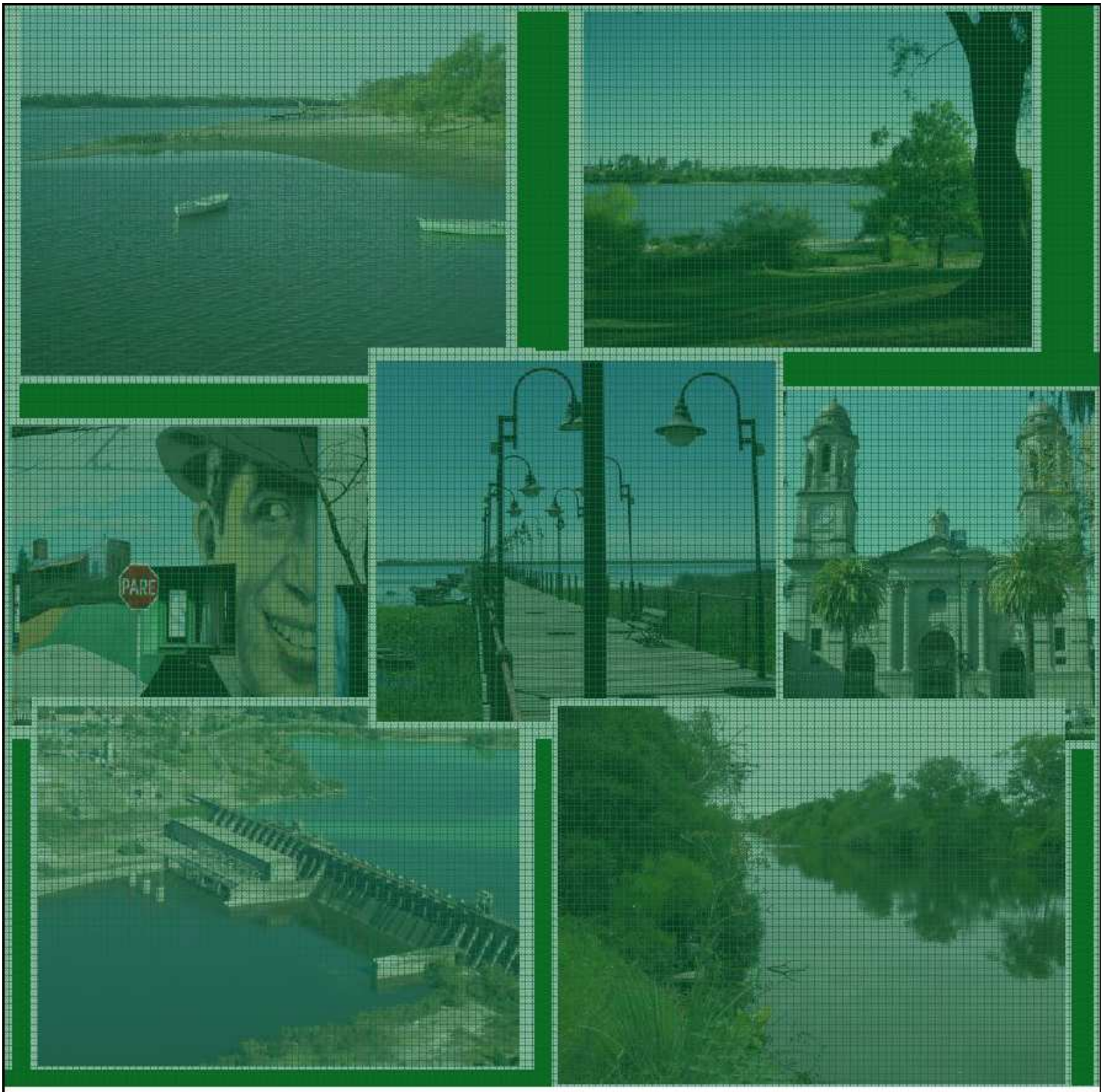

MONITOREO Y EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

Plan para la Definición de una Línea de Base del Río Negro

(agosto 2011)

Departamento de Calidad Ambiental

División de Evaluación de la Calidad Ambiental

DINAMA | Dirección Nacional de Medio Ambiente

Dirección Nacional de Medio Ambiente
DINAMA | Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

División Evaluación de Calidad Ambiental - DECA

Director: Luis Reolón

Dpto. de Calidad Ambiental

Jefe de Dpto.: Gabriel Yorda

Redacción del Informe:

Lizet De León, Consultora. Proy.URU/07/012

César García

Responsable del Programa de Monitoreo:

César García

Técnicos participantes:

Gerardo Balero, Alejandro Cendón, Javier Martínez

Análisis de Laboratorio: Dpto. Laboratorio Ambiental DINAMA

Jefa Laboratorio: Natalia Barboza

CONTENIDO

CONTENIDO....3
RESUMEN....4
INTRODUCCIÓN....5
Justificación del Programa de Línea de Base del Río Negro....6
Objetivo general del programa....6
Objetivos específicos del programa....6
Objetivos del Informe....7
AREA DE ESTUDIO....7
PROGRAMA DE MONITOREO....9
Puntos De Muestreo....9
Variables monitoreadas....10
Frecuencia de muestreo....9
RESULTADOS....12
Variables medidas in situ....12
RESULTADOS ANALÍTICOS....17
PROPUESTAS....34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....35

RESUMEN

La DINAMA lleva adelante un programa de monitoreo de calidad de agua del Río Negro desde mayo de 2009, con frecuencia 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 cuatro primeras campañas analizadas, correspondientes al período mayo 2009 a agosto 2010.

La calidad del agua del Río Negro cumple con todos los valores estándares de calidad establecidos en la legislación, excepto para el fósforo total. Este parámetro supera en todos los registros el estándar actual de 0,025 mg P/l, registrando una concentración promedio para el sistema de 0,158 mg P/l. También la concentración de coliformes termotolerantes superó el valor estándar de calidad del Decreto 253/79 y modificativos, pero solo en la estación RN16, aguas abajo de la ciudad de Mercedes. En este sitio, todas las medidas de coliformes superaron los 2000 UFC/100 ml. 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.

En virtud de los resultados obtenidos sobre los niveles de fósforo, similares a valores obtenidos en otros ríos del país, se sugiere la reconsideración del valor estándar que indica el Decreto vigente. Entre las propuestas para el ajuste del Programa, se propone incorporar datos de caudal, turbidez y transparencia en forma regular, así como considerar el estudio de indicadores bentónicos en los arroyos de la cuenca y discutir la incorporación de los peces como indicadores de calidad.

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. A su vez, constituye un aporte relevante al conocimiento de las características ambientales que se suma a los trabajos que DINAMA viene realizando en la Cuenca del Río Cuareim (DINAMA 2011), del Río Santa Lucía (DINAMA-JICA 2010) y la costa Oceánica y del Río de la Plata (Programa Playas, DINAMA 1990 a la fecha). También se realizan estudios sobre el Río Uruguay en el tramo comprendido entre el Km 85 y 115 del río (Programa de vigilancia del Río Uruguay).

Los estudios sobre el Río Negro son aún escasos y se concentran principalmente en los tres embalses (Conforti y Pérez, 2000; Crossa 1987; Crossa y Petrere 1999; INAPE-DIPRODE, 1993, 1994). Desde la década de los '90, UTE incorporó en su política ambiental el relevamiento y vigilancia de la calidad del agua de los embalses del Río Negro, desarrollando un programa de monitoreo que ha permitido conocer las condiciones físicas, químicas y biológicas de estos sistemas (Sección Limnología-UdelaR, 1988, 1989, 1990; Conde et al., 1999; Bonilla, 1997; Pérez 2002; Pérez et al., 1999). Sin embargo, continúan siendo desconocidas muchas de las características del Río Negro como sistema fluvial.

En el sistema de embalses en cadena del Río Negro se ha detectado la presencia de floraciones de cianobacterias tóxicas, principalmente de los géneros *Microcystis* y *Anabaena*. Los análisis de toxicidad realizados en todos estos sitios determinaron la presencia de la toxina microcystina en una concentración entre 4 y 3000 μg g^{-1} de material analizado, lo que implica un nivel medio a alto de toxina, en relación a otros sistemas de la región. Debido a la importancia de estos ambientes y de estos eventos por su incidencia en la salud humana y en las actividades productivas de Uruguay, se considera fundamental conocer cuales son los factores que determinan la calidad del agua del Río Negro y favorecen la aparición de las floraciones de cianobacterias en los embalses, principalmente, y en el resto del cauce posiblemente.

Justificación del Programa de Línea de Base del Río Negro

Este sistema hídrico es de gran importancia para el país, tanto por su ubicación y extensión como por los usos actuales y potenciales de los recursos de su cuenca, la más extensa en el interior del país. En la actualidad el curso del Río Negro es utilizado con distintos fines siendo los más destacados: aprovechamiento hidroeléctrico, agua para riego, extracción de áridos, turismo, balneario, piscicultura, pesca artesanal y deportiva. También es cuerpo receptor de los efluentes de las ciudades asentadas en sus márgenes y de sus afluentes. Considerando la posibilidad de instalación de nuevos emprendimientos productivos, la DINAMA ha iniciado un programa de monitoreo enfocado a relevar las características de este sistema acuático a lo largo de todo el cauce dentro del territorio nacional, con la finalidad de establecer una línea de base de la calidad del agua y el sedimento. Este programa comenzó a ejecutarse en mayo de 2009.

En virtud de la extensión del área de estudio y la compleja logística de este programa, se ha convocado a las intendencias de Cerro Largo, Tacuarembó, Durazno y Mercedes para colaborar con las actividades, así como a UTE. La participación de instituciones locales en el desarrollo de estudios ambientales conjuntamente con DINAMA, es parte de una política de descentralización que lleva adelante la institución. Particularmente la Intendencia de Cerro Largo, la Junta Local de Paso de los Toros y UTE han colaborado directamente con actividades de apoyo para el traslado de muestras y alojamientos.

Objetivo general del programa

Las actividades desarrolladas en este programa de monitoreo del Río Negro, tienen como principal objetivo, 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.

Objetivos específicos del programa

De acuerdo con los objetivos específicos definidos en la propuesta original, este Programa busca:

1. Monitorear el Río Negro para establecer la calidad del agua del cauce principal del Río Negro 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

Luego de un año de monitoreo en el curso principal del Río Negro, la DINAMA a través del Departamento de Evaluación de la Calidad Ambiental presenta en este informe los primeros resultados alcanzados para la matriz agua. Le seguirán los resultados de la matriz sedimentos en la siguiente entrega.

Objetivos del Informe

- Relevar, revisar y ordenar la información producida por el programa de monitoreo del Río Negro ejecutado hasta la fecha, considerando principalmente la relativa a (variables de) calidad de agua.
- Evaluar la calidad del agua del Río Negro para el período mayo 2009-agosto 2010, de acuerdo con la legislación vigente en el Decreto 253/79 y modificativos.
- Realizar propuestas para mejorar el programa considerando la inclusión de indicadores biológicos.

AREA DE ESTUDIO

El Río Negro nace en Brasil, en el Estado de Río Grande del Sur y recorre 850 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 km^2 y está delimitada al Este por la Cuchilla Grande, Cuchilla de Haedo al Oeste y Cuchilla Gde. del Oeste al Sur (Figura 1).

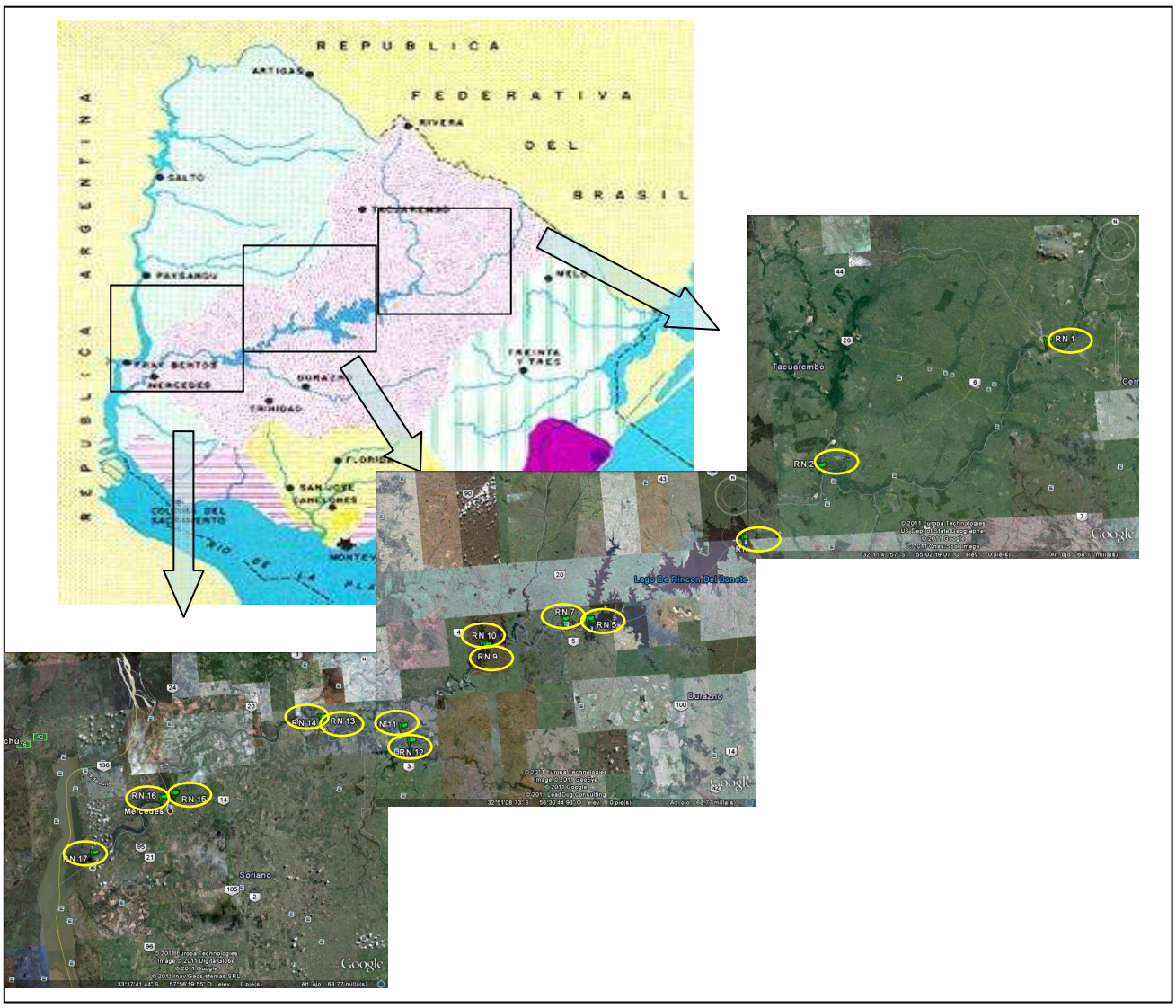

Figura 1. Cuenca del Río Negro con la ubicación de los sitios de muestreos definidos en el Programa de Monitoreo del Río Negro de DINAMA

En la hidrografía del Río Negro se destaca la llegada de algunos sistemas afluentes en la margen derecha tales como el Río Tacuarembó, A° San Luis, limitando con Brasil, A° Malo, Salsipuedes Grande, del Blanquillo, Carpintería Norte y Cardozo. Mientras que en la margen izquierda se destaca la llegada del A° Las Cañas, El Chileno, Carpintería Sur, y el Río Yi. Por otra parte, el caudal del río está interrumpido 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 km^2 de espejo de agua), Baygorria (100 km^2) y Palmar (320 km^2), 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 fortuneii* 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 de Esturión, así como la extracción por la industria pesquera.

PROGRAMA DE MONITOREO

El monitoreo de calidad de agua del Río Negro se realiza con una frecuencia trimestral. Las campañas de muestreo se iniciaron el 26 de mayo de 2009, con una frecuencia variable durante el primer año. 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). Por otra parte, también UTE colabora con el desarrollo de este Programa, proporcionando alojamientos en las poblaciones de las represas.

La información hidrológica se obtiene mediante consulta a la DINAGUA a través del Dpto. de Recursos Hídricos (ex DNH). Mientras que la información meteorológica se obtiene a través de la consulta al servicio de OGIMET (www.ogimet.com).

Los análisis químicos de agua y sedimentos son realizados o coordinados a través del Dpto. de Laboratorio Ambiental de DINAMA, que cuenta con un período de 3 a 6 meses para la entrega de los resultados. Esto determinó que en este informe se presenten los resultados analíticos de las 4 primeras campañas realizadas entre mayo 2009 y agosto 2010.

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, durante el primer año de monitoreo la frecuencia fue variable. En la tabla 1 se presentan las fechas de las campañas realizadas entre 2009 y 2010 analizadas hasta el presente.

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

	2009	**2010**
Otoño	26 mayo – 3 junio	2 – 10 junio
Invierno		4 – 13 agosto
primavera	15 – 23 setiembre	
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 el tipo de tramo

del río, incluyendo a los tres embalses y sus tramos 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	31º58`57 S	54º33`00`` W	Río Negro y ruta 44, primer puente sobre el río. Punto inicial del muestreo.
RN2	32º24`31`` S	55º29`09`` W	Desembocadura de Río Tacuarembó. Acceso por camino a la estación en Km 329 (AFE). Define las características de la calidad del agua aportada por el río Tacuarembó
RN3	32º36`00`` S	55º49`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	32º45`05`` S	56º12`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	32º49`39`` S	56º25`26`` W	Embalse de Rincón del Bonete, próximo a la represa. Define la calidad del agua del embalse
RN6	32º48`17`` S	56º29`51`` W	Aguas abajo de la represa Rincón del Bonete, el río se encausa de nuevo.
RN7	32º48`28`` S	56º32`28`` W	Aguas abajo de Paso de los Toros. Evalúa la influencia de la ciudad en la calidad del agua.
RN8	32º48`13`` S	56º32`12`` W	- Entrada a embalse de Baygorria. Acceso desde Paso de los Toros. Punto eliminado por difícil acceso.
RN9	32º52`221`` S	56º48`10`` W	Embalse Baygorria, próximo a la represa. Define la calidad del agua del embalse.
RN10	32º52`06`` S	56º49`16`` W	Aguas abajo de represa de Baygorria, el río se encausa de nuevo.
RN11	33º01`02``S	57º00`11`` W	Represa de Palmar, cola del embalse. El río se embalsa nuevamente.
RN12	33º10`10`` S	57º04`22`` W.	Desembocadura del Río Yi, próximo a los tres puentes de Ruta 3. Evalúa los aportes del río Yì.
RN13	33º03`26``S	57º26`56`` W	Embalse Palmar, próximo a la represa. Evalúa la calidad del agua del embalse Palmar.
RN14	33º02`52`` S	57º27`12`` W.	Aguas abajo de la represa de Palmar. El río se encausa.
RN15	33º11`05`` S	58º01`54`` W	Aguas arriba de la ciudad de Mercedes. Evalúa la calidad del agua antes de la ciudad.
RN16	33º13`26`` S	58º04`15`` W	Aguas abajo de Mercedes. Determina la influencia de la ciudad en la calidad del agua.
RN17	33º22`52``S	58º19`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. Se tomaron muestras de fondo en RN5, RN9 y RN13 para algunos parámetros.

Variables monitoreadas

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

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 cuatro primeros muestreos procesados hasta la fecha.

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

Parámetro	Preservación	Técnica analítica	N°Procedimiento DINAMA
Temperatura	Medición *in situ*	Termómetro	
Concentración de Oxígeno		Oxímetro	
Conductividad		Conductímetro	
pH		pH-metro	
Transparencia		Disco de Secchi	
Turbiedad	Refrigerar	Nefelométrico, en laboratorio	1022UY
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		Koroleff (1972)	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 procesados hasta el cierre de este informe, correspondientes a las primeras 4 campañas de monitoreo realizadas entre mayo 2009 y agosto 2010 (tabla 3).

Variables medidas *in situ*

La temperatura del agua en el Río Negro registró una amplitud entre 9.1 y 18 °C, medida en la superficie de la columna de agua, con 13,9 ºC de promedio. Los valores mínimos se registraron en agosto 2010 y los máximos en mayo 2009 (figura 2). En los registros de temperatura hay un incremento en la estación RN3, que corresponde a la cola del embalse Rincón del Bonete, a la altura de San Gregorio de Polanco. El cambio en la hidrodinámica del río a esta altura, con enlentecimiento de su caudal por el efecto del embalsado, agregado a que el sitio de muestreo se estableció en una bahía somera y calma, explicarían las causas del incremento de la temperatura en ese punto, en casi todos los muestreos. En el punto siguiente, RN5, la temperatura del agua baja. 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.

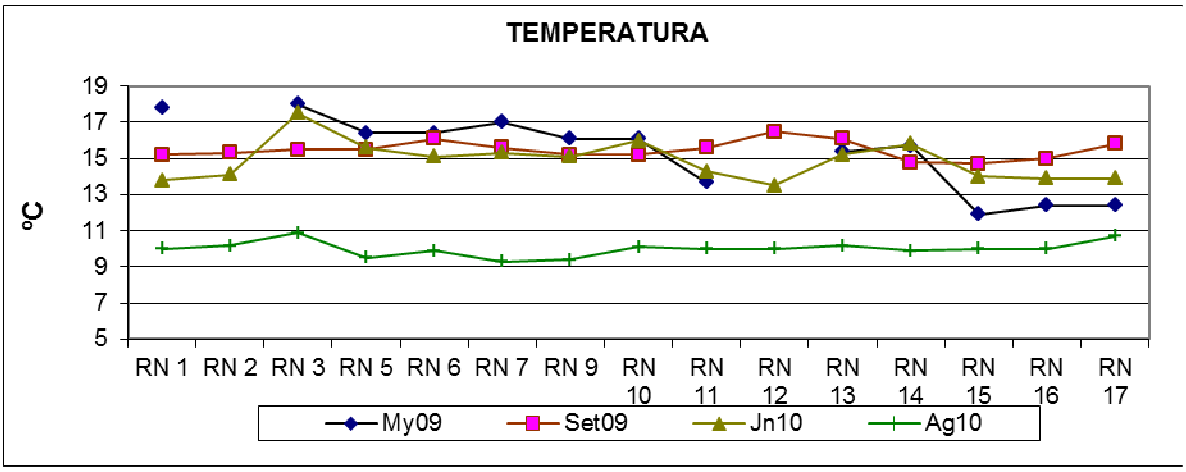

Figura 2. Variación espacial y temporal de la temperatura del agua a lo largo del Río Negro en cuatro campañas de monitoreo

La variación espacial de la temperatura entre las estaciones de muestreo, mostró un rango de amplitud térmica similar en todas las estaciones. Mientras que los valores promedio de temperatura del agua para los cuatro muestreos, fueron mayores en las estaciones de ingreso al país y menores en las de la desembocadura (figura 3).

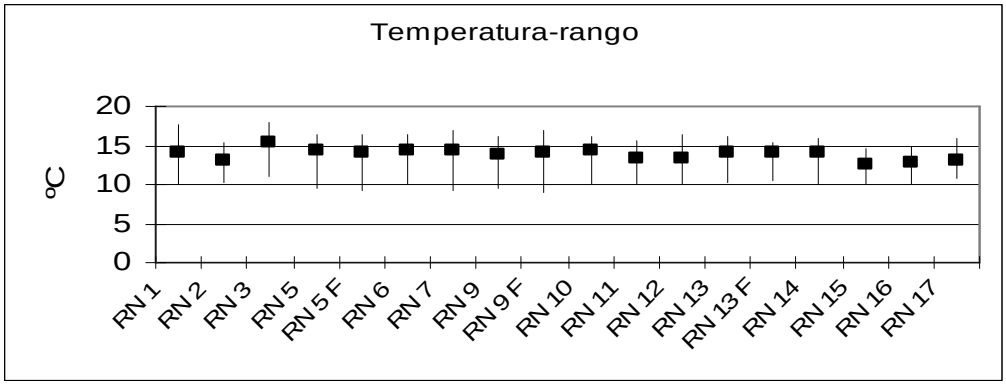

Figura 3. Variación espacial de la temperatura (rango y promedio) para cuatro muestreos realizados entre mayo 2009 y agosto 2010

Por otra parte, la variación de la temperatura del río Negro durante el período analizado mostró gran similitud entre los muestreos (figura 4), dado que el valor promedio fue 15°C en los tres primeros y de 10 °C en agosto 2010. Estos resultados indicarían que los tres primeros muestreos se realizaron en períodos con similar condición térmica, correspondiente al otoño. En estas condiciones, no se registraron diferencias entre las temperaturas de superficie y fondo, en las estaciones de los embalses (RN5F, RN9F y RN13F). Es muy importante conocer las características del Río Negro en otras estaciones del año para tener un panorama más abarcativo del sistema; particularmente en el verano, cuando el incremento de la temperatura acelera procesos bioquímicos que afectan la actividad biológica de los ecosistemas.

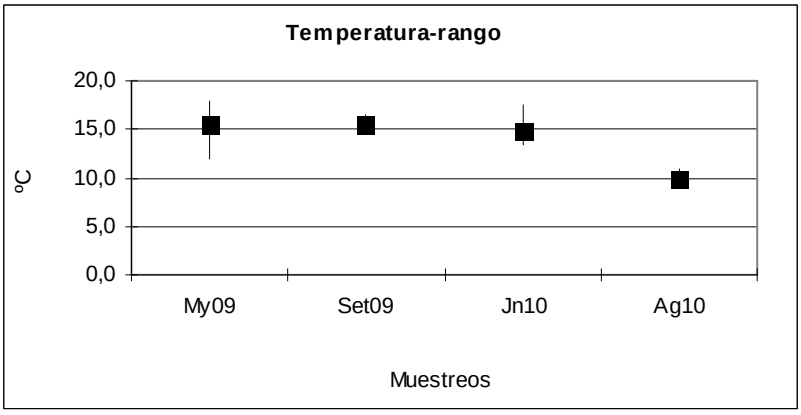

Figura 4. Variación temporal del rango y promedio de la temperatura del Río Negro (n=15)

La variación de la concentración de **oxígeno disuelto** (OD) en el agua fue amplia, con valores entre 5,8 y 10,9 mgO_2/l, y una concentración promedio de 8,9 mgO_2/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, sólo se registró una disminución de OD entre las muestras de superficie y fondo en Baygorria (RN9 y 9F) en mayo 2009, mientras que en los demás muestreos no hubieron diferencias entre ambas profundidades. La concentración de este parámetro fue siempre

superior al valor límite establecido en la legislación, en 5 mgO_2/l, indicando buena calidad del agua para el Oxígeno Disuelto.

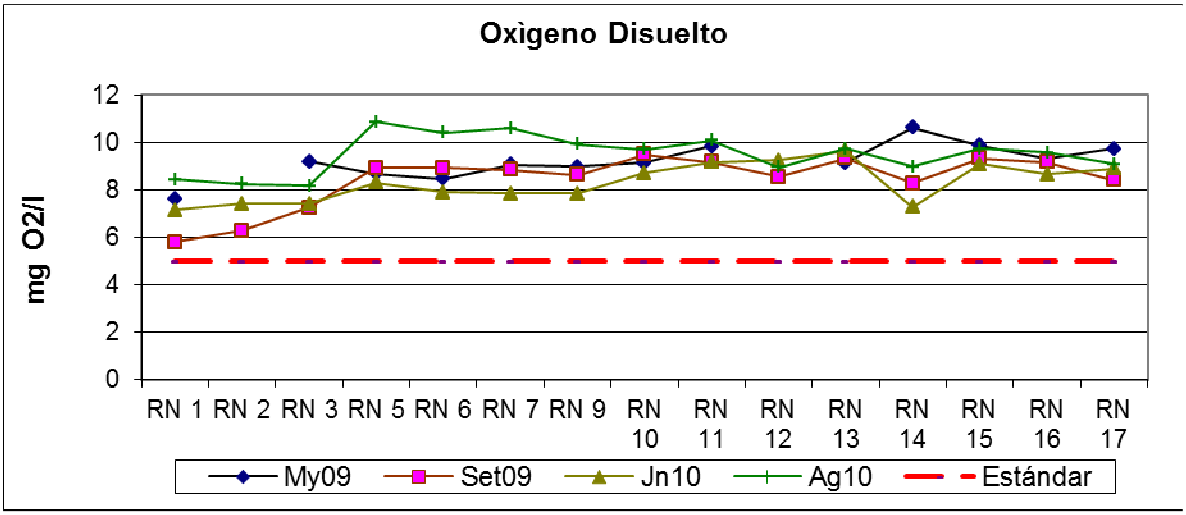

Figura 5. Variación espacial y temporal de la concentración del oxígeno disuelto del agua (mgO_2/l) del Río Negro en cuatro campañas de monitoreo

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 O_2/l, y levemente mayor próximo a los 8 mg/l a partir del embalse Rincón del Bonete (figura 6).

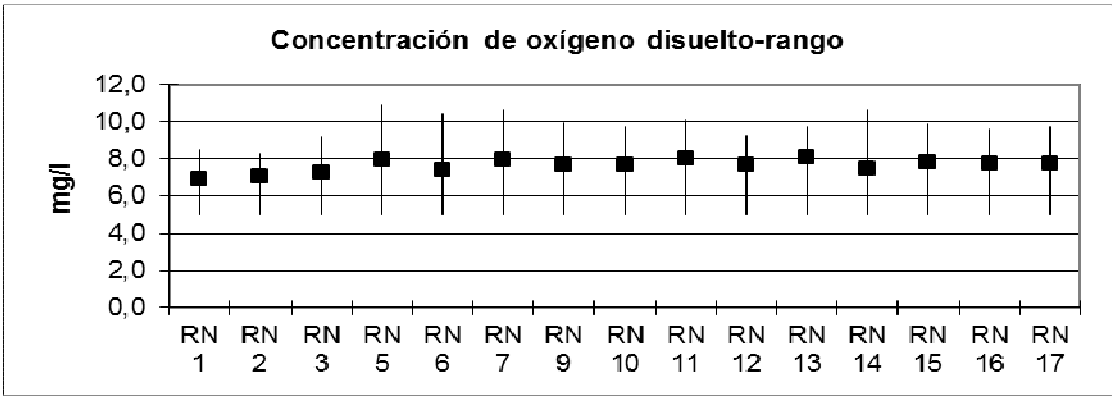

Figura 6. Rango y promedio de la concentración de oxígeno disuelto (mgO_2/l) del Río Negro durante cuatro campañas realizadas entre mayo 2009 y agosto 2010 por DINAMA-DECA

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 mgO_2/l). La relación inversa entre la temperatura y el oxígeno disuelto está ampliamente documentada en la literatura.

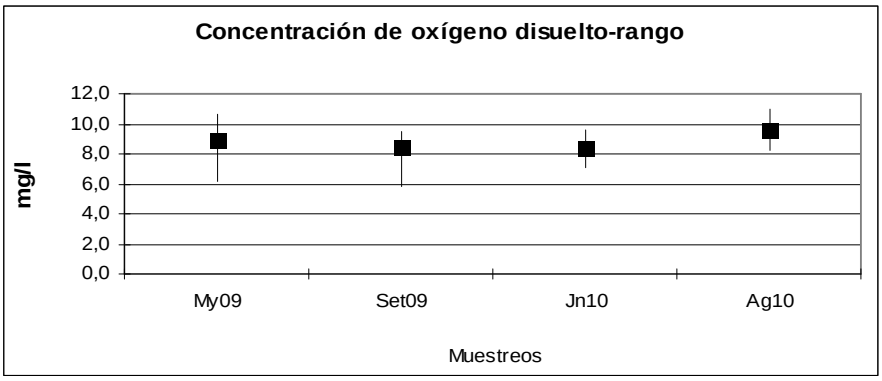

Figura 7. Variación temporal del rango y promedio de la concentración de oxígeno disuelto del Río Negro (n=15).

El pH del río Negro se mantuvo entre 6,2 y 8,4 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 del agua fue 6,2 y se registró en RN1 y en la muestra de fondo del embalse Rincón del Bonete (RN5F) en mayo 2009; mientras que el mayor fue 8,4 en RN5 y 6, en agosto 2010. Las variaciones espacio temporales fueron más evidentes en las estaciones aguas arriba de Baygorria, principalmente entre los muestreos de mayo 2009 y agosto 2010. A partir de dicho punto los valores fueron similares entre los meses. En mayo 2009 el pH registró valores por debajo del límite inferior del valor estándar que establece el decreto 253/79 y modificativos en las estaciones de ingreso y se incrementó significativamente aguas abajo de Paso de los Toros (RN7). Por otra parte, en agosto 2010 el pH registró los valores más altos también en las estaciones del ingreso, hasta Baygorria. A pesar de ser altos, estos valores no superaron el límite de calidad de 8,5 que establece la legislación (Figura 8).

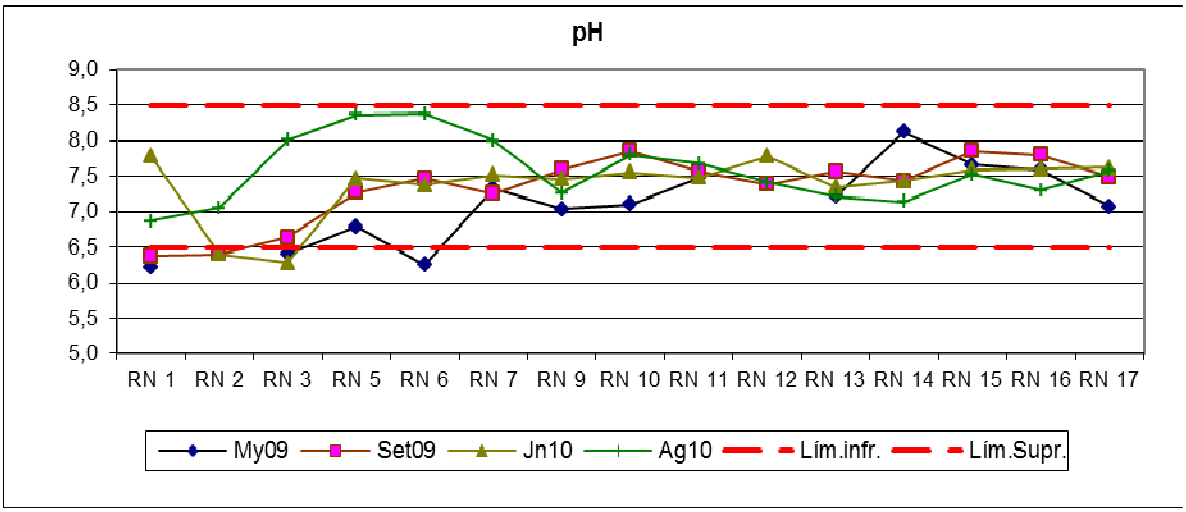

Figura 8. Variación espacial y temporal del pH del agua (mg/l) del del Río Negro durante cuatro campañas realizadas entre mayo 2009 y agosto 2010, por DINAMA-DECA

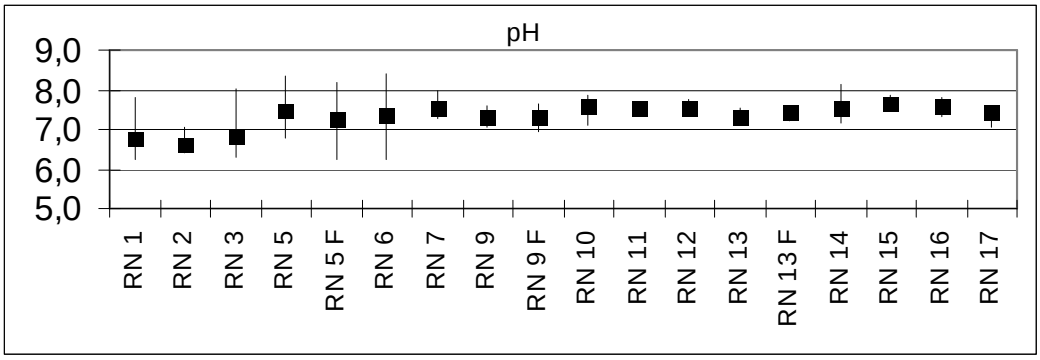

Figura 9. Rango y promedio del pH del Río Negro de cuatro campañas realizadas entre mayo 2009 y agosto 2010, por DINAMA-DECA

Temporalmente, el pH promedio mostró valores promedio gradualmente mayores entre los muestreos de mayo 2009 y agosto 2010 (figura 10), con los rangos dentro de los límites de calidad (6,5-8,5), indicando en general condiciones de buena calidad del agua para el pH. Las excepciones se registraron en las estaciones del ingreso del cauce al país, (RN1, 2 y 3) y en la muestra de fondo del embalse Rincón del Bonete, donde hubieron valores puntuales de 6,2.

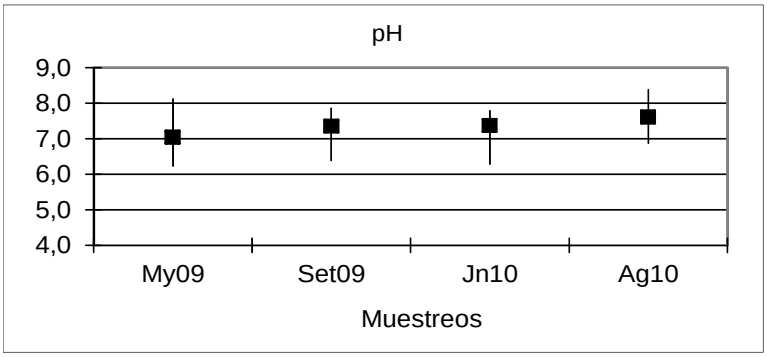

Figura 10. Variación temporal del rango y promedio del pH del Río Negro (n=15).

La conductividad del Río Negro registró un valor mínimo de 42 y máximo de 193 µS/cm ambos en la estación RN1 (figura 11). A lo largo del río este parámetro se incrementó gradualmente a partir de RN3 (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. Evaluar el efecto de la intrusión del Río Uruguay en este punto aportaría información sobre algunos factores que afectarían las características del agua. Del mismo modo, conocer las actividades y el uso del suelo en la alta cuenca, así como el régimen de lluvias y caudales, podría explicar las variaciones de conductividad en la entrada del río al país. Si bien son muy escasos datos para aseverar una explicación, parece haber un patrón: los meses de mayo-junio presentaron las mayores conductividades del Río Negro en su punto de entrada a país.

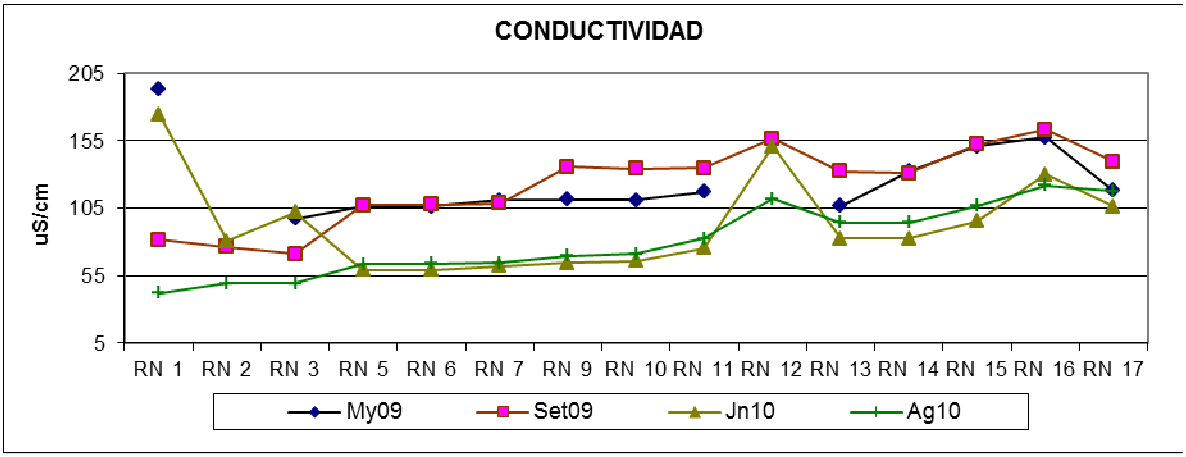

Figura 11. Variación espacial y temporal de la conductividad del agua (mg/l) del Río Negro durante cuatro campañas realizadas entre mayo 2009 y agosto 2010, por DINAMA-DECA

A lo largo del período de estudio, la conductividad del agua mostró un patrón temporal decreciente (figura 12). Los mayores valores estuvieron asociados a los muestreos de 2009, mientras que los menores se registraron en los meses fríos de 2010.

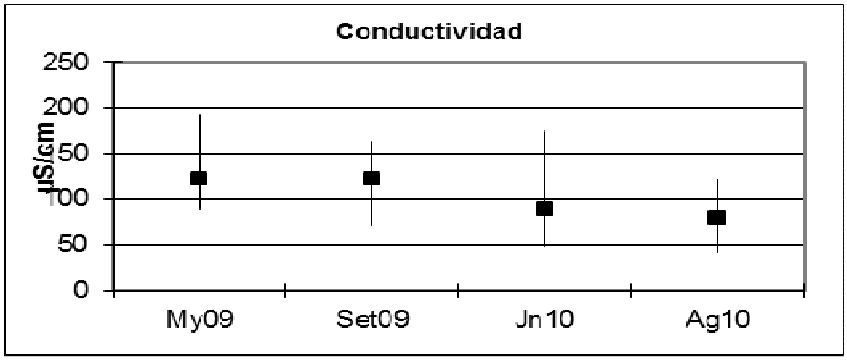

Figura 12. Variación temporal (rango y promedio) de la conductividad del agua del Río Negro (n=15)

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 mg $CaCO_3$/l. Espacialmente los valores más bajos se dieron en las primeras estaciones, siendo el valor en RN2 particularmente bajo respecto al resto (figura 13). Esta estación se ubica próxima a la desembocadura del Río Tacuarembó. De acuerdo con las observaciones de campo registradas en la planilla de muestreo, en estas estaciones 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.

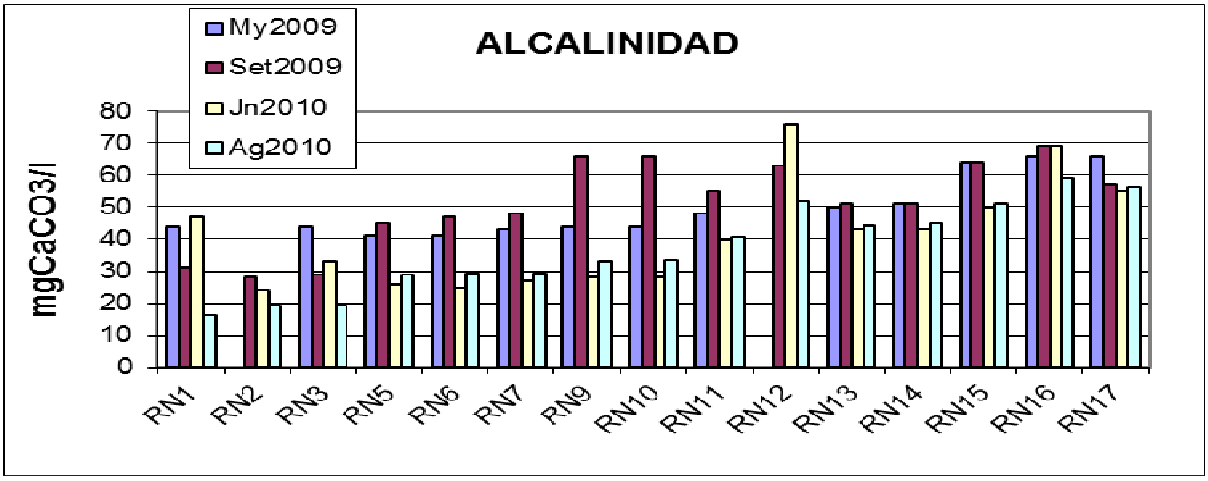

Figura 13. Variación espacial y temporal de la alcalinidad del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

La alcalinidad mostró un gradual incremento de los valores hacia la desembocadura en todas las campañas analizadas. Puede observarse que en setiembre 2009 se incrementó en las estaciones de Baygorria (RN9) respecto a las de aguas arriba, no observándose diferencias entre las mediciones de superficie y fondo en los tres embalses donde se midió (RN5, RN9 y RN13). También se registraron valores más altos en la desembocadura del Río Yi (RN12), en setiembre 2009 y en junio 2010.

Por otra parte, la variación temporal de la alcalinidad registró un incremento en los valores de setiembre con los promedios más altos (figura 14), y una mayor amplitud en el rango de alcalinidad del agua en junio 2010 respecto a los demás.

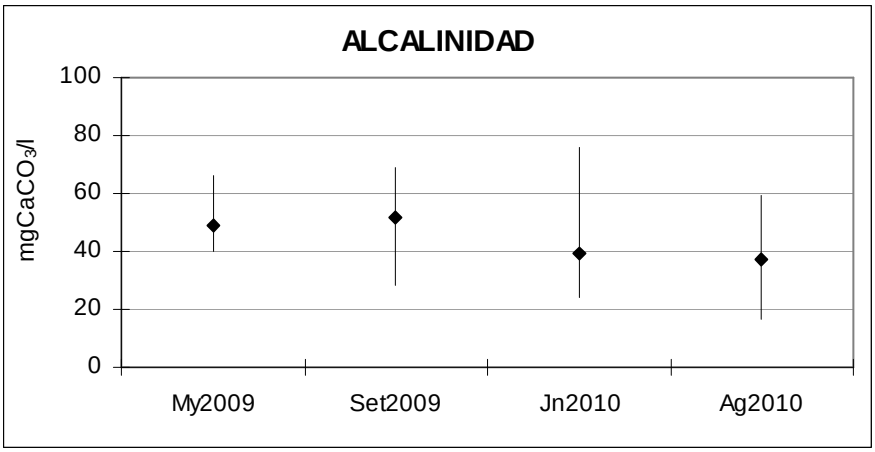

Figura 14. Rango y promedio de la alcalinidad del río Negro para cada período de muestreo (n=15)

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 $mgCaCO_3/l$ 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 $CaCO_3$/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 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 18 mg/l con un promedio de 7 mg/l; mientras que el Magnesio (Mg) presentó un rango de 1 a 5 mg/l, con 3 mg/l de promedio, y sus valores más altos se registraron en setiembre 2009 en Baygorria y aguas abajo (RN9 y 10). La concentración del 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: $Ca > Mg \geq Na > K$.

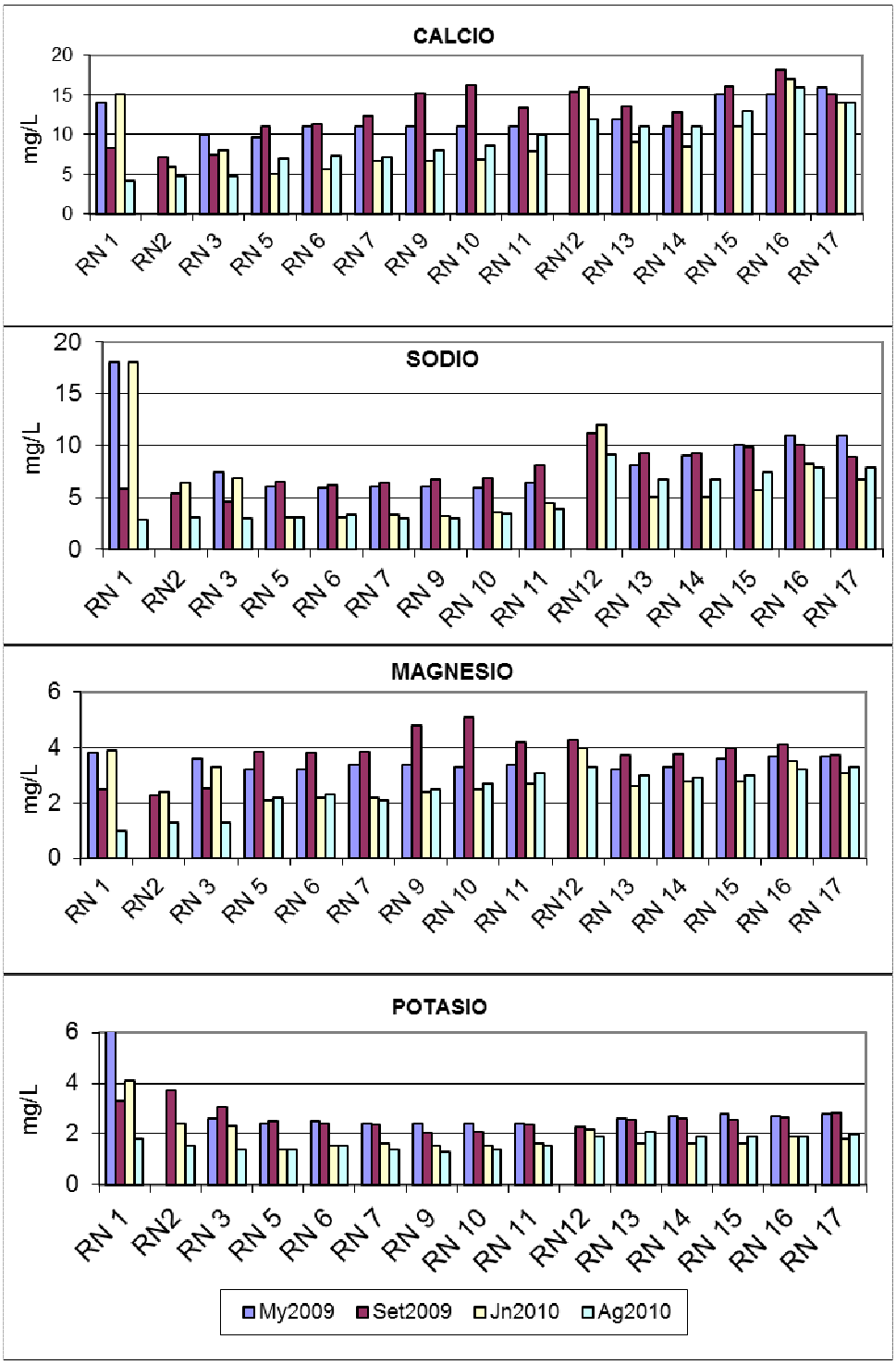

Figura 15. Variación espacial y temporal de la concentración de iones mayoritarios en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

La **concentración de sólidos suspendidos totales** se refiere a la medición en peso (mg) del material disuelto y particulado, de origen mineral u 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). Este parámetro presentó concentraciones mayores 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.

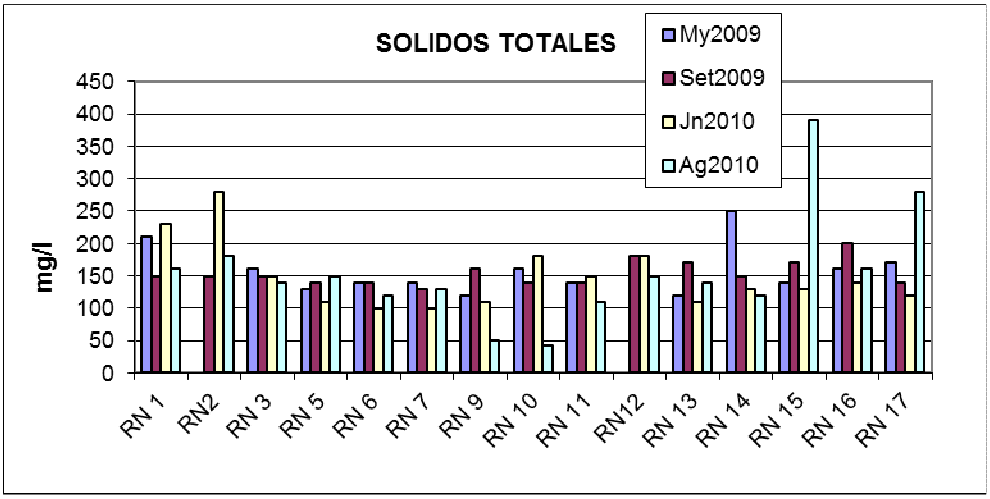

Figura 16. Variación espacial y temporal de la concentración de Sólidos Totales (mg/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010.

También se observó variación temporal en la concentración de sólidos totales. En junio 2010 se registraron valores más altos en las estaciones de ingreso RN1 y 2, mientras que en agosto 2010 las mayores concentraciones de sólidos estuvieron en las estaciones de la desembocadura, RN15 y 17. La composición de los sólidos totales fue casi equitativa entre los sólidos fijos y los volátiles, excepto cuando se registraron los valores más altos, que estuvieron determinados por incrementos en la fracción de volátiles (figura 17). Esto sugiere un incremento de compuestos orgánicos en los sólidos de mayo 2009 en RN14 y de agosto 2010 en RN15 y 17. En general no hubieron diferencias en las concentraciones de sólidos totales entre superficie y fondo, en las estaciones de los embalses.

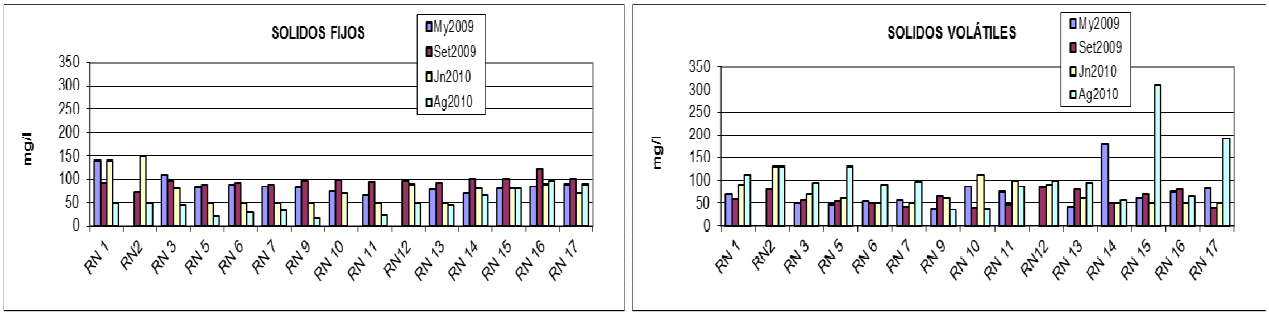

Figura 17. Variación espacial y temporal de la concentración de sólidos fijos totales y sólidos volátiles totales (mg/l) a lo largo del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

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 adsorbidos partículas de diversos compuestos químicos que afectan la calidad del agua del cuerpo receptor. Un conjunto muy importante de esos compuestos integran los denominados "nutrientes", gracias al efecto positivo que tienen para el crecimiento de los organismos productores primarios (vegetales) del suelo y del agua.

Los nutrientes más importantes cuantitativamente para mantener la estructura de los organismos son los denominados macronutrientes: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Fósforo. De ellos, el nitrógeno (N) y fósforo (P) constituyen los nutrientes críticos para el crecimiento vegetal por su baja disponibilidad en el suelo en relación a su alta demanda por los cultivos. Del mismo modo, la concentración de estos nutrientes disueltos en agua tiene incidencia en la productividad de los ecosistemas acuáticos. La falta de nutrientes determina que los sistemas acuáticos sean poco productivos mientras que muy altas concentraciones de los mismos, favorecen el incremento de la biomasa de los productores primarios pero disminuyen la diversidad de los organismos que integran las tramas tróficas. Los nutrientes llegan a los sistemas acuáticos mediante dos tipos de fuentes principales desde su cuenca hidrográfica: las fuentes alóctonas o externas al cuerpo de agua, al que llegan arrastrados por las lluvias (fuentes difusas) o por vertidos (fuentes puntuales), y las fuentes autóctonas o internas del cuerpo de agua, que tienen su origen en los procesos de producción y 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 ug/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 80 ug/l, las estaciones en Baygorria y aguas abajo con concentraciones de 15 ug/l y en RN12 y 13 con 6 ug/l en agosto 2009.

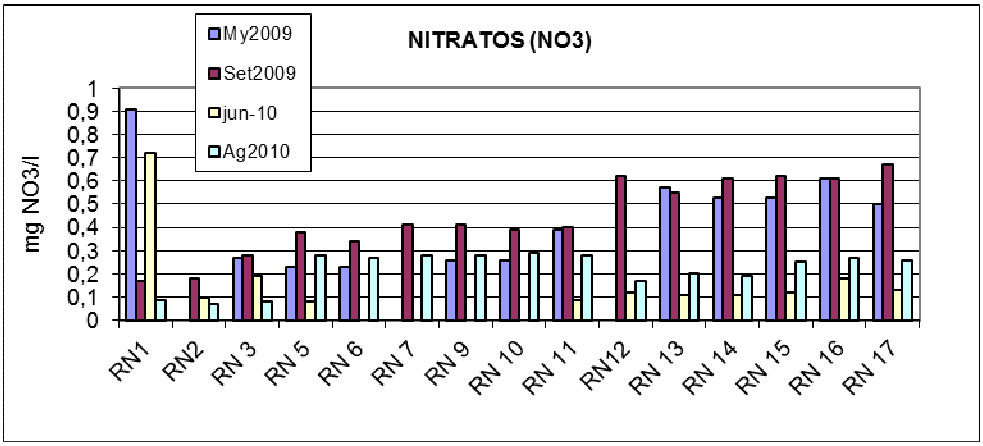

Figura 18. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrato (mgN-NO3/l) a lo largo del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

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 0,07 y 0,91 mg/l, con un valor promedio de 0,32 mg/l y se incrementó desde la estación RN2 hacia la desembocadura del Río Negro (figura 18). Esta tendencia fue más clara en los muestreos de 2009, excepto por los registros de RN1 con altas concentraciones en mayo 2009 y junio 2010. El valor máximo para el sistema, registrado en RN1, estuvo asociado a un muestreo 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 cumple 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 hasta 160 ug/l, siendo los máximos registrados en mayo 2009 en RN1 y 16 (figura 19).

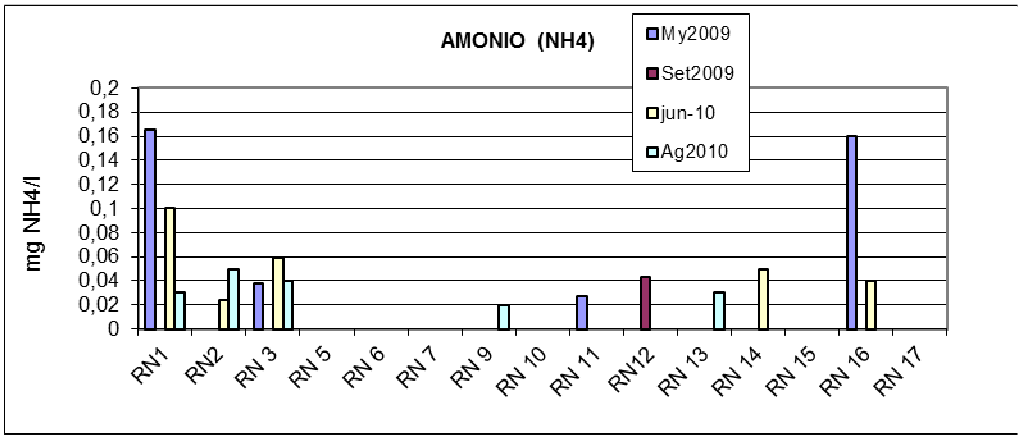

Figura 19. Variación espacial y temporal de la concentración de amonio (mgN-NH_4/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

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 0,48 y 1,73 mg/l, con 0,81 mg/l como valor promedio. 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 se registró el máximo NT en RN1 y coincidió con una importante bajante del río en dicha estación; mientras que en setiembre 2009, cuando se registró otro valor alto, se indicó condiciones de crecida en el mismo punto. Por lo tanto, los datos actuales no permiten establecer correlaciones entre la concentración de nutrientes y el régimen hídrico. No hay datos analíticos del muestreo de junio 2010 (figura 20).

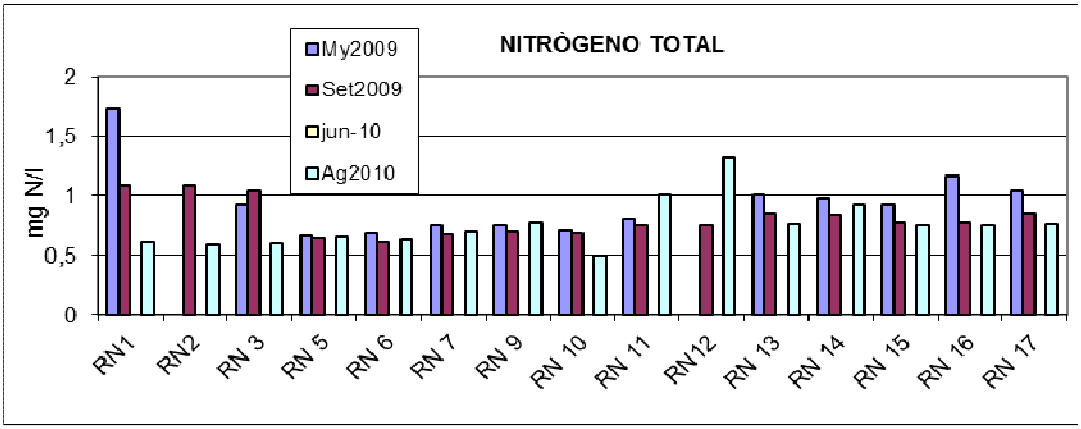

Figura 20. Variación espacial y temporal de la concentración de nitrógeno total (mgN/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

La legislación nacional no establece valores límite de concentración de nitrógeno total como una referencia para establecer la calidad de 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 0,14 y 110 ugP/l, con un valor promedio para los cuatro meses analizados de 0,64 ug/l (figura 21). La concentración analizada en agosto 2010 resultó menor al límite de cuantificación analítico (4 µg/l). 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).

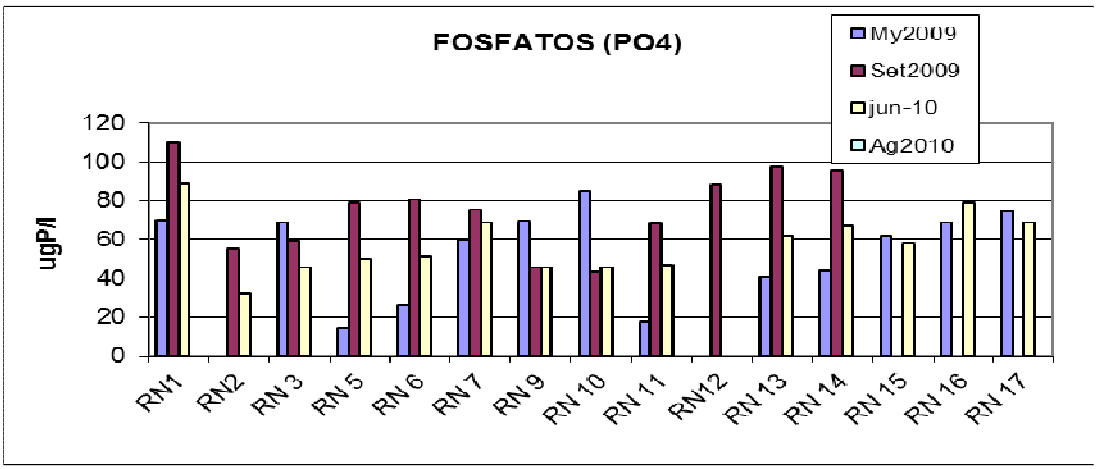

Figura 21. Variación espacial y temporal de la concentración de Fosfatos (mgP-PO_4/l) a lo largo del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

La concentración de PT en el Río Negro, registró valores entre 48 y 913 µg/l, con 158 µg/l de promedio. Las concentraciones máximas se registraron en mayo 2009 aguas abajo del embalse Baygorria (RN10) hasta aguas abajo de Palmar (RN14). En los otros meses analizados la concentración estuvo siempre por debajo de 200 µg/l (figura 22) y especialmente en los meses de 2010 fue inferior a 100 µg/l en casi todas las estaciones analizadas.

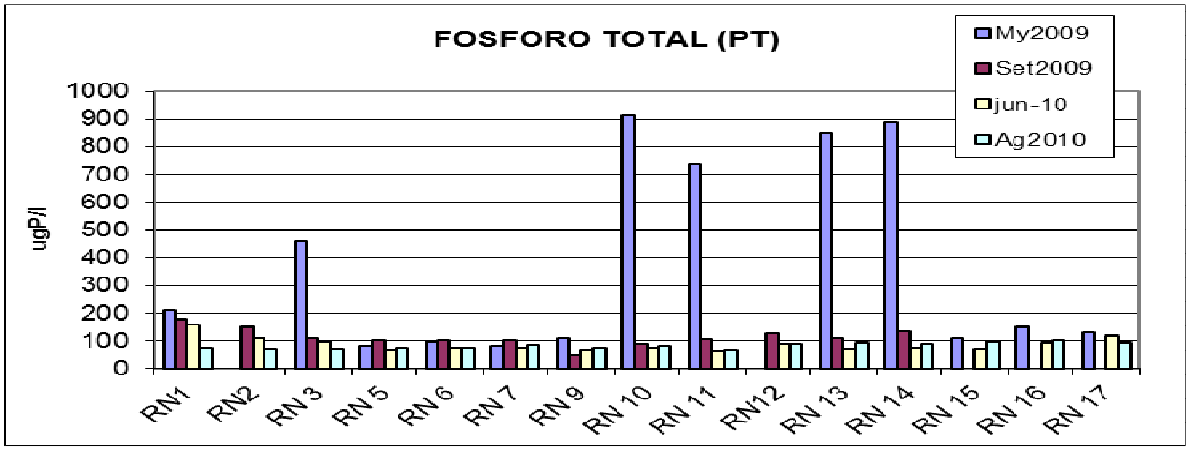

Figura 22. Variación espacial y temporal de la concentración de fósforo total (mgP/l) del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

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 multiinstitucional 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 el Río Negro presentó concentraciones menores al límite de cuantificación (0,10 µg Cloro.*a*/l) hasta 23,8 µg Cloro.*a*/l, con un promedio de 1,91 µg Cloro.*a*/l. No puede establecerse un patrón de variación de este parámetro con la cantidad de información actual, ya que se observaron valores bajos de colorofila en mayo 2009 y altos en junio 2010. Espacialmente se registraron valores altos en RN1, aguas abajo del embalse Rincón del Bonete, aguas arriba del embalse Baygorria y en Palmar (figura 23). 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).

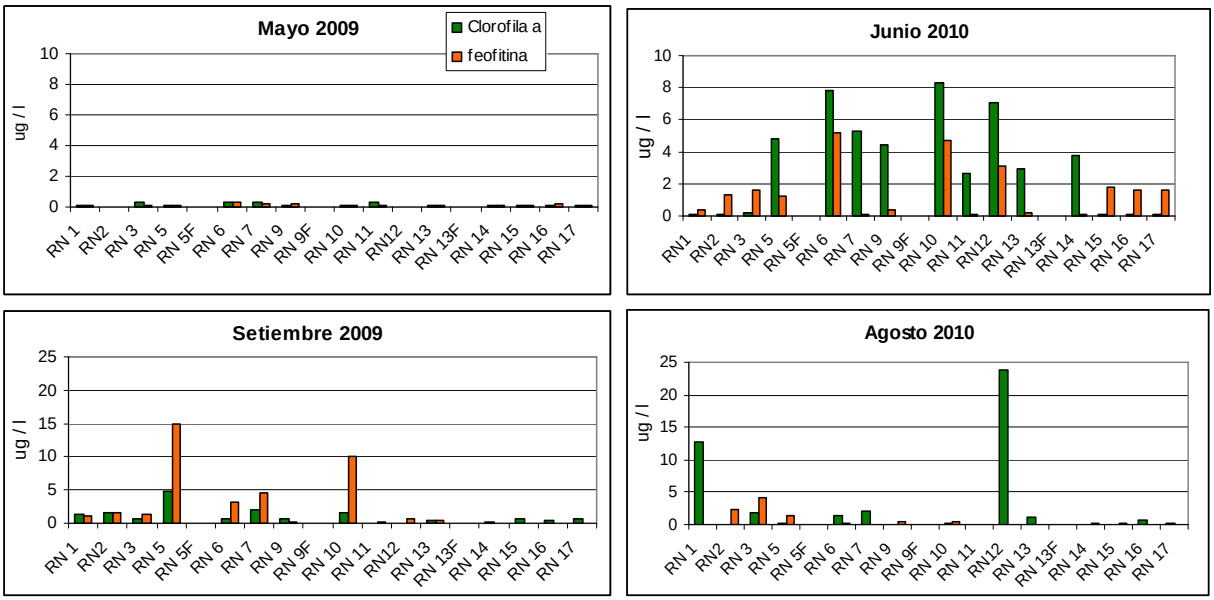

Figura 23. Variación espacial y temporal de la concentración de clorofila *a* y feofitina (µg /l) en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010.

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 sus valores más altos, 15 mg/l, en setiembre 2009 en el embalse Rincón del Bonete y aguas abajo del embalse Baygorria (10 mg/l). La variación de la feofitina tampoco mostró un patrón claro que permita interpretar el efecto del ambiente sobre la comunidad algal (figura 23). No son variables estandarizadas en la legislación vigente como indicadores de calidad de agua.

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). Sin embargo, no hubo coincidencia entre los valores de clorofila y los registros de floraciones del sistema, ya que además los mayores niveles de clorofila se registraron cuando no hubo floraciones de cianobacterias. 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 observaron en sitios diferentes, posiblemente 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

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. 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.

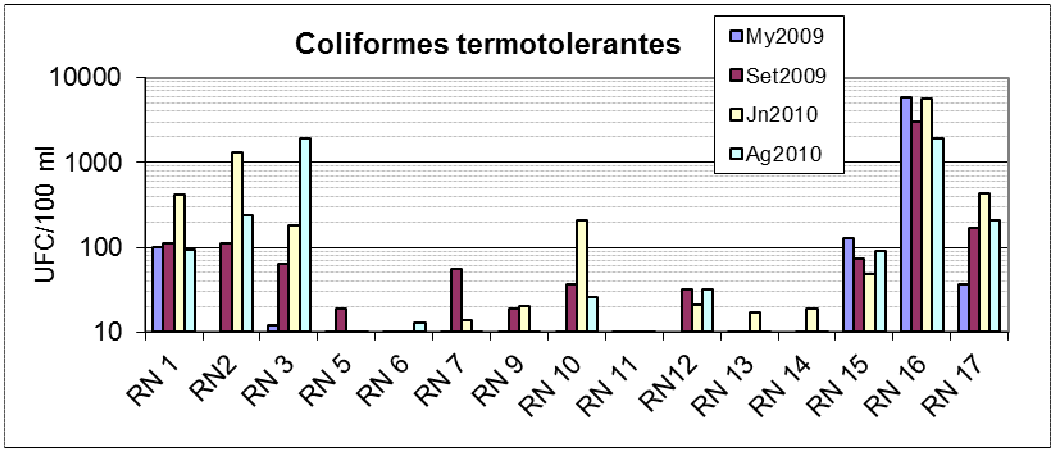

Figura 25. Variación espacial y temporal de la abundancia de Coliformes termotolerantes (UFC/100 ml) del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010.

Los coliformes termotolerantes en el Río Negro registraron su mayor concentración en la estación aguas abajo de Mercedes, en todos los meses analizados hasta la fecha, alcanzando en esta estación las 6000 UFC/100ml. Otros sitios con altas concentraciones de coliformes fueron RN2 y 3, con 1000 y 2000 UFC/100 ml respectivamente (figura 25). 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 para clasificarse de buena calidad. Hasta el momento se tienen 4 datos consecutivos, de ellos alcanzaron y superaron las 2000 UFC/100 ml las muestras tomadas aguas abajo de la ciudad de Mercedes, próximo al punto de salida del colector de aguas residuales (RN16), único sitio que muestra no cumplimiento de las condiciones de calidad para este parámetro.

Los coliformes totales constituyen una comunidad de coliformes presente en los sistemas acuáticos o terrestres, integrada, o no, por 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 coliformes termotolerantes) que se presentó antes.

La concentración de coliformes totales siempre 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, registrándose un valor promedio para todo el sistema de 2750 UFC/100 ml. Otros sitios que presentaron valores altos de coliformes fueron RN1, RN2 y RN3 (figura 26).

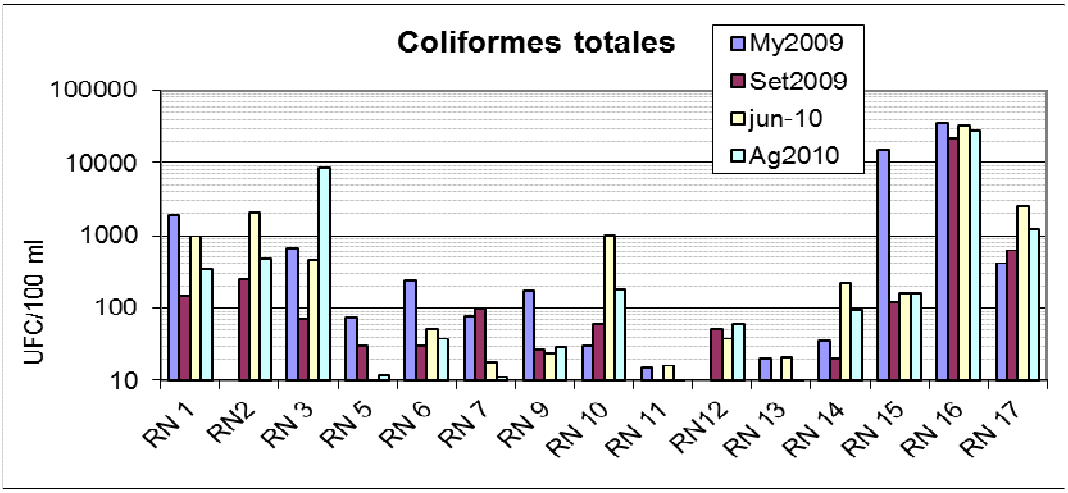

Figura 26. Variación espacial y temporal de la abundancia de coliformes totales (UFC/100 ml) del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010.

La DBO_5 (demanda bioquímica de oxígeno) es una medida del consumo biológico de oxígeno en una muestra de agua durante cinco días, debido a la presencia de microorganismos asociados a la materia orgánica bioquímicamente degradable en el ambiente. Por lo tanto, es una medida indirecta de la concentración de materia orgánica. La DBO_5 en el Río Negro registró valores entre 0,4 y 2,2 mgO_2/l, con los máximos en RN1 y RN2, y con valores crecientes en agosto 2010 hacia las estaciones de la desembocadura (figura 27). La DBO_5 fue en general baja y estuvo siempre en los valores de calidad que establece la legislación (<10 mgO_2/l). La DBO_5 es un dato fundamental en el control de calidad del agua de efluentes o cuerpos receptores de vertidos con altas cargas de materia orgánica. En ambientes naturales, la DBO_5 debería ser baja y en muchos casos indetectable para los métodos convencionales, como ocurrió en la mayoría de las muestras analizadas en el Río Negro.

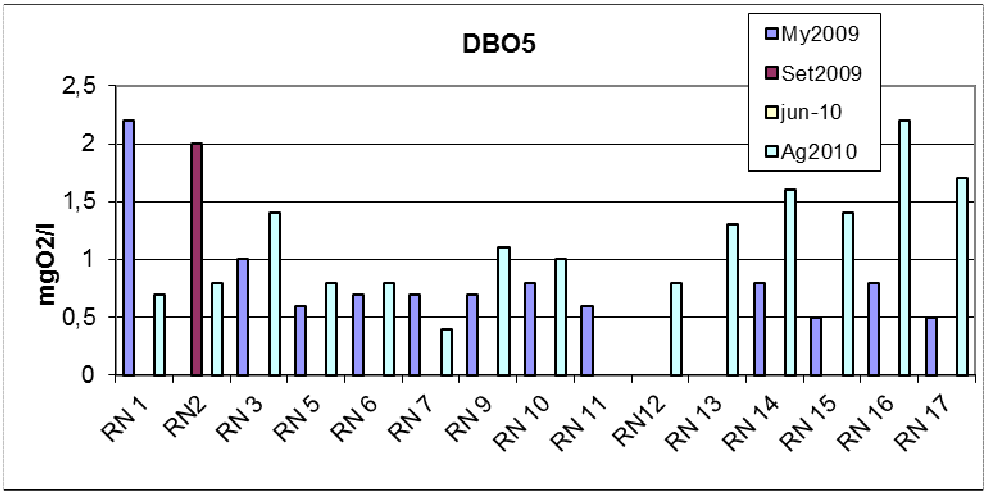

Figura 27. Variación espacial y temporal de la DBO_5 (mg O_2/l) del Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010.

Los **fenoles** son compuestos hidroxi-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 0,034 mg/l, con un valor promedio de 0,0085 mg/l. Los valores más altos variaron en el tiempo y entre las estaciones. Los datos analizados hasta el momento muestran una tendencia a mayores valores en setiembre 2009 en las estaciones del entorno del embalse Palmar (figura 28).

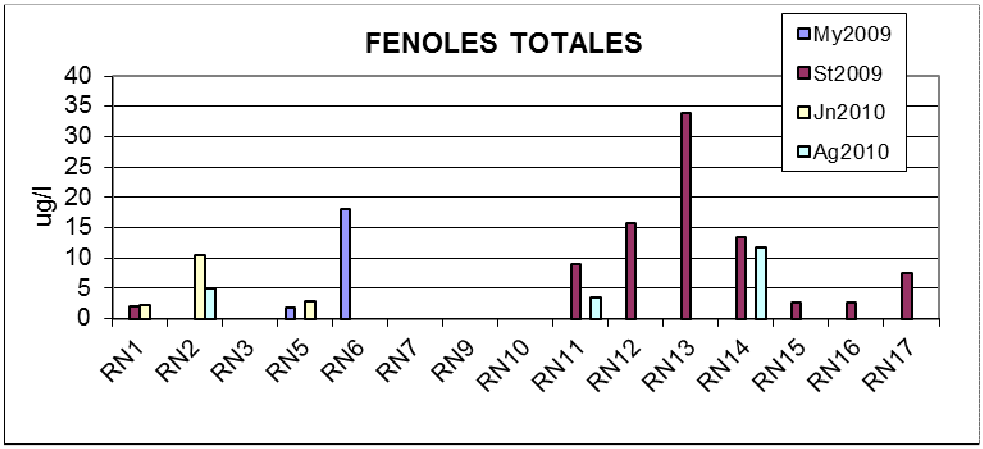

Figura 28. Variación espacial y temporal de la concentración de Fenoles totales (mg/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

La legislación establece un valor límite de concentración de sustancias fenólicas de 0,2 mg/l como C_6H_5OH, por lo cual 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 9 y 52 µg/l, con un valor promedio de 21 µg/l. Los valores más altos y los rangos de mayor amplitud, se registraron en las estaciones de los extremos, principalmente en RN16 y 17 en mayo 2009 y en RN1 y 2 en junio 2010 (figura 29). Se presentaron como incrementos relativamente puntuales en el tiempo, posiblemente asociados a factores o variables no consideradas hasta el momento (período de fumigación, apertura de taipas, movimientos de suelo, etc.). 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 llevaría a respuestas ambiguas con la cantidad de información disponible hasta la fecha. En la alta cuenca del Río Negro, principalmente en territorio brasileño, existe actividad agrícola importante. En el otro extremo del sistema, los altos valores podrían estar asociados a los vertidos desde Mercedes. Sin embargo, deberían ser más constantes y no lo son. Tal vez los altos valores en RN16 y 17 también estén dados por vertidos puntuales (o en cortos períodos de tiempo) de

sustancias halogenadas; o tengan relación con el ingreso de agua desde el río Uruguay. Las hipótesis pueden ser muchas.

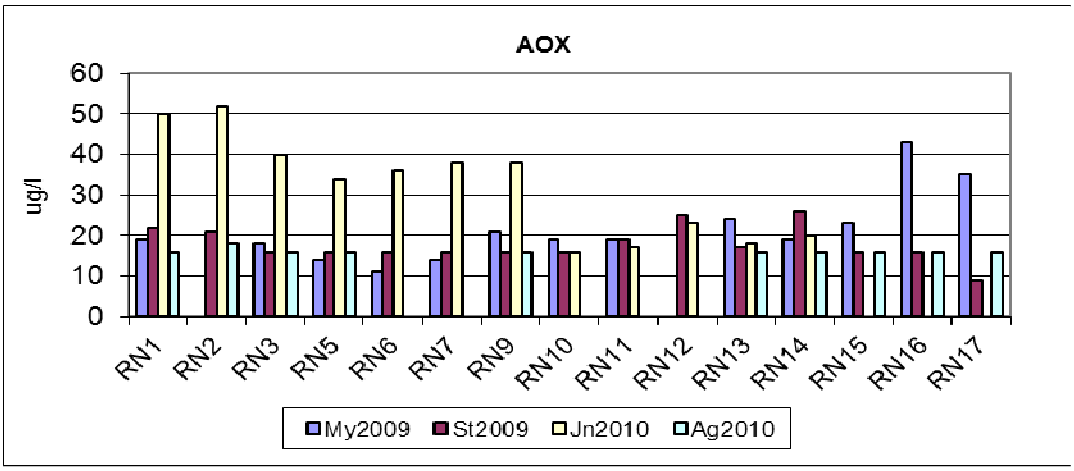

Figura 29. Variación espacial y temporal de la concentración de AOX (µg /l) en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

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 nivel 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 1,83 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). Junio 2010 fue el mes que registró los menores niveles de Fe disuelto (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.

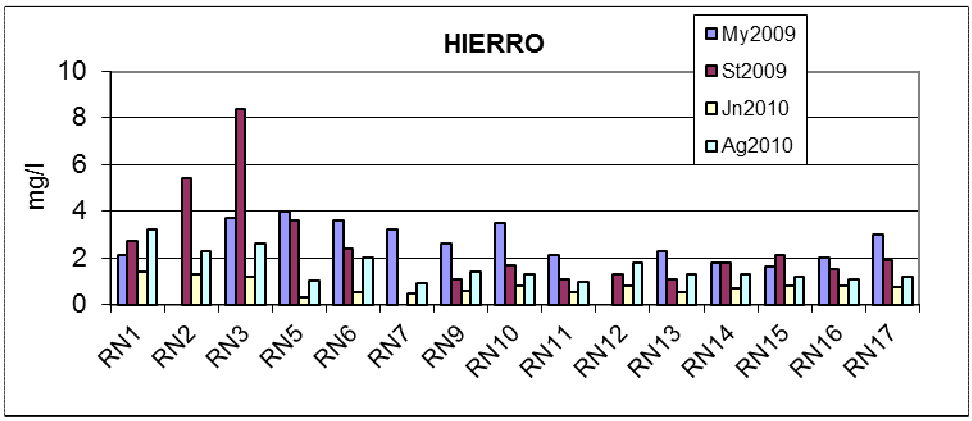

Figura 30. Variación espacial y temporal de la concentración de Hierro (mg Fe/l) en el Río Negro entre mayo 2009 y agosto 2010

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 agosto 2010, 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**	
Niquel (Ni)	0,02 mg/l	0,006	RN6	Agosto 2010
		0,009	RN9	
		0,005	RN9F	
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**	

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, siendo mayor la concentración en aguas superficiales que en aguas de fondo (RN13F). 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 los límites de cuantificación 0,004 mg/l.

PROPUESTAS

De acuerdo con las posibilidades de monitoreo implementada en este período, se han obtenido datos ambientales de dos estaciones del año y con frecuencia heterogénea. A fin de obtener información ambiental representativa de las condiciones del sistema en todas las estaciones del año, se recomienda realizar muestreos en verano y primavera.

En virtud de la importancia de mantener una secuencia regular de datos ambientales, además de los físicos, químicos y biológicos, se propone 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 en días previos al muestreo. Los datos de lluvia y especialmente el tiempo de concentración de la cuenca, también contribuirían a explicar el comportamiento de algunos parámetros asociados con los aportes por escorrentía. O sea, adsorbidos a partículas del suelo.

Además de considerar el dato regular de caudal en los sitios de muestreo, también se sugiere considerar el caudal del Río Tacuarembó y Yi. 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.

La turbidez es un parámetro reglamentado por la legislación y de fácil registro o medición. Dado que representa otro parámetro para establecer la calidad del agua, se propone incorporarlo como un parámetro de medición regular en todos los muestreos.

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.

En relación a los índices, a medida que se obtengan más datos de este sistema, se estará en condiciones de aplicar un Índice de Calidad de Agua que permita compararlo con otros ambientes que DINAMA está monitoreando a nivel nacional. Por lo cual será fundamental la continuidad y regularidad del programa, incluyendo datos de todas las estaciones del año.

La determinación de indicadores biológicos para este sistema ha sido planteado mediante una propuesta de 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. Se sugiere reactivar los procedimientos para la firma y puesta en marcha del convenio.

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.

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. Petrere. 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, 2011. Evaluación de la calidad del agua del Río Cuareim - Período 2006-2010. 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 Nº 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. Martinez. 1999. Phytoplankton community of a polymictic resorvoir, La Plata river basin, Uruguay. Rev. Brasil. Biol; 59(4): 535-541.