



CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E HÍDRICA EN ARGENTINA TOMO III

Contribuciones del V Congreso PROIMCA y III
Congreso PRODECA

2015



UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA
NACIONAL

Allende, Puliafito, Panigatti Editores

**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E HÍDRICA EN
ARGENTINA
TOMO III**

Contribuciones del V Congreso PROIMCA y III Congreso PRODECA

2015





UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E HÍDRICA EN ARGENTINA

TOMO III

2015



Selección de artículos completos y resúmenes del Quinto Congreso del Proyecto Integrador para la Mitigación de la Contaminación Atmosférica (PROIMCA) y Tercer Congreso del Proyecto Integrador para la Determinación de la Calidad del Agua (PRODECA)

Realizado en La Rioja, Argentina, el 11, 12 y 13 de agosto de 2015

Editores / Compiladores

Dr. Ing. David Allende Dr. Ing. S. Enrique Puliafito, y
Dra. M. Cecilia Panigatti

Organizado por

Programa de Medio Ambiente, Contingencias y
Desarrollo Sustentable Secretaría de Ciencia,
Tecnología y Posgrado

Organización local

Grupo de Actividades Interdisciplinarias Ambientales -
GAIA - Facultad Regional La Rioja



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

2015



Copyright @ Universidad Tecnológica Nacional, 2015. Todos los derechos de este libro están reservados. Sólo está permitida la reproducción parcial o total de este libro con fines Académicos siempre que se mencione el origen. Primera Edición: Agosto de 2015.

Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina : Contribuciones del V Congreso PROIMCA y III Congreso PRODECA / Enrique Puliafito ... [et al.] ; compilado por David Allende; Enrique Puliafito; M. Cecilia Panigatti; editado por David Allende; Enrique Puliafito ; M. Cecilia Panigatti. - 1a ed. -

Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza, 2015.

CD-I, PDF

ISBN 978-950-42-0163-2



1. Contaminación Atmosférica. 2. Contaminación del Agua. 3. Contaminación del Aire. I. Puliafito, Enrique II. Allende, David, comp. III. Puliafito, Enrique, comp. IV. Panigatti, Cecilia , comp. V. Allende, David, ed. VI. Puliafito, Enrique, ed. VII. Panigatti, Cecilia , ed.
CDD 551

CALIDAD DEL AGUA DEBIDA AL EFECTO DE LAS CIANOBACTERIAS EN EL TRAMO DE ESTUDIO CONCORDIA- SALTO, GUALEGUAYCHU-FRAY BENTOS

**Confalonieri, Romeo A; Duarte, Diego; Pavón Mena, Luciano N; Schild, Cristian J;
Cardini, Julio C; Zabalett Alejandro**

Grupo de Estudio de la Contaminación del Río Uruguay (GECRU)
Facultad Regional Concepción del Uruguay (FRCU)
Universidad Tecnológica Nacional,
Ingeniero Pereira 676 (CP 3260) TE/Fax: 03442425541 / 03442423803
e-mail: romeoc2211@gmail.com; lucianopavon@gmail.com

Resumen: *El río Uruguay se ve cada vez más afectado por las algas. Para esta investigación se recurrió al método científico. Utilizando estrategias de investigación experimental registrando los hechos y fenómenos observados, y analizando bases de datos precedentes. Los muestreos se realizaron en puntos específicos; comparándose estos con los parámetros teóricos y empíricos disponibles, generando una base de datos georreferenciada en el software QGIS. A través de la modelación matemática, utilizando el software WASP, obtuvimos predicciones del estado del curso de acuerdo a las variaciones de los parámetros tales como concentración algal en el embalse y temperatura del curso de agua ambos durante situación de estiaje y crecida. Cuando la concentración de algas en el embalse es alta, impacta sobre la calidad del agua del río. La modelación matemática se realizó planteando hipótesis para época de estiaje y crecida que surgen de la variación de la temperatura del agua y la concentración de clorofila a en el embalse, considerado como borde en la modelación. Se observó mayor crecimiento algal en el río cuando el embalse presentaba altas concentraciones de clorofila a y a temperatura del agua elevada para la situación de estiaje, siendo estos valores inferiores para la época de crecidas.*

Palabras clave: calidad de agua, floración algal, río Uruguay, modelación matemática, SIG.

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Entre Ríos, por las características geográficas que la representan, está íntimamente vinculada con las actividades propias de los grandes cursos de aguas, en este caso de estudio, en contacto con el río Uruguay. La calidad de agua para las ciudades ribereñas es uno de los factores más importantes que condicionan la vida de las poblaciones, que como principales usos se tienen el consumo humano, la recreación de los pobladores y el uso como cuerpo receptor de los efluentes líquidos generados por la población, por lo tanto resulta vital el estudio de este recurso natural.

Por este motivo, en el marco del proyecto que lleva adelante el Grupo de Estudio

Contaminación del Río Uruguay (GECRU), se han realizado estudios sobre calidad de agua en busca de determinar el impacto generado por las floraciones algales.

Las floraciones de microalgas, también conocidas como “blooms”, son eventos de multiplicación y acumulación de estos organismos planctónicos. Son fenómenos naturales que ocurren ante determinadas condiciones ambientales que favorecen el crecimiento de algunas especies más que otras. De acuerdo a diversas investigaciones, el importante incremento en la frecuencia de aparición y duración de estos fenómenos a escala mundial está fuertemente asociado al incremento de las condiciones que generan eutrofización de los cuerpos de agua más que al efecto del calentamiento global, fenómeno que incide en forma secundaria.

En el presente desarrollo se realizaron muestreos y análisis de la información obtenida en los trabajos de campo los que luego fueron ordenados y sistematizados en una base de datos georeferenciada mediante el software QGIS.

Con la información obtenida y la heredada de investigaciones anteriores realizadas por el GECRU, se realizó la modelación matemática implementando el software WASP con el cual se plantearon escenarios e hipótesis utilizando como parámetros la temperatura del agua, la concentración de clorofila a ingresante al tramo inferior del río desde el embalse de Salto Grande, en épocas de crecida y estiaje, analizando el efecto de los nutrientes principales nitrógeno (N) y fósforo (P).

Actualmente se continúa con la investigación realizando nuevos trabajos de campo y la implementación de un nuevo software de modelación de la calidad del agua (HEC-RAS).

2. OBJETIVOS

El objetivo general de esta línea de investigación es el estudio y evaluación de la dispersión y concentración de nutrientes y parámetros indicadores de calidad de aguas, durante eventos extraordinarios de floración algal sobre el río Uruguay en el tramo Concordia-Salto a Gualaguaychú-Fray Bentos, debido principalmente a las descargas puntuales y distribuidas provenientes de aguas residuales domésticas que son vertidas directa o indirectamente al sistema acuático.

3. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio contemplada en esta investigación recorre el tramo del río Uruguay entre Concordia-Salto a Gualaguaychú-Fray Bentos, ilustrado en la siguiente figura N° 1. También se realizaron trabajos en el embalse Salto Grande a fin de determinar los parámetros necesarios para esta investigación.

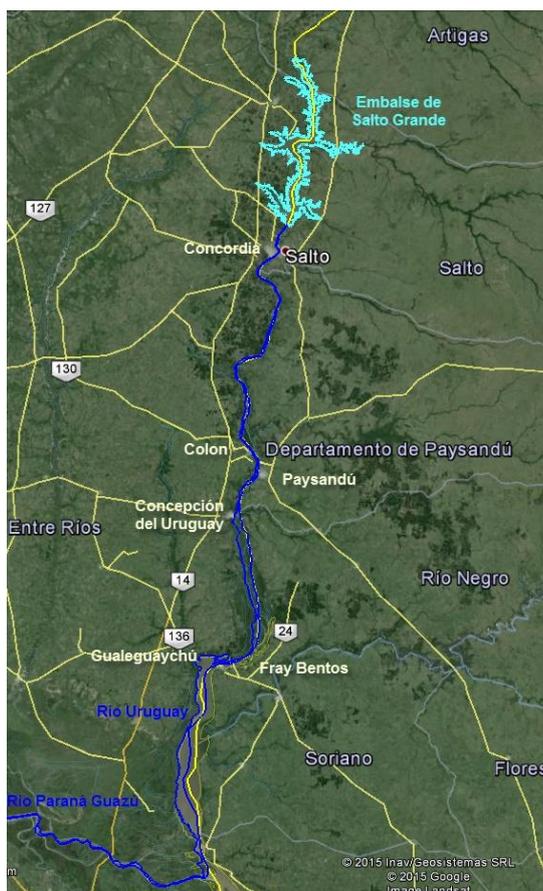


Figura N° 1. Ubicación del área de estudio y embalse de Salto Grande.

4. MATERIALES Y METODOS

El presente análisis tiene como objeto realizar un relevamiento de la presencia de cianobacterias en el río Uruguay y su concentración en los puntos estudiados para luego contrastar estos valores con los resultados provistos por un software de modelación unidimensional de la evolución de la clorofila a y por otro lado obtener una base de datos georreferenciada a través del software específico.

4.1. Equipamiento

Se ha utilizado el fluorómetro ligero y de mano, Aquafluor. Este posee un doble canal que permite al usuario medir ya sea fluorescencia o turbidez en una muestra.

Este equipo puede configurarse con cualquiera de los dos canales de la siguiente manera: en vivo, clorofila a, extracción clorofila a, las cianobacterias (o ficocianina ficoeritrina), turbidez, Rodamina WT, fluoresceína, Amonio, CDOM, brillantadores ópticos o PTSA.

Consta de un recinto donde se introduce una cubeta de sección cuadrada que contiene el elemento a analizar, una pantalla LCD de 2 líneas por 16 caracteres, y un teclado para operar el dispositivo.

Además se utiliza el Xplorer GLX como dispositivo de recepción y análisis de datos obtenidos desde los distintos sensores que a él se conectan, que genera una base de datos y entrega valores numéricos con las unidades que el usuario determine.



Figura N° 2. Aquafluor



Figura N° 3. Sensor de turbiedad



Figura N° 4. Xplorer GLX



Figura N° 5. Sensor multiparámetro

4.2. Perfil patrón de muestreo

Como resultado de las experiencias realizadas, se estableció un patrón de muestreo que permitió obtener un conocimiento básico de la distribución de la clorofila a en cada uno de los puntos geográficos de muestreo, el cual consiste en tomar 4 muestras en sentido transversal a la orilla del río como se muestra en la Figura 6, cada una de ellas se lee 5 veces con el Aquafluor, y se toma nota de los valores obtenidos.

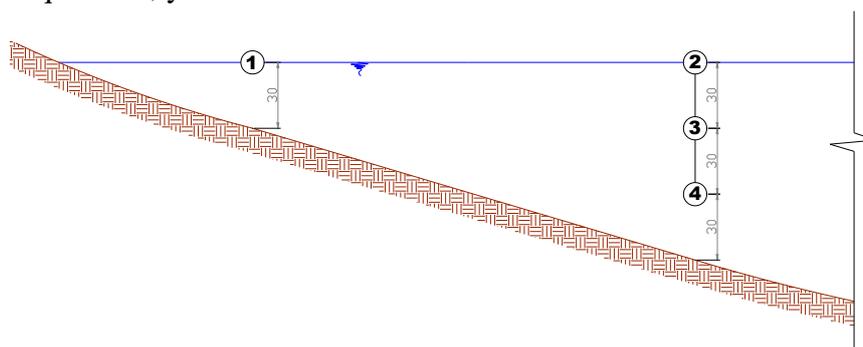


Figura N° 6. Perfil patrón de muestreo

Se realizó un análisis probabilístico de los valores obtenidos en las campañas, obteniendo promedios, medias y desvío estándar, permitiendo descartar valores que se encuentren fuera de la desviación estándar del muestreo realizado en cada punto geográfico, reduciendo así la posibilidad de tener datos erróneos o fuera de contexto.

4.2. Muestreo en el tramo de estudio

Habiendo adoptado una metodología de muestreo mediante la utilización del perfil transversal, una nomenclatura de identificación de muestras, el correcto conocimiento del equipamiento y la identificación de los puntos en los cuales realizar las lecturas, se realizó una campaña abarcando 12 puntos a lo largo del tramo de estudio.

Se definió la ubicación geográfica de los puntos de muestreo considerando lugares que permitieran su acceso por vía terrestre y fueran zonas donde se desempeñen actividades, ya sea de uso recreativo, balnearios y campings o zonas de pesca, o bien donde existiera una toma de agua cercana destinada al agua de consumo; cabe destacar la importancia de la evaluación de puntos con estas dos últimas características para la presente investigación.

En la tabla 1 se presentan los rangos de los parámetros obtenidos en la primera campaña.

4.2.1. Resultados obtenidos

Resumen de los valores máximos y mínimos obtenidos para cada parámetro en los muestreos realizados el día 5 de mayo de 2013.	Parámetros		Max	Min
	FL	Clorofila a*	168,4	35,9
	TW	Temperatura del agua (°C)	21,20	18,20
	TU	Turbiedad (NTU)	60,40	13,30
	TA	Temperatura ambiente (°C)	23,50	15,70
	PR	Presión atmosférica (HPa)	1026	1017
	VA	Velocidad del viento (m/s)	3,50	0,00

Tabla N° 1. Resultados de parámetros en el tramo de estudio.

(*): Este instrumento calibrado mediante un sólido estándar, entrega valores relativos de lectura que son proporcionales a la concentración real de clorofila a en la muestra de agua.

4.2.2. Relevamiento fotográfico (ejemplo)



Figura N° 7. Imagen del sitio de muestreo del punto P3-RU (Concordia)



Figura N° 8. Imagen del sitio de muestreo del punto P9-RU (Banco Pelay)

4.3. Muestreo en el tramo de estudio y embalse Salto Grande

Luego del muestreo realizado en el tramo de estudio se realizó un muestreo que permitiera comparar las condiciones en el embalse y en el río en una misma fecha y bajo las mismas condiciones climatológicas. La campaña abarcó 12 puntos de los cuales 4 correspondieron al embalse Salto Grande y 8 distribuidos a lo largo del tramo de estudio en el río Uruguay.

4.3.1. Resultados obtenidos

Resumen de los valores máximos y mínimos obtenidos para cada parámetro en los muestreos realizados el día 26 de enero de 2014.	Parámetros		Max	Min
	FL	Clorofila a	450,6	30,2
	TW	Temperatura del agua (°C)	28,20	19,00
	TU	Turbiedad (NTU)	57,00	12,70
	TA	Temperatura ambiente (°C)	29,60	16,00
	PR	Presión atmosférica (HPa)	1018	1012
	VA	Velocidad del viento (m/s)	5,10	0,00

Tabla N° 2. Resultados de parámetros en el embalse Salto Grande.

4.3.2. Relevamiento fotográfico



Figura N° 9. Estado del agua durante el muestreo



Figura N° 10. Obtención de muestra

5. SOFTWARE UTILIZADO PARA LA REPRESENTACIÓN DE LOS DATOS

5.1. Aplicación de Qgis

Para la elaboración de mapas de calidad de agua, y sistematizar la información geográfica disponible recopilada, se aplicó el Sistema de Información geográfica (SIG – QGIS), software de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, MacOS y Microsoft Windows.

5.1.1. Información recopilada

La información recopilada se incorpora a archivos de formato shapefile (la que se obtuvo de bases de datos de campañas anteriores del GEGRU, de Entes Reguladores Binacionales y de

recreativas.

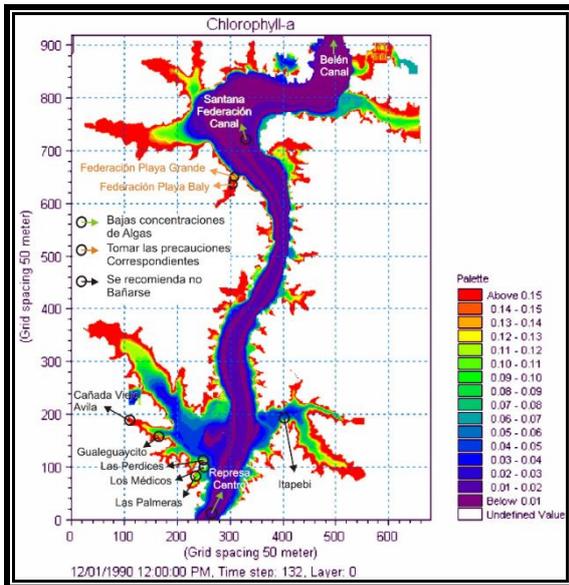


Figura N° 12. Ilustración de la concentración de Clorofila a obtenido mediante MIKE 3

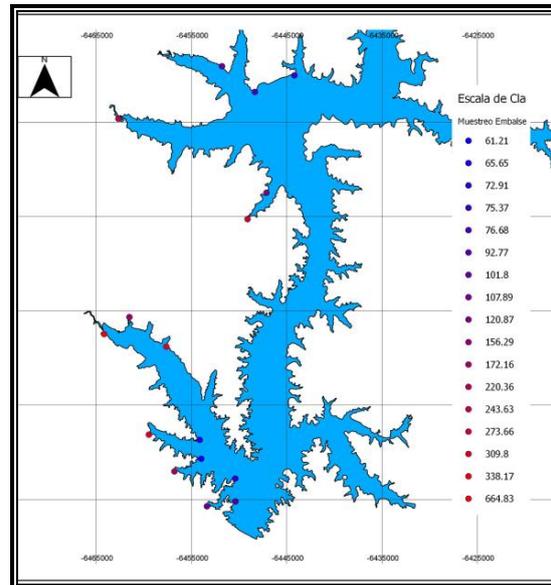


Figura N° 13. Ilustración de la concentración de Clorofila a representada mediante QGIS

En QGIS se adoptó la misma escala de colores y se logró referenciar las concentraciones presentes en cada punto de muestreo, a fin de denotar rápidamente en qué situación se encuentra el embalse para la fecha de muestreo. En base a los valores obtenidos de las campañas de muestreo realizadas en el embalse Salto Grande, se analizaron las variables estadísticas resultado la siguiente planilla de concentración de clorofila a.

Sitios Entrantes		Sitios Salientes	
P2-GS	107,89	P1 -GS	92,77
P4-GS	220,36	P3-GS	72,91
P6-GS	309,80	P5-GS	61,21
P8-GS	664,83	P7-GS	65,65
P9-GS	172,16	P15-GS	76,68
P10-GS	338,17	P16-GS	75,37
P11-GS	273,66	P17-GS	-
P12-GS	120,87	P19-GS	-
P13-GS	243,63	-	-
P14-GS	101,80	-	-
P18-GS	156,29	-	-
Promedio	246,31	Promedio	74,10
Desvío Estándar	160,76	Desvío Estándar	10,92
Máximo	664,83	Máximo	92,77
Mínimo	101,80	Mínimo	61,21

Tabla N° 3. Valores de muestreos realizado en el embalse Salto Grande

Lo observado en la Figura 12 respecto a la diferencia en la concentración de clorofila a en las entrantes y salientes (o puntas) que presenta el embalse, se ilustra en la Figura 14, que muestra los valores máximos, mínimos, promedio y desvío estándar para cada sector.

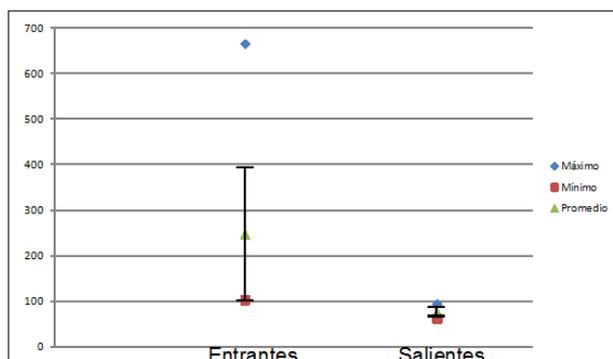


Figura 14. Representación de los valores máximo, mínimo, promedio y desvío estándar (líneas verticales) de los valores de concentración de clorofila a en las entrantes y salientes.

De los valores obtenidos en el muestreo, se observa en primer término, la diferencia de magnitud según la ubicación y en segundo lugar, que el mínimo en las entrantes es mayor que el máximo en las salientes, lo cual muestra claramente que la mayor probabilidad de presencia de cianobacterias se encuentra en las entrantes. El desvío estándar muestra una mayor uniformidad de las concentraciones en las salientes donde las aguas son más turbulentas.

5.1.3.2. Análisis del Río Uruguay

En las figuras 15 y 16 se presentan los valores de concentración de clorofila a obtenidos en el último muestreo (26-01-2014), el cual comprendió parte del embalse y del tramo de estudio del río Uruguay. Cabe destacar la diferencia que presentan los puntos analizados en el embalse, cuyos valores superan ampliamente los obtenidos en el tramo del río Uruguay, lo que evidencia que la zona ubicada aguas arriba de la represa es mayormente propensa a la presencia de cianobacterias y es donde se debe hacer mayor hincapié en su control y estudio.

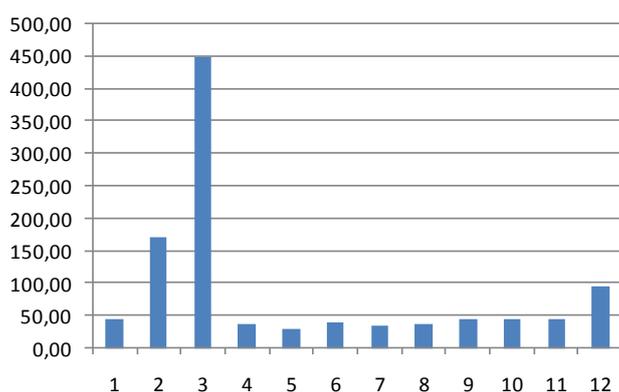


Figura N° 15. Concentración de Clorofila a en el embalse y el río Uruguay (RU).

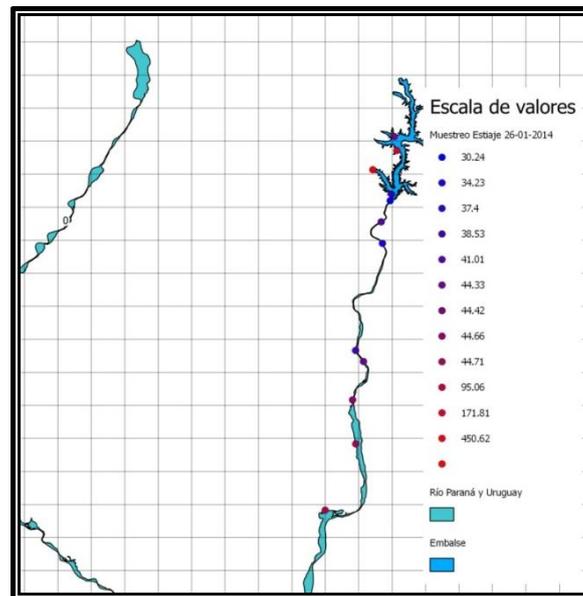


Figura N° 16. Ilustración de concentración de clorofila a en el RU obtenido en QGIS

5.2. Aplicación del modelo WASP

El software WASP es un sistema computacional capaz de predecir y simular el transporte de escalares presentes en diferentes cuerpos de agua.

En este proyecto la simulación se llevó a cabo en el primer nivel de complejidad, es decir cinética simple de eutrofización, la cual simula el crecimiento y la muerte de fitoplancton interactuando con uno de los ciclos de nutrientes.

Se adoptaron para la modelación el nitrógeno (N) y fósforo (P), pero como el contenido en la materia viva de dichos nutrientes posee la relación N:P = 14:1; de aquí se deduce que se necesita más nitrógeno que fósforo, por lo que este sería el deficitario. Por lo tanto, en este trabajo se ha considerado al fósforo como nutriente limitante del crecimiento de algas.

La simulación se basa en el modelado en aguas superficiales, no considerando el fenómeno de decantación, por lo que tampoco se consideró la zona béntica.

5.2.1. Escenarios, Hipótesis y Simulaciones

Se plantea la modelación de tres situaciones hidrométricas en el río Uruguay, *ESTIAJE*, *CRECIDA* y una tercera que se ajusta a la época en que se realizaron las campañas de toma de muestras para el proyecto (al que llamamos *MEDIO-INVERNAL*). Los primeros dos escenarios fueron modelados en verano, mientras que el tercero en invierno. La diferencia se basa en las horas luz de solar en el día y la temperatura ambiente.

Se adoptó para el escenario de estiaje un caudal de 1500 m³/s, para el escenario de crecida un caudal de 8000 m³/s, y para el escenario medio-invernal un caudal de 5000 m³/s, los mismos fueron generados por el GECRU, mediante el software unidimensional hidrodinámico MIKE11.

Para el nivel del embalse en la presa se adoptó un valor de 34 m de cota referida al cero IGN. Dado el formato de ingreso de datos hidrodinámicos del WASP, se discretizó al tramo de estudio (Uruguay superior – Uruguay Medio Principal – Uruguay inferior) en 68 segmentos volumétricos, cada uno con los datos brindados por el MIKE 11, los cuales son: caudal, nivel, velocidad, coeficiente de rugosidad, área, ancho, longitud y pendiente.

En cuanto a las descargas cloacales, se cargaron las correspondientes a las ciudades; Concordia-Salto, Colón, Paysandú y Concepción del Uruguay, para los distintos escenarios planteados. Los datos de caudales correspondientes a las descargas fueron tomados de la base de datos del grupo GECRU [6]. Se aplicó la interpolación para hallar el caudal del año en estudio, 2013, en función de las proyecciones de población (Tabla 4).

CIUDAD / PUNTO DE DESCARGA	TRAMO WASP	Qc [m ³ /s]
CONCORDIA	0-6400	0,340
SALTO	0-6400	0,173
COLON	115000-116000	0,037
PAYSANDU	125000-127000	0,199
CDELU	145000-146000	0,178

Tabla N° 4. Caudales medios diarios anuales para las distintas ciudades en estudio para el año 2013.

Para que éstos sean correctamente cargados en el WASP, se transformaron los mismos en cargas másicas. Luego, teniendo la información sobre concentraciones características de los distintos nutrientes de las aguas residuales en mg/L, se realizó el producto, obteniendo la carga másica kg/s y finalmente se convirtió en caudal másico diario kg/día.

Hipótesis. Existen dos parámetros importantes como hipótesis de modelización. Ellos son la clorofila a (Condición de borde – Represa Salto Grande), y la temperatura del agua (Parámetro físico del segmento).

Los mismos se establecieron como escenarios considerando los siguientes fundamentos:

- El aumento de la temperatura del agua es un parámetro fuertemente vinculado al crecimiento de floraciones algales. Los valores máximos y mínimos de temperatura de agua utilizados en las hipótesis, se determinaron mediante las campañas realizadas por el grupo.

- La clorofila a es un pigmento de las algas (Cianobacterias) que le da un color verde oscuro al agua, por lo tanto es un indicador fácilmente detectable que indica la presencia de algas en el agua. Por ello es importante tenerlo en cuenta para el planteamiento de las hipótesis, considerando el aporte desde el embalse de Salto Grande.

Para tener en cuenta estos dos parámetros se plantearon las siguientes hipótesis:

- H1: Temperatura mínima del agua (19 °C). Clorofila a mínima (37,4ug/L)
- H2: Temperatura máxima del agua (28°C). Clorofila a mínima (37,4 ug/L)
- H3: Temperatura mínima del agua (19°C). Clorofila a máxima (100,6 ug/L)
- H4: Temperatura máxima del agua (28°C). Clorofila a máxima (100,6 ug/L)

Simulaciones con el WASP. Para el análisis de la sensibilidad del WASP se adoptó el criterio de realizar 2 grupos de corridas, el A y el B. Estos grupos responden a dos configuraciones distintas de los Parámetros de Transformación. El grupo B consiste en una configuración más

conservadora de parámetros que el grupo A. Es decir, en el grupo A se tomaron en cuenta ciertos parámetros que se omitieron en el grupo B. Particularmente, en el grupo A se consideró la mortalidad de las algas, y en el grupo B no se incluyó la misma. Con este planteo, se busca analizar la influencia de los parámetros incluidos en el grupo A sobre los valores de salida que resultan de la modelación.

Con los tres escenarios y las cuatro hipótesis se crearon 10 archivos para simular con la configuración de parámetros del grupo A y 10 archivos para simular con la configuración de parámetros del grupo B descritas anteriormente.

Para los escenarios de estiaje y crecida se planteó la corrida de las cuatro hipótesis. Para el escenario de la época de muestreos, es decir medio-invernal, sólo se planteó la corrida de las hipótesis H1 y H3, esto debido a que la diferencia de los escenarios de crecida y de estiaje, en el escenario medio-invernal se consideró una modelación invernal y las hipótesis H1 y H3 son las que consideran temperaturas mínimas.

5.2.2. Procedimiento

Lo primero que se hizo fue colocar las características específicas de la modelación. Se indicó el movimiento en una sola dirección del caudal (Net Flows). Se especificaron todos los datos habiéndose adoptado un lapso de un mes de modelación.

Se ingresaron al WASP los datos correspondientes a las condiciones iniciales de los parámetros en cada uno de los segmentos obtenidos de los antecedentes.

Las condiciones de borde propuestas para el problema, se correspondieron con los valores máximo y mínimo de la clorofila a, obtenidos de las campañas de muestreos que se realizaron para el presente estudio. Los demás parámetros fueron tomados de datos estadísticos pertenecientes al Ente Binacional.

Para cargar valores que pertenecen a la cinética de los constituyentes de la calidad del agua, se estudió exhaustivamente el WASP, y se definieron dichos valores razonablemente en función de los antecedentes bibliográficos. Se especificaron las constantes de la Irradiación solar correspondientes a la latitud media del área de estudio, considerando las horas de luz solar en verano como en invierno.

5.2.3. Post-procesador

Una vez corrida la simulación se pueden analizar los datos de salida mediante el menú Post-processor. Se graficaron las curvas de las variables correspondientes a la subrutina EUTRO. En la pestaña Domain se especifica la variable independiente, que puede ser Time (Evolución de la variable a lo largo del tiempo) o Segment (Evolución de la variable a lo largo de los segmentos).

Se elige la variable a graficar y el segmento en función del cual está la variable. En caso de haber elegido en Domain la variable Time, en lugar de elegir el segmento se elige el día y hora de la curva a graficar.

A continuación se pueden observar las curvas que se hallaron para la corrida de Estiaje H1-B, tanto de clorofila a (CHL A) como de P total (Tot P), con la variable "time" y "segment" respectivamente (esta última permite representar la evolución espacial).

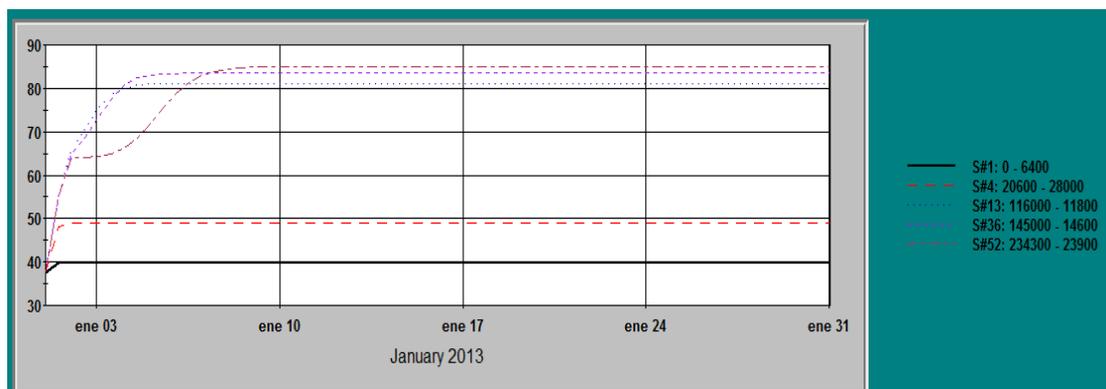


Figura N° 14. Curva de la Clorofila a en el tiempo, para los segmentos 1, 4, 13, 36 y 52

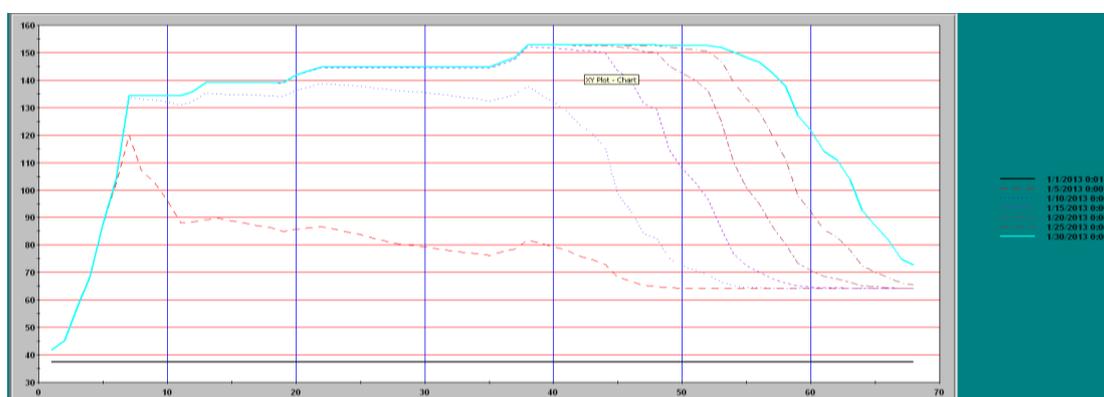


Figura N° 15. Curva de la Clorofila a en los Segmentos, para los días 1/03, 5/03, 10/03, 15/03, 20/03, 25/03 y 30/03/2013.

5.2.4. Discusión de resultados WASP

Para una correcta visualización de resultados de las corridas se confeccionó una tabla por escenario. La misma posee los valores de las concentraciones de clorofila a y el Total de fósforo (Tot P), para diferentes segmentos, y para las dos configuraciones planteadas, A y B. A su vez, sobre las mismas se agregaron los análisis de las influencias entre hipótesis, configuraciones, y porcentaje de crecimiento relativo de los parámetros de salida.

La variable con mayor influencia en el crecimiento algal es la temperatura del agua, debido a que cuando la misma es máxima, la concentración de clorofila se duplica en relación con la concentración que ingresa desde el embalse (sea baja o alta). Esto se observó tomando en cuenta la tasa de mortalidad (configuración A).

Se apreció que el mayor crecimiento se da para la configuración A, para una máxima temperatura y máxima carga ingresante simultáneamente en la represa.

El salto (aumento) que se produce en la curva de clorofila a partir del segmento 4 (progresiva 26,4km, Concordia-Salto), se debe fundamentalmente a la tendencia del crecimiento algal que varía principalmente debido al efecto de las variables ambientales, y no tanto a las descargas

puntuales.

ESCENARIOS		ESTIAJE									
SEGMENTOS		1		4		13		36		52	
PARAMETROS DE SALIDA en TIME		CHL A	TOT P								
Configuracion	HIPOTESIS	[ug/l]	[mg/l]								
A (Con Mortalidad)	1 T _{min} - CI _{Amin}	37,986	0,066	41,307	0,066	62,813	0,064	61,133	0,066	51,887	0,062
	2 T _{max} - CI _{Amin}	38,778	0,066	47,000	0,066	71,410	0,073	73,756	0,077	75,563	0,081
	3 T _{min} - CI _{Amax}	101,335	0,114	105,357	0,113	103,575	0,110	97,678	0,109	93,032	0,110
	4 T _{max} - CI _{Amax}	108,122	0,114	136,468	0,114	190,422	0,193	204,045	0,211	233,797	0,250
Incremento [%] (A)	H4 vs H3 Temp	6,70	-0,01	29,53	1,05	83,85	75,80	108,90	92,97	151,31	126,33
	H4 vs H2 CIA	178,82	71,09	190,36	72,46	166,66	163,73	176,65	173,71	209,41	207,75
Incremento [%] (A)	H2 vs H1 Temp	2,09	0,00	13,78	-0,07	13,69	14,93	20,65	16,62	45,63	30,90
	H3 vs H1 CIA	166,77	71,10	155,06	70,55	64,89	72,42	59,78	65,42	79,30	77,99
B (Sin Mortalidad)	1 T _{min} - CI _{Amin}	41,775	0,067	68,452	0,067	139,148	0,104	146,421	0,110	152,143	0,114
	2 T _{max} - CI _{Amin}	45,684	0,067	90,393	0,068	110,982	0,083	123,811	0,093	135,043	0,101
	3 T _{min} - CI _{Amax}	106,142	0,114	137,950	0,114	169,353	0,127	176,917	0,133	183,442	0,138
	4 T _{max} - CI _{Amax}	110,892	0,114	158,434	0,119	188,566	0,141	202,915	0,152	215,365	0,161
Incremento [%] (B)	H4 vs H3 Temp	4,48	0,00	14,85	4,26	11,34	11,35	14,70	14,69	17,40	17,37
	H4 vs H2 CIA	142,74	71,21	75,27	75,25	69,91	69,90	63,89	63,89	59,48	59,45
Incremento [%] (B)	H2 vs H1 Temp	9,36	0,00	32,05	1,86	-20,24	-20,24	-15,44	-15,44	-11,24	-11,48
	H3 vs H1 CIA	154,08	71,21	101,53	71,21	21,71	21,71	20,83	20,83	20,57	20,25

Tabla N° 5. Análisis de las configuraciones, hipótesis y concentraciones en Estiaje.

ESCENARIOS		CRECIDA									
SEGMENTOS		1		4		13		36		52	
PARAMETROS DE SALIDA en TIME		CHL A	TOT P								
Configuracion	HIPOTESIS	[ug/l]	[mg/l]								
A (Con Mortalidad)	1 T _{min} - CI _{Amin}	37,715	0,051	38,929	0,051	47,089	0,050	49,704	0,050	50,984	0,052
	2 T _{max} - CI _{Amin}	38,136	0,051	41,031	0,051	57,108	0,052	57,754	0,054	60,174	0,061
	3 T _{min} - CI _{Amax}	100,997	0,099	102,508	0,098	108,903	0,097	106,659	0,098	96,714	0,101
	4 T _{max} - CI _{Amax}	101,739	0,099	106,108	0,098	110,095	0,102	108,975	0,104	103,941	0,108
Incremento [%] (A)	H4 vs H3 Temp	0,73	0,00	3,51	-0,01	1,09	5,13	2,17	5,83	7,47	6,94
	H4 vs H2 CIA	166,78	91,94	158,61	91,73	92,78	96,64	88,69	92,39	72,74	76,22
Incremento [%] (A)	H2 vs H1 Temp	1,12	0,00	5,40	-0,01	21,28	3,15	16,20	7,88	18,02	18,54
	H3 vs H1 CIA	167,79	91,94	163,32	91,73	131,27	92,94	114,59	96,12	89,69	95,34
B (Sin Mortalidad)	1 T _{min} - CI _{Amin}	39,718	0,052	49,004	0,052	81,140	0,061	83,482	0,063	85,015	0,064
	2 T _{max} - CI _{Amin}	41,735	0,052	59,541	0,052	79,257	0,059	83,554	0,063	86,380	0,065
	3 T _{min} - CI _{Amax}	103,573	0,099	115,107	0,099	141,090	0,106	143,736	0,108	145,464	0,109
	4 T _{max} - CI _{Amax}	106,100	0,099	127,680	0,099	148,442	0,111	156,599	0,115	156,599	0,117
Incremento [%] (B)	H4 vs H3 Temp	2,44	0,00	10,92	0,00	5,21	5,21	8,95	6,73	7,65	7,65
	H4 vs H2 CIA	154,22	92,00	114,44	92,00	87,29	87,29	87,42	83,59	81,29	81,28
Incremento [%] (B)	H2 vs H1 Temp	5,08	0,00	21,50	0,00	-2,32	-2,30	0,09	0,09	1,61	1,61
	H3 vs H1 CIA	160,77	92,00	134,89	92,00	73,89	73,93	72,18	72,17	71,10	71,10

Tabla N° 6. Análisis de las configuraciones, hipótesis y concentraciones en Crecida.

En casi todas las modelaciones la concentración de clorofila a es mayor cuando se utiliza la configuración B (sin tasa de mortalidad) que la A (c/tasa de mortalidad), esto sucede debido al efecto de saturación de las algas.

En crecida si el embalse aportara una concentración alta (por ejemplo del orden de 100 ug/L), la misma no se modificaría en el río (es decir, la mortalidad adoptada considerando la tasa típica adoptada sería similar a la tasa de crecimiento), mientras que si la concentración ingresante fuera baja (37 ug/L), la misma tendería a crecer hasta llegar a los 50 a 60 ug/L, mostrando una leve tendencia a la eutrofización por encima de lo que el embalse aporta.

Se observó un crecimiento menor de clorofila a en el escenario de Estiaje que en el de Crecida, lo cual es razonable, dado que el tiempo de residencia de las algas en el río es menor en crecida (lo recorren más rápido), por lo que hay menos tiempo para los procesos.

Una elevada temperatura influye en gran medida sobre el incremento de Tot P.

En el escenario de Estiaje, hipótesis 4 (Tmax y Chl a max), comparando el Tot P en las configuraciones A y B, se observó que la concentración de P es mayor en A que en B. Esto sucede debido a que, por el proceso de respiración del fitoplancton, se libera fósforo inorgánico, provocando así un aumento de la concentración del mismo en el agua.

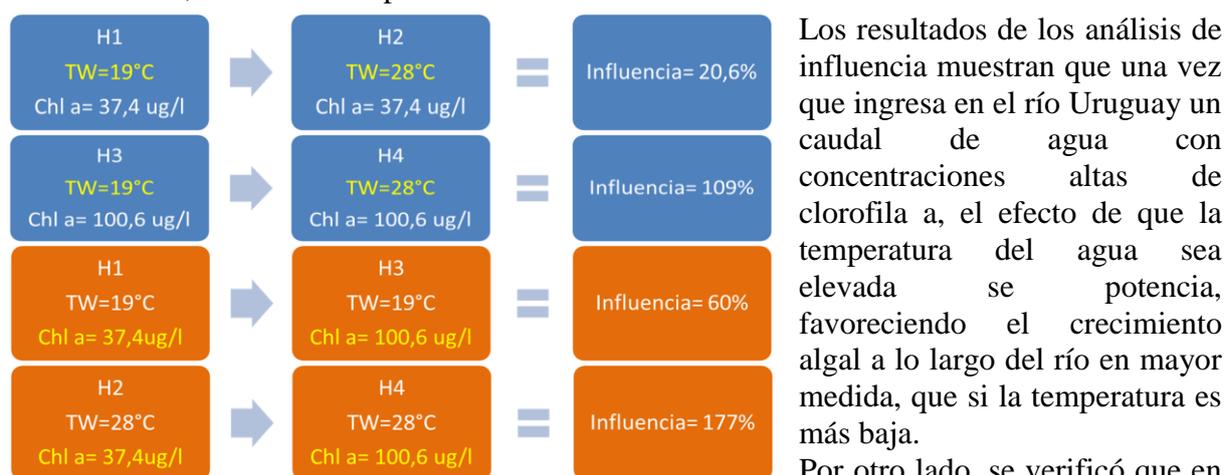
6. CONCLUSIONES

Con lo observado, analizado, y estudiado en función de los resultados de los muestreos, a partir de los cuales se generó la base de datos cargada y sistematizada en QGIS, se pudo determinar que los valores de concentración de clorofila a presentes en el embalse de Salto Grande acusan una marcada variación dependiendo de si la muestra fue tomada en una entrante o en una saliente. Esto se debe a que en las entrantes se presentan aguas con mayor quietud y tiempo de permanencia, generando un microclima apto para la proliferación de las cianobacterias.

Por otro lado, se observó que existe una variación muy marcada con respecto a las concentraciones de clorofila a entre la zona ubicada aguas arriba de la represa y la zona ubicada aguas debajo de la misma.

Cabe destacar que en los lugares donde las concentraciones son altas se encuentran balnearios, centros turísticos y tomas de agua las que pueden ser afectadas por las algas con lo que ello significa para la salud humana y el normal desempeño de sus actividades socio-económicas.

A modo de ejemplo, se presenta en el gráfico siguiente, la influencia de los parámetros asumidos en los diferentes escenarios, en la concentración de clorofila a, en el segmento 36, correspondiente a Concepción del Uruguay, para una situación de estiaje, considerando mortalidad de las bacterias. Los valores de “influencia” representan el incremento de esta concentración, al cambiar un parámetro.



el escenario de crecida, los incrementos relativos de clorofila a en el río, son inferiores a los

de estiaje, lo cual se debe presumiblemente al menor tiempo, o de residencia del agua en crecida dentro del cauce en el tramo modelado.

Con el total de valores hallados se ha cumplido con el primer nivel de aproximación del modelo matemático WASP. Se logró entonces, la configuración adecuada del modelo para las condiciones que se presentan en el río Uruguay. Se propone que en las siguientes etapas investigativas se sigan realizando campañas de muestreos para una correcta calibración del modelo y lograr así que el programa simule la reacción del río Uruguay aguas abajo de la represa, frente a los diferentes escenarios climáticos e hidrológicos, para así poder realizar estudios predictivos de la calidad de las aguas del Río Uruguay.

REFERENCIAS

- [1] P. Echlin, El alga verde-azul. *Scientific American*.
- [2] Guías para ambientes seguros en aguas recreativas, Vol. 1: Aguas costeras y aguas dulces, Universidad Nacional Autónoma de Honduras
- [3] Lic. Mariela Caneo. Cianobacterias y Cianotoxinas, *Manual profesional y técnico de cianobacterias y cianotoxinas*, Red Cyanosur. <http://www.icaa.gov.ar/>
- [4] Cianobacterias Planctónicas del Uruguay, Manual para la identificación y medidas de gestión, Oficina regional de ciencia de la UNESCO para América latina y el Caribe
- [5] Artículo PID UNER 8050, Facultad de Ciencias de la Alimentación, Universidad Nacional de Entre Ríos (2008-2010)
- [6] Alejandro Zabalett, Impacto del tratamiento de aguas residuales sobre la calidad bacteriológica de las aguas del río Uruguay en el tramo Concordia - Concepción del Uruguay, Tesis Mg (2014).
- [7] Julio C. Cardini, Alejandro Zabalett, Cecilia M. Cardini, Daniel Mársico y Néstor Oliver, Modelación Matemática Bidimensional del Proceso de Eutrofización del Embalse de Salto Grande (2013).
- [8] Universidad Veracruzana, Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS 1.8.
- [9] Tim A. Wool, *Water Quality Analysis Simulation program (WASP)*.
- [10] Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, AIDIS Argentina, Seminario "Criterio de selección de Tecnologías de Depuración de Líquidos Cloacales".