

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUAREIM



Lizet De León.-

INFORME DE CONSULTORÍA Nº 17

PROYECTO URU/07/012 - TDR3.12

DINAMA – PNUD

Diciembre 2012

DIRECCIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE - MVOTMA
Director Arq. Jorge Ruck

DIVISIÓN EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL
Director: Ing. Luis Reolón

DEPARTAMENTO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
Jefe: Gabriel Yorda

Responsable del Programa de Monitoreo:
Javier Martínez

Técnicos participantes del programa de monitoreo del Río Cuareim:
Gerardo Balero, Alejandro Cendón, César García, Javier Martínez, Gabriel Yorda,
Patricia Robatto (SOHMA, revisión de datos analíticos)

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

INDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| Antecedentes | 4 |
| ÁREA DE ESTUDIO | 6 |
| MONITOREO..... | 10 |
| RESULTADOS de CALIDAD de AGUA..... | 13 |
| Parámetros medidos in situ | 13 |
| 1) La temperatura del agua | 13 |
| 2) El oxígeno disuelto | 13 |
| 3) pH | 14 |
| 4) Turbidez del agua | 15 |
| 5) La conductividad | 16 |
| Parámetros analizados en laboratorio..... | 17 |
| 6) Alcalinidad | 17 |
| 7) Sólidos totales. | 18 |
| Nutrientes | 19 |
| 8) Nitrógeno (N)..... | 20 |
| 9) Fósforo (P)..... | 23 |
| Metales | 26 |
| 10) Zinc (Zn)..... | 26 |
| 11) Aluminio (Al) | 27 |
| 12) Coliformes termotolerantes..... | 27 |
| 13) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | 29 |
| Estado Trófico del Río Cuareim..... | 29 |
| SÍNTESIS | 32 |
| BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA..... | 34 |

CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUAREIM

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La Dirección Nacional de Medio Ambiente tiene entre sus cometidos “formular, ejecutar, supervisar y evaluar planes para medir y evaluar el estado de la calidad de los recursos ambientales: recursos hídricos, aire y ecosistemas incluyendo áreas naturales protegidas y las zonas costeras...”. Trabaja en ello desde su creación en 1990, incorporando progresivamente, al Programa Nacional de Evaluación de Calidad de Agua, información sobre nuevos sistemas acuáticos, a medida que se logra mayor participación y compromiso por parte de autoridades y técnicos locales del país.

La cuenca del Río Cuareim cuenta con un importante respaldo institucional desde la creación de la “Comisión Mixta Uruguayo-Brasileña para el Desarrollo de la Cuenca del Río Cuareim” (CRC) en 1991, con sede en el Ministerio de Relaciones Exteriores, (www.parlamento.gub.uy/htmlstat/pl/acuerdos/acue16293.htm) y del “Acuerdo Complementario sobre Cooperación en el Área de Recursos Hídricos”. A ellos se agrega en 1997 el “Ajuste Complementario tendiente a promover el manejo, la utilización adecuada y la conservación de los recursos hídricos de la Cuenca del Río Cuareim” y en 1999, en la órbita de la Delegación Uruguaya, el Comité de Coordinación Local (CCL), integrado por representantes locales y con funcionamiento en la Ciudad de Artigas (Chediack *et al.*, 2008). De acuerdo con los objetivos del CCL, los programas de monitoreo de calidad de agua en la cuenca constituirían uno de los pilares para el desarrollo sustentable que se pretende alcanzar.

El río Cuareim ha estado en la agenda de los estudios de calidad de agua desde 1979, inicialmente en el ámbito de la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH). Según DINAMA (2008) los factores que afectaron la calidad del agua en el sistema han sido debidos a contaminación por efluentes industriales y cloacales, así como riesgos potenciales asociados al uso de agroquímicos en la cuenca. También OSE, en 1987, tuvo importante participación en estudios de contaminación fecal en aguas próximas a la toma de la ciudad de Artigas. La DNH inició en 1989 el relevamiento y publicación de los anuarios hidrológicos a nivel nacional incluyendo este sistema. En 2002 se publicó la información recopilada para el desarrollo de un proyecto piloto de gestión de crecidas

en la cuenca del Río Cuareim (Arcelus & Goldenfum, 2005) y estudios posteriores sobre modelado y alertas tempranas de crecidas (Twinlatin WP3, 2009), clasificación de los cuerpos de agua de la cuenca (Twinlatin WP7, 2008) y el mapa de fuentes de contaminación (Twinlatin WP6, 2009).

Los estudios para conocer las condiciones del agua en la cuenca del Río Cuareim se iniciaron en 2003 en el marco de actividades de la Comisión Mixta Uruguayo-Brasileña para el Desarrollo de la Cuenca del Río Cuareim¹ (Twinlatin-WP3 2009; -WP6 2009 y -WP7 2008) y fueron continuados por iniciativa de la Dirección Nacional de Medio Ambiente desde 2006, sustentado con recursos propios (DINAMA, 2008, 2010).

Este trabajo complementa el último informe de consultoría (DINAMA, 2010), incorporando la evaluación de la calidad del agua de acuerdo con los estándares de calidad vigentes en la legislación del Uruguay a través del Decreto 253/79 y modificativos.

El objetivo de este informe consiste en evaluar la calidad del agua del Río Cuareim, de acuerdo con la legislación vigente en el Decreto 253/79 y modificativos. Como objetivo complementario se incorpora la evaluación del estado trófico del sistema de acuerdo con los valores basales adaptado a sistemas fluviales de la región (subtropicales) y aplicado en el Brasil por la Agencia Nacional de Agua.

Teniendo en cuenta que la calidad del agua es un concepto relativo al uso del recurso, en Uruguay se aplican los estándares de calidad de agua establecidos en el Decreto 253/79 y modificativos. En concordancia con la Resolución Ministerial de 2005, que establece que la calidad del agua superficial debe permitir la presencia y desarrollo de la biota acuática en el cuerpo de agua, corresponde a la definida como "Clase 3" del Código de Aguas (1978). Esta calidad es la más exigente y los niveles estándares de las variables involucradas se presentan en la tabla 1.

1 Twinlatin. 2009. WP 6: Pollution Pressure and Impact Analysis IVL/CEH-W /KULEUVEN /EULA /IPH /DNH /CIEMA/UNIGECC/CVC.

Twinlatin. 2009. Work Package 3. Hydrological Modelling and Extremes. D3.1 Hydrological modelling report. D3.2 Evaluation reports. 248 pg

Twinlatin. 2008. Work Package 7: Classification of Water Bodies. Compilation of Partner Basin Contributions. (deliverables D.7.1. and D.7.2.). 160 pg.

Tabla 1: Valores estándares de calidad del agua superficial para la Clase 3, según Decreto 253/79 y modificativos

d) CLASE 3

| PARAMETRO | ESTANDAR |
|---|---|
| - OLOR | No perceptible |
| - MATERIALES FLOTANTES Y ESPUMAS NO NATURALES | Ausentes |
| - COLOR NO NATURAL | Ausente |
| - TURBIEDAD | Máx 50 UNT |
| - pH | Entre 6,5 y 8,5 |
| - OD | Min 5 mg/L |
| - DBO5 | Máx 10 mg/L |
| - ACEITES Y GRASAS | Virtualmente ausentes |
| - DETERGENTES | Máx 1 mg/L en LAS |
| - SUSTANCIAS FENOLICAS | Máx 0,2 mg/L en C6H5OH |
| - AMONIACO LIBRE | Máx 0,02 mg/L |
| - NITRATOS | Máx 10 mg/L en N |
| - FOSFORO TOTAL | Máx 0,025 mg/L en P |
| - COLIFORMES FECALES | No se deberá exceder el limite de 2000 CF/100 mL en ni de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica mismas estar por debajo de 1000 CF/100 mL |
| - CIANURO | Máx 0,005 mg/L |
| - ARSENICO | Máx 0,005 mg/L |
| - CADMIO | Máx 0,001 mg/L |
| - COBRE | Máx 0,2 mg/L |
| - CROMO TOTAL | Máx 0,05 mg/L |
| - MERCURIO | Máx 0,0002 mg/L |
| - NIQUEL | Máx 0,02 mg/L |
| - PLOMO | Máx 0,03 mg/L |
| - ZINC | Máx 0,03 mg/L |

Los datos para la evaluación de la calidad del agua del Río Cuareim y la determinación del estado trófico corresponden a los obtenidos a través del programa de monitoreo de calidad de agua cuyos detalles se presentan en el informe anterior (DINAMA, 2010). Con la continuidad del programa y obtención de nuevos resultados, se irá actualizando el estado del Río Cuareim en siguientes ediciones de esta publicación.

Los resultados analíticos reportados como menores al límite de cuantificación (<LC) o de detección (<LD) fueron considerados como el valor absoluto del LC y LD a fin de contar con un "dato real" que a su vez representa el peor escenario para la evaluación de la calidad.

ÁREA DE ESTUDIO

El Río Cuareim nace en territorio brasilero, en la Cuchilla Negra, y comparte 381 Km de su recorrido como río de frontera entre Uruguay y Brasil, con una pendiente media de 0,93 m/km, más pronunciada en su primer cuarto de recorrido. De sus seis afluentes directos más importantes, hay cuatro en territorio uruguayo. Éstos son los

arroyos Catalán, Tres Cruces, Cuaró y Yucutujá (Figura 1). El caudal medio del Río Cuareim es de 95,6 m³/s, con un registro máximo de 4.653 m³/s del 18/4/1991 y un caudal específico de 0,4 l/s. Por las características del cauce y la cuenca, se producen picos de caudal inmediatamente después de las lluvias, pero con poca duración debido a su rápida evacuación. En varias ocasiones el caudal ha sido cero en la estación hidrológica ubicada en el Puente de la Concordia que une las ciudades de Artigas y Quaraí. Una descripción detallada de las características del río y de la cuenca se encuentra en UNESCO 2002.

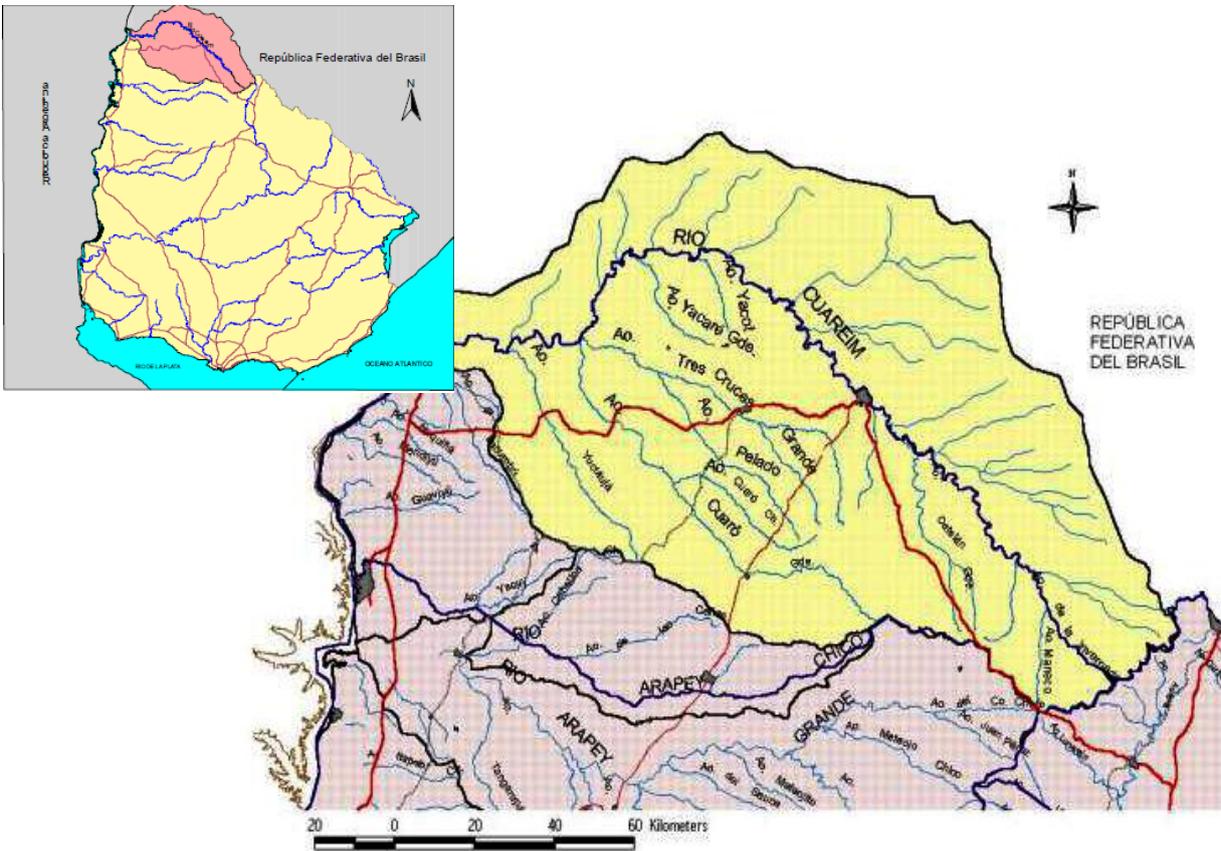


Figura 1. Cuenca del Río Cuareim destacando los principales afluentes de la subcuenca uruguaya. Modificado de Gaviño y Pereyra, 2005 (Fuente: Comisión Mixta Uruguayo-Brasileña para el desarrollo de la cuenca del Río Cuareim/Quaraí)

La cuenca del Río Cuareim tiene un área de aproximadamente 14.800 km², de los cuales aproximadamente 6.700 km² (45 %) se encuentran en territorio brasileño y 8.100 km² (55 %) en territorio uruguayo (figura 1), en el extremo noroeste del país. Las principales actividades productivas de la cuenca están referidas a la producción agrícola, siendo la región del Uruguay con mayor crecimiento en área sembrada desde 2002 (figura 2), y en Brasil desde 1995 (Gaviño y Pereyra, 2005). Según el análisis de

MSc. Lizet De León –
Consultora-DECA

Proyecto DINAMA-PNUD
URU/07/012- TDR 3.12

estos autores, hasta la fecha de su trabajo identificaban una sub-evaluación del avance del cultivo de arroz, de la inequidad del acceso al agua y del mal uso del recurso por parte de algunos usuarios. Debido a las actividades productivas de la cuenca y a la demanda de agua para riego, podrían generarse conflictos de cierta relevancia relativos a la cantidad y calidad del agua, principalmente aguas abajo de las áreas productivas que utilizan agroquímicos.

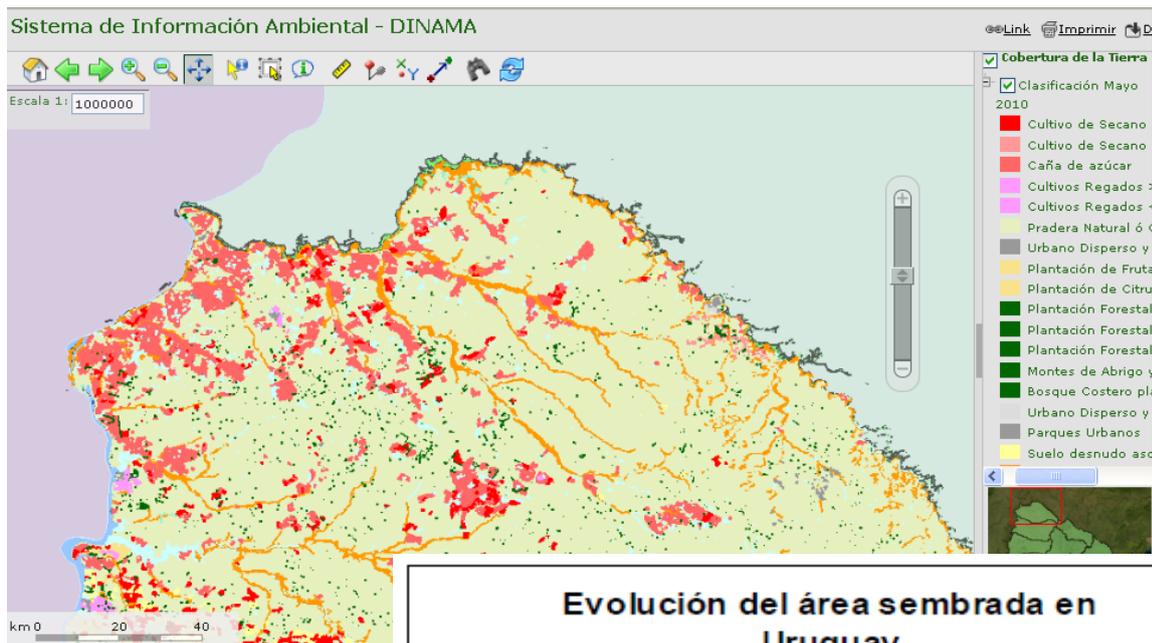


Figura 2. Mapa de cobertura del suelo por uso agrícola en la región Norte del país, que incluye la cuenca del Río Cuareim (fuente DINAMA-SIA), y gráfico de evolución del área sembrada en el Dpto. de Artigas.

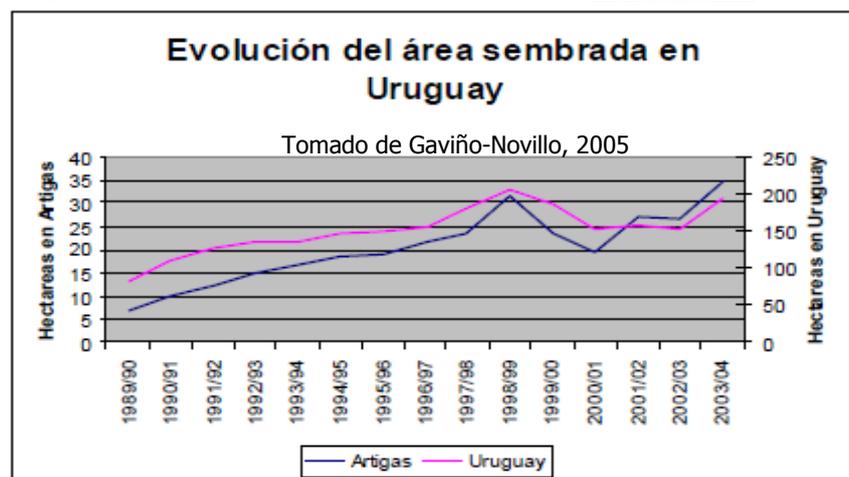


Figura N° 5-2: Evolución del área sembrada en Uruguay
Fuente: ACA

Otros usos del suelo en la cuenca se refieren a la forestación y actividades de ganadería. En la página web de MVOTMA se accede al Sistema de Información Ambiental (SIA) que muestra los diversos tipos de cobertura del territorio en la cuenca (<http://www.dinama.gub.uy/sia/sia/map.phtml>). Un ejemplo de la ocupación forestal del suelo se muestra en la figura 3. Por otra parte, la utilización de otros recursos vinculados directamente al río es reducida. La pesca es escasa, realizándose como

esparcimiento y no como explotación comercial relevante. También existe extracción de arena y cantos rodados en pozos de los márgenes, y erosión del suelo próximo debido a la fabricación de ladrillos (Camacho, 2005).

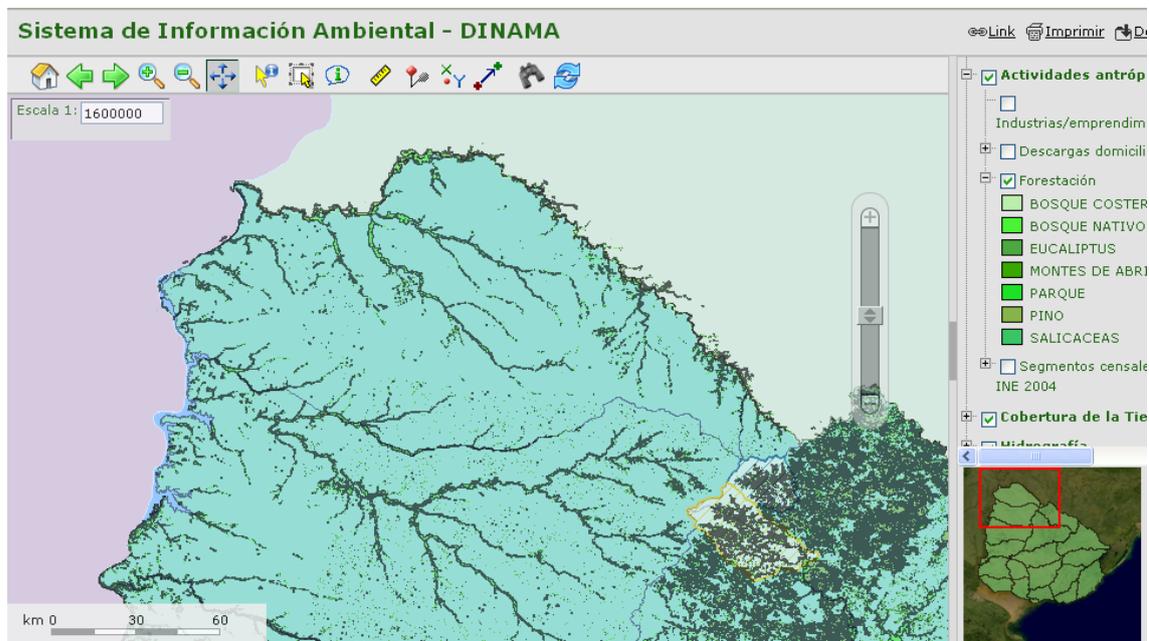


Figura 3. Cobertura del suelo por uso forestal en la cuenca del Río Cuareim. Fuente: www.dinama.gub.uy/sia

Sobre las márgenes del río Cuareim se asientan las ciudades de Artigas (Uruguay) con una población de 45000 personas y Quaraí (Brasil) con 25000 personas (Sordo-Ward, 2006). Ambas ciudades han desarrollado históricamente un íntimo relacionamiento entre sí y con el Río, el cual se comporta como un elemento de unión más que como una barrera física. También se localizan en la cuenca del río Cuareim, otros centros poblados que alcanzan a una población de aproximadamente 75000 personas, según datos del censo de 1996 (Gaviño y Pereyra, 2005). Todas las poblaciones vierten sus aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento primario, directa o indirectamente en los principales ríos y afluentes de la cuenca (figura 4). Las alteraciones del régimen hídrico del Río Cuareim afecta en forma significativa a la población de la ciudad de Artigas principalmente, con altos números de evacuados en los eventos de desborde del río, que alcanzó a 5500 personas, durante 30 días en 2001 (Camacho, 2005).

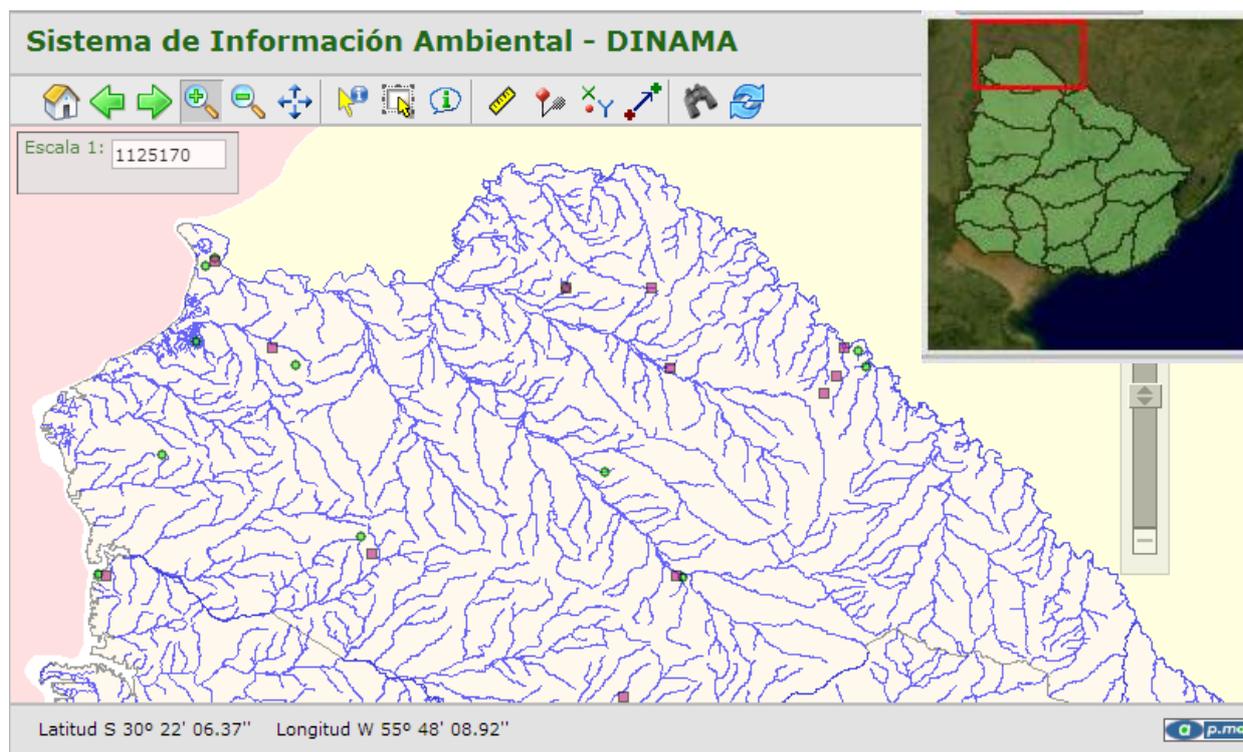


Figura 4. Sitios de descargas domiciliarias (●) y de disposición final de vertidos (■) en la cuenca del Río Cuareim. Tomado de <http://www.mvotma.gub.uy/ambiente-territorio-y-agua/sisnia?Name=Value>

MONITOREO

Los resultados corresponden a 17 muestreos de calidad de agua en 3 estaciones (sitios) sobre el cauce principal del río (Tabla 2, figura 5) durante 4 años (2006-2010). La frecuencia mínima de muestreo fue estacional, y se incrementó durante primavera y verano (tabla 3), a fin de considerar los aspectos climáticos relacionados con la variabilidad temporal y su influencia en la calidad del agua.

Tabla 2. Ubicación georeferenciada de las estaciones de monitoreo en el Río Cuareim

| Estación | latitud | longitud | Característica |
|----------|----------------|---------------|--|
| 2 | 30° 23' 46.79 | 56° 27' 21.54 | ciudad de Artigas, aguas arriba |
| 3 | 30° 21' 23.67" | 56° 32' 50.37 | ciudad de Artigas, aguas abajo |
| 4 | 30° 16' 44.96" | 57° 24' 57.89 | Paso Pay-paso, aguas abajo del A° Yucutujá |



Figura 5. Ubicación de las estaciones de muestreo en el área de estudio de la hemi-cuenca del Río Cuareim en territorio uruguayo.

Tabla 3. Períodos y fechas de muestreos durante el Programa de Monitoreo de Calidad de agua del Río Cuareim que desarrolla DINAMA

| | verano | otoño | invierno | primavera |
|-------------|----------------------|----------|----------|----------------------|
| 2006 | | | | 22-11-06 |
| 2007 | 03-01-07 27-02-07 | 05-06-07 | 07-08-07 | 09-10-07 07-11-07 |
| 2008 | 09-01-08 26-02-08 | | 03-09-08 | 03-12-08 |
| 2009 | 04-02-09 | 06-05-09 | | |
| 2010 | | 23-03-10 | 28-07-10 | 06-10-10 24-11-10 |

Las variables medidas y analizadas para determinar la calidad del agua superficial del Río Cuareim se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Variables del Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del Río Cuareim que desarrolla DINAMA, consideradas para este informe

| Medidas en campo | Medidas en laboratorio |
|---------------------------------|---|
| Temperatura (°C) | Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l) |
| Concentración de Oxígeno (mg/l) | Sólidos totales (mg/l) |
| pH | Nutrientes (mg/l): NO _{3r} , NO _{2r} , NH _{4r} , NT, PO _{4r} , PT |
| Turbiedad | Coliformes termotolerantes (UFC/100 ml) |
| Conductividad | DBO ₅ (mgOD/l) y DQO |
| | Metales: Zn y Al |
| | Biomasa algal: clorofila a (µClorof/l) |

La metodología de muestreo sigue los protocolos establecidos por GEMS/Water (1994) y la metodología de análisis sigue los protocolos establecidos por el Dpto. de Normalización Analítica (Laboratorio) de DINAMA, en el *Manual de Procedimientos Analíticos de Muestras Ambientales* (www.dinama.gub.uy/publicaciones), basados en los protocolos de US-EPA. El análisis de los resultados presentados por todos los parámetros incluidos en el estudio se presentaron en DINAMA 2010.

RESULTADOS de CALIDAD de AGUA

Parámetros medidos *in situ*

1) La temperatura del agua

Presentó un rango entre 10 y 33 °C, con valores promedios entre 14 y 29 °C según la estación del año (tabla 5) y según el sitio de muestreo (figura 6). La estación 3, aguas abajo de la ciudad de Artigas, registró la mayor temperatura promedio; así como las mediciones durante el verano fueron también más altas.

Tabla 5. Temperatura del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máx. | 26,3 | 22,1 | 28,4 | 32,2 |
| Mín. | 11 | 10,3 | 18,5 | 25,1 |
| promedio | 18,66 | 14,5 | 23 | 28,91 |

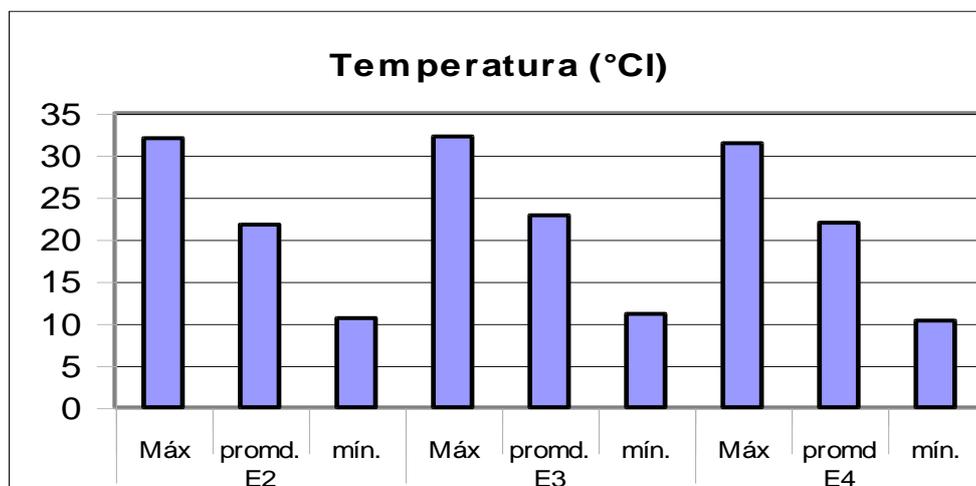


Figura 6. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la temperatura (°C) superficial del río Cuareim, para cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

2) El oxígeno disuelto

de la columna de agua registró valores mínimos de 5 mg/l y máximos de 10,5 mg/l, siendo sus valores promedios próximos a los 7 mg/l, mayores en invierno y mínimo en verano (tabla 6), como es esperable. El sitio del río que registró los valores más altos fue la estación 2, seguida de la 4. La estación 3 (aguas abajo de Artigas) registró los

valores más críticos de la concentración de oxígeno en el agua, con un valor promedio para todo el período levemente superior al límite de calidad indicado por el Decreto 253/79 y modif., de 5 mgOD/l (figura 7). En las demás estaciones los valores mínimos estuvieron en el entorno o superiores a 6 mg/l, y fueron registrados en verano.

Tabla 6. Rango de concentración de Oxígeno Disuelto (mg/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 10,15 | 10,2 | 8,81 | 9,52 |
| Mínimo | 5,6 | 7,3 | 5,21 | 5,39 |
| Promedio | 7,99 | 8,52 | 7,50 | 6,97 |

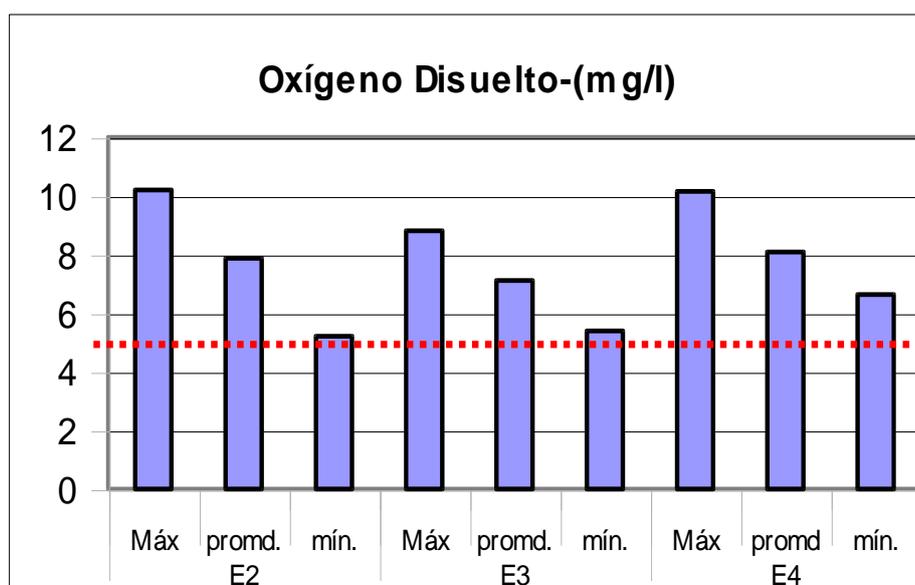


Figura 7. Variación de la concentración de oxígeno disuelto (mg/l) en el Río Cuareim durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010). La línea punteada indica el valor del estándar (5 mg/l) que establece el Decreto 253/79 como mínimo.

3) pH

Es una medida del nivel de acidez o alcalinidad del agua. El estándar del Decreto 253/79 establece que para aguas naturales su valor debe estar entre 6,5 y 8,5 (siendo 7 el valor equivalente a pH neutro y óptimo para aguas naturales). Los valores de pH registrados para el período de estudio en los sitios analizados estuvieron entre 5,8 y 8,8, con valores por debajo del límite inferior de calidad en todas las estaciones del año (tabla 7). No obstante, los valores promedio de pH estuvieron en el entorno de 7,0 en todas las estaciones del año y sitios de muestreo (figura 8).

Tabla 7. Rango de pH del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máx. | 7,7 | 8 | 8,77 | 8,22 |
| Mín. | 6,55 | 5,87 | 6,32 | 6,15 |
| promedio | 7,17 | 6,87 | 7,28 | 7,02 |

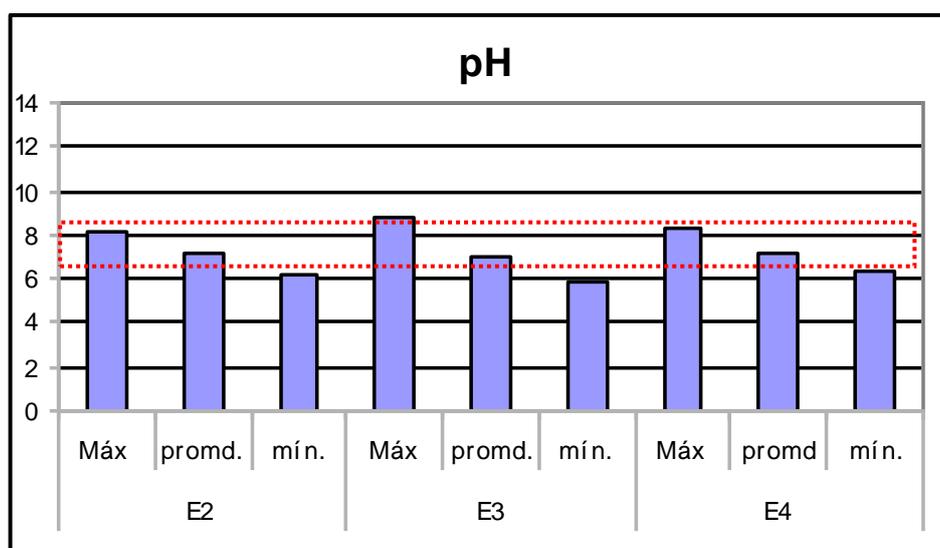


Figura 8. Rango de variación del pH (máximo, promedio y mínimo) para cada estación de muestreo del Río Cuareim durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010). Se indica el rango 6,5-8,5 como valor estándar de calidad del Decreto 253/79

4) Turbidez del agua

Está determinada por la cantidad de partículas en la columna de agua que dispersan y difunden la luz. La unidad de medida es UNT: unidades nefelométricas de turbidez. Este parámetro está reglamentado, estableciéndose como valor estándar de calidad para ambientes naturales una turbidez inferior a 50 UNT. En la mayoría de los registros (95%) a lo largo del sistema y del período de estudio la turbidez estuvo dentro del rango de calidad, con variaciones entre 3 y 37 UNT, excepto en 2 ocasiones que se superó los 50 UNT, en otoño y verano (tabla 8), en las estaciones 4 y 2 respectivamente (figura 9).

Tabla 8. Rango de Turbidez (UNT) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|--------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 60 | 9,5 | 28 | 68 |

| | | | | |
|----------|-------|-----|-------|------|
| Mínimo | 4,4 | 3,1 | 3,4 | 3 |
| Promedio | 13,76 | 6,6 | 14,32 | 20,3 |

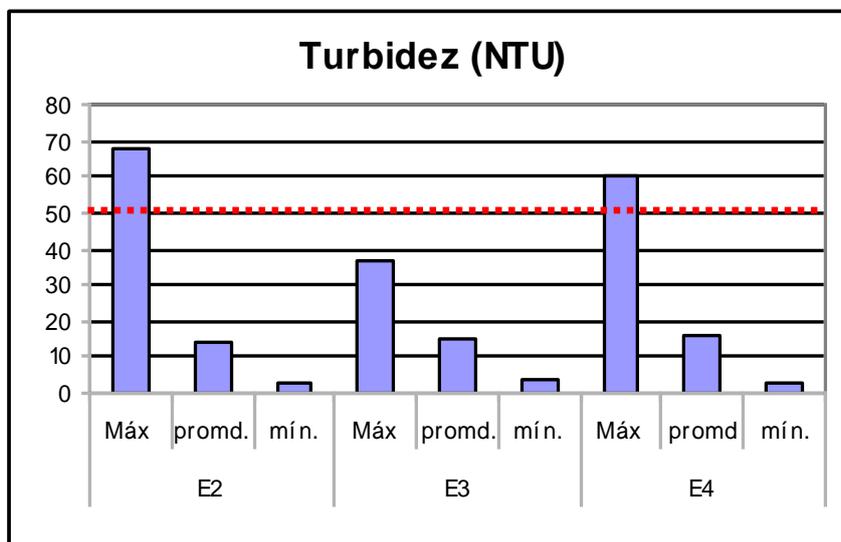


Figura 9. Rango de variación de la Turbidez del agua (máximo, promedio y mínimo) para cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010). Se indica el valor 50 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez) como valor estándar de calidad del Decreto 253/79

También para este parámetro la estación aguas abajo de la ciudad de Artigas (E3) registró los valores más afectados ya que sin presentar valores extremos registró un valor promedio mayor que los otros sitios de muestreo.

5) La conductividad

Es un parámetro asociado a la concentración de iones disueltos en el agua y se mide como la capacidad de conducir una corriente eléctrica, registrada en unidades de $\mu\text{S/cm}$. Este parámetro no está reglamentado en la legislación uruguaya. Como valor guía puede considerarse la información disponible por GEMS/Water (1992), donde la conductividad de aguas naturales (dulces a marinas) puede estar entre 50 y 1500 $\mu\text{S/cm}$.

En el río Cuareim, la conductividad del agua registró un rango de variación entre 25 y 241 $\mu\text{S/cm}$, con valores similares a lo largo del año, excepto en invierno que se registra la menor conductividad (tabla 9). A lo largo del río, la estación 2 mostró valores levemente menores. La estación 3 registró los mayores valores promedio (figura 10), posiblemente asociado a una mayor concentración de iones desde las aguas de

pluviales y residuales domésticas que recibe aguas arriba. En todos los casos la conductividad del río Cuareim está dentro de los valores propios de ambientes dulceacuícolas.

Tabla 9. Rango de la Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|--------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 191,1 | 168,1 | 239,1 | 241 |
| Mínimo | 111,1 | 25,1 | 62,8 | 53,8 |
| Promedio | 145,29 | 75,74 | 123,85 | 136 |

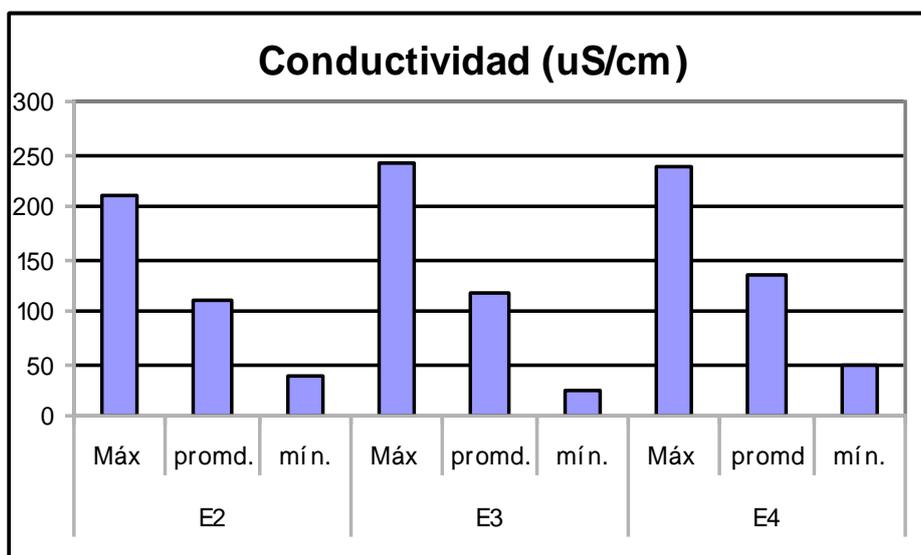


Figura 10. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), en cada estación de muestreo durante todo el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

Parámetros analizados en laboratorio

6) Alcalinidad

La alcalinidad del agua está asociada a su capacidad para amortiguar los cambios en el pH, e indirectamente, actuar como buffer en procesos de erosión o toxicidad de algunos compuestos. Es un dato importante para definir las dosis a administrar en los tratamientos de agua para potabilizar, y también para determinar la aptitud para riego. Se mide a través de la concentración de carbonato de calcio en el agua (mgCaCO_3/l). No es una variable reglamentada en la legislación de Uruguay por lo cual no existe un valor estándar de calidad.

La alcalinidad del río Cuareim entre noviembre de 2006 y 2010 presentó valores entre 27 y 120 mgCaCO₃/l. En invierno se registraron los menores valores y en otoño los mayores (tabla 10), teniendo en cuenta que la cantidad de datos disponibles aún es baja. En tal sentido, el parámetro se mostró relativamente constante en primavera y verano, cuando se tienen más datos. También se ha mantenido constante en relación al período 2006-2008 (Dinama, 2008). A lo largo del río, la alcalinidad se incrementó hacia la desembocadura, con valores promedio entre 51 y 68 mgCaCO₃/l (figura 11). Aguas abajo en el río habría mayor concentración de iones carbonato, bicarbonato, fosfatos e hidróxidos.

Tabla 10. Rango de la Alcalinidad (mgCaCO₃/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 103 | 54 | 120 | 110 |
| Mínimo | 55 | 29 | 29 | 27 |
| Promedio | 71,27 | 43,83 | 56,2 | 58,08 |

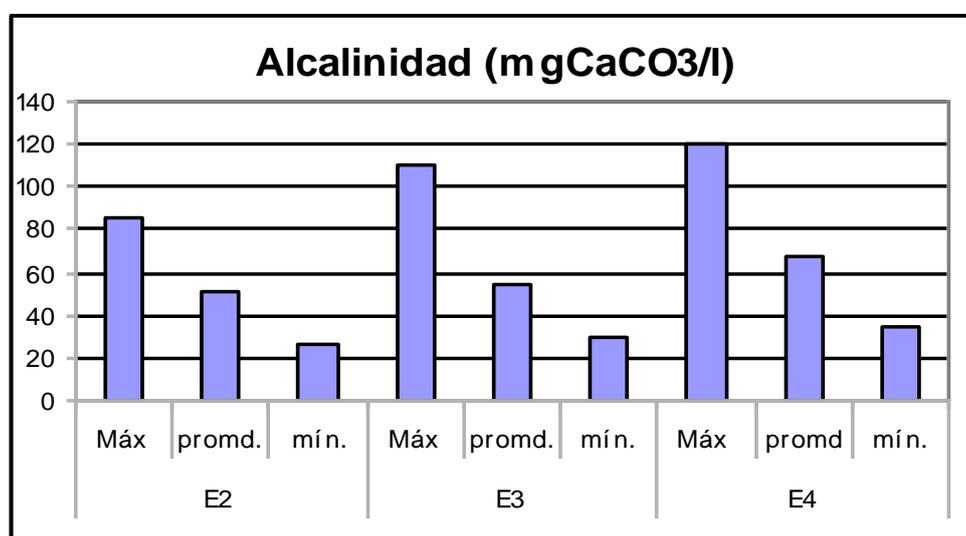


Figura 11. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la Alcalinidad (mgCaCO₃/l), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-2010)

7) Sólidos totales.

La concentración de sólidos totales está determinada por la concentración de sólidos disueltos y particulados, en ambos casos fijos y volátiles. Son partículas minerales que pueden “transportar” desde sustancias contaminantes hasta nutrientes,

como moléculas adsorbidas, e interferir con la transparencia del agua y la disponibilidad de luz para la fotosíntesis de microalgas y plantas acuáticas. Por lo cual, es una variable asociada con la turbiedad, con la conductividad e, indirectamente, con las productividad primaria (formación de biomasa vegetal) del cuerpo de agua. Es un parámetro que no está reglamentado y por lo tanto no hay un valor que indique un estándar de calidad.

La concentración de los sólidos totales (ST) en el río Cuareim presenta un rango entre 82 y 500 mg/l. Los valores promedio no registraron importantes diferencias en los diferentes períodos del año (tabla 11), ni entre los diferentes sitios monitoreados (figura 12). No obstante se registraron algunos valores altos en la estación 2 en primavera que no fue frecuente. En DINAMA (2010) se realiza un breve análisis de este parámetro en el sistema.

Tabla 11. Rango de la concentración de Sólidos Totales en Suspensión (mg/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|-----------------|--------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 230 | 290 | 500 | 300 |
| Mínimo | 110 | 82 | 100 | 120 |
| Promedio | 141,25 | 168,67 | 236 | 182,86 |

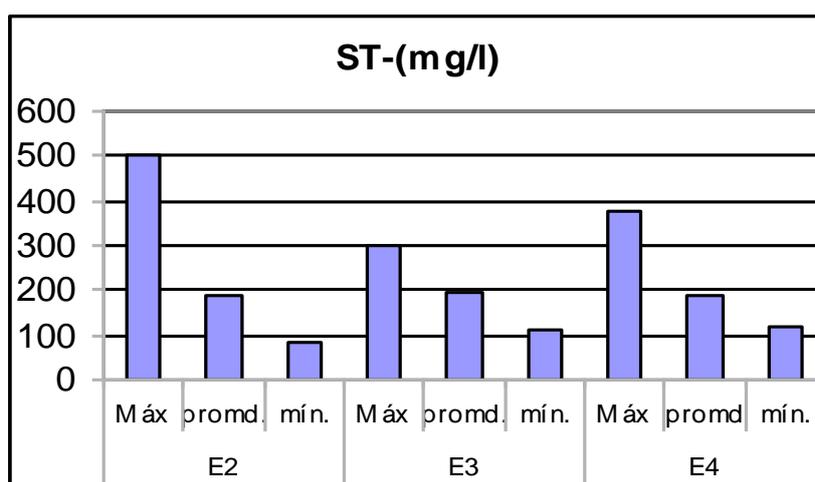


Figura 12. Rango de variación de la concentración de sólidos totales (mg/l) en el agua (máximo, promedio y mínimo) para cada estación de muestreo durante el período de estudio

Nutrientes

Los nutrientes analizados para determinar la calidad del agua son los compuestos de Nitrógeno y Fósforo, porque su disponibilidad natural en el agua es relativamente baja y su ausencia constituye un factor limitante y controlador del crecimiento de las

plantas acuáticas y algas. Sin embargo, las actividades humanas incrementan en forma exponencial la concentración de nutrientes en el agua, alterando los procesos naturales de crecimiento de los vegetales acuáticos y de toda la trama trófica. Esto afecta el estado trófico y la calidad de los sistemas acuáticos.

8) Nitrógeno (N)

La legislación establece niveles estándares de calidad para el Nitrato (NO_3) y el Amoníaco libre (NH_3) en cuerpos de aguas naturales. La concentración del NO_3 debe ser inferior a los 10 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ y del NH_3 menor a 0,02 mg/l. Esta concentración de NH_3 se calcula a partir de la concentración de NH_4 , el pH y la temperatura.

La presencia de nitrato en el agua está asociada a la descomposición aerobia de materia orgánica proveniente de aguas residuales domésticas o rurales. También son fuente de nitrato los agroquímicos nitrogenados y las excretas de ganado, que son lavados de la superficie del terreno y transportados hacia los cuerpos de agua. En el río Cuareim la concentración de Nitrato estuvo entre valores indetectables y 3,76 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$, con valores promedio en el entorno de 0,50 mg/l. En otoño y primavera se registraron los valores mayores (tabla 12), mientras que a lo largo del río la mayor concentración del ion se registró en E3 y la menor en E2 (figura 13). El río Cuareim cumple con el estándar de calidad que establece el Decreto 253/79 para este parámetro.

Tabla 12. Rango de la concentración de Nitrato (mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 3,76 | 0,98 | 3,1 | 1,3 |
| Mínimo | 0,035 | 0,07 | 0,035 | 0,025 |
| Promedio | 0,53 | 0,43 | 0,619 | 0,34 |

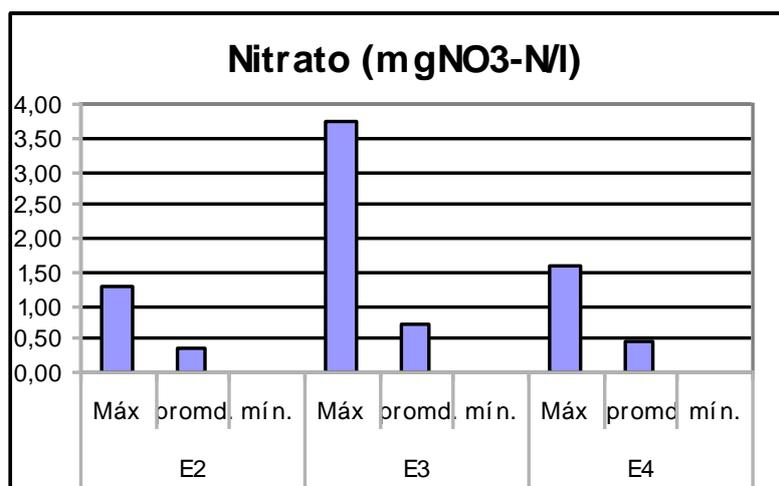


Figura 13. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de Nitrato (mgNO_3/l), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010). El valor máximo permitido según el estándar de calidad que establece la legislación es $10 \text{ mgNO}_3\text{-N/l}$.

El amoníaco libre o NH_3 puede resultar muy tóxico para la vida acuática. La legislación establece un límite máximo de $0,02 \text{ mg/l}$. En el agua, esta molécula se mantiene como tal (NH_3 , una base débil) o se convierte en ion amonio (NH_4) más estable, según el pH del agua. Por lo cual, debería ser un componente de muy baja concentración en cuerpos de agua naturales o no afectados por aportes industriales y domésticos, principalmente.

La concentración de NH_3 en el Río Cuareim estuvo entre indetectable en la mayoría de las muestras y $0,017 \text{ mg/l}$, muy por debajo del estándar de calidad. En primavera y verano se registraron los valores "más altos" (tabla 13), y en la estación E3 (figura 14). Los valores máximos registrados ($0,0176$ y $0,0107 \text{ mg NH}_3/\text{l}$) fueron puntualmente los más altos, correspondieron a una sola muestra de enero y una de febrero 2008 en E3 y se mantuvieron por debajo del estándar. Se observa que los valores de amoníaco cumplieron claramente con el estándar de calidad.

Tabla 13. Rango de la concentración de Amoníaco ($\text{mg NH}_3\text{-N/l}$) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|-----------------|-------|----------|-----------|---------|
| Máximo | 0,005 | 0,0008 | 0,0038 | 0,0176 |
| Mínimo | 0 | 0 | 0 | 0,00009 |
| Promedio | 0,001 | 0,00017 | 0,00042 | 0,0034 |

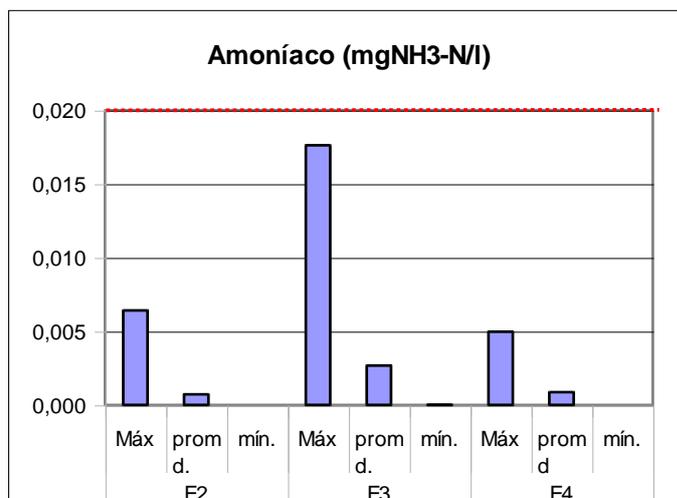


Figura 14. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de amoníaco libre (mgN-NH₃/l) en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010). La línea punteada indica el valor máximo permitido según el estándar de calidad que establece la legislación.

La presencia de amonio (ion NH₄) en cuerpos de agua favorece el desarrollo de algas y plantas acuáticas ya que es una molécula de nutriente de rápida asimilación para estos organismos. Por otra parte, también es precursor de la formación de amoníaco libre, cuyas características ya se mencionaron. Los niveles de amonio en el río Cuareim estuvieron entre no cuantificables (LC=0,01 mg /l) y 0,19 mg/l, con valores promedio entre 0,04 y 0,08 mg/l sin un patrón de variación temporal claro (tabla 14). A lo largo del río y como es esperable, los mayores niveles de este nutriente se registraron en la estación E3 con una concentración promedio de 0,010 mg/l, no obstante aguas abajo también hubieron concentraciones de amonio puntualmente "altas", pero sin alcanzar valores de contaminación (figura 15). Este parámetro no está reglamentado por la legislación pero es analizado para determinar la concentración de amoníaco.

Tabla 14. Rango de la concentración de Amonio (mg NH₄-N/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|-----------------|--------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 0,19 | 0,12 | 0,1 | 0,19 |
| Mínimo | 0,0035 | 0,01 | 0,0035 | 0,01 |
| Promedio | 0,08 | 0,06 | 0,03905 | 0,08 |

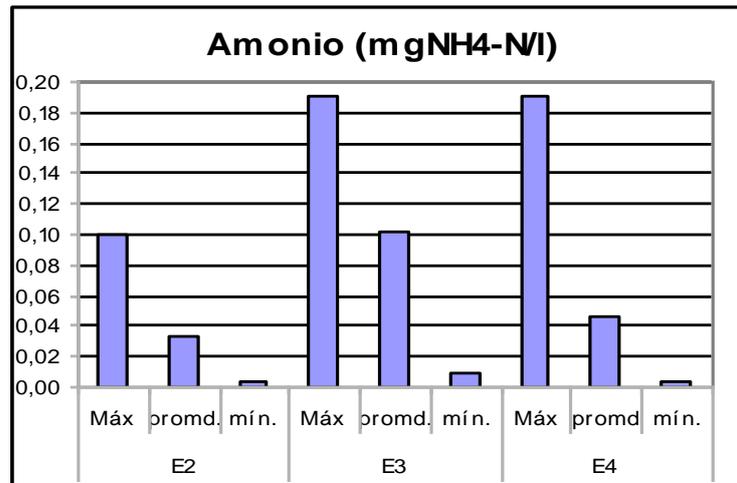


Figura 15. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de Amonio (mg NH₄-N/l), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

La variación temporal de la concentración de NT inorgánico mostró niveles levemente mayores en invierno respecto a las demás estaciones del año, no obstante los valores promedio estuvieron en el mismo orden de magnitud en todas las estaciones (tabla 15). A lo largo del río, se registraron valores máximos crecientes hacia la desembocadura, sin embargo los valores altos no fueron frecuentes ya que la concentración promedio de NT fue levemente superior en la estación E3 (figura 16), como es esperable por encontrarse aguas abajo de las ciudades de Artigas y Cuaraí. La concentración del nitrógeno total no está regulada en la legislación.

Tabla 15. Rango de la concentración de nitrógeno total inorgánico (mgNT/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|-----------------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 1,69 | 3,2 | 1,1 | 1,02 |
| Mínimo | 0,25 | 0,25 | 0,34 | 0,25 |
| Promedio | 0,68 | 0,97 | 0,628 | 0,65 |

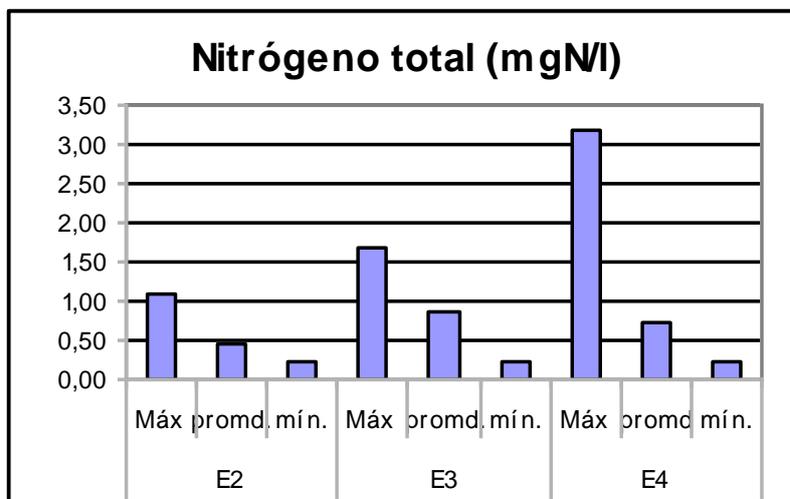


Figura 16. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de nitrógeno total (mgNT/l), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

9) Fósforo

El fósforo (P) es el otro elemento fundamental para el desarrollo de la biota acuática, ya que por su relativamente baja concentración en ambientes naturales constituye el nutriente limitante del crecimiento de plantas acuáticas y microalgas. Sin embargo en los sistemas acuáticos superficiales, la concentración de P puede verse incrementada por los aportes puntuales o difusos de vertidos domésticos, industriales o agrícola-ganaderos. Estos aportes incrementan la producción primaria y la biomasa de algas o de plantas en los sistemas acuáticos, en el proceso que se conoce como Eutrofización. La concentración de P en el agua se mide principalmente como ortofosfato o fósforo reactivo soluble o PO_4 , que es la forma en que mayoritariamente la incorporan los vegetales, y como fósforo total o PT que es la totalidad de su concentración como moléculas orgánicas e inorgánicas. La legislación nacional establece que el agua natural debe tener una concentración de PT menor o igual a 0,025 mg/l.

Tabla 16. Rango de la concentración de Ortofosfato (mg PO_4 -P/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|--------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 47 | 0,062 | 0,0575 | 26 |
| mínimo | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 0,009 |

| | | | | |
|----------|------|------|--------------|------|
| promedio | 7,71 | 0,03 | 0,0192636364 | 2,18 |
|----------|------|------|--------------|------|

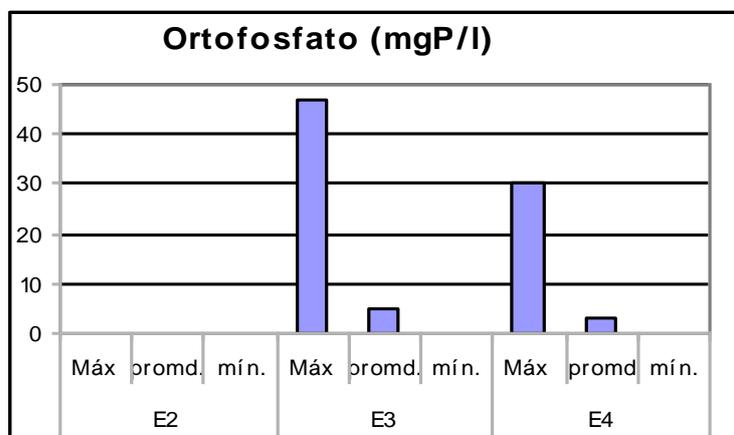


Figura 17. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de fósforo (mgP/l) en las formas de ortofosfato (A) y fósforo total (B), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

La concentración de PO_4 en el río Cuareim registró valores desde no detectables hasta 47 mg PO_4 -P/l. Hubo claras diferencias temporales ya que los valores más altos se registraron en verano y otoño (tabla 16). A lo largo del río, se observó que en la estación más próxima a la cabecera (E2) las concentraciones de PO_4 fueron muy inferiores a las estaciones aguas abajo, siendo la ubicada luego de las ciudades de Artigas-Cuará la que alcanzó los niveles máximos y los valores promedio más altos (figura 17).

La concentración de PT en el río Cuareim estuvo entre niveles no detectables hasta 112 mg/l. Excepto en las mediciones de invierno, en todas las estaciones del año se registraron concentraciones de PT por encima de los 100 mg/l, con promedios entre 16 y 33 mg/l (tabla 17). A lo largo del río, todas las estaciones alcanzaron concentraciones máximas similares del PT, no obstante fue en E3 donde se registró la mayor concentración promedio como era esperable debido a los aportes urbanos de las ciudades aguas arriba (figura 18). En la estación más aguas arriba del sistema la concentración promedio de PT fue la más baja (12 mg/l). De acuerdo con el valor de calidad que establece el Decreto 253/79 y modificativos, el agua del Río Cuareim no cumple con el estándar de calidad para el fósforo total. No obstante, este estándar está en revisión dado lo restrictivo de su valor, en función de los datos reales que se han obtenido en los estudios realizados por DINAMA en los ríos más importantes del país.

Tabla 16. Rango de la concentración de Fósforo total (mgPT/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 110 | 0,13 | 112 | 110 |
| Mínimo | 0,009 | 0,034 | 0,046 | 0,042 |
| Promedio | 33,14 | 0,08 | 26,94215 | 16,51 |

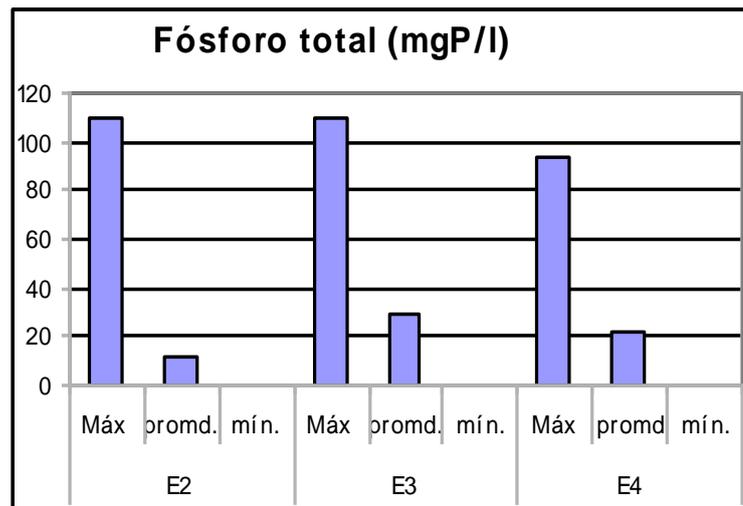


Figura 17. Rango de variación (máximo, promedio y mínimo) de la concentración de fósforo total (mgPT/l), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

Metales

10) Zinc (Zn)

Este metal es imprescindible para los seres vivos, requerido en muy baja concentración. Es un elemento aportado por la erosión de las rocas y el arrastre de sedimentos, siendo de muy baja solubilidad. De acuerdo con la legislación nacional, la concentración máxima de Zn en el agua natural debe ser $\leq 0,03$ mg/l.

La concentración de Zn en el Río Cuareim estuvo entre indetectable y 0,97 mg/l. Las mayores concentraciones se observaron en primavera y verano (tabla 17). Mientras que a lo largo del cauce, las estaciones de los extremos (E2 y E4) registraron los valores máximos, y E3 la menor concentración promedio (figura 18). El valor límite de concentración de Zn en aguas naturales establecido por el Decreto 253/79 y modif. fue superado y por lo tanto el Río Cuareim no ha cumplido totalmente con el estándar de calidad para este parámetro.

Tabla 18. Rango de la concentración de zinc (mgZn/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|--------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 0,0140 | 0,0057 | 0,97 | 0,1 |
| Mínimo | 0,0015 | 0,0025 | 0,0025 | 0,0025 |
| Promedio | 0,0039 | 0,0030 | 0,1510625 | 0,0279 |

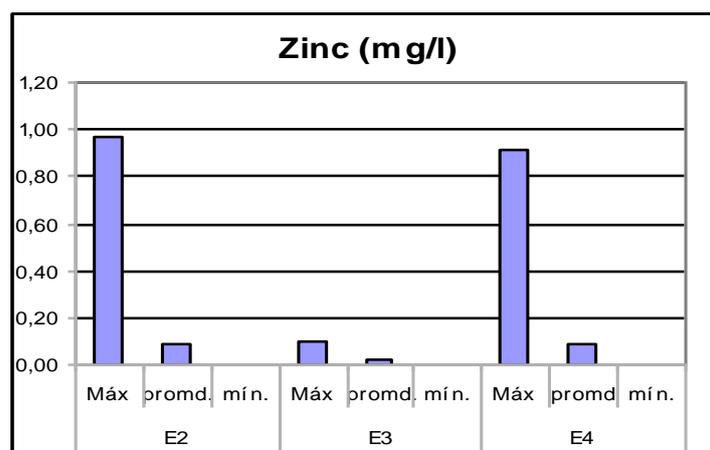


Figura 19. Rango de concentración de Zinc (mg/l), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

11) Aluminio (Al)

El aluminio es el metal más abundante en la naturaleza, que en el agua se encuentra disuelto y combinado con otros iones (sulfatos, cloruros). En ambientes de pH bajo (agua ácida o blanda), su concentración puede llegar a ser alta y perjudicial para la biota acuática. Este parámetro no está contemplado en la legislación nacional. De acuerdo con las normas de EPA, la concentración de Al en agua potable debe estar entre 0,05 y 0,2 mg/l. Según datos de GEMS/W (1992), la concentración media en aguas fluviales naturales es del entorno de 0,24 mg/l, con un rango entre 0,01 y 2,5 mg/l.

La concentración de Al en el río Cuareim estuvo entre 0,13 y 7,5 mg/l, con valores promedio inferiores a los 2,5 mg/l que menciona GEMS/W para aguas naturales. Los valores mayores se registraron en primavera y verano (tabla 19) y en las estaciones de los extremos del sistema (E2 y E4). Al igual que con el Zn, la menor concentración se registró aguas abajo de las ciudades (figura 20).

Tabla 19. Rango de la concentración de Aluminio (mgAl/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 7,3 | 2,6 | 7,5 | 5,9 |
| Mínimo | 0,25 | 0,385 | 0,24 | 0,13 |
| Promedio | 1,37 | 1,44 | 2,141 | 1,98 |

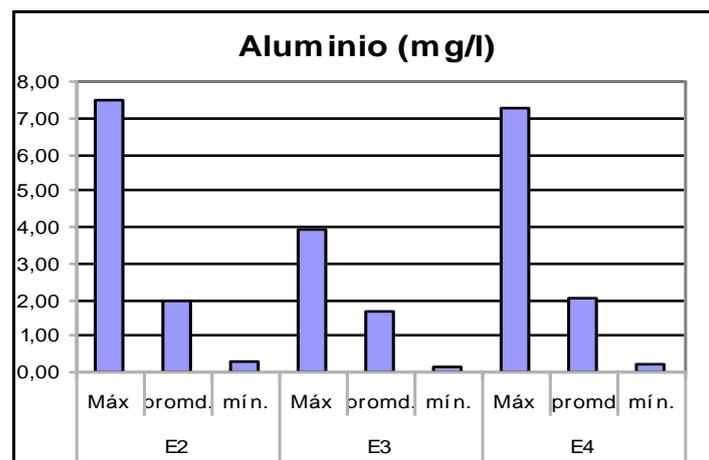


Figura 20. Rango de concentración de Aluminio (mgAl/l), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

12) Coliformes termotolerantes

La presencia de bacterias patógenas en el agua se mide a través de la concentración de coliformes termotolerantes, por ser las bacterias del tracto digestivo de animales de sangre caliente. Es una medida indirecta porque hay pruebas que indican que "los coliformes no reflejan la presencia de bacterias patógenas" (Botero *et al.*, 2002). La legislación nacional a través del Decreto 253/79 y modif. establece que la concentración de coliformes termotolerantes permitida para una muestra puntual es de 2000 UFC/100 ml, mientras que en una serie de muestras sucesivas (por ejemplo semanal), se admite como límite máximo la media geométrica de cinco muestras consecutivas (MG5) \leq 1000 UFC/100 ml.

En el río Cuareim la concentración de coliformes termotolerantes alcanzó un valor máximo de 2500 UFC/100, con valores promedio en el entorno de 400 UFC/ml. Las mediciones en otoño e invierno registraron los promedios más altos (tabla 20) mientras que a lo largo del río y como es esperable, la estación E3 registró el mayor valor promedio para el período de estudio con 690 UFC/100 ml (figura 21). Debe

tenerse en cuenta que la cantidad de datos no es igual para todas las estaciones del año.

Tabla 20. Rango de la concentración de Coliformes termotolerantes (UFC/100ml) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 2500 | 850 | 2200 | 1900 |
| Mínimo | 0,5 | 54 | 1 | 1 |
| Promedio | 474,5 | 453,17 | 332,25 | 367,5 |

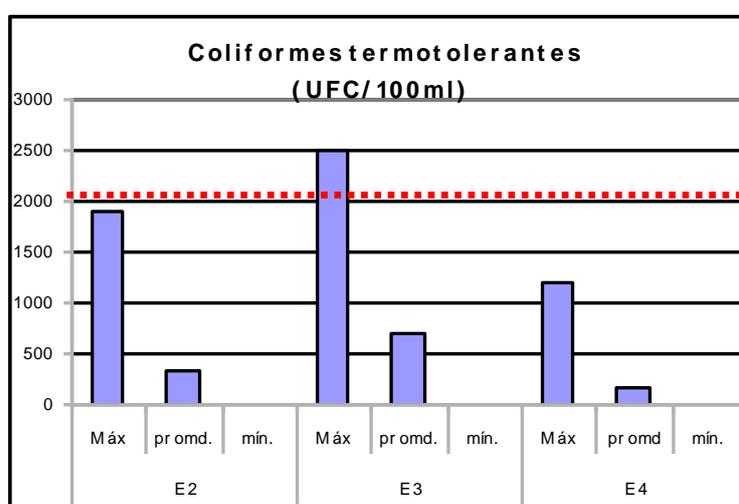


Figura 21. Rango de concentración de Coliformes termotolerantes (UFC/100ml), en cada estación de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010). La línea punteada indica el valor máximo de concentración permitido en el estándar de calidad

13) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ proporciona una medida de la cantidad de materia orgánica que contiene el agua en función de la cantidad de oxígeno que es consumido por la comunidad microbiana durante 5 días. Según la legislación nacional, el límite máximo de DBO₅ admitido para aguas naturales es de 10 mgO₂/l. Consumos mayores (o DBO > 10 mg O₂/l) indican concentraciones de materia orgánica por encima del nivel aceptable para ambientes naturales.

La DBO₅ del río Cuareim registró valores por debajo del límite de cuantificación del método (2,2 mgO₂/l) en la mayoría de los registros, hasta 27 mgO₂/l en una ocasión en la estación E3. En verano se registró la mayor actividad microbiana, particularmente en la estación E3 aguas abajo de la ciudad (tabla 21) y del mismo modo, dicha estación registró los mayores valores absolutos y promedio (figura 22). No obstante, el valor

medio de la DBO siempre fue inferior al nivel máximo permitido y por tanto, el Río Cuareim cumple con el estándar de calidad para la DBO5.

Tabla 21. Rango de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O₂/l) del agua del Río Cuareim en cada estación del año

| | Otoño | Invierno | Primavera | Verano |
|----------|-------|----------|-----------|--------|
| Máximo | 2,4 | 1,1 | 2,3 | 27 |
| Mínimo | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,8 |
| Promedio | 1,53 | 1,1 | 1,2 | 4,7 |

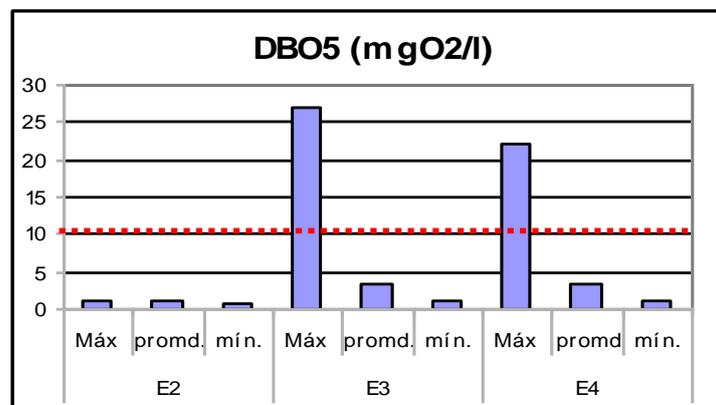


Figura 22. Rango de DBO₅ (mgO₂/l), en las tres estaciones de muestreo durante el período de estudio (noviembre 2006-noviembre 2010)

Estado Trófico del Río Cuareim

El manejo de ecosistemas acuáticos se ve facilitado cuando los sistemas son clasificados en alguna categoría de "calidad o estado trófico" y se definen estrategias de gestión para cada categoría. Por lo cual ha sido una preocupación encontrar cuales son las variables que permiten evaluar y definir "categorías" del estado trófico de los cuerpos de agua. Dichas variables son "Indicadores"; y cuando un conjunto de estas variables agrupadas en una ecuación matemática brindan información confiable y válida estadísticamente, se obtienen "Indices".

Ciertamente es esperable que una clasificación basada en un conjunto de variables (índice) proporcione un dato más certero y confiable que el obtenido a través de una o pocas variables aisladas (indicadores). En la clasificación de cuerpos de agua se han empleado ecuaciones desde simples hasta muy sofisticadas, llegando en algunos casos a considerar el mismo sistema como categorías muy diferentes, según la ecuación o el objetivo con que se lo evalúe. También la percepción o las condiciones del entorno se han utilizado en sistemas de clasificación (Premazzi y Chiaudani, 1992). Por otra

parte, es fundamental que en la clasificación exista un patrón de comparación confiable y validado, ya sea que está establecido en la legislación o que se obtiene de la bibliografía (Lamparelli, 2004).

En la región, Brasil es tal vez el país más avanzado de la región en el estudio de calidad de agua y determinación de categorías de estado trófico en sus sistemas acuáticos. En tal sentido son de gran interés los estudios realizados en los sistemas lóticos por la CETESB, organismo responsable del monitoreo y evaluación de los recursos hídricos del país. Considerando la complejidad y extensión de la información que maneja dicha institución, se hará referencia a los resultados alcanzados para el Estado de Sao Paulo a través del trabajo de Lamparelli (2004) (ANA, 2009, 2011).

Existen similitudes climáticas y topográficas de los ríos considerados en los programas de monitoreo de CETESB para el Estado de Sao Paulo (ríos de planicie, con alta turbidez, sedimento de arena y arcilla, interrupción de los cursos por la construcción de represas), con los ríos de Uruguay. Nuestra geografía de llanura forma parte del maciso o meseta de Brasil, particularmente en el norte y centro de Uruguay, junto con el centro y SE de Brasil, incluyendo el Estado de Sao Paulo. Esto permitiría realizar una primera aproximación a la determinación del estado trófico de ríos nacionales aplicando los mismos rangos para los diferentes parámetros que aplica la Agencia Nacional de Agua de Brasil (ANA 2009, 2011) y se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Concentración (media aritmética anual) de las variables determinantes del estado trófico para los sistemas fluviales del estado de Sao Paulo (ANA 2009).

| Variable- concentración promedio anual | ESTADO TRÓFICO | | | | |
|--|----------------|-------------|------------|----------------|--------------|
| | Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico | Supereutrófico | Hipertrófico |
| Clorofila a (ug/l) año | ≤ 1 | 1 – 3 | 3 – 5 | 5 – 11,6 | > 11,6 |
| PT (ug/l) año | ≤ 30 | 30 – 170 | 170 – 440 | 440 – 1800 | > 1800 |
| NT (mg/l) año | ≤ 0,6 | 0,6 – 4,2 | 4,2 – 10,5 | 10,5 – 51 | > 51 |

De acuerdo con un relevamiento realizado por Lamparelli (2004) sobre 1419 datos de concentración de PT en ríos y embalses del estado de SP (610 en 35 ríos y 809 en 34 embalses), existen diferencias significativas en los valores promedios de

ambos tipos de ambientes. Los resultados fueron de 0,193 mgPT/l (media aritmética) en ríos y 0,075 mgPT/l en embalses (media aritmética). En función de esta información y otros antecedentes del país, se cuestiona si es correcto considerar como estándar de calidad de agua para el fósforo total, una concentración de 0,025 mg/l que establece la legislación de dicho país. El mismo valor también es considerado por nuestra legislación. Dicho valor tendría su origen en los resultados obtenidos para sistemas templados en los estudios de Vollenweider (1968; en Lamparelli 2004); un investigador de ecología acuática, referente mundial. Para los demás parámetros considerados en su estudio (NT inorgánico y Clorofila a) también se analizaron un significativo número de datos por parámetro y por ambiente.

Los resultados obtenidos del monitoreo del río Cuareim corresponden a 29 datos de PT, 21 de NT y 4 de Clorofila a, tomados en 3 estaciones de muestreo durante el período de estudio (tabla 3). En la tabla 23 se muestran los resultados obtenidos para una clasificación primaria del estado trófico del sistema; la cual será actualizada y verificada con la incorporación de los sucesivos datos que se obtengan. En la tabla se muestran los rangos de concentración de las tres variables consideradas para la determinación del estado trófico, mientras que el color de fondo corresponde a la categoría de estado trófico determinada por el promedio anual de dicho parámetro según se menciona en la tabla 22.

Tabla 23. Estado trófico del Río Cuareim por variable y por año de monitoreo, de acuerdo con los niveles de concentración utilizados para sistemas lóticos del Estado de Sao Paulo (ANA, 2009, 2011; Lamparelli, 2004).

| Variable (promedio anual) | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Clorofila a (µg/l) | sd* | sd* | 0,05-0,15 | 0,05-19,8 |
| PT (µg/l) año | 46-130 | 42-83000 | 9-110000 | 9-95000 |
| NT (mg/l) año | 0,25-3,2 | 0,25-0,66 | 0,33-1,44 | 0,36-0,99 |

| | | | | |
|---------------------|--------------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| Oligotrófico | Mesotrófico | Eutrófico | Supereutrófico | Hipertrófico |
|---------------------|--------------------|------------------|-----------------------|---------------------|

* sin dato

MSc. Lizet De León –
Consultora-DECA

Proyecto DINAMA-PNUD
URU/07/012- TDR 3.12

Esta clasificación, en base a la cantidad de datos disponibles, permite apreciar la tendencia del sistema pero no puede generalizarse para definir el estado trófico del río Cuareim. El fósforo muestra concentraciones elevadas respecto a los demás parámetros, indicando condiciones de estado hipereutrófico del agua. Este estado representa un alto riesgo de desarrollo de floraciones de cianobacterias tóxicas y plantas acuáticas, las que pueden comprometer el uso del sistema tanto como fuente de agua potable como de abrevadero para animales, principalmente. No obstante, los valores de clorofila obtenidos muestran todo lo contrario. Los niveles de biomasa vegetal son muy bajos y están en el rango de estado oligotrófico y mesotrófico, indicando que si bien hay disponibilidad de nutrientes para que exista un mayor desarrollo vegetal (o algal), hay otros factores que lo están limitando. Sin embargo, cuando se analiza la evolución temporal del estado trófico, se observa que el sistema mostró condiciones de enriquecimiento (o estado trófico más "avanzado"), hacia 2010.

SÍNTESIS

De acuerdo con los objetivos planteados, puede mencionarse que la calidad del agua del Río Cuareim para el período noviembre 2006-noviembre 2010 cumplió con los valores que establecen los estándares de calidad de acuerdo con la legislación nacional (Decreto 253/79 y modificativos), en la mayoría de las variables analizadas, excepto para fósforo total (PT) y zinc (Zn). En la figura 23 se muestra la frecuencia de cumplimiento de los estándares considerados.

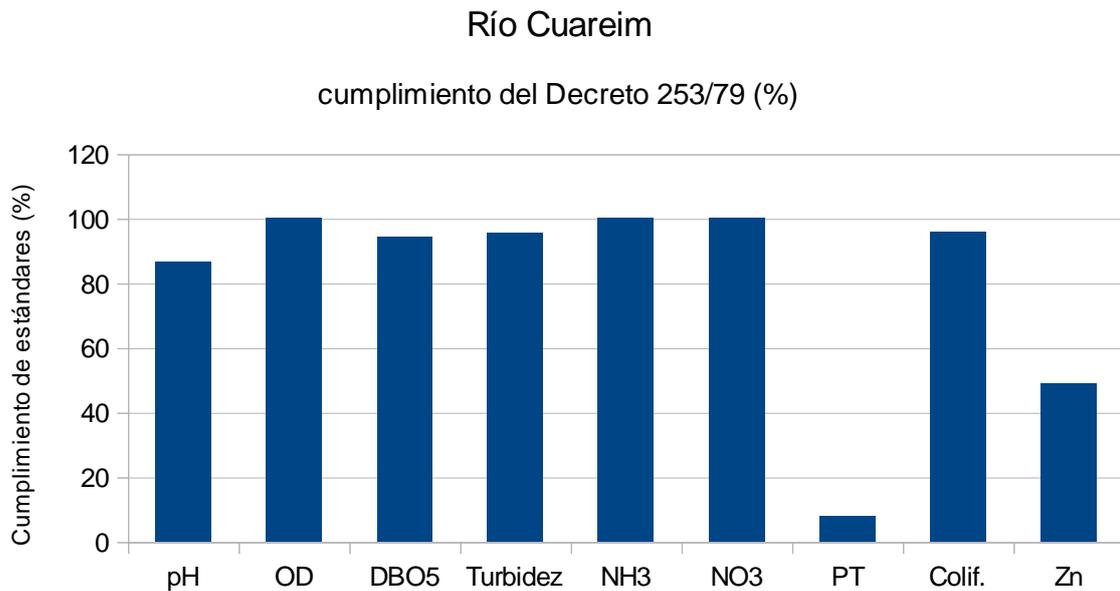


Figura 23. Frecuencia de cumplimiento de los estándares de calidad de agua establecidos en el Decreto 253/79 y modificativos para las variables consideradas en el Programa de Monitoreo de Calidad de Agua del Río Cuareim: pH- pH, OD- oxígeno disuelto, DBO₅- demanda bioquímica de oxígeno, NH₃- amoníaco libre, NO₃- nitrato, PT- fósforo total, Colif.- coliformes termotolerantes, Zn- zinc. Los valores de referencia se pueden consultar en la tabla 1.

El escaso cumplimiento en la concentración de PT, se repite en otros cuerpos de agua del país y en 85 % de los ríos del Estado de Sao Paulo (Lamparelli 2004). Esto podría ser motivo de una revisión a fin de establecer el nivel basal de PT en las diferentes cuencas hídricas del país y adecuar el valor estándar que determine la calidad del agua para este parámetro. Si bien el nivel de 0,025 mgP/l establecido por decreto resulta muy restrictivo para los resultados encontrados, la clasificación trófica del río en base a los rangos utilizados en Brasil (independiente de la legislación) coincide con resultados alarmantes sobre los niveles de fósforo del agua. No obstante, los demás parámetros analizados brindan tranquilidad por el alto grado de cumplimiento (excepto el zinc). Esto reforzaría la hipótesis de que concentraciones mayores a 0,025 mgP/l no significan que el agua sea de mala calidad, para sistemas acuáticos de nuestra región.

Es indudable la necesidad de continuar obteniendo información de campo en diferentes momentos y lugares a fin de determinar cuál es el estado del sistema y los lineamientos para una adecuada gestión del mismo, incluyendo su cuenca.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ANA. 2009. Agencia Nacional de Agua. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília : ANA, 2009.
- Arcelus, A & J.A. Goldenfum (Coordinadores). 2005. PROYECTO PILOTO DE GESTION INTEGRADA DE CRECIDAS EN LA CUENCA DEL RIO CUAREIM, Uruguay – Brasil. Etapa Ejecución Fase 1. DNH-IPH. PROGRAMA ASOCIADO DE GESTIÓN DE CRECIDAS. OMM/GWP
- Botero, L., JL Zambrano, C. Oliveros, D. León, M. Sarcos y M. Martínez. 2002. Calidad microbiológica del agua de un sistema de lagunas de estabilización a ser empleada en irrigación. Rev. Fac. Agron. Caracas 19(4): 312-323. Disponible en <http://www.scielo.org.ve> (citado 2 marzo 2011).
- Camacho. 2005. Elaboración de propuestas para el ordenamiento y planificación de un territorio sobre el Río Cuareim. Informe de Pasantía. Tecnicatura en Gestión de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. CUR-UdelaR. 31 pg.
- Chediak G., J.C. Rey y N. Papa. 2008. Estudio de Factibilidad y Localización para el desarrollo de la piscicultura en la Cuenca del Río Cuareim. Estudio Realizado en el marco del Convenio entre la Delegación Uruguaya ante la Comisión Mixta Uruguayo-Brasileña para el desarrollo de la Cuenca del Río Cuareim. Mayo de 2008
- DINAMA. 2008. Proyecto Twinlatin: Río Cuareim, Uruguay. Informe final. 36 pg.
- DINAMA. 2010. Evaluación de la calidad del agua del Río Cuareim. Período 2006-2010. Informe de Consultoría. Proyecto URU/07/012. Lizet De León. 54 pg.
- DINAMA-JICA. 2009. Proyecto para el control de la contaminación y gestión de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía. Informe Avance N°2. Marzo 2009. Disponible en <http://www.dinama.gub.uy/proyectos/>
- DNH-IPH. 2002. Proyecto piloto gestión integrada de crecientes en la cuenca del rio Cuareim/Quarai (Brasil/Uruguay). Recopilación de información para la gestión integrada de crecientes en la cuenca del Rio Cuareim (margen uruguaya). (texto preliminar). Programa asociado de Gestión de Crecientes OMM/GWP.
- Gaviño-Novillo, M. y A. Pereyra. 2005. Proyecto Piloto Demostrativo. Cuenca del Río Cuareim/Quarai (Uruguay-Brasil). Informe final. CIC-Bs.As., Argentina. Programa Marco para la ostión sostenible de los Recursos Hídricos de la cuenca del Plata en relación con los efectos hidrológicos de la variabilidad y el cambio climático.
- GEMS/Water. 1994. Guía Operativa GEMS/Agua. 3ª. Edición. PNUMA-OMS-UNESCO-OMM. Canadá.
- Hidalgo, M., G. Meoni, M. Barrionuevo, G. Navarro y R. Paz. 2003. Variabilidad en la relación DBO/DQO en ríos de Tucumán, Argentina. Anales del 13 Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente.

MSc. Lizet De León –

Proyecto DINAMA-PNUD

Consultora-DECA

URU/07/012- TDR 3.12

Lamparelli, Marta Condé. 2004. Grau de trofia em corpos d'agua do estado de Sao Paulo: Avaliacao dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado)- Instituto de Biociencias da Universidade de Sao Paulo. Departamento de Ecologia. CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Brasil. 220 pg.

Premazza, G. & G. Chiaudani. 1992. Ecological quality of surface waters. EUR 14563. Vol IV, 124 pg. Environmental Quality of Life Series.

Sordo-Ward, A. 2006. Pronóstico preliminar de niveles del Río Cuareim en Artigas/Quaraí. Jornadas Iberoamericanas sobre inundaciones y desastres naturales. CYTED. Antigua, Guatemala.

Twinlatin. 2009. WP 6: Pollution Pressure and Impact Analysis IVL/CEH-W/KULEUVEN/EULA/IPH/DNH/CIEMA/UNIGECC/CVC.

Twinlatin. 2009. Work Package 3. Hydrological Modelling and Extremes. D3.1 Hydrological modelling report. D3.2 Evaluation reports. 248 pg

Twinlatin. 2008. Work Package 7: Classification of Water Bodies. Compilation of Partner Basin Contributions. (deliverables D.7.1. and D.7.2.). 160 pg.

UNESCO Instituto de Mécanica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería; Universidad de la República - Ministerio de Transporte y Obras Públicas -Dirección Nacional de Hidrografía. 2002. Balances Hídricos superficiales del Uruguay. 115pp. Disponible en:

<http://www.unesco.org.uy/phi/biblioteca/bitstream/123456789/450/1/balanceuy.pdf>