

BALANCE DE NUTRIENTES Y EUTROFIZACIÓN EN RÍOS Y EMBALSES DE LA CUENCA DEL RÍO NEGRO (URUGUAY)

Tesina de grado correspondiente a la Licenciatura en Ciencias Biológicas

Daniel Guerrini Montemurro



Pasantía en Limnología

Tutor: Dr. Guillermo Chalar

Sección Limnología

Departamento de Ecología – Instituto de Biología

2017

Agradecimientos

A mis padres Judith y Rómulo por el apoyo brindado a lo largo de toda la vida.

A mi familia, hermanos, tíos, primos y sobrinos.

A mis amigos de todas las épocas.

A mi Tutor Guillermo por guiarme en este proceso.

A Gabriela Eguren por conectarme con Guillermo.

A Luis Aubriot y Rafael Arocena por aceptar ser miembros del tribunal y sus aportes a este trabajo.

A la sección de Limnología por realizar los muestreos y los análisis químicos.

A Washington Larregui y Jaime Da Silva de UTE por colaborar en el muestreo.

Al convenio UTE-Facultad de Ciencias que financió parcialmente el estudio.

A Luis Guerrini, Gabriel Rosa, Martín Dell'Acqua, Daniel Panario, César Goso, Bruno Bazzoni, Gustavo Osta y Sergio Malutin, por colaborar en este trabajo.

A todos ustedes mi más sincero agradecimiento.

Indice

Lista de figuras.....	3
Lista de tablas.....	4
Resumen y abreviaciones	5
<u>Introducción</u>	
Objetivo y objetivos específicos.....	11
<u>Materiales y métodos</u>	
Sitio de estudio.....	11
Descarga de agua.....	14
Análisis de datos.....	14
Cálculo de tiempo de residencia.....	17
Cálculo de cargas totales.....	17
Normalización de balance de nutrientes.....	17
<u>Resultados y discusión</u>	
Balance de STS y nutrientes.....	18
Balance de nutrientes en Bonete.....	20
Balance de nutrientes en Baygorria.....	21
Balance de nutrientes en Palmar	23
Coeficientes de exportación, caracterización del estado trófico de los ríos y valoración de los eventos de máximo caudal.....	24
Cargas aportadas por los ríos.....	29
Conclusiones.....	32
Bibliografía.....	32
 <u>Anexo I.</u>	
Balance hídrico y de nutrientes en Bonete, Baygorria y Palmar.....	41
<u>Anexo II</u>	
Caudales, cargas de nutrientes y coeficientes de exportación de las cuencas, para los ríos.....	44
Caudales y cargas de nutrientes totales aportados a los embalses.....	44
Caudales y cargas de nutrientes erogados de los embalses.....	46

Listas de Figuras

Figura 1. Regiones agropecuarias en el año 2011.Elaborado por MGAP-DIEA con base Censo General Agropecuario 2011, con el área en estudio delimitada.....	13
Figura 2. . Represas sobre el Río Negro y puntos de muestreo en los ríos.....	14
Figura 3. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Río Negro.	15
Figura 4. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Río Negro.....	15
Figura 5. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Tacuarembó.....	15
Figura 6. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Tacuarembó.....	16
Figura 7. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Salsipuedes.....	16
Figura 8. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Salsipuedes.....	16
Figura 9. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Yí.....	16
Figura 10. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Yí.....	17
Figuras 11 y 12 Cargas de entrada y salida de STS, NT en los tres embalses.....	19
Figura 13. Cargas de entrada y salida de PT en los tres embalses.....	20
Figura 14. Se observan los deltas en las cargas para caudales similares, de los cuales uno fue medido en febrero del 2010 y el otro es la suma de varios meses de caudales menores en todo el período de estudio, para el río Salsipuedes	26
Figuras 15,16 y 17. Expresa ídem. que la figura 14 pero para los ríos Tacuarembó, Negro y Yí.....	27
Figura 18. Mapa de suelos del Uruguay.....	28
Figura 19. Carga total de STS aportada a los embalses en todo el Período.....	29
Figura 20 . Carga total de nitrógeno aportada a los embalses en todo el período.....	29
Figura 21 . Carga total de fósforo aportada a los embalses en todo el período.....	30

Listas de Tablas

Tabla 1. Expresa el área de las cuencas en Km ² , área de los embalses en Km ² , tiempo de residencia en días y caudal erogado en Hm ³	12
Tabla 2. Balance de nutrientes normalizados	18
Tabla 3. Balance de nutrientes normalizados.....	18
Tabla 4. Coeficientes de exportación normalizados y caudales específicos.....	24
Tabla 5. Concentraciones promedio de todo el período. NT y PT.....	24
Tabla 6 . Balance hídrico y de nutrientes en Bonete (anexo I).....	41
Tabla 7. Balance hídrico y de nutrientes en Baygorria.....	42
Tabla 8. Balance hídrico y nutrientes en Palmar.....	43
Tabla 9. Caudales, carga de nutrientes aportados a Bonete y coeficientes de exportación de la cuenca para el río Negro. (anexo II).....	44
Tabla 10. Caudales, carga de nutrientes y coeficientes de exportación de la cuenca para el río Tacuarembó.....	44
Tabla 11. Caudales y carga de nutrientes totales aportados al embalse de Bonete.....	45
Tabla 12. Caudales, carga de nutrientes y coeficientes de exportación de la cuenca para el río Salsipuedes.....	45
Tabla 13. Caudales y carga de nutrientes erogados de Bonete.....	46
Tabla 14. Caudales y carga de nutrientes totales aportados a Baygorria.....	46
Tabla 15. Caudales, carga de nutrientes y coeficientes de exportación de la cuenca para el Yí.....	47
Tabla 16. Caudales y carga de nutrientes erogados de Baygorria.....	47
Tabla 17. Caudales y carga de nutrientes totales aportados a Palmar.....	48

RESUMEN: La eutrofización cultural de ríos y lagos es un problema a nivel mundial. En Uruguay el problema no está ausente, si bien en nuestro país y específicamente en la cuenca de Río Negro no son muchos los estudios anteriores, varios trabajos realizados demuestran que este fenómeno está presente. En la cuenca del río Santa Lucía la cantidad de efluentes de industrias, centros urbanos y establecimientos agropecuarios intensivos es importante. En dicha cuenca se encuentran los reservorios de agua más importantes del área metropolitana, principalmente el embalse de Paso Severino y el de Canelón Grande. En ambos embalses se presentaron concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo. Por otro lado el embalse de Salto Grande fue caracterizado como eutrófico por su nivel de fósforo. En un estudio realizado en los tres embalses en cadena sobre el Río Negro en el 2011, el embalse de Baygorria fue clasificado como eutrófico con una probabilidad de 75% y como mesotrófico con un 25% de probabilidad. El de Bonete se clasificó como eutrófico con una probabilidad de 60% y como mesotrófico con un 40% de probabilidad y el embalse de Palmar se clasificó como eutrófico con una probabilidad de 65% y como hipereutrófico con un 35% de probabilidad. En este trabajo se avanzó en el conocimiento del ciclo de nutrientes y el flujo de sólidos en suspensión a través de los ríos y embalses sobre la región del Río Negro, cuantificando a los mismos, separándolos por cuencas de exportación, tratando de llegar a conclusiones sobre el uso de la tierra y su vinculación con la eutrofización de las aguas. Se realizó un balance de nutrientes en 3 embalses en cadena (Bonete, Baygorria y Palmar) y se calcularon los coeficientes de exportación de las cuencas. Las conclusiones fueron que Bonete se comportó claramente como sumidero de nutrientes y los otros embalses actuaron de forma más equilibrada. Con respecto a la exportación que tuvieron las cuencas, en términos relativos, la del río Yí fue la que presentó valores más altos para el NO_3 y el PO_4 y la del Salsipuedes los más bajos, estando esto relacionado con el uso del suelo. Destacamos como fenómeno interesante los eventos de máximo caudal ocurridos en el Salsipuedes, que estarían contribuyendo a la eutrofización del río y de los lagos.

ABREVIACIONES: STS, sólidos totales en suspensión; MO, materia orgánica; NT, nitrógeno total; PT, fósforo total; kton, Kilotoneladas; Ton, toneladas; Hm³, hectómetros cúbicos; mg/m² año, miligramos por metro cuadrado al año; TR, tiempo de residencia; Q, caudal; ídem, idéntico; coef. expor., coeficiente de exportación; DE, desvío estándar.

INTRODUCCIÓN

A lo largo y ancho del mundo las reservas de agua dulce en ríos, lagos naturales y embalses son de 100.000 km³ representando el 0.3 % del total de agua dulce, de los cuales la reserva de agua en los embalses actualmente es de 7000 km³ (Teodoru & Wehrli, 2005), y la tendencia es a incrementarse debido al aumento de la población y a la necesidad de producir más alimentos y energía (Ordoñez, 2010). Desde los años 1930 a 1970 la construcción de grandes embalses se volvió sinónimo de desarrollo y progreso económico un símbolo de modernidad y habilidad para explotar los recursos naturales. Según la WCD (Comisión Mundial de Embalses) en el año 2000 el mundo contaba con 800.000 embalses de los cuales 45.000 son mayores a 15 metros de altura (Teodoru & Wehrli, 2005).

Sin embargo la construcción de los mismos trae aparejado un impacto social, el cual tiene aspectos positivos, pero también negativos, (Margalef 1983), como por ejemplo:

Aspectos positivos

- Regulación del suministro de agua para la agricultura.
- Generación de energía eléctrica.
- Suministro de agua a ciudades e industrias.
- Proporciona el hábitat para el desarrollo de un recurso natural como la pesca.
- Proporciona un ambiente adecuado para la recreación y el descanso.

Aspectos negativos

- Anega suelos de valle generalmente fértiles y dedicados a la agricultura
- A veces obliga a mover poblaciones humanas importantes.

Según (Ordoñez 2010) los embalses tienen un impacto adicional al social, en las características físico-químicas y biológicas del río.

- Reducción del flujo, aguas abajo del embalse.
- Estabilización de los regímenes de caudal del río.
- Cambios en regímenes térmicos del agua del río.
- Reducción de la carga de sedimentos aguas abajo del embalse.
- Creación de una barrera migratoria a peces y demás fauna del río
- Pérdida de biodiversidad por anegamiento de montes riparios (Muñoz & Refoyo, 2013).

Un enfoque tradicional usado en limnología es el balance de masas el cual considera a los lagos como un “tanque reactor” que puede someterse completamente a la mezcla durante un período de tiempo o puede permanecer completamente estratificado por largos períodos de tiempo. Para cualquier sustancia o elemento que entre en el lago o embalse, la tasa de entrada, salida y sedimentación pueden ser calculadas con la siguiente fórmula: $Cdc/dt=Q.C_{in} - Q.C_s - K.T.v.C$

- Cdc/dt - Tasa de cambio de las sustancias del lago.
- $Q.C_{in}$ - Entrada de sustancias o elementos Q caudal y C_{in} la concentración.
- $Q.C_s$ - Salidas de sustancias o elementos.
- K - Tasa de sedimentación.
- T - Tiempo.
- v - Volumen del lago.
- C - Concentración en el lago.

Muchos estudios en diversas partes del mundo han demostrado que los embalses o lagos se comportan como sumidero de sustancias pero también como fuente dependiendo esto de las características estructurales del embalse, del clima, tiempo y del manejo realizado, siendo el balance de masas una herramienta indispensable para determinar el comportamiento del embalse. A continuación ejemplificaremos algunos casos. Según Armengol (2005), el estudio de la composición del agua que entra y sale de los embalses, así como los balances de nutrientes indican que estos actúan modificando la calidad del agua que reciben. Es en este sentido es que normalmente se considera a los embalses como depuradoras naturales intercalados en los ríos.

En un estudio realizado en el embalse Paso Bonito en Cuba, de donde se extrae el agua potable para la ciudad de Cienfuegos y parte de la ciudad de Santa Clara, expresa que el embalse puede haberse comportado por momentos como fuente de NH_4 y de P, afirmando que en otros casos hasta el 93 % del fósforo total incorporado a la masa de agua puede provenir del sedimento (Betancourt et al., 2008). Otro estudio realizado por Santos, (2005) sobre la calidad del agua en el embalse de Yacyretá, expresa que el fondo del embalse puede actuar como fuente o sumidero de nutrientes de acuerdo con las condiciones ambientales en las que se encuentre. En el caso de Sau, (España) los datos históricos indican que el 50 % del fósforo anual entrado en el embalse es desviado hacia el sedimento, también el nitrógeno en forma de amonio y el particulado es eliminado (Armengol, 2005). Fraile et al., (1995) expresan que el coeficiente de retención de fósforo = $1 - (\text{cantidad de fósforo que sale} / \text{cantidad de fósforo que entra})$, puede ser negativo debido a un aporte adicional al sistema procedente del sedimento, que puede suponer más de 91 % de la entrada total de fósforo al sistema.

Más allá del comportamiento de los nutrientes en los embalses que puede ser muy diverso hay un fenómeno que ocurre cada vez con mayor frecuencia que es la eutrofización. Si bien existen ambientes naturalmente eutróficos, la eutrofización se encuentra por lo general estrechamente relacionada con la actividad humana. Las principales fuentes antrópicas de nutrientes provenientes de áreas urbanas, la constituyen el aporte de aguas cloacales, la utilización de jabones y detergentes fosforados y, en zonas de intensa actividad agrícola, la utilización de fertilizantes (Bustamante et al., 2002). Debido al mejoramiento de los controles de las fuentes puntuales en las últimas décadas las investigaciones y esfuerzos de manejo para disminuir la contaminación con nutrientes se han dirigido a las fuentes difusas. En los países industrializados la mayoría de los estudios indican que la agricultura es hoy la más grande fuente de nutrientes del agua (Dupas et al., 2014). Un estudio realizado por Torrent et al., (2007) en Europa meridional concluye que la eutrofización con fósforo depende de la densidad de ganado entre otros factores. Fores et al., (2002) relaciona la eutrofización con amonio de ecosistemas acuáticos con el uso excesivo de abonos inorgánicos en cultivos de arroz. La forestación de áreas destinadas anteriormente a la ganadería extensiva puede incrementar la concentración de nutrientes del agua de escorrentía, debido al aumento de la mineralización de nutrientes del suelo, a la mayor fertilización y al mayor contacto suelo-agua favorecido por el laboreo durante la

instalación del monte. En un estudio realizado en el departamento de Tacuarembó que evaluaba el aporte de nitrógeno y fósforo al agua de escorrentía de dos cuencas adyacentes, una con un sistema de producción ganadero, la otra con uno forestal, concluyó que no hay diferencias significativas entre ambas cuencas (Barreto, 2008). Sin embargo estos resultados fueron observados en plantaciones jóvenes (0 a 2 años) por lo cual no podrían ser utilizados para predecir el efecto en la calidad de agua de plantaciones maduras.

¿Pero a qué nos referimos cuando hablamos de procesos de eutrofización? Existen muchas definiciones de eutrofización de los lagos, basadas en un conjunto de condiciones asociadas a un aumento de la productividad. La opinión general entre los limnólogos es que el término eutrofización es sinónimo de un aumento de las tasas de crecimiento de los seres vivos de los lagos, y que su resultado es una aceleración de la productividad, mayor que la que existiría en ausencia de perturbaciones del sistema (Wetzel, 1981). Los ecosistemas agrícolas son energéticamente subvencionados, por ejemplo por el hombre mediante agroquímicos y se expanden incorporando o desplazando otros ecosistemas debido a que pueden capturar y disipar más recursos energéticos (Abel, 1998). La eutrofización en este contexto, es el resultado de las actividades humanas que disipan recursos en forma de nutrientes. Estos al llegar a los ecosistemas acuáticos, estimulan el crecimiento de los productores primarios, los que pueden alcanzar una biomasa mayor a la que naturalmente podría existir en el medio (Chalar, 2006).

Se trata, además, de un proceso con retroalimentación positiva, puesto que, a medida que se incrementan los aportes, el sistema se descompensa, pierde capacidad de asimilación de los mismos y se incrementa la carga interna desde los sedimentos hacia la columna de agua. Por otro lado la producción bacteriana se incrementa en profundidad debido a la proliferación de organismos anaerobios estrictos y facultativos nitrificantes y sulfobacterias, en general. Estas últimas generan anhídrido sulfhídrico, un veneno respiratorio para la fauna acuática. Como consecuencia del incremento del desarrollo algal hay una pérdida de transparencia del agua, que adquiere olores y sabores desagradables y que puede volverse tóxica por la aparición de cianofíceas (Monteoliva & Muñoz, 2000). La aparición de floraciones algales puede traer aparejado mortandades masivas de peces, no solo debido a su posible toxicidad sino que también puede ocurrir que las altas concentraciones de las mismas consuman mucho oxígeno

durante la noche llevando a este a niveles críticos para los peces. Además la anoxia se puede ver acentuada por la muerte de las algas que posteriormente son descompuestas por la acción bacteriana (Mancera & Vidal, 1994). En definitiva la eutrofización antrópica impacta negativamente sobre los ecosistemas y la calidad del agua se ve sensiblemente menguada lo que dificulta y limita los posibles usos a los que se puede destinar.

En Uruguay el problema de la eutrofización de ríos y lagos no está ausente, estudios de varias zonas del país así lo demuestran. En la cuenca del río Santa Lucía la cantidad de efluentes de industrias, centros urbanos y establecimientos agropecuarios intensivos es importante. En dicha cuenca se encuentran los reservorios de agua más importantes del área metropolitana, principalmente el embalse de Paso Severino y el de Canelón Grande. En ambos embalses se presentaron concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo inorgánico (RAP-AL, 2010). Por otro lado el embalse de Salto Grande fue caracterizado como eutrófico por su nivel de fósforo, Chalar, (2006).

Si bien en Europa los estudios indican que las fuentes difusas son la causa de la eutrofización de ríos y embalses, en Uruguay existen pocos trabajos publicados relativos a él efecto del uso de la tierra sobre la concentración o carga de nutrientes de cursos de agua superficial, y además existe muy poca información sobre los niveles originales de concentración de PT y NT de los diferentes cursos hídricos (Barreto, 2008). Sin embargo en un estudio realizado por Amestoy, (2001), Bonete fue catalogado como mesotrófico considerando conjuntamente los indicadores bióticos (fitoplancton y zooplancton) y abióticos (concentración de nitritos, nitratos y fosfatos), en un período de estudio que fue de 1991 a 1994. Chalar et al., (2011) determinaron según las categorías tróficas de Salas y Martino (1990), que el embalse Bonete (PT=84 $\mu\text{g/l}$) se clasifica como eutrófico con una probabilidad de 60% y como mesotrófico con un 40% de probabilidad. El embalse Baygorria (PT=97 $\mu\text{g/l}$) se clasifica como eutrófico con una probabilidad de 75% y como mesotrófico con un 25% de probabilidad. El embalse Palmar (PT=116 $\mu\text{g/l}$) se clasifica como eutrófico con una probabilidad de 65% y como hipereutrófico con un 35% de probabilidad.

Los coeficientes de exportación de las cuencas están relacionados con la eutrofización de ríos y lagos. Un trabajo realizado por (García, 2013) en la cuenca lechera de Paso Severino en el departamento de Florida (Uruguay), donde se evaluaron

los niveles de exportación de sólidos totales en suspensión, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, nitrato, amonio, y fósforo reactivo soluble en diez microcuencas, encontró que los coeficientes de exportación fueron más altos en áreas de uso intensivo.

Hipótesis de Trabajo

- Los embalses con tiempos de residencia (TR) más grandes tienden a comportarse como ambientes lacustres reteniendo nutrientes y sedimentos, mientras que los que tienen un TR más cortos tienen un comportamiento más fluvial reteniendo menos nutrientes y sedimentos.

Objetivo

- Determinar la retención de sólidos y nutrientes en los tres embalses sobre el Río Negro.

Objetivos específicos

- Realizar un balance de nutrientes en los tres embalses, determinar los coeficientes de exportación de las principales cuencas tributarias, Río Negro, Tacuarembó, Salsipuedes y Yí, caracterización de ríos y embalses según su estado trófico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El sitio de estudio, un conjunto de embalses en cadena, se encuentra sobre el río Negro el cual nace próximo a la frontera con Brasil en el Estado de Río Grande del Sur; atraviesa Uruguay de Este a Oeste, recorriendo 500 km hasta su desembocadura en el río Uruguay. Presenta un desnivel total dentro de la República Oriental del Uruguay de 140 m que fue aprovechado para la construcción de tres usinas hidroeléctricas (figura 2) que representan un potencial instalado de 593 MW, que en su conjunto significan el 62,8 % del sistema hidroeléctrico nacional (MIEM, 2016).

Los tres saltos hídricos artificiales localizados en este río son: Central Hidroeléctrica "Dr. Gabriel Terra" con el embalse de Rincón del Bonete, y aguas abajo de éste, "Rincón de Baygorria" y "Constitución" (Paso del Palmar). La construcción de la

Central "Dr. Gabriel Terra" fue realizada entre 1937 y 1948, por lo que el embalse de "Rincón del Bonete" es el más antiguo; la segunda obra realizada fue "Baygorria" (1956-1960) y por último "Constitución" (1977-1982), (Amestoy, 2001).

El área total que abarca la cuenca del el Río Negro es de 70714 km², en donde el Río Negro antes de Bonete excluyendo a el río Tacuarembó drena un área de 14093 Km², el Tacuarembó 16065, el Salsipuedes 1400 y el Yí 12360 Km².

Tabla 1. Expresa el área de las cuencas en Km², área de los embalses en Km², tiempo de residencia en días y caudal erogado en Hm³/año.

		Área de la cuenca	Área del embalse	Tiempo de residencia	Caudal erogado
Bonete	2010	39700	1070	127	813
Bonete	2011			332	266
Bonete	2012			182	466
Baygorria	2010	43900	100	7	918
Baygorria	2011			22	301
Baygorria	2012			12	544
Palmar	2010	62950	320	25	1291
Palmar	2011			66	452
Palmar	2012			37	830

En la tabla 1 se puede observar que el embalse de Bonete tiene la mayor área de embalse y el mayor tiempo de residencia. Palmar presentó el mayor caudal erogado y Baygorria presentó valores que estuvieron por arriba de los de Bonete y por debajo de Palmar, salvo el caudal erogado que fue superior al de Bonete y el área del embalse que fue inferior.

El uso agrícola en dichas cuencas es variado y en el 2011 fue el siguiente (figura 1): la cuenca del río Negro antes de Bonete, excluyendo el río Tacuarembó está destinada fundamentalmente a actividades agrícolas-ganaderas (33364 ha. de cultivos de secano, maíz, sorgo y soja), otra parte se destina a actividades mixtas arrocera-ganadera y ganadería con praderas mejoradas. Según el mismo censo el uso principal de la cuenca alta del Tacuarembó, en el departamento de Rivera es de forestación con pinos y eucaliptos, 113452 y 50537 ha. respectivamente. En el departamento de Tacuarembó se hallaban plantadas 69655 ha. de pinos y 40880 de eucaliptos las cuales se encontraban ubicadas mayoritariamente en la cuenca media y baja del río Tacuarembó, parte de esta región también es empleada como arrocera-ganadera y ganadería sobre praderas mejoradas además existen en esta cuenca 25806 ha. de cultivo de secano. En el caso del Salsipuedes la región al este del río se encuentra destinada

para ganadería extensiva y al oeste su uso es agrícola-ganadero. La cuenca del Yí contiene varias regiones de uso agrícola intensivo (66453 ha. de secano maíz, sorgo y soja), amplias regiones de uso agrícola-ganadero y otras zonas menores de uso solo ganadero. (MGAP, 2015).

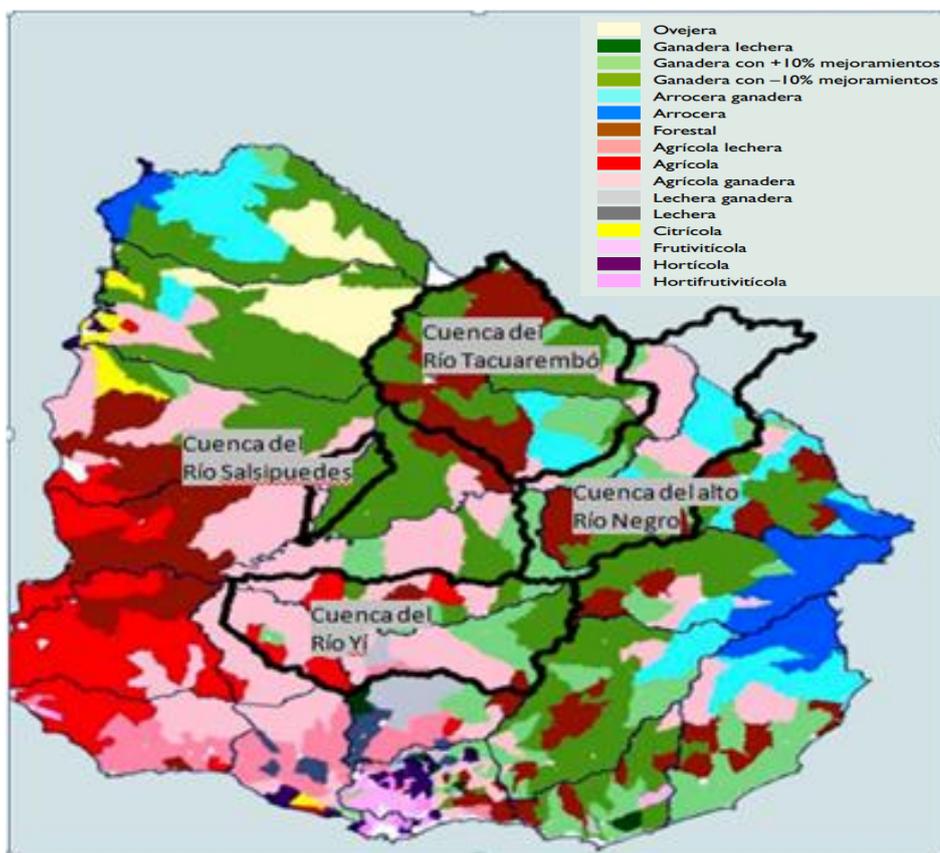


Figura 1. Regiones agropecuarias en el año 2011. Elaborado por MGAP-DIEA con base Censo General Agropecuario 2011, con el área de las cuencas delimitada.

Entre enero 2010 y diciembre 2012 se realizaron muestreos generalmente mensuales, de agua superficial para la determinación de nutrientes (nitrógeno total, fósforo total, amonio, nitrato y fósforo reactivo soluble), sólidos suspendidos y porcentaje de materia orgánica de los principales tributarios a los embalses. Los puntos de muestreo estuvieron ubicados en el Alto Río Negro (punto 1), en el río Tacuarembó (punto 2), en el Salsipuedes (punto 3) y en el Yí (punto 4), como se puede observar en la figura 2. También se realizaron un total de diecisiete muestreos fisicoquímicos y biológicos en una estación próxima a la salida del agua de cada embalse (Bonete, Baygorria y Palmar) para determinar las concentraciones de los nutrientes anteriormente mencionados y también de clorofila a. El período de muestreo de la clorofila a fue del 9/2011 al 12/2012, con un total de 7 muestras.

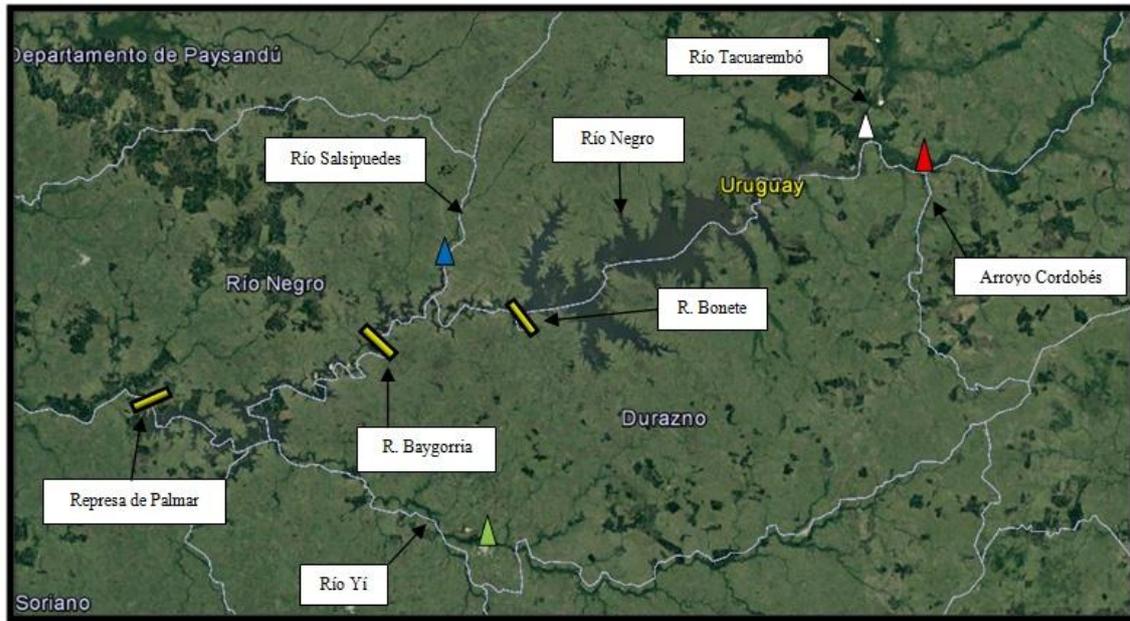


Figura 2. Represas sobre el Río Negro y puntos de muestreo en los ríos.

Punto 1 ▲ Punto 2 △ Punto 3 ▲ Punto 4 ▲

Descarga de agua

Los aportes teóricos hidrológicos a los embalses, fueron estimados por UTE según un modelo de precipitación y escorrentía. Representan el ingreso total de agua a los mismos y han sido calibrados y verificados, con datos medidos, siendo utilizados para el manejo de previsión de crecientes y generación de hidroelectricidad. La salida de agua de los embalses fue medida en cada una de las represas por UTE.

Análisis de datos

Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa Curve Expert 1.4 con el que se hallaron las relaciones entre el caudal y las cargas de nutrientes.

Para calcular las ecuaciones se graficó el Log ([A]*B) vs. Log (B), donde [A] es la concentración y B el caudal.

También quisiéramos mencionar que no hay una relación entre la concentración de los nutrientes y el caudal, por lo cual la concentración es independiente del flujo y más bien una constante. $C = K (\pm DE)$. De acuerdo con esto la carga de cualquier día será proporcional al caudal. $Carga = [C]*Q_d$ ([C]=concentración y Q_d =caudal) (Jørgensen & Vollenweider, 1988).

El programa Excel fue utilizado para el cálculo de las cargas, el Google Earth junto con el Ozi Explorer se utilizaron para hallar el área de la cuenca del Alto Río Negro, las cuencas del Tacuarembó, Salsipuedes y del Yí fueron obtenidas de Chalar et al., (2014).

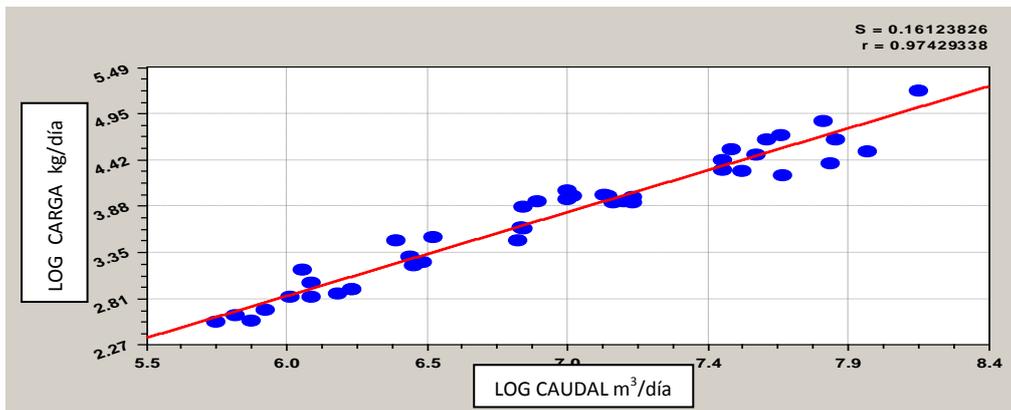


Figura 3. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Alto Río Negro.

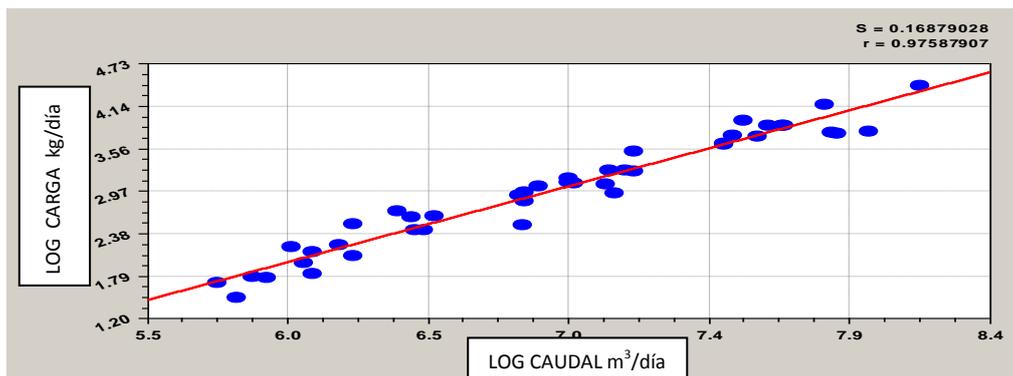


Figura 4. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Alto Río Negro.

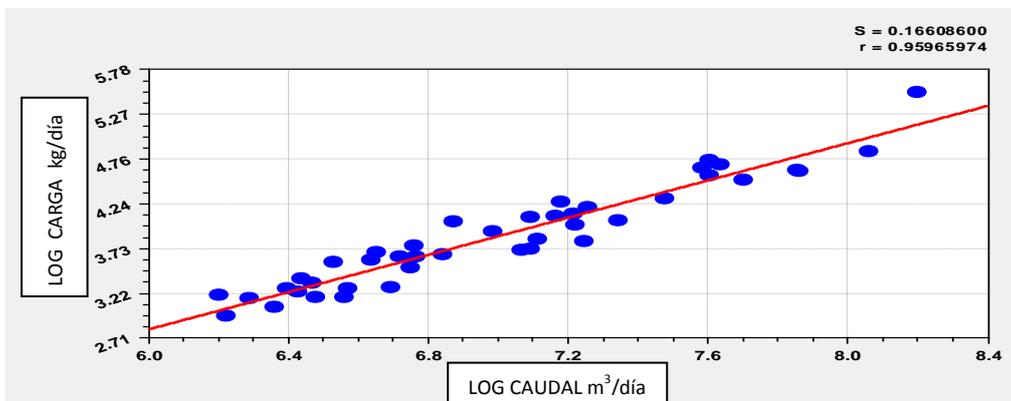


Figura 5. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Tacuarembó.

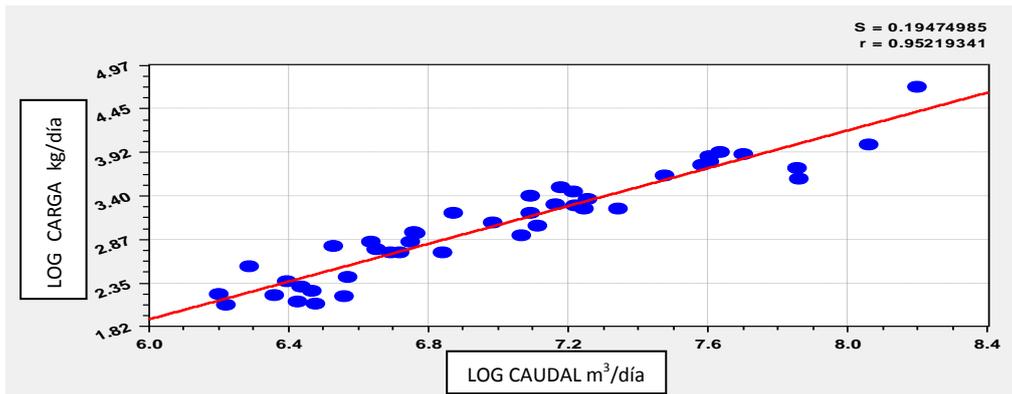


Figura 6. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Tacuarembó.

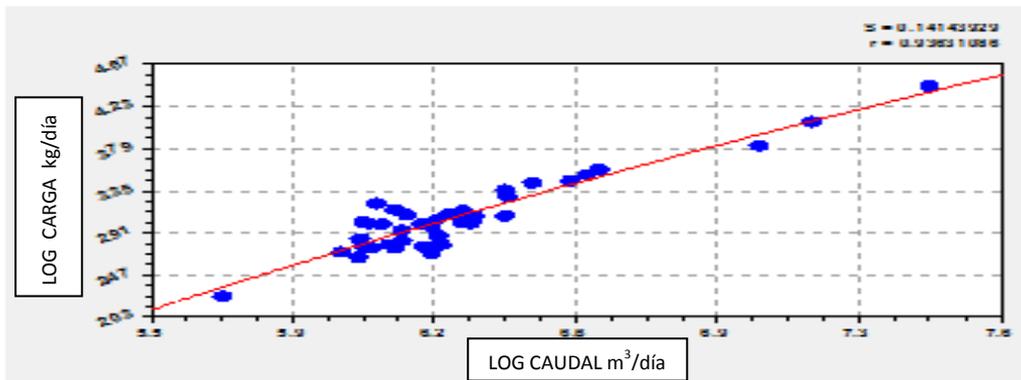


Figura 7. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Salsipuedes.

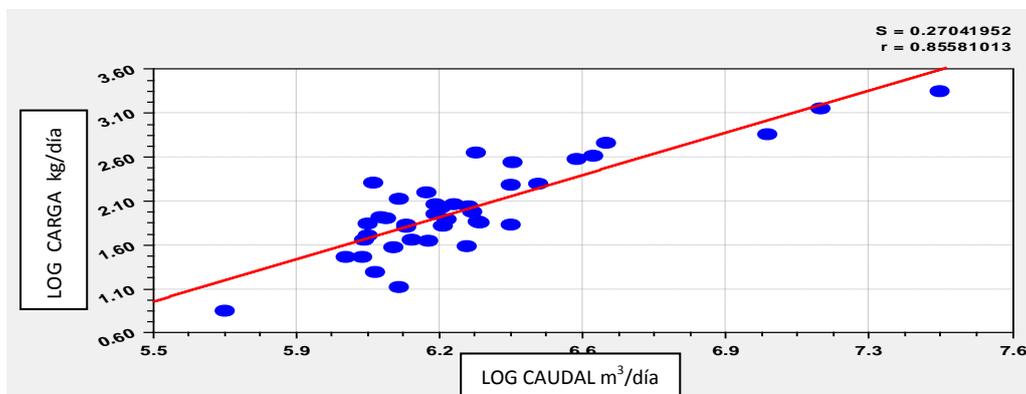


Figura 8. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Salsipuedes.

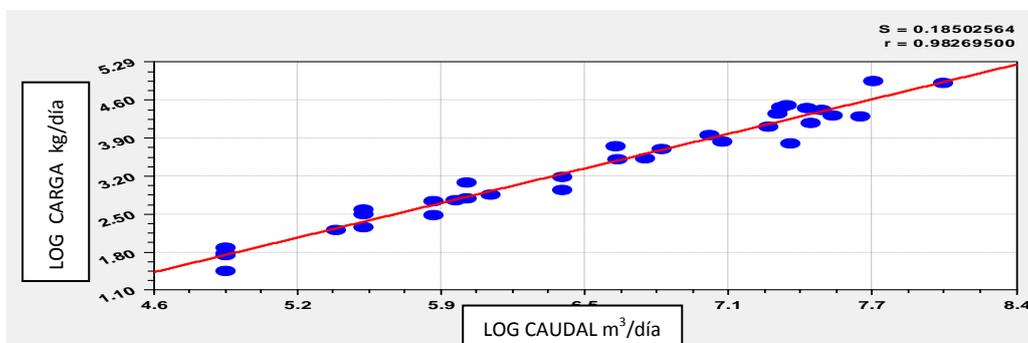


Figura 9. Relación Log carga vs. Log caudal (NT) Yí.

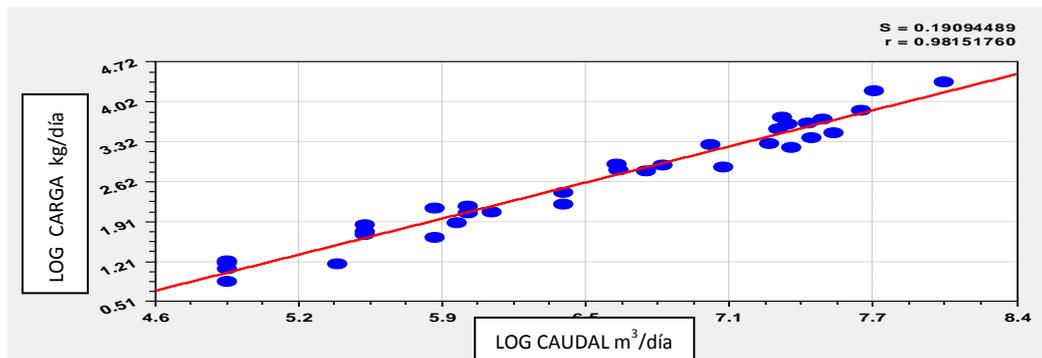


Figura 10. Relación Log carga vs. Log caudal (PT) Yí.

Cálculos de tiempo de residencia

Se tomó el volumen anual promedio del embalse y se dividió por el caudal promedio anual de salida para obtener el tiempo de residencia promedio anual (TR).

Cálculo de las cargas totales

Paso 1 : se halló qué porcentaje del caudal real total le correspondía a cada río.

Paso 2: Se asignaron los porcentajes calculados en el paso anterior al caudal total teórico estimado por la UTE.

Paso 3: se calculó la carga total de cada embalse, utilizando las ecuaciones creadas por el programa Curve expert (1.4), sumando los valores de las cargas de cada río. (Para calcular las cargas totales se utilizaron los caudales teóricos hallados en el paso anterior).

Normalización de balances de nutrientes.

Para realizar la normalización se halló la concentración media anual y se multiplico por el caudal excedente. El caudal excedente es aquel que se obtiene de restar el caudal de salida anual menos el de entrada, pudiendo ser su valor positivo o negativo. De esta forma se calculó la carga que posteriormente se sumó o restó al balance anual original (sin normalizar). Si el valor de la carga era positivo se le restó al balance original y si fue negativo se sumó. Esta normalización se realizó con el fin de minimizar el hecho que los valores de los balances hídricos no fue cero en el período de tiempo contemplado (anexo I, tablas 6, 7 y 8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Balances de STS y nutrientes

Los balances hídricos y de nutrientes mensuales y anuales para todo el período se encuentran en el anexo I (tablas 6, 7 y 8) para los tres embalses, pudiéndose observar que en Bonete hubo retención de nutrientes y STS. Los balances de Baygorria y Palmar fueron más equilibrados. En el anexo II se encuentran los cuadros correspondientes a las cargas de los ríos y las cargas totales recibidas por los embalses. En las tablas a continuación (2 y 3) se observan los balances normalizados de los embalses de todo el período.

Tabla 2. Balance de nutrientes normalizado, STS y MO en Kton/año, NH4 y NO3 en Ton/año.

Embalse	STS			MO			NH4			NO3			Período
	Entrada	Salida	Balance										
Bonete	817	106	711	182	46	136	1057	664	393	4442	2864	1578	2010
	299	41	258	64	17	46	372	245	127	1734	940	794	2011
Baygorria	558	69	488	120	30	91	583	416	167	2825	1701	1124	2012
	191	209	-18	72	78	-6	661	721	-60	3550	4501	-952	2010
	101	81	20	34	27	7	171	287	-117	1117	1223	-106	2011
Palmar	169	139	30	57	48	9	344	487	-143	2066	2372	-306	2012
	414	272	142	133	109	24	1101	717	385	6811	7123	-312	2010
	175	112	63	52	45	7	446	319	127	2253	2251	3	2011
	281	188	93	88	76	12	751	516	235	4165	4244	-79	2012

Tabla 3. Balance de nutrientes normalizado, NT, PO4 y PT en Ton/año

Embalse	NT			PO4			PT			Período
	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance	
Bonete	18001	14570	3431	1545	1359	186	3341	2042	1299	2010
	7163	4848	2315	614	440	174	1299	678	620	2011
Baygorria	11473	8659	2814	941	796	145	2107	1217	890	2012
	18102	16536	1566	1587	2019	-432	2574	2570	4	2010
	6145	5275	870	473	599	-126	880	829	51	2011
	11162	9687	1475	889	1128	-239	1602	1517	84	2012
Palmar	24403	28344	-3941	3002	3281	-278	3943	4713	-770	2010
	8891	10680	-1789	1044	1145	-101	1449	1786	-336	2011
	15689	18661	-2972	1883	2069	-186	2548	3112	-564	2012

En las figuras 11, 12 y 13 se observan las cargas de entrada y salida de STS, NT y PT respectivamente. En dichas figuras se destaca la alta retención de STS que sucede en Bonete. Baygorria como el embalse más equilibrado y Palmar con una tendencia a

exportar nitrógeno y fósforo.

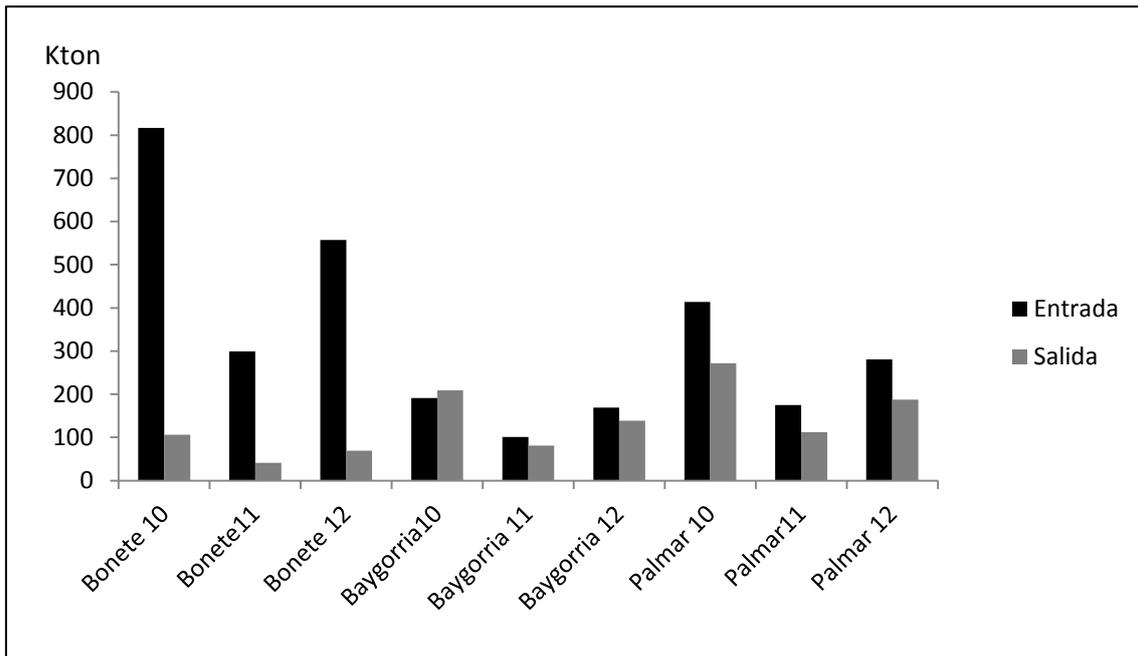


Figura 11. Compara las cargas de entrada y salida de STS para cada embalse en los años 2010, 2011 y 2012.

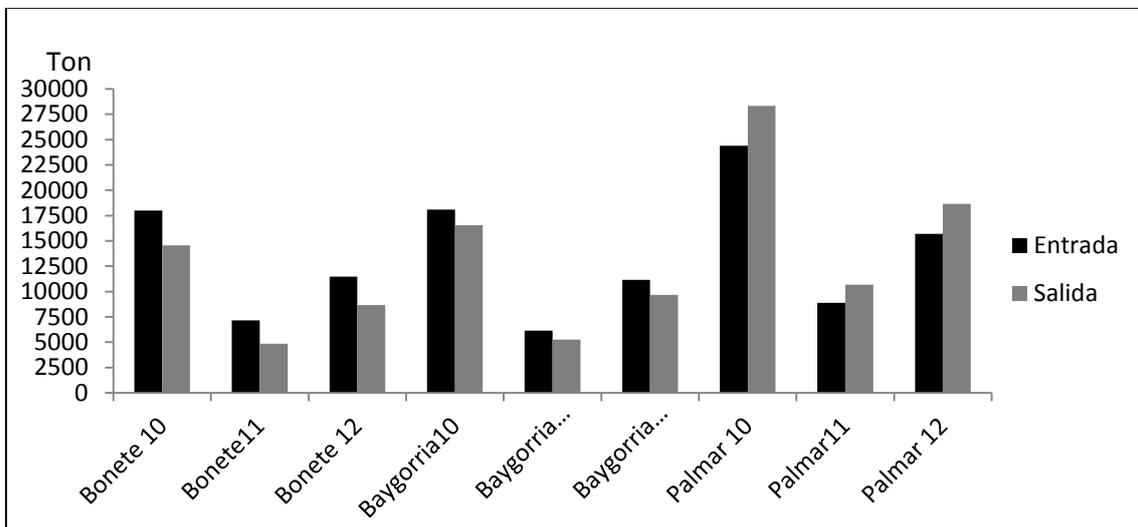


Figura 12. Compara las cargas de entrada y salida de NT para los tres embalses en los años 2010, 2011 y 2012.

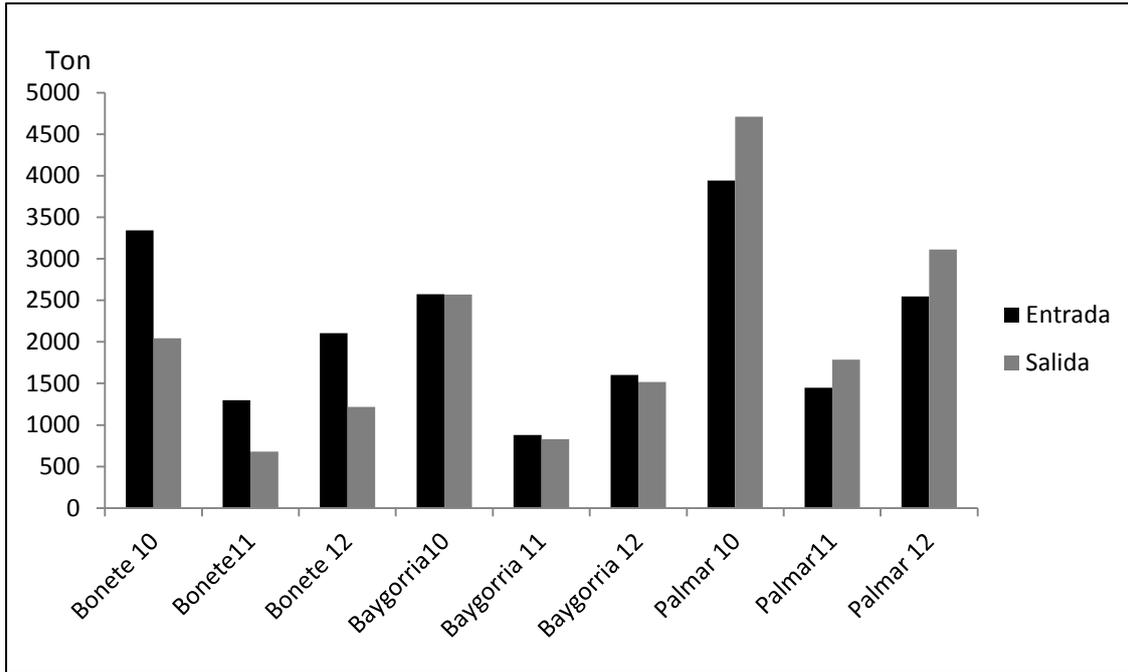


Figura 13. Compara las cargas de entrada y salida de PT en los tres embalses para los años 2010, 2011 y 2012.

Balace de nutrientes en Bonete

En los últimos 50 años la construcción de embalses, ha modificado drásticamente la transferencia de sedimentos en los ciclos hídricos, formando áreas de depósito del mismo. El sedimento más grueso es mayoritariamente depositado en la parte del delta del embalse, mientras que el fino va dirigido hacia las partes más profundas (Dhivert et al., 2015). En Bonete, de un total de 1674 Kton de STS que entraron en todo el período de estudio, (tabla 2 y figura 11), el 87% quedó retenido o inmovilizado. El porcentaje retenido fue similar para los tres años 87,86 y 87%, en orden cronológico. Para el caso de la MO también hubo retención, de un ingreso total de 366 Kton , (tabla 2), el 75 % quedó retenido. El porcentaje inmovilizado anual fue similar para los tres años, 75,72 y 76%. En cuanto al NH_4 , NO_3 y NT, Bonete también funciona como sumidero, (tablas 2 y 3) reteniendo el 34 % del amonio, el 39% del nitrato y el 25% del nitrógeno total, en todo el período. Esto puede deberse, en el caso del amonio a procesos como la demanda biológica por parte del fitoplancton que posteriormente sedimenta (Kim Doam et al., 2015). El nitrato tuvo una retención del 35, 46 y 40% en los años 2010, 2011 y 2012 respectivamente. En un estudio realizado en el lago Shelbyville (E,E.U.U.) se constató que en los años secos, en los cuales el tiempo de

residencia aumenta, la retención de NO_3 es mayor y sospechan que esto se debe a la mayor interacción del nitrato disuelto en el agua con el sedimento bentónico que conduce a la desnitrificación (Stenback et al., 2014). Según (Nogueira et al. 2002) un mayor TR y un menor caudal de salida pueden ser los principales factores causantes de la retención de STS y nutrientes. De un total de 3100 Ton. de fosfato y 6747 de fósforo total, hubo una tendencia a la retención del 18% y una inmovilización del 43% respectivamente en todo el período, (tabla 3). Probablemente esta inclinación a la retención del PO_4 podría ser causada en parte por la absorción de PO_4 por parte de los STS. Un estudio realizado en el embalse de las Tres Gargantas en China calculó la reducción en la tasa de fósforo disuelto debido a la absorción del sedimento, fue del 6,8% (Zhijing et al., 2011). Los valores anuales de retención o de tendencia a ella del PO_4 y el PT fueron 12 - 28- 15 y 39 - 48 - 42% respectivamente para los años 2010, 2011 y 2012. El aumento en la retención de fósforo en el año 2011, respecto al resto podría deberse, según un estudio efectuado por Kim Doam et al. (2015), al aumento del consumo algal, ya que el máximo de clorofila a se dio en los años más secos. Chalar et al. (2011), constataron que en el verano del 2011 ocurrió un pico de clorofila a de 30 $\mu\text{g/l}$. Relacionado a esto último, si anexamos el posterior decantamiento del fitoplancton, se podría explicar la retención de PT.

Balance de nutrientes en Baygorria.

Un embalse varía extensamente sus condiciones hídricas debido al manejo de la represa. Consecuentemente, cambios en el caudal de entrada y de salida, en el nivel del lago y en el tiempo de residencia (TR), afectan directamente las características limnológicas. Un embalse puede volverse un sistema fluvial cuando el tiempo de residencia es corto o totalmente lacustre cuando el tiempo de residencia es largo (Soares et al., 2012). El TR promedio de Baygorria para todo el período de estudio fue de solo 11 días, corto comparado con Bonete (179). En Baygorria para los STS hubo una propensión a la exportación del 9% en el 2010, y a la retención, 20 y 18% en el 2011 y 2012 respectivamente, (tabla 2 y figura 11). La propensión a la exportación en el año 2010 puede estar relacionada a la disminución del tiempo de residencia (Nogueira et al., 2002). La MO mostró una inclinación a la exportación de 8 % en 2010 y hubo una tendencia a la retención de 21 y 16%. en 2011 y 2012 respectivamente, (tabla 2). Estos resultados de retención bajos (comparados con Bonete) o incluso de exportación, en el 2010 (año de mayor caudal), podrían ser consecuencia del corto TR por lo cual el

embalse se comporta como un sistema fluvial, impidiendo que los sólidos en suspensión sedimenten (Soares et al., 2012). En febrero del 2010, el mes de mayor caudal de todo el período (anexo I, tabla 7), hubo retención de los STS, esto podría ocurrir debido a que cuando el caudal del río crece y aumenta su velocidad, arrastra consigo partículas más grandes, que sedimentan más rápido cuando la velocidad del caudal disminuye al chocar con la masa de agua del lago (Boccardi, 2012; Puentes 2007). Para el caso del NH_4 , en el 2010 hubo una tendencia a la exportación con un valor del 9%; en 2011 y 2012 los valores fueron un 68 y 42% respectivamente, (tabla 2). Estos picos pueden estar generados en parte por procesos de mineralización de la materia orgánica en el bentos (Kim Duam et al., 2015), sumado a un alto caudal en relación al volumen del lago, lo cual provocaría la resuspensión de los sedimentos (Lei Huan et al., 2015).

El NO_3 mostro una exportación de 27% en el 2010 y una propensión a exportar de 9 y 15% en el 2011 y 2012 respectivamente, (tabla 2). Según un fenómeno descrito por Kim Duam et al., (2015) el pico del 2010 puede deberse a la transformación de amonio en nitrato (nitrificación), esta hipótesis estaría respaldada por el bajo valor de NH_4 ese año. El NT exhibió una tendencia a ser retenido, 9- 14 y 13% en el 2010 - 2011 y 2012 respectivamente, (tabla 3 y figura 12). El valor de retención de NT en el 2010 podría estar sujeto a error ya que los valores de entrada y salida de dicho nutriente fueron muy altos ese año, y además esta hipótesis estaría sustentada en que todos los balances de nutrientes en ese período, presentaron valores de exportación, salvo el PT que presentó un balance casi perfecto con una tendencia a la retención de 0,15 % (4 Ton). En cuanto al fósforo un estudio efectuado en China demuestra que el aumento en la velocidad del flujo de un curso de agua, aumenta la movilidad del fósforo del bentos, inducida por la resuspensión del sedimento (Lei Huang et al., 2015). Esto podría estar ocurriendo con el PO_4 , donde hubo una exportación con valores de 27% cada año. Por otro lado según Soares et al. (2012), cuanto más corto es el TR menor es la probabilidad de floración de algas debido a la menor disponibilidad de luz causada por los sólidos en suspensión, por lo tanto menor será la captación biológica del fosfato y su posterior sedimentación. También podemos sumarle la deriva de los organismos (A.E.E.T., 2001).

El PT presentó una leve inclinación a ser retenido en el 2011 y 2012, en el 2010 expuso un balance muy equilibrado, las entradas menos las salidas sumaron 4 ton, (tabla 3 y figura 13). Los años 2011 y 2012 podrían explicarse por la tendencia de la MO a ser retenida.

Balance de nutrientes en Palmar

En cuanto a Palmar para cada uno de los años estudiados hubo retención de STS, y NH_4 , (tabla 2). De la misma manera MO exhibió una tendencia a la retención. El NO_3 , NT, PO_4 y PT expusieron una tendencia a la exportación en los años 2010, 2011 y en el 2012, (tablas 2 y 3). La retención del amonio podría ser causada en parte por el consumo biológico de las algas las cuales posteriormente precipitan. Este hecho estaría respaldado por una media de 20,8 $\mu\text{g/l}$ de clorofila a en todo el período, la más alta de los tres embalses y catalogado como eutrófico por Nürnberg, (1996). También pueden haber ocurrido procesos de nitrificación (Kin Doam et al., 2015). Los meses en los cuales hubo mayor retención de MO fueron los de más altos caudales (anexo I, tabla 8) esto podría deberse a que en los meses de elevado caudal el tamaño de los sólidos arrastrados por el río es mayor, (Boccardi, 2012), este hecho implica que la velocidad de sedimentación de las partículas de mayor tamaño también sea mayor, (Puentes, 2007), por lo tanto cuando la velocidad del caudal disminuye al chocar el agua del río con la del embalse estas partículas precipitan primero tendiendo de esta manera a la retención. La mayoría de los nutrientes mostraron una tendencia a la exportación (tablas 2 y 3); esto podría deberse al flujo de agua elevado que resuspende los sedimentos del bentos (Lei Huang et al., 2015), los cuales estarían conformados en parte, por la MO que tiende en determinados momentos a ser retenida y que puede estar sujeta a transformaciones biológicas, físicas y químicas. (Kim Duam et al. 2015). Otro factor que podría estar contribuyendo a la movilización de nutrientes del fondo, podrían ser corrientes de agua ascendentes causadas por los vientos (Curtarelli et al., 2015). Con respecto al NT el 2010 fue el año de mayor exportación. En un estudio realizado por Nogueira et al. (2002) en un conjunto de embalses sobre el río Paranapanema, se afirma que en el lago de la represa de Jurumirim hubo un aumento de la tasa de exportación del NT que paso del 40 al 95 % y que esto parece estar asociado a una disminución del TR del 67%.

Coefficientes de exportación, caracterización del estado trófico de los ríos y valoración de eventos de máximo caudal

Tabla 4. Coeficientes de exportación normalizados en mg/m²año y caudales específicos en m³/m²año.

Cuenca	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT	Caudal Espc.	Año
A. R. Negro	7327	1650	11	44	165	16	32	0.57	2010
Tacuarembó	7446	1508	8	36	166	13	28	0.51	2010
Salsipuedes	6421	1760	8	30	189	7	26	1.04	2010
Yí	5163	1289	9	45	158	19	29	0.47	2010
A. R. Negro	6102	1356	9	36	147	14	27	0.28	2011
Tacuarembó	6276	1172	9	35	161	13	25	0.21	2011
Salsipuedes	3248	891	6	29	149	6	15	0.54	2011
Yí	4814	1196	8	43	156	19	29	0.22	2011
A. R. Negro	6249	1398	10	37	146	14	28	0.35	2012
Tacuarembó	7410	1506	8	36	166	13	27	0.37	2012
Salsipuedes	5798	1590	7	29	178	7	24	1.00	2012
Yí	4885	1215	8	44	156	19	29	0.29	2012

Los coeficientes del Alto Río Negro resultaron en general un poco mayores que los de la cuenca Tacuarembó, los coeficientes de ambas cuencas fueron superiores a los del Salsipuedes salvo la MO y el NT, e inferiores en cuanto al nitrato y el fosfato a los de la cuenca del Yí.

Tabla 5. Concentraciones promedio de todo el período, salvo clorofila a (9/2011 a 12/2012). NT y PT en mg/m³, clorofila a en µg/l, (DE) desvío estándar.

Ríos y Embalses	NT			PT			Clor. A					
	Mínimo	Máximo	DE	Mínimo	Máximo	DE	Mínimo	Máximo	DE			
Río Negro	756	313	1392	284	127	52	223	49	-----	-----	-----	----
Tacurembó	793	437	1330	268	122	44	210	51	-----	-----	-----	----
Salsipuedes	683	312	1397	245	68	10	216	48	-----	-----	-----	----
Yí	749	255	1590	314	138	53	292	65	-----	-----	-----	----
Bonete	549	213	901	226	85	49	165	32	4,2	0,5	9,6	3,3
Baygorria	555	198	772	167	97	46	226	53	6,9	0,3	30,7	10,8
Palmar	847	349	3070	638	133	57	266	62	20,8	0,2	109	39,8

En la tabla 5 se exponen concentraciones promedio para todo el período de estudio para la generalidad de los ríos y embalses, teniendo el Tacuarembó y el Yí los valores más altos de NT 793 (mg/m³) y de PT (138 mg/m³) respectivamente. Los valores más exiguos los exhibió el Salsipuedes. De los valores medios para los embalses Palmar presentó los guarismos más elevados: NT 847mg/m³, PT 133mg/m³ y 20,8 µg/l de clorofila a.

En el año 2010 la cuenca del Alto Río Negro mostró coeficientes de exportación normalizados, superiores a los del Tacuarembó, (Tabla 4) salvo para los STS. Las

mayores diferencias se encontraron en el NH_4 , NO_3 , y PO_4 , la cual fue del 27, 18 y 19 % respectivamente. Estas diferencias podrían deberse a una superior área de cultivo de arroz (Fores et al., 2002; Srivastava et al., 2009). El nitrato y el fosfato también podrían verse acrecentados por un incremento del 23% en la superficie plantada con secano y en general a un área mayor agrícola-ganadera. Sin embargo más allá de las diferencias, ambas cuencas presentan en sus ríos un valor medio de concentración de nutrientes (tabla 5) que los define como mesotróficos para el NT y de eutróficos para el PT, (Dodds et al., 1998). Desde el punto de vista del nitrógeno total no parecería ser un problema lo analizado en un estudio hecho por Grand et al., (2014) que sostiene que en la cosecha de pinos hay un dramático aumento de mineralización por medio de la nitrificación, ya que esta última contribuye al aumento del NT. Tampoco parecería ser importante el aumento de la nitrificación en suelos bajo monocultivos de eucalipto (Carrasco-Letelier et al., 2003), ni el aporte de NH_4 que podrían estar realizando las zonas arroceras (Fores et al., 2002). Por otro lado se hallaron valores altos de PT en ambos ríos siendo para Dupas et al., (2015) un posible motivo de ello, el desarrollo de la agricultura, (59170 ha. de soja maíz y sorgo en el verano 2011 sumadas ambas cuencas).

La región del Yí exhibió los valores más altos de exportación, para el NO_3 y el PO_4 , (tabla 4), lo cual era de esperar debido al uso agrícola intensivo de varias zonas de su cuenca, además de tener amplias regiones de uso agrícola-ganadero. El estado del río Yí según la media es mesotrófico para el NT y eutrófico para el PT (Dodds et al., 1998), (tabla 5).

El Salsipuedes fue la cuenca que claramente tiene menores coeficientes de exportación para el NO_3 y el PO_4 , este hecho probablemente se deba a un uso extensivo o poco intensivo del suelo, un 50 % aproximadamente de forma agrícola-ganadero al oeste y al este, el otro 50 % con praderas que tienen menos del 10% de mejoras, (figura 2). Conforme a la media el Salsipuedes se clasifica como oligotrófico para el NT y mesotrófico para el PT. Este hecho podría parecer una contradicción ya que la cuenca presentó en el año 2010 el coeficiente de exportación más alto para el NT (tabla 4). Lo que sucede es que si bien los niveles de concentración que clasifican el estado trófico del río mes a mes, estuvieron dentro del rango de oligotrófico la mayoría de las veces, el coeficientes de exportación del NT se ve incrementado, más allá que la concentración media anual sea baja, por un fenómeno que describiremos a continuación.

En el Salsipuedes el coeficiente de exportación de los STS y la MO bajaron en el año más seco (2011), el NT y el PT un 20% y un 40% respectivamente comparado con el promedio del 2010 y el 12. Esto podría estar ocurriendo porque al comparar un caudal (A) que se produjo en un solo mes, febrero de 2010, (Anexo II, tabla 12) y uno (B) que es la suma de varios meses, en los cuales los caudales fueron mucho menores al de A. Los caudales menores fueron: marzo del 2010 con un caudal de 69 Hm³, abril del 2010 con 54 Hm³, mayo 2010 con 53 Hm³; junio 2010, 53 Hm³; julio 2010, 62 Hm³; agosto 2010, 55 Hm³; noviembre 2010, 58 Hm³; diciembre 2010, 35 Hm³; enero 2011, 42 Hm³; febrero 2011, 49 Hm³; marzo 2011, 37 Hm³; abril 2011, 37 Hm³; mayo 2011, 74 Hm³ y diciembre 2011 con 35 Hm³ (tabla 12). Encontramos que hay una diferencia en las cargas exportadas entre uno y otro caudal, como se puede observar a en la Figura 14 y por consiguiente en los coeficientes de exportación (Anexo II, tabla 12), en donde el caudal A, más torrentoso o intenso arrastra consigo una mayor cantidad de STS y MO que el caudal B. Como se puede ver en la figura 14 los caudales son prácticamente idénticos, sin embargo las cargas de uno y otro son muy diferentes.

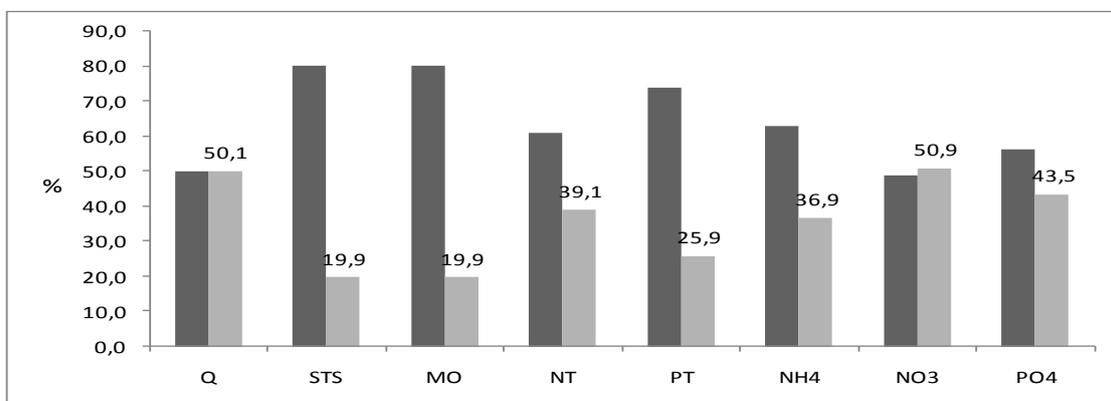


Figura 14. En gris oscuro el caudal y las cargas de febrero del 2010, (tabla 12) en claro ídem. de 14 meses correspondiente a los caudales más bajos, todo expresado en % del total para el río Salsipuedes.

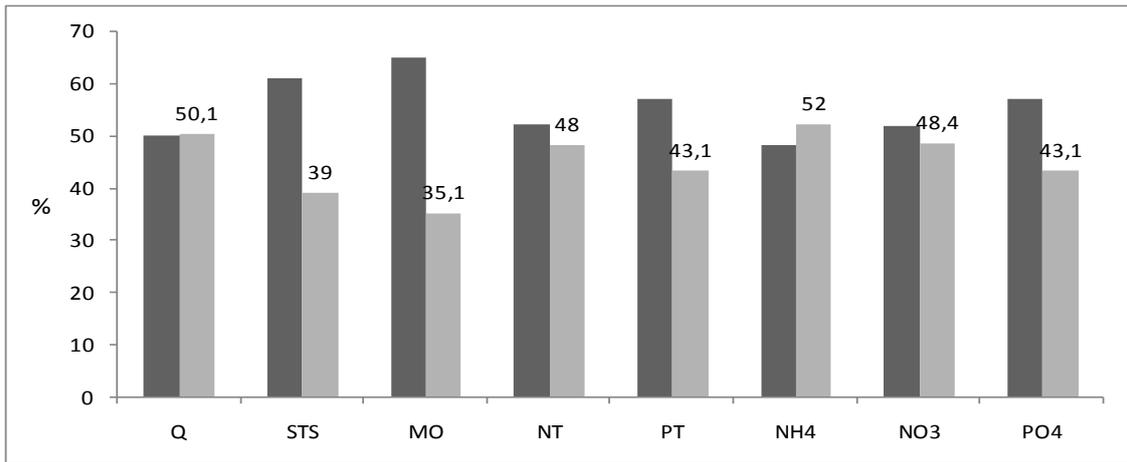


Figura 15. En gris oscuro el caudal y las cargas de febrero del 2010, (tabla 10) en claro ídem. de 17 meses correspondiente a los caudales más bajos, todo expresado en % del total para el río Tacuarembó.

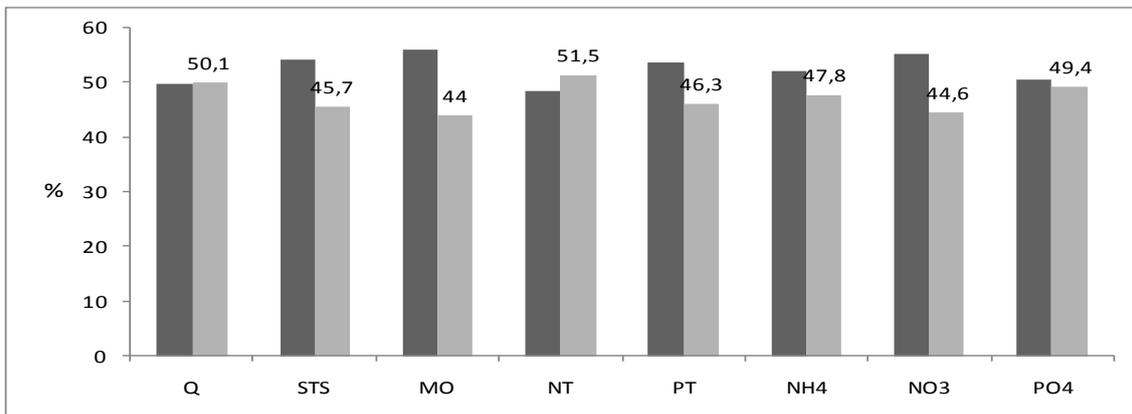


Figura 16. En gris oscuro el caudal y las cargas de febrero del 2010, (tabla 9) en claro ídem. de 19 meses correspondiente a los caudales más bajos, todo expresado en % del total, para el Alto Río Negro.

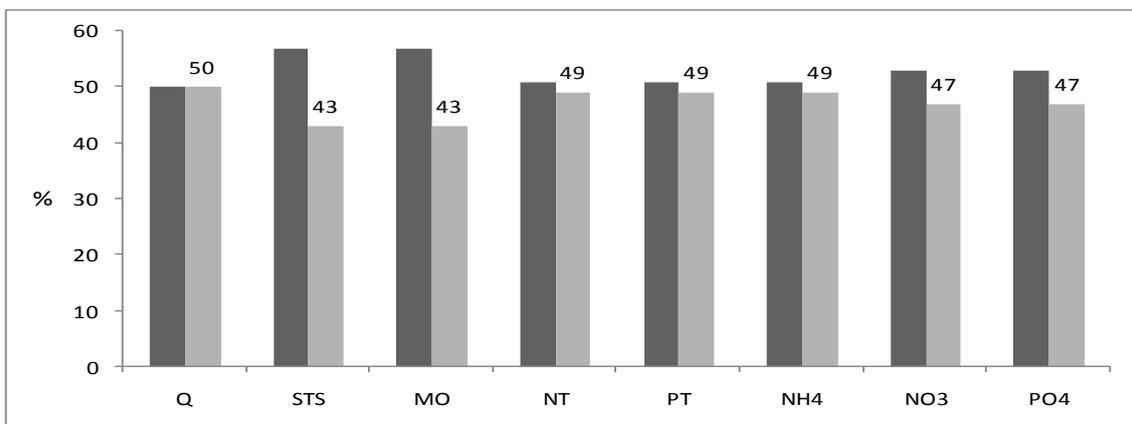


Figura 17. En gris oscuro el caudal y las cargas de febrero del 2010, (tabla 15) en claro ídem, de 19 meses correspondiente a los caudales más bajos, todo expresado en % del total, para el río Yí.

A menudo las crecidas se han interpretado como un fenómeno de dilución de la carga contaminante de un río. Sin embargo esta visión resulta extraordinariamente simplista para Ortega et al., (1988), debido a los intensos cambios que sufrió la composición físico-química de las aguas del Moro (España) después de una crecida. Otro estudio realizado por Rodríguez et al., (2012) afirma que la cantidad de fósforo transportado aumenta con el incremento de las lluvias y que el 35 % de la carga de fósforo ocurrió en solo el 2 % del tiempo. La situación con el resto de las cuencas no es la misma, el fenómeno va disminuyendo hasta hacerse casi imperceptible en el siguiente orden Tacuarembó, Alto Río Negro y el Yí , los dos últimos con valores muy similares, (Figuras 15,16 y 17).

Hay muchos factores que influyen en el aumento de las cargas en los ríos, ellos pueden ser el tipo de suelo, topografía, vegetación, uso de la tierra, clima, etc. En este caso es posible que dicho evento esté vinculado con el tipo de suelo en la cuenca del Salsipuedes ya que presenta suelos superficiales como los Leptosoles Eútricos que son más susceptibles a la erosión que otros suelos más profundos.

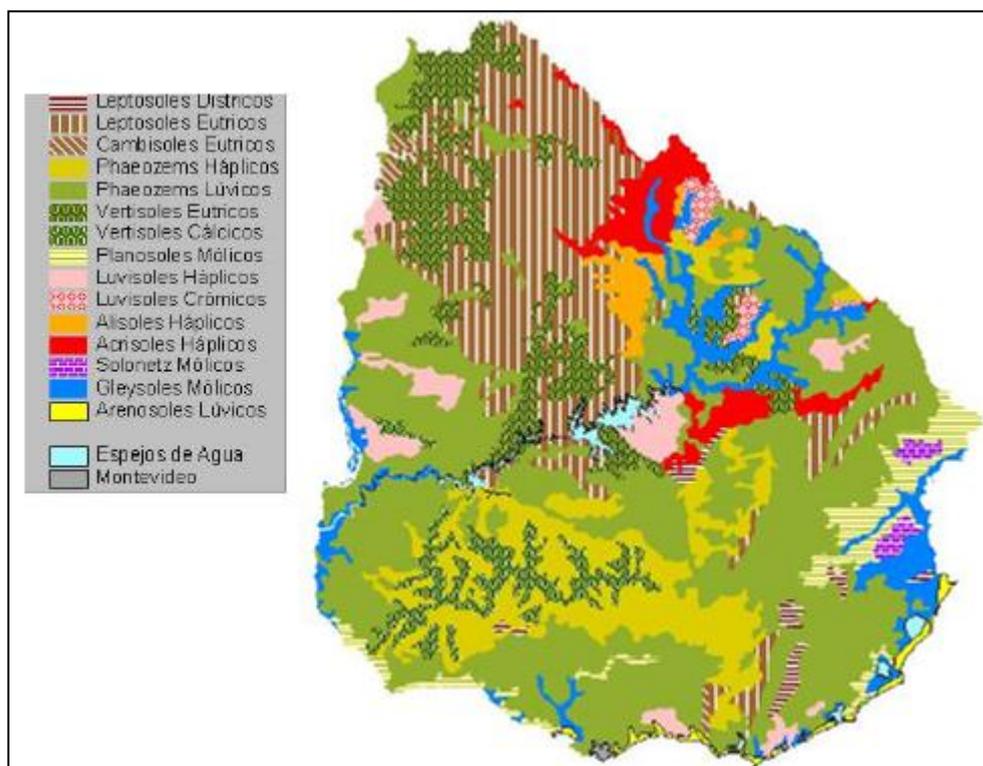


Figura 18. Carta de suelos, FAO 1990.

A pesar de ser multifactorial el aumento de las cargas de nutrientes de las aguas pensamos que en el río Salsipuedes el tipo de suelo y el fenómeno del niño, incrementado por el cambio climático global, estarían jugando su papel (Artiga et al., 2010 & Bidegain et al. 2004). Queremos mencionar que las diferencias entre las cargas, para el NT y el PT, parecen exiguas para el delta presentado en la MO en el río Tacuarembó (figura 15).

Cargas aportadas por los ríos

En las figuras 19, 20 y 21 se pueden ver las cargas de STS, NT y PT totales aportadas a los tres embalses en cadena, donde Palmar recibe la carga más alta de NT y PT, salvo en el 2011 y Baygorria la menor (anexo II, tablas 11, 14 y 17).

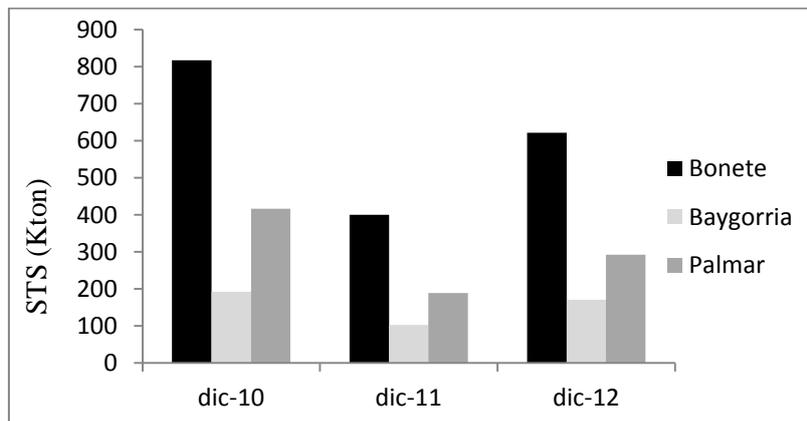


Figura 19. Carga total de STS aportada a los embalses en todo el Período.

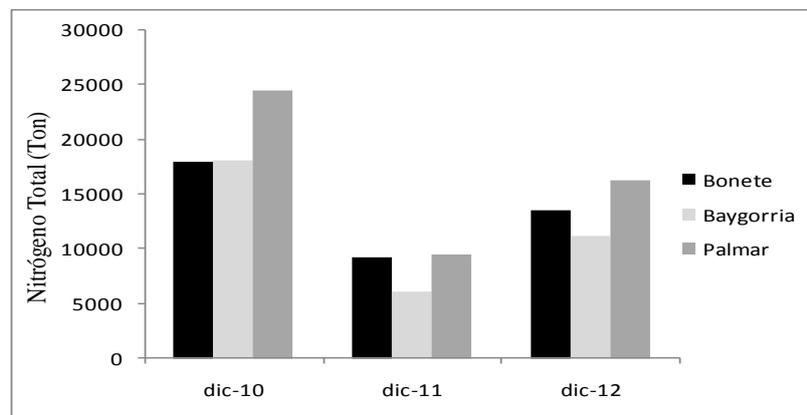


Figura 20. Carga total de nitrógeno aportada a los embalses en todo el período.

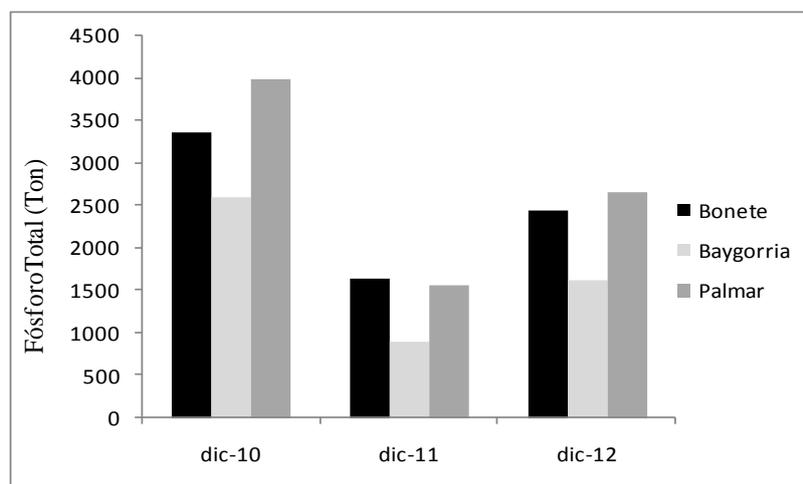


Figura 21. Carga total de fósforo aportada a los embalses en todo el período.

Más allá del enfoque en términos relativos en cuanto a los coeficientes de exportación que hemos hecho hasta aquí, conforme a las estimaciones realizadas para las cargas totales, Bonete fue quien recibió la mayor carga de STS, (Figura 19) esto puede deberse al mayor tamaño de su cuenca junto con la gran retención que el embalse hace de los STS.

Sin embargo las cargas más grandes de NT y PT fueron incorporadas por Palmar, (figuras 20 y 21), salvo en el año más seco donde fueron similares a las de Bonete, esto se debe a la gran retención de NT y PT que Bonete hizo en el 2011. Que Palmar reciba una mayor carga que Bonete tiene su explicación en la contribución que realiza el Yí, en menor medida el Salsipuedes y el resto de la cuenca del Río Negro después de Bonete. Aproximadamente el 50% de la diferencia que se produce al restar los aportes totales a Palmar menos lo erogado por Baygorria (anexo II, tabla 16) es aportada por el Yí, de esta manera este río estaría contribuyendo en buena medida para que Palmar supere los aportes totales de NT y PT hechos a Bonete, pese a la quita de nutrientes que este último hace al comportarse como sumidero y enviando río abajo las aguas “purificadas” (anexo II, tabla 13).

Baygorria se mantuvo por debajo del resto de los embalses, (para todos los parámetros en general), respecto a los aportes totales de nutrientes recibidos, lo cual en cierta medida era lo esperado ya que el Salsipuedes tiene un caudal muy menor comparado con el erogado de Bonete.

Para categorizar el estado trófico de los embalses se aplicó el criterio de (Nürnberg, 1996). Como sería de esperar el embalse que recibió las mayores cargas de nutrientes fue catalogado como el más eutrófico conforme al NT y el PT, dicho embalse

fue Palmar. Le sigue Bonete como mesotrófico para el NT, aunque hubo meses en la cuales esta categoría se elevó a eutrófico. Según el PT el embalse de Bonete es eutrófico, pero la media de esta variable presentó un valor muy por debajo que Palmar (tabla 5). Baygorria se comportó muy similar a Bonete siendo mesotrófico para NT y eutrófico para el PT.

Con respecto al grado de desarrollo del fitoplancton, que es otra forma de medir el estado trófico del lago, Palmar exhibió el rango de eutrófico según la escala de Nürnberg, (1996), con una media de 20,8 $\mu\text{g/l}$, en la cual por encima de 9 $\mu\text{g/l}$ de clorofila a el lago se encuentra eutrofizado. Bonete y Baygorria no alcanzaron la categoría de eutrófico con valores medios de 4,2 y 6,9 $\mu\text{g/l}$ respectivamente.

Método utilizado para el cálculo de las cargas

Uno de los más inciertos modelos de trabajo en hidrología es la predicción de las cargas de nutrientes de los ríos y sus concentraciones. Berges (1997), plantea una relación que sería análoga a la utilizada en este trabajo para la predicción de las cargas de nutrientes, $\text{Log}(A \cdot B^{-1})$ vs. $\text{Log}(B)$, su uso tendría problemas estadísticos como por ejemplo los errores estándares proporcionados por la mayoría de los paquetes de muestreos son asintóticos y debido a que tienden a subestimar el verdadero error generalmente no son adecuados para comparaciones estadísticas, por lo tanto para las relaciones lineales en los ejes log-log el coeficiente r^2 puede ser muy engañoso. Este problema ha sido señalado en áreas específicas de la biología, pero esto en general aparece menos apreciado en las ciencias que estudian el medio acuático. Según este autor, las dificultades estadísticas no invalidan el uso de estos gráficos para ilustrar las relaciones.

Por otro lado en un estudio realizado por Atieh et al. (2015) utilizan esta relación integrada a un complejo modelo para predecir las cargas, como en muchos otros estudios (Asselman, 2000, Syvitski et al., 2000, Crowder et al., 2007, Zhang et al., 2012, Heng & Suetsugi, 2014), y además recientes estudios han concluido que la carga de sedimentos es la variable con el menor nivel de heteroscedasticidad, comparado con la concentración de los sedimentos y que el uso de la información transformada a logaritmo es el método preferido para el cálculo de las cargas para limitar los riesgos de sobreajustes.

CONCLUSIONES

Bonete se comportó decisivamente como sumidero de nutrientes. En Baygorria las entradas y las salidas están más balanceadas, con una leve tendencia a exportar en el 2010 (año más lluvioso) y una pobre inclinación a retener en el 2011 y 2012.

Finalmente en Palmar los resultados mostraron que hubo retención de los STS y el NH_4 , una tendencia a retener la MO y una inclinación a exportar el NT, PO_4 y el PT.

En definitiva Bonete el embalse con tiempo de residencia mayor tuvo un comportamiento lacustre, posibilitando que se produjeran los procesos biológicos, físicos y químicos que hacen que estos sistemas se comporten como sumidero de nutrientes. Baygorria y Palmar por tener un TR exiguo, funcionaron más como un sistema fluvial, con un balance de nutrientes más equilibrado, sobre todo Baygorria.

Todas las cuencas en términos relativos excepto la del Salsipuedes para el PO_4 , expusieron coeficiente de exportación semejantes, acordes con lo esperado según el uso de la tierra, siendo los coeficientes de exportación del nitrato y el fosfato para el Salsipuedes los más bajos y los del Yí los más altos.

Señalamos como un hecho interesante el fenómeno que ocurrió con mayor énfasis en la cuenca del Salsipuedes, según el cual los eventos extremos de precipitaciones contribuyen de forma superlativa con la eutrofización de las aguas.

Con respecto a la eutrofización de ríos y embalses el NT no parece ser un problema abrumador ya que solamente el embalse de Palmar se clasificó como eutrófico para esta variable. Por otro lado el PT sí parece ser un problema crítico donde casi todos los ríos y embalses fueron calificados de eutróficos con valores muy por arriba del límite, salvo el río Salsipuedes que fue definido como mesotrófico.

Algunos puntos o medidas a tomarse, que podrían estar más al alcance de nuestra sociedad para minimizar el problema del fósforo :

- Un uso óptimo de fertilizantes aplicando dosis equilibradas de un conjunto de nutrientes para así hacer un mejor aprovechamiento del fósforo y del resto (FAO, 2002). Tratar de no utilizar biocidas fosforados como el Glifosato (Pizarro, 2015).
- Una zona buffer de bosque nativo bordeando toda las trayectorias del los ríos, arroyos y cañadas. El bosque es el tipo de cobertura vegetal que más protege al

suelo de la erosión mejorando la calidad del agua de los ríos (Guerrero, 2011; RAP-AL, 2010).

- La reducción de los gases de efecto invernadero, para minimizar los efectos del niño. Este punto depende en poca medida de nuestra sociedad ya que los países que más gases de efecto invernadero producen son U.S.A. y China. (Artiga et al., 2010; Hidalgo 2016).
- Realizar un trabajo sobre microcuencas en la zona de estudio, para saber cuantitativamente cuales actividades influyen más sobre el ambiente, deteriorando la calidad de las aguas.
- Caracterizar las fuentes puntuales como las ciudades de Tacuarembó, Paso de los Toros, Durazno, etc. y otras diferentes como las agroindustrias, entre las cuales se encuentran los frigoríficos, cuyas aguas residuales contienen altas concentraciones de materia orgánica, (Eliggi et al. 2001), para poder así hacer un estudio más completo, tratando de agrupar todos los tipos de contaminación, de manera de caracterizar los ríos y embalses, según la magnitud de los distintos tipos de polución que están interviniendo, ya que tanto las fuentes puntuales como las difusas se encuentran actuando.

BIBLIOGRAFÍA

- Abel T. COMPLEX ADAPTATIVE SYSTEMS, EVOLUTIONISM AND ECOLOGY WITHIN ANTHROPOLOGY: INTERDISCIPLINARY RESERCH FOR UNDERSTANDINGS CULTURAL AND ECOLOGICAL DYNAMICS. Georgia Journal of ecological-Anthropology. 2:6-29 (1998)
- A.E.E.T. Asociación Española de Ecología Terrestre. LAS COMUNIDADES DE ZOOPLANCTON DE LOS EMBALSES ESPAÑOLES. Ecosistemas Revista de Ecología y Medio Ambiente. N°2 (2001).
- Amestoy F. HACIA UNA CUANTIFICACIÓN DE ESTRÉS ECOLÓGICO EN EL EMBALSE DE RINCÓN DEL BONETE (URUGUAY). Tesis de Doctorado en la Univesidad de la República (2001).

- Armengol J. ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LOS EMBALSES COMO ECOSISTEMA. Dept. Ecología Facultad de Biología, Universidad de Barcelona (2005).
- Artiga S. CAUSAS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GENERADO POR EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL ACTUAL; LOS ESFUERZOS DE LA COMUNIDAD INTERNACIONAL PARA CONTRARESTARLO Y LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS POR LOS PAÍSES DESARROLLADOS COMO LOS PRINCIPALES CONTAMINADORES, PERÍODO 1990-2007. Tesis para optar por la Licenciatura en Relaciones Internacionales Universidad del Salvador (2010).
- Asselman. FITTING AND INTERPRETATION OF SEDIMENT RATING CURVES. *J. Hydrol.*, 234 (3) pp. 228-248 (2000).
- Atieh, M., Mehlretter, S.L., & Gharabaghi, B. INTEGRATIVE NEURAL NETWORKS MODEL RATING CURVE PARAMETERS FOR UNGAUGED BASINS. *Journal of Hydrology*. Volumen 531, part 3, page 1095-1107 (2015).
- Barreto P. EFECTOS INICIALES DE LA AFORESTACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE ESCURRIMIENTO EN UNA CUENCA DEL RÍO TACUAREMBÓ. Tesis presentada para la obtención del título de Magister en Ciencias Ambientales. Universidad de la República, Facultad de Agronomía (2008).
- Berges J. RATIOS, REGRESSION STATISTICS, AND “SPURIOUS” CORRELATIONS. *Limnol. Oceanogr.*, 42 (5) 1006-1007 (1997).
- Betancourt C., Suárez R. & Toledo L. CICLO ANUAL DEL NITRÓGENO Y EL FÓSFORO EN EL EMBALSE PASO BONITO CIENFUEGOS, CUBA. *Limnetica*, 28 (1): 79-90 (2009).
- Bidegain M., Caffera F., Blixen, Pshennikov V., Lagomarsino J. , Forbes E. & Nagy G. TENDENCIAS CLIMÁTICAS, HIDROLÓGICAS Y OCEANOGRÁFICAS EN EL RIO DE LA PLATA Y COSTA URUGUAYA. (2004).
- Boccardi L. ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA EN UN TRAMO INFERIOR DEL RÍO URUGUAY Y POTENCIALES INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE EFLUENTES DE PLANTAS

DE CELULOSA. Tesis de Maestría de la Universidad de la República, Facultad de Ciencias (2012).

- Bustamante A., Morillo S., Rodríguez M.I., Granero M., Ruiz M., Freyer I., Busso F., Bonfanti E. & Girbal A. ESTUDIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EUTROFIZACIÓN DEL EMBALSE SAN ROQUE MEDIANTE LA OBSERVACIÓN, MEDICIÓN Y APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS NUMÉRICAS. Seminario taller “calidad de agua en los embalses de Córdoba” (2002).
- Carrasco-Letelier, Eguren G., Castiñeira C., Parra O. & Panario D. PRELIMINARY STUDY OF PRAIRIES FORESTED WITH *EUCALYPTUS SP.* AT THE NORTHWESTERN URUGUAYAN SOIL. *Environmental Pollution* (2003).
- Chalar G. DINÁMICA DE LA EUTROFIZACIÓN A DIFERENTES ESCALAS TEMPORALES: EMBALSE SALTO GRANDE (ARGENTINA-URUGUAY) Eutrofización en Sudamérica: causas, consecuencias y tecnologías para manejo y control. Pag. 87-101 (2006).
- Chalar G., Fabián D., Gonzalez-Piana M. & Delbene L. CARACTERIZACIÓN LIMNOLÓGICA DE LOS EMBALSES DEL RÍO NEGRO DURANTE EL PERÍODO SETIEMBRE 2009-JUNIO 2011 Convenio UTE-Facultad de Ciencias (2011)
- Chalar G., Gerhard M., Gonzalez-Piana M., & Fabián D. HIDROQUÍMICA Y EUTROFIZACIÓN EN TRES EMBALSES SUBTROPICALES EN CADENA (URUGUAY) Procesos geoquímicos superficiales en Iberoamérica (2014).
- Crowder D.W., Demissie M. & Markus M. THE ACCURACY OF SEDIMENT LOADS WHEN LOG-TRANSFORMATION PRODUCES NONLINEAR SEDIMENT LOAD-DISCHARGE RELATIONSHIPS *J. Hydrol.*, 336 (3), pp. 250-268 (2007).
-
- Curtarelli M. P., Ogashawara, Alcantara E.H. & Stech J.C. COUPLING REMOTE SENSING BIO-OPTICAL AND THREE-DIMENSIONAL HYDRODYNAMIC MODELING TO STUDY THE PHYTOPLANKTON DYNAMICS IN A TROPICAL HYDROELECTRIC RESERVOIR *Remote Sensing of Environment* 157; page 185-198 (2015)

- Dhivert E., Groshois C., Coynel A., Lefevre I. & Desnet M. INFLUENCE OF MAJOR FLOOD SEDIMENT INPUTS ON SEDIMENTARY AND GEOCHEMICAL SIGNALS ARCHIVED IN A RESERVOIR CORE (UPPER LOIRE BASIN, FRANCE) *Catena* 126 page 75-85 (2015)
- Díaz I. MODELACIÓN DE LOS APORTES DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN CUENCAS HIDRÓGRAFICAS DEL DEPARTAMENTO DE CANELONES (URUGUAY) Tesis presentada para obtener el título de Magíster en Ciencias Ambientales de la Universidad de la República (2013)
- Dodds, W.K., Jones, J.R. & Welch, E.B. SUGGESTED CLASSIFICATION OF STREAM TROPHIC STATE: DISTRIBUTION OF TEMPERATE STREAM TYPES BY CHLOROPHYLL, TOTAL NITROGEN, AND PHOSPHORUS. *Water Research* 32,1455–1462, (1998).
- Dupas R., Delmas M., Dorioz J.M., Garnier J., Moatar & Gascuel-Oudou C. F.ASSESSING THE IMPACT OF AGRICULTURAL PRESURES ON N AND P LOADS AND EUTROPHICATION RISK. *Ecological Indicators* 48, page 396-407 january (2014)
- Eliggi M.S., Amabrovica B.A., De-Carrera L. & Contini E. OPTIMIZACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE UN EFLUENTE FRIGORÍFICO POR BARROS ACTIVADOS. Este trabajo formó parte de la tesis para la obtención del título de Lic. En Biotecnología U.N.L. (2001).
- FAO. CARTA DE SUELOS DEL URUGUAY. (1990).
- FAO. LOS FERTILIZANTES Y SU USO (2002).
- Fores , Espanya & Morales REGENERACIÓN DE LA LAGUNA COSTERA DE LA ENCANYISSADA (DELTA DEL EBRO). UNA EXPERIENCIA DE BIOMANIPULACIÓN. *Ecosistemas revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Mayo-agosto (2002).
- García P. EXPORTACIÓN DE NUTRIENTES Y SÓLIDOS EN CUENCAS LECHERAS DE URUGUAY. Tesis final de Licenciatura orientación Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República (2013).
- Fraile H., Orive E. & Pozo J. EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO Y COMPARACIÓN DE MODELOS RELATIVOS AL FÓSFORO EN LOS EMBALSES DE CERNADILLA Y VALPARAÍSO (RÍO TERA, ZAMORA) *Limnética*, 11 (2):29-37 (1995)

- Grand S., Hudson R. & Laukulich Les M. EFFECTS OF FOREST HARVEST ON SOIL NUTRIENTS AND LABILE IONS IN PODZOLS OF SOUTHWESTERN CANADA: MEAN AND DISPERSION EFFECTS. *Catena* 122, 18-26 (2014).
- Guerrero M. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL USO DEL SUELO (INFLUENCIA ANTROPOGÉNICA) SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA POBLACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO SARAPIQUÍ. Tesis para optar por el grado de Magister en Manejo de Recursos Naturales (2011).
- Heng S. & Suetsugi T. COMPARISON OF REGIONALIZATION APPROACHES IN PARAMETERIZING SEDIMENT RATING CURVE IN UNGAUGED CATCHMENTS FOR SUBSEQUENT INSTANTANEOUS SEDIMENT YIELD PREDICTION. *J. Hydrol.*, 512, pp. 240-253 (2014).
- Hidalgo M. del Mar. DOCUMENTO ANÁLISIS. I.E.E.E. Instituto Español de Estudios Estratégicos.(2016).
- Jørgensen & Vollenweider. GUIDELINES OF LAKE MANAGEMENT. Volumen 1 (1988).
- Kim Doam, Némery J., Schmid M. & Gratiot N. et al. EUTROPHICATION OF TURBID TROPICAL RESERVOIRS: OF EVOLUTION OF THE RESERVOIR OF COINTZIO, MEXICO *Ecological Informatics* 00552; page 14 (2015)
- Lei Huang, Hongwei Fang, Mehdi Fazeli, Yisham Chen, Guojian He & Daoyi Chen. MOBILITY OF PHOSPHORUS INDUCED BY SEDIMENT RESUSPENSION IN THE THREE GORGES RESERVOIR BY FLUME EXPERIMENT. *Chemosphere* 134; page 374-379 (2015)
- Mancera & Vidal. FLORECIMIENTO DE MICROALGAS RELACIONADO CON MORTANDAD MASIVA DE PECES EN EL COMPLEJO LAGUNAR CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO. *Bol. investig. mar. Cost.* vol.23 no.1 Santa Marta Jan./Dec. (1994).
- Margalef R. *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona (1983).
- MGAP-DIEA. REGIONES AGROPECUARIAS DEL URUGUAY. (2015).
- MIEM. Ministerio de Industria, Energía y Minería. MAPAS ENERGÉTICOS (2016).

- Monteoliva & Muñoz. LA GESTIÓN LIMNOLÓGICA Y EL MANTENIMIENTO DE LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA EN LOS EMBALSES. Revista del Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos O.P. N° 51 (2000).
- Muñoz B. & Refoyo P. PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD. RESPONSABILIDAD Y SOLUCIONES. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural Segunda época, Tomo X, (2013).
- Nogueira M.G., Jorcin A., Vianna N.C. & Britto Y.T. UMA AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE EUTROFIZAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS EM CASCATA DO RIO PARANAPANEMA (SP/PR), BRASIL.
EL AGUA EN IBEROAMÉRICA De la Limnología a la Gestión en Sudamérica (2002).
- Nürnberg, G.K. TROPHIC STATE OF CLEAR AND COLORED, SOFT AND HARD-WATER LAKES WITH SPECIAL CONSIDERATION OF NUTRIENTS, ANOXIA, PHYTOPLANKTON AND FISH. Lakes and Reservoir Management 12, 432–447, (1996).
- Ordoñez J. LIMNOLOGÍA DEL EMBALSE DE SAU, RELACIONES DEL ZOOPANCTON, LA CLOROFILA Y LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN CON EL CLIMA LUMÍNICO DEL AGUA. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona (2010).
- Ortega M., Vidal-Abarca M.R., Suárez M., González-Beseran J.L. & Ramírez-Díaz L. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA RAMBLA DEL MORO DESPUÉS DE UNA RIADA (CUENCA DEL RÍO SEGURA, SE DE ESPAÑA). Departamento de Biología Animal y Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Murcia. España. (1988).
- Pizarro N. PRIMERAS JORNADAS SOBRE EUTROFIZACIÓN Y FLORACIONES ALGALES NOCIVAS (FAN) EN EL RÍO URUGUAY. (2015).
- Puentes N. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA DINÁMICA DE SEDIMENTOS COHESIVOS EN SUSPENSIÓN EN UN FLUJO TURBULENTO. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile (2007).

- RAP-AL Uruguay. (Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina). CONTAMINACIÓN Y EUTROFIZACIÓN DEL AGUA, IMPACTOS DEL MODELO DE AGRICULTURA INDUSTRIAL. (2010).
Sitio web: <http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>
- Rodríguez-Blanco M.L., Taboada-Castro M.M. & Taboada-Castro M.T. PHOSPHORUS TRANSPORT INTO A STREAM DRAINING FROM A MIXED LAND USE CATCHMENT IN GALICIA (NW SPAIN): SIGNIFICANCE OF RUNOFF EVENTS. *Journal of Hydrology* (2012).
- Salas, H. & Martino, P. METODOLOGÍAS SIMPLIFICADAS PARA LA EVALUACIÓN DE EUTROFIZACIÓN EN LAGOS CÁLIDOS TROPICALES .Lima:Programa Regional CEPIS/HPE/OPS,(1990).
- Santos S. CALIDAD DEL AGUA EN EL EMBALSE DE YACYRETÁ A TRAVÉS DEL ESTUDIO DEL FÓSFORO COMO NUTRIENTE LIMITANTE Trabajo Profesional de Hidráulica, Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires (2005)
- Soares M.C., Marinho M., Azuedo S., Branco C. & Huszar V. EUTROPHICATION AND RETENTION TIME AFFECTING SPATIAL HETEROGENELTY IN A TROPICAL RESERVOIR *Limnologica* 42; page 197-203 (2012)
- Srivastava P.C., Singh A.P., Kumar S., Ramachandram V., Shrivastava M. & D`souza. EFFICACY OF PHOSPHORUS ENRICHED POST-METHANATION BIO-SLUDGE FROM MOLASSES BASED DISTILLERY AS P SOURCE TO RICE AND WHEAT CROPS GROWN IN A MOLLISOL: I. LABORATORY AND GREENHOUSE EVALUATION WITH P³²-LABELED SOURCES. *Geoderma* volumen 149, 312-317 (2009)
- Stenback A., Crumpton W.G. & Schiling K.E. NITRATE LOSS IN SAYLORVILLE LAKE RESERVOIR IN IOWA *Journal of hydrology* 513; page 1-6 (2014)
- Syvitski J.P., Morehead M.D., Bahr D.B. & Mulder T. ESTIMATING FLUVIAL SEDIMENT TRANSPORT: THE RATING PARAMETERS
- *Water Resour. Res.*, 36 (9), pp. 2747-2760 (2000)

- Teodoru & Wehrli. RETENTION OF SEDIMENTS AND NUTRIENTS IN IRON GATE I RESERVOIR ON THE DANUBE RIVER. *Biogeochemistry* 76:539-565, (2005)
- Torrent J., Barberis E. & Gil-Sotres. AGRICULTURE AS A SOURCE OF PHOSPHORUS FOR EUTROPHICATION IN SOUTHER EUROPE *British Society of soil science*, 23 (suppl. 1), 25-35 (2007)
- Vogel R., Rudolph B.E. & Hooper R.P. PROBABILISTIC BEHAVIOR OF WATER-QUALITY LOADS. *Journal of Environmental Engineering* (2005)
- Wetzel R.G. *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona (1981)
- Zhang W., Wei X., Zheng J., Zhu Y. & Zhang Y. ESTIMATING SUSPENDED SEDIMENT LOADS IN THE PEARL RIVER DELTA REGION USING SEDIMENT RATING CURVES. *Cont. Shelf Res.*, 38 (15), pp. 35-46 (2012).
- Zhijing Cao, Xinbao Zhang & Nanshan Ai. EFFECT OF SEDIMENT ON COCENTRATION OF DISSOLVED PHOSPHORUS IN THE THREE GORGES RESERVOIR. *International Journal of Sediment Research* 26; page 87-95 (2011).

ANEXO I

Tabla 6. Balance hídrico y de nutrientes en Bonete. Agua en Hm3, STS y MO en Kion. NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton.

Mes	Agua		STS		MO		NH4		NO3		NT		PO4		PT									
	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance	Entrada	Salida	Balance						
ene-10	2188	2982	-795	73.1	13.5	59.6	15.4	6.0	9.4	93	82	11	386	383	3	1647	1897	-250	138	178	-40	291	269	22
feb-10	7067	5225	1843	263.3	22.2	241.1	58.9	10.2	48.7	313	137	176	1356	711	645	5239	3446	1792	452	331	122	1029	492	537
mar-10	1817	3429	-1613	40.0	15.3	24.7	13.3	6.8	6.4	81	93	-13	333	448	-115	1335	2205	-869	117	209	-92	249	313	-64
abr-10	104	1686	-1582	10.4	8.2	2.3	2.1	3.5	-1.4	15	49	-34	60	203	-143	266	1031	-765	23	95	-72	44	145	-101
may-10	513	1012	-500	18.7	5.1	13.6	3.8	2.1	1.6	25	30	-5	102	118	-17	460	607	-148	38	55	-18	75	85	-10
jun-10	1222	1682	-461	40.7	8.2	32.5	8.3	3.5	4.8	53	49	4	216	203	13	962	1029	-67	79	95	-16	162	145	17
jul-10	3074	1259	1815	110.7	6.2	104.5	24.1	2.6	21.4	136	37	98	575	149	426	2348	760	1588	200	70	130	436	107	330
ago-10	2656	1676	979	90.7	8.1	82.6	19.7	3.5	16.3	121	49	72	502	203	299	1974	1029	946	174	95	80	372	145	227
sep-10	3624	2482	1142	129.4	11.5	117.9	28.1	5.1	23.1	163	70	93	685	311	374	2762	1558	1205	238	145	92	516	220	296
oct-10	245	1606	-1361	14.4	7.8	6.6	3.1	3.3	-0.3	22	47	-24	86	192	-106	362	979	-617	33	90	-57	63	138	-74
nov-10	148	1319	-1170	10.3	6.5	3.9	2.0	2.8	-0.7	15	39	-24	58	157	-99	264	802	-539	22	74	-52	43	113	-70
dic-10	260	33	227	15.3	0.2	15.1	3.0	0.1	2.9	20	1	19	83	3	80	380	17	362	31	1	29	61	2	59
Balance anual	22916	24391	-1475	817	113	704	182	50	132	1057	682	374	4442	3081	1361	18001	15361	2639	1545	1438	107	3341	2173	1168
ene-11	147	599	-453	15.4	3.1	12.3	3.1	1.3	1.8	20	18	2	83	69	14	374	357	18	31	32	-2	61	50	12
feb-11	310	247	63	14.1	1.3	12.8	2.8	0.5	2.2	20	8	12	80	27	52	360	144	216	30	13	17	58	20	38
mar-11	10	648	-638	9.9	3.4	6.4	1.9	1.4	0.5	14	20	-6	56	72	-16	254	377	-124	21	34	-13	40	53	-12
abr-11	220	100	120	8.2	0.6	7.6	1.6	0.2	1.3	13	4	9	49	10	39	226	53	173	19	5	14	35	7	28
may-11	1246	255	992	46.8	1.3	45.6	10.2	0.5	9.6	57	8	49	240	30	210	1002	154	848	84	14	70	183	22	161
jun-11	1605	946	659	54.5	4.7	49.8	11.7	2.0	9.7	76	28	48	310	112	199	1231	572	659	109	52	57	228	80	147
jul-11	1392	767	624	48.1	4.0	44.2	10.4	1.6	8.7	64	23	41	263	87	176	1076	454	623	93	41	52	196	63	133
ago-11	2094	925	1169	67.0	4.7	62.3	14.3	2.0	12.3	92	28	64	374	107	267	1533	553	980	134	50	84	277	77	200
sep-11	846	924	-77	30.6	4.6	25.9	6.3	2.0	4.4	42	28	14	169	108	61	731	554	177	62	50	12	125	78	48
oct-11	2375	1199	1176	81.2	5.9	75.3	17.2	2.5	14.7	103	35	68	427	143	284	1808	730	1078	152	67	85	323	103	220
nov-11	262	790	-528	12.9	4.0	8.9	2.6	1.7	1.0	19	24	-4	75	91	-16	330	470	-140	29	43	-14	55	66	-11
dic-11	198	726	-528	11.6	3.7	7.9	2.4	1.6	0.8	18	22	-4	68	83	-15	299	431	-131	26	39	-13	50	60	-11
Balance anual	10705	8126	2579	400	41	359	84	17	67	537	245	292	2194	940	1254	9224	4848	4377	790	440	350	1631	678	953
ene-12	0	1163	-1163	11.4	5.8	5.6	2.3	2.5	-0.2	15	35	-19	62	137	-75	280	701	-421	23	64	-41	46	98	-53
feb-12	705	1059	-355	25.4	5.3	20.1	5.2	2.2	3.0	33	32	1	135	124	11	599	638	-39	49	58	-9	101	89	11
mar-12	1335	733	602	49.7	3.8	45.9	10.4	1.6	8.8	58	22	36	247	83	164	1106	433	673	89	39	50	190	60	130
abr-12	503	1143	-640	16.8	5.7	11.1	3.4	2.4	1.0	25	34	-9	99	134	-36	432	688	-257	37	63	-25	72	96	-25
may-12	269	435	-166	10.6	2.3	8.3	2.1	0.9	1.2	15	14	2	61	48	12	274	254	21	23	23	0	44	35	9
jun-12	1184	444	740	44.3	2.3	42.0	9.3	1.0	8.3	58	14	44	238	50	188	1023	260	762	86	23	63	178	36	142
ago-12	2593	811	1782	93.7	4.0	89.7	20.4	1.7	18.7	111	24	87	471	96	375	1971	492	1478	114	92	21	238	141	97
sep-12	1339	2699	-1360	48.8	8.2	40.6	10.1	3.5	6.6	62	49	13	256	203	52	1118	1034	84	93	95	-3	193	145	48
oct-12	5349	2499	2850	205.3	11.4	193.9	46.1	5.0	41.1	230	69	161	1002	319	683	4055	1584	2471	340	149	191	780	224	556
nov-12	256	1664	-1408	17.8	8.1	9.7	3.7	3.5	0.2	26	48	-22	103	201	-97	438	1019	-580	39	94	-55	76	143	-67
dic-12	1156	918	238	40.3	4.6	35.7	8.4	1.9	6.4	49	27	21	205	108	97	918	552	366	74	50	24	156	77	79
Balance anual	16391	14204	2187	622	69	552	134	30	104	762	416	346	3199	1701	1498	13504	8659	4845	1131	796	335	2437	1217	1220

Tabla 7. Balance hídrico y de nutrientes en Baygorria. Agua en Hm³, STS y MO en Kion, NH₄, NO₃, NT, PO₄ y PT en Ton.

Mes	Agua		STS		MO		NH ₄		NO ₃		NT		PO ₄		PT									
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida								
ene-10	3153	3124	29	15.1	23.5	-8.4	6.5	8.8	-2.3	86	81	6	404	1886	117	184	231	-46	281	293	-12			
feb-10	7126	7083	43	89.4	46.7	42.7	29.3	19.4	9.9	211	157	55	987	4460	808	431	580	-149	804	686	118			
mar-10	3747	3765	-19	17.1	27.3	-10.3	7.5	10.6	-3.0	101	93	8	493	2301	120	227	287	-60	342	356	-15			
abr-10	1686	1662	23	8.4	13.9	-5.5	3.5	4.8	-1.3	49	49	0	203	1030	62	93	112	-19	143	152	-9			
may-10	1046	1045	1	5.5	9.2	-3.7	2.2	3.1	-0.8	31	33	-1	123	630	30	56	68	-12	86	94	-8			
jun-10	1779	1735	44	8.8	14.4	-5.6	3.7	5.0	-1.3	51	50	1	216	1091	1013	78	99	118	-19	151	159	-7		
jul-10	1588	1614	-26	8.6	13.5	-4.9	3.5	4.7	-1.2	46	47	-1	192	979	941	38	87	109	-23	135	147	-12		
ago-10	1799	1779	20	9.2	14.7	-5.5	3.8	5.1	-1.3	52	51	1	220	1112	1042	69	100	122	-22	155	163	-8		
sep-10	2787	2716	71	14.9	21.0	-6.1	6.1	7.7	-1.6	78	72	6	354	429	160	160	196	-36	248	253	-5			
oct-10	1612	1615	-4	8.2	13.6	-5.5	3.4	4.7	-1.3	47	48	-1	194	226	93	88	109	-20	136	147	-11			
nov-10	1328	1289	39	6.8	11.0	-4.2	2.8	3.7	-0.9	39	39	0	159	178	62	72	86	-13	112	117	-6			
dic-10	52	27	25	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	2	1	1	7	36	15	2	2	1	4	2	2			
Balance anual	27701	27454	247	192	209	-17	73	78	-5	794	721	73	3553	16536	1602	1600	2019	-419	2596	2570	26			
ene-11	605	527	79	3.2	4.8	-1.6	1.3	1.6	-0.3	18	17	1	70	298	62	31	33	-2	49	47	2			
feb-11	269	271	-2	1.8	2.6	-0.8	0.7	0.8	-0.2	8	9	-1	31	162	12	13	16	-4	21	24	-3			
mar-11	646	632	14	3.5	6.0	-2.5	1.4	1.9	-0.5	20	22	-2	73	376	23	33	39	-6	51	56	-5			
abr-11	129	83	46	1.1	1.0	0.1	0.4	0.3	0.1	4	4	1	15	79	44	5	4	1	9	7	2			
may-11	518	510	8	23.6	4.1	19.5	6.7	1.5	5.2	23	14	9	69	500	301	25	36	-11	94	47	47			
jun-11	1138	1111	28	10.5	9.7	0.8	3.6	3.2	0.3	35	34	1	138	150	-11	744	639	105	73	-14	104	100	4	
jul-11	1082	1088	-6	27.4	9.5	17.9	8.1	3.2	4.9	40	33	7	131	148	-17	829	628	201	54	72	-18	141	99	42
ago-11	1254	1224	30	10.5	10.6	-0.1	3.7	3.6	0.1	39	37	2	151	167	-17	804	707	97	65	81	-16	112	111	1
sep-11	958	939	19	4.9	8.3	-3.4	2.0	2.7	-0.7	28	29	-1	113	125	-12	574	539	36	51	61	-10	79	85	-6
oct-11	1331	1306	25	8.3	11.1	-2.8	3.2	3.8	-0.6	39	39	0	162	182	-21	832	759	74	72	88	-16	115	119	-4
nov-11	801	778	23	4.3	7.0	-2.7	1.7	2.3	-0.6	24	25	-1	93	100	-7	477	443	35	42	50	-8	65	70	-5
dic-11	746	727	20	4.1	6.6	-2.4	1.6	2.1	-0.5	22	23	-1	87	94	-7	446	414	32	38	47	-8	60	65	-5
Balance anual	9477	9193	283	103	81	22	34	27	7	302	287	15	1133	5275	909	488	599	-112	900	829	71			
ene-12	1188	1137	51	6.2	9.9	-3.8	2.5	3.3	-0.8	35	35	0	141	153	-12	717	654	63	64	75	-11	98	103	-4
feb-12	1328	1287	42	12.6	11.2	1.5	4.3	3.8	0.5	42	39	2	161	173	-12	873	741	132	69	85	-16	123	116	7
mar-12	978	937	40	12.4	8.4	3.9	3.9	2.8	1.2	32	30	2	118	121	-3	666	534	132	48	60	-12	95	84	11
abr-12	1282	1255	27	8.7	10.9	-2.3	3.2	3.7	-0.4	39	39	0	154	168	-14	802	722	80	67	82	-15	110	113	-4
may-12	520	532	-12	3.6	5.1	-1.5	1.3	1.6	-0.3	16	18	-2	61	63	-2	317	297	21	26	32	-7	42	47	-5
jun-12	605	594	11	6.9	5.6	1.3	2.2	1.8	0.5	20	20	0	72	73	0	403	334	68	29	37	-7	56	53	4
jul-12	1714	1683	32	9.0	14.1	-5.1	3.7	4.9	-1.2	50	49	1	207	238	-31	1055	981	74	95	114	-19	146	154	-7
ago-12	1438	1382	56	47.0	11.2	35.8	13.5	4.0	9.6	57	39	18	184	207	-23	1229	815	414	71	96	-26	216	127	88
sep-12	1857	1885	-28	9.5	15.5	-6.0	4.0	5.4	-1.5	54	54	0	226	273	-47	1146	1105	41	103	129	-26	159	173	-14
oct-12	3100	3100	75	37.6	23.3	14.3	12.4	8.8	3.7	97	80	17	413	511	-99	2231	1872	359	180	229	-49	335	291	44
nov-12	1687	1691	-4	8.4	14.1	-5.7	3.5	4.9	-1.4	49	49	-1	204	240	-36	1033	986	46	93	115	-21	143	155	-11
dic-12	1136	1119	17	9.2	9.7	-0.5	3.2	3.3	0.0	35	34	1	137	152	-15	726	645	81	59	74	-15	101	101	-1
Balance anual	16907	16601	306	171	139	32	58	48	10	525	487	38	2078	9687	1510	903	1128	-226	1625	1517	108			

Tabla 8. Balance hídrico y de nutrientes en Palmar. Agua en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton.

Mes	Agua		STS		MO		NH4		NO3		NT		PO4		PT									
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida								
ene-10	3490	3671	26.8	26.4	0.5	10.0	10.6	-0.6	90	70	20	586	651	2124	2704	581	261	308	47	331	450	-119		
feb-10	11610	11287	148.6	72.0	76.6	46.5	28.9	17.6	321	173	148	2439	2508	7853	8334	-482	1012	1047	-35	1286	1377	-91		
mar-10	4190	4627	33.6	32.5	1.1	12.3	13.1	-0.8	108	85	22	732	853	2589	3410	-820	321	395	-74	407	567	-160		
abr-10	1863	2108	15.6	16.0	-0.4	5.4	6.4	-1.0	54	45	9	269	334	1094	1551	-457	128	168	-40	172	259	-87		
may-10	1207	830	37.7	6.8	4.8	3.7	2.7	1.0	38	20	18	167	116	52	707	610	98	62	18	113	102	11		
jun-10	2686	2613	73	29.0	19.4	9.6	9.1	7.8	82	53	29	431	433	1666	1923	-257	198	213	-15	272	321	-49		
jul-10	3315	3113	201	44.5	22.9	21.6	13.0	9.2	3.8	62	45	571	524	2145	2292	-147	257	255	2	359	382	-23		
ago-10	2804	2832	-28	30.3	20.9	9.4	9.5	8.4	1.1	85	57	456	473	1745	2085	-340	208	231	-23	284	348	-64		
sep-10	4251	3946	305	49.0	28.2	20.8	15.3	11.3	4.0	125	75	745	704	2716	2907	-191	331	332	-1	444	484	-40		
oct-10	1757	1854	-98	14.8	14.1	0.7	5.1	5.7	-0.6	51	40	250	294	44	1027	1364	-337	119	148	-28	161	228	-67	
nov-10	1440	1451	-11	12.3	11.3	1.0	4.2	4.6	-0.4	43	33	203	219	-16	841	1067	-226	97	113	-16	132	179	-46	
dic-10	120	132	-13	0.8	1.2	-0.4	0.2	0.5	-0.3	2	4	8	15	-6	36	97	-61	4	9	-5	6	16	-10	
Balance anual	38731	38465	266	417	145	134	109	25	1105	717	388	6858	7123	24542	28344	-3802	3017	3281	-264	3967	4713	-746		
ene-11	643	869	-226	5.5	6.9	-1.4	1.8	2.8	-1.0	19	20	-1	77	128	639	-297	38	67	-28	54	107	-53		
feb-11	352	193	159	3.2	1.6	1.6	1.0	0.6	0.4	23	5	7	40	27	14	189	142	47	21	14	6	30	24	
mar-11	692	681	11	6.5	5.7	0.8	2.0	2.3	-0.3	23	17	6	83	90	-7	385	500	-114	42	50	-8	61	84	
abr-11	187	144	44	1.9	1.3	0.6	0.5	0.0	6	4	2	18	17	1	89	105	-17	9	10	-1	15	18	-3	
may-11	1068	776	292	13.8	5.8	8.0	4.0	2.3	1.7	33	16	17	185	129	56	682	571	111	82	63	19	114	95	
jun-11	2499	2204	295	39.9	16.6	23.2	11.0	6.7	4.3	88	46	41	436	353	82	1663	1622	32	196	177	20	283	271	
jul-11	2584	2734	-150	40.6	20.2	20.4	11.3	8.1	3.2	89	55	34	459	458	1	1712	2013	-301	205	223	-18	292	336	
ago-11	2489	2294	196	30.1	17.3	12.8	8.8	6.9	1.9	77	48	29	391	369	22	1514	1688	-174	179	184	-5	252	282	
sep-11	1321	1256	65	14.0	10.0	4.0	4.3	4.0	0.3	43	29	13	191	183	8	793	923	-130	91	96	-5	129	155	
oct-11	1894	1640	254	18.9	12.8	6.1	6.0	5.1	0.9	57	37	21	290	247	43	1150	1206	-56	135	128	7	185	202	
nov-11	908	1125	-217	8.0	8.9	-0.9	2.6	3.6	-1.0	28	26	2	117	166	-48	511	827	-316	58	87	-29	81	138	
dic-11	795	605	190	7.1	4.9	2.2	2.3	2.0	0.3	25	15	10	101	85	16	446	444	2	50	46	4	70	75	
Balance anual	15434	14520	914	189	112	77	56	45	11	500	319	181	2389	2251	139	9466	10680	-1214	1108	1145	-37	1565	1786	
ene-12	1169	1063	105	10.2	8.4	1.7	3.4	3.4	0.0	36	25	11	158	155	3	675	782	-107	77	82	-5	106	131	
feb-12	1476	1687	-211	12.5	13.0	-0.5	4.3	5.2	-0.9	44	37	7	206	260	-54	857	1241	-383	99	133	-34	135	207	
mar-12	1105	1186	-82	9.7	9.2	0.5	3.2	3.7	-0.5	34	26	8	147	182	-34	633	872	-240	72	93	-21	100	146	
abr-12	1370	1303	67	12.0	10.3	1.7	4.0	4.1	-0.1	42	30	12	187	191	-4	794	958	-164	91	100	-9	125	160	
may-12	633	520	423	5.9	1.8	4.1	1.9	0.7	1.1	21	6	15	76	27	49	350	154	196	39	15	23	56	26	
jun-12	1127	1296	-169	14.1	9.9	4.2	4.1	4.0	0.1	38	28	10	169	203	-34	694	953	-260	80	103	-23	115	159	
jul-12	2481	2611	-130	29.9	19.5	10.4	9.0	7.8	1.2	79	54	25	400	428	-29	1555	1922	-367	184	211	-28	256	321	
ago-12	3663	3075	588	54.6	22.2	32.4	15.8	8.9	6.8	117	60	57	701	539	162	2460	2265	195	303	256	47	414	377	
sep-12	2582	2988	-406	22.5	22.0	0.5	7.7	8.8	-1.1	73	60	13	402	502	-99	1556	2200	-644	185	245	-59	247	367	
oct-12	5862	5317	545	70.0	36.7	33.3	21.8	14.7	7.1	169	95	74	1106	1017	88	3833	3920	-87	477	461	16	628	651	
nov-12	1915	2158	-243	16.5	16.4	0.1	5.6	6.6	-0.9	56	46	10	280	341	-61	1132	1588	-456	132	172	-40	179	265	
dic-12	2680	2456	225	34.2	18.4	15.8	10.1	7.4	2.7	86	51	34	452	398	54	1713	1807	-94	204	198	7	285	302	
Balance anual	26062	25350	712	292	188	104	91	76	15	794	516	277	4285	4244	41	16251	18661	-2410	1944	2069	-125	2645	3112	

ANEXO II

Tabla 9. Caudales, carga de nutrientes aportados a Bonete y coeficientes de exportación de la cuenca para el río Negro. Caudal en Hm³, STS y MO en Kton, NH₄, NO₃, NT, PO₄ y PT en Ton, coef. export. en mg/m² año.

Mes	Caudal	STS	MO	NH ₄	NO ₃	NT	PO ₄	PT
ene-10	780	23.1	5.2	35	136	547	51	102
feb-10	2438	78.6	17.9	116	473	1665	161	343
mar-10	873	26.4	5.9	40	156	609	57	116
abr-10	152	4.0	0.9	6	23	110	10	18
may-10	120	3.2	0.7	5	18	88	8	14
jun-10	303	8.4	1.9	13	49	217	20	38
jul-10	1128	35.1	7.9	53	209	779	74	154
ago-10	1407	43.9	9.9	66	262	971	92	193
sep-10	1567	48.8	11.0	73	290	1083	103	214
oct-10	365	10.2	2.3	16	59	260	24	46
nov-10	69	1.7	0.4	3	10	51	4	8
dic-10	23	0.5	0.1	1	3	18	1	2
Caudal anual y coef. export.	9223	20148	4539	30	120	454	43	89
ene-11	28	0.7	0.1	1	4	21	2	3
feb-11	35	0.8	0.2	1	5	26	2	4
mar-11	22	0.5	0.1	1	3	17	1	2
abr-11	35	0.8	0.2	1	5	26	2	4
may-11	298	8.9	2.0	14	53	208	19	39
jun-11	754	23.1	5.2	35	137	524	49	102
jul-11	420	12.2	2.7	19	71	297	27	54
ago-11	817	24.1	5.4	37	142	574	53	107
sep-11	325	9.1	2.0	14	52	232	21	40
oct-11	855	25.5	5.7	39	150	599	56	113
nov-11	262	7.2	1.6	11	41	189	17	32
dic-11	126	3.3	0.7	5	19	92	8	15
Caudal anual y coef. export.	3978	8250	1834	13	48	199	18	37
ene-12	27	0.6	0.1	1	3	20	2	3
feb-12	50	1.2	0.3	2	7	37	3	6
mar-12	207	5.6	1.2	9	32	149	13	25
abr-12	166	4.5	1.0	7	26	120	11	20
may-12	46	1.1	0.2	2	6	34	3	5
jun-12	350	10.1	2.2	16	59	247	23	45
jul-12	831	25.2	5.7	38	149	578	54	111
ago-12	627	18.9	4.2	29	112	438	41	83
sep-12	371	10.5	2.3	16	61	264	24	47
oct-12	1870	59.3	13.5	88	356	1284	123	260
nov-12	303	8.4	1.8	13	48	217	20	37
dic-12	150	3.9	0.9	6	22	110	10	18
Caudal anual y coef. export.	4998	10615	2375	16	63	248	23	47

Tabla 10. Caudales, carga de nutrientes y coeficientes de exportación de la cuenca para el río Tacuarembó. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton, coef. export. en mg/m2 año.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	958	32.8	6.5	38	166	757	59	124
feb-10	2179	87.3	18.5	85	387	1772	134	310
mar-10	576	20.2	4.1	23	100	456	35	75
abr-10	161	4.0	0.7	7	27	120	10	17
may-10	248	7.0	1.3	10	42	189	15	28
jun-10	613	19.8	3.8	25	105	479	38	76
jul-10	1124	41.8	8.6	45	197	901	69	152
ago-10	810	28.0	5.6	32	141	641	50	105
sep-10	1302	47.5	9.7	52	228	1041	80	175
oct-10	119	2.8	0.5	5	19	87	7	12
nov-10	110	2.6	0.4	5	18	81	7	11
dic-10	73	1.6	0.2	3	12	53	5	7
Caudal anual y coef. export.	8275	18371	3721	21	90	409	32	68
ene-11	70	1.5	0.2	3	11	50	4	7
feb-11	99	2.4	0.4	4	16	73	6	10
mar-11	47	0.9	0.1	2	8	34	3	4
abr-11	71	1.6	0.2	3	11	51	4	7
may-11	224	6.9	1.3	9	38	173	14	27
jun-11	359	10.8	2.0	15	61	277	22	43
jul-11	241	6.5	1.2	10	40	182	15	27
ago-11	559	17.4	3.3	23	96	434	34	68
sep-11	397	11.9	2.2	16	68	306	25	47
oct-11	969	33.0	6.5	39	168	765	60	125
nov-11	212	5.6	1.0	9	35	159	13	23
dic-11	107	2.4	0.4	5	17	78	7	11
Caudal anual y coef. export.	3354	6279	1173	9	35	161	13	25
ene-12	73	1.6	0.3	3	12	53	5	7
feb-12	165	4.3	0.7	7	27	124	10	18
mar-12	605	20.7	4.1	24	105	478	37	78
abr-12	112	2.7	0.4	5	18	83	7	12
may-12	57	1.2	0.2	2	9	41	4	5
jun-12	451	14.9	2.9	18	78	354	28	57
jul-12	473	15.2	2.9	19	81	369	29	59
ago-12	759	27.3	5.5	30	133	605	47	101
sep-12	625	20.4	3.9	25	108	489	39	78
oct-12	2063	86.9	19.0	80	369	1692	126	302
nov-12	174	4.4	0.7	7	29	130	11	19
dic-12	429	12.9	2.4	18	73	330	26	51
Caudal anual y coef. export.	5987	13227	2689	15	65	296	23	49

Tabla 11. Caudales y carga de nutrientes totales aportados al embalse de Bonete. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	2188	73.1	15.4	93	386	1647	138	291
feb-10	7067	263.3	58.9	313	1356	5239	452	1029
mar-10	1824	40.0	13.3	81	333	1335	117	249
abr-10	358	10.4	2.1	15	60	266	23	44
may-10	604	18.7	3.8	25	102	460	38	75
jun-10	1262	40.7	8.3	53	216	962	79	162
jul-10	3138	110.7	24.1	136	575	2348	200	436
ago-10	2715	90.7	19.7	121	502	1974	174	372
sep-10	3726	129.4	28.1	163	685	2762	238	516
oct-10	506	14.4	3.1	22	86	362	33	63
nov-10	351	10.3	2.0	15	58	264	22	43
dic-10	495	15.3	3.0	20	83	380	31	61
Caudal y carga anual	24236	817	182	1057	4442	18001	1545	3341
ene-11	490	15.4	3.1	20	83	374	31	61
feb-11	478	14.1	2.8	20	80	360	30	58
mar-11	335	9.9	1.9	14	56	254	21	40
abr-11	301	8.2	1.6	13	49	226	19	35
may-11	1328	46.8	10.2	57	240	1002	84	183
jun-11	1703	54.5	11.7	76	310	1231	109	228
jul-11	1463	48.1	10.4	64	263	1076	93	196
ago-11	2096	67.0	14.3	92	374	1533	134	277
sep-11	980	30.6	6.3	42	169	731	62	125
oct-11	2404	81.2	17.2	103	427	1808	152	323
nov-11	450	12.9	2.6	19	75	330	29	55
dic-11	408	11.6	2.4	18	68	299	26	50
Caudal y carga anual	12436	400	84	537	2194	9224	790	1631
ene-12	366	11.4	2.3	15	62	280	23	46
feb-12	784	25.4	5.2	33	135	599	49	101
mar-12	1425	49.7	10.4	58	247	1106	89	190
abr-12	589	16.8	3.4	25	99	432	37	72
may-12	367	10.6	2.1	15	61	274	23	44
jun-12	1363	44.3	9.3	58	238	1023	86	178
jul-12	1774	57.5	12.4	79	322	1291	114	238
ago-12	2600	93.7	20.4	111	471	1971	164	363
sep-12	1471	48.8	10.1	62	256	1118	93	193
oct-12	5350	205.3	46.1	230	1002	4055	340	780
nov-12	603	17.8	3.7	26	103	438	39	76
dic-12	1187	40.3	8.4	49	205	918	74	156
Caudal y carga anual	17879	622	134	762	3199	13504	1131	2437

Tabla 12. Caudales, carga de nutrientes y coeficientes de exportación de la cuenca para el río Salsipuedes. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton, coef. export. en mg/m2 año.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	101	1.3	0.4	3	14	72	3	7
feb-10	738	35.4	9.7	34	105	796	27	132
mar-10	69	1.9	0.5	3	15	83	3	9
abr-10	54	0.5	0.1	1	8	34	1	3
may-10	53	0.5	0.1	1	7	33	1	3
jun-10	53	0.4	0.1	1	7	31	1	3
jul-10	62	0.8	0.2	2	10	46	2	4
ago-10	55	0.6	0.2	1	7	35	1	3
sep-10	119	2.0	0.6	4	17	91	4	10
oct-10	62	0.6	0.2	2	9	40	2	3
nov-10	58	0.6	0.2	1	8	37	2	3
dic-10	35	0.2	0.1	1	5	20	1	2
Caudal anual y coef. export.	1460	32073	8793	39	151	942	34	130
ene-11	42	0.3	0.1	1	6	25	1	2
feb-11	49	0.4	0.1	1	7	31	1	3
mar-11	37	0.3	0.1	1	5	21	1	2
abr-11	37	0.3	0.1	1	5	22	1	2
may-11	74	1.3	0.4	2	9	52	2	6
jun-11	86	1.4	0.4	3	12	64	2	7
jul-11	115	3.5	1.0	4	16	102	4	14
ago-11	94	1.9	0.5	3	13	74	3	8
sep-11	37	0.3	0.1	1	5	22	1	2
oct-11	75	0.9	0.3	2	10	52	2	5
nov-11	47	0.4	0.1	1	7	29	1	2
dic-11	62	0.6	0.2	2	9	40	2	3
Caudal anual y coef. export.	755	8356	2291	15	75	382	15	40
ene-12	61	0.6	0.2	1	8	39	2	3
feb-12	144	3.7	1.0	5	20	125	5	16
mar-12	154	4.1	1.1	6	22	133	5	17
abr-12	131	2.2	0.6	4	18	100	4	11
may-12	66	0.8	0.2	2	9	45	2	4
jun-12	70	1.5	0.4	2	10	54	2	6
jul-12	71	1.3	0.4	2	10	54	2	6
ago-12	220	11.0	3.0	10	31	232	8	40
sep-12	65	0.8	0.2	2	9	44	2	4
oct-12	264	10.7	2.9	11	37	262	9	41
nov-12	57	0.5	0.1	1	7	34	1	3
dic-12	92	1.7	0.5	3	13	71	3	8
Caudal anual y coef. export.	1396	27693	7592	35	140	852	31	113

Tabla 13. Caudales y carga de nutrientes erogados de Bonete. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	2982	13.5	6.0	82	383	1897	178	269
feb-10	5225	22.2	10.2	137	711	3446	331	492
mar-10	3429	15.3	6.8	93	448	2205	209	313
abr-10	1686	8.2	3.5	49	203	1031	95	145
may-10	1012	5.1	2.1	30	118	607	55	85
jun-10	1682	8.2	3.5	49	203	1029	95	145
jul-10	1259	6.2	2.6	37	149	760	70	107
ago-10	1676	8.1	3.5	49	203	1029	95	145
sep-10	2482	11.5	5.1	70	311	1558	145	220
oct-10	1606	7.8	3.3	47	192	979	90	138
nov-10	1319	6.5	2.8	39	157	802	74	113
dic-10	33	0.2	0.1	1	3	17	1	2
Caudal y carga anual	24391	113	50	682	3081	15361	1438	2173
ene-11	599	3.1	1.3	18	69	357	32	50
feb-11	247	1.3	0.5	8	27	144	13	20
mar-11	648	3.4	1.4	20	72	377	34	53
abr-11	100	0.6	0.2	4	10	53	5	7
may-11	255	1.3	0.5	8	30	154	14	22
jun-11	946	4.7	2.0	28	112	572	52	80
jul-11	767	4.0	1.6	23	87	454	41	63
ago-11	925	4.7	2.0	28	107	553	50	77
sep-11	924	4.6	2.0	28	108	554	50	78
oct-11	1199	5.9	2.5	35	143	730	67	103
nov-11	790	4.0	1.7	24	91	470	43	66
dic-11	726	3.7	1.6	22	83	431	39	60
Caudal y carga anual	8126	41	17	245	940	4848	440	678
ene-12	1163	5.8	2.5	35	137	701	64	98
feb-12	1059	5.3	2.2	32	124	638	58	89
mar-12	733	3.8	1.6	22	83	433	39	60
abr-12	1143	5.7	2.4	34	134	688	63	96
may-12	435	2.3	0.9	14	48	254	23	35
jun-12	444	2.3	1.0	14	50	260	23	36
jul-12	1645	8.0	3.4	48	198	1005	92	141
ago-12	811	4.0	1.7	24	96	492	45	69
sep-12	1689	8.2	3.5	49	203	1034	95	145
oct-12	2499	11.4	5.0	69	319	1584	149	224
nov-12	1664	8.1	3.5	48	201	1019	94	143
dic-12	918	4.6	1.9	27	108	552	50	77
Caudal y carga anual	14204	69	30	416	1701	8659	796	1217

Tabla 14. Caudales y carga de nutrientes totales aportados a Baygorria. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	3134	15.1	6.5	86	404	2003	184	281
feb-10	7144	89.4	29.3	211	987	5268	431	804
mar-10	3747	17.1	7.5	101	493	2421	227	342
abr-10	1686	8.4	3.5	49	203	1030	93	143
may-10	1049	5.5	2.2	31	123	630	56	86
jun-10	1779	8.8	3.7	51	216	1091	99	151
jul-10	1588	8.6	3.5	46	192	979	87	135
ago-10	1799	9.2	3.8	52	220	1112	100	155
sep-10	2787	14.9	6.1	78	354	1777	160	248
oct-10	1612	8.2	3.4	47	194	983	88	136
nov-10	1328	6.8	2.8	39	159	809	72	112
dic-10	61	0.5	0.1	2	7	36	2	4
Caudal y carga anual	27713	192	73	794	3553	18139	1600	2596
ene-11	606	3.2	1.3	18	70	360	31	49
feb-11	270	1.8	0.7	8	31	162	13	21
mar-11	648	3.5	1.4	20	73	376	33	51
abr-11	136	1.1	0.4	4	15	79	5	9
may-11	526	23.6	6.7	23	69	500	25	94
jun-11	1138	10.5	3.6	35	138	744	59	104
jul-11	1082	27.4	8.1	40	131	829	54	141
ago-11	1254	10.5	3.7	39	151	804	65	112
sep-11	958	4.9	2.0	28	113	574	51	79
oct-11	1331	8.3	3.2	39	162	832	72	115
nov-11	801	4.3	1.7	24	93	477	42	65
dic-11	746	4.1	1.6	22	87	446	38	60
Caudal y carga anual	9496	103	34	302	1133	6184	488	900
ene-12	1188	6.2	2.5	35	141	717	64	98
feb-12	1328	12.6	4.3	42	161	873	69	123
mar-12	978	12.4	3.9	32	118	666	48	95
abr-12	1284	8.7	3.2	39	154	802	67	110
may-12	524	3.6	1.3	16	61	317	26	42
jun-12	607	6.9	2.2	20	72	403	29	56
jul-12	1714	9.0	3.7	50	207	1055	95	146
ago-12	1439	47.0	13.5	57	184	1229	71	216
sep-12	1857	9.5	4.0	54	226	1146	103	159
oct-12	3175	37.6	12.4	97	413	2231	180	335
nov-12	1687	8.4	3.5	49	204	1033	93	143
dic-12	1136	9.2	3.2	35	137	726	59	101
Caudal y carga anual	16918	171	58	525	2078	11197	903	1625

Tabla 15. Caudales, carga de nutrientes y coeficientes de exportación de la cuenca para el Yí. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton, coef. export. en mg/m2 año.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	75	1.3	0.3	3	14	53	6	10
feb-10	2922	80.3	20.2	123	662	2262	280	416
mar-10	235	4.6	1.1	9	46	170	20	31
abr-10	26	0.4	0.1	1	4	18	2	3
may-10	42	0.8	0.2	2	8	30	3	5
jun-10	433	9.1	2.3	17	87	317	38	59
jul-10	886	20.4	5.1	36	185	661	80	122
ago-10	384	8.1	2.0	15	77	281	33	52
sep-10	726	17.0	4.2	30	152	543	66	100
oct-10	23	0.3	0.1	1	4	15	2	3
nov-10	19	0.3	0.1	1	3	13	1	2
dic-10	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
Caudal anual y coef. export.	5770	11545	2882	19	100	353	43	65
ene-11	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
feb-11	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
mar-11	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
abr-11	5	0.1	0.0	0	1	3	0	1
may-11	216	4.8	1.2	9	44	159	19	29
jun-11	790	18.7	4.7	32	167	593	72	109
jul-11	860	21.4	5.3	35	186	652	79	120
ago-11	519	11.3	2.8	21	105	383	46	71
sep-11	149	2.9	0.7	6	29	107	13	20
oct-11	186	3.7	0.9	7	36	135	16	25
nov-11	9	0.1	0.0	0	1	6	1	1
dic-11	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
Caudal anual y coef. export.	2732	5096	1267	9	46	165	20	30
ene-12	0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
feb-12	4	0.1	0.0	0	1	3	0	0
mar-12	5	0.1	0.0	0	1	3	0	1
abr-12	23	0.4	0.1	1	4	16	2	3
may-12	4	0.1	0.0	0	1	2	0	0
jun-12	209	4.4	1.1	8	42	153	18	28
jul-12	544	12.5	3.1	22	113	406	49	75
ago-12	964	24.1	6.0	40	209	732	89	135
sep-12	141	2.6	0.6	5	27	101	12	19
oct-12	1256	30.7	7.7	52	269	949	115	175
nov-12	69	1.2	0.3	3	13	49	6	9
dic-12	339	7.1	1.7	14	67	248	29	46
Caudal anual y coef. export.	3558	6735	1675	12	60	215	26	40

Tabla 16. Caudales y carga de nutrientes erogados de Baygorria. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	3124	23.5	8.8	81	515	1886	231	293
feb-10	7083	46.7	19.4	157	1389	4460	580	686
mar-10	3765	27.3	10.6	93	654	2301	287	356
abr-10	1662	13.9	4.8	49	235	968	112	152
may-10	1045	9.2	3.1	33	139	599	68	94
jun-10	1735	14.4	5.0	50	248	1013	118	159
jul-10	1614	13.5	4.7	47	229	941	109	147
ago-10	1779	14.7	5.1	51	258	1042	122	163
sep-10	2716	21.0	7.7	72	429	1624	196	253
oct-10	1615	13.6	4.7	48	226	939	109	147
nov-10	1289	11.0	3.7	39	178	746	86	117
dic-10	27	0.3	0.1	1	3	15	2	2
Caudal y carga anual	27454	209	78	721	4501	16536	2019	2570
ene-11	527	4.8	1.6	17	66	298	33	47
feb-11	271	2.6	0.8	9	32	151	16	24
mar-11	632	6.0	1.9	22	75	353	39	56
abr-11	83	1.0	0.3	4	8	44	4	7
may-11	510	4.1	1.5	14	77	301	36	47
jun-11	1111	9.7	3.2	34	150	639	73	100
jul-11	1088	9.5	3.2	33	148	628	72	99
ago-11	1224	10.6	3.6	37	167	707	81	111
sep-11	939	8.3	2.7	29	125	539	61	85
oct-11	1306	11.1	3.8	39	182	759	88	119
nov-11	778	7.0	2.3	25	100	443	50	70
dic-11	727	6.6	2.1	23	94	414	47	65
Caudal y carga anual	9193	81	27	287	1223	5275	599	829
ene-12	1137	9.9	3.3	35	153	654	75	103
feb-12	1287	11.2	3.8	39	173	741	85	116
mar-12	937	8.4	2.8	30	121	534	60	84
abr-12	1255	10.9	3.7	39	168	722	82	113
may-12	532	5.1	1.6	18	63	297	32	47
jun-12	594	5.6	1.8	20	73	334	37	53
jul-12	1683	14.1	4.9	49	238	981	114	154
ago-12	1382	11.2	4.0	39	207	815	96	127
sep-12	1885	15.5	5.4	54	273	1105	129	173
oct-12	3100	23.3	8.8	80	511	1872	229	291
nov-12	1691	14.1	4.9	49	240	986	115	155
dic-12	1119	9.7	3.3	34	152	645	74	101
Caudal y carga anual	16601	139	48	487	2372	9687	1128	1517

Tabla 17. Caudales y carga de nutrientes totales aportados a Palmar. Caudal en Hm3, STS y MO en Kton, NH4, NO3, NT, PO4 y PT en Ton.

Mes	Caudal	STS	MO	NH4	NO3	NT	PO4	PT
ene-10	3490	26.8	10.0	90	586	2124	261	331
feb-10	11610	148.6	46.5	321	2439	7853	1012	1286
mar-10	4190	33.6	12.3	108	732	2589	321	407
abr-10	1863	15.6	5.4	54	269	1094	128	172
may-10	1207	11.6	3.7	38	167	707	81	113
jun-10	2686	29.0	9.1	82	431	1666	198	272
jul-10	3315	44.5	13.0	107	571	2145	257	359
ago-10	2804	30.3	9.5	85	456	1745	208	284
sep-10	4251	49.0	15.3	125	745	2716	331	444
oct-10	1757	14.8	5.1	51	250	1027	119	161
nov-10	1442	12.3	4.2	43	203	841	97	132
dic-10	130	0.8	0.2	2	8	36	4	6
Caudal y carga anual	38743	417	134	1105	6858	24542	3017	3967
ene-11	644	5.5	1.8	19	77	342	38	54
feb-11	358	3.2	1.0	12	40	189	21	30
mar-11	692	6.5	2.0	23	83	385	42	61
abr-11	189	1.9	0.5	6	18	89	9	15
may-11	1070	13.8	4.0	33	185	682	82	114
jun-11	2499	39.9	11.0	88	436	1653	196	283
jul-11	2584	40.6	11.3	89	459	1712	205	292
ago-11	2388	30.1	8.8	77	391	1514	179	252
sep-11	1321	14.0	4.3	43	191	793	91	129
oct-11	1894	18.9	6.0	57	290	1150	135	185
nov-11	913	8.0	2.6	28	117	511	58	81
dic-11	795	7.1	2.3	25	101	446	50	70
Caudal y carga anual	15346	189	56	500	2389	9466	1108	1565
ene-12	1171	10.2	3.4	36	158	675	77	106
feb-12	1476	12.5	4.3	44	206	857	99	135
mar-12	1105	9.7	3.2	34	147	633	72	100
abr-12	1370	12.0	4.0	42	187	794	91	125
may-12	633	5.9	1.9	21	76	350	39	56
jun-12	1127	14.1	4.1	38	169	694	80	115
jul-12	2481	29.9	9.0	79	400	1555	184	256
ago-12	3663	54.6	15.8	117	701	2460	303	414
sep-12	2582	22.5	7.7	73	402	1556	185	247
oct-12	5862	70.0	21.8	169	1106	3833	477	628
nov-12	1915	16.5	5.6	56	280	1132	132	179
dic-12	2680	34.2	10.1	86	452	1713	204	285
Caudal y carga anual	26065	292	91	794	4285	16251	1944	2645

