

XX Congreso Nacional del Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. 9 al 14 de Mayo
2005. Mendoza.

EFFECTO DE LOS INCENDIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS EMBALSES SAN ROQUE Y LOS MOLINOS, CÓRDOBA

**María Inés Rodríguez³, Ana Cossavella^{1,2}, Raquel Bazán¹, Mariano Corral¹,
Silvia Oviedo^{1,2}, Andrés Rodríguez¹, María Alejandra Bustamante³,
Carlos Martín Angelaccio³, Fabián López^{1,2}, Fanny Busso⁴ & Enzo Bonfanti⁴**

¹Instituto Superior de Recursos Hídricos, U.N.C.
Av. Veléz Sarsfield 1611 Ciudad Universitaria X5016GCA. Teléfono: 0351-433-4446
E-mail: acossav@arnet.com.ar

²Dirección Provincial de Agua y Saneamiento

³Centro de la Región Semiárida (CIRSA), Instituto Nacional del Agua (INA).

⁴Aguas Cordobesas S.A.

RESUMEN

El fuego, si bien es un componente natural en algunos ecosistemas, puede considerarse como un factor de disturbio debido al fuerte impacto que ejerce sobre los componentes estructurales del sistema. Sus efectos se observan en distintos niveles, siendo las serranías y el pie de monte las áreas más susceptibles de ser afectadas por la erosión, cuando el suelo ha sufrido este disturbio.

Los efectos de los incendios sobre la calidad del agua dependen de las características orgánicas y humedad del suelo, de la severidad de los incendios y del régimen hidrológico. La cantidad de nutrientes que forman parte del drenaje superficial están relacionados con su cantidad en los suelos, la topografía, la cubierta vegetal, la escorrentía superficial, intensidad y duración del flujo y el uso de la tierra. En áreas donde el suelo ha quedado expuesto por incendios, generalmente se incrementa la exportación de fósforo y nitrógeno.

Debido a la negligencia del hombre, al año hidrológico seco y a las condiciones meteorológicas (período de estiaje, altas temperaturas y fuertes vientos) se creó a mediados del año 2003 un escenario óptimo para provocar focos de incendios de diversa magnitud en las cuencas de los embalses Los Molinos y San Roque. Los mismos constituyen importantes reservas hídricas de la provincia siendo las fuentes principales de provisión de agua potable para el Gran Córdoba, además de constituir un importante patrimonio turístico.

Actualmente ambos embalses y sus tributarios son monitoreados por las presentes instituciones con una frecuencia mensual, habiéndose construido una valiosa base de datos. Las variables estudiadas abarcan parámetros físicos y químicos tales como temperatura, transparencia, pH, nutrientes, composición iónica y oxígeno disuelto, entre otros.

En el presente trabajo se analiza la variación de estas características en ambos embalses asociadas a los incendios ocurridos en la cuenca. Estos eventos tuvieron como consecuencia el aumento de la erosión, tanto hídrica como eólica, con efectos en la calidad del agua de ríos y embalses reflejada principalmente por un aumento en la carga de P en los ríos y su consecuente aumento en la concentración en los embalse.

Palabras clave: incendios, calidad del agua, embalses.

INTRODUCCIÓN

Los incendios en la cobertura vegetal son causados por el hombre o por la naturaleza. Se estima que un alto porcentaje es generado por actividades humanas (falta de manejo pastoril, descuido de los turistas, conducta de los pobladores, etc.). En cuanto a aquellos causados por la naturaleza, las variables climáticas y meteorológicas inciden notoriamente en ellos pudiendo intensificar las temporadas de incendios. El fuego, si bien es un componente natural en algunos ecosistemas, puede considerarse como un factor de disturbio debido al fuerte impacto que ejerce sobre los componentes estructurales del sistema. Sus efectos se observan en distintos niveles, siendo las serranías y el pie de monte las áreas más susceptibles de ser afectadas por la erosión, cuando el suelo ha sufrido este disturbio.

Los efectos de los incendios sobre la calidad del agua dependen de las características orgánicas y humedad del suelo, de la severidad de los mismos y del régimen hidrológico. La cantidad de nutrientes que forman parte del drenaje superficial está relacionada con su cantidad en los suelos, la topografía, la cubierta vegetal, la escorrentía superficial, intensidad y duración del flujo y el uso de la tierra. En áreas donde el suelo ha quedado expuesto por incendios, generalmente se incrementa la exportación de fósforo y nitrógeno.

Debido a la negligencia del hombre, al año hidrológico seco y a las condiciones meteorológicas (período de estiaje, altas temperaturas y fuertes vientos) se creó a mediados del año 2003 un escenario óptimo para provocar focos de incendios de diversa magnitud en las cuencas de los embalses Los Molinos y San Roque (Figura 1).

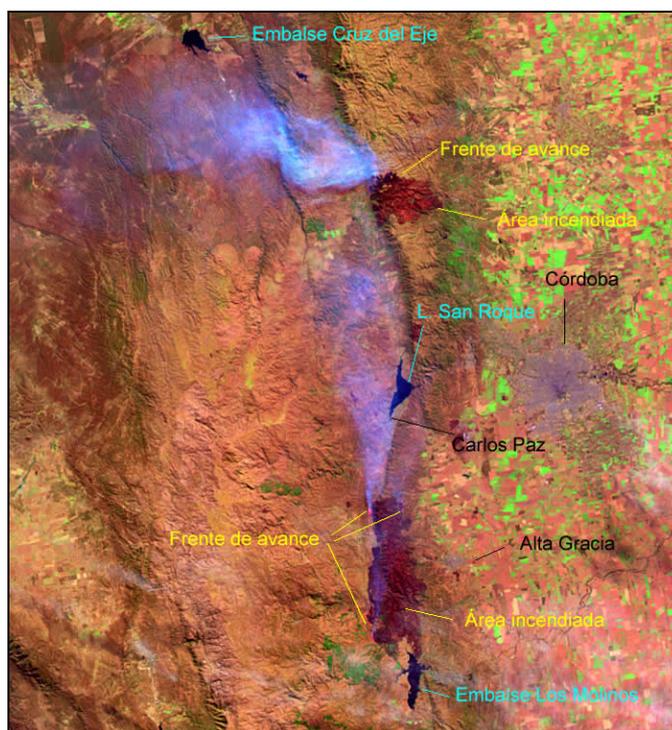


Figura 1: Imagen satelital de los focos de incendio y áreas incendiadas detectados con SAC-C MMRS del día 19 de agosto de 2003 CONAE.

Los embalses San Roque y Los Molinos constituyen importantes reservas hídricas de la provincia, siendo las fuentes principales de provisión de agua potable para el Gran Córdoba, además de constituir un importante patrimonio turístico. A través de un sistema de canalización se utilizan las aguas de ambos embalses para el suministro de agua potable a la Ciudad de Córdoba. El caudal requerido es de aproximadamente $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$, para una población abastecida de alrededor de un millón y medio de habitantes, de los cuales $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ son provistos por el embalse San Roque y el resto, de aproximadamente $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ es abastecido desde el embalse Los Molinos.

En regiones semiáridas como la provincia de Córdoba, el agua es un recurso natural escaso, limitante del desarrollo e íntimamente ligado a la calidad de vida de una sociedad y su ecosistema, de allí la importancia de las investigaciones vinculadas a la problemática hídrica y los factores que inciden en la calidad del recurso.

DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La Figura 1 muestra el área de estudio. El Embalse San Roque ($31^\circ 22' \text{ S}$ y $64^\circ 27' \text{ O}$) se localiza en el Valle de Punilla a 608 m.s.n.m. en la Provincia de Córdoba. A nivel de cota de vertedero (35,3 m. s. cero local), la superficie del embalse es de $15,01 \text{ km}^2$, con 201 hm^3 de volumen y una profundidad media de 13,4 m. El tiempo de residencia medio aproximado es de 0,6 años. La cuenca de drenaje es de 1750 km^2 .

Por otra parte, el Embalse Los Molinos ($31^\circ 43' \text{ S}$ y $64^\circ 32' \text{ O}$) se encuentra ubicado en el Valle de Calamuchita a 712 m.s.n.m. A nivel de cota de vertedero (53 m. s. cero local), la superficie del embalse es de $21,11 \text{ km}^2$, con 307 hm^3 de volumen y una profundidad media de 14 m, con un tiempo de residencia medio aproximado de 0,56 años. La cuenca de recepción del embalse, hasta la presa, es de 894 km^2 .

El clima de la región es templado con una temperatura media anual de 14° C , con precipitaciones estivales en el rango de 400 a 1000 mm y una media anual aproximadamente de 720 mm.

En relación a la dinámica térmica, ambos embalses poseen un régimen monomítico (López et al, 1997; Helmbrecht y López, 2000, Morillo, 2002, Bazán, et al., 2002, Cossavella, 2003).

La cuenca de alimentación del embalse San Roque posee alta densidad poblacional urbana estable, superior a los 100.000 habitantes, la que se triplica en épocas turísticas; mientras que en la cuenca del embalse Los Molinos se destacan las actividades agrícolas ganaderas, y una baja densidad poblacional en la cuenca, con valores cercanos a los miles de habitantes.

Ambos cuerpos de agua cumplen principalmente la función de fuente de provisión de agua, de control de inundaciones, aprovechamiento hidroeléctrico, aprovisionamiento para riego y son a su vez, un ámbito en el que se desarrollan múltiples actividades recreativas.

OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar los resultados de las campañas de monitoreo de calidad de agua realizados con posterioridad al período de los incendios producido a mediados del año 2003, en las cuencas de los embalse Los Molinos y San Roque y compararlos con los

obtenidos en períodos anteriores a estos eventos, a fin de analizar posibles variaciones en los parámetros físico, químicos y biológicos, tanto en los embalses como en sus tributarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el marco de Programas de Monitoreos conducidos en ambos embalses y sus cuencas desde el Laboratorio de Hidráulica (UNC) para el caso del embalse Los Molinos y por el CIRSA en el embalse San Roque, en colaboración con otras instituciones, se analizan aquellos aspectos que puedan denotar el impacto de los incendios en la calidad de aguas de ambos recursos.

Las estaciones de monitoreo consideradas en el presente estudio fueron el centro y las desembocaduras de los principales tributarios de cada embalse, así como los ríos afluentes. En el embalse Los Molinos se llevaron a cabo muestreos estacionales durante el período 1999-2001 y mensuales a partir de mediados del 2001 los cuales continúan hasta la fecha. El diseño de monitoreo adoptado para este embalse y los tributarios se detalla en la Figura 2a. El período analizado para el Lago San Roque abarca desde el 29/9/1999 a la actualidad. La frecuencia de muestreo durante el período estival 1999-2000 fue semanal y posteriormente quincenal, mientras que para el año 2001, 2002, 2003 y 2004 la frecuencia fue mensual. La ubicación de los distintos puntos se muestra en la Figura 2b.

Se fijaron estaciones de muestreo en los embalses, en las cuales se realizaron mediciones *in situ* en el perfil de la columna de agua de las siguientes variables: Temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad y turbiedad utilizando sondas multiparamétricas Horiba U-10, U-23 y W22-XD. Además se midió la transparencia del agua utilizando el disco de Secchi y la temperatura ambiente. Se tomaron muestras en ambos embalses y tributarios para la determinación de parámetros físico-químicos y biológicos tales como alcalinidad, dureza total, fósforo total (PT), fósforo reactivo soluble (PRS), serie de nitrógenos, carbono orgánico total (COT), fitoplancton, clorofila-*a* (Cl-*a*) y iones mayoritarios. Además, se aforaron los tributarios principales.

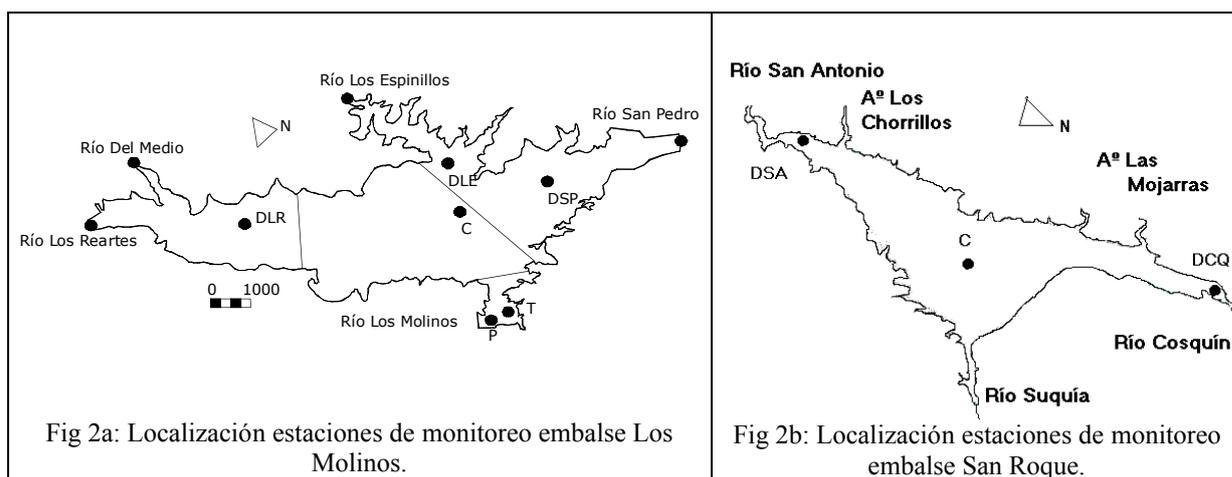


Figura 2: Localización estaciones de monitoreo en los embalses San Roque y Los Molinos

Los lineamientos para la metodología de toma de muestra, almacenamiento y conservación se tomaron de APHA, AWWA y WEF (1999), al igual que las técnicas analíticas empleadas en laboratorio.

Para la evaluación del área quemada y las características de los incendios, se tuvo en cuenta la base de datos provista por la Agencia Córdoba Ambiente, así como evaluaciones realizadas

mediante la aplicación de tecnologías complementarias al estudio del medio ambiente (Martínez Martí, 2004).

Las variables fueron estandarizadas según la siguiente ecuación:

$$VS = (x_i - \bar{x}) / \sigma^2 \quad (1)$$

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Áreas afectadas por los incendios en la cuenca de ambos embalses

La Figura 3 muestra la superficie de cada cuenca afectada a los incendios durante el año 2003. Para ambos embalses los eventos de mayor magnitud fueron registrados en el mes de agosto. En la cuenca del embalse San Roque la vegetación quemada fue principalmente pastizal, monte natural y matorrales, con un total de 15000 Ha, de las cuales un 99 % corresponden a la subcuenca del río Cosquín. 10000 de estas hectáreas, correspondieron al mayor episodio de incendio que duró aproximadamente 5 días desde el 16/08/03 al 21/08/03. Sus causas fueron evaluadas por la Agencia Córdoba Ambiente como intencionales y este incendio se produjo en el área de la localidad de La Falda y Candonga (Figura 1).

En la cuenca del embalse Los Molinos el incendio afectó además de los tipos de vegetación mencionados, áreas de pinares. La superficie ascendió a un total de 26000 Ha que afectaron principalmente a la subcuenca del río San Pedro (70 %). 18000 hectáreas se incendiaron en la zona entre el observatorio de Bosque Alegre y San Clemente, entre el 18 y el 22 de agosto del 2003 (Figura 1).

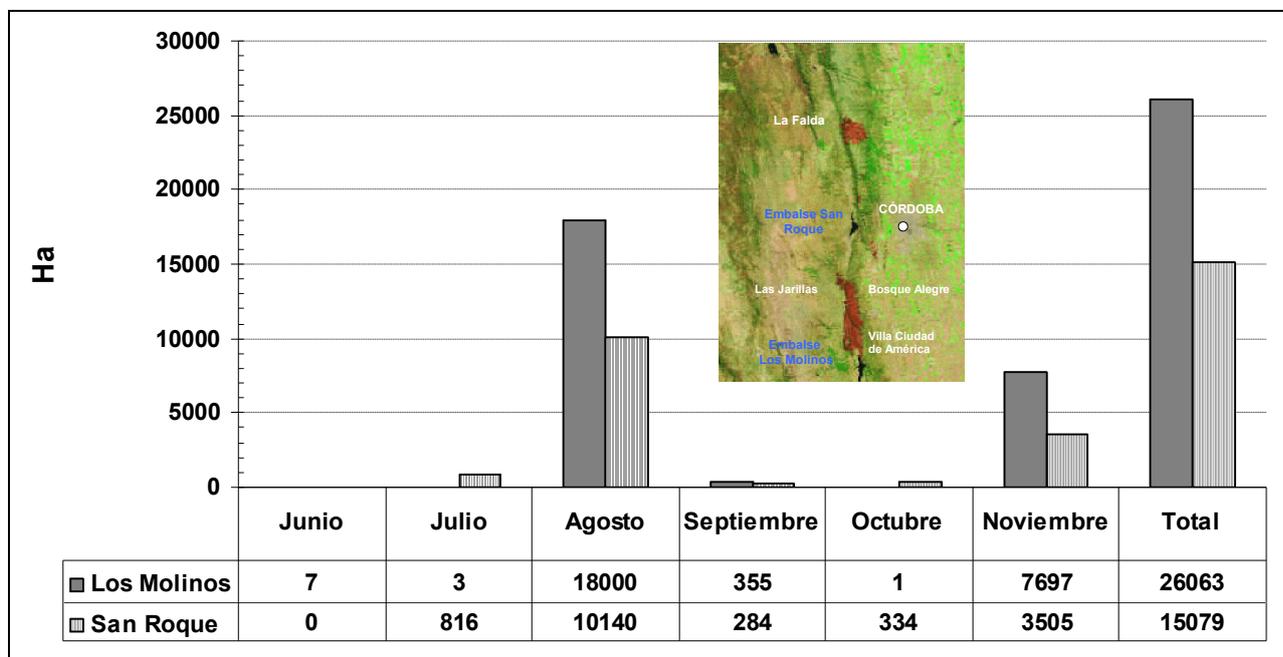


Figura 3: Gráfico comparativo de las superficies afectadas en las cuencas de los embalses San Roque y Los Molinos.

Los incendios producen en los suelos un cambio de las propiedades físico-químicas y biológicas y la intensidad de este cambio depende del grado de humedad y de la frecuencia del incendio.

Los efectos más importantes son la disminución de la porosidad y por tanto de la aireación, absorción y retención del agua, el aumento de la escorrentía y de la evaporación y la reducción de la disponibilidad de agua para las plantas, con pérdida de materiales y de componentes biológicos.

La combustión del suelo consume parte de la materia orgánica de las capas superficiales o del mantillo produciendo su mineralización. Esta liberación súbita de nutrientes los expone a su pérdida por volatilización o por lavado (Ruiz del Castillo, 1985).

Impacto en la calidad del agua de los ríos

La destrucción del mantillo y de la estructura del suelo por el fuego puede provocar su erosionabilidad, más tratándose de suelos de montaña. Una de las consecuencias más temidas relacionadas con un aspecto físico del sistema, es la alteración del régimen hidrológico del río, acentuándose su torrencialidad (Ruiz del Castillo, 1985).

En tanto la calidad del agua puede verse alterada por un aumento en el contenido de materia orgánica, P e iones como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Vega et al, 1985), mientras que gran parte del N es volatilizado por combustión.

En la Figura 4 y 5 puede verse que la carga de PT aumentó de modo significativo en la temporada estival posterior a los incendios tanto en el Río Cosquín como en el Río San Pedro. En dicha temporada las concentraciones de PT estuvieron muy por encima de los valores históricos registrados, lo cual trajo aparejado un aumento en sus cargas (Figura 6 y 7 y Tabla 1). La fracción de P que se incrementó de modo significativo corresponde al particulado. Esta misma condición fue observada para el resto de los tributarios de la cuenca del Embalse San Roque. En tanto que en la cuenca del Embalse Los Molinos la carga de PT de los restantes tributarios no mostró variación.

La carga de nitrógeno inorgánico total estuvo por debajo de los niveles históricos en los tributarios de ambos embalses (Figura 8 y 9).

Adicionalmente, en el Río San Pedro se observaron aumentos marcados en la concentración de iones tales como el calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), hierro total (Fe total) y en la carga de carbono orgánico (Figura 10 y 11). El mismo comportamiento presentó la concentración de magnesio, sodio y nitrógeno de nitritos.

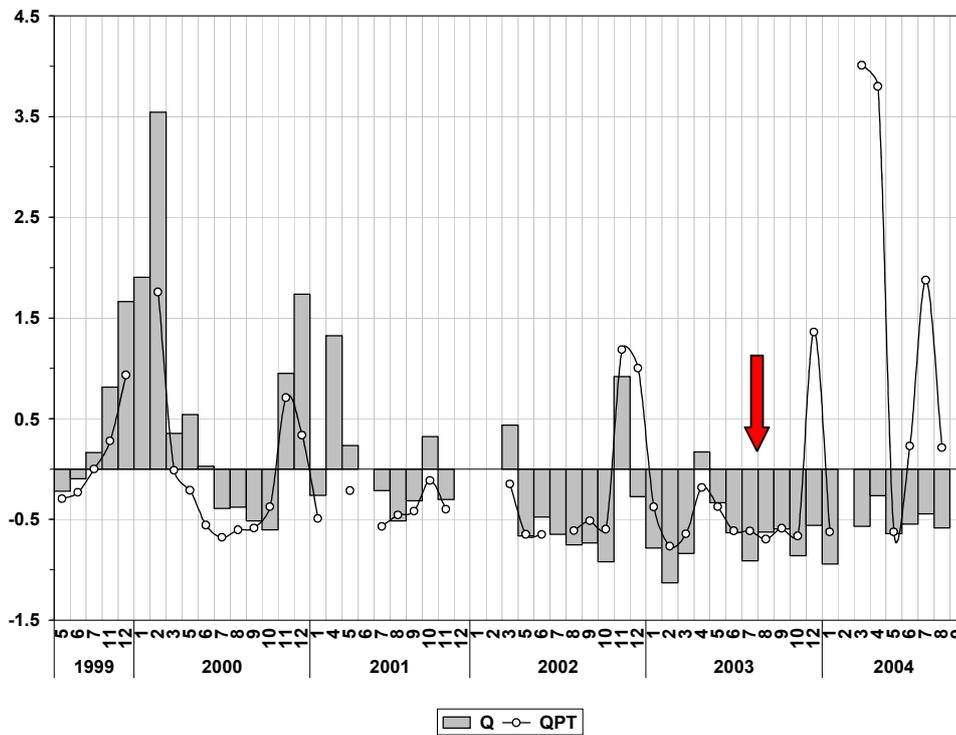


Figura 4: Variación temporal del caudal (Q) y la carga de PT (QPT) en el Río Cosquín. Se indica con una flecha la fecha del episodio de incendio más importante.

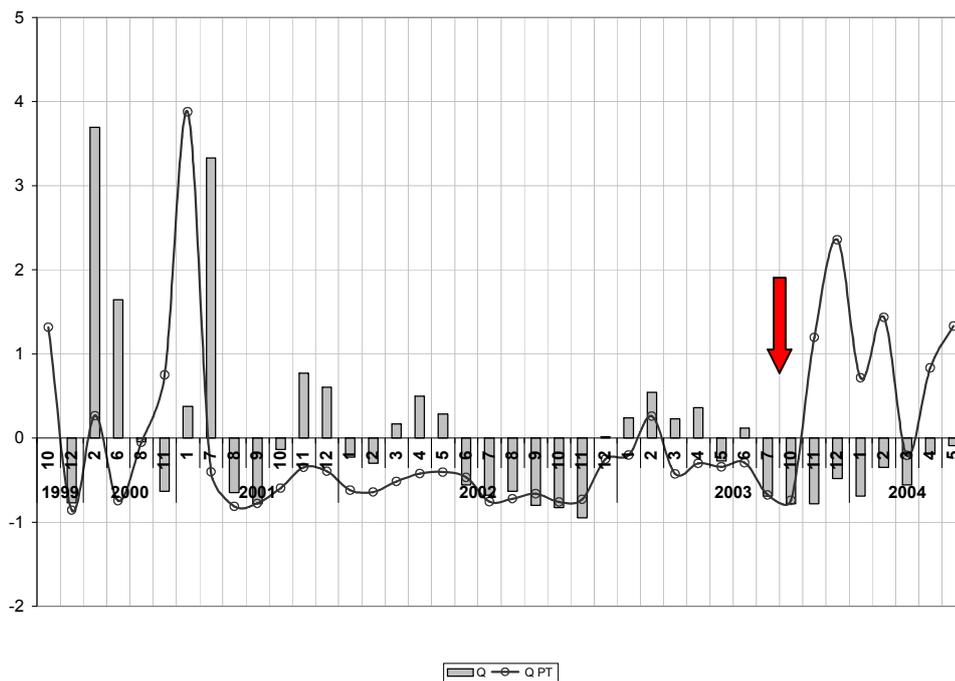


Figura 5: Variación temporal del caudal (Q) y la carga de PT (QPT) en el Río San Pedro. Se indica con una flecha la fecha del episodio de incendio más importante.

Tabla 1: Valores de concentración de PT en los tributarios al Embalse San Roque y Los Molinos.

Período 1999-2004 PT ($\mu\text{g/l}$)	Embalse San Roque				Embalse Los Molinos
	Arroyo Los Chorrillos	Río San Antonio	Arroyo Las Mojarras	Río Cosquín	Río San Pedro
Mediana	56	53	85	88.5	18
Máximo	2007	1540	1440	1480	248

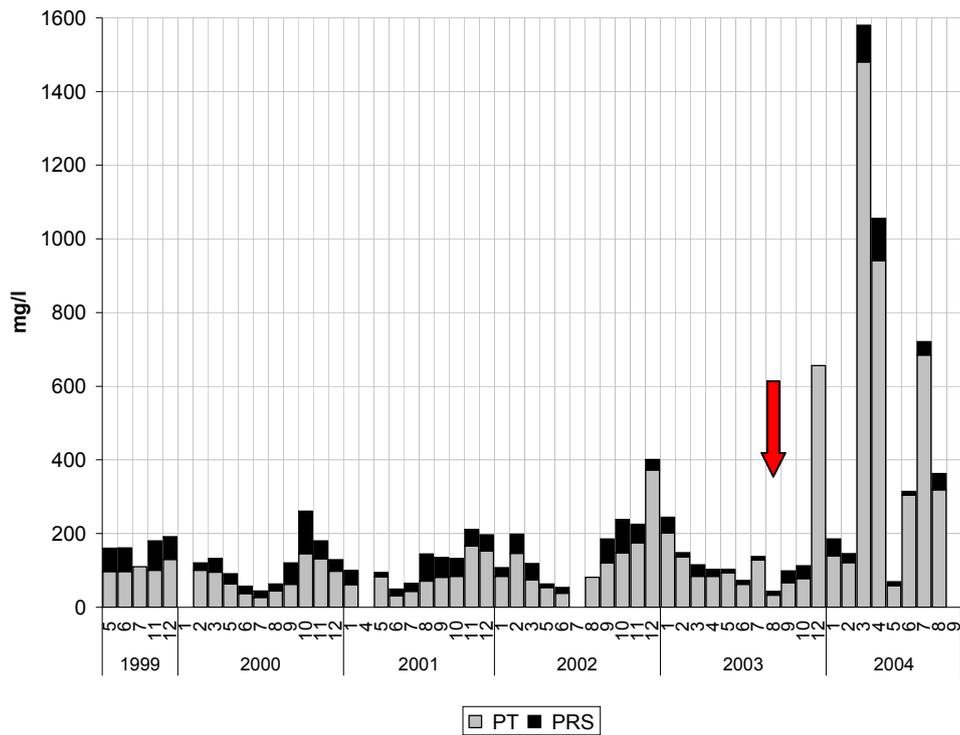


Figura 6: Variación temporal de la concentración de PT y PRS en el Río Cosquín.

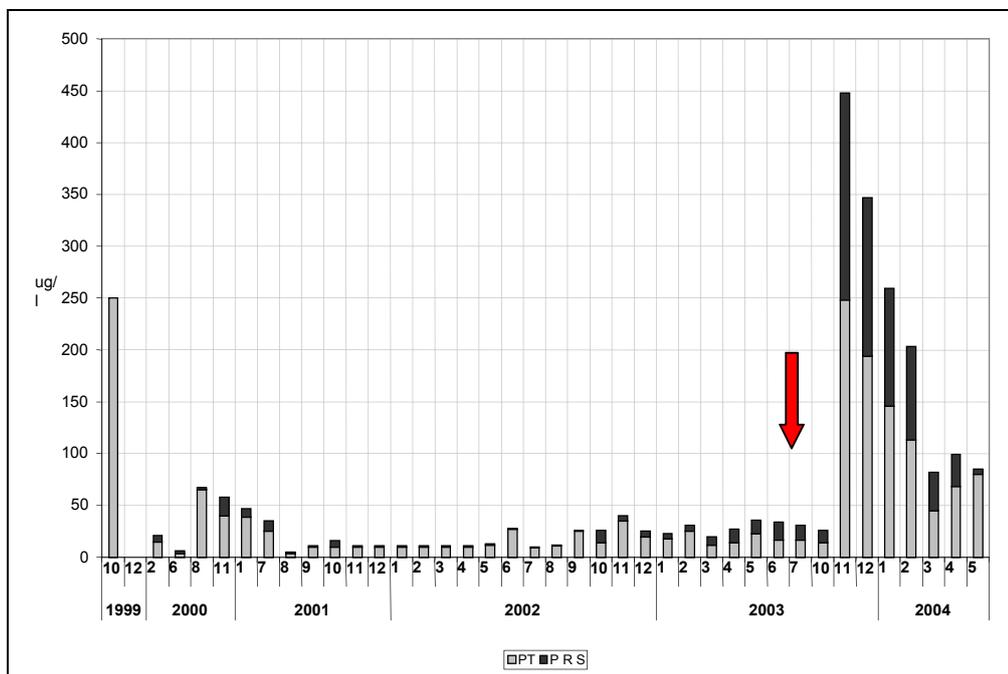


Figura 7: Variación temporal de la concentración de PT y PRS en el Río San Pedro.

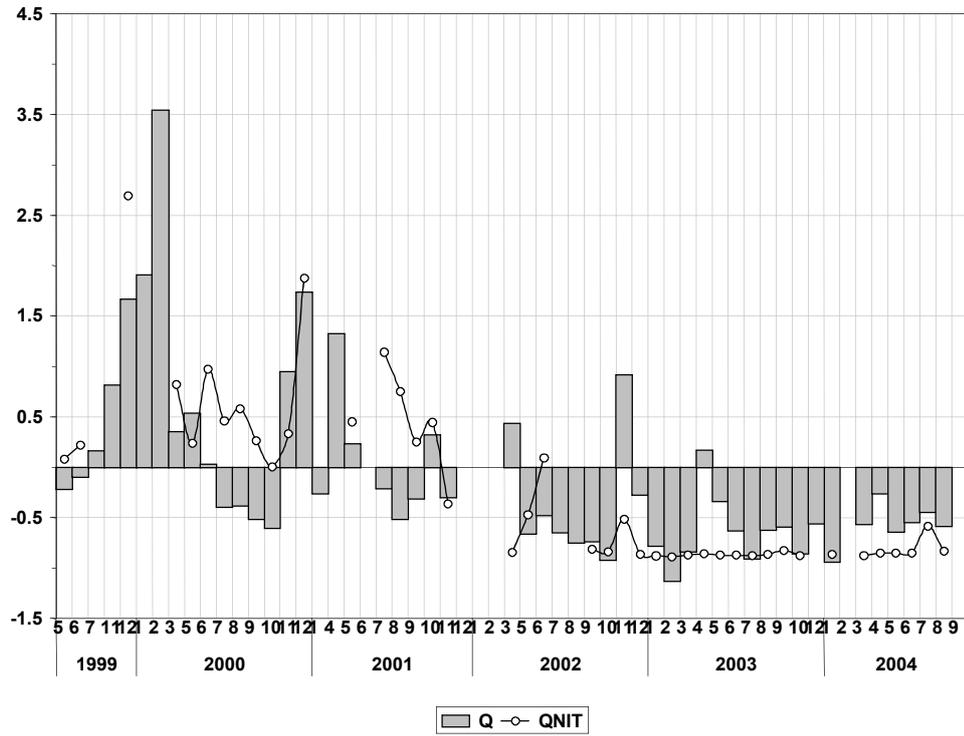


Figura 8: Variación temporal del caudal (Q) y la carga de NIT (QNIT) en el Río Cosquín.

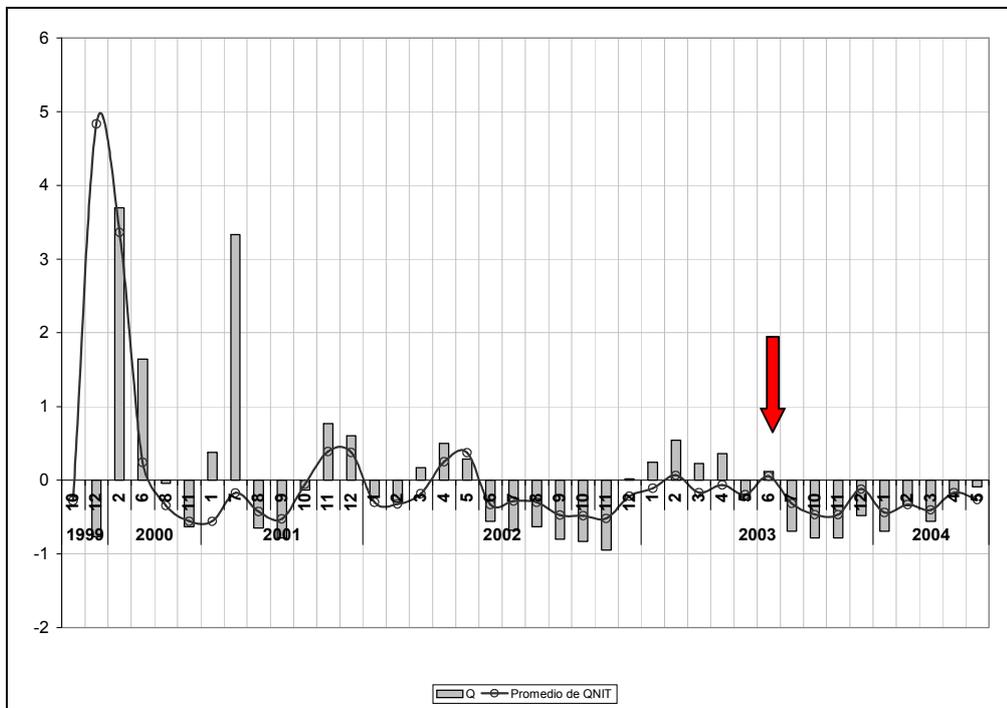


Figura 9: Variación temporal del caudal (Q) y la carga de NIT (QNIT) en el Río San Pedro.

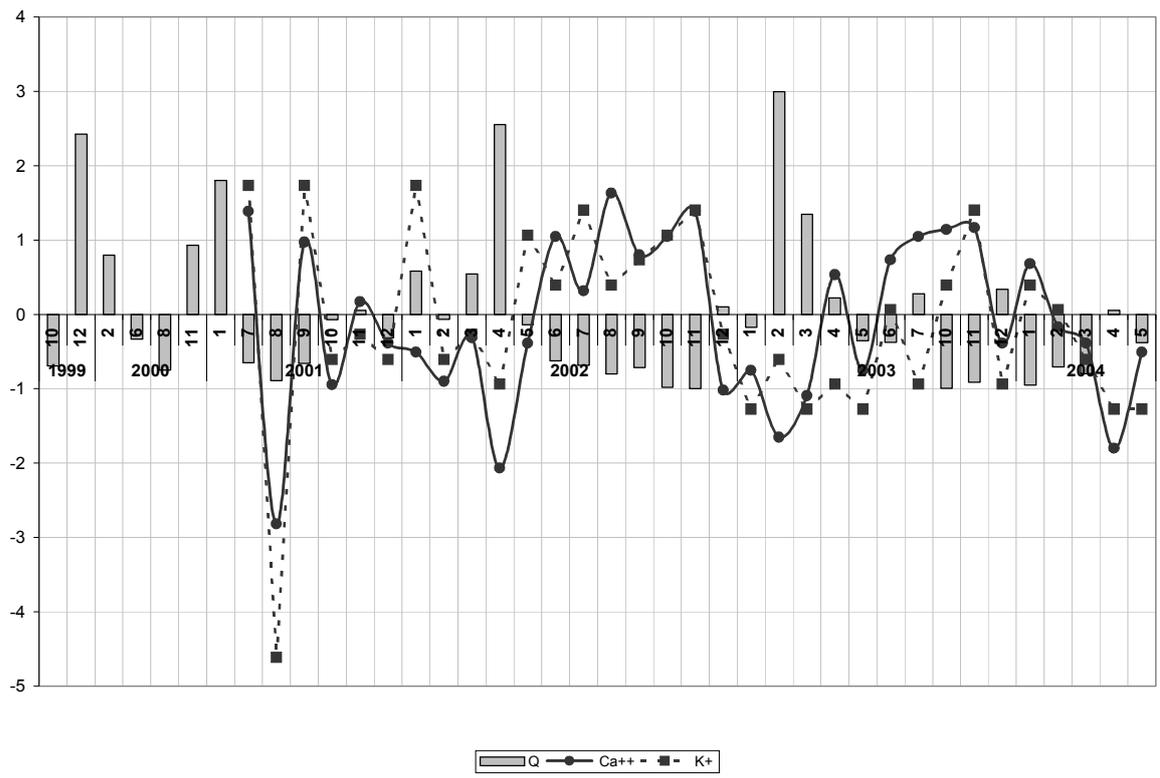


Figura 10: Variación temporal del caudal (Q) y la concentración de Ca^{2+} y K^+ en el Río San Pedro. Las variables han sido estandarizadas.

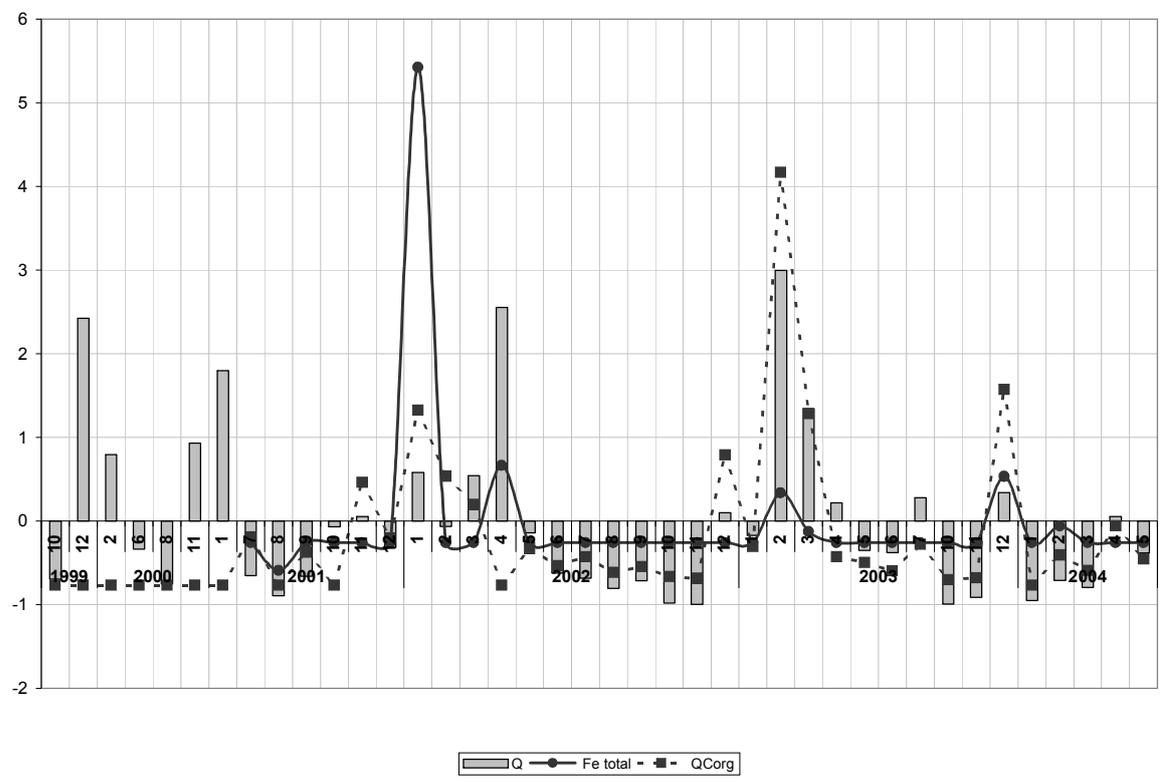


Figura 11: Variación temporal del caudal (Q), concentración de Fe total y la carga de Carbono orgánico (Q Corg).

Impacto en la calidad de agua de los embalses

En la Figura 12 y 13 se observa que la concentración de PT y carbono orgánico total se incrementó significativamente en el sector de la desembocadura del Río Cosquín, cuyo máximo se registra en el período de máxima cota de la temporada 2003-2004. Cabe mencionar que las lluvias del período estival comenzaron el 30/11/03 registrándose precipitaciones avanzadas el mes de abril 2004.

La concentración de N-nitratos, por el contrario no se incrementó (Figura 14). La Figura 15 muestra un aumento significativo e inusual de la clorofila a coincidente con el PT y COT. Este valor correspondió a una floración del dinoflagelado *Ceratium hirundinella*.

El centro del embalse no presentó variaciones significativas con respecto a otros años en los diversos parámetros analizados.

En el Embalse Los Molinos, específicamente en el área de la desembocadura del Río San Pedro, luego de los eventos de lluvias se observó una disminución de la transparencia (Figura 16) y aumentos significativos en la turbiedad, la concentración de PT y PRS. En diciembre del 2003 luego de las primeras lluvias registradas en la cuenca del embalse se registró un evento de mortandad de peces, denuncia realizada por vecinos de la comuna de Villa La Merced. En esta campaña se observó el ingreso de una elevada cantidad de material en suspensión y bajos valores de OD en la columna de agua. Los datos relevados se muestran en la Tabla 2.

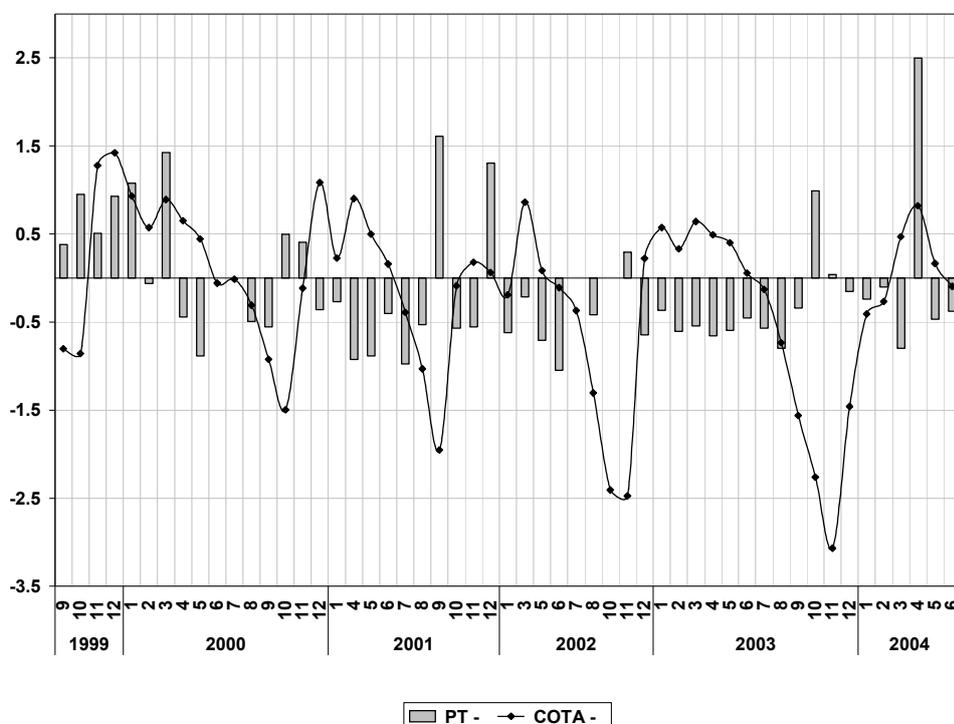


Figura 12: Variación temporal del nivel del embalse (cota) asociada a la concentración de PT, en el área de desembocadura del Río Cosquín.

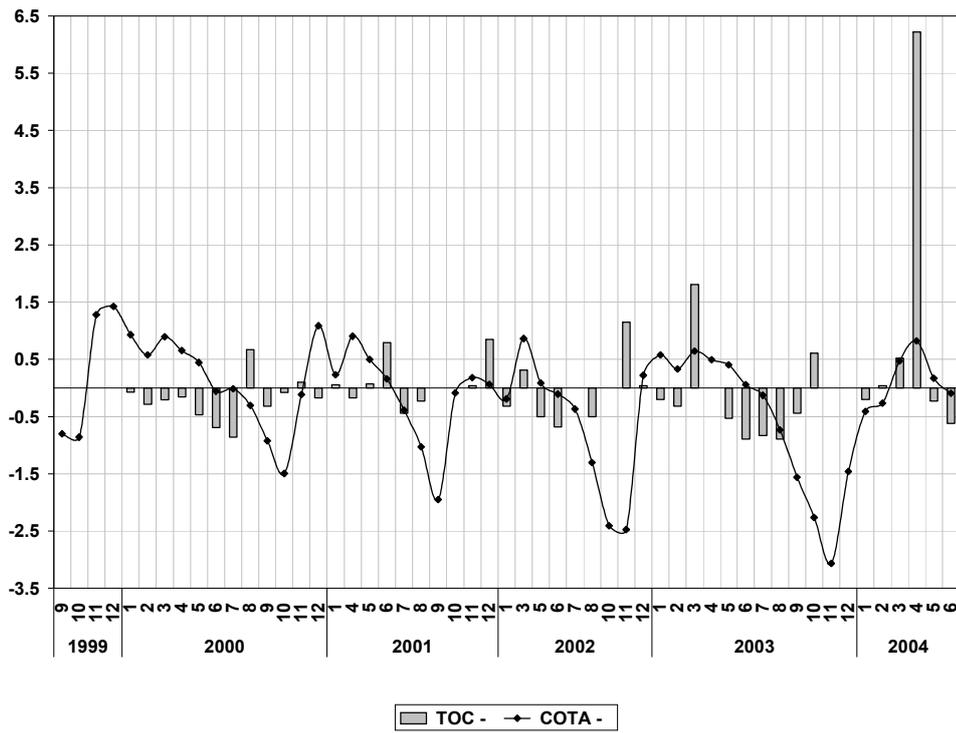


Figura 13: Variación temporal del nivel del embalse (cota) asociada a la concentración de carbono orgánico total (TOC), en el área de desembocadura del Río Cosquín.

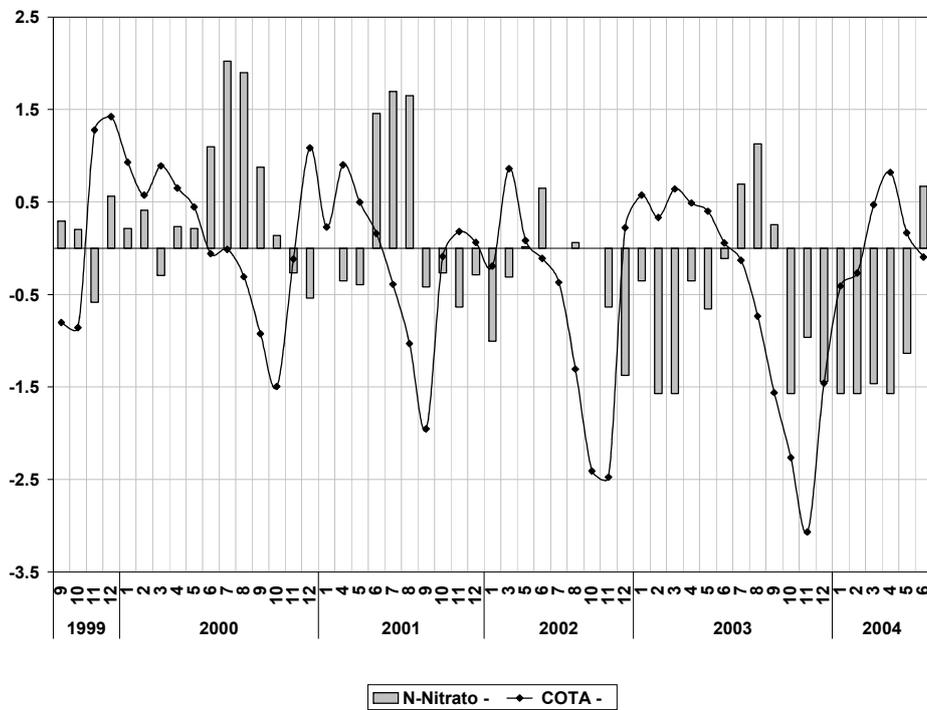


Figura 14: Variación temporal del nivel del embalse (cota) asociada a la concentración de N-Nitrato, en el área de desembocadura del Río Cosquín.

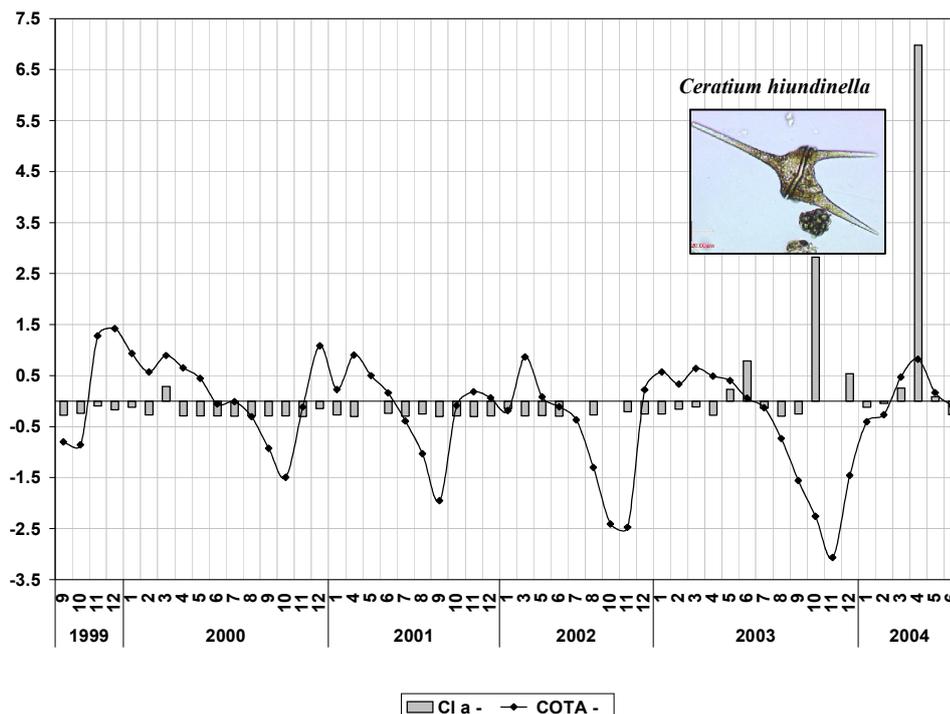


Figura 15: Variación temporal del nivel del embalse (cota) de la concentración de Cl a , en la desembocadura del Río Cosquín.

Tabla 2: Valores registrados en el Embalse Los Molinos durante un episodio con mortandad de peces.

Fecha	Disco de Secchi (m)	Temperatura (°C)	OD (mg/l)	pH	PT µg/l	PRS µg/l	NIT µg/l	COT mg/l	Cl-a µg/l
04/12/03	0.30	21.4	4.80	6.63	155	84	362	13.8	5.34

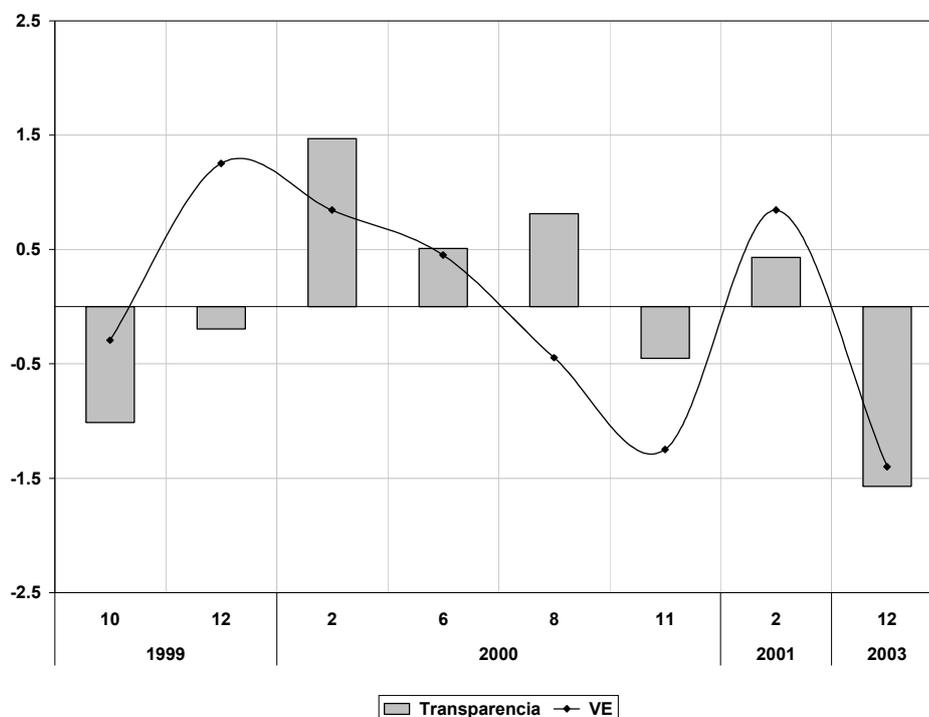


Figura 16: Variación temporal del volumen del embalse (VE) asociada a la transparencia (Disco de Secchi), en el área de desembocadura del Río San Pedro

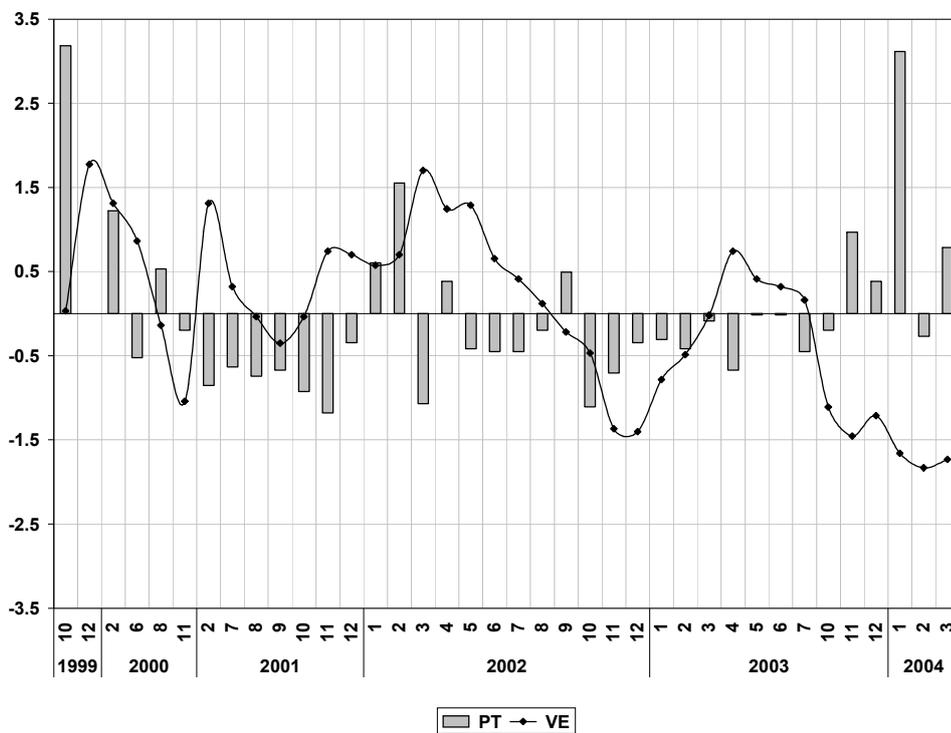


Figura 17: Variación temporal del volumen del embalse (VE) asociada a la concentración de PT, en el área central del Embalse Los Molinos.

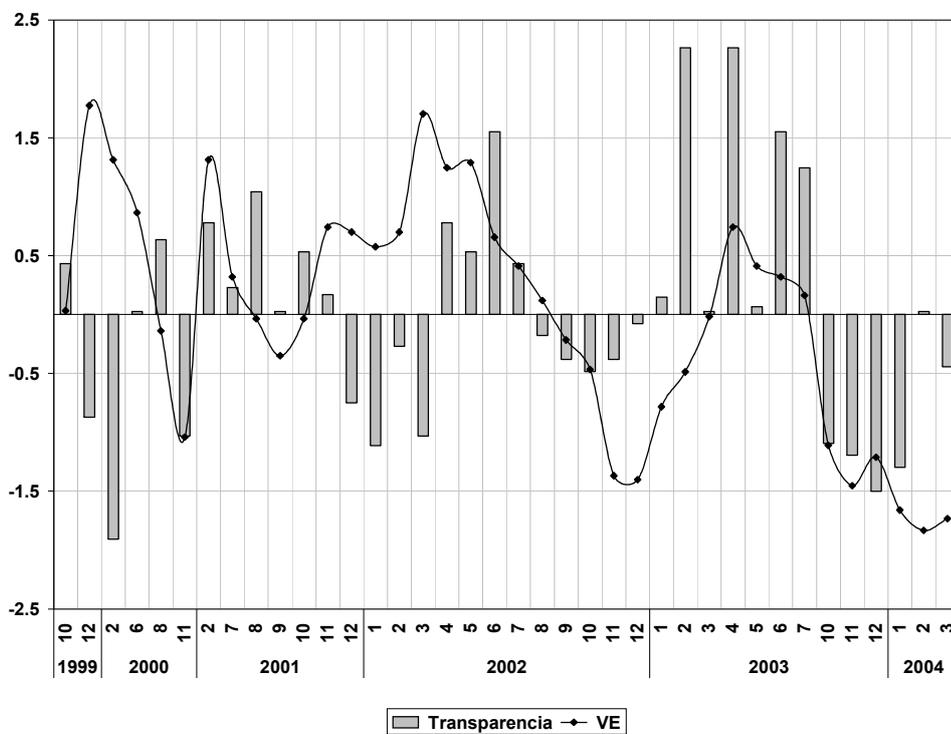


Figura 18: Variación temporal del volumen del embalse (VE) asociada a transparencia (Disco de Secchi), en el área central del Embalse Los Molinos.

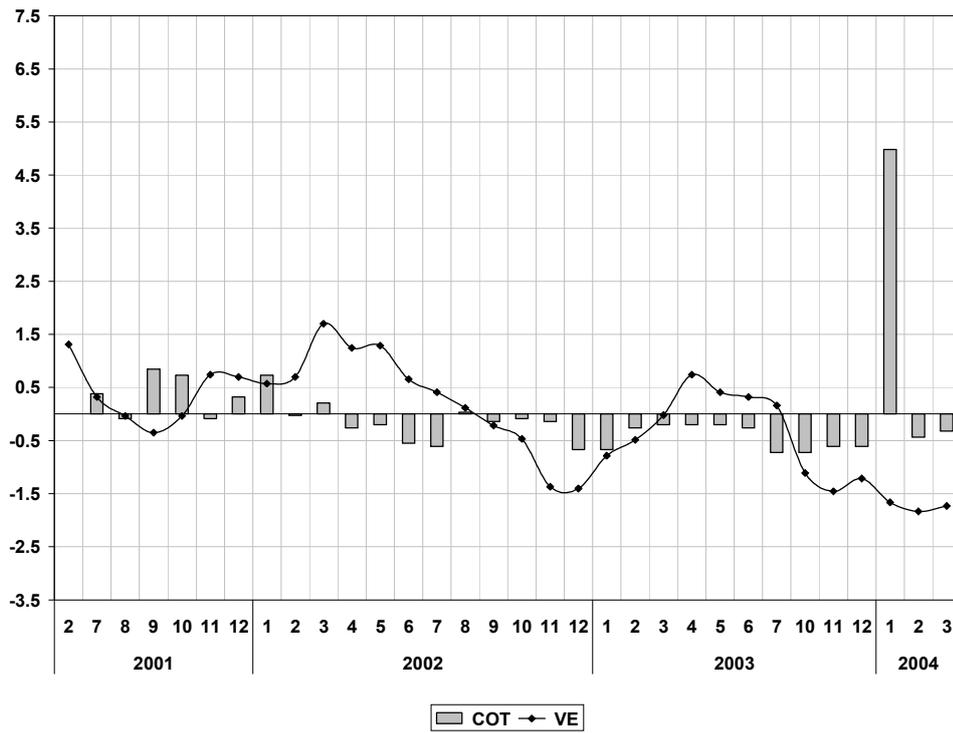


Figura 19: Variación temporal del volumen del embalse (VE) y concentración de carbono orgánico total (COT) en el centro del embalse Los Molinos

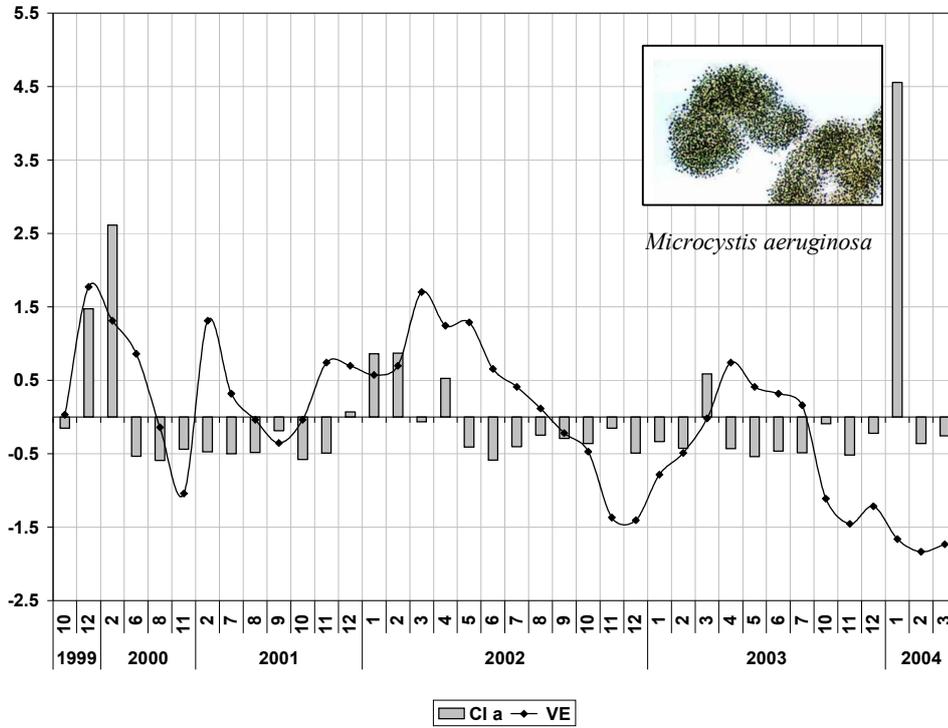


Figura 20: Variación temporal del volumen del embalse (VE) y concentración de Clorofila a (Cl a) en el centro del embalse Los Molinos.

CONCLUSIONES

Los incendios en ambas cuencas produjeron un incremento significativo de P en ambos embalses por lavado de suelos. Este aporte adicional contribuye al agravamiento de la problemática de eutroficación.

Luego del episodio de incendios, pudo observarse el desarrollo de floraciones de especies que provocan problemas en el proceso de potabilización como *Ceratium hirundinella* y cianófitas como *Microcystis aeruginosa*

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa Aguas Cordobesas, Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (DiPAS), Agencia Córdoba Ambiente S.E., Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba, Club Bahía Thonon, Club Bahía El Negro, Club Aeropuerto y al Ente Intercomunal Lago Los Molinos por el valioso apoyo brindado

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazán, R.; Oroná, C.; Cossavella, A.; Corral, M.; Rodríguez, M.; Del Olmo, S.; Borgnino, L.; Larrosa, N.; Rodríguez, A.; Busso, F. y Bonfanti, E.** (2002) "*Análisis y modelado de las características limnológicas del embalse Los Molinos*". En Resúmenes Seminario Taller: Calidad de aguas en embalses de la provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Cossavella, A. M.** (2003) "*Influencia de efectos antrópicos y naturales en el proceso de eutroficación de las aguas del embalse Los Molinos I*". Tesis de Magister en Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Córdoba.
- Helmbrecht, J y López, F** (2000) Predictores físicos de la calidad del recurso en el Lago San Roque (Córdoba, Argentina) *XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Córdoba.
- López, F** (1997) Numerical modelling of the seasonal thermal stratification in Lake San Roque, 7°
- Martínez Martí, N.** (2004) "Aplicación de tecnologías complementarias al estudio del medio ambiente". Trabajo final I.T. Forestal. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Morillo, S; Dasso, C; Bustamante, M A; Granero, M y López, F** (2002) Modelación unidimensional de la limnología física del Embalse San Roque, Córdoba, Argentina, *XIX Congreso Nacional del Agua*, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Ruiz del Castillo, J** (1985) "Efectos ecológicos de los incendios forestales " en Estudios sobre Prevención y Efectos Ecológicos de los Incendios Forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación , Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ed. Servicio de Publicaciones Agrarias. 87:91.
- Vega, J.; Bara, S. y Gil, M.** (1985) "Algunos efectos a corto plazo del fuego prescrito en pinares de Galicia" en Estudios sobre Prevención y Efectos Ecológicos de los Incendios Forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación , Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ed. Servicio de Publicaciones Agrarias. 103:120.