH en el período 1993-2003 y en la tabla 2.1.3 se resumen los estadísticos calculados para los valores muestreados en las estaciones de la red, manifestando una fuerte constancia en términos medios.

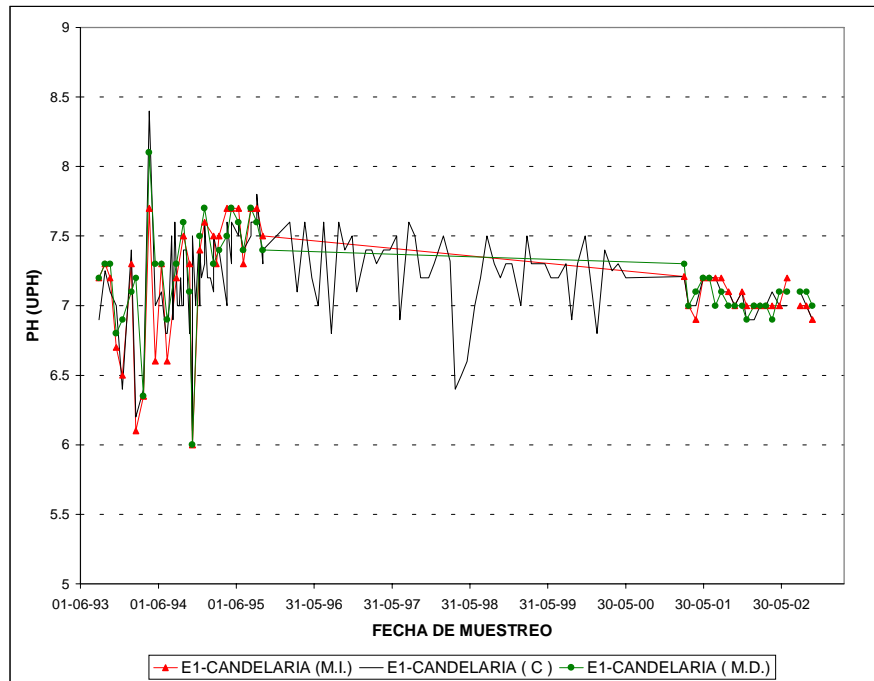


Figura 2.1.22 Valores de pH en la estación Candelaria. Período 1993-2002

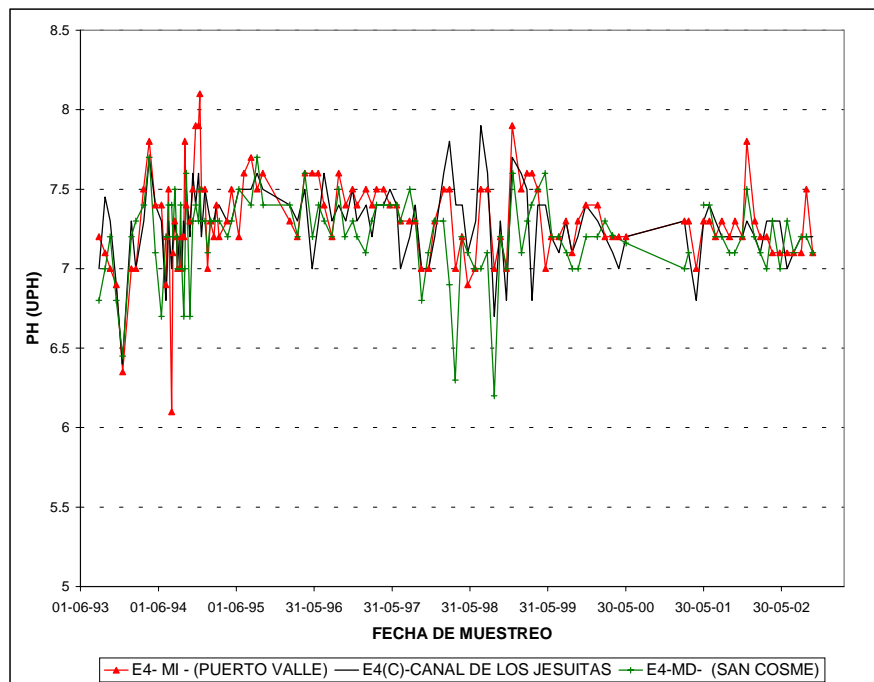


Figura 2.1.23 Valores de pH en las estaciones E4. Período 1993-2002

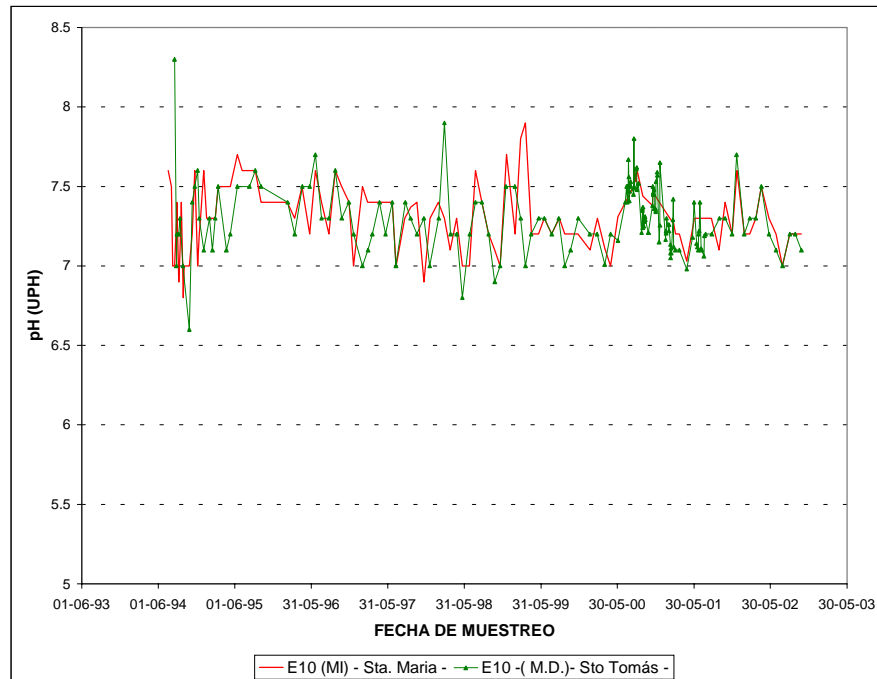


Figura 2.1.24 Valores de pH en las estaciones E10-MI y E10 MD. Período 1993-2002

**Tabla 2.1.3**

Estadísticos descriptivos de la pH en estaciones de la red de monitoreo de Yacyretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	48	7.14	7.20	6.00	7.70	7.00	7.35	1.70	0.16	0.40	-0.86	1.06
E1_C	129	7.20	7.20	6.10	8.40	7.00	7.40	2.30	0.10	0.32	-0.47	2.38
E1_MD	47	7.18	7.10	6.00	8.10	7.00	7.40	2.10	0.12	0.35	-0.52	2.89
E4_MI	116	7.30	7.30	6.10	8.10	7.15	7.50	2.00	0.08	0.28	-0.51	3.27
E4_C	115	7.27	7.30	6.40	7.90	7.20	7.40	1.50	0.05	0.23	-0.51	1.58
E4_MD	112	7.20	7.20	6.20	7.70	7.10	7.40	1.50	0.06	0.25	-1.20	3.19
E9_OMBÚ	85	7.27	7.30	6.50	7.80	7.10	7.40	1.30	0.05	0.23	-0.21	0.35
E10_MI	113	7.31	7.30	6.80	7.90	7.20	7.44	1.10	0.04	0.21	0.11	-0.19
E10_MD	169	7.30	7.30	6.60	8.30	7.20	7.46	1.70	0.04	0.21	0.57	2.79
E11_VBP	102	7.25	7.30	6.50	7.80	7.10	7.40	1.30	0.04	0.21	-0.44	0.89

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E12_VAC	170	7.32	7.30	6.60	7.87	7.20	7.45	1.27	0.05	0.21	-0.14	0.28
E4_MI_P	102	7.23	7.30	5.10	7.70	7.10	7.40	2.60	0.08	0.29	-3.96	28.08
E4_C_P	103	7.29	7.30	6.70	8.00	7.20	7.40	1.30	0.04	0.21	-0.17	1.52
E4_MD_P	99	7.24	7.20	6.50	7.60	7.10	7.30	1.10	0.04	0.20	-0.54	1.61
E9_P	85	7.26	7.20	6.30	7.70	7.10	7.40	1.40	0.05	0.22	-0.68	2.64
E10_MI_P	104	7.27	7.30	5.40	7.70	7.20	7.40	2.30	0.07	0.27	-3.40	21.96
E10_MDP	96	7.25	7.20	6.70	8.20	7.10	7.40	1.50	0.05	0.23	0.74	2.41

Los diagramas de caja de las figuras 2.1.25 y 2.1.26 manifiestan que la variabilidad de los valores de pH es considerablemente mayor sobre el río Paraná que en las estaciones dentro del embalse y la figura 2.1.27 que resume la evolución anual promedio en el período de muestreo, no permite inferir componentes estacionales preponderantes.

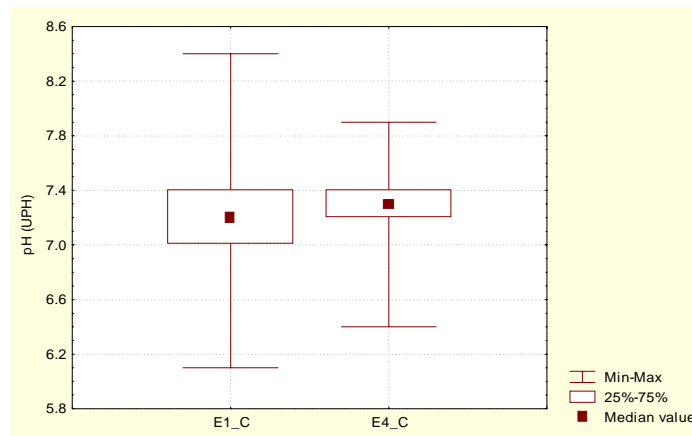


Figura 2.1.25 Diagramas de caja de pH en Candelaria y Canal de los Jesuitas (1993-2002)

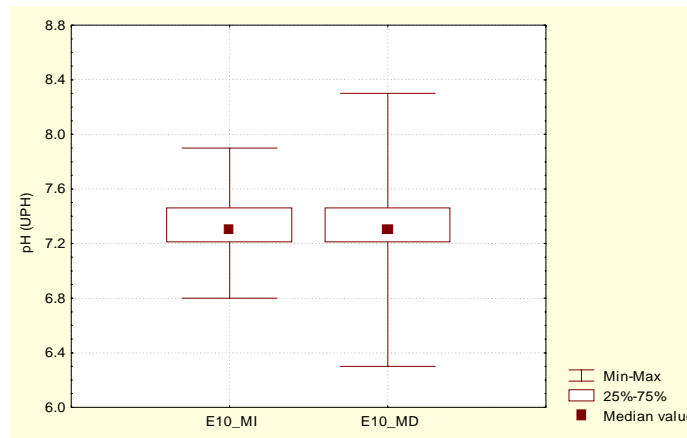


Figura 2.1.26 Diagramas de caja de pH en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

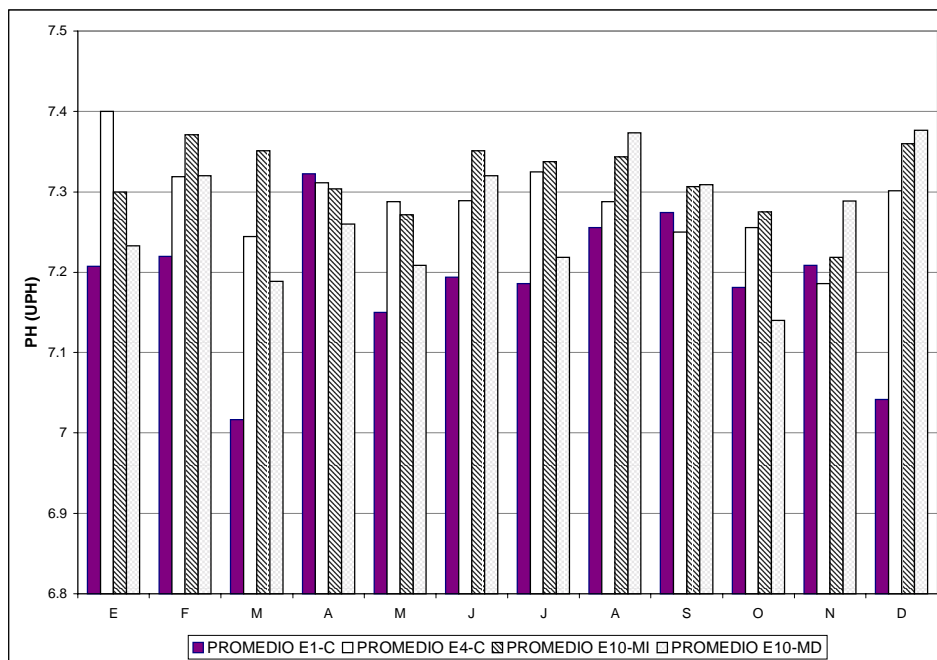


Figura 2.1.27 Distribución anual promedio de pH

### 2.1.4 Oxígeno Disuelto

Las figuras 2.1.28 a 2.1.30 presentan las series temporales de concentración de oxígeno disuelto en las estaciones a la entrada y a la salida del embalse. La tabla 2.1.4 muestra las medidas estadísticas básicas calculadas para los valores muestreados en el período 1993-2002 y permite observar que en la estación candelaria la concentración de oxígeno disuelto varió en el período entre 5.8 y 11.6 mg/l, con un valor medio de 8.6 mg/l.

En la estación E4 los valores son algo inferiores en torno a un valor medio de 8.4 mg/l habiendo alcanzado valores mínimo y máximo de 6.6 mg/l y 10.2 mg/l, respectivamente. En las estaciones a la salida, las concentraciones variaron entre 6.7 y 10.4 mg/l en la estación E10-MI y entre 5.7 y 10.1 mg/l en E10-MD, con valores medios de 8.3 mg/l y 8.4 mg/l, respectivamente.

**Tabla 2.1.4**

Estadísticos descriptivos de la concentración de oxígeno disuelto en estaciones de la red de monitoreo de Yacyretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	50	8.5	8.4	7.0	10.7	7.9	9.0	3.7	0.7	0.9	0.3	-0.2
E1_C	130	8.6	8.6	5.8	11.6	7.9	9.3	5.8	1.3	1.1	0.2	0.0
E1_MD	49	8.5	8.4	7.0	10.8	7.9	9.2	3.8	0.8	0.9	0.2	-0.3
E4_MI	117	8.4	8.3	6.5	9.9	7.9	8.8	3.4	0.5	0.7	-0.1	0.1
E4_C	116	8.4	8.5	6.6	10.2	7.9	8.9	3.6	0.5	0.7	0.0	-0.1
E4_MD	113	8.5	8.4	6.9	11.3	7.9	9.1	4.4	0.8	0.9	0.6	0.3
E9_OMBÚ	85	8.5	8.5	7.0	11.5	8.0	9.0	4.5	0.7	0.9	0.6	1.1
E10_MI	116	8.3	8.3	6.7	10.4	7.8	8.9	3.7	0.6	0.7	0.2	-0.3
E10_MD	193	8.3	8.4	5.6	10.1	7.8	8.9	4.5	0.6	0.8	-0.3	0.3
E11_VBP	105	9.5	9.2	5.8	14.4	8.1	10.7	8.6	2.9	1.7	0.4	-0.5
E12_VAC	198	9.8	9.7	7.4	12.4	9.2	10.7	5.0	1.0	1.0	0.1	-0.6
E4_MI_P	103	8.5	8.5	5.7	11.7	7.8	9.2	6.0	1.1	1.0	0.2	0.5
E4_C_P	103	8.6	8.6	5.5	11.4	7.9	9.3	5.9	1.2	1.1	-0.1	0.3
E4_MD_P	99	8.8	8.6	7.0	11.5	8.2	9.3	4.5	0.9	1.0	0.7	0.5
E9_P	85	8.8	8.6	7.0	12.0	8.2	9.3	5.0	1.0	1.0	0.7	1.1
E10_MI_P	103	8.6	8.5	6.4	11.7	7.8	9.3	5.3	1.2	1.1	0.4	0.0
E10_MDP	94	8.3	8.4	5.2	10.7	7.6	9.0	5.5	1.1	1.1	-0.4	0.3

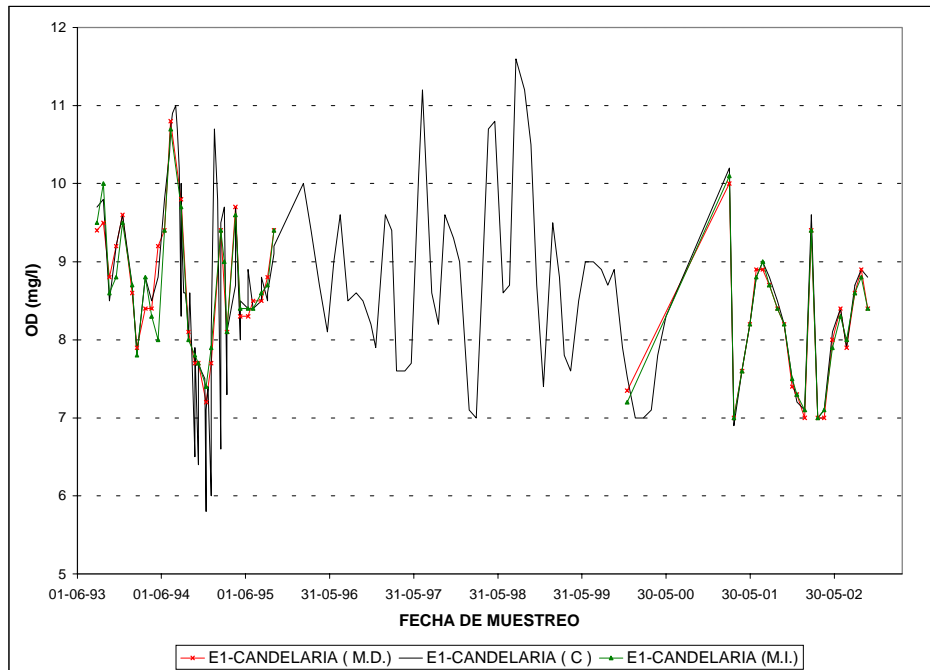


Figura 2.1.28 Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) en la estación Candelaria. Período 1994-2002

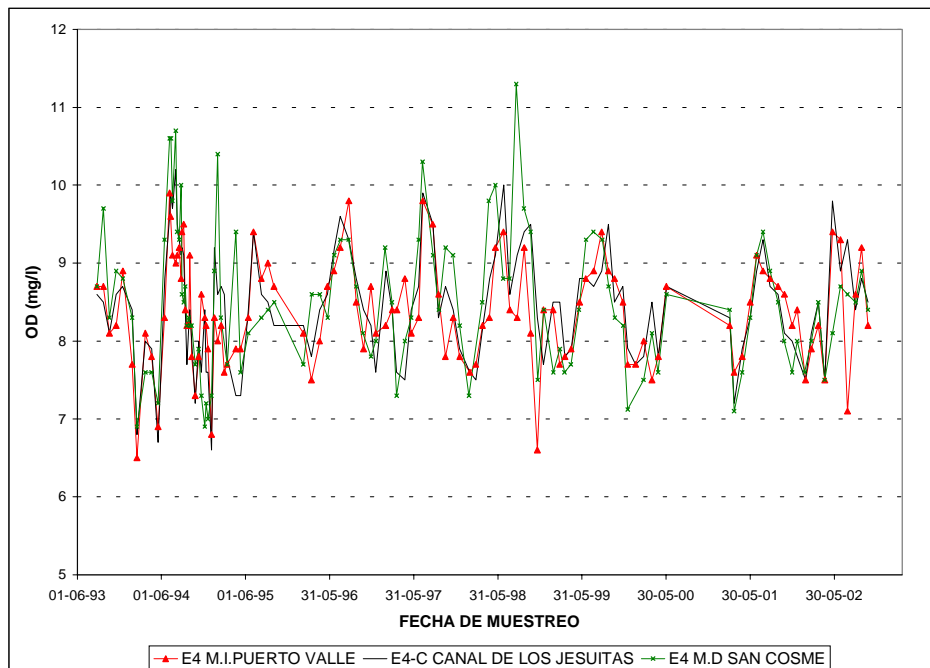


Figura 2.1.29 Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) en las estaciones E4. Período 1994-2002

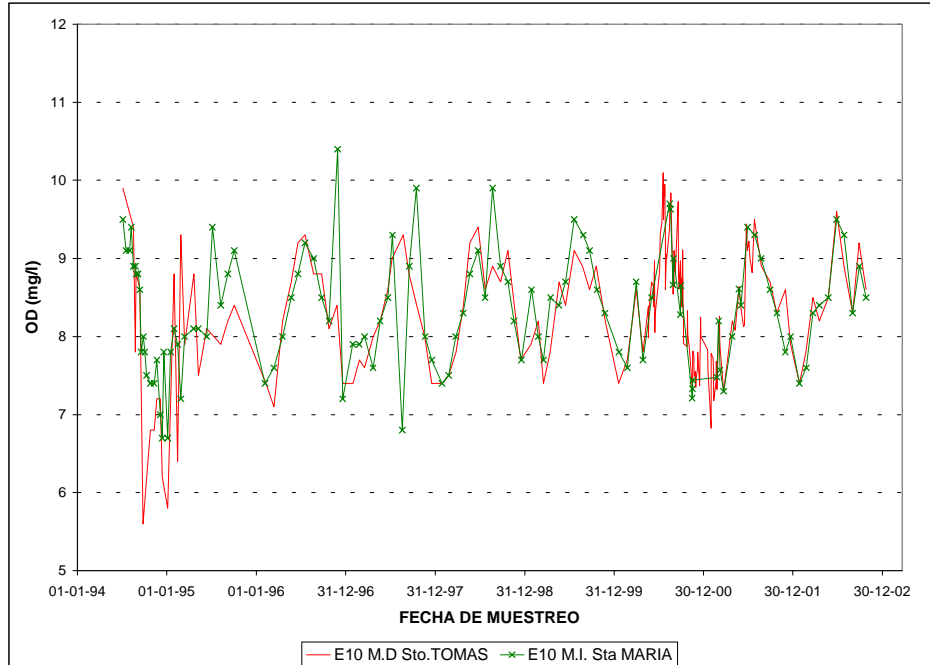


Figura 2.1.30 Concentración de oxígeno disuelto (mg/l) en las estaciones Santa María y Santo Tomás. Período 1994-2002

Para las estaciones E1-C, E4-C y E10 (margen izquierda y derecha) se obtienen los diagramas de caja presentados en las figuras 2.1.31 y 2.1.32, que permiten advertir la mayor variabilidad de los valores en el río, así como un rango de variación más amplio para los valores muestreados en la estación aguas arriba del vertedero sobre el brazo Aña Cuá.

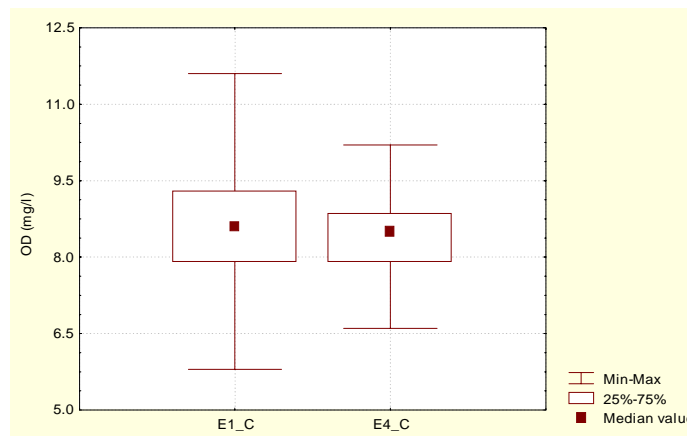


Figura 2.1.31 Diagramas de caja de la concentración de oxígeno disuelto en Candelaria y Canal de los Jesuitas(1994-2002)

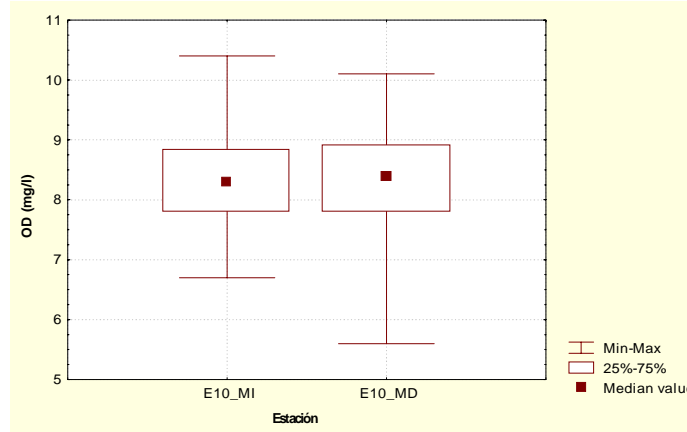


Figura 2.1.32 Diagramas de caja de la concentración de oxígeno disuelto en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

Observando la evolución anual promedio de oxígeno disuelto, presentada en la figura 2.1.33, se advierte claramente el ciclo estacional dominado por los valores mayores en los meses de invierno.

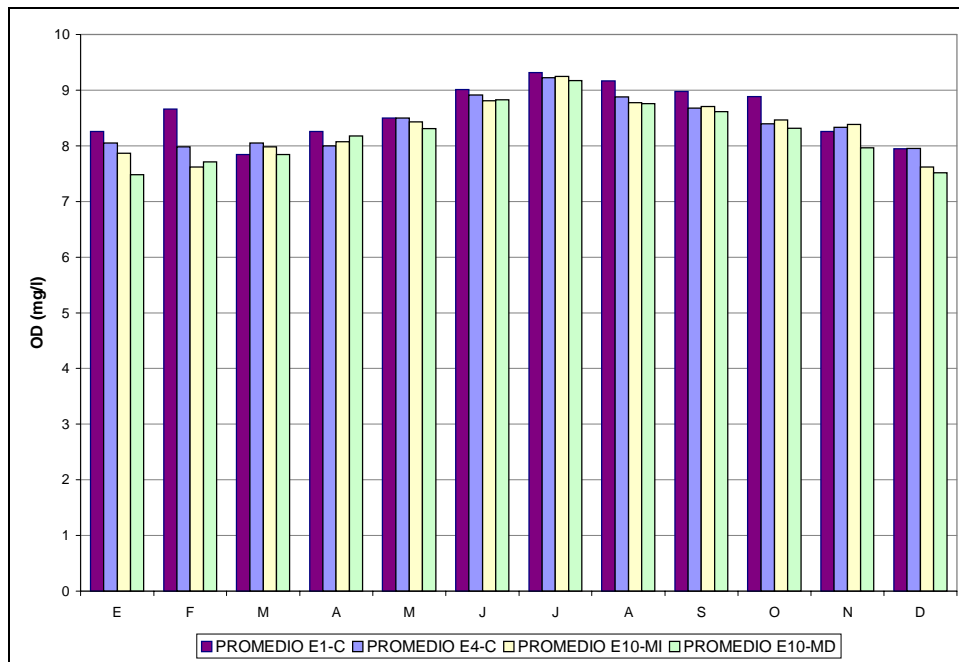


Figura 2.1.33 Evolución anual promedio de oxígeno disuelto en el período 1993-2002

### 2.1.5 **Carbono Orgánico Total**

Un análisis similar se efectuó sobre los valores de muestreo de carbono orgánico total (ppm). Se advierte que el muestreo (determinación) de este parámetro comenzó en febrero de 2001, obteniéndose por tanto series temporales de escasa longitud, que se presentan para las estaciones E1, E4 y E10 en las figuras 2.1.34 a 2.1.36.

La tabla 2.1.5 que resume la estadística descriptiva de carbono orgánico total, permite observar que la concentración de COT sobre el río Paraná varió en el período entre 1.67 ppm y 4.32 ppm, con un valor medio de 2.86 mg/l. En el embalse (estación E4) se registraron valores mínimo y máximo de 1.77 ppm y 3.76 ppm, respectivamente, y el valor medio fue de 2.68 ppm.

**Tabla 2.1.5**

Estadísticos descriptivos de la concentración de carbono orgánico total en estaciones de la red de monitoreo de Yacretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	22	2.78	2.82	1.67	3.33	2.66	3.12	1.67	0.22	0.47	-1.11	0.51
E1_C	37	2.86	2.90	1.67	4.32	2.64	3.17	2.65	0.28	0.53	-0.21	1.23
E1_MD	18	3.21	3.04	1.92	8.61	2.47	3.26	6.69	2.03	1.42	3.49	13.76
E4_MI	31	2.87	2.78	2.07	3.76	2.62	3.22	1.69	0.16	0.40	0.06	-0.44
E4_C	33	2.68	2.66	1.77	3.76	2.38	3.00	1.99	0.20	0.45	0.22	0.00
E4_MD	31	2.71	2.78	1.70	3.62	2.56	2.91	1.92	0.15	0.39	-0.36	0.93
E9_OMBÚ	32	2.85	2.74	1.62	4.42	2.49	2.98	2.81	0.37	0.61	0.80	0.88
E10_MI	31	2.77	2.76	1.89	3.85	2.40	3.03	1.96	0.21	0.46	0.39	0.02
E10_MD	32	2.84	2.74	2.09	3.73	2.48	3.24	1.65	0.22	0.47	0.25	-0.97
E11_VBP	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
E12_VAC	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
E4_MI_P	9	2.76	2.75	1.97	3.56	2.35	3.23	1.59	0.37	0.61	0.04	-1.47
E4_C_P	10	2.52	2.32	1.75	3.31	2.26	3.14	1.56	0.27	0.52	0.44	-0.93
E4_MD_P	9	2.87	2.90	1.62	3.65	2.61	3.31	2.03	0.42	0.65	-0.86	0.23
E9_P	9	2.66	2.75	1.63	3.75	2.28	2.90	2.12	0.45	0.67	0.13	-0.38
E10_MI_P	10	2.62	2.65	1.80	3.28	2.20	3.14	1.49	0.29	0.54	-0.12	-1.46
E10_MDP	10	2.85	3.09	2.08	3.42	2.30	3.22	1.34	0.27	0.52	-0.37	-1.90

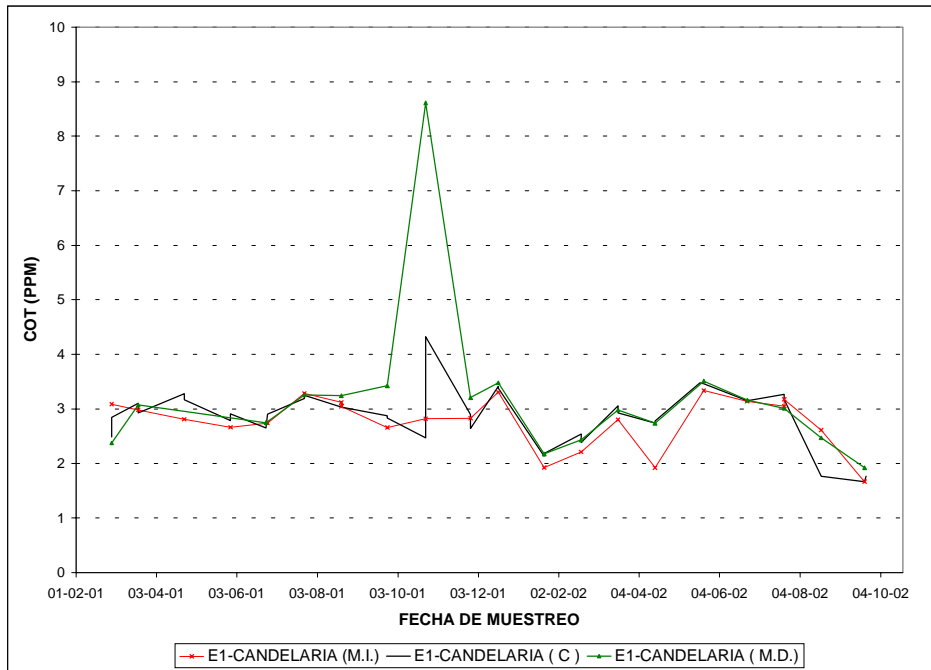


Figura 2.1.34 Concentración de carbono orgánico total (ppm) en la estación Candelaria. Período 2001-2002

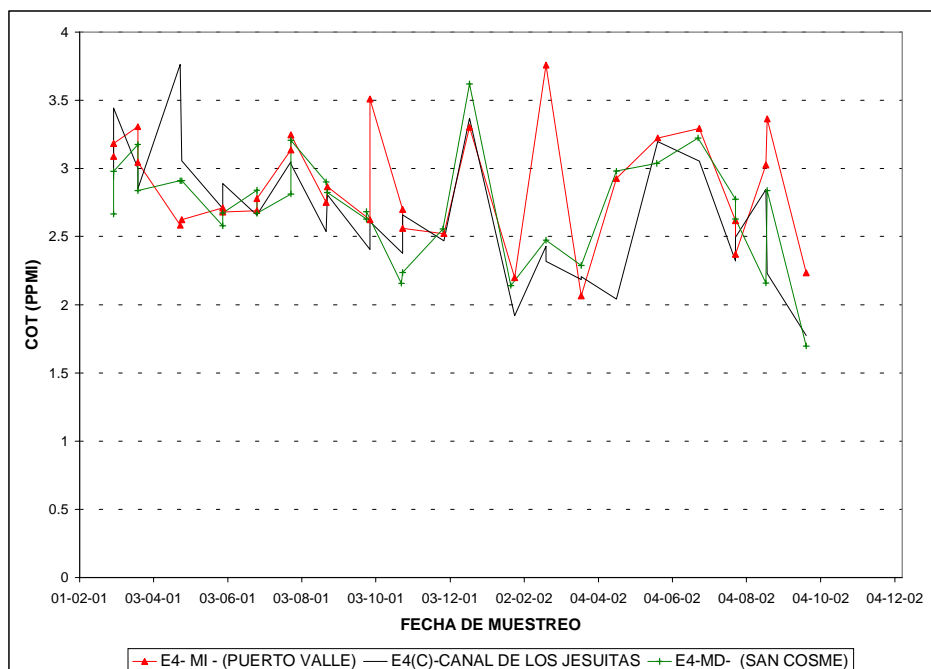


Figura 2.1.35 Concentración de carbono orgánico total (ppm) en las estaciones E4. Período 2001-2002

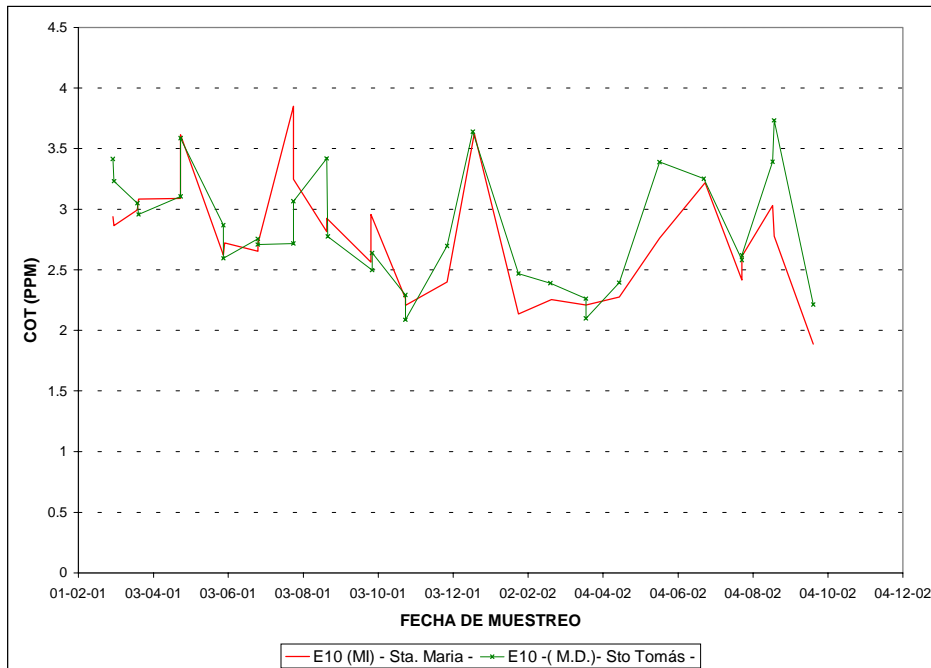


Figura 2.1.36 Concentración de carbono orgánico total (ppm) en las estaciones Santa María y Santo Tomás. Período 2001-2002

A la salida, las concentraciones variaron entre 1.89 y 3.85 ppm en la estación E10-MI y entre 2.09 y 3.73 mg/l en E10-MD, con valores medios de 2.77 y 2.84 mg/l, respectivamente.

Los diagramas de caja elaborados para la concentración de COT en estas estaciones se muestran en las figuras 2.1.37 y 2.1.38.

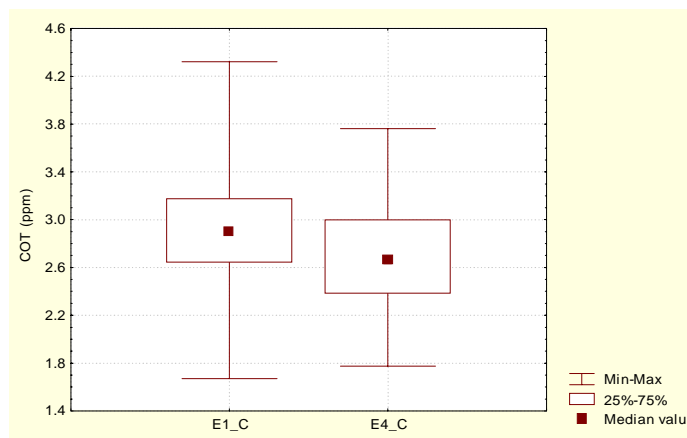


Figura 2.1.37 Diagramas de caja de la concentración de carbono orgánico total en Candelaria y Canal de los Jesuitas (2001-2002)

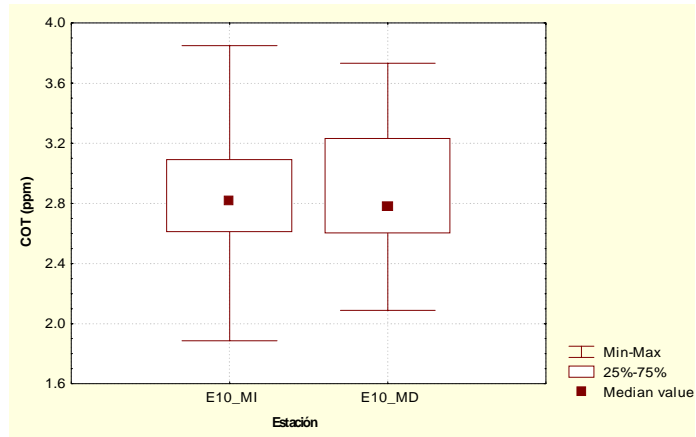


Figura 2.1.38 Diagramas de caja de la concentración de carbono orgánico total en Santa María y Santo Tomás (2001-2002)

La figura 2.1.39 presenta la evolución temporal promedio de COT para el período de muestreo. A pesar de la longitud escasa de las series, se advierten mínimos estacionales entre enero y febrero y entre septiembre y noviembre y dos máximos, en diciembre y mayo para los valores correspondientes al embalse. Sobre el río Paraná, el comportamiento estacional es similar.

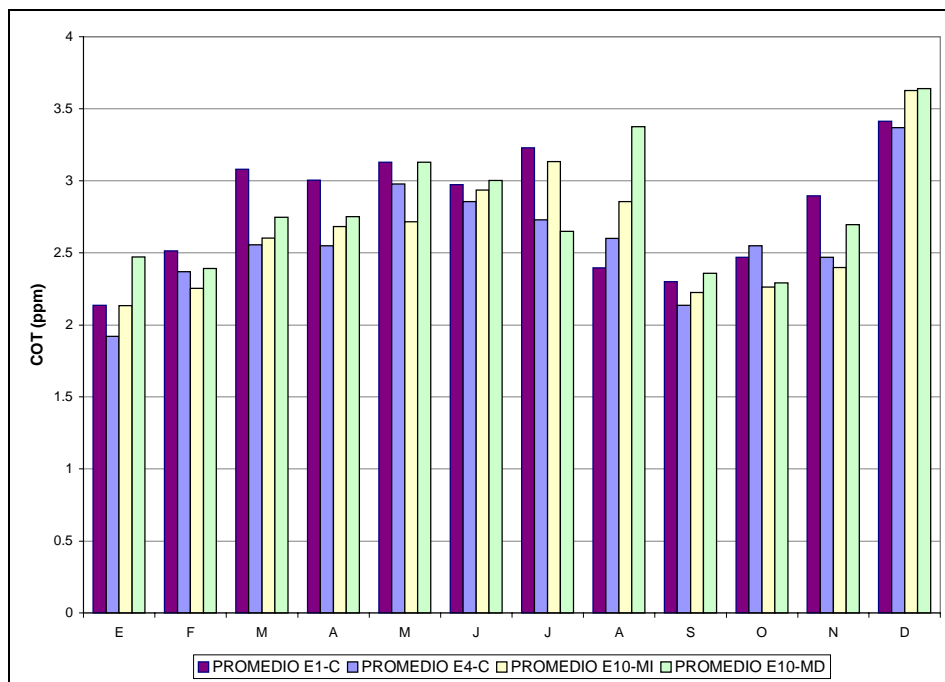


Figura 2.1.39 Evolución anual promedio de carbono orgánico total en el período 1993-2002

## 2.2 NUTRIENTES

A continuación se presentan algunos resultados obtenidos en el análisis del contenido de nutrientes de las aguas del embalse, de fundamental importancia en la búsqueda de signos evidentes de eutroficación, caracterizada por un aumento de la productividad primaria debido a contenidos elevados de nutrientes.

### 2.2.1 Fósforo Total

En las figuras 2.2.1 a 2.2.3 se presentan las series temporales de concentración de fósforo total obtenidas para las estaciones sobre las que se realizó este análisis preliminar. La tabla 2.2.1 resume los estadísticos básicos calculados para todas las estaciones de la red de monitoreo (exceptuando la estación emplazada en Itá Ibate, aguas abajo del embalse) y permite advertir el aumento en la concentración media de fósforo total desde el río Paraná a la estación E4 en el embalse (de 0.45 a 0.52 mg/l). A la salida, las concentraciones variaron entre 0.01 y 0.14 mg/l en la estación E10-MI y entre 0.01 y 0.22 mg/l en E10-MD, con valores medios de 0.05 y 0.06 mg/l, respectivamente.

**Tabla 2.2.1**

Estadísticos descriptivos de la concentración de fósforo total en estaciones de la red de monitoreo de Yacyretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	94	0.051	0.042	0.013	0.148	0.03	0.07	0.14	0.00	0.03	1.32	1.50
E1_C	140	0.045	0.038	0.011	0.175	0.03	0.05	0.16	0.00	0.03	1.78	4.00
E1_MD	96	0.052	0.042	0.013	0.183	0.03	0.07	0.17	0.00	0.03	1.53	2.68
E4_MI	111	0.049	0.045	0.010	0.150	0.03	0.06	0.14	0.00	0.03	1.59	3.02
E4_C	110	0.051	0.046	0.012	0.157	0.03	0.07	0.15	0.00	0.03	1.35	1.54
E4_MD	108	0.051	0.043	0.011	0.184	0.03	0.06	0.17	0.00	0.03	1.57	2.99
E9_OMBÚ	85	0.057	0.048	0.010	0.181	0.03	0.08	0.17	0.00	0.04	1.33	2.14
E10_MI	100	0.052	0.042	0.010	0.138	0.03	0.07	0.13	0.00	0.03	1.11	0.42
E10_MD	94	0.058	0.047	0.010	0.219	0.03	0.08	0.21	0.00	0.04	1.53	2.78
E11_VBP	109	0.050	0.043	0.004	0.149	0.02	0.07	0.15	0.00	0.03	0.94	0.24
E12_VAC	118	0.049	0.041	0.008	0.142	0.02	0.07	0.13	0.00	0.03	0.93	0.02
E4_MI_P	93	0.052	0.043	0.010	0.150	0.03	0.07	0.14	0.00	0.03	1.24	1.33
E4_C_P	86	0.057	0.053	0.012	0.153	0.03	0.08	0.14	0.00	0.03	0.99	0.75
E4_MD_P	84	0.055	0.053	0.013	0.181	0.03	0.07	0.17	0.00	0.03	1.22	1.71
E9_P	81	0.058	0.048	0.013	0.181	0.03	0.08	0.17	0.00	0.04	1.24	1.41
E10_MI_P	99	0.052	0.042	0.010	0.137	0.03	0.07	0.13	0.00	0.03	1.08	0.44
E10_MDP	84	0.059	0.046	0.012	0.189	0.03	0.08	0.18	0.00	0.04	1.19	1.01

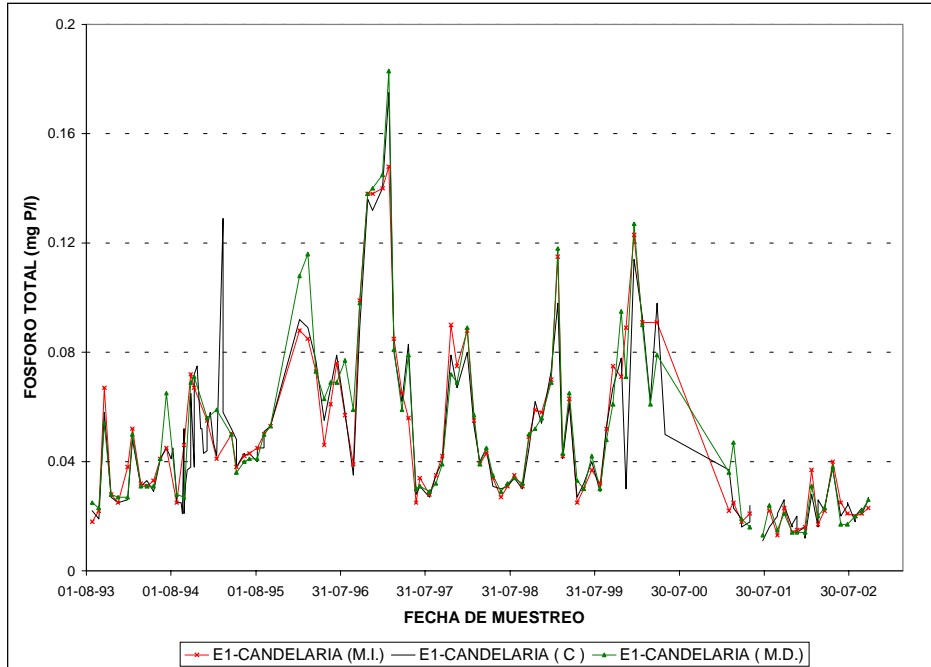


Figura 2.2.1 Concentración de fósforo total (mg P/l) en la estación Candalaria. Período 1993-2002

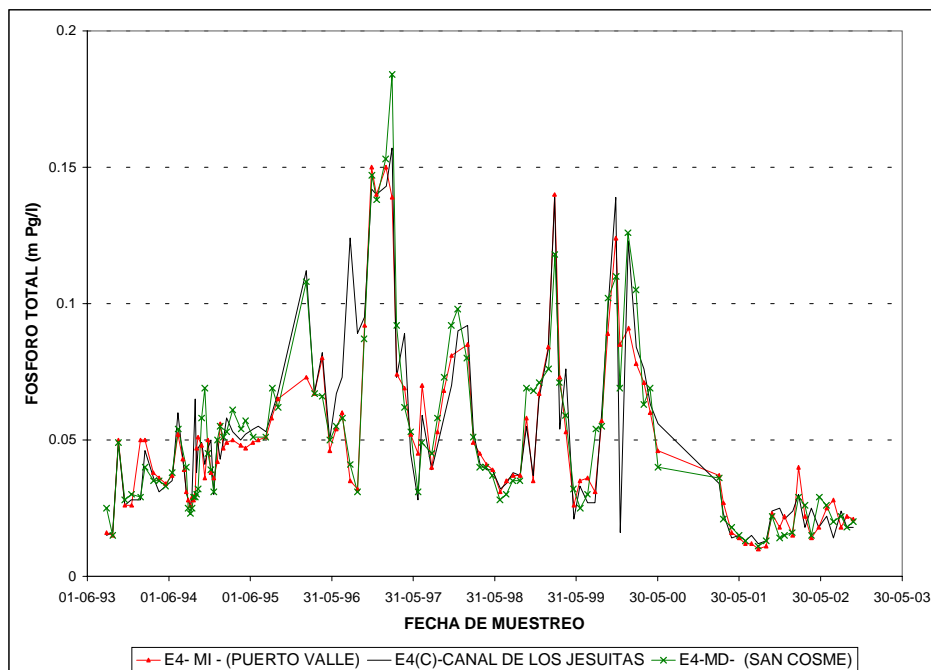


Figura 2.2.2 Concentración de fósforo total (mg P/l) en las estaciones E4. Período 1993-2002

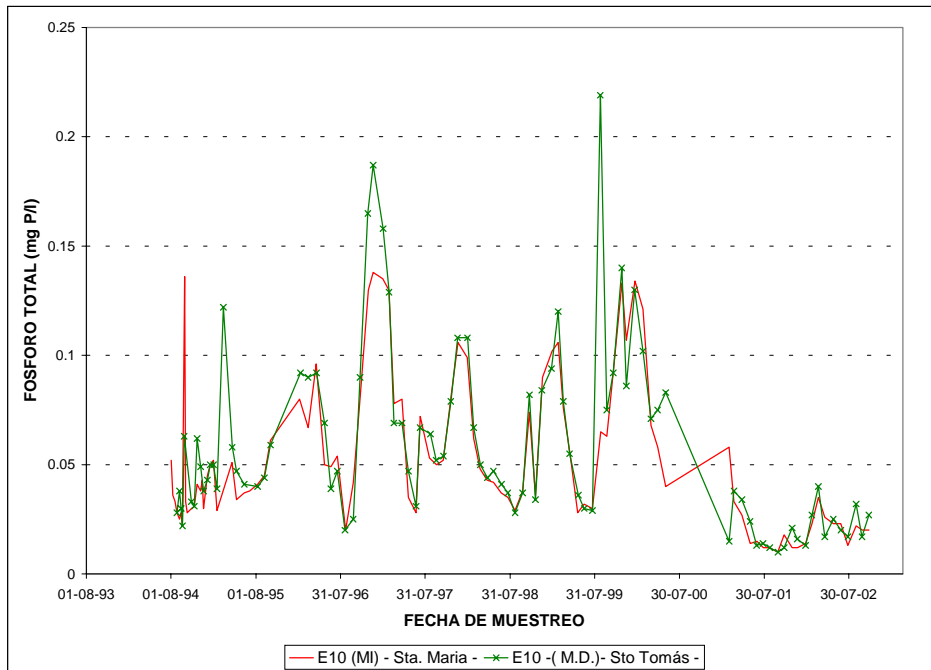


Figura 2.2.3 Concentración de fósforo total (mg P/l) en las estaciones Santa María y Santo Tomás. Período 1993-2002

Los diagramas de caja de las figuras 2.2.4 y 2.2.5 explicitan que el mayor rango de variación de fósforo total se registró a la salida del embalse en la estación inmediatamente aguas arriba del cierre del brazo principal.

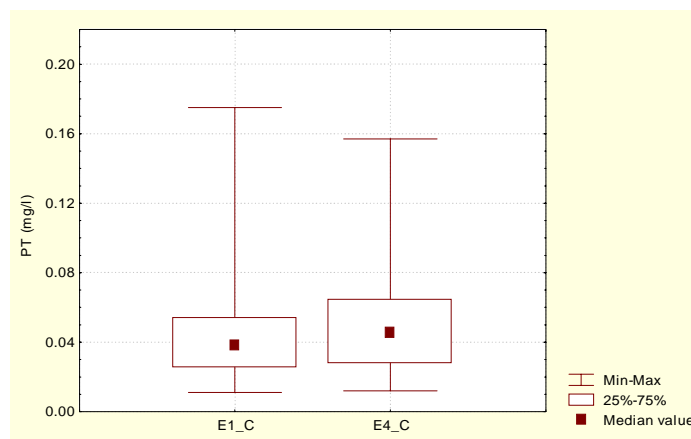


Figura 2.2.4 Diagramas de caja de la concentración de fósforo total en Candelaria y Canal De los Jesuitas (1993-2002)

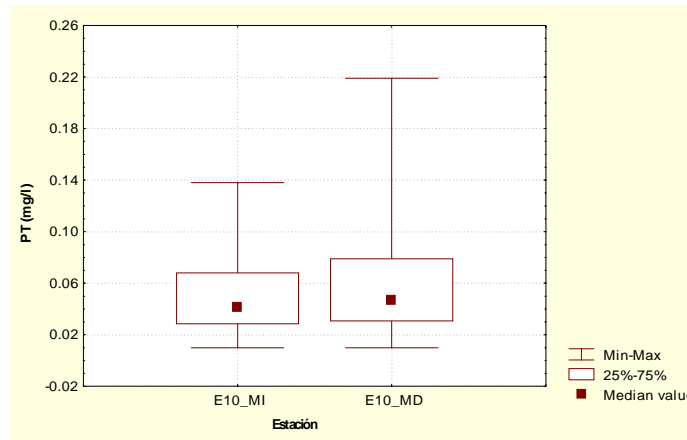


Figura 2.2.5 Diagramas de caja de la concentración de fósforo total en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

La distribución anual de concentración de fósforo total en promedio durante el período de muestreo indicada en la figura 2.2.6 manifiesta que las máximas concentraciones se midieron, en promedio, en los meses de primavera y verano. Aguas arriba (E1-C) y en E4-C, la máxima concentración de fósforo total se produce durante febrero (0.076 mg/l y 0.096 mg/l, respectivamente). A la salida la máxima concentración promedio es del orden de 0.09 mg/l en diciembre.

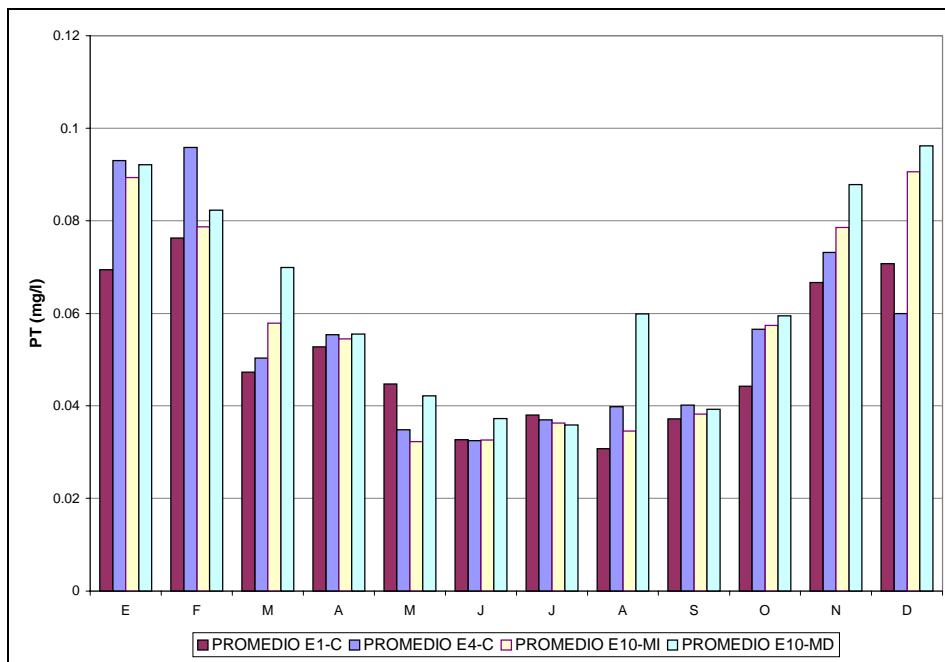


Figura 2.2.6 Evolución temporal promedio de la concentración de fósforo total en el período 1993-2002

### 2.2.2 Fósforo de Ortofosfato

En las figuras 2.2.7 a 2.2.9 se presenta la evolución temporal de fósforo de ortofosfato (mg/l) en el período de muestreo 1993-2002 y en la tabla 2.2.2 se resumen los estadísticos calculados.

Se observa que el valor medio de la concentración de fósforo de fosfato aumenta sensiblemente desde el río al embalse, variando de 0.016 mg/l en E1-C a 0.019 mg/l en E4-C. A la salida, las concentraciones en la estación E10-MI y en E10-MD, alcanzaron valores medios de 0.019 mg/l y 0.02 mg/l, respectivamente. Las figuras 2.2.10 y 2.2.11 muestran que los rangos de variación de la concentración de fósforo de ortofosfato en estas estaciones es dos veces el de las estaciones de aguas arriba.

**Tabla 2.2.2**

Estadísticos descriptivos de la concentración de fósforo de fosfato en estaciones de la red de monitoreo de Yacretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	90	0.019	0.02	0.001	0.06	0.01	0.02	0.06	0.00	0.01	1.05	0.43
E1_C	121	0.016	0.01	0.002	0.05	0.01	0.02	0.05	0.00	0.01	1.36	1.44
E1_MD	89	0.017	0.02	0.001	0.05	0.01	0.02	0.05	0.00	0.01	0.91	0.04
E4_MI	94	0.018	0.02	0.003	0.06	0.01	0.03	0.05	0.00	0.01	1.06	0.75
E4_C	89	0.019	0.02	0.001	0.05	0.01	0.03	0.05	0.00	0.01	0.91	-0.09
E4_MD	93	0.019	0.02	0.003	0.06	0.01	0.03	0.05	0.00	0.01	0.75	-0.15
E9_OMBÚ	83	0.023	0.02	0.002	0.18	0.01	0.03	0.18	0.00	0.02	4.35	26.60
E10_MI	83	0.019	0.02	0.001	0.14	0.01	0.03	0.14	0.00	0.02	4.17	26.89
E10_MD	83	0.020	0.02	0.002	0.16	0.01	0.03	0.16	0.00	0.02	4.30	26.82
E11_VBP	97	0.018	0.01	0.005	0.21	0.01	0.03	0.21	0.00	0.02	6.69	56.35
E12_VAC	96	0.026	0.01	0.002	0.28	0.01	0.03	0.28	0.00	0.04	4.44	21.27
E4_MI_P	80	0.021	0.02	0.001	0.09	0.01	0.03	0.09	0.00	0.02	1.60	3.97
E4_C_P	82	0.025	0.02	0.003	0.27	0.01	0.03	0.27	0.00	0.03	5.94	43.96
E4_MD_P	83	0.021	0.02	0.003	0.15	0.01	0.03	0.15	0.00	0.02	4.09	23.48
E9_P	76	0.023	0.02	0.002	0.20	0.01	0.02	0.20	0.00	0.03	4.38	25.09
E10_MI_P	85	0.020	0.02	0.001	0.15	0.01	0.03	0.15	0.00	0.02	4.50	30.17
E10_MDP	83	0.022	0.02	0.002	0.18	0.01	0.03	0.18	0.00	0.02	4.18	23.02

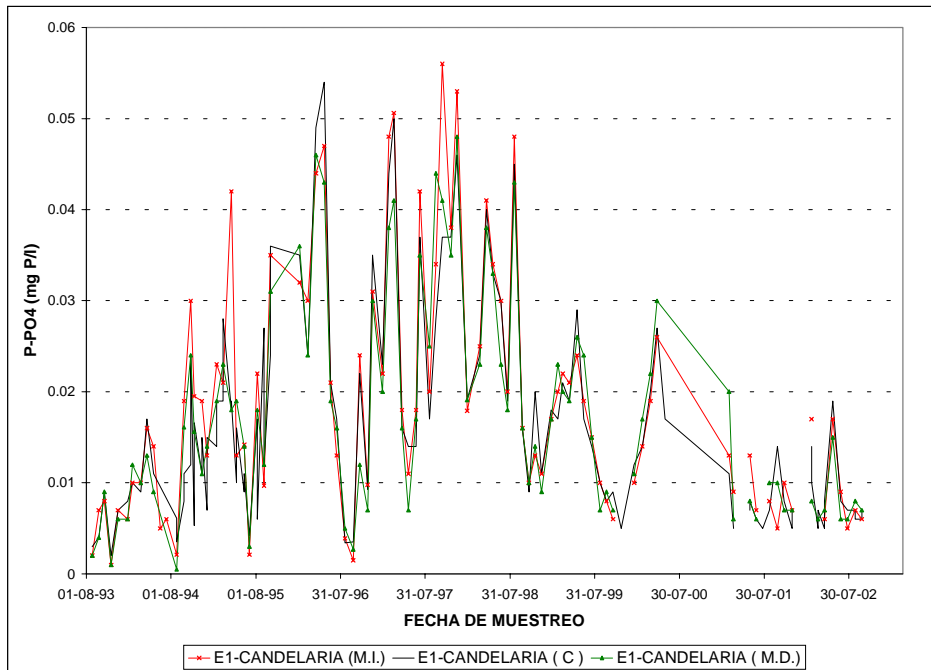


Figura 2.2.7 Concentración de fósforo de fosfato (mg P/l) en la estación Candelaria. Período 1993-2002

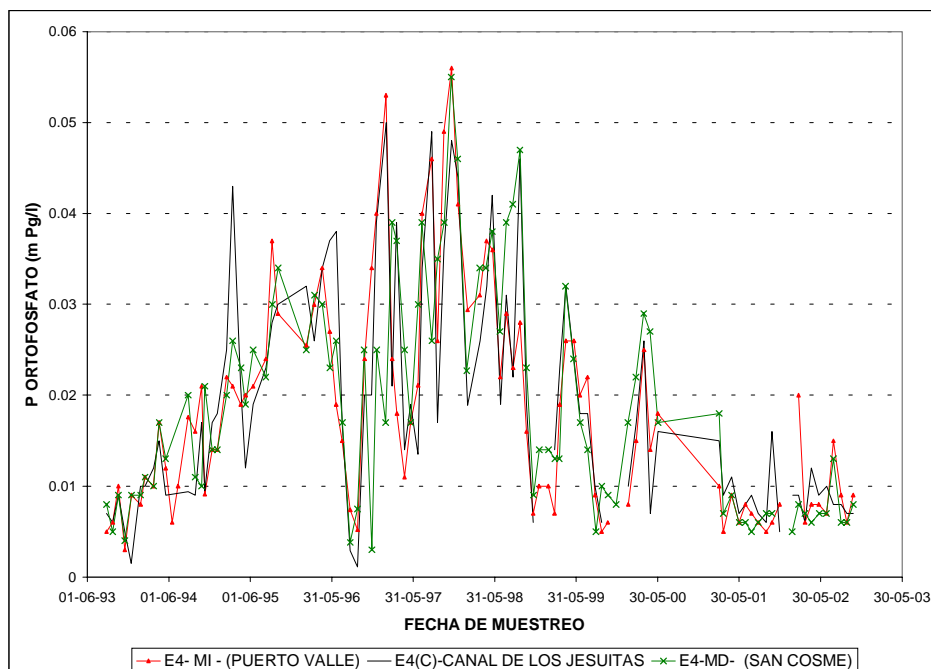


Figura 2.2.8 Concentración de fósforo de fosfato (mg P/l) en las estaciones E4. Período 1993-2002

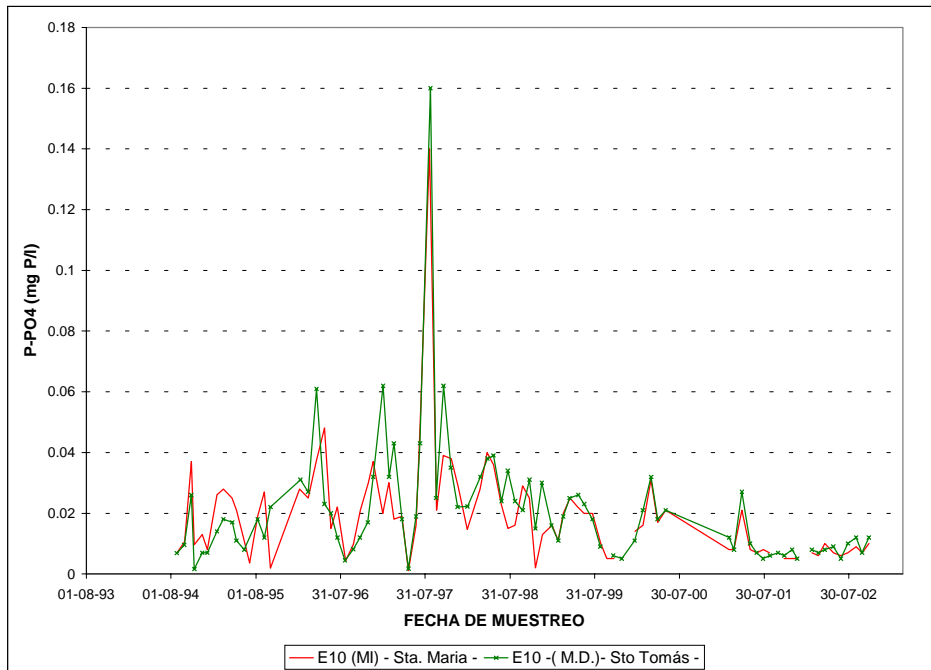


Figura 2.2.9 Concentración de fósforo de fosfato (mg P/l) en las estaciones Santa María y Santo Tomás. Período 1993-2002

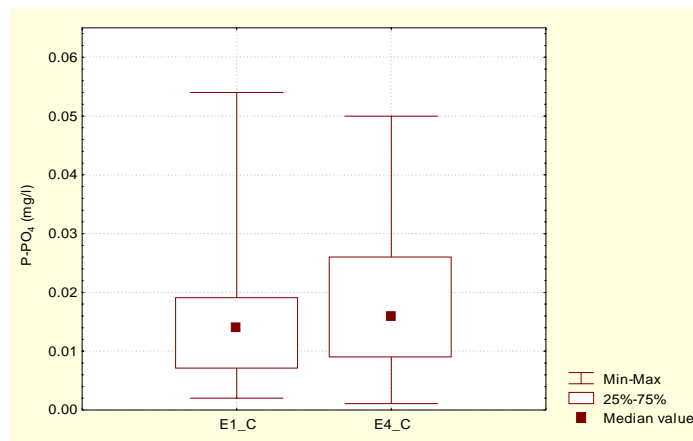


Figura 2.2.10 Diagramas de caja de la concentración de fósforo de fosfato en Candelaria (1993-2002)

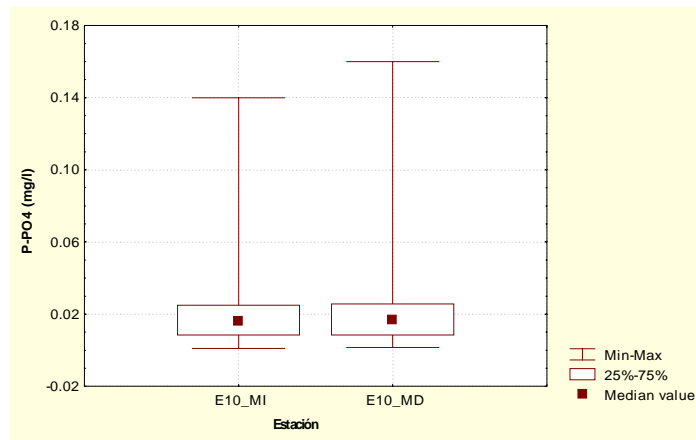


Figura 2.2.11 Diagramas de caja de la concentración de fósforo de fosfato en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

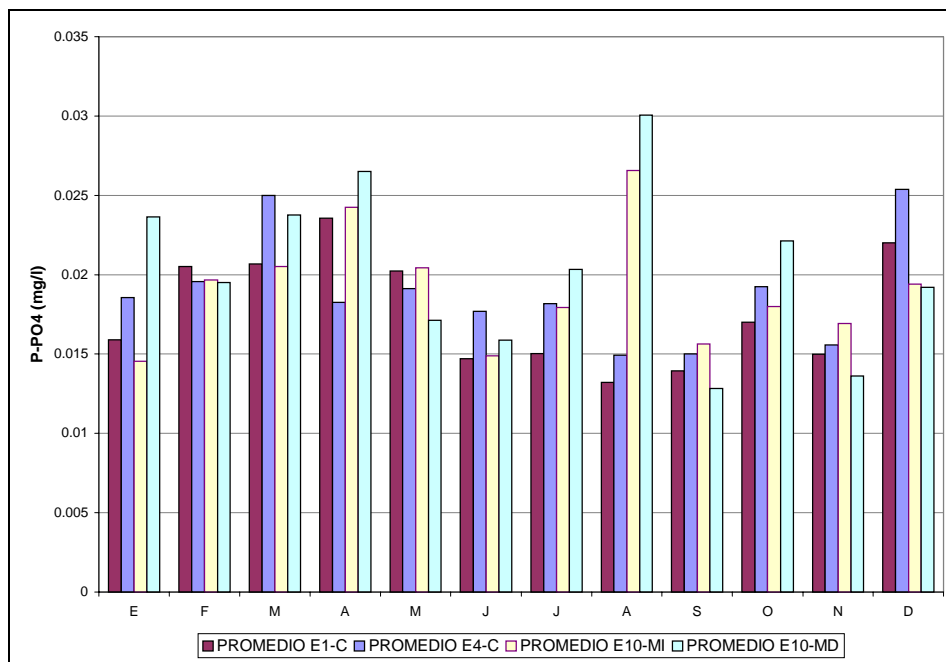


Figura 2.2.12 Evolución temporal promedio de la concentración de fósforo de fosfato en el período 1993-2002

Se advierte que en promedio ( ver figura 2.2.12), las concentraciones en las estaciones E1 y E4 son menores de julio a septiembre con máximos promedio de 0.024 mg/l en E1-C durante abril y de 0.025 mg/l en E4-C durante diciembre. En las estaciones de salida el comportamiento general es alterado por valores máximos en el mes de agosto. Sin embargo, este valor promedio está determinado por los valores medidos en una única campaña en agosto de 1997, de 0,14 y 0.16 mg/l para las estaciones E10-MI y E10-MD, respectivamente.

El análisis comparativo de las concentraciones de fósforo total y fósforo de fosfato presentado en las figuras 2.2.13 a 2.2.116 permite observar que a lo largo del año no se conserva la proporción entre ambas fracciones. En todas las estaciones entre marzo y octubre, la concentración de P-PO<sub>4</sub> es, en promedio el 60 % de la de fósforo total. En los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero la proporción de fósforo de ortofosfato es inferior (un 30% de la de fósforo total), ya que éste es asimilado por el fitoplancton como fósforo orgánico.

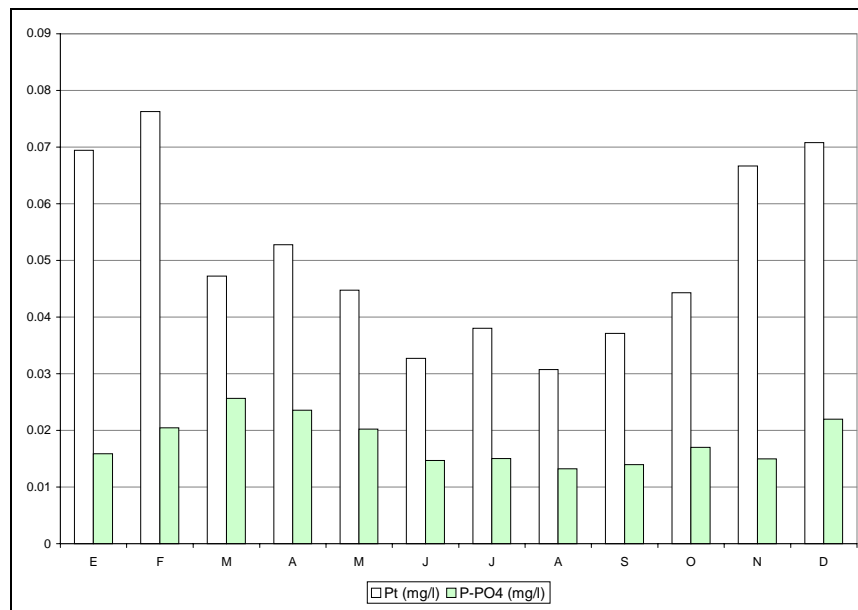


Figura 2.2.13 Comparación de concentraciones de fósforo total y de fosfato en la estación E1-C

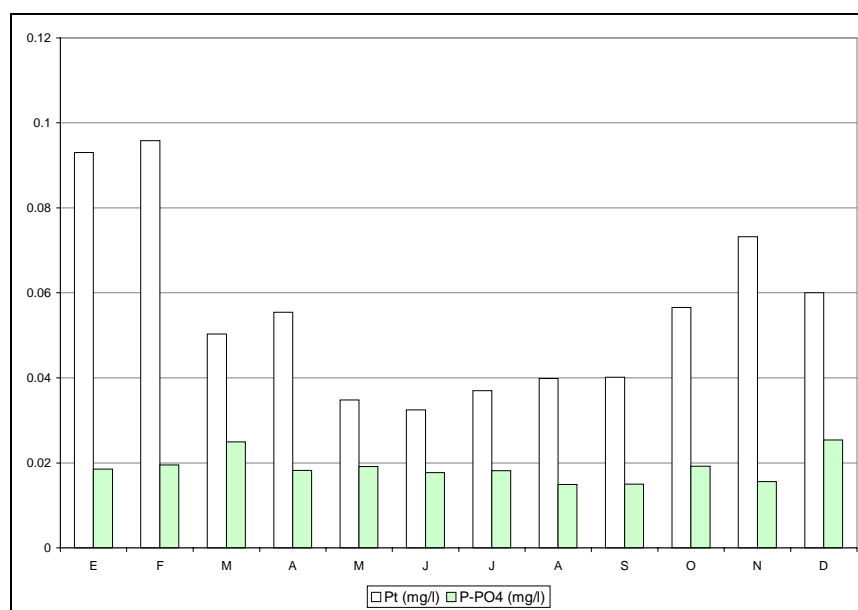


Figura 2.2.14 Comparación de concentraciones de fósforo total y de fosfato en la estación E4-C

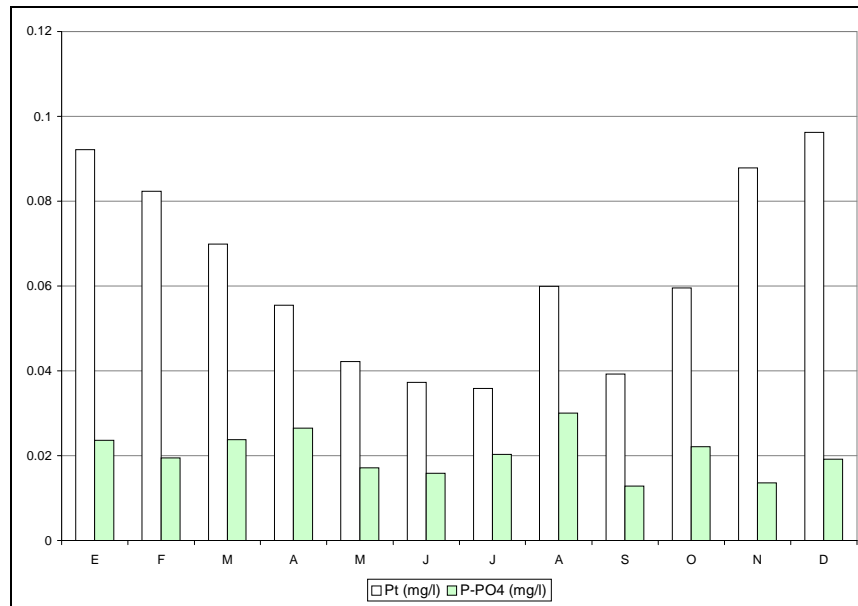


Figura 2.2.15 Comparación de concentraciones de fósforo total y fósforo de fosfato en la estación E10-MD

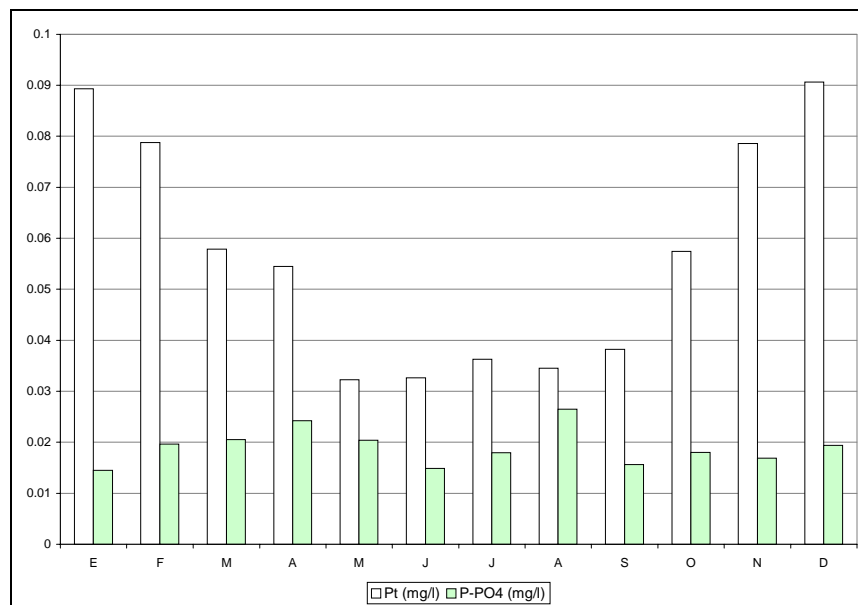


Figura 2.2.16 Comparación de concentraciones de fósforo total y fósforo de fosfato en la estación E10-MI

### 2.2.3 Nitrógeno de Nitrato

Similarmente a lo presentado para fósforo total y fósforo de ortofosfato, se presentan en las figuras 2.2.17 a 2.2.19 las series temporales de concentración de nitrógeno de nitrato en el período 1993-2002 y en la tabla 2.2.3 se muestran sus estadísticos básicos

Se observa que la concentración de nitrógeno de nitrato a la entrada del embalse es levemente superior a la del río Paraná en Candelaria en términos medios. En esta estación la concentración varió en el período entre 0.08 y 0.81 mg/l, con un valor medio de 0.37 mg/l y en la estación E4-C el valor medio fue de 0.38 mg/l, con un rango de variación de 0.7 mg/l (ver figuras 2.2.20 y 2.2.21). A la salida, las concentraciones variaron entre 0.05 y 0.77 mg/l en la estación E10-MI y entre 0.14 y 0.7 mg/l en E10-MD, con valor medio de 0.38 mg/l en ambas.

**Tabla 2.2.3**

Estadísticos descriptivos de la concentración de nitrógeno de nitrato en estaciones de la red de monitoreo de Yacyretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	79	0.34	0.33	0.12	0.74	0.24	0.41	0.62	0.02	0.14	0.81	0.69
E1_C	129	0.37	0.36	0.08	0.81	0.29	0.44	0.73	0.02	0.13	0.55	0.65
E1_MD	68	0.36	0.34	0.10	0.88	0.26	0.43	0.78	0.02	0.15	1.12	2.15
E4_MI	95	0.36	0.35	0.11	0.68	0.27	0.42	0.57	0.02	0.13	0.44	0.12
E4_C	95	0.38	0.37	0.11	0.81	0.28	0.42	0.70	0.02	0.15	0.78	0.88
E4_MD	94	0.39	0.38	0.08	0.97	0.30	0.46	0.89	0.02	0.16	0.68	1.36
E9_OMBÚ	84	0.40	0.38	0.10	1.04	0.32	0.43	0.94	0.02	0.14	1.61	5.28
E10_MI	86	0.38	0.37	0.05	0.77	0.30	0.43	0.73	0.02	0.13	0.66	1.04
E10_MD	84	0.38	0.36	0.14	0.70	0.29	0.43	0.56	0.02	0.13	0.69	0.01
E11_VBP	85	0.38	0.37	0.17	0.72	0.31	0.43	0.55	0.01	0.11	0.72	0.34
E12_VAC	84	0.42	0.37	0.15	2.88	0.30	0.46	2.73	0.09	0.30	6.90	56.76
E4_MI_P	32	0.38	0.36	0.12	0.78	0.31	0.41	0.66	0.02	0.13	0.93	2.91
E4_C_P	57	0.41	0.38	0.12	0.91	0.33	0.43	0.79	0.02	0.14	1.15	3.00
E4_MD_P	33	0.40	0.40	0.05	1.12	0.33	0.44	1.07	0.03	0.18	1.83	7.85
E9_P	83	0.41	0.39	0.02	1.04	0.33	0.48	1.02	0.02	0.15	0.92	2.98
E10_MI_P	85	0.41	0.39	0.11	0.75	0.34	0.47	0.64	0.02	0.13	0.52	0.31
E10_MDP	84	0.40	0.38	0.16	0.80	0.31	0.47	0.64	0.02	0.14	0.76	0.42

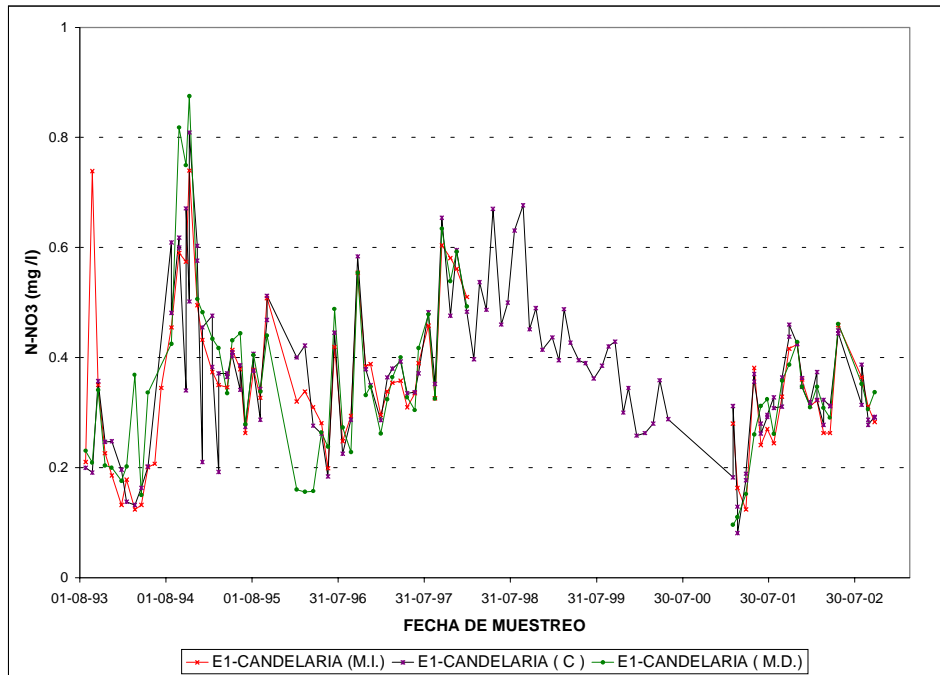


Figura 2.2.17 Concentración de nitrógeno de nitrato (mg N/l) en la estación Candelaria. Período 1993-2002

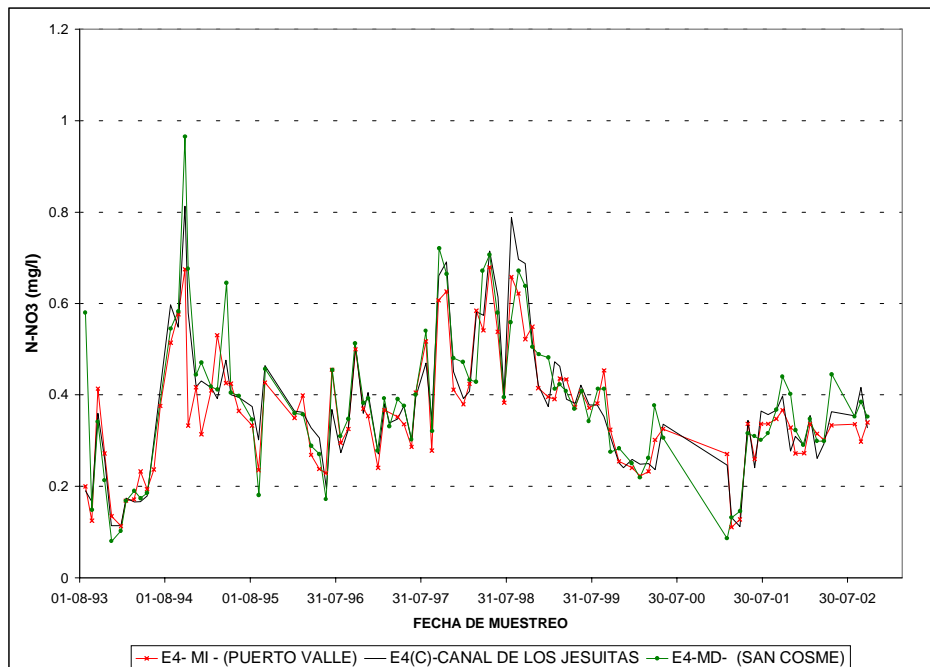


Figura 2.2.18 Concentración de nitrógeno de nitrato (mg N/l) en las estaciones E4. Período 1993-2002

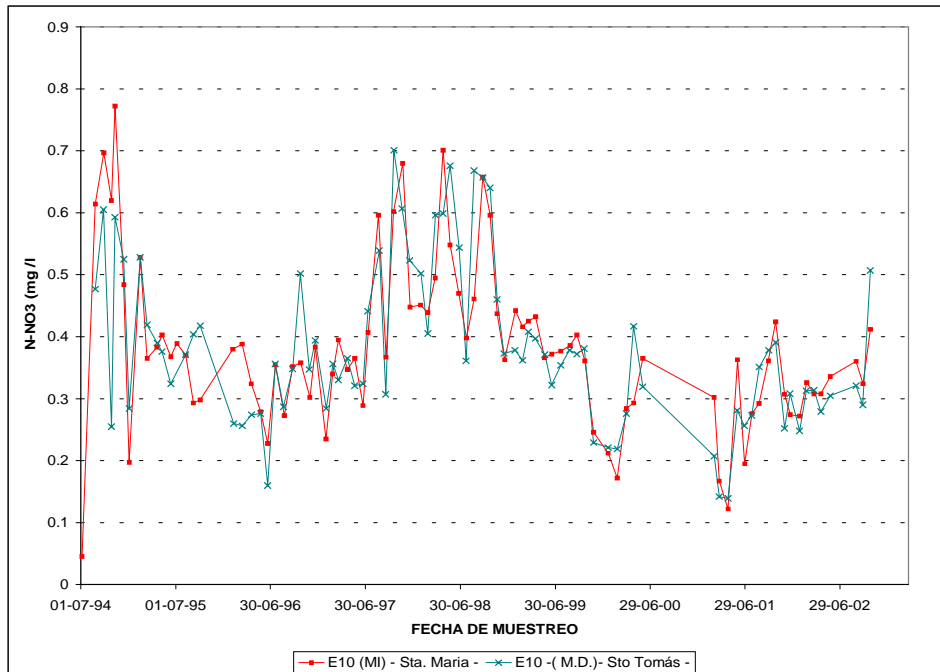


Figura 2.2.19 Concentración de nitrógeno de nitrato (mg N/l) en las estaciones Santa María y Santo Tomás

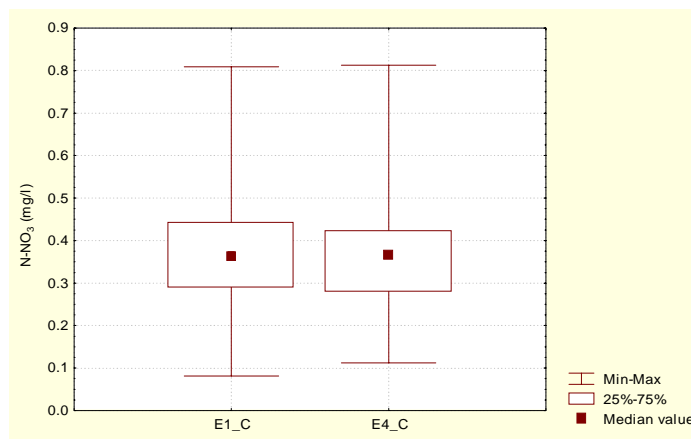


Figura 2.2.20 Diagramas de caja de la concentración de nitrógeno de nitrato en Candelaria y Canal de los Jesuitas (1993-2002)

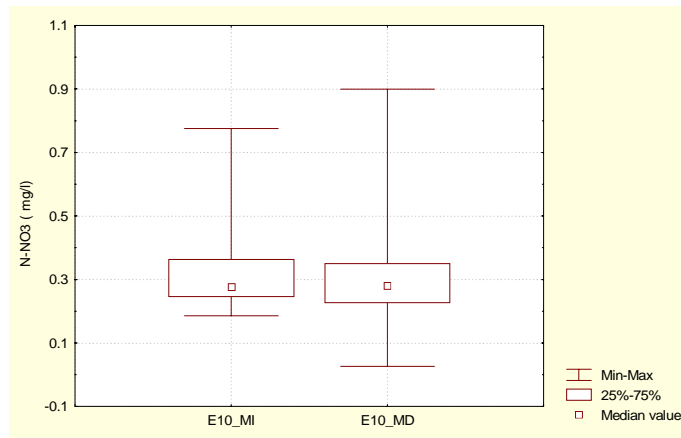


Figura 2.2.21 Diagramas de caja de la concentración de nitrógeno de nitrato en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

La evolución anual promedio de la concentración de nitrógeno de nitrato mostrada en la figura 2.2.22 indica un comportamiento bastante estable a lo largo del año, con una tendencia levemente creciente hacia los meses de primavera y verano.

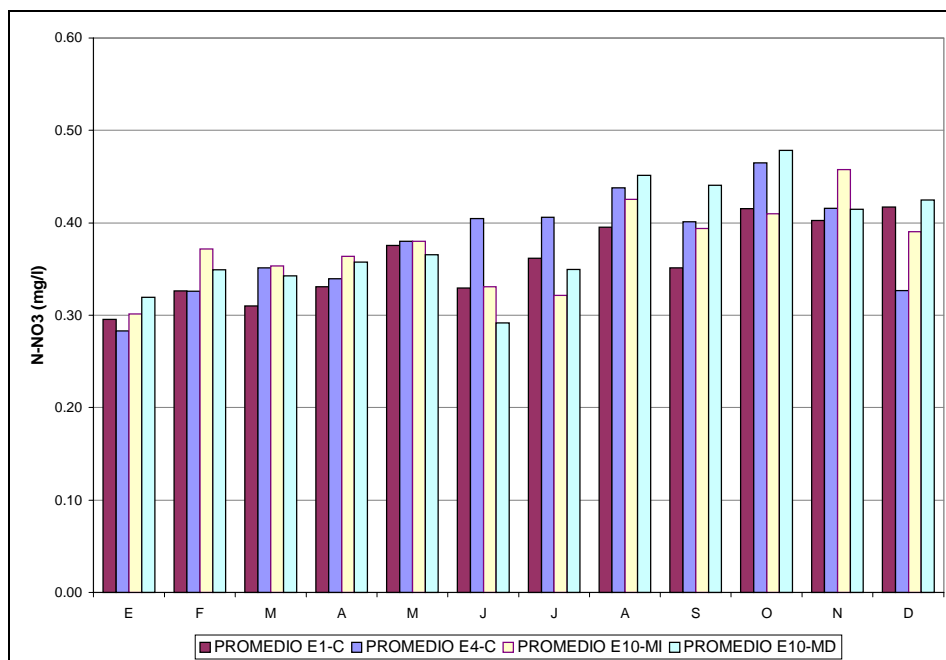


Figura 2.2.22 Evolución temporal promedio de la concentración de Nitrógeno de nitrato en el período 1993-2002

### 2.2.4 Nitrógeno Amoniacal

Los valores de concentración de nitrógeno amoniacal muestrados en las estaciones E1, E4 y E10 se muestran en las figuras 2.2.23 a 2.2.25, mientras que la tabla de estadísticos básicos calculados para el período (tabla 2.2.4) manifiesta que el valor medio de concentración de nitrógeno amoniacal desde el río hacia el embalse (de 0.04 mg/l a 0.037 mg/l) .

A la salida, las concentraciones variaron entre 0.01 y 0.16 mg/l en la estación E10-MI y entre 0.01 y 0.24 mg/l en E10-MD, con valores medios de 0.033 y 0.034 mg/l respectivamente.

Las figuras 2.2.26 y 2.2.27 evidencian cómo el rango de variación de la concentración de nitrógeno amoniacal es sensiblemente superior es las estaciones E4-C y E10-MD.

**Tabla 2.2.4**

Estadísticos descriptivos de la concentración de nitrógeno de amonio en estaciones de la red de monitoreo de Yacretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	80	0.042	0.034	0.001	0.147	0.026	0.055	0.146	0.01	0.09	5.21	33.8
E1_C	143	0.040	0.034	0.004	0.185	0.024	0.050	0.181	0.00	0.03	2.62	10.74
E1_MD	68	0.035	0.030	0.001	0.127	0.020	0.048	0.126	0.00	0.02	1.52	4.52
E4_MI	112	0.040	0.031	0.005	0.335	0.025	0.044	0.330	0.00	0.04	5.66	42.58
E4_C	109	0.037	0.029	0.003	0.230	0.022	0.040	0.227	0.00	0.03	4.07	19.81
E4_MD	109	0.036	0.031	0.002	0.153	0.022	0.042	0.151	0.00	0.02	2.74	10.35
E9_OMBÚ	84	0.034	0.026	0.009	0.242	0.021	0.036	0.233	0.00	0.03	4.93	26.66
E10_MI	101	0.034	0.028	0.012	0.160	0.022	0.037	0.148	0.00	0.02	3.50	15.41
E10_MD	93	0.033	0.027	0.013	0.240	0.020	0.035	0.227	0.00	0.03	5.08	33.61
E11_VBP	101	0.034	0.029	0.011	0.138	0.023	0.038	0.127	0.00	0.02	2.80	12.31
E12_VAC	101	0.033	0.031	0.012	0.092	0.023	0.038	0.080	0.00	0.01	1.59	3.27
E4_MI_P	45	0.039	0.032	0.003	0.119	0.022	0.041	0.116	0.00	0.03	1.56	1.83
E4_C_P	59	0.038	0.030	0.006	0.167	0.022	0.043	0.161	0.00	0.03	2.75	9.43
E4_MD_P	36	0.036	0.028	0.013	0.167	0.021	0.038	0.154	0.00	0.03	3.00	10.33
E9_P	83	0.035	0.027	0.001	0.240	0.022	0.034	0.239	0.00	0.03	4.23	21.02
E10_MI_P	100	0.037	0.029	0.013	0.468	0.023	0.036	0.455	0.00	0.05	8.06	73.00
E10_MDP	84	0.030	0.026	0.002	0.077	0.021	0.038	0.075	0.00	0.01	1.09	1.63

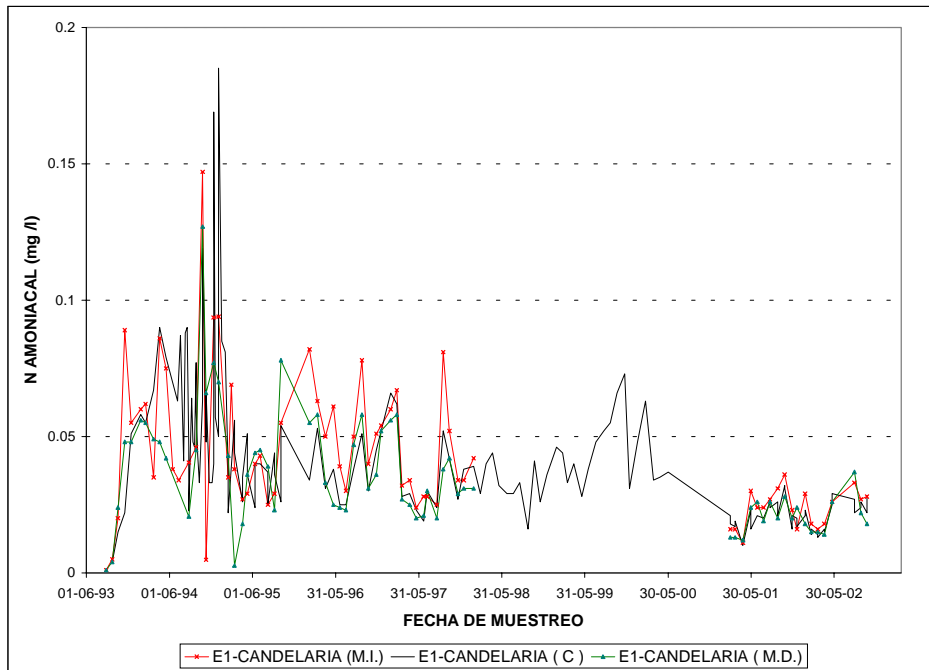


Figura 2.2.23 Concentración de nitrógeno de amonio (mg N/l) en la estación Candelaria. Período 1993-2002

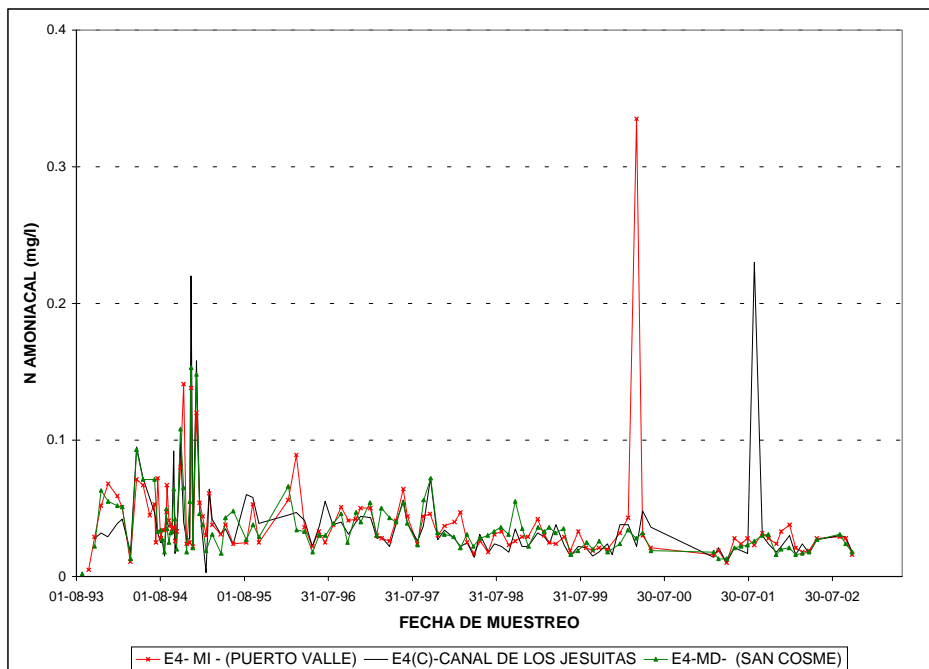


Figura 2.2.24 Concentración de nitrógeno de amonio (mg N/l) en las estaciones E4. Período 1993-2002

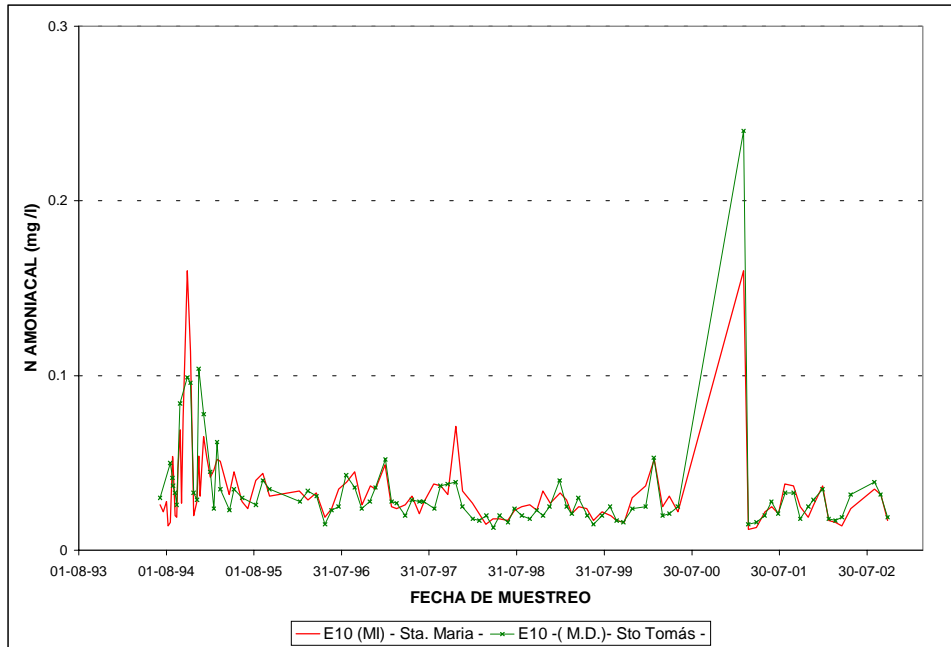


Figura 2.2.25 Concentración de nitrógeno de amonio (mg N/l) en las estaciones Santa María y Santo Tomás. Período 1993-2002

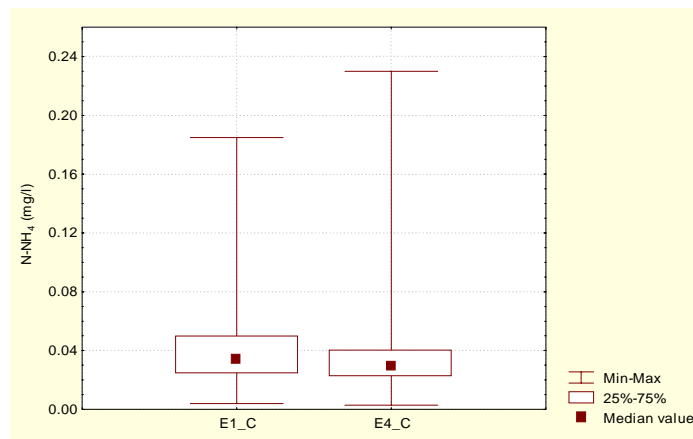


Figura 2.2.26 Diagramas de caja de la concentración de nitrógeno de amonio en Candelaria (1993-2002)

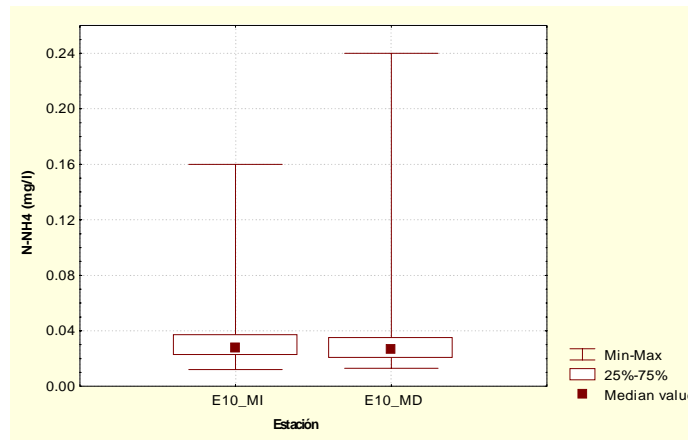


Figura 2.2.27 Diagramas de caja de la concentración de nitrógeno de amonio en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

La figura 2.2.28 evidencia que, en términos medios, la distribución anual de nitrógeno amoniacal presenta concentraciones mayores en las estaciones de ingreso al embalse sin que se advierta en promedio una estacionalidad marcada. En las estaciones de salida se detectan las menores concentraciones promedio entre marzo y julio.

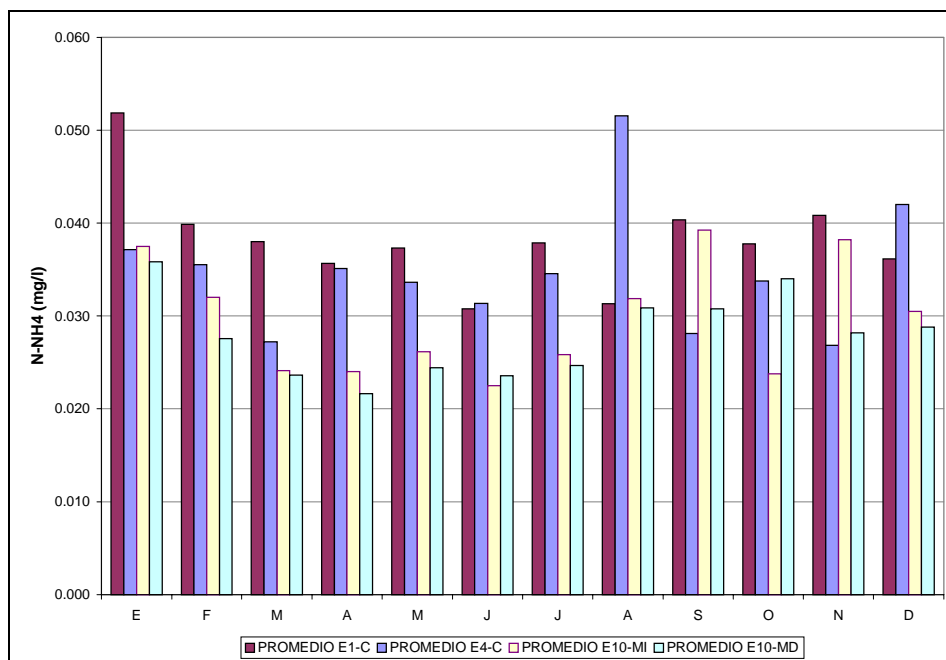


Figura 2.2.28 Evolución temporal promedio de nitrógeno amoniacal en el período 1993-2002.

### 2.2.5 Nitrógeno Orgánico

En las figuras 2.2.29 a 2.2.31 se grafican las series temporales de nitrógeno orgánico en las estaciones analizadas en la etapa preliminar y en las 2.2.32 y 2.2.33 se muestran los diagramas de caja. Los estadísticos básicos calculados para éstas y las demás estaciones de la red se presentan en la tabla 2.2.5. Se observa que la concentración de nitrógeno orgánico en la estación sobre el río Paraná varió en el período entre 0.07 y 1.02 mg/l, con un valor medio de 0.39 mg/l. Este valor promedio disminuye a 0.36 mg/l en la estación E4-c, donde el rango de variación disminuyó a 0.78 mg/l.

A la salida, las concentraciones variaron entre 0.19 y 0.78 mg/l en la estación E10-MI y entre 0.03 y 0.90 mg/l en E10-MD, con valores medios de 0.33 mg/l en ambas.

**Tabla 2.2.5**

Estadísticos descriptivos de la concentración de nitrógeno orgánico en estaciones de la red de monitoreo de Yacyretá (1993-2002)

Estación	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Cuartil Inferior	Cuartil Superior	Rango	Varianza	Desvío estándar	Asimetría	Kurtosis
E1_MI	31	0.41	0.34	0.21	0.98	0.26	0.53	0.77	0.04	0.21	1.33	1.14
E1_C	127	0.39	0.32	0.07	1.02	0.24	0.47	0.96	0.04	0.21	1.17	0.56
E1_MD	29	0.42	0.37	0.20	0.86	0.25	0.51	0.65	0.04	0.20	0.91	-0.14
E4_MI	80	0.36	0.29	0.11	0.87	0.22	0.45	0.77	0.04	0.19	1.12	0.12
E4_C	79	0.36	0.28	0.14	0.92	0.24	0.51	0.78	0.04	0.19	1.18	0.58
E4_MD	79	0.36	0.28	0.03	0.91	0.22	0.49	0.89	0.04	0.20	1.13	0.53
E9_OMBÚ	61	0.38	0.31	0.02	1.10	0.25	0.41	1.08	0.04	0.21	1.91	3.76
E10_MI	70	0.33	0.28	0.19	0.78	0.25	0.36	0.59	0.02	0.14	1.68	2.10
E10_MD	69	0.33	0.28	0.03	0.90	0.23	0.35	0.87	0.03	0.16	1.76	3.02
E11_VBP	70	0.34	0.28	0.16	1.37	0.24	0.39	1.20	0.04	0.19	3.05	12.50
E12_VAC	69	0.34	0.29	0.16	0.96	0.23	0.35	0.80	0.03	0.17	1.95	3.49
E4_MI_P	89	0.38	0.28	0.15	1.07	0.22	0.49	0.91	0.05	0.22	1.31	0.90
E4_C_P	57	0.37	0.28	0.15	1.07	0.22	0.44	0.91	0.05	0.22	1.57	1.90
E4_MD_P	33	0.40	0.28	0.17	0.97	0.22	0.59	0.80	0.05	0.22	0.84	-0.23
E9_P	33	0.45	0.36	0.17	1.33	0.23	0.59	1.15	0.08	0.29	1.60	2.37
E10_MI_P	59	0.36	0.28	0.16	1.00	0.24	0.41	0.85	0.04	0.20	1.60	1.78
E10_MDP	58	0.37	0.27	0.17	0.96	0.23	0.43	0.79	0.04	0.21	1.57	1.33

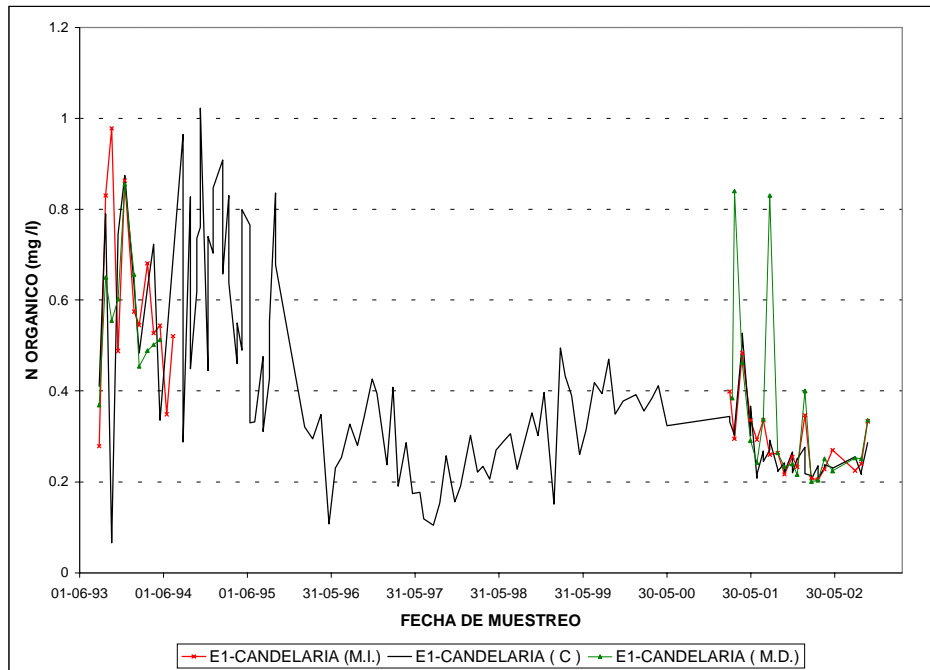


Figura 2.2.29 Concentración de nitrógeno orgánico (mg N/l) en la estación Candelaria. Período 1993-2002

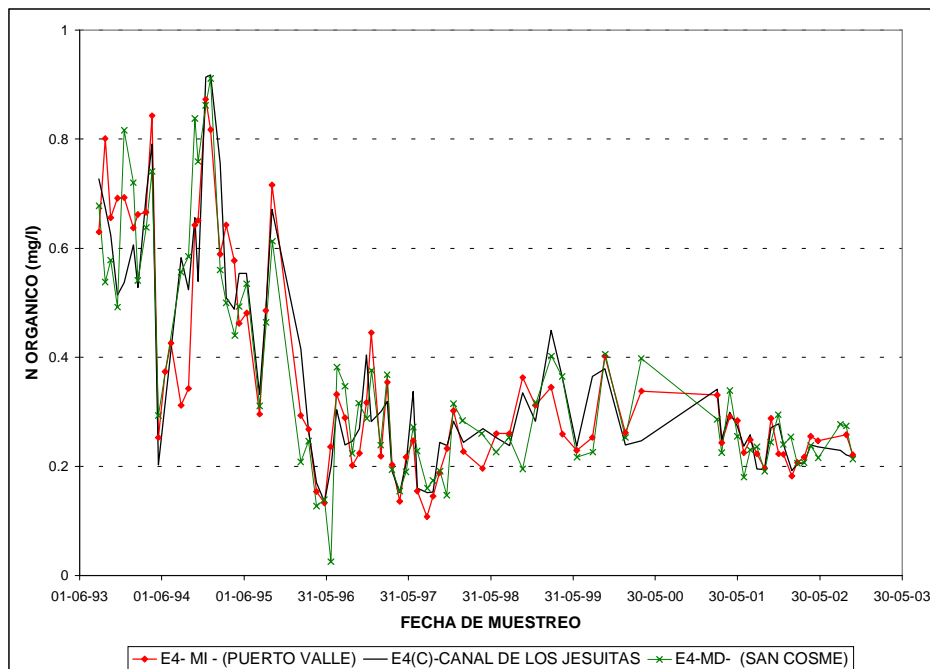


Figura 2.2.30 Concentración de nitrógeno orgánico (mg N/l) en las estaciones E4. Período 1993-2002

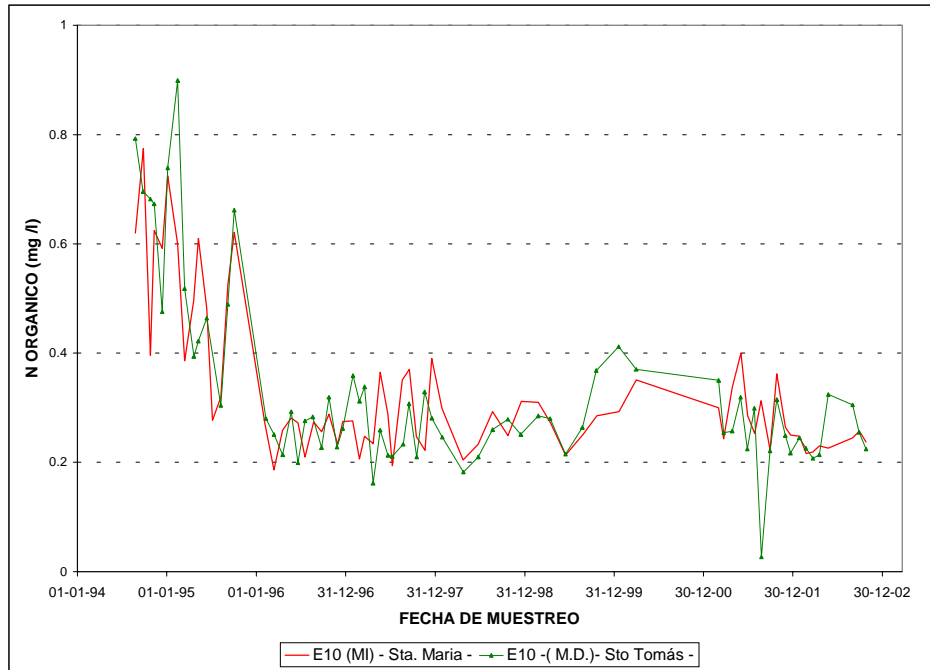


Figura 2.2.31 Concentración de nitrógeno orgánico (mg N/l) en las estaciones Santa María y Santo Tomás. Período 1993-2002

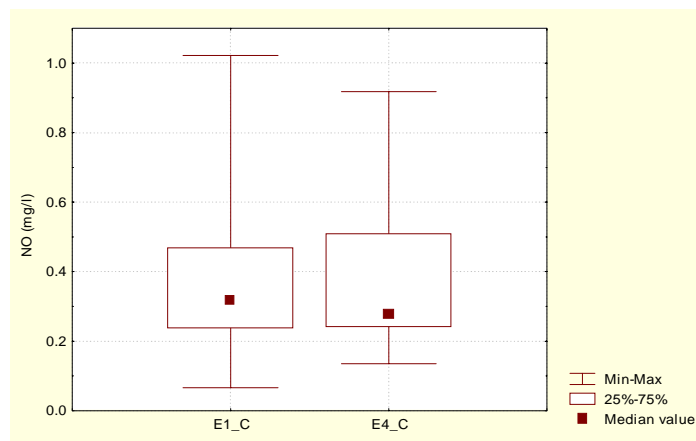


Figura 2.2.32 Diagramas de caja de la concentración de nitrógeno orgánico en Candelaria y Canal de los Jesuitas (1993-2002)

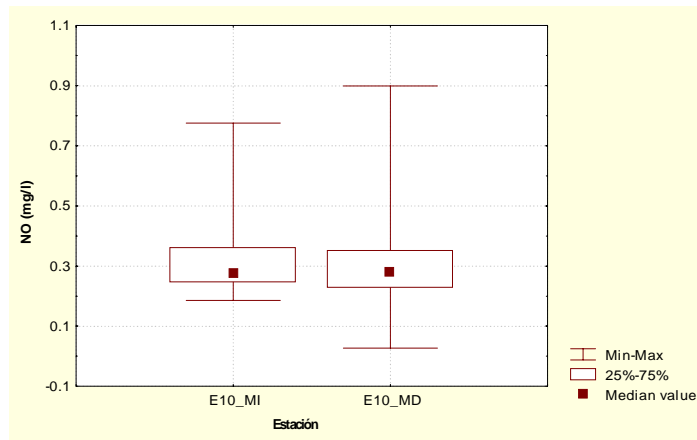


Figura 2.2.33 Diagramas de caja de la concentración de nitrógeno orgánico en Santa María y Santo Tomás (1993-2002)

La figura 2.2.34 evidencia que en términos generales tanto en las estaciones aguas arriba y en la cabecera del embalse, como en las de salida las mayores concentraciones promedio se registran en los meses de primavera y verano y las menores entre junio y agosto con valores del orden de 0.25 mg/l.

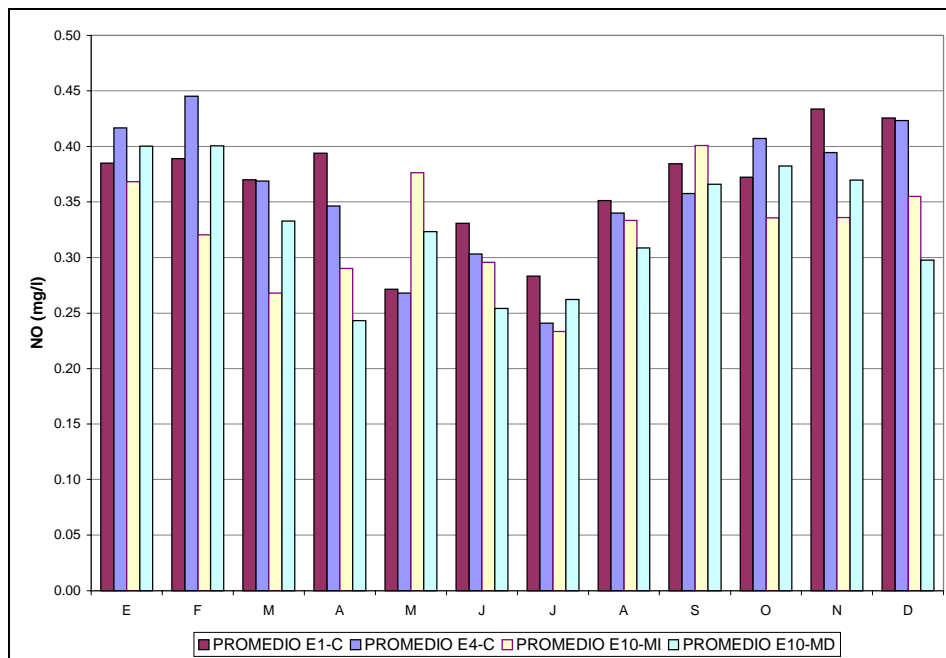


Figura 2.2.34 Evolución temporal promedio de nitrógeno orgánico en el período 1993-2002

### 2.2.6 Nutriente Limitante

El concepto de nutriente limitante se basa en la premisa que, dada una determinada estequiometría celular de las plantas acuáticas, el nutriente que controlará la máxima cantidad de biomasa vegetal es aquél que primero se consume.

Del análisis de la relación entre fósforo y nitrógeno inorgánico total (estimado por la suma de las concentraciones de nitrógeno de nitrato y nitrógeno amoniacal), se desprende el rol de cada elemento como factor limitante del crecimiento algal. De acuerdo al criterio adoptado por Vollenweider (1983) y adoptado por el CEPIS para evaluar la eutroficación de lagos cálidos tropicales, los lagos/embalses con relaciones de nitrógeno a fósforo superiores a un valor de 9 están potencialmente limitados por fósforo, mientras aquellos cuya razón es inferior a 9 son limitados por nitrógeno.

De la figura 2.2.35 se desprende que entre abril y septiembre todas las estaciones presentan en promedio una relación NI/P superior a 9 siendo el fósforo el nutriente limitante, mientras que el resto del año el limitante del crecimiento algal estaría dado por el nitrógeno ( $N/P < 9$ ).

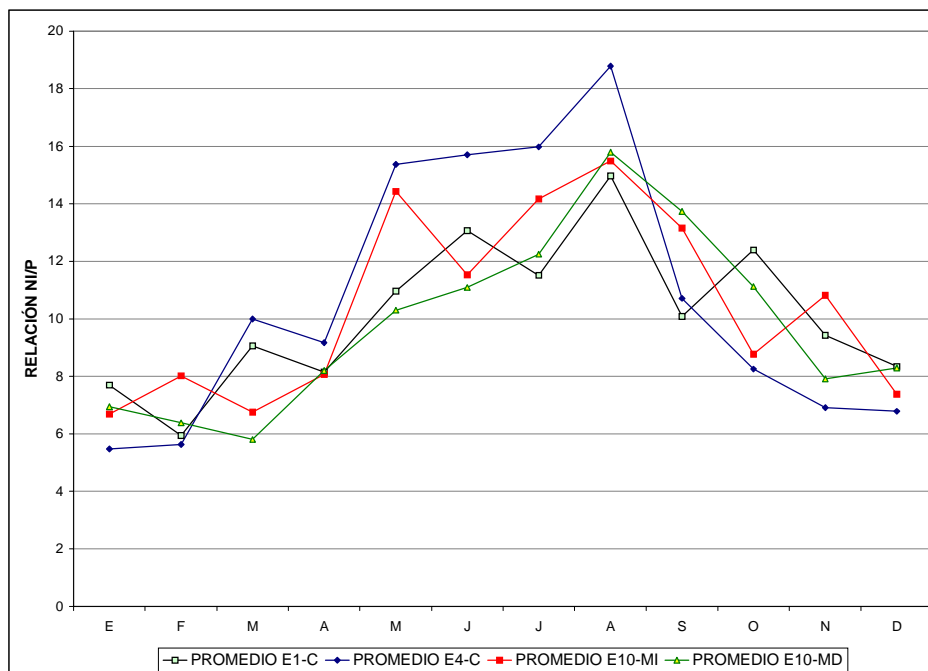


Figura 2.2.37 Evolución temporal promedio de la relación Ni/P

## 2.3 ESTADO TRÓFICO

El análisis estacional de fitoplancton (la composición cuantitativa y la diversidad de especies) y de la concentración de clorofila\_a, complementado con parámetros físico-químicos, nutrientes y profundidad de disco de Secchi, permiten caracterizar el estado trófico. Con este objetivo, se presentan a continuación los resultados obtenidos en el análisis de los parámetros involucrados.

### 2.3.1 Clorofila\_a

En la figura 2.3.1 se presenta la evolución temporal promedio de la concentración de clorofila\_a en el período 1993-2002 y permite observar que en la estación E1-C (en el río Paraná), se advierte claramente un comportamiento definido con valores altos en primavera y bajos en invierno. Dentro del embalse, la evolución es más irregular, presentándose el máximo en la estación E4 en el mes de mayo, pero con valores altos en el verano. En ambas estaciones de salida el máximo está netamente definido en el mes de febrero, como se manifiesta en la figura 2.3.2 que presenta para cada una de las cuatro estaciones la distribución anual promedio en el período de muestreo.

Para definir un comportamiento estacional medio, sobre la base de los valores de muestreo se calcularon también promedios estacionales, que se presentan en la figura 2.3.3. En ella se advierte el comportamiento estacional esperado para todas las estaciones con valores promedio máximos en primavera y mínimos en otoño. Es llamativo el valor promedio calculado para el otoño en la estación E4, sensiblemente superior al correspondiente a las otras estaciones del embalse.

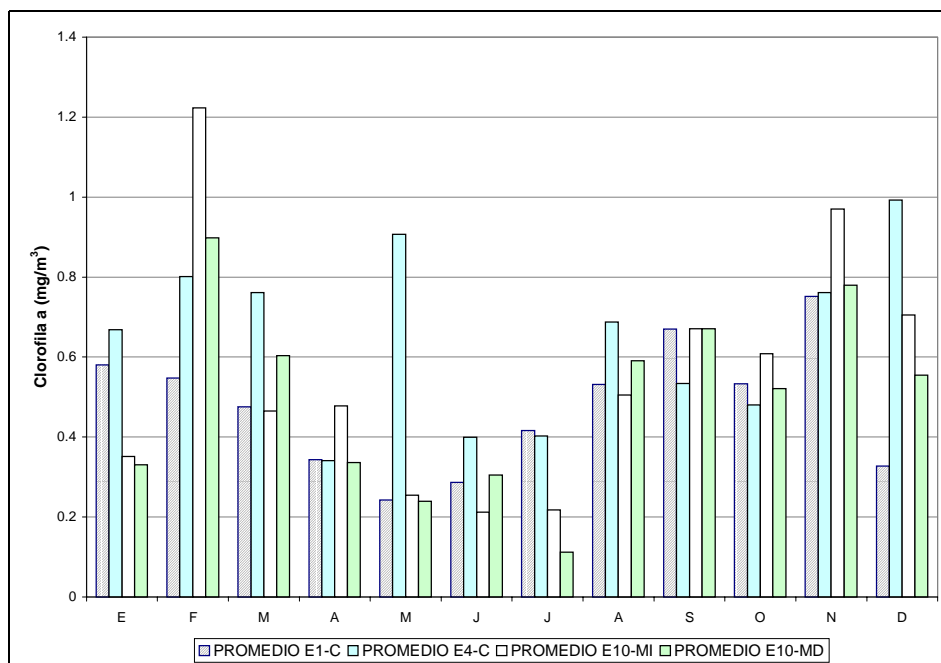


Figura 2.3.1 Evolución temporal promedio de Clorofila\_a en el período 1993-2002

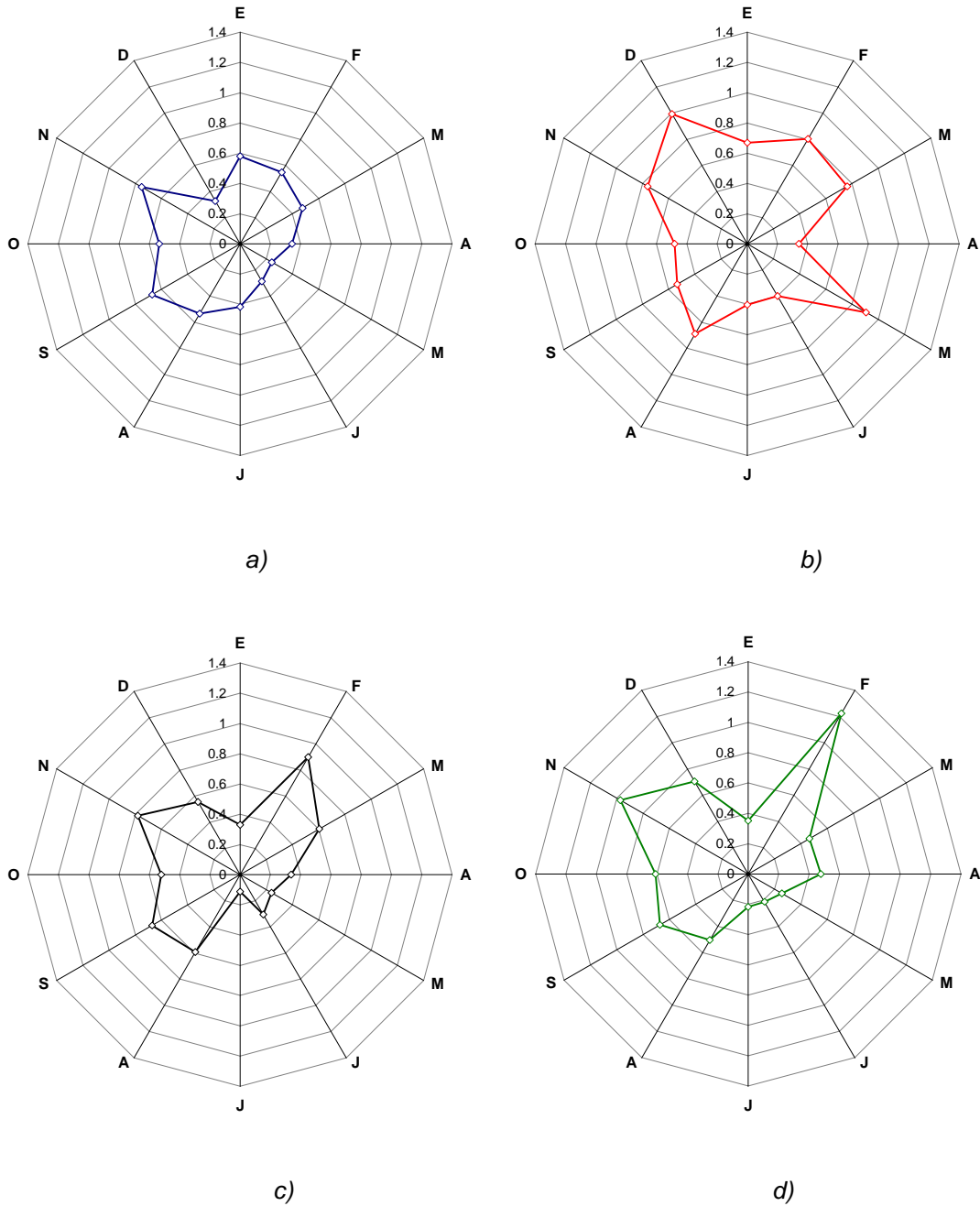


Figura 2.3.2 Distribución anual media de clorofila\_a (mg/l):  
a) Estación E1-C; ,b) Estación E4-C; c) Estación E10MD,d) Estación E10MI

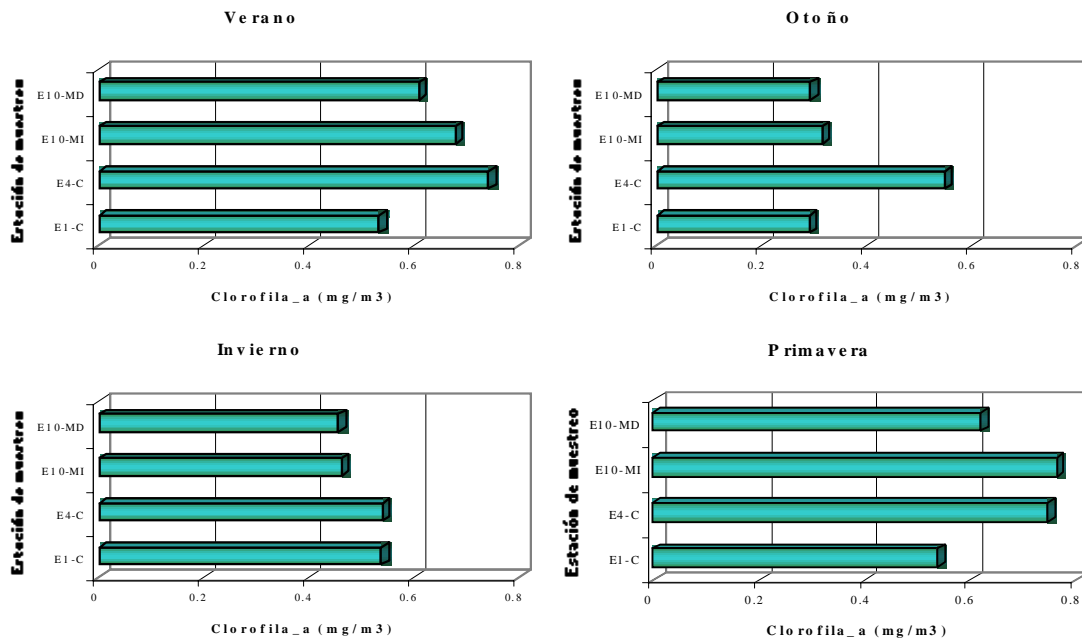


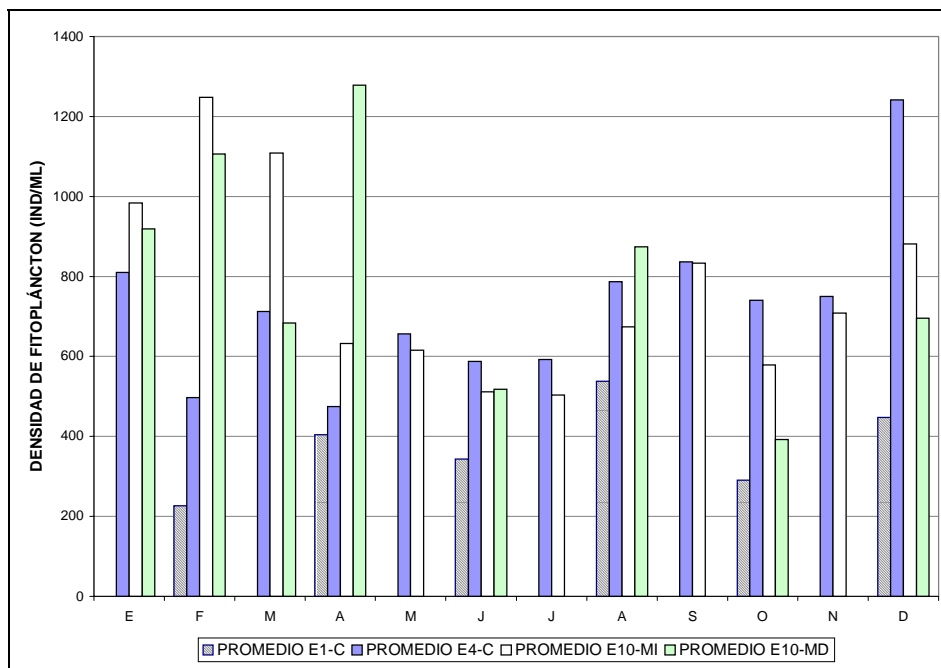
Figura 2.3.3 Valores estacionales promedio de Clorofila\_a

### 2.3.2 Fitoplancton

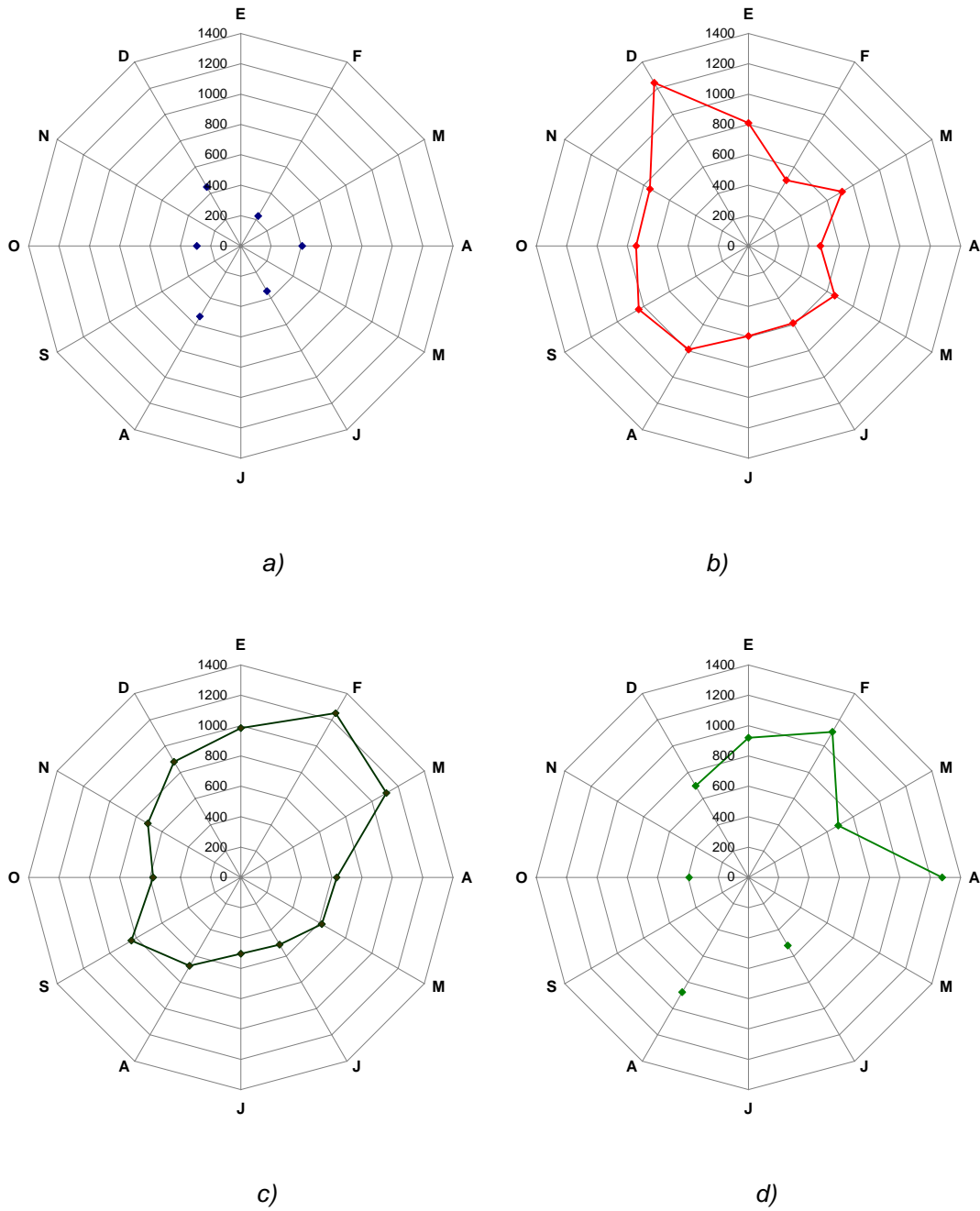
En la figura 2.3.4 se describe la evolución temporal promedio de la concentración de fitoplancton. Se destaca que el muestreo de fitoplancton comenzó en agosto de 1994 en las estaciones E4-C y E10-MI (aguas arriba del cierre del brazo principal), mientras que en las estaciones E1-C y E10-MD (aguas arriba del cierre del brazo Aña Cuá) se inició en febrero de 1996 y tuvo frecuencia bimestral.

Se evidencia en la figura la dificultad para extrapolar un comportamiento anual típico para estas estaciones. En la estación E4-C se observó un comportamiento bastante homogéneo a lo largo del año, con máximos de concentración en diciembre y enero y un segundo máximo de menor envergadura en septiembre (ver figura 2.3.5). En E10-MI se evidencia un comportamiento menos homogéneo, con dos máximos promedio netos en febrero y septiembre (de menor orden).

En la figura 2.3.6 se muestra la distribución estacional media de densidad de fitoplancton que evidencia que en las estaciones de salida del embalse la concentración de biomasa es mayor durante el verano, mientras que en la E4 el promedio estacional de primavera es superior.



*Figura 2.3.4 Evolución temporal promedio de densidad de fitoplancton*



**Figura 2.3.5 Distribución anual media de densidad de fitoplancton (Ind/ml):**  
a) Estación E1-C; ,b) Estación E4-C; c) Estación E10MD,d) Estación E10MI

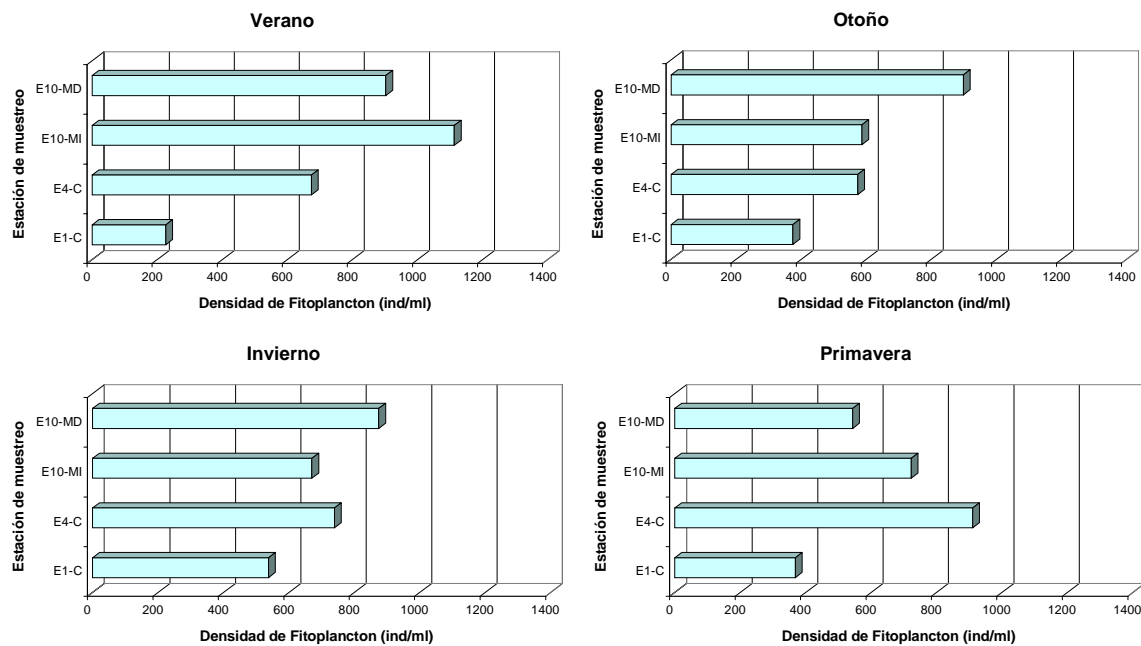


Figura 2.3.6 Valores estacionales promedio de Densidad de fitoplancton

### 2.3.3 Transparencia

La transparencia del agua medida por el disco de Secchi varía bastante en los ecosistemas acuáticos y en un mismo embalse, puede variar a lo largo del día dependiendo del régimen de circulación de la masa de agua, de la naturaleza geoquímica de la cuenca y del régimen de lluvias. La figura 2.3.7 presenta la distribución anual promedio de transparencia medida con disco de Secchi para las estaciones E1-C, E4-C y E10. Se aclara que el muestreo en las estaciones E1 y E4 se inició en agosto de 1993, mientras que en las E10 comenzó en julio de 1994. Se advierte que en el embalse la transparencia es aproximadamente 20 cm superior a la de las aguas del río Paraná a lo largo de todo el año. En E1-C y E4-C, el patrón medio temporal presenta un mínimo en octubre (65-90 cm), que sigue al máximo de septiembre (orden de 130-150 cm).

En las estaciones aguas arriba de ambos vertederos se observa que los valores promedio de transparencia son siempre superiores sobre la margen izquierda.

En la figura 2.3.8 se grafican los valores promedio estacionales para las cuatro estaciones, mostrando que en cualquier época del año el máximo promedio de transparencia se presentó en la estación E10-MI. En todas las estaciones la transparencia durante el invierno es superior a la de otoño, en el otoño es superior a la de primavera y ésta a la de verano. La excepción la constituye el valor promedio de verano en E10-MI que supera a los promedios de otoño y primavera.

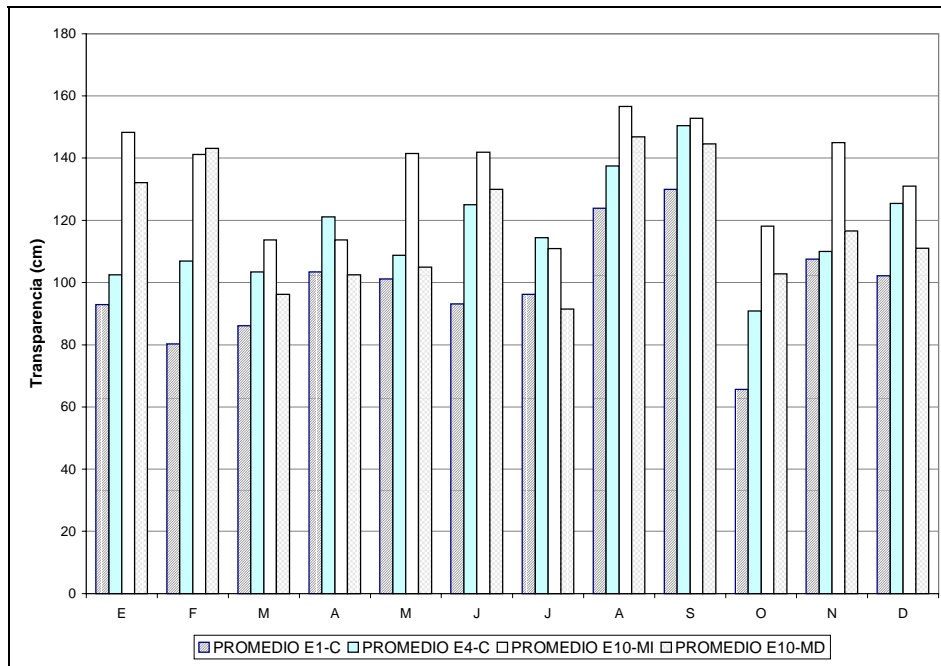


Figura 2.3.7 Evolución temporal promedio de Transparencia (cm)

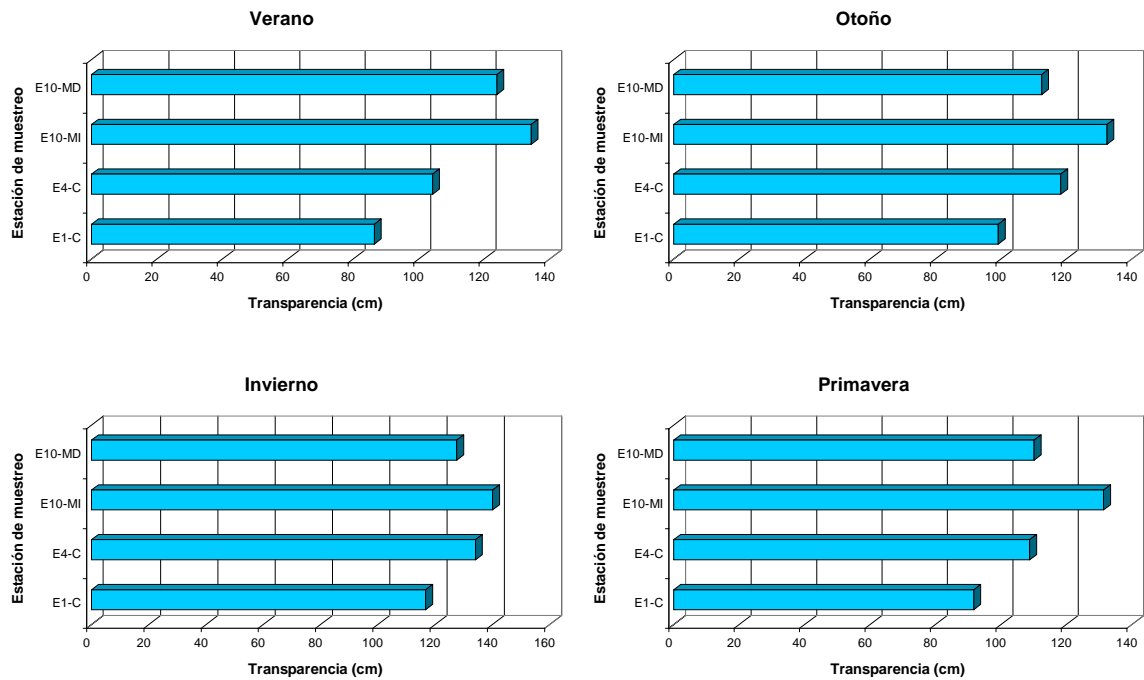


Figura 2.3.8 Valores estacionales promedio de transparencia (cm)

## 2.4 BACTERIAS COLIFORMES FECALES Y TOTALES

El exámen bacteriológico del agua refleja únicamente el estado en el momento de extracción de la muestra, que puede variar con mucha rapidez. Sin embargo, en esta caracterización preliminar se han utilizado valores medios temporales como primera aproximación a la caracterización bacteriológica de las aguas del embalse. Un análisis más profundo de la contaminación por aguas residuales debe incluir también los sedimentos, tarea que se prevé para la segunda etapa.

Dentro del embalse sólo se determinaron coliformes totales y fecales en la estación E4 en el período agosto de 1993-julio de 1994 (ver figura 2.4.1). Estos valores se comparan con los de la estación E1-C sobre el río Paraná, determinados para el período agosto de 1993-octubre de 2002 (figura 2.4.2).

El análisis comparativo de los valores medios mensuales de coliformes fecales presentado en la figura 2.4.3 evidencia que el tenor de coliformes fecales en el embalse es siempre inferior al del río en un porcentaje que varía a lo largo del año entre 5 y 80%. Es llamativo el valor promedio de octubre en la estación E1, de orden superior a 3000 col/100 ml. El análisis de los valores medios estacionales de coliformes fecales presentado en la figura 3.4.4 indica que el total de coliformes fecales disminuye a partir de un máximo en verano y alcanza un mínimo en otoño. En la estación fluvial el patrón estacional, similar al de E4 al inicio del año, es distorsionado por el máximo de primavera.

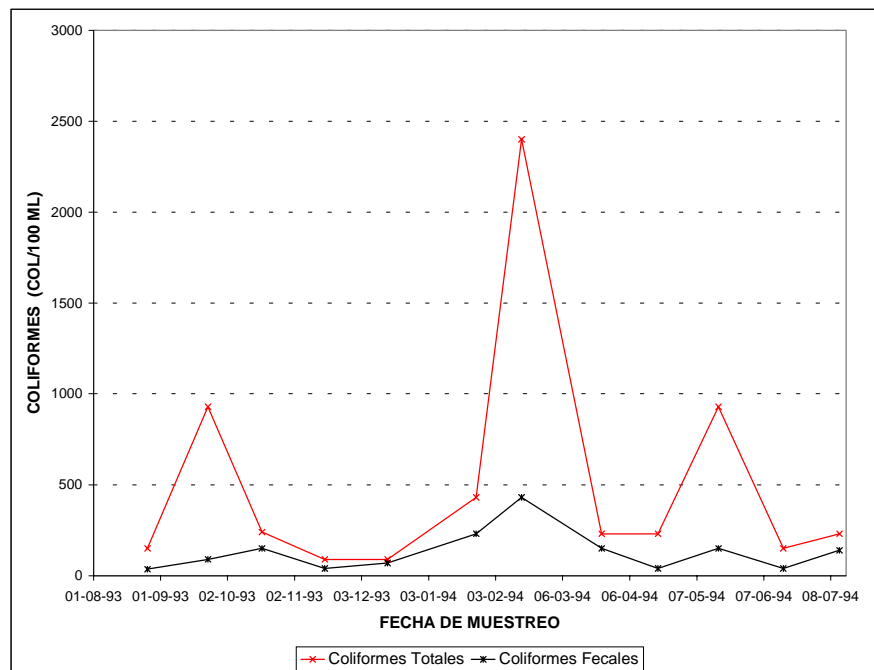


Figura 2.4.1 Coliformes fecales y totales en la estación E4-C (Canal de los Jesuitas)

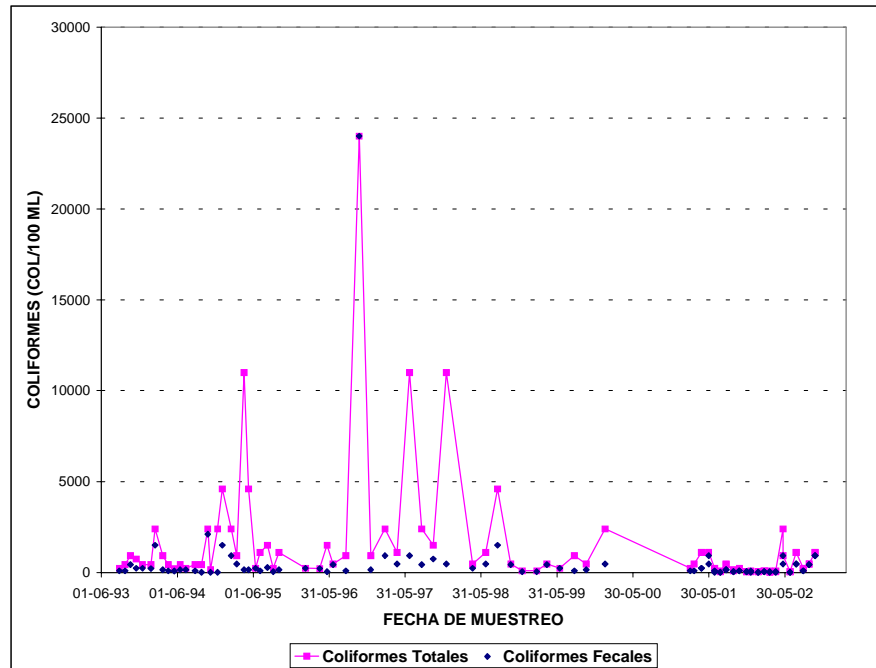


Figura 2.4.2 Coliformes fecales y totales en la estación E1-C (Candelaria)

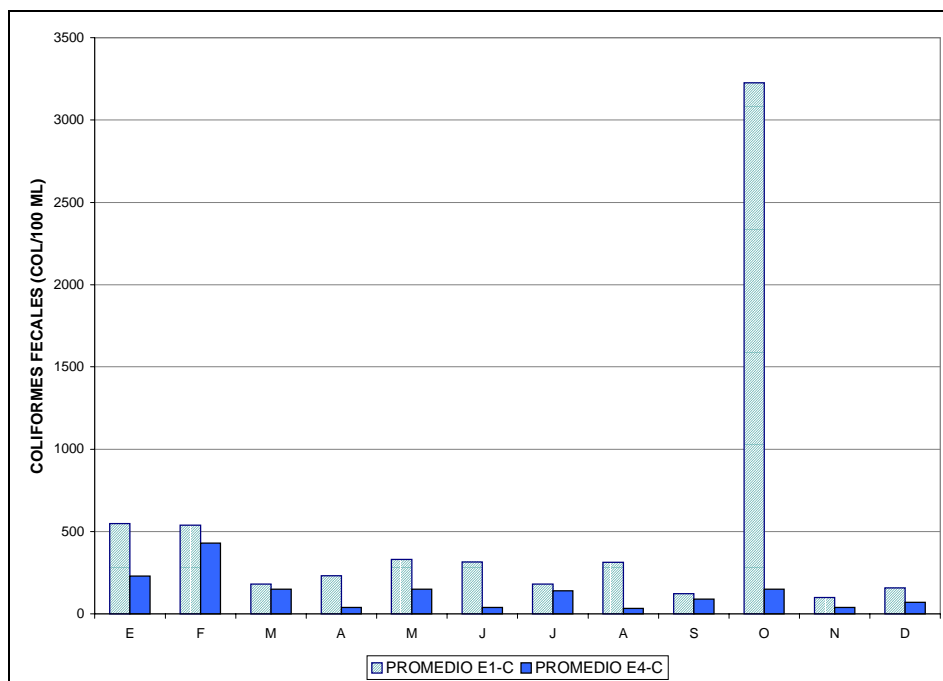


Figura 2.4.3 Evolución temporal promedio de coliformes fecales en las estaciones E1-C (Candelaria) y E4 C(Canal de los Jesuitas)

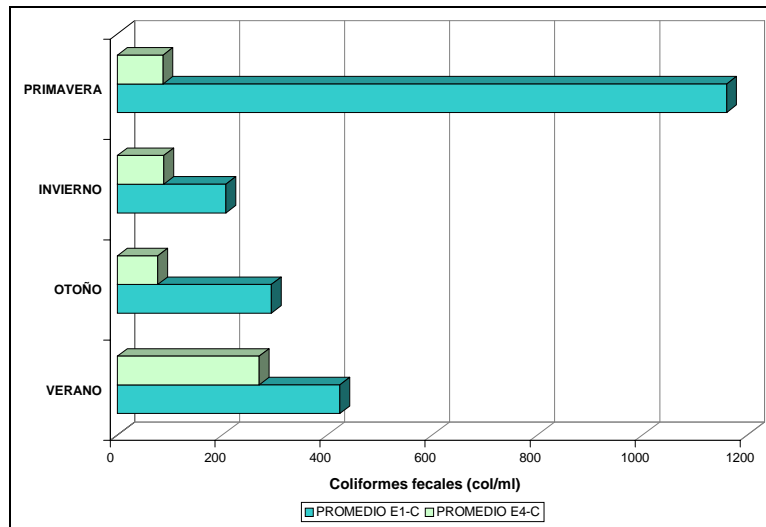


Figura 2.4.4 Valores estacionales promedio de coliformes fecales (col/100 ml)

El mismo análisis, efectuado sobre los valores de coliformes totales muestra que si bien la mayor parte del año el tenor de coliformes es superior en el río (entre 7 y 50%), durante febrero y septiembre la relación se invierte (ver figura 2.4.5).

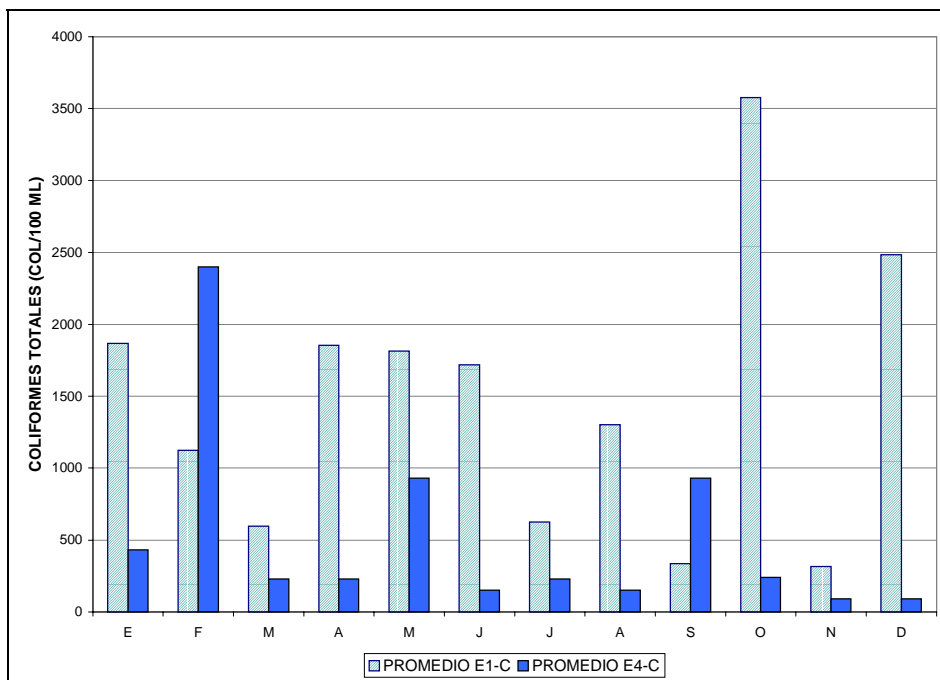


Figura 2.4.5 Evolución temporal promedio de coliformes totales en las estaciones E1-C (Candelaria) y E4-C (Canal de los Jesuitas)

En la figura 2.4.6, la variación estacional calculada de coliformes totales en el embalse indica un máximo en verano del orden de 1000 col/100 ml y un mínimo en primavera de orden 10 veces inferior. Los valores de otoño e invierno son iguales. En el río el ciclo estacional medio presenta dos máximos (en primavera y otoño) y dos mínimos que se alternan.

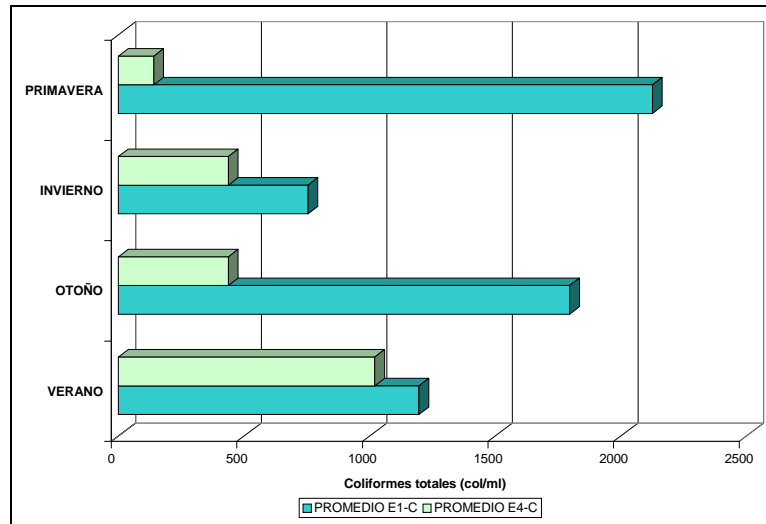


Figura 2.4.6 Valores estacionales promedio de coliformes totales (col/100 ml)

### **3 BALANCES DE MASA**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Un componente importante en un estudio de calidad de agua es el desarrollo de balances de masa para el cuerpo de agua. Estos balances requieren el establecimiento de las entradas y salidas del sistema y del almacenamiento dentro del mismo para las variables de interés, y su correcta determinación permite definir criterios para la gestión del embalse. A su vez, los balances de masa pueden ser también usados para indicar la confiabilidad del régimen de muestreo y la calidad representativa de los datos.

Las entradas potenciales al sistema son los flujos ingresantes desde los tributarios, las descargas municipales e industriales directas y los aportes marginales, atmosféricos, subterráneos y los provenientes de los sedimentos del fondo. Las salidas son el flujo que egresa y las pérdidas asociadas a la volatilización y la sedimentación. Además, pueden existir reacciones internas que consuman o produzcan masa de la sustancia.

La determinación cuantitativa de las cargas externas e internas es uno de los temas más importantes, especialmente en el caso de cargas provenientes de fuentes difusas, que juegan un rol importante en la distribución areal y temporal de las variables químicas en el embalse. Sólo después que esta influencia haya sido cuantificada se puede establecer la transformación cinética entre las variables.

Las diferencias entre el contenido del embalse al comienzo y al final de un cierto período se relacionan directamente a las ganancias y pérdidas desde el sistema. Por esta razón la elaboración de un balance de materia puede servir al propósito de chequear, a nivel de diagnóstico, si las cargas estimadas son consistentes con las concentraciones observadas en el embalse.

Con los datos disponibles para el embalse de Yacyretá, pueden determinarse los flujos ingresantes desde el río Paraná, utilizando los correspondientes a la estación Candelaria, y los salientes a través de los vertederos, usando los registrados en las estaciones E10. Su diferencia, si se la considera significativa, debería ser representativa de las pérdidas y ganancias debidas a las otras fuentes. La determinación de la fuente o fuentes dominantes, es decir, las que explican esencialmente esa diferencia, es una tarea posterior.

En este Informe de Avance se presenta, a título ilustrativo de la aplicación de esta metodología, los balances correspondientes al fósforo total y al fósforo de fosfato.

#### **3.2 BALANCE DE FÓSFORO A PARTIR DE LOS REGISTROS**

Las figuras 3.2.1 y 3.2.2 presentan el balance de fósforo total y de fósforo de fosfato, respectivamente, obtenido directamente a partir de los registros. Los blancos en el balance indican ausencia de datos simultáneos.

En la primera se ellas se advierte que, si bien el flujo neto a lo largo del período de muestreo es oscilante en torno a un valor nulo, se evidencia una dominancia de valores negativos en un lapso que se extiende entre 1996 y 2000, sugiriendo una ganancia de fósforo en el embalse (o eventualmente un déficit en la entrada).

En el caso de fósforo de ortofosfato (figura 3.2.2), el flujo neto tiene también un valor medio nulo, pero no se distinguen período netos de ganancia o pérdida. Es significativo el valor atribuido a agosto de 1997, que deviene de una concentración máxima medida en las estaciones de salida.

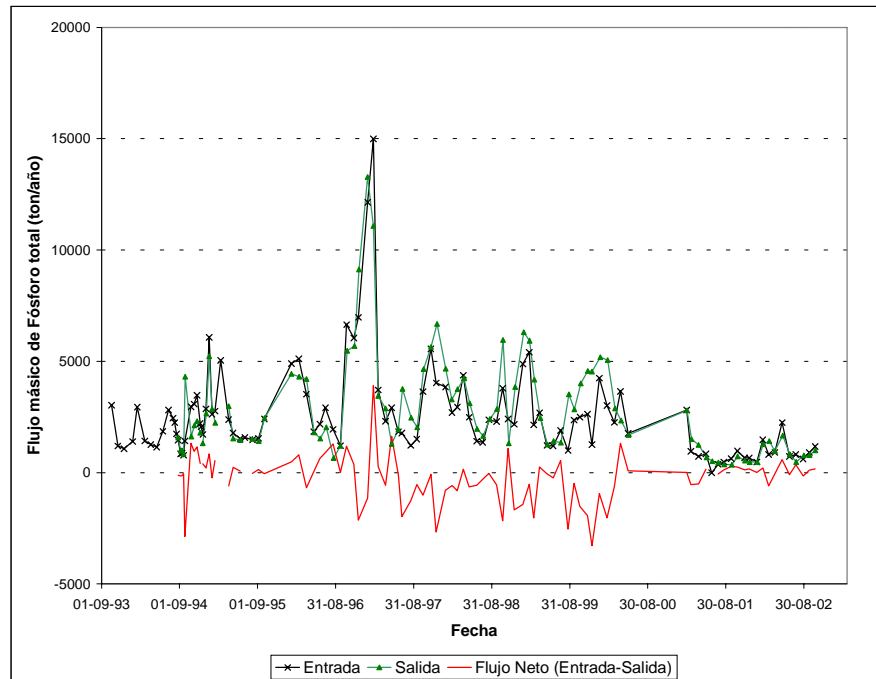
### **3.3 BALANCE DE FÓSFORO DESDE REMUESTREOS**

Los muestreos en las estaciones de entrada y de salida no son, en general, simultáneos. Por consiguiente, la estimación de flujo de masa neto se ha realizado con los valores temporalmente más próximos. Para la misma campaña de monitoreo, la fecha de muestreo puede diferir desde 1 y hasta 5 días entre las estaciones Candelaria y E10.

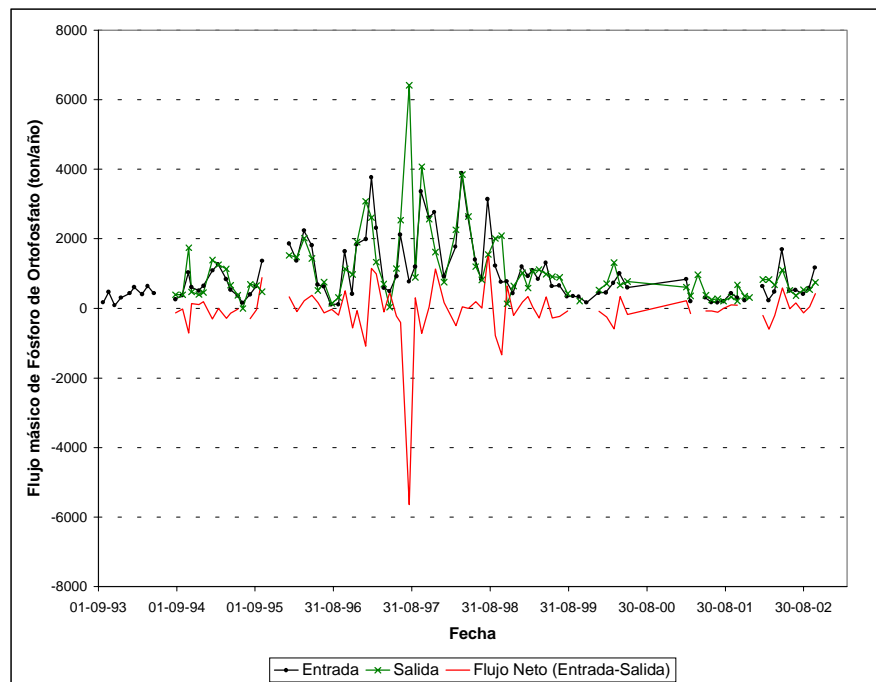
Para salvar este desfasaje y producir series temporales de paso homogéneo, se efectuó el remuestreo de los valores de concentración a nivel diario mediante la utilización de polinomios interpolantes de Hermite. Es importante remarcar que el remuestreo es sólo un artificio matemático que, obviamente, no agrega ningún tipo de información significativa. En principio, permite cubrir razonablemente los blancos en los balances de masa. Además, a partir de las series remuestreadas se pueden aplicar técnicas de filtrado elaboradas, tal como se muestra en la próxima sección.

En la figura 3.3.1 se presenta, a título ilustrativo, la serie temporal remuestreada de los valores diarios de concentración de fósforo total en las estaciones E1-C, superpuesta a los valores registrados.

Con las series remuestreadas de concentración es posible generar nuevas series de flujo de masa a nivel diario, para establecer el balance el flujo de masa neto en el embalse. Las figuras 3.3.2 y 3.3.3 presentan el balance de masa de fósforo total y de fósforo de fosfato realizado con los valores de remuestreo de las respectivas concentraciones.



*Figura 3.2.1 Distribución temporal de flujo másico de Fósforo total*



*Figura 3.2.2 Distribución temporal de flujo másico de Fósforo de ortofosfato*

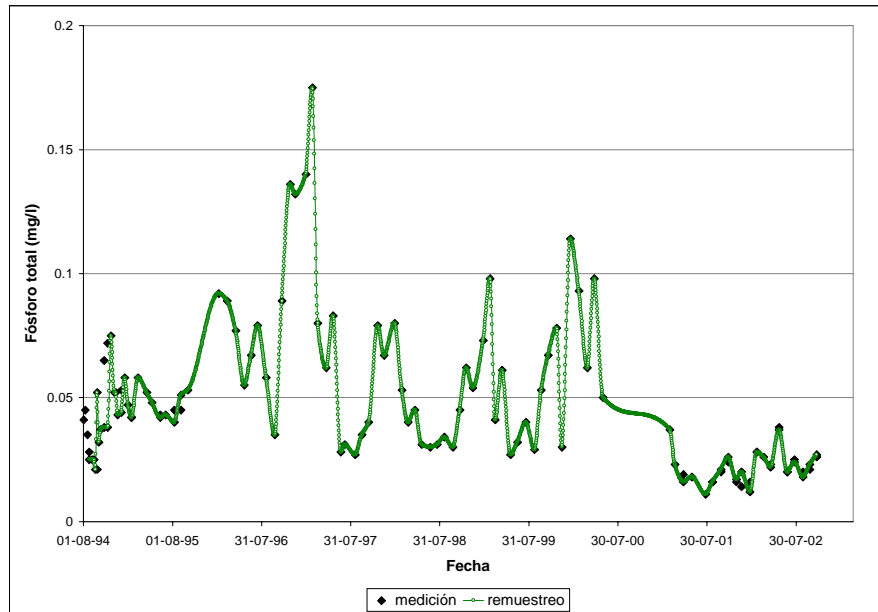


Figura 3.3.1 Valores diarios de concentración de fósforo total(mg/l) generados por remuestreo en la Estación E1-C Candelaria.

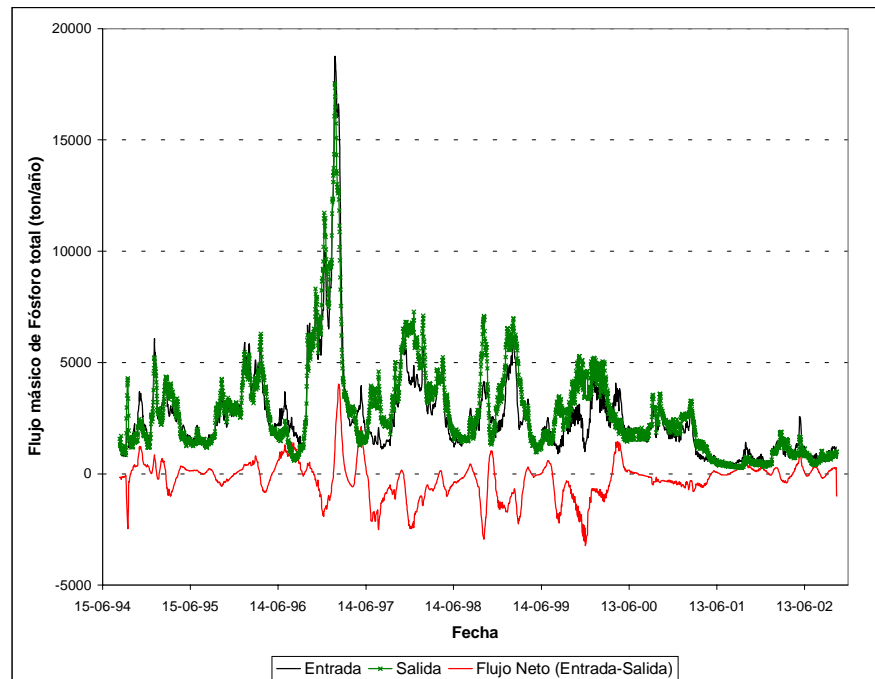


Figura 3.3.2 Distribución temporal de flujo másico de Fósforo total (ton/año) a partir de los valores de remuestreo

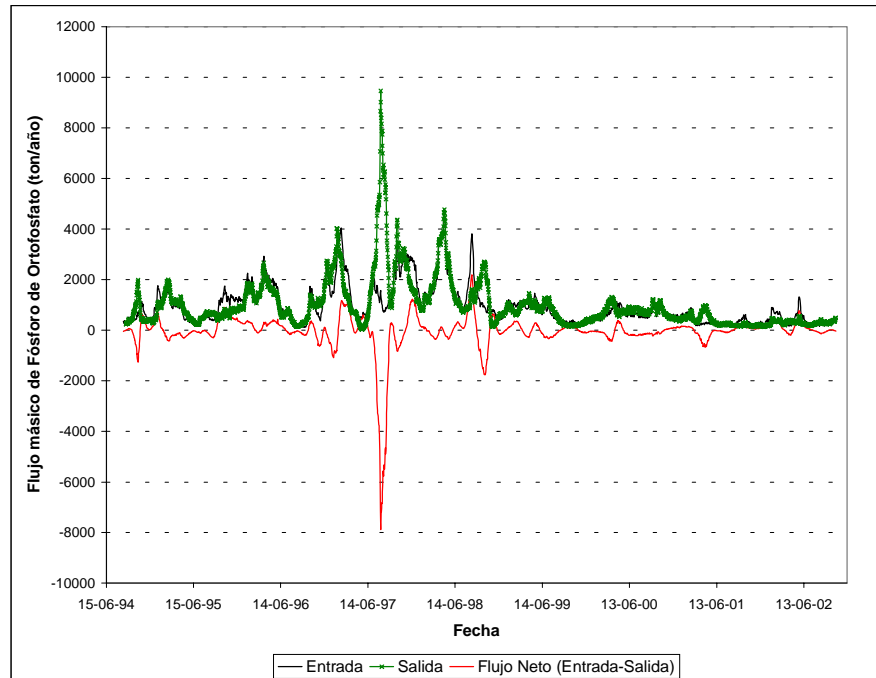


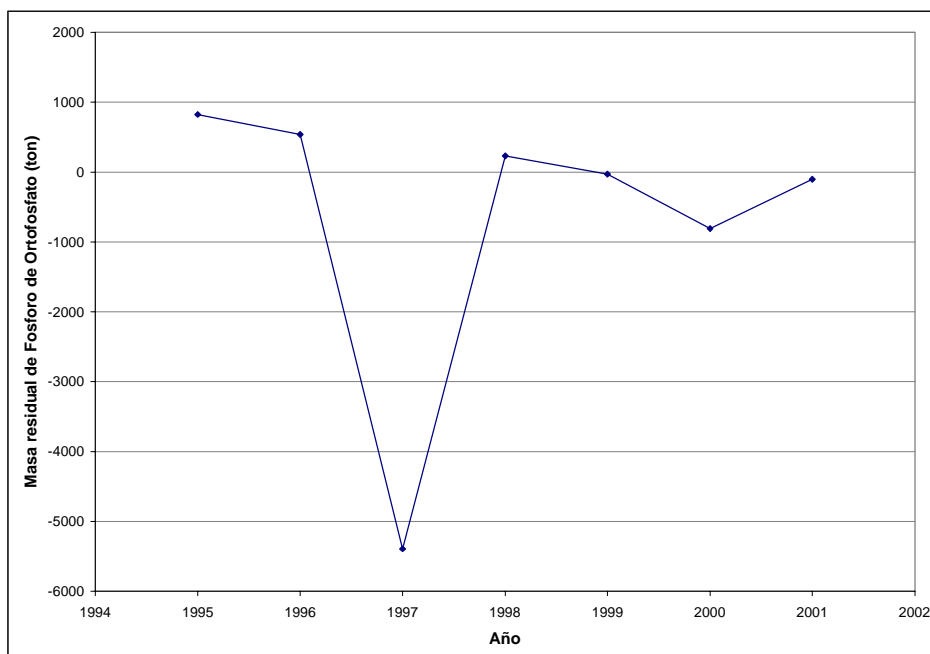
Figura 3.3.3 Distribución temporal de flujo másico de Fósforo de ortofosfato (ton/año) a partir de los valores de remuestreo

La integración de la tasa de masa residual de fósforo total a escala anual permite obtener la evolución del contenido empírico de fósforo en el período de balance. Se señala que, ya que el muestreo de fósforo en las estaciones de salida comenzó en agosto de 1994, el cálculo de masa anual se realiza a partir de 1995. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.3.4, indicando una clara tendencia decreciente. El balance indica una diferencia al final del período de alrededor de 19000 toneladas de fósforo total, lo que representaría una “pérdida” neta del 90%.

Similarmente, en la figura 3.3.5 se presentan los valores de masa residual anual de fósforo de ortofosfato, que no manifiestan una tendencia de evolución clara. Al final del periodo total se tiene una diferencia de alrededor de 3900 toneladas de fósforo de ortofosfato (“pérdida” neta de 95%).



*Figura 3.3.4 Masa residual anual de Fósforo Total (ton)*



*Figura 3.3.5 Masa residual anual de Fósforo de Ortofosfato (ton)*

### 3.4 BALANCE DE FÓSFORO DESDE EL ANÁLISIS ESPECTRAL

Con el propósito de filtrar las series de concentración y de caudal, se aplicó la técnica denominada Singular Spectrum Analysis (SSA). Este método es similar al de Análisis de Componentes Principales (ACP) y se utiliza para extraer información de series relativamente ruidosas. La ventaja que ofrece SSA sobre ACP es que los parámetros que determinan la forma de las componentes se extraen de los mismos datos.

En la figura 3.4.1 se presentan las tendencias calculadas para el flujo másico de fósforo total y el caudal en el período de muestreo, a partir del remuestreo con paso de 5 días, mientras en la 3.4.1 se muestra la señal reconstruida utilizando la tendencia y las componentes más significativas extraídas de la aplicación del SSA. En la figura 3.4.3 estas mismas series se comparan con los valores de flujos y caudal obtenidos por remuestreo.

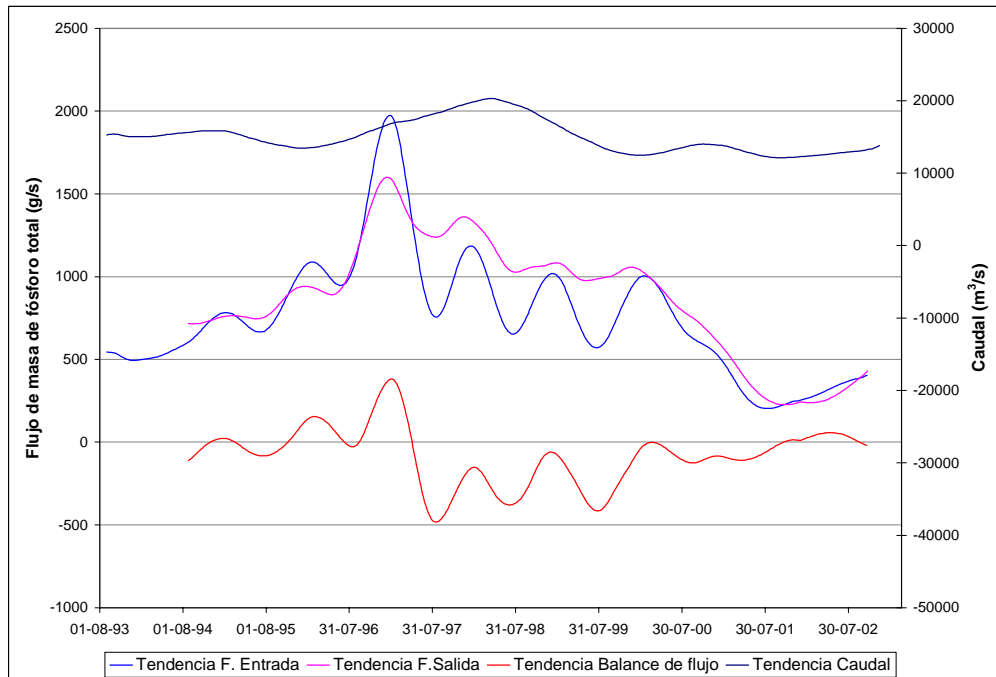


Figura 3.4.1 Tendencia de flujo másico de fósforo total y caudal afluente obtenidas mediante SSA

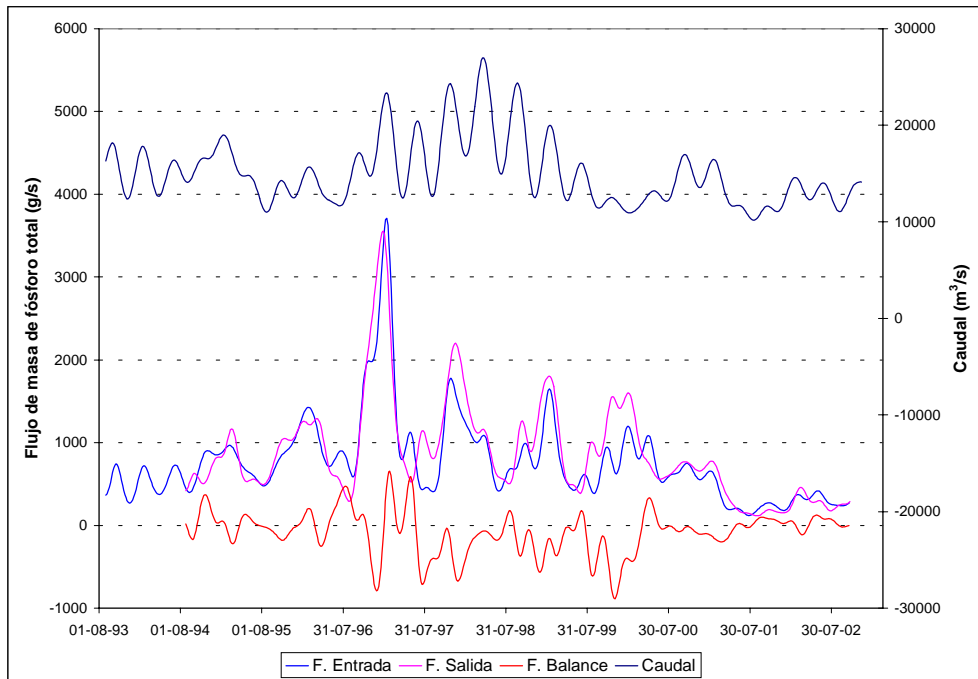


Figura 3.4.2 Flujo másico de fósforo total y caudal afluente reconstruido a partir de la tendencia y componentes obtenidas mediante SSA

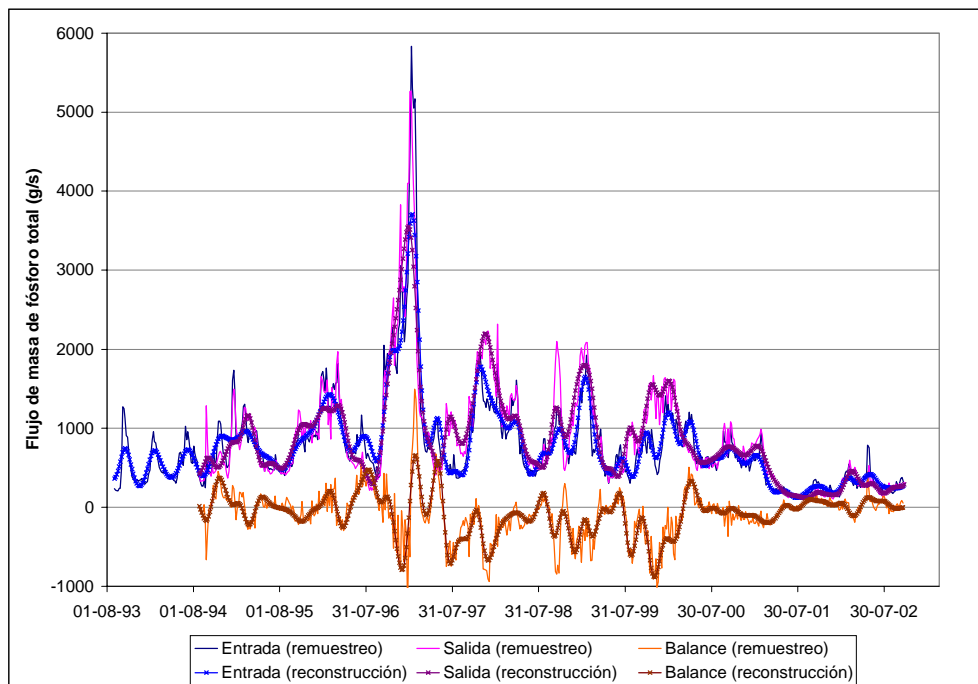


Figura 3.4.3 Comparación entre flujo másico de fósforo total calculado por remuestreo y reconstruido a partir de SSA

La evolución temporal del contenido empírico de fósforo en el período de balance obtenida por integración de la tasa de masa residual de fósforo total a escala anual se muestra en la figura 3.4.4, indicando un descenso marcado entre 1996 y 1999 seguido de un ascenso menos rápido desde el año 2000 al 2002. La diferencia al final del período es de alrededor de 21000 toneladas de fósforo total, lo que representaría una “pérdida” neta del 89%.



*Figura 3.3.4 Masa residual anual de Fósforo Total (ton) a partir de SSA*

Estos resultados son similares a los obtenidos con las series remuestreadas. La idea, en realidad, es utilizar las series filtradas para identificar etapas de “acumulación” y “pérdida”, para luego correlacionarlas con fenómenos concomitantes (crecidas, estiajes, etc.), a partir de lo cual puedan hipotetizarse algunas relaciones de causalidad que conduzcan a la identificación de los procesos responsables de esos comportamientos.

En este sentido, sólo se dispone en esta etapa de la estimación realizada para la aportación de fósforo por fuentes difusas y puntuales para la cuenca del Mboi Caé de 18,16 tn/año. La definición de las cargas provenientes de los otros sub-embalses (Zaiman, Quiteria, Mártires y Aguapié) y de los aportes directos al embalse provenientes del perillago, permitirán, en una etapa posterior, validar los resultados del balance de masa obtenidos.

## REFERENCIAS

1. Vollenweider, R. A., 1983: *Eutrophication. Notes distributed during the II Meeting of the Regional Project on the Eutrophication of Tropical Lakes.*
2. Carlson, 1977: *A trophic state index for lakes Limnology and Oceanography. V.22 (2).*
3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales*, Programa Regional CEPIS/HPE/OPS 1981-1990.