



MVOTMA

Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente

Monitoreo calidad del agua del Río Negro (Período 2009 a 2011)

Montevideo, Mayo 2012



Reporte de resultados del período 2009-2011

Lizet De León

INFORME DE CONSULTORÍA N° 14

PROYECTO URU/07/012 - TDR3.12

DINAMA – PNUD

Mayo 2012

DINAMA – División Evaluación de Calidad Ambiental

Director: Ing. Luis Reolón

Departamento de Calidad de Agua – DCA

Jefe: Gabriel Yorda

Programa de Monitoreo del Río Negro

Responsable: César García

Técnicos participantes: Gerardo Balero, Alejandro Cendón, Javier Martínez

Análisis de Laboratorio: Dpto. Laboratorio Ambiental DINAMA

Jefa Laboratorio: Natalia Barboza

Revisión de datos analíticos: César García y Lizet De León

Mapas y cartografía: Paula Gil, Cooperación Técnica-AECID

Redacción del Informe: Lizet De León, Consultora. Proy.URU/07/012

CONTENIDO

CONTENIDO.....	3
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
Objetivos del programa.....	5
AREA DE ESTUDIO	6
PROGRAMA DE MONITOREO	7
Frecuencia de muestreo.....	8
Puntos de muestreo.....	8
Variables monitoreadas.....	9
RESULTADOS.....	11
Variables medidas in situ	11
RESULTADOS ANALÍTICOS	16
CONSIDERACIONES FINALES	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

RESUMEN

La DINAMA lleva adelante un programa de monitoreo de calidad de agua del Río Negro desde mayo de 2009, con frecuencia casi trimestral, en 15 estaciones desde el ingreso del Río Negro al territorio nacional hasta su desembocadura en el Río Uruguay, incluyendo los tres embalses en cadena. La calidad del agua se determina mediante variables físicas, químicas y biológicas, comprendiendo todas las establecidas en el Decreto 253/79 y modificativos para la Clase 3, de acuerdo con la RM de 2005, más otra serie de variables consideradas de importancia para comprender el funcionamiento y determinar en forma más completa, la calidad del agua del sistema. Los resultados que se presentan corresponden a los parámetros físico-químicos medidos *in situ* y los resultados analíticos de las variables químicas y biológicas de las siete campañas realizadas entre mayo 2009 y mayo-junio 2011.

La calidad del agua del Río Negro cumple con casi todos los valores estándares de calidad establecidos en la legislación. Las excepciones son el fósforo total (PT) y coliformes termotolerantes. El PT supera en todos los registros el estándar vigente de 0,025 mg P/l, registrando una concentración promedio para el sistema de 0,136 mg P/l. También la concentración de coliformes termotolerantes superó el valor estándar de calidad del Decreto 253/79 y modificativos (2000 UFC/100 ml), en la estación RN16, aguas abajo de la ciudad de Mercedes. En este sitio, las medidas de coliformes en los primeros 4 muestreos superaron los 2000 UFC/100 ml y en los siguientes fueron inferiores. Los metales pesados estuvieron en general dentro de los rangos de calidad que establece el decreto, sin embargo se registraron valores por encima del estándar en algunas ocasiones y sitios, siendo el embalse de Baygorria y aguas abajo, los sitios que mostraron relativamente alta concentración de cromo y mercurio, y aguas abajo de Rincón del Bonete mayor nivel de zinc.

Los nuevos resultados de niveles de fósforo, que corroboran los anteriores valores superiores al estándar y similares a los obtenidos en otros ríos del país, sugieren la necesidad de reconsiderar el valor estándar que indica el Decreto vigente. Se reiteran las propuestas de incorporar datos de caudal, turbidez y transparencia en forma regular, así como el registro de floraciones algales y discutir la incorporación de los peces como indicadores de calidad. A fin de integrar información sobre la calidad del agua a nivel de toda la cuenca (complementando al curso principal), se sugiere incorporar información relativa a indicadores bentónicos de calidad de agua.

PROGRAMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO NEGRO (2009-2011)

INTRODUCCIÓN

La Dirección Nacional de Medio Ambiente tiene entre sus cometidos "formular, ejecutar, supervisar y evaluar planes para medir y evaluar el estado de la calidad de los recursos ambientales: recursos hídricos, aire y ecosistemas incluyendo áreas naturales protegidas y las zonas costeras..." (Ley 17283). Trabaja en ello desde su creación en 1990, incorporando progresivamente, al Programa Nacional de Evaluación de Calidad de Agua, información sobre nuevos sistemas acuáticos. En tal sentido, la incorporación del Programa de Estudio del Río Negro en 2009 ha permitido iniciar el relevamiento de este cuerpo de agua que recibe los aportes de la cuenca hidrográfica de mayor extensión en el interior del país.

En setiembre 2011 (DINAMA-DCA, 2011), se presentó el primer informe con los antecedentes, justificativos del programa de monitoreo de línea de base del Río Negro y los primeros resultados de los parámetros de calidad de agua correspondientes al período 2009-2010. En este informe se presentan los resultados de la matriz agua alcanzados hasta la última campaña 2011, culminada en junio, cerrando así un período de dos años de muestreo.

Objetivos del programa

El objetivo general de este programa es establecer una línea de base de la calidad del agua, del sedimento y de la biota acuática del Río Negro dentro del territorio nacional y definir un programa de vigilancia permanente de la calidad del agua, que permita evaluar el comportamiento del sistema frente al posible impacto producido por los futuros emprendimientos que se instalen en su cuenca hidrográfica.

Para alcanzar dicho objetivo, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Monitorear el Río Negro para establecer la calidad del agua del cauce principal del sistema en función de los estándares establecidos en el Decreto 253/79 y modificativos, de la legislación nacional.
2. Determinar la posible afectación costera, ya sea por descargas domésticas, industriales, puntuales o difusas.
3. Conocer la composición de los sedimentos superficiales en estaciones seleccionadas y determinar la presencia o ausencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos.
4. Conocer las poblaciones locales de la biota zoobentónica, estimando su estructura y abundancia relativa.
5. Determinar si existen compuestos tóxicos que pudieran presentar algunas poblaciones zoobentónicas seleccionadas a tales fines.
6. Conocer la composición y abundancia relativa de las poblaciones de organismos Nectónicos más relevantes y determinar los niveles de base de los tóxicos que potencialmente, puedan contener.

7. Obtener los valores de caudal en los momentos de muestreo

AREA DE ESTUDIO

Si bien el área de estudio fue suficientemente detallada en el primer informe (DINAMA-DECA, 2011), se ha realizado un cambio en el diseño de la "cartografía" para este reporte, que justifica una nueva descripción del sistema. Por otra parte, la ubicación de los sitios de muestreo en sus correspondientes subcuencas, que drenan hacia dichos sitios, ameritan una actualización de la descripción.

El Río Negro nace en Brasil, en el Estado de Río Grande del Sur y recorre 750 Km, 700 de ellos en territorio uruguayo, con un desnivel de 140 m que ha favorecido la instalación de tres represas hidroeléctricas en su cauce. La cuenca del Río Negro, cubre una superficie de 68450 km² y está delimitada al Este por la Cuchilla Grande, Cuchilla de Haedo al Oeste y Cuchilla Gde. del Oeste al Sur (Figura 1).

En la hidrografía del Río Negro se destaca la llegada de algunos sistemas afluentes en la margen derecha tales como el A° del Hospital y Carpintería, A° Cuñapirú, el Río Tacuarembó, A° Malo, Salsipuedes, Cardozo y San Luis. Mientras que en la margen izquierda se destaca la llegada del Río Yi, el A° Grande del Sur y el Becqueló. La cuenca está conformada por 9 subcuencas hidrográficas, según la Dirección Nacional de Hidrografía (ahora DINAGUA). En la figura 1 se presentan dichas subcuencas agrupados en función de los sitios de muestreo definidos en este programa. Por otra parte, el caudal del río está modificado por la construcción de tres embalses que forman un sistema en cadena: Rincón del Bonete (construido en 1948), Baygorria (en 1960) y Palmar (o Constitución, en 1981).

Los embalses Rincón del Bonete (1070 km² de espejo de agua), Baygorria (100 km²) y Palmar (320 km²), fueron construidos para generar energía hidroeléctrica (600 MW), sin embargo actualmente se utilizan en múltiples funciones. De acuerdo con los resultados presentados por UTE, la calidad del agua de los embalses ha mostrado condiciones de deterioro y eutrofización evidenciado a través del alto valor de potencial corrosivo, floraciones de cianobacterias tóxicas y la colonización por especies bentónicas exóticas como los bivalvos invasores *Limnoperna fortunei* y *Corbicula fluminea* (Brugnoli et al., 2005; Conde et al., 1999, 2002). A esto se agrega el desarrollo de actividades productivas industriales como el cultivo y crecimiento del Esturión, así como la extracción ictícola por la industria pesquera artesanal.

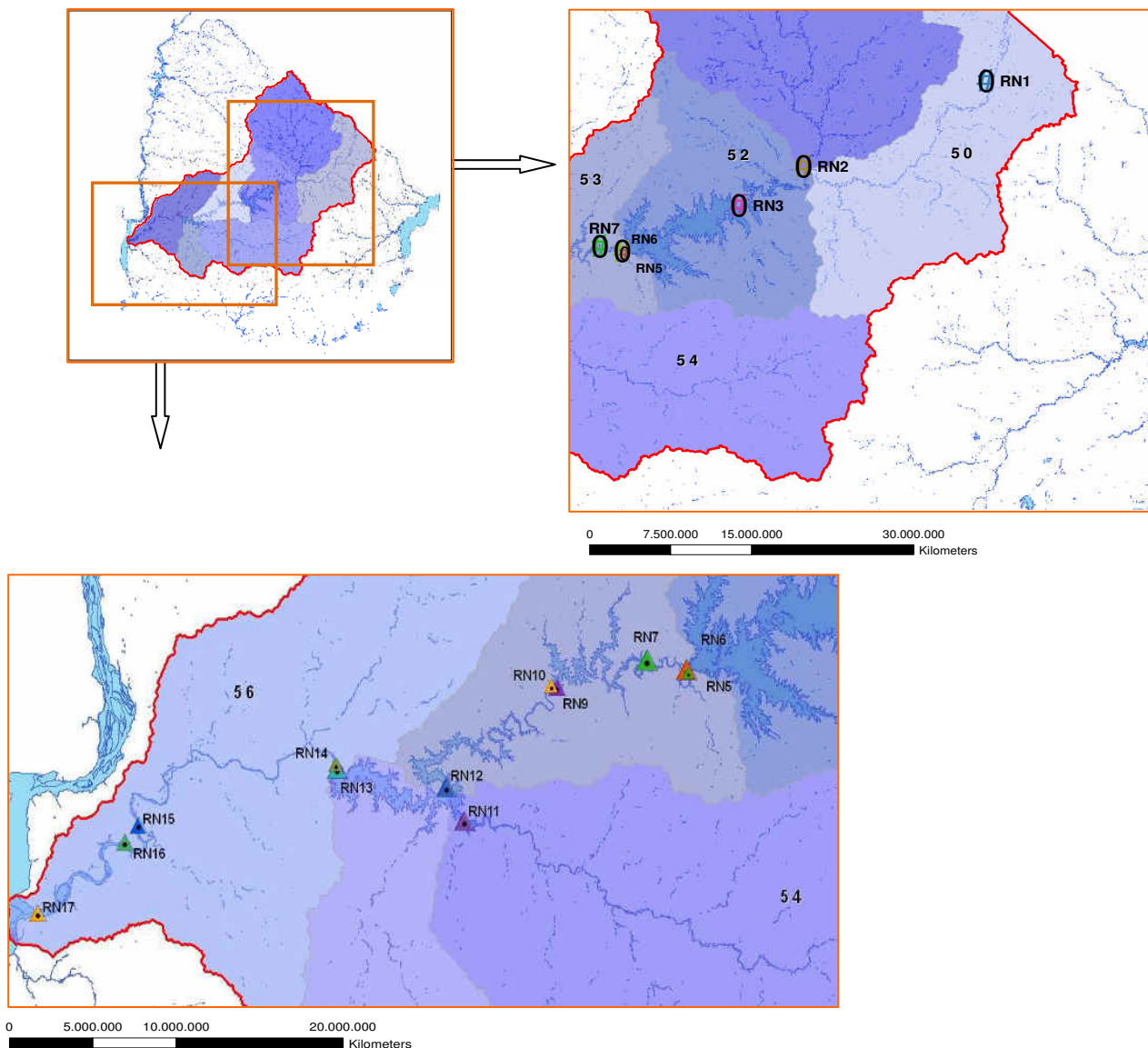


Figura 1. Cuenca del Río Negro, mostrando las subcuencas más importantes y la ubicación de los sitios de muestreo definidos en el Programa de Monitoreo del Río Negro de DINAMA-DCA. Referencias en la tabla 2.

PROGRAMA DE MONITOREO

El monitoreo de calidad de agua del Río Negro fue diseñado por el equipo de técnicos del Dpto. de Calidad de Agua (DCA) de la División de Evaluación de la Calidad Ambiental. Las campañas de muestreo se iniciaron el 26 de mayo de 2009. Debido a la extensión del área de estudio y la logística implicada en el traslado de las muestras para su correcta preservación y arribo al Dpto. Laboratorio Ambiental, cada campaña tiene una duración de 10 días hábiles. En la logística de las campañas colaboran las intendencias de Cerro Largo y la Junta Local de Paso de los Toros (Intendencia de Tacuarembó). También UTE colabora con el desarrollo de este Programa, proporcionando alojamientos en viviendas de las poblaciones de las represas.

Los análisis químicos de agua y sedimentos son realizados o coordinados a través del Dpto. de Laboratorio Ambiental de DINAMA.

Frecuencia de muestreo

El programa tiene planteada una frecuencia trimestral de muestreo, a fin de realizar al menos una campaña en cada estación del año. Sin embargo, la frecuencia ha sido variable por razones logísticas y hasta la fecha no se tiene información sobre las características del sistema en verano. En la tabla 1 se presentan las fechas de las campañas realizadas y analizadas entre 2009 y 2011.

Tabla 1. Fechas de muestreos del Programa de Monitoreo del Río Negro y estación del año a la que corresponden

	2009	2010	2011
Otoño	26 mayo – 3 junio	2 – 10 junio	29 marzo – 7 abril
Invierno		4 – 13 agosto	24 mayo – 2 junio
primavera	15 – 23 setiembre	1 – 10 diciembre	
Verano	---	---	---

Puntos de muestreo

La distribución de los puntos de muestreo se diseñó en función del recorrido del cauce principal en el territorio nacional. Las estaciones se ubicaron teniendo en cuenta las subcuencas hídricas que drenan en los diferentes tipos de tramos del río, incluyendo a los tres embalses y aguas arriba y abajo de las represas, las principales ciudades sobre el cauce principal y la llegada de los principales afluentes (Río Tacuarembó y Río Yi). La nomenclatura de los puntos de muestreo, su referencia geográfica y principal característica se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Identificación, ubicación y características de las estaciones de muestreo.

Identificación	Latitud	Longitud	Característica
RN1	31°58`57` S	54°33`00` W	Río Negro y ruta 44, primer puente sobre el río. Punto inicial del muestreo.
RN2	32°24`31` S	55°29`09` W	Desembocadura de Río Tacuarembó. Acceso por camino a la estación en Km 329 (AFE).
RN3	32°36`00` S	55°49`06` W	Entrada a Rincón del Bonete (cola del embalse), frente a la ciudad de San Gregorio de Polanco. Primer punto donde el río se embalsa.
RN4	32°45`05` S	56°12`22` W	Embalse de Rincón del Bonete medio. Acceso por camino que sale de Villa del Carmen. Punto eliminado por tener un difícil acceso y por falta de tiempo.
RN5	32°49`39` S	56°25`26` W	Embalse de Rincón del Bonete, próximo a la represa. Define la calidad del agua del embalse
RN6	32°48`17` S	56°29`51` W	Aguas abajo de la represa Rincón del Bonete, el río se encausa de nuevo.
RN7	32°48`28` S	56°32`28` W	Aguas abajo de Paso de los Toros. Evalúa la influencia de la ciudad en la calidad del agua.
RN8	32°48`13` S	56°32`12` W	- Entrada a embalse de Baygorria. Acceso desde Paso de los Toros. Punto eliminado por difícil acceso.
RN9	32°52`221` S	56°48`10` W	Embalse Baygorria, próximo a la represa. Define la calidad del agua del embalse.
RN10	32°52`06` S	56°49`16` W	Aguas abajo de represa de Baygorria, el río se encausa de nuevo.
RN11	33°01`02` S	57°00`11` W	Represa de Palmar, cola del embalse. El río se embalsa nuevamente.
RN12	33°10`10` S	57°04`22` W.	Desembocadura del Río Yi, próximo a los tres puentes de Ruta 3. Evalúa los aportes del río Yi.
RN13	33°03`26` S	57°26`56` W	Embalse Palmar, próximo a la represa. Evalúa la calidad del agua del embalse Palmar.
RN14	33°02`52` S	57°27`12` W.	Aguas abajo de la represa de Palmar. El río se encausa.
RN15	33°11`05` S	58°01`54` W	Aguas arriba de la ciudad de Mercedes. Evalúa la calidad del agua antes de la ciudad.
RN16	33°13`26` S	58°04`15` W	Aguas abajo de Mercedes. Determina la influencia de la ciudad en la calidad del agua.
RN17	33°22`52` S	58°19`45` W	Río Negro frente a villa Soriano. Es el último punto previo a la desembocadura en el río Uruguay.

Las estaciones RN4 y RN8 fueron eliminadas del programa por las dificultades de acceso a esos puntos.

Variables monitoreadas

En cada campaña se midieron *in situ* y a nivel subsuperficial: Temperatura del agua (°C), concentración de oxígeno disuelto (mg/l), saturación de oxígeno disuelto (%), conductividad (µS/cm) y pH. La transparencia del agua (con Disco de Secchi), se midió en forma irregular.

Se tomaron muestras de agua para el análisis de los parámetros que se detallan en la tabla 3, de acuerdo con la metodología publicada en www.dinama.gub.uy (en "Publicaciones/Documentos; Documentos técnicos; Protocolos de análisis y muestreo") y solicitada por el Dpto. de Laboratorio Ambiental. La turbiedad se midió en forma irregular.

Los análisis son realizados directamente por, o a través del, Dpto. de Normalización Técnica o Laboratorio de DINAMA. La metodología analítica estandarizada para los laboratorios ambientales del

país puede consultarse en la dirección www.mvotma.gub.uy en "Publicaciones/Documentos técnicos/protocolos de muestreo y análisis". Se presentan en este informe los resultados de los siete muestreos realizados y procesados durante los primeros dos años del programa.

Tabla 3. Variables analizadas en las muestras de agua del Programa de Monitoreo del Río Negro

Parámetro	Preservación	Técnica analítica	Nº Procedimiento DINAMA
Temperatura		Termómetro	
Concentración de Oxígeno		Oxímetro	
Conductividad	Medición <i>in situ</i>	Conductímetro	
pH		pH-metro	
Transparencia		Disco de Secchi	
Turbiedad		Refrigerar	Nefelométrico, en laboratorio
Alcalinidad	Refrigerar	APHA, 2005	1002UY
Iones mayoritarios (Ca, Mg, Na, K)	Refrigerar	APHA, 2005	3129UY, 3140UY, 3149UY, 3147UY
Sólidos Totales	Refrigerar	APHA, 2005	1021UY
Sólidos Suspendidos	Refrigerar	APHA, 2005	1020UY
NO ₃	Filtrar y congelar	APHA, 2005 (Strickland y Parsons, 1972)	4085UY
NO ₂			4066UY
NH ₄			4080UY
Nitrógeno total	congelar	Digestión simultánea de N y P - Valderrama (1981)	ISO 11905-2
PO ₄	Filtrar y congelar	Strickland y Parsons(1972)	4012UY
Fósforo total	congelar	Digestión simultánea de N y P - Valderrama (1981)	4013UY
DBO ₅	Refrigerar	APHA 2005	2008UY
Coliformes totales y Termotolerantes	Refrigerar	Membrana filtrante, APHA 2005	5054 y 5053 UY
Clorofila y feofitina	Refrigerar	Extracción con acetona	7004 UY
Metales pesados (Cr, Hg, Zn, Cd, Ni, Pb, y Fe)	Refrigerar	APHA, 2005	3135UY, 3141UY, 3133UY, 3128UY, 3142UY, 3146UY, 3138UY
Arsénico		ISO15586	
Cianuro total		Método espectrofotométrico	4031UY
Fenoles totales		EPA Methods 420.1 modif.	
AOX		ISO 9562(2004), Método AOX-DIN/38409-H14	8084UY

RESULTADOS

Los resultados presentados en este informe corresponden a los datos obtenidos *in situ* y a los resultados de laboratorio correspondientes a las primeras 7 campañas de monitoreo realizadas entre mayo 2009 y mayo-junio 2011 (tabla 3) para la matriz agua.

Variables medidas *in situ*

La temperatura del agua en el Río Negro en la superficie de la columna de agua registró una amplitud entre 9,1 y 30,4 °C, con 16 °C de promedio. Los valores mínimos se registraron en agosto 2010 y los máximos en diciembre 2010 (figura 2). Se registró un incremento más marcado de la temperatura en la estación RN3, cola del embalse Rincón del Bonete, a la altura de San Gregorio de Polanco, que coincide con los resultados ya observados en las campañas previas. Como se indicó anteriormente, el cambio en la hidrodinámica del río a esta altura, con enlentecimiento de su velocidad por el efecto del embalsado, agregado a que el sitio de muestreo se estableció en una bahía somera y calma, explicarían las causas de los mayores valores de la temperatura en ese punto, en casi todos los muestreos. En el punto siguiente cercano a la represa, RN5, la temperatura del agua recupera su valor típico. A pesar de continuar embalsado, el espejo de agua a esta altura del sistema es muy amplio y el efecto del viento probablemente contribuya a mantener baja la temperatura del agua superficial.

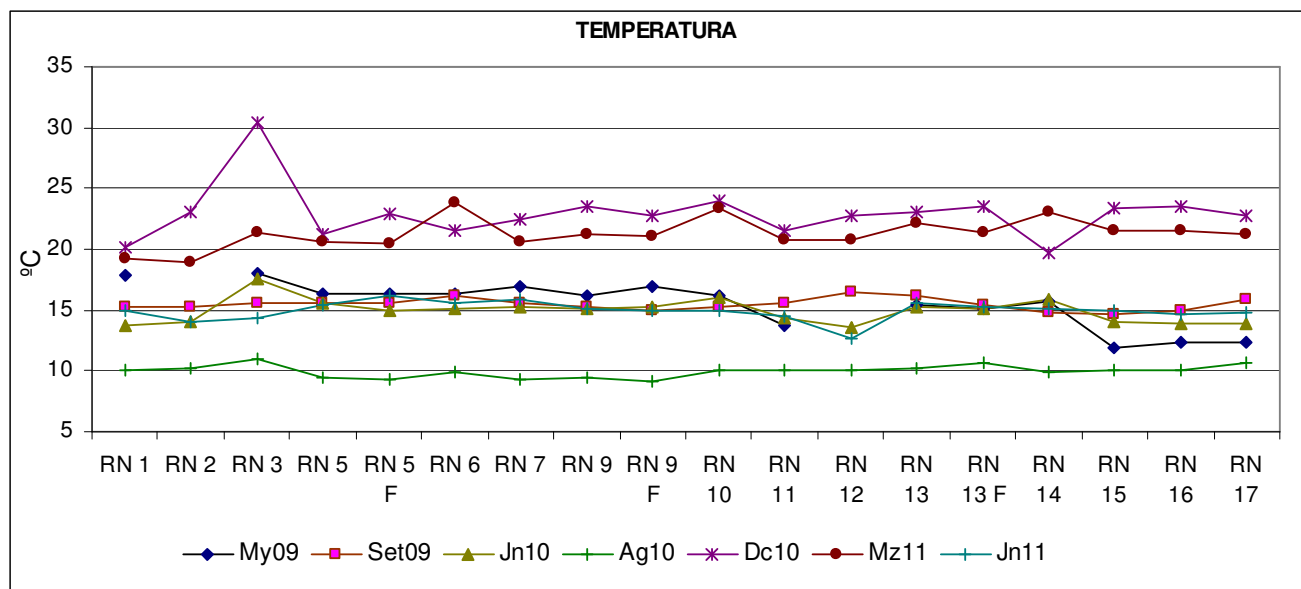


Figura 2. Variación espacial y temporal de la temperatura del agua a lo largo del Río Negro entre 2009 y 2011.

La variación de la temperatura entre las estaciones de muestreo, mostró un rango de amplitud térmica similar en todas, con un pico más alto en la estación 3 (figura 3).

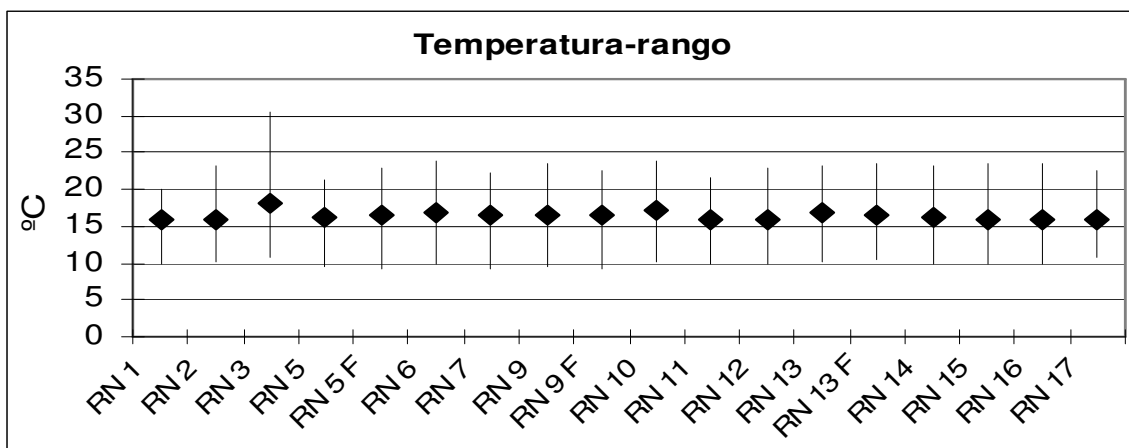


Figura 3. Variación espacial de la temperatura (rango y promedio) a lo largo del Río Negro para siete muestreos realizados entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

La temperatura del río Negro mostró un leve incremento del valor promedio respecto al registrado en el informe N°1, pasando de los 15 a los 16,4 °C al agregar la información de diciembre 2010 y marzo 2011, claramente meses más cálidos del período de estudio (figura 4). Los nuevos datos, agregan información sobre las condiciones térmicas en primavera, complementando la información anterior con temperaturas correspondientes a otoño e invierno. No se registraron diferencias entre las temperaturas de superficie y fondo, en las estaciones de los embalses (RN5F, RN9F y RN13F). Es importante conocer los rangos de temperatura del Río Negro en todas las estaciones del año, para tener un panorama más abarcativo del sistema.

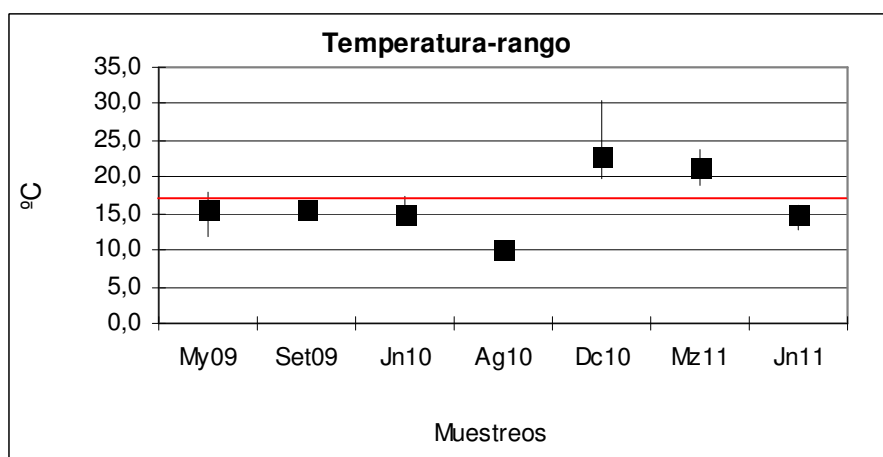


Figura 4. Variación temporal del rango y promedio de la temperatura del Río Negro (n=15). La línea roja indica la temperatura promedio para el período monitoreado.

La variación de la concentración de **oxígeno disuelto** (OD) en el agua fue amplia, con valores entre 5,8 y 10,9 mgO₂/l, y una concentración promedio de 8,9 mgO₂/l para el período de estudio. La variación temporal de este parámetro, mostró similar comportamiento en los cuatro muestreos, con sus valores más altos en agosto 2010, coincidiendo con la menor temperatura del agua (figura 5). Entre las estaciones de los embalses, sólo se registró una disminución de OD entre las muestras de superficie y fondo en Baygorria (RN9 y 9F) en mayo 2009. La concentración de este

parámetro fue siempre superior al valor límite establecido en la legislación, en 5 mgO₂/l, indicando buena calidad del agua para el Oxígeno Disuelto.

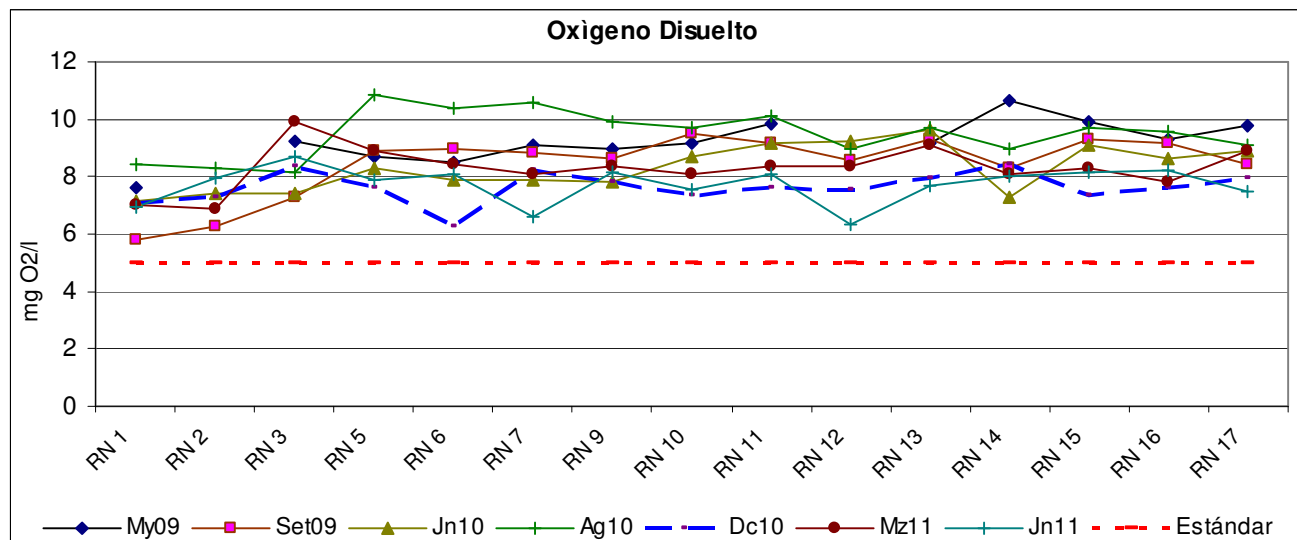


Figura 5. Variación espacial y temporal de la concentración del oxígeno disuelto del agua (mgO₂/l) del Río Negro en siete campañas de monitoreo

El rango de concentración de OD fue muy similar entre las estaciones, durante el período de estudio, con menor amplitud y valor promedio en las estaciones del ingreso (RN1, 2 y 3), en el entorno de 7 mg O₂/l, y levemente superior a los 8 mg/l a partir del embalse Rincón del Bonete (figura 6).

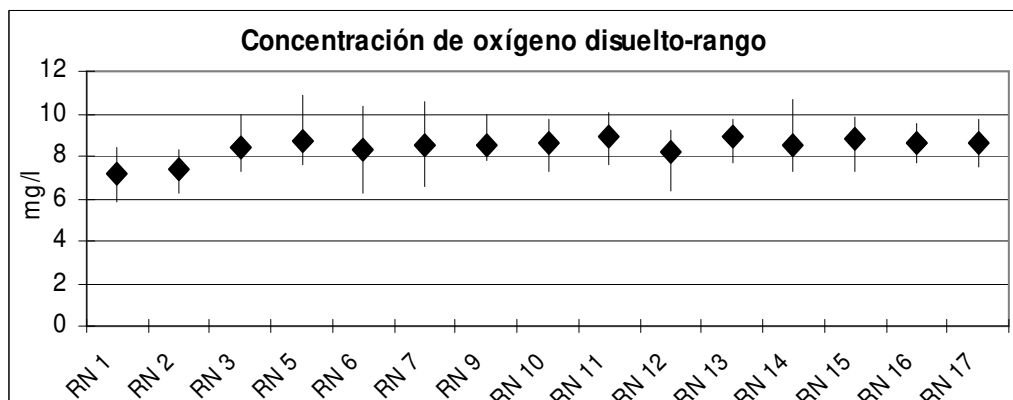


Figura 6. Rango y promedio de la concentración de oxígeno disuelto (mgO₂/l) a lo largo del Río Negro durante siete campañas realizadas entre mayo 2009 y mayo-junio 2011 por DINAMA-DCA

La concentración de oxígeno no presentó variaciones temporales importantes entre los cuatro muestreos analizados, pero mostró mayor amplitud de rango en mayo y setiembre 2009 (figura 7). Por otra parte, en agosto el valor promedio fue mayor que en los otros meses (9,6 mgO₂/l), mientras que en diciembre 2010 fue el menor (7,6 mgO₂/l). La relación inversa entre la temperatura y el oxígeno disuelto está ampliamente documentada en la literatura.

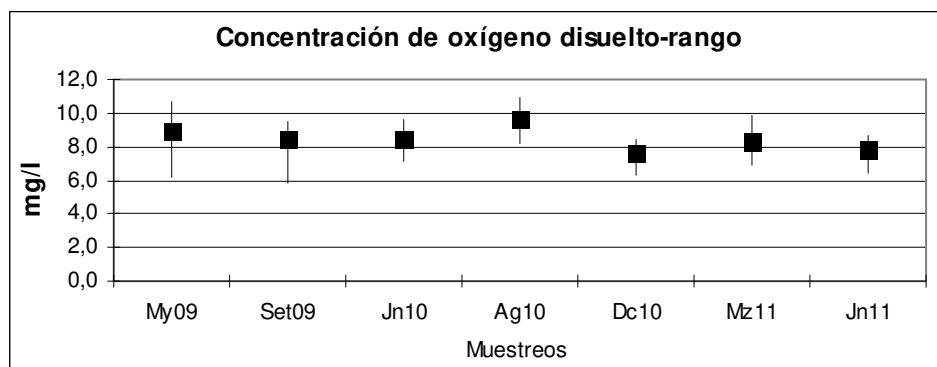


Figura 7. Variación temporal del rango y promedio de la concentración de oxígeno disuelto del Río Negro para los siete muestreos realizados (n=15).

El pH del río Negro se mantuvo entre 6,2 y 8,8 siendo el promedio 7,4. Como se observa en la figura 8, este parámetro mostró una tendencia a incrementarse hacia la desembocadura, más allá de las variaciones entre estaciones y entre fechas de muestreo. El menor pH (6,2) se registró en RN1 y en la muestra de fondo del embalse Rincón del Bonete (RN5F) en mayo 2009; mientras que el mayor (8,8) fue en RN3 y RN13, en marzo 2011 y diciembre 2010, respectivamente. Los valores extremos estuvieron levemente por debajo y encima de los límites del estándar de calidad (6,5-8,5), que establece el decreto 253/79 y modificativos.

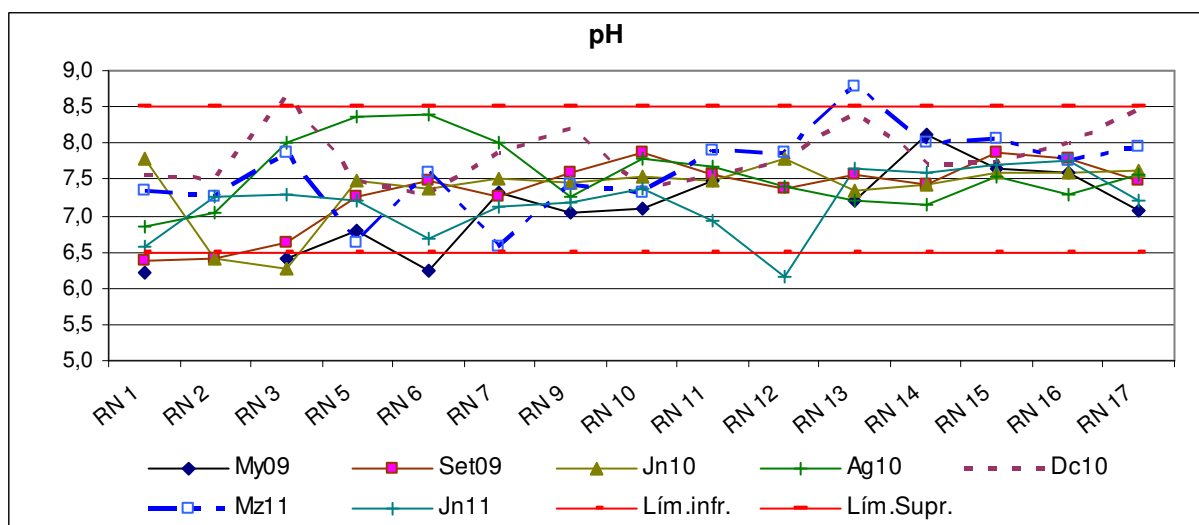


Figura 8. Variación espacial y temporal del pH del agua del Río Negro durante siete campañas realizadas entre mayo 2009 y mayo-junio 2011, por DINAMA-DCA

La variación espacial del pH muestra sectores del río con valores promedio similares (figura 9), que se incrementan aguas abajo de sitios clave. Pueden identificarse tres sectores que van 1- desde el ingreso al país hasta San Gregorio de Polanco (RN3), 2- desde la represa Rincón del Bonete (RN5), hasta la cola del embalse Palmar donde se ubica la estación de la desembocadura del Río Yí (RN12), y 3- desde la represa de Palmar (RN13) hasta su desembocadura.

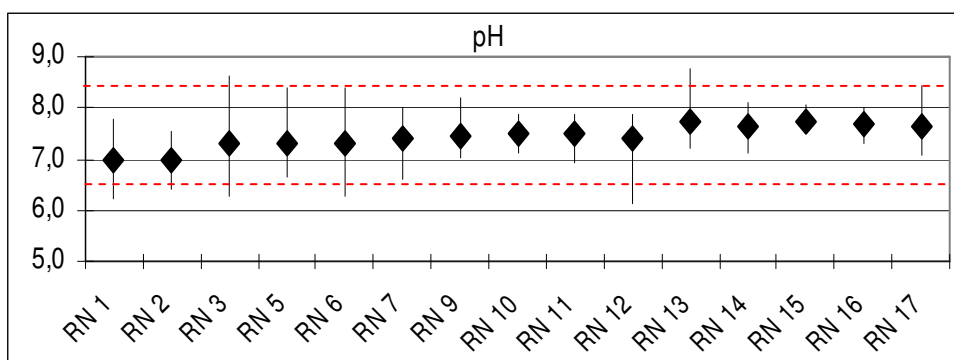


Figura 9. Rango y promedio del pH a lo largo del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011 (siete campañas). Las líneas punteadas indican el rango de pH estándar que acepta la legislación para aguas naturales (Clase 3).

Temporalmente, el pH mostró valores promedio gradualmente mayores en los muestreos de 2010 desde junio a diciembre (figura 10), manteniéndose dentro de los límites de calidad (6,5-8,5). Los valores mostraron, en general, condiciones de buena calidad del agua para este parámetro. Los escasos valores fuera del rango se registraron en los meses fríos (junio) por debajo de 6,5 y cálidos (diciembre y marzo) por encima de 8,5.

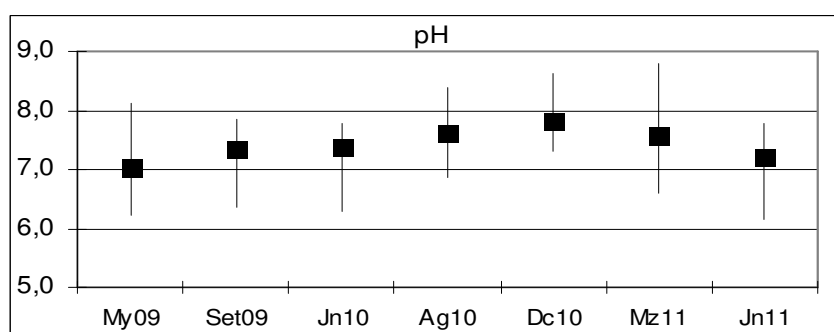


Figura 10. Variación temporal del rango y promedio del pH del Río Negro en los siete muestreos realizados (n=15).

La conductividad del Río Negro registró un valor mínimo de 42 y máximo de 193 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ambos en la estación RN1 (figura 11). La conductividad promedio fue de 105,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A lo largo del río este parámetro cayó entre RN1 y RN3, incrementándose gradualmente a partir de ésta (S.G.Polanco) hacia la desembocadura, con picos en sitios puntuales como RN12 (desembocadura del Río Yi) y RN16 (aguas abajo de Mercedes), luego del cual disminuyó hacia Villa Soriano (figura 11). En el informe DINAMA-DCA 2011, se mencionaba un aparente patrón de la conductividad con los mayores valores en los meses fríos (mayo-junio). Al incorporar nuevos datos, este patrón no es tal ya que en junio 2011 se registraron los valores más bajos especialmente en las estaciones de ingreso al país.

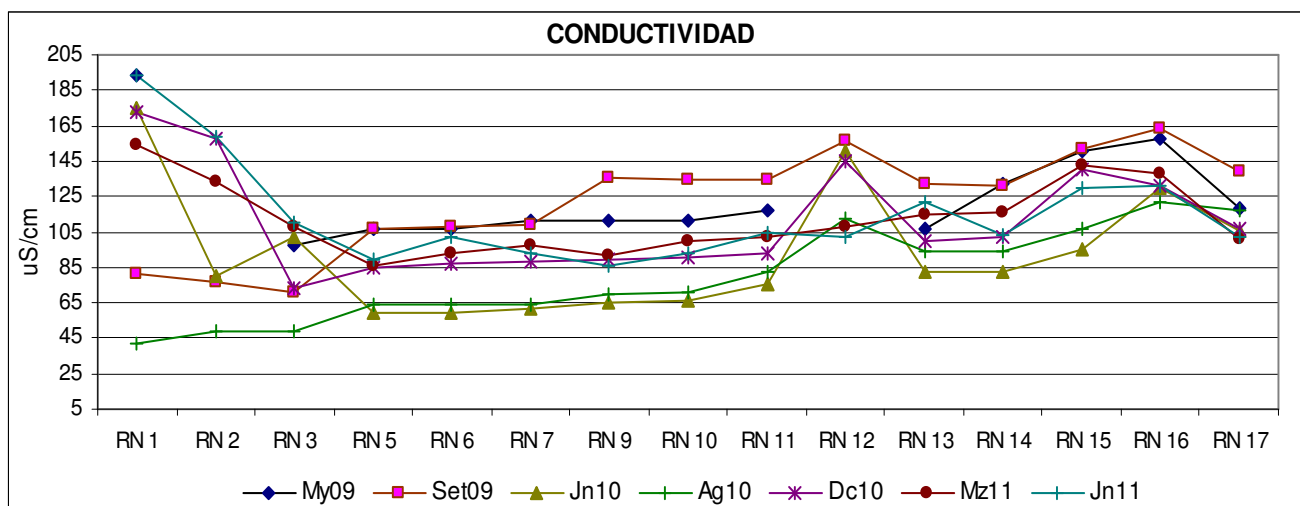


Figura 11. Variación espacial y temporal de la conductividad del agua (mg/l) del Río Negro durante siete campañas realizadas entre mayo 2009 y mayo-junio 2011, por DINAMA-DCA

Durante el período de estudio, la conductividad del agua mostró valores promedios de cada campaña entre 80 y 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sin un patrón temporal definido (figura 12). Los mayores valores estuvieron asociados a los muestreos de 2009, mientras que los menores se registraron en los meses fríos de 2010.

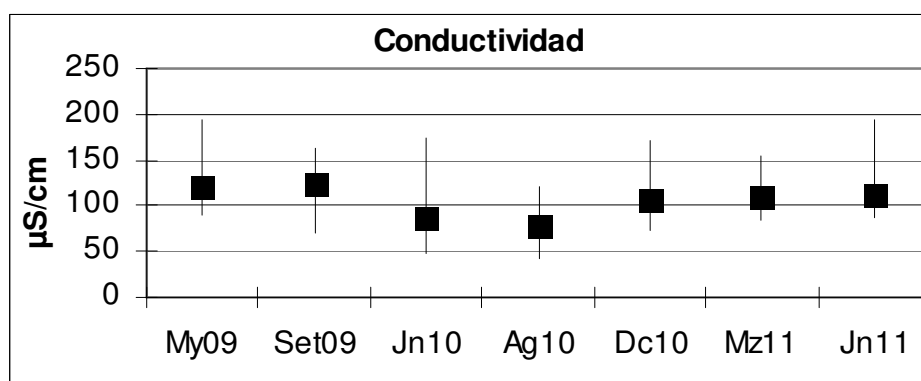


Figura 12. Variación temporal (rango y promedio) de la conductividad del agua del Río Negro durante siete muestreos (n=15)

RESULTADOS ANALÍTICOS

La alcalinidad es un parámetro que indica la capacidad del agua para neutralizar los ácidos, o para amortiguar la caída del pH. Esta capacidad se debe a la concentración de sales de ácidos débiles y de bases fuertes que contiene el agua natural. Los iones principales que determinan la capacidad alcalina del agua son los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. La alcalinidad del río Negro presentó valores entre 16 y 76 $\text{mg CaCO}_3/\text{l}$. Espacialmente, las estaciones aguas arriba fueron más variables en sus valores durante el período de estudio (figura 13), observándose una caída marcada en RN2 y un incremento constante de la alcalinidad desde este sitio hacia la desembocadura. La estación RN2 se ubica próxima a la desembocadura del Río Tacuarembó. De acuerdo con las observaciones de campo registradas en la planilla de muestreo, en las estaciones del ingreso del río al país, se observó

una importante crecida del río en setiembre 2009 (altura de la columna de agua de 5,40 m en RN1), y en agosto 2010.

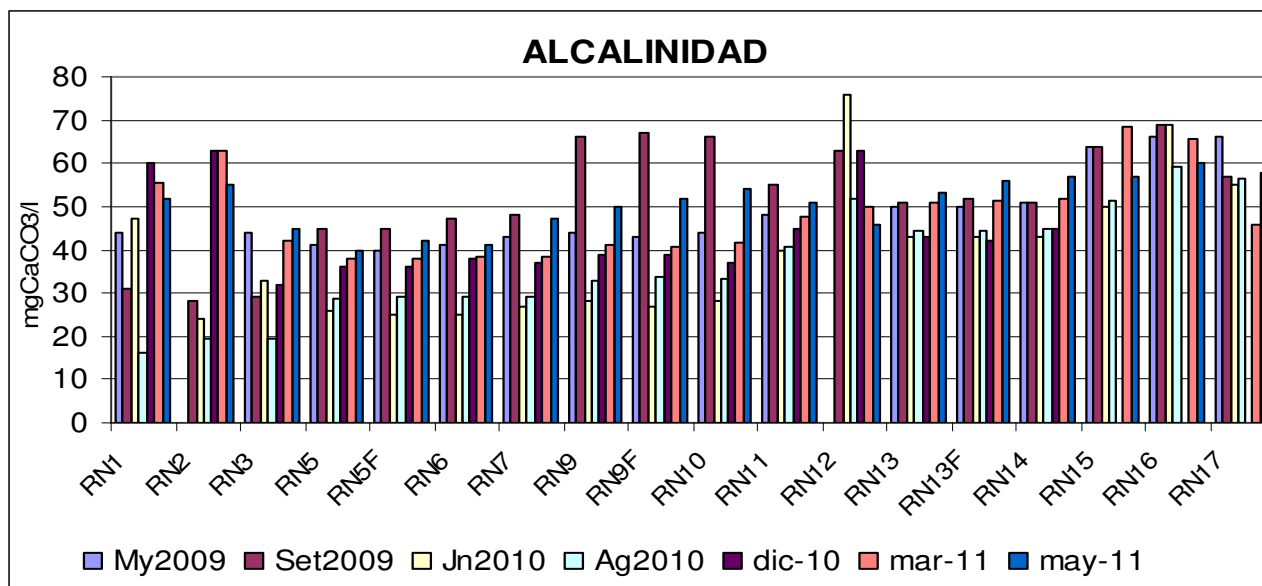


Figura 13. Variación espacial y temporal de la alcalinidad del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

En el gradual incremento de la alcalinidad del agua hacia la desembocadura en todas las campañas analizadas, hubieron registros particulares como el aumento observado en setiembre 2009 en las estaciones de Baygorria (RN9 y RN9F) y aguas abajo (RN10), respecto a las demás de ese período. También se registraron valores más altos en sitios puntuales como la desembocadura del Río Yi (RN12) y aguas abajo de la ciudad de Mercedes (RN16). No se observaron diferencias entre las muestras de superficie y fondo en los tres embalses donde (RN5, RN9 y RN13).

Por otra parte, la variación temporal de la alcalinidad registró sus valores más altos al comienzo del programa de monitoreo con un marcado descenso en junio 2010 y un incremento en los valores desde agosto 2010 hasta mayo-junio 2011 (figura 14). La mayor amplitud en el rango de alcalinidad del agua se registró en junio 2010 y la menor en junio 2011.

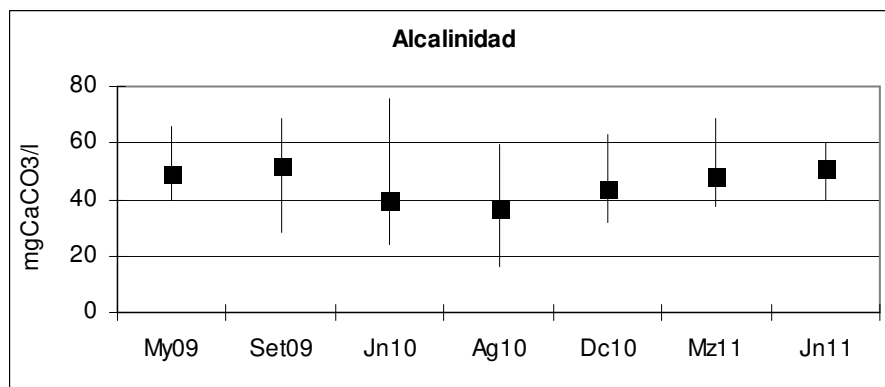


Figura 14. Rango y promedio de la alcalinidad del río Negro para los siete muestreos realizados entre mayo 2009 y mayo-junio 2011 (n=15)

La legislación actualmente vigente no establece un valor estándar o guía de Alcalinidad para el agua natural. Internacionalmente se acepta que las aguas naturales deben tener una alcalinidad mayor a 20 mgCaCO₃/l para evitar la afectación de la biota acuática. En relación a ello, la alcalinidad del Río Negro fue siempre superior a este valor, excepto en RN1, 2 y 3 en agosto 2010. En esta ocasión, en las observaciones de campo se registró una importante crecida y la alcalinidad registró sus mínimos (16 mg CaCO₃/l).

La concentración de los iones mayoritarios en el agua está determinada por el tipo de roca de la cuenca, las lluvias y la relación evaporación/precipitación. En aguas con mayor concentración de iones calcio y carbonatos, se manifiesta el mayor efecto de las rocas (en relación a procesos biológicos, por ejemplo) y un equilibrio con la cuenca de drenaje. Si predominan los iones de sodio y cloro, se evidencia una mayor influencia de los procesos atmosféricos, principalmente de la precipitación.

El análisis de los iones mayoritarios en el Río Negro, mostró que el Calcio (Ca) presentó concentraciones entre 4 y 18 mg/l (promedio 11 mg/l). Los menores valores se registraron en las estaciones aguas arriba, excepto RN1, y los mayores hacia las estaciones de la desembocadura. Similar comportamiento mostró el resto de los iones. El Sodio (Na) presentó un rango entre 3 y 23 mg/l con un promedio de 8,1 mg/l. Este valor fue superior al registrado para los primeros 4 muestreos (DINAMA-DECA, 2011), debido a los valores relativamente altos que se registraron en diciembre 2010. Los demás iones mantuvieron sus valores en los rangos ya registrados. El Magnesio (Mg) presentó valores entre 1 y 5 mg/l, con 3 mg/l de promedio; el Potasio (K) estuvo entre 1 y 8 mg/l con 2 mg/l de promedio. Estos dos iones registraron sus máximas concentraciones en la estación RN1 en mayo 2009 y junio 2010 (figura 15).

De acuerdo con la composición media de los grandes ríos del mundo (Wetzel, 2001), los valores de la concentración de iones mayoritarios en el Río Negro están en el rango de los registrados para los ríos de Sud-América (Ca=7,2 mg/l; Na=4 mg/l; Mg=1,5 mg/l y K=2 mg/l); los que a su vez se ubican en los rangos de África y Australia, con valores inferiores a los ríos de Europa, Asia y América del Norte. También se mantiene la relación de concentración de cationes esperable en agua de sistemas no contaminados (Wetzel 2001), que es: $Ca > Mg \geq Na > K$. A pesar que los valores de Na en diciembre 2010 incrementaron los valores promedio para este ion.

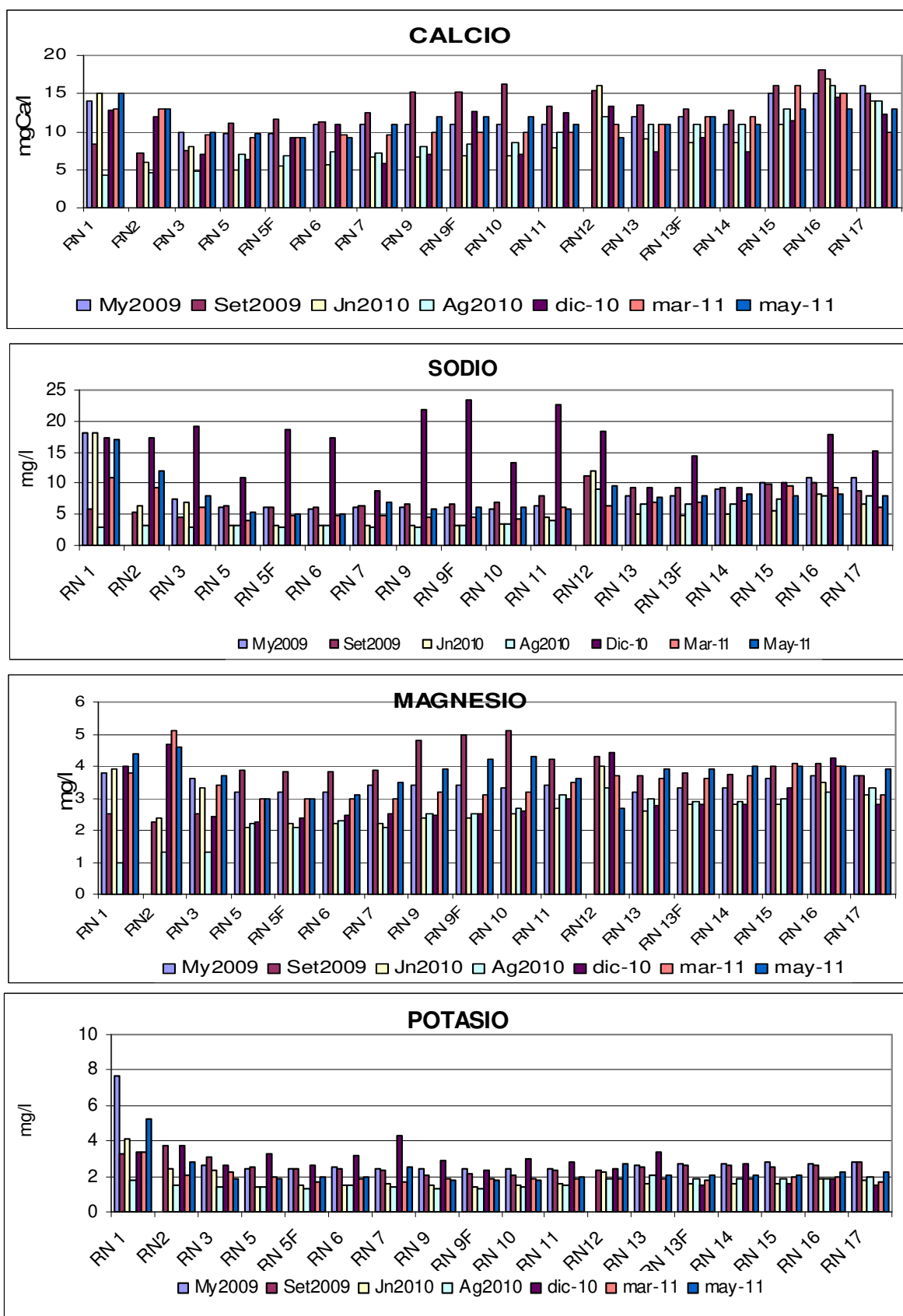


Figura 15. Variación espacial y temporal de la concentración de iones mayoritarios en el Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

La **concentración de sólidos suspendidos totales** se refiere a la medición en peso (mg) del material disuelto y particulado, de origen mineral y orgánico, presente en un volumen

determinado de agua natural. La concentración de los sólidos totales está integrada por las fracciones fijas y volátiles, ya sean particuladas (mayor 2 μm) o disueltas (menor 2 μm). Los sólidos totales presentaron concentraciones entre 43 y 390 mg/l, con 151 mg/l de promedio. Los valores mayores se registraron en las estaciones de los extremos del Río Negro, asociado al régimen más fluvial del sistema (figura 16) y concentraciones menores en los embalses y aguas abajo, asociado al mayor tiempo de residencia del agua.

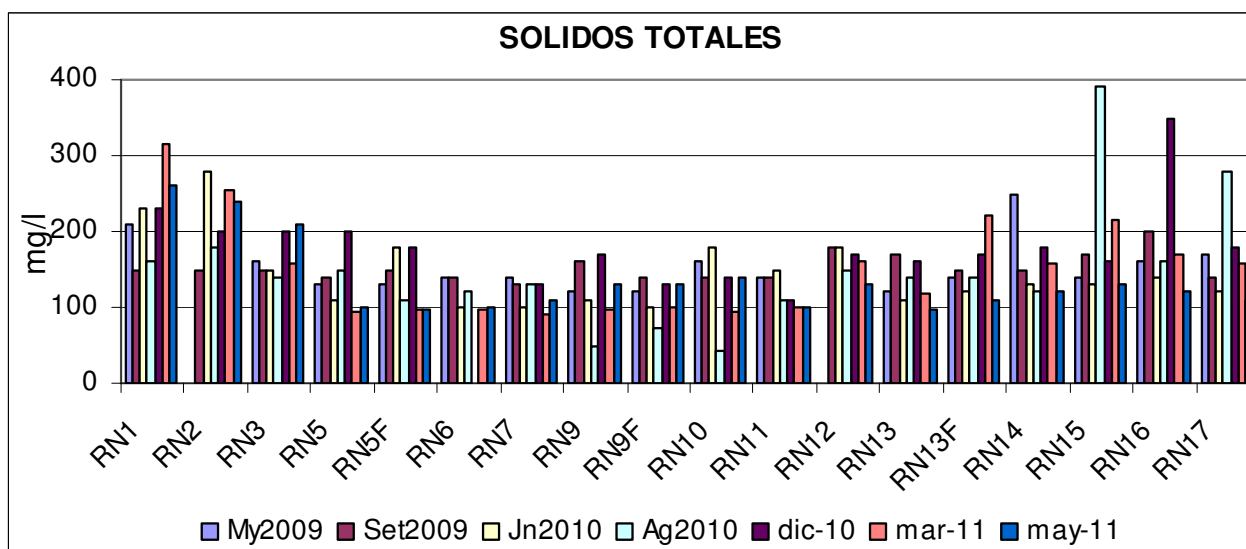


Figura 16. Variación espacial y temporal de la concentración de Sólidos Totales (mg/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y junio 2011.

Temporalmente, se observó variación en la concentración de ST con valores más altos en agosto 2010, y en los muestreos siguientes, cuando se alcanzó una concentración promedio de 120 mg/l. Mientras que los valores más bajos se observaron en mayo-junio 2011 con 43 mg/l de concentración promedio. La composición de los sólidos totales fue levemente superior en sólidos fijos (inorgánicos, minerales) respecto a los volátiles (orgánicos), excepto cuando se registraron los valores más altos de agosto y diciembre 2010 que estuvieron determinados por incrementos en la fracción de volátiles (figura 17). Esto sugiere un incremento de los compuestos orgánicos en el agua, particularmente en las estaciones RN6 (aguas abajo de Rincón del Bonete), RN15 y 16 (aguas arriba y abajo de la ciudad de Mercedes) en agosto y diciembre 2010. En general no hubo diferencias en las concentraciones de sólidos totales entre superficie y fondo, en las estaciones de los embalses.

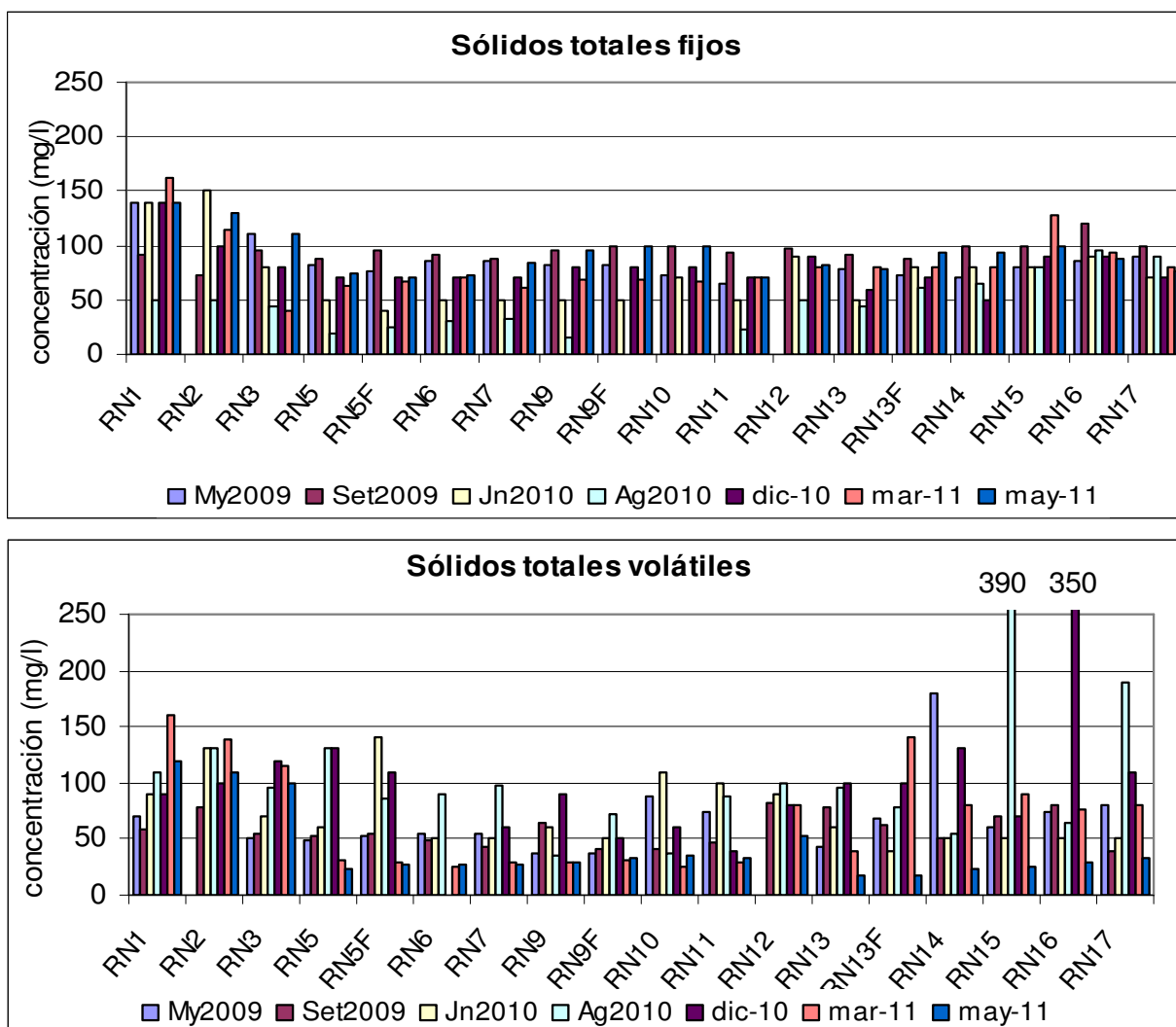


Figura 17. Variación espacial y temporal de la concentración de sólidos fijos y sólidos volátiles (mg/l) de la fracción de sólidos totales a lo largo del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

La concentración y tipo de sólidos en el agua tiene estrecha relación con los aportes desde la cuenca hidrográfica, favorecidos por los procesos de arrastre y erosión del suelo. En estos procesos, intervienen muchos factores naturales y antropogénicos donde las precipitaciones, las inundaciones y las actividades productivas que se realizan en la cuenca (el tipo, la intensidad, la forma de producción), tienen un rol determinante. Junto con los minerales arrastrados en las partículas del suelo, van adsorbidas partículas de diversos compuestos químicos que inciden en la calidad del agua del cuerpo receptor. Un conjunto muy importante de esos compuestos integran los denominados “nutrientes”, con un efecto positivo para el crecimiento de los organismos productores primarios (vegetales) del suelo y del agua.

Los nutrientes como el nitrógeno (N) y fósforo (P) son críticos para el crecimiento vegetal por su baja disponibilidad en el suelo en relación a su alta demanda por los cultivos. Del mismo modo, los nutrientes disueltos en agua tienen incidencia en la productividad de los ecosistemas acuáticos. Llegan a los sistemas acuáticos desde la cuenca hidrográfica (fuentes alóctonas o externas al cuerpo de agua), arrastrados por las lluvias (aportes difusos) o por vertidos (aportes puntuales), y

desde el propio cuerpo de agua (fuentes autóctonas) principalmente por degradación de materia orgánica dentro del sistema.

La concentración de N en el agua del Río Negro se midió a través de la concentración de las fracciones de nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), amonio (NH_4) y nitrógeno total (NT). El NO_2 es un compuesto inestable que se forma por oxidación del amonio o reducción del nitrato. Por lo cual su concentración normal en aguas naturales no contaminadas debe ser muy baja. El método analítico aplicado para el análisis de NO_2 tiene un límite de cuantificación de 5,8 $\mu\text{g/l}$ (0,0058 mg/l) y no se cuantificó en la mayoría de las muestras analizadas. Las excepciones fueron las estaciones RN15, 16 y 17 en mayo 2009 con concentraciones de 0,080 mg/l ; las estaciones en Baygorria y aguas abajo con concentraciones de 0,015 mg/l ; en RN12 y 13 con 0,006 mg/l en agosto 2009 y RN2 en marzo 2011 con 0,014 mg/l .

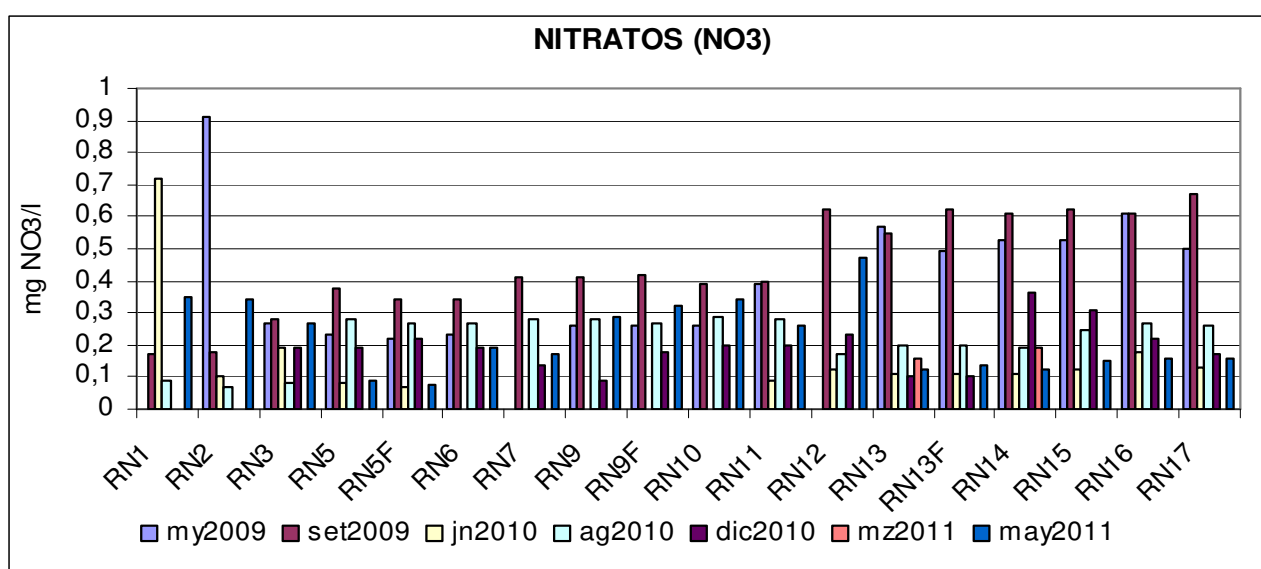


Figura 18. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrato ($\text{mgN-NO}_3/\text{l}$) a lo largo del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

El NO_3 es una forma oxidada de compuestos de nitrógeno que tiene como una de sus fuentes los fertilizantes químicos. La concentración de NO_3 registró un rango entre no detectable ($\text{LD}=0,014 \text{ mg/l}$) y 0,91 mg/l . Los valores más altos se registraron en RN2 y en las estaciones desde el embalse Palmar (RN13) hasta el final (figura 18). El período que presentó las mayores concentraciones de nitrato en el sistema fueron los muestreos de 2009 (en mayo y setiembre), que mostraron un claro incremento del parámetro hacia la desembocadura. El alto valor registrado en RN1 estuvo asociado al muestreo de junio 2010 donde el nivel del río fue muy bajo, de acuerdo a las observaciones de campo registradas en la planilla. Por otra parte, los valores más bajos en esta estación (setiembre 2009 y agosto 2010), coincidieron con registros de crecidas en el sitio.

De acuerdo con la legislación vigente, la concentración de NO_3 del agua natural debe ser inferior a 10 mg/l . Por lo cual, el Río Negro cumplió con el estándar de calidad para este parámetro en los períodos analizados.

Otro compuesto de nitrógeno analizado fue el amonio (NH_4), que constituye un nutriente de fácil incorporación por los vegetales y que en presencia de oxígeno se oxida a NO_2 y NO_3 . La concentración de este nutriente fue desde no detectable ($\text{LD}=0,007 \text{ mg/l}$) hasta $0,240 \text{ mg/l}$, registrado en marzo 2011 en RN17 (figura 19). Al igual que con los otros compuestos nitrogenados, el amonio registró mayores concentraciones en las estaciones de entrada y salida del sistema. Temporalmente, se muestra como el período de mayor concentración el muestreo de marzo 2011.

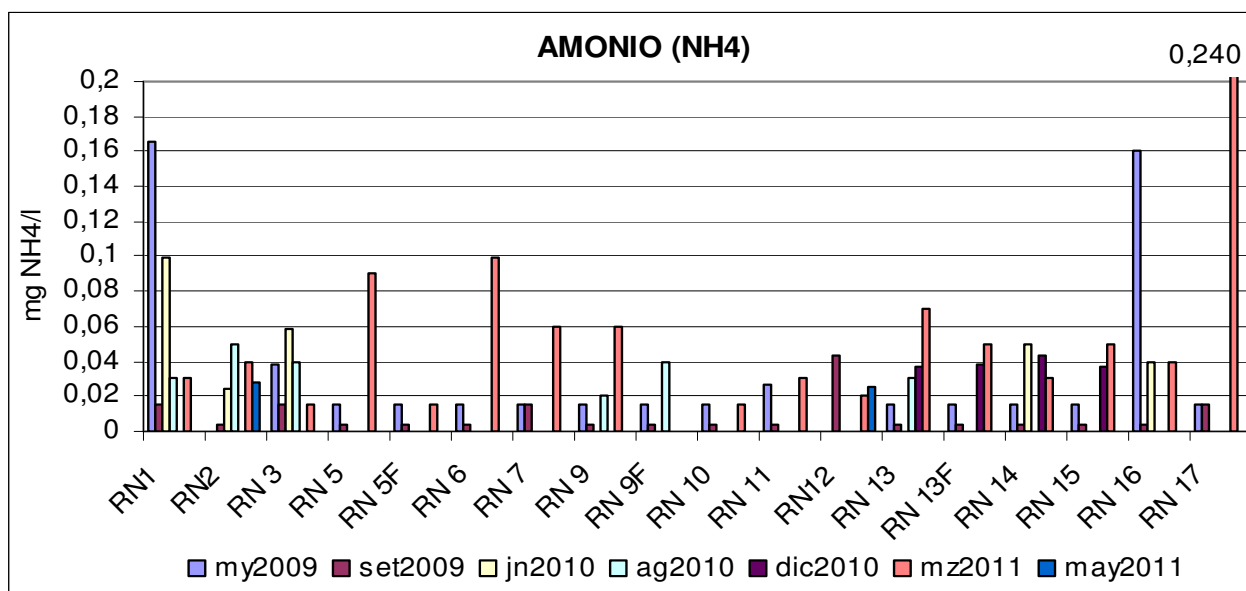


Figura 19. Variación espacial y temporal de la concentración de amonio ($\text{mgN-NH}_4/\text{l}$) en el Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

De acuerdo con Wetzel (2001), la concentración de NH_4 en ambientes no contaminados puede alcanzar hasta 5 mg/l , y en ambientes altamente productivos y anóxicos, puede superar los 10 mg/l en los niveles profundos de los sistemas acuáticos. Los valores registrados en el Río Negro fueron muy inferiores, aún en las muestras de fondo. La legislación no reglamenta sobre este parámetro de calidad de agua.

La concentración de nitrógeno total (NT) integra las fracciones de N ya analizadas (NO_2 , NO_3 , NH_4) y otras aportadas por diversas fuentes. En el Río Negro, el NT registró concentraciones entre $0,32$ y $1,73 \text{ mg/l}$. Como era esperable de acuerdo a los resultados anteriores, los valores más altos se registraron en las estaciones del ingreso (RN1, 2 y 3) y de la desembocadura (RN15, 16, 17), principalmente en 2009 y en el embalse Palmar en agosto 2010. Las estaciones intermedias, entre el embalse Rincón del Bonete y la desembocadura del Río Yi, presentaron valores relativamente constantes e intermedios. En mayo 2009 y 2011 se registraron los máximos de NT en RN1 y coincidió con períodos de importante bajante del río en dicha estación; mientras que en setiembre 2009 y marzo 2011, cuando se registraron nuevamente valores altos, se indicó condiciones de crecida en el mismo punto. Se requieren datos de caudal y otros parámetros ambientales para establecer con que se correlaciona la variación de este parámetro. Otros valores relativamente altos de NT se registraron

en diciembre 2010 y mayo-junio 2011 en RN10 No hay datos analíticos del muestreo de junio 2010 (figura 20).

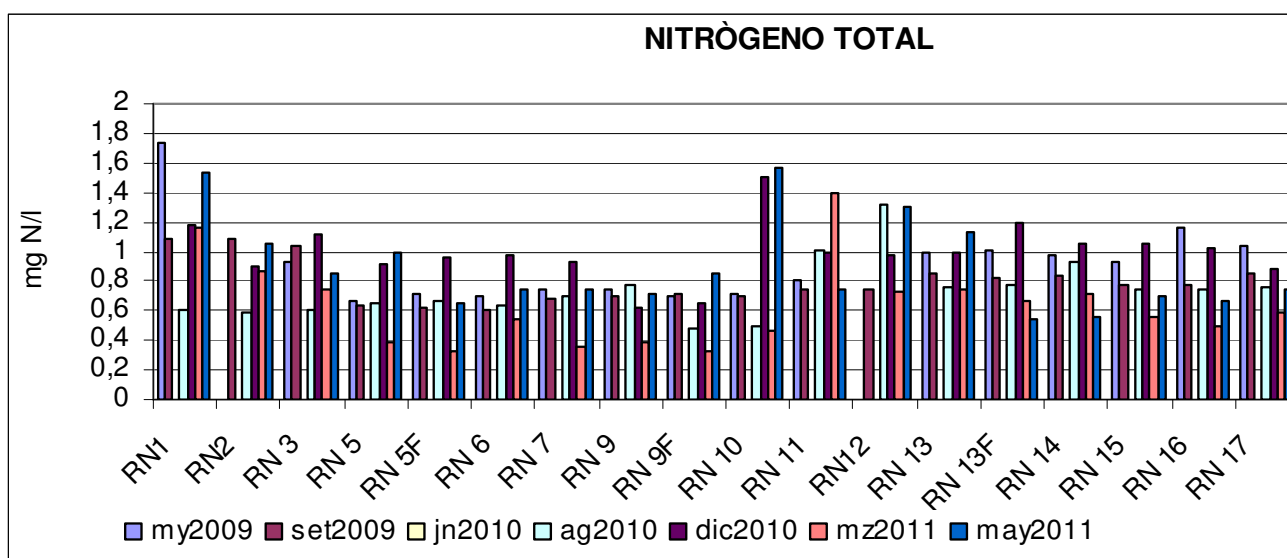


Figura 20. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrógeno total (mgN/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y junio 2011

La legislación nacional no establece valores límite de concentración de nitrógeno total como una referencia para determinar la calidad de las aguas naturales. De acuerdo con bibliografía que recopila información internacional (Wetzel, 2001), la concentración promedio de NT en el Río Negro se correspondería con valores registrados en lagos productivos o sistemas eutróficos, cuyo rango estaría entre 0,50 y 1,50 mg/l de N inorgánico.

Otro nutriente fundamental es el Fósforo (P), que para este estudio se analizó en su fracción ortofosfato (PO_4) y total (PT). La fuente natural de este nutriente está en las rocas, sin embargo sus aportes se ven incrementados por los fertilizantes aplicados al suelo de la cuenca de drenaje o por la degradación de las excretas del ganado habitante de la cuenca; también por vertidos de aguas domésticas (que contienen detergentes y aguas servidas) en cursos de agua o en suelo, como las principales fuentes alóctonas.

La concentración de PO_4 en el Río Negro estuvo entre no cuantificable (menor al límite de cuantificación analítico = 4 $\mu\text{g/l}$), y 146 $\mu\text{g/l}$ (figura 21). La concentración analizada en agosto 2010 resultó menor al límite de cuantificación analítico en todas las estaciones. Los máximos fueron variables, tanto en el espacio como en el tiempo. Por ejemplo, en mayo 2009, cuando se registró bajo nivel de agua en RN1, el PO_4 estuvo alto en dicha estación y en las estaciones del embalse Baygorria (RN7, RN9) y aguas abajo (RN10), así como aguas arriba y abajo de la ciudad de Mercedes y Villa Soriano (RN15, 16 y 17). Sin embargo en el muestreo siguiente, setiembre 2009, con condiciones de crecida, los valores más altos se registraron en RN1, en los embalses más grandes (RN5 y RN13) y aguas abajo de Palmar (RN14).

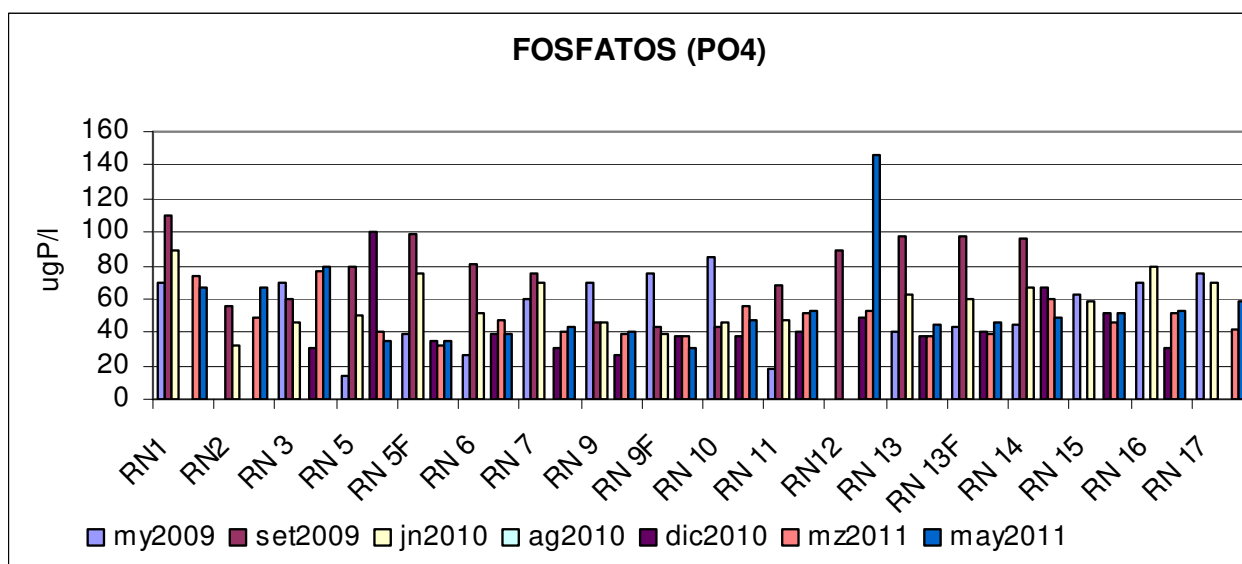


Figura 21. Variación espacial y temporal de la concentración de Fosfatos (mgP-PO₄/l) a lo largo del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

La concentración de PT en el Río Negro, registró valores entre 48 y 913 µg/l, con 136 µg/l de promedio. Las concentraciones máximas se registraron en mayo 2009 desde el embalse Baygorria en la muestra de fondo (RN9F) hasta aguas abajo de Palmar (RN14). En los otros meses analizados la concentración estuvo, en general, por debajo de 100 µg/l (figura 22), excepto en la estación de ingreso al país y desde Palmar hasta la desembocadura en diciembre 2010.

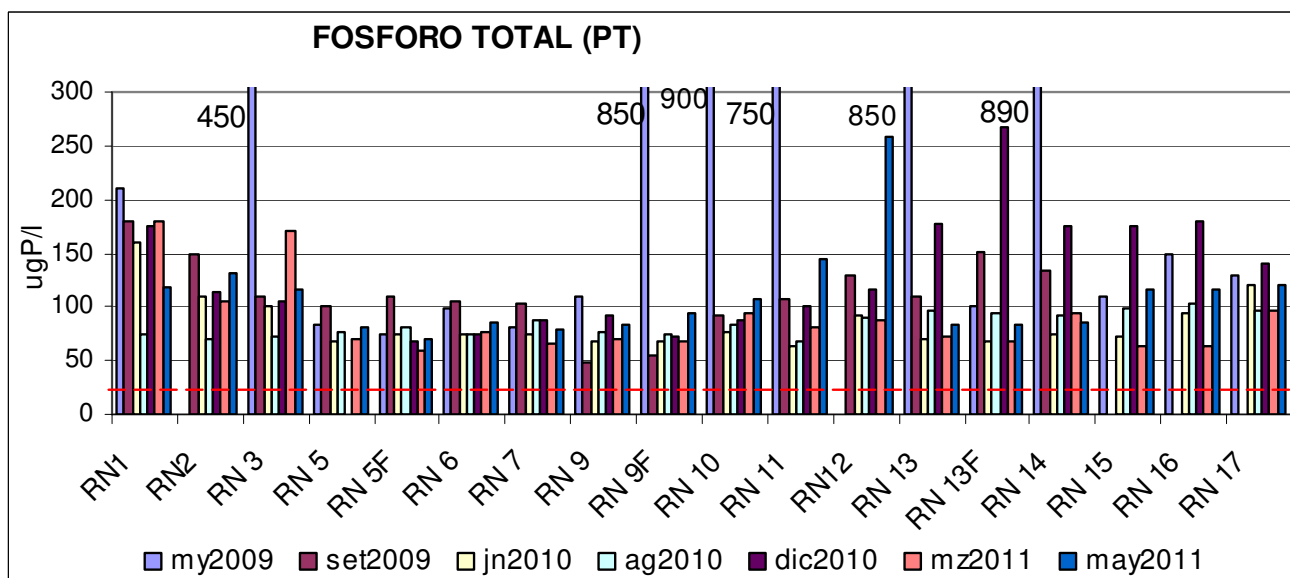


Figura 22. Variación espacial y temporal de la concentración de fósforo total (µg P/l) del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011. La línea roja punteada indica el valor del estándar de calidad (25 µg P/l) que establece la legislación nacional.

De acuerdo con la legislación vigente (decreto 253 del año 1979 y modif.), la concentración de PT en cuerpos de agua naturales del Uruguay debe ser inferior a 0,025 mg/l (o sea 25 µg P/l). Por lo tanto, esta condición no se cumple en ninguna de las mediciones realizadas en el Río Negro. Sin embargo, en la propuesta de actualización de la normativa, elaborada por el equipo técnico multi-

institucional convocado por DINAMA a través del GESTA-Agua (Grupo de Estudios Ambientales), se propone una concentración de PT para sistemas lóticos (ríos y arroyos) menor o igual a 100 µg/l como valor guía. Este valor está inspirado en datos reales obtenidos de sistemas nacionales y regionales y no constituye un valor estándar sino un valor guía que deberá ser revisado en función de nueva información. Considerando este valor, el Río Negro cumple con los niveles guía de calidad, salvo excepciones. En relación a información internacional, un rango esperable en aguas no contaminadas está entre 10 y 50 µg PT/l, aunque se reconoce que estos valores pueden ser muy variables en función del tipo de suelo de la cuenca hidrográfica. Las concentraciones se incrementan hacia tierras más bajas y de rocas sedimentarias. De acuerdo con datos recopilados en Wetzel (2001), los niveles de PT del Río Negro corresponden a sistemas productivos o eutróficos.

La calidad del agua superficial también se analiza desde el monitoreo de variables biológicas, entre las cuales la concentración de clorofila "a" constituye una variable complementaria de las físico-químicas. La clorofila "a" es el pigmento presente en todos los organismos productores primarios, entre ellos las microalgas de los sistemas de agua dulce, y proporciona una medida de la biomasa vegetal o de organismos productores primarios que el sistema puede sostener. Los sistemas acuáticos con alta clorofila indican que contienen alta concentración de nutrientes (principalmente N y P) para sostener esta biomasa.

La biomasa algal medida a través de la concentración de clorofila *a* en las muestras de superficie del Río Negro (se excluyeron las estaciones RN5F, RN9F y RN13F por corresponder a las muestras de fondo de los embalses), presentó concentraciones menores al límite de cuantificación (0,10 µg Cloro.*a*/l) hasta 32,9 µg Cloro.*a*/l, en la estación RN17, en diciembre 2010 (figura 23). Espacialmente, no puede establecerse un patrón de variación de este parámetro con la cantidad de información disponible. Temporalmente se registraron los mayores valores de biomasa algal en marzo 2011, en la mayoría de las estaciones. Una de las causas que determinan valores altos de clorofila son las floraciones de cianobacterias, que en el Río Negro se han registrado desde 1999 (De León, 2002).

La feofitina es una molécula resultante de la degradación de la clorofila y proporciona información sobre el estado fisiológico de las comunidades algales. Esta variable registró valores no detectables en varias ocasiones, hasta 34 µg/l en marzo 2011, también en la estación RN17 (figura 23). Otra estación donde se registraron valores más altos de feofitina fue RN5 (Rincón del Bonete). La variación de la feofitina no mostró un patrón definido, espacial o temporal, que permita interpretar el efecto del ambiente sobre la comunidad algal. Estas variables no están consideradas en la legislación vigente, por lo tanto no hay un valor que permita asociarlo a calidad del agua para el país.

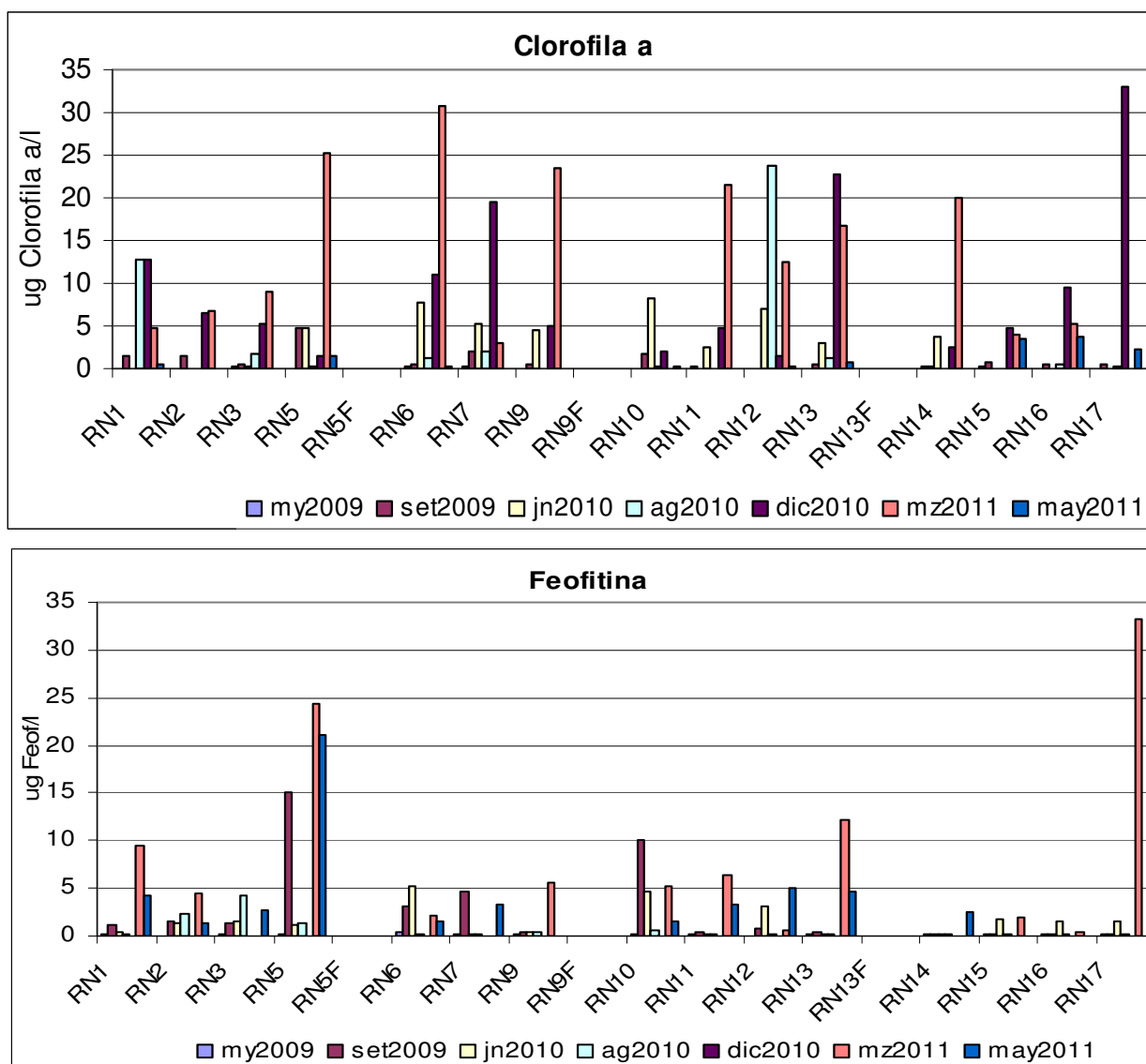


Figura 23. Variación espacial y temporal de la concentración de clorofila *a* y feofitina ($\mu\text{g/l}$) en el Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011.

Las floraciones de cianobacterias de Río Negro se han registrado en diversos estudios, con mayor frecuencia en verano (De León, 2002). Estos eventos constituyen una importante concentración de biomasa algal (clorofila *a*), con riesgos asociados sobre la salud humana (figura 24). Durante el período de monitoreo del río Negro se registró en las planillas de campo la presencia de floraciones de cianobacterias en mayo 2009 (en Rincón del Bonete y aguas abajo RN5, RN7) y en junio 2010 (aguas abajo de Baygorria, RN10), en diciembre 2010 desde Baygorria hasta Palmar inclusive y en mayo 2011 en los tres embalses. Sin embargo, no hubo coincidencia entre los altos valores de clorofila y los registros de floraciones del sistema. Esta diferencia se debe al diseño de muestreo aplicado en el monitoreo, donde las muestras para el análisis de la clorofila se tomaron en un sitio pre-establecido en el cauce principal y las acumulaciones de algas se observan generalmente en costas o ensenadas alejadas de los puntos de muestreo. Dado que estos eventos son más frecuentes en verano, también sería esperable un incremento de los mismos en los muestreos del período estival.



Figura 24. Floraciones de cianobacterias en Río Negro (Fotos: Cendón y García)

Otra variable biológica utilizada en la evaluación de la calidad del agua es la concentración de coliformes termotolerantes (antes coliformes fecales). Este parámetro mide en forma indirecta la potencialidad del agua de transmitir enfermedades asociadas a los organismos patógenos presentes en la materia fecal de animales de sangre caliente (como aportes de aguas servidas o de ganado fundamentalmente). El análisis de la concentración de los coliformes termotolerantes y los coliformes totales debe formar parte de los programas de monitoreo de agua que incluya fuentes de agua para potabilidad y para recreación, como es el caso del Río Negro.

Los coliformes termotolerantes en el Río Negro se midieron en las muestras de superficie de la columna de agua. Registraron su mayor concentración en la estación aguas abajo de Mercedes (RN16), en todos los meses analizados hasta la fecha, alcanzando en esta estación las 6000 UFC/100ml. Otros sitios con altas concentraciones de coliformes fueron RN3, 6 y 7 con 2000 UFC/100ml y más (figura 25). Temporalmente, se observó que en mayo-junio 2011 la concentración de termotolerantes fue relativamente mayor respecto a otros meses. En junio y agosto 2010 también hubo registros altos en las estaciones de entrada al país.

Según la legislación, la concentración de coliformes termotolerantes del agua superficial no debe exceder de 2000 UFC/100 ml en ninguna de al menos 5 muestras consecutivas y la media geométrica de 5 muestras (MG5) no debe superar las 1000 UFC/100ml para clasificarse de buena calidad. En la estación RN16 la concentración de coliformes supera ambos valores estándares, por lo cual no se cumple con los niveles de calidad que establece la legislación. Esta estación situada aguas abajo de la ciudad de Mercedes, próximo al punto de salida del colector de aguas residuales (RN16), es el único sitio que muestra no cumplimiento de las condiciones de calidad para este parámetro.

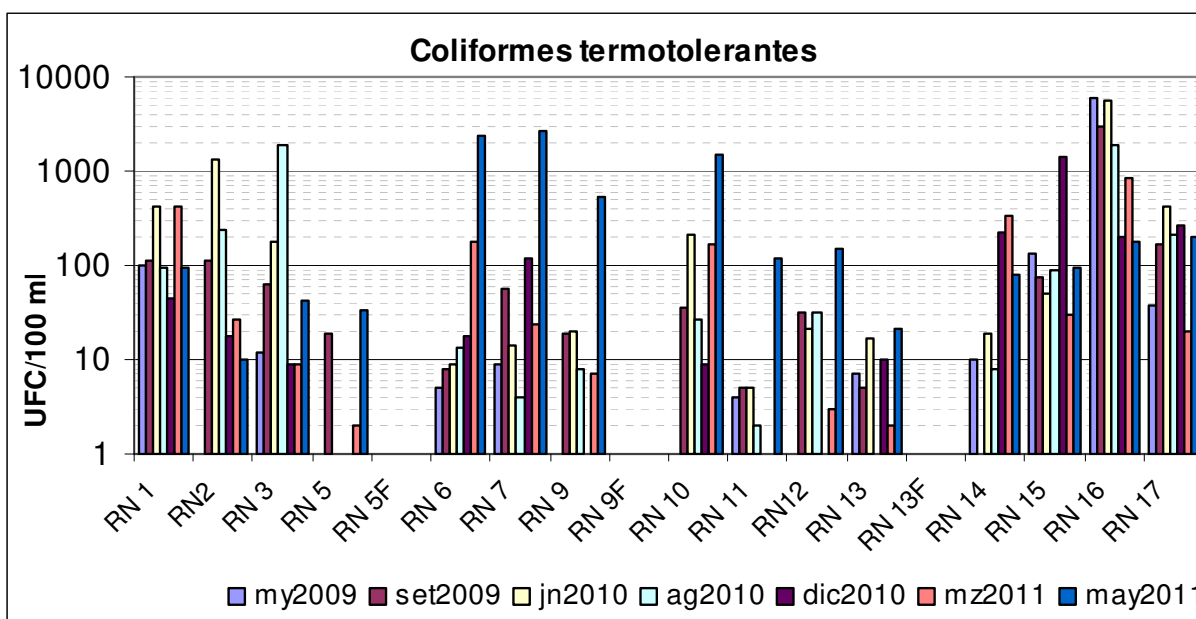


Figura 25. Variación espacial y temporal de la abundancia de Coliformes termotolerantes (UFC/100 ml) del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011. No hay mediciones en las muestras de fondo (RN5F, RN9F y RN13F).

Los coliformes totales constituyen una comunidad de coliformes presente en los sistemas acuáticos o terrestres, integrada por un grupo de bacterias con características particulares dentro de las cuales se encuentran los Coliformes termotolerantes. Por lo tanto, un alto número de coliformes totales no necesariamente está indicando contaminación fecal del agua y se hace necesario corroborarlo con el análisis más específico (medición de los coliformes termotolerantes) que se presentó antes. La concentración de coliformes totales supera a los termotolerantes, y así fue en el río Negro. También como era esperable, los mayores valores se dieron aguas abajo de la ciudad de Mercedes, en RN16. Las densidades registradas alcanzaron a 35000 UFC/100 ml en dicha estación y en la anterior (RN15). Otros sitios que presentaron valores altos de coliformes totales fueron RN3, RN6 y RN7 (figura 26). Temporalmente también se registró alta concentración de coliformes totales en el muestreo de mayo-junio 2011, seguido de marzo 2011. En este mes, la mayor concentración de coliformes se registró aguas abajo del embalse Palmar.

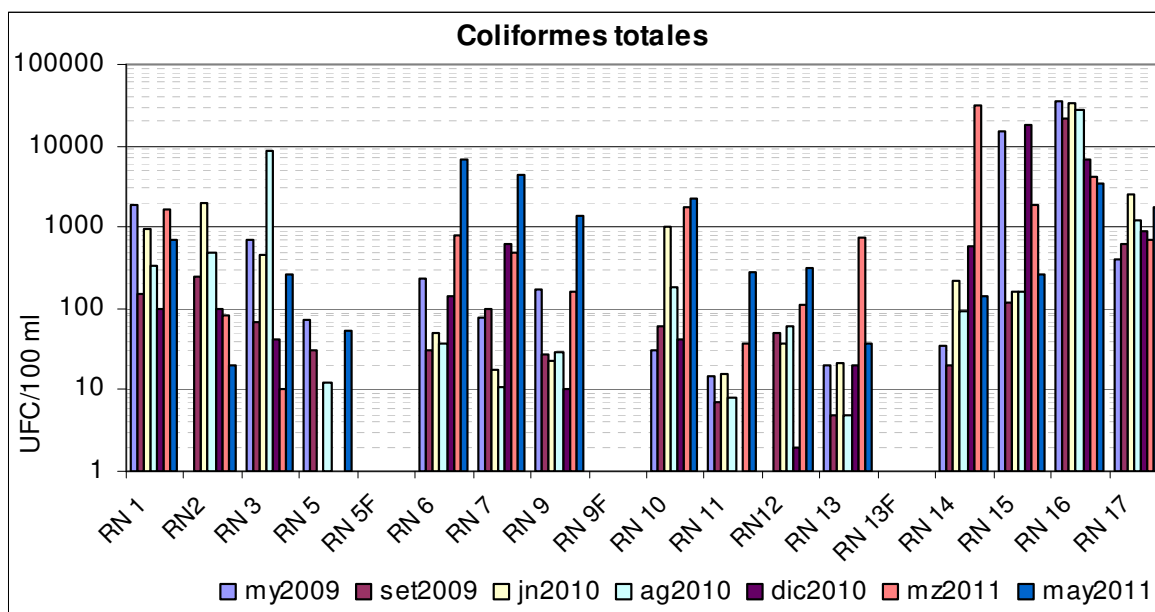


Figura 26. Variación espacial y temporal de la abundancia de coliformes totales (UFC/100 ml) del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011. No hay mediciones en las muestras de fondo (RN5F, RN9F y RN13F).

La DBO_5 (demanda bioquímica de oxígeno) es una medida del consumo microbiano de oxígeno en una muestra de agua durante cinco días, debido a la actividad de degradación de la materia orgánica presente en el ambiente (la muestra). Por lo tanto, es una medida indirecta de la concentración de materia orgánica. La DBO_5 en el Río Negro registró valores entre no cuantificable ($LC=2$ mg/l) y $2,2$ mg O_2 /l, con los máximos en RN1 y RN16. En general, la mayor DBO_5 se registró en las estaciones aguas abajo del embalse Palmar. Temporalmente, agosto 2010 y marzo 2011 fueron los períodos que presentaron valores mayores de DBO_5 (figura 27). No obstante, la DBO_5 fue en general baja y estuvo siempre en los valores de calidad que establece la legislación (<10 mg O_2 /l). La DBO_5 es un dato fundamental en el control de calidad de los sistemas de tratamiento del agua de efluentes industriales y domésticos o cuerpos receptores de vertidos con altas cargas de materia orgánica. En ambientes naturales, la DBO_5 debería ser muy baja y en muchos casos indetectable para los métodos convencionales, como ocurrió en la mayoría de las muestras analizadas en el Río Negro.

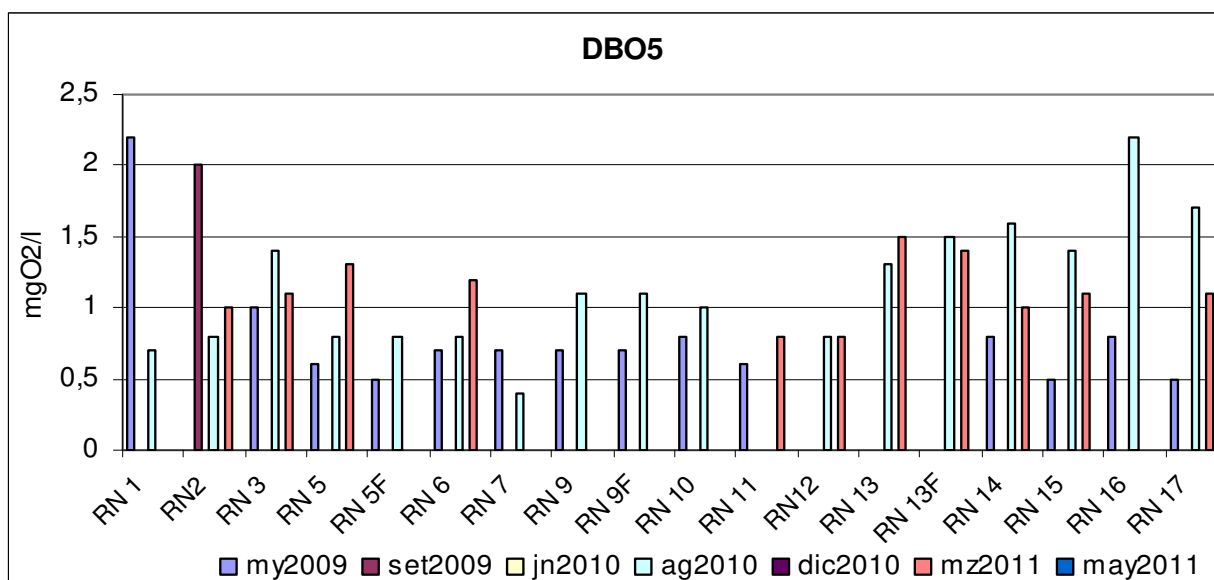


Figura 27. Variación espacial y temporal de la DBO₅ (mg O₂/l) del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011. La ausencia de dato se debe a niveles menores al límite de cuantificación (L/C=2 mg/l)

Los **fenoles** son compuestos hidroxí-derivados del benceno, productos de residuos industriales pero también presentes en aguas residuales domésticas, naturales y potables; en cuyo caso la cloración deriva en productos de olor desagradable (GEMS/Water, 1992). Los niveles de fenoles en el Río Negro alcanzaron una concentración máxima de 43 µg/l, en RN1, en marzo 2011. Otros valores relativamente altos se registraron en las estaciones del embalse Palmar, aguas arriba y abajo (figura 28) en setiembre 2009 y diciembre 2010. Los valores más altos variaron en el tiempo y entre las estaciones.

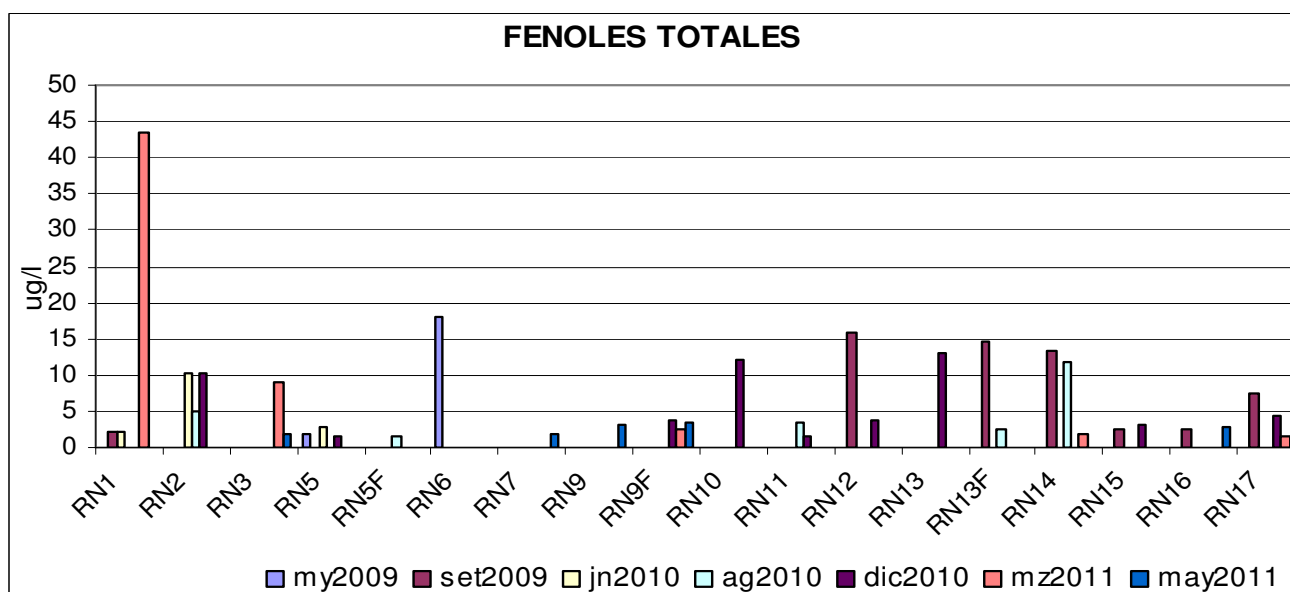


Figura 28. Variación espacial y temporal de la concentración de Fenoles totales (µg/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

La legislación establece un valor límite de concentración de sustancias fenólicas de 0,2 mg/l (200 µg/l) como C₆H₅OH. Los niveles encontrados en el Río Negro fueron significativamente inferiores, cumpliendo con el estándar de calidad para aguas naturales.

Los **AOX** (por sus siglas en inglés) o haluros orgánicos adsorbibles, forman parte del conjunto de hidrocarburos clorados disueltos en agua, e indican contaminación química sintética. La concentración de AOX registró valores entre no detectable y 43 µg/l en RN16 en mayo 2009. Los valores más altos y los rangos de mayor amplitud, se registraron en las estaciones de los extremos, principalmente en RN16 (aguas debajo de la ciudad de Mercedes) y RN17 en mayo 2009 y en RN1 y 2 en junio 2010 (figura 29). Se observaron incrementos relativamente puntuales en el tiempo, posiblemente asociados a factores o variables no consideradas hasta el momento (período de fumigación, apertura de tapas, movimientos de suelo, etc.). Particularmente en junio 2010 los valores fueron los más altos, desde las estaciones de entrada al país hasta Baygorria. Los compuestos que conforman los AOX son de origen muy variado y van desde agrícolas a industriales o domésticos. Pretender explicar la causa de su presencia en el Río Negro requiere considerar una importante cantidad de información complementaria que no forma parte de los objetivos de este programa. En la alta cuenca del Río Negro, principalmente en territorio brasileño, existe actividad agrícola importante.

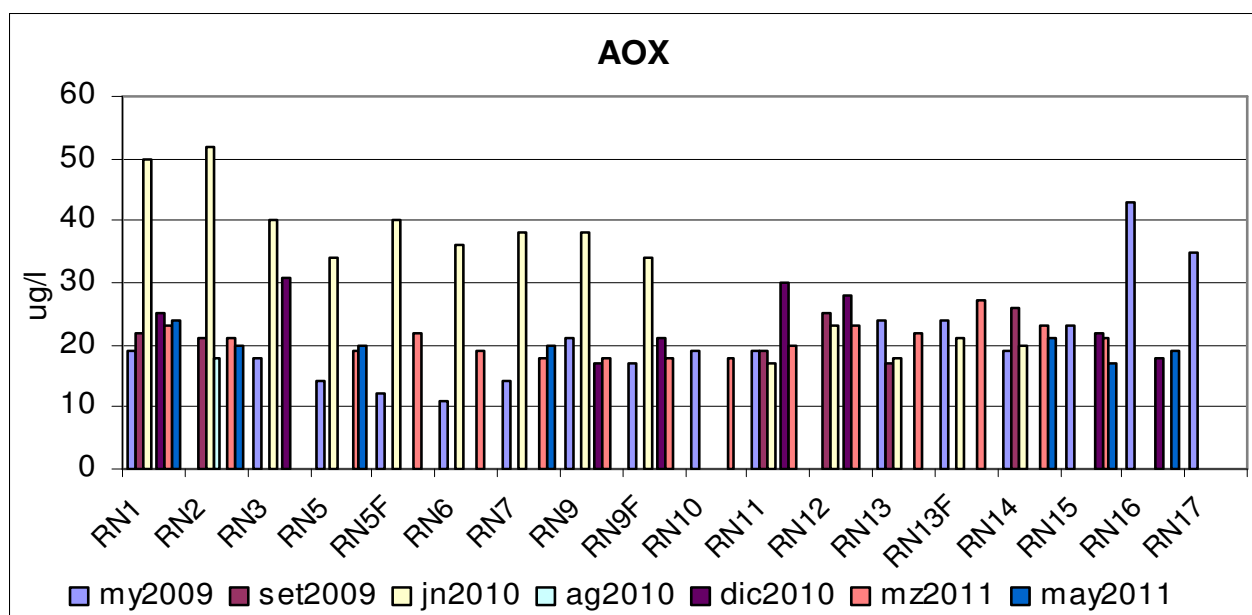


Figura 29. Variación espacial y temporal de la concentración de AOX (µg /l) en el Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011.

Los **metales pesados** incluidos en este estudio: hierro, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc, constituyen elementos traza de importancia vital, pero en dosis superiores a las requeridas se convierten en tóxicos de efectos adversos para animales y humanos. Los metales pueden ser incorporados a la biomasa animal mediante el consumo de organismos de niveles tróficos inferiores que contengan estos compuestos y así bioacumularse y magnificarse en la trama trófica.

El hierro (Fe), se encuentra disuelto en agua en pequeñas concentraciones, y está disponible en forma y concentración según el pH y potencial redox del agua. Entre pH 6 y 9 la concentración de Fe debería ser inferior a 1 mg/l, aunque en presencia de iones inorgánicos u orgánicos aumenta la solubilidad y disposición del Fe en agua (GEMS/Water, 1992). También en regiones mineras, la concentración de Fe en aguas subterráneas puede ser de cientos de mg/l, que pueden llegar al agua superficial. De acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, la concentración de Fe en agua potable debe ser menor a 0,3 mg/l. Pero no hay recomendaciones sobre concentraciones para aguas naturales, debido a la variabilidad de este parámetro en función de las características del suelo y geología de la cuenca.

Los niveles de Fe en el Río Negro presentaron concentraciones entre 0,28 y 8,4 mg/l, con un promedio de 1,6 mg/l. Los valores más altos se registraron durante mayo y setiembre 2009, en las estaciones aguas arriba, registrando el máximo hasta el momento en RN3 (San Gregorio de Polanco). En general, los mayores valores de Fe se registraron en las estaciones de la "alta cuenca". Junio 2010 fue el mes que registró los menores niveles de Fe disuelto, seguido de marzo y mayo-junio 2011 (figura 30). Considerando que el pH del agua tiene un rango entre 6 y 9, los valores de Fe fueron superiores a los esperados de acuerdo con la referencia de GEMS/Water (1992). Es posible que estos valores estén determinados por el tipo de suelo y geología de la cuenca, según los cuales pueden registrar altos valores de concentración en el agua natural sin que constituya un contaminante.

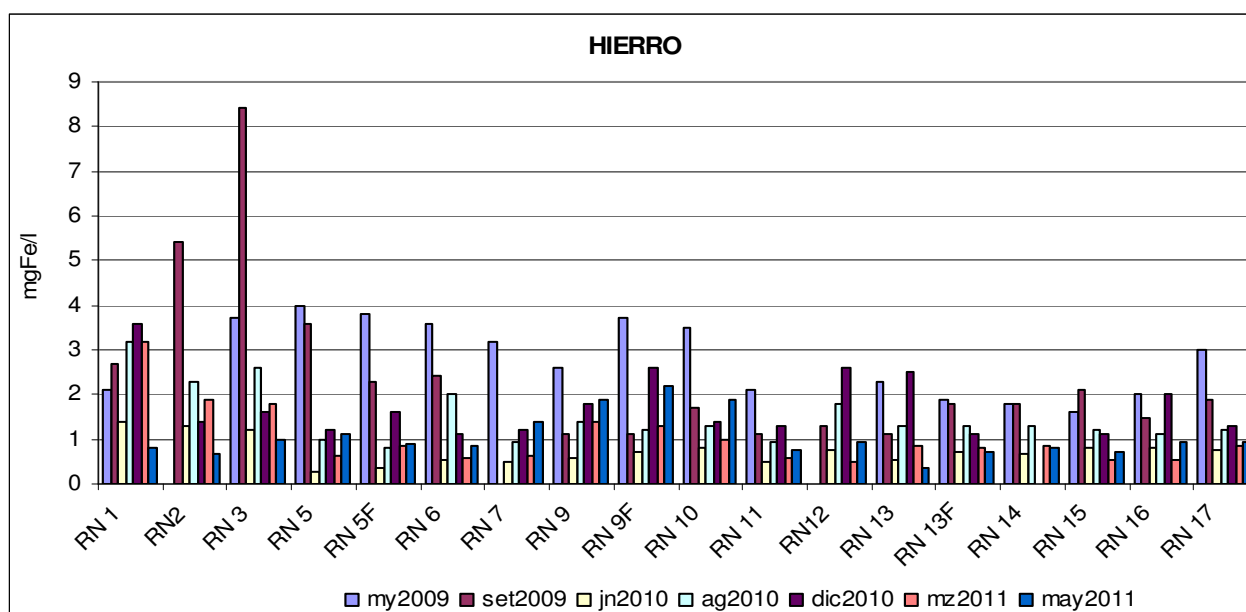


Figura 30. Variación espacial y temporal de la concentración de Hierro (mg Fe/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011

Para los demás metales analizados, se presentan en la tabla 3 las máximas concentraciones registradas en los sitios y fechas que se indican. En más del 90% de los análisis realizados la concentración de los metales fue inferior a los límites de detección analíticos.

Tabla 3. Metales pesados analizados en agua del Río Negro entre mayo 2009 y mayo-junio 2011, destacando los sitios con concentraciones superiores al límite de calidad establecido en la legislación vigente

Metal	Límite por decreto 257/79 y modif.	Concentración (mg/l)	Sitio	fecha
Cadmio (Cd)	0,001 mg/l	No se detectaron concentraciones superiores al límite de cuantificación (0,001 mg/l)		
Cromo (Cr)	0,05 mg/l	0,245	RN5	Setiembre 2009
		0,353	RN10	
		0,110	RN11	
Mercurio (Hg)	0,0002 mg/l	0,001	RN10	Mayo 2009
		0,0007	RN13F	Agosto 2010
		0,002	RN16	
		0,0006	RN2	Marzo 2011
Niquel (Ni)	0,02 mg/l	0,006	RN6	Agosto 2010
		0,009	RN9	
		0,005	RN9F	
		0,057	RN2	Diciembre 2010
Plomo (Pb)	0,03 mg/l	0,011	RN3	Setiembre 2009
		0,009	RN9F	
Zinc (Zn)	0,03 mg/l	0,008	RN3	Mayo 2009
		0,021	RN5F	Setiembre 2009
		0,066	RN6	
		0,16	RN6	Diciembre 2010
		0,11	RN13	

La presencia de cromo podría estar relacionada al uso de este producto en la planta de curado de postes de madera que funcionó en el embalse de Rincón del Bonete. Si bien esta actividad ha dejado de realizarse, los residuos permanecen en el sistema. No se descarta que existan otras fuentes de este contaminante. Los niveles de mercurio fueron más altos en las estaciones aguas abajo de Baygorria y de Mercedes. Las fuentes de este metal se asocian a aportes externos al ambiente natural debido a que es muy escaso en la corteza terrestre (abundancia promedio estimada en 80 µg/Kg, GEMS/W, 1994), excepto en regiones de concentración de minerales ricos en mercurio. La industria eléctrica y electrónica, así como el uso de explosivos e insecticidas constituyen algunos de los principales usuarios (y productores de residuos) de este elemento.

Arsénico y Cianuro fueron otros componentes tóxicos no minerales analizados en el agua del Río Negro. El primero es un componente no raro en aguas naturales debido a su origen geológico, además de otros posibles orígenes industriales o agrícolas (insecticidas), consecuencia de actividades antrópicas (GEMS/w, 1994). Las concentraciones de arsénico siempre fueron inferiores al límite establecido en la legislación, menor a 0,005 mg/l. Los mayores niveles cuantificados, se registraron en setiembre 2009, con el máximo de 0,0018 mg/l en RN16 (aguas abajo de la ciudad de Mercedes) que fue decreciendo hasta 0,0016 mg/l en RN17. El Cianuro, tiene un límite admisible para aguas naturales de 0,005 mg/l de acuerdo con la legislación vigente. En las muestras analizadas hasta la fecha no se registraron concentraciones detectables en las muestras del Río Negro, siendo el límite de cuantificación 0,004 mg/l.

CONSIDERACIONES FINALES

Los datos incluidos en este informe corresponden a dos años de monitoreo e incluyen información de tres estaciones del año, exceptuando verano, con frecuencias heterogéneas. Sería deseable contar con información ambiental relativa a las condiciones durante el verano. No obstante, la incorporación de los últimos resultados analíticos correspondientes a diciembre 2010, marzo y mayo-junio 2011, fueron un aporte significativo ya que mostraron aspectos del sistema en el inicio y final del verano.

En el primer análisis de resultados entregado en el informe DINAMA-DECA 2011 se recomendaba mantener un registro constante de parámetros como Transparencia, Nivel del agua o caudal en sitios próximos a las estaciones de muestreo, presencia o ausencia de floraciones en todas las estaciones de muestreo y lluvias desde las 24 hs previas al muestreo. Lamentablemente no se incorporaron algunos de estos registros en los últimos muestreos por lo cual se reitera la recomendación.

También se recomendaba mantener el registro de la turbidez, como un parámetro reglamentado por la legislación para establecer la calidad y de fácil medición. Tampoco se incorporó este dato a los últimos registros, por lo cual se reitera la recomendación.

Se reitera la recomendación de considerar el caudal en los sitios de muestreo, y especialmente del Río Tacuarembó y Río Yi, por la importancia de estos sistemas y los resultados observados en las estaciones RN2 y RN12, directamente vinculadas con ellos. Otro dato importante a considerar es el volumen de vertido de los embalses ya que las estaciones aguas abajo de éstos han mostrado variabilidad en algunos valores.

A fin de contribuir con esta información de calidad de agua del Río Negro al sistema de información ambiental, se sugiere incorporar los datos a la base de datos y fortalecer el SIG en la capa de calidad del agua. Esta recomendación también se reitera.

Hasta la fecha, no se ha concretado el convenio con la Universidad (Facultad de Ciencias) para investigar cuales son los organismos, poblaciones o comunidades que podrían utilizarse para identificar condiciones o lugares particulares respecto a la calidad del agua, del ecosistema o del ambiente. Esta recomendación fue planteada en el informe anterior.

Vistos los antecedentes en estudios sobre peces y pesquerías en el Río Negro, se propone indagar la posibilidad de identificar dentro de esta comunidad, variables que puedan utilizarse como bioindicadores de calidad. Con el conocimiento de los antecedentes, se sugiere convocar a un taller con especialistas que discutan la viabilidad de definir indicadores en esta comunidad y cuales se propondrían.

En función de la variabilidad observada en los parámetros de calidad de agua de este sistema, así como por la importancia del Río Negro y su cuenca, se recomienda mantener este programa por un período mayor a 5 años, que permita conocer la variabilidad temporal del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amestoy Rosso, Fernando J. 2001. Hacia una cuantificación de estrés ecológico en el embalse de Rincón del Bonete (Uruguay). Tesis de Doctorado en Biología, Opción Zoología. PEDECIBA-Facultad de Ciencias. Montevideo, Uruguay. 166 p.

Anónimo. 1991. Informes de los tres muestreos limnológicos realizados en los embalses del río Negro. Inf. Téc. Secc. Limnología. Fac. Ciencias 22 p.

Bonilla, S. 1997. Composición y abundancia fitoplanctónica de tres embalses en cadena sobre el río Negro, Uruguay. Iheringia, Sér. Bot; Porto Alegre, 49: 47-61.

Brugnoli, E., J. Clemente, L. Boccardi, L. Borthagaray y F. Scarabino. 2005. Golden mussel *Limnoperna fortunei* (Bivalvia:Mytilidae) distribution in the main hydrographical basins of Uruguay: up date and predictions. Anais da Academia Brasileira de Ciências [en línea] 2005, 77 (jun.) : [fecha de consulta: 18 de agosto de 2011] Disponible en: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/>

Conde, D; J. Gorga; M. Paradiso; J. Clemente; L. De León y G. Lacerot. 1999. Calidad de agua en el Embalse de Rincón del Bonete (Período 1994-1999). Inf. Téc. Fac. Ciencias. Depto. Limnol. 115p.

Conde, D., M. Paradiso, J. Gorga, E. Brugnoli, L. De León y M. Mandiá. 2002. Problemática de la calidad de agua en el sistema de grandes embalses del Río Negro ((Uruguay). Revista CIER, 39: 51-68.

Conforti, V. y M. C. Pérez. 2000. Euglenophyceae of Negro river, Uruguay, South America. Algological Studies 97: 59-78.

Crossa, M. 1987. Análisis de una pesquería artesanal con puerto base en San Gregorio de Polanco 1986-87 (Depto. De Tacuarembó, Uruguay). Fac. Hum. y Ciencias. Tesis no publicada. 80 p.

Crossa, M. y M. Petreere. 1999. Populational parameters and yield per recruit of the Traira, *Hoplias malabaricus* and *Rhambdia sapo* Block in the Rincón del Bonete reservoir. Tacuarembó, Uruguay. Int. Jour. Fish. Managm. Ecol. En prensa.

De León, L. 2002. 2002- Floraciones de Cianobacterias en Aguas Continentales. Causas y Consecuencias. En: A. Dominguez y R. Prieto (Eds.). *Perfil ambiental del Uruguay /2002*. Editorial Norden. Montevideo.

DINAMA-DCA, 2011. [Monitoreo y evaluación de calidad de agua. Plan para la definición de una línea de base del Río Negro. Agosto 2011](http://www.mvotma.gub.uy/ambiente-territorio-y-agua/instrumentos-de-gestion-ambiental/estado-del-ambiente). Disponible en <http://www.mvotma.gub.uy/ambiente-territorio-y-agua/instrumentos-de-gestion-ambiental/estado-del-ambiente>

DINAMA-DCA, 2011. [Evaluación de la calidad del agua del Río Cuareim - Período 2006-2010](http://www.mvotma.gub.uy/documentos/documentos). Disponible en www.mvotma.gub.uy/documentos/documentos técnicos

DINAMA-JICA. 2010. Proyecto sobre el control de la contaminación del agua y la gestión de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía. Informe de avance N° 5. Octubre 2010. Disponible en www.dinama.gub.uy/jica

DINAMA. 1990-2010. Programa Playas. Informe de monitoreo de calidad de agua. DECA. Disponible en www.mvotma.gub.uy/documentos técnicos

DIPRODE-INAPE. 1993. Evaluación de los recursos pesqueros del embalse de Rincón del Bonete. Doc. Téc. INAPE 110 p.

DIPRODE-INAPE. 1994. Resultados del relevamiento de los recursos pesqueros del embalse de Rincón del Bonete (Uruguay). 160 p.

Pérez, M.C. 2002. Fitoplancton del Río Negro, Uruguay. *Limnetica* 21(1-2): 81-92.

Pérez, M.C; S. Bonilla y G. Martínez. 1999. Phytoplankton community of a polymictic reservoir, La Plata river basin, Uruguay. *Rev. Brasil. Biol*; 59(4): 535-541.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology*. Third Edition. Academic Press, San Diego, CA. 1006 pp.

-----000-----