

# **Informe sobre la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía: estado de situación y recomendaciones**

## **21/5/2013**

### **Indice**

Introducción

Resumen Ejecutivo

#### Capítulo I

##### **Calidad del agua**

- 1.1 El Agua Potable en Uruguay, definición, principales normas nacionales aplicables y roles institucionales.
- 1.2 Análisis general de la normativa nacional aplicable en relación a otras normas internacionales de referencia.
- 1.3 Análisis detallado de la normativa nacional aplicable en relación a otras normas internacionales de referencia, al respecto de parámetros específicos de interés para este informe.
- 1.4 Discusión sobre metabolitos de algas y cianobacterias que provocan problemas de olor y sabor en el agua.
- 1.5 Roles y competencias de las instituciones vinculadas al agua potable en Uruguay.
- 1.6 Participación de la UdelaR en el control de la calidad del agua potable; resultados.
- 1.7 Otros aportes de UDELAR respecto a la calidad y fuentes de suministro de agua potable
- 1.8 Referencias y Citas aclaratorias del Capítulo I.

#### Capítulo II

##### **Fuentes de contaminación.**

- II.1) Enumeración de posibles fuentes.
- II.2) Evidencias de los estudios y monitoreos sobre causas de contaminación e importancia relativa en las distintas subcuencas, hasta la toma de OSE en Aguas Corrientes.

#### Capítulo III

##### **Recomendaciones**

- III.1) Sobre fuentes puntuales (efluentes de centros urbanos, industrias, tambos, etc.).
- III.2) Sobre fuentes dispersas (agricultura y agropecuaria en general).
- III.3) Otras recomendaciones.
  - III.3.1. Gestión del recurso agua (cantidad y calidad).
  - III.3.2. Fuentes de agua y proceso de potabilización.
  - III.3.3. Implementación de alertas tempranas de fenómenos nocivos para la

calidad de agua.

III.3.4 Monitoreo de caudales utilizando instrumentos hidroacústicos.

III.3.5 Efecto del ultrasonido sobre las cianobacterias.

III.3.6. Aguas subterráneas.

III.3.7 Gestión de lodos de potabilización y de plantas de tratamiento de efluentes.

III.3.8 Area de protección cercana a las tomas de agua para potabilizar.

III.3.9 Estudio de las condiciones de los tanques de almacenamiento de agua potable.

## Introducción

El presente informe da cumplimiento a lo establecido en el numeral iii) de la resolución del Consejo Directivo Central de la Udelar No. 29, del 2 de abril del presente año. La misma encomendó a los Decanos de las Facultades más directamente vinculadas con la problemática que, con el asesoramiento que estimasen adecuado, prepararan un informe sobre los aspectos más relevantes de la misma, que tomó notoriedad en la opinión pública por el evento de mal sabor del agua de OSE en Montevideo, detectado durante algunos días del mes de marzo.

Los responsables del informe somos los Decanos Eduardo Manta de la Facultad de Química, Héctor Cancela de la Facultad de Ingeniería, Juan Cristina de la Facultad de Ciencias y Fernando García Préchac de la Facultad de Agronomía. Esta responsabilidad es asumida en forma personal, sin comprometer a las Facultades de las que somos Decanos, ya que sus Consejos no han actuado en el asunto.

Recibimos asesoramiento y aportes, que mucho agradecemos, de numerosos Docentes-Investigadores de la Unidad de Análisis de Agua de la Facultad de Química, del Instituto de Ingeniería Química y del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, de la Sección Limnología del Instituto de Ecología y Ciencias del Ambiente de la Facultad de Ciencias y del Departamento de Suelos y Aguas y la Unidad de Sistemas Ambientales de la Facultad de Agronomía.

Dado el origen del problema que lo genera, la gran mayoría de lo que sigue está limitado a la Cuenca del Santa Lucía hasta Aguas Corrientes.

## Resumen Ejecutivo

Dando cumplimiento a la Resolución No. 29, del 2/4/13 del CDC de la Udelar, los Decanos de las Facultades de Química, Ingeniería, Ciencias y Agronomía, asesorados por Docentes-Investigadores idóneos en la temática de las aguas de la cuenca del Río Santa Lucía, han elaborado el presente informe.

Su primer capítulo refiere al agua potable en Uruguay, las principales normas nacionales aplicables y los diferentes roles institucionales en la materia. También, al Convenio de la URSEA con la Facultad de Química, por el

que ésta realiza los análisis del agua distribuida por la red de OSE. Los resultados de los análisis realizados por la Facultad de Química desde el año 2004, solicitados por URSEA en el marco del convenio específico, en la gran mayoría de los casos se adecuan a lo estipulado en la norma UNIT 833:2008, norma que define los requisitos para potabilidad del agua según decreto N° 375/2011. Los casos puntuales de desvío en ciertos parámetros, ya sea químicos, fisicoquímicos o microbiológicos, fueron informados oportunamente y la Facultad de Química realizó el seguimiento de los mismos a solicitud de la URSEA, en el marco del citado convenio, hasta su resolución.

La primera parte del segundo capítulo se refiere a las posibles fuentes de contaminación. En base a la información de Dinama y a estudios de investigadores de la Udelar se estima que el 80% de la contaminación con nutrientes (eutrofización) y de demanda biológica de oxígeno se debe a fuentes difusas; estas son las provenientes de actividades agropecuarias, entre las que se destaca la de explotaciones lecheras (tambos). El restante 20% proviene de fuentes puntuales, constituidas por los efluentes de industrias y las aguas servidas de ciudades y poblaciones.

En la parte norte y oeste del cauce principal (San José, Florida y Lavalleja) predominan las fuentes difusas agropecuarias, excepto en los alrededores de la ciudad de Florida, donde predominan las puntuales. En la parte sur y este del cauce principal (Canelones y Lavalleja) las fuentes difusas son en proporciones semejantes de origen pecuario y agrícola (cultivos hortícolas, cerealeros, frutícolas y forrajeros), excepto en los alrededores de la ciudad de Canelones, por razones semejantes a las de Florida.

Existen fuentes puntuales de contaminación por actividades de confinamiento animal (feed-lots, criaderos de aves y cerdos), sobre las que la información es escasa.

La segunda parte del capítulo II discute las evidencias sobre las causas de contaminación y su importancia relativa en las diferentes subcuencas. El principal resultado general de los monitoreos es la presencia de altos valores de Fósforo (P) en las aguas y puntualmente (luego del pasaje por ciudades o industrias) otros contaminantes orgánicos.

Se destaca que los mayores valores de P en aguas ocurren en las de los embalses, siendo mayor en la de Canelón Grande que en la de Paso Severino. Se formula la hipótesis de que ello se debe a 32 años de diferencia en el cierre del primero (1956) en relación al segundo (1988), generando diferente acumulación de sedimentos originados en la erosión histórica de sus cuencas. La erosión y su sedimentación son las principales causas de contaminación con P de aguas superficiales, excluyendo fuentes puntuales. A favor de esta hipótesis son los mayores valores de turbidez en el lago de Canelón Grande. La confirmación de esta hipótesis con los estudios correspondientes, tendría implicaciones en el manejo del flujo de agua de esas represas para su procesameinto en Aguas Corrientes. Pero más importante, es que indicaría que el problema persistirá a futuro, aunque las medidas de mitigación que se

proponen fueran exitosas en reducir la llegada de nuevo P a las aguas.

La información sobre el uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas es escasa en términos cuantitativos y cualitativos, aunque se conoce que el MGAP ha comenzado a obtenerla.

En el primer punto del tercer capítulo se hacen recomendaciones sobre fuentes puntuales. La información disponible indica que la mayoría de los vertidos puntuales no cumple con las limitaciones establecidas en la normativa vigente. Se indica que es necesario implementar modificaciones importantes en los sistemas de tratamiento y la dificultad que significan las altas inversiones para realizarlas.

Se señala la necesidad de mejorar los vertidos de los efluentes de los tambos a través de la aplicación de tecnologías de tratamiento y su correcta gestión. También, la importancia de controlar los feed-lots y otras fuentes puntuales asociadas a confinamientos de animales. Se indica que la Udelar puede aportar en el estudio y desarrollo de soluciones para estos problemas.

El segundo punto del capítulo III hace recomendaciones sobre el control de fuentes difusas de origen agropecuario. En primer lugar, se recomienda controlar la erosión de suelos, extendiendo a todas las actividades agrícolas y pecuarias de esta cuenca la normativa que el MGAP ha comenzado a aplicar a la agricultura cerealera; como un detalle adicional a este objetivo se recomienda la utilización de pastoreo rotativo. Se recomiendan medidas tendientes a controlar la fertilización fosfatada, permitiéndola solo cuando los análisis de suelo arrojen valores de P soluble por debajo de los niveles críticos determinados por la investigación nacional disponible, por encima de los cuales no es esperable respuesta en producción de cultivos y pasturas. Se recomienda establecer áreas de exclusión aledañas a los cursos y reservóros de aguas superficiales, incluyendo la recuperación de la vegetación ribereña, así como la exclusión de la llegada directa de animales a abrevar en dichas aguas. Se hace notar la necesidad de contar con información y monitoreos del uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas, así como la adaptación y desarrollo de herramientas de predicción para estimar sus consecuencias y guiar su gestión. Se recomienda disponer de un sistema de seguimiento del uso de los suelos por subcuenca, dinámico en el tiempo, para permitir utilizar modelos de predicción de erosión e hidrológicos. También, se recomienda probar experimentalmente la aplicación de los mejores paquetes tecnológicos, productiva y ambientalmente sostenibles, en microcuencas.

El tercer punto del capítulo III realiza otra serie de recomendaciones. Sobre gestión de la cantidad y calidad del agua se propone el desarrollo y aplicación del modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool, del USDA), de uso corriente en los EEUU. Sobre fuentes de agua y procesos de potabilización se hace notar que se requiere contar con múltiples embalses en otras cuencas, que OSE dispone de estudios al respecto y que en la Facultad de Ingeniería se realizó recientemente un proyecto de final de carrera analizando la gestión de hasta 3 embalses ubicados aguas arriba de Paso Severino. Se propone la

creación de un sistema de alertas tempranas de fenómenos nocivos, como en el caso de la presencia de cianobacterias. Se proponen estudios detallados en materia de aportes de las fuentes de agua más significativas y el análisis de series históricas de calidad del agua bruta, consumo de productos químicos para su tratamiento y calidad del agua elevada en la toma. Estos estudios, acompañados por ensayos de laboratorio, permitirían determinar dosis óptimas de diversos productos utilizados. Se proponen monitoreos de caudales utilizando instrumentos acústicos, así como continuar los estudios sobre el uso de ultrasonido para controlar cianobacterias. Sobre las aguas subterráneas y su interacción con las superficiales se propone realizar una carta de vulnerabilidad y riesgo de contaminación por alguna de las metodologías usuales disponibles. Se indica la necesidad de estudiar y desarrollar la gestión de los lodos de la planta potabilizadora y los de tratamientos de efluentes de fuentes puntuales. Se proponen áreas protegidas, como por ej., parques, bordeando los lugares de toma directa de aguas para potabilización. Se hacen recomendaciones sobre el mantenimiento de tanques de almacenamiento de agua potable.

## Capítulo I

### **1.1 El Agua Potable en Uruguay, definición, principales normas nacionales aplicables y roles institucionales.**

Según el Decreto del Poder Ejecutivo No. 375 de noviembre de 2011(1, referencia, ver en 1.7), se define al agua potable como *"el agua apta para consumo humano, que no represente riesgos para la salud durante toda la vida del consumidor o que no genere rechazo por parte del mismo."*

A su vez el Decreto establece que queda prohibida la distribución de aguas no potables para consumo humano directo o indirecto.

Asimismo el Decreto adopta la norma UNIT 833:2008(2) numerales 3.2 a 6 inclusive donde se establecen los parámetros de control, parámetros adicionales y parámetros complementarios a determinar, así como los requisitos para esos parámetros y métodos de ensayo. Dicha norma fue creada por un Comité Especializado del cual la Facultad de Química formó parte.

Por otra parte la Constitución de la República, a través de la reforma del artículo 47 en el año 2004, establece que *"el acceso al agua potable y el acceso al saneamiento, constituyen derechos humanos fundamentales"*, así como también que *"la provisión de los servicios será competencia del Estado."*

En el mismo sentido, la Ley No. 18610 de 2009 denominada "Política Nacional de Aguas" establece entre otros que:

- *Todos los habitantes tienen derecho al acceso al agua potable y al saneamiento. El Estado actuará propendiendo al efectivo ejercicio de tales derechos.*
- *El agua es un recurso natural esencial para la vida. El acceso al agua potable*

y al saneamiento son derechos humanos fundamentales reconocidos en el inciso segundo del artículo 47 de la Constitución de la República.

- La Política Nacional de Aguas comprende la gestión de los recursos hídricos así como los servicios y usos vinculados al agua.

- Toda persona deberá abstenerse de provocar impactos ambientales negativos o nocivos en los recursos hídricos, adoptando las medidas de prevención y precaución necesarias.

*La Política Nacional de Aguas tiene por principios:*

- A) *La gestión sustentable, solidaria con las generaciones futuras, de los recursos hídricos y la preservación del ciclo hidrológico que constituyen asuntos de interés general.*
- B) *La gestión integrada de los recursos hídricos -en tanto recursos naturales- deberá contemplar aspectos sociales, económicos y ambientales.*
- C) *Que la falta de certeza técnica o científica no podrá alegarse como eximente -ante el riesgo de daño grave que afecte los recursos hídricos- para la no adopción de medidas de prevención, mitigación y recomposición.*
- D) *Que la afectación de los recursos hídricos, en cuanto a cantidad y calidad, hará incurrir en responsabilidad a quienes la provoquen.*
- E) *El reconocimiento de la cuenca hidrográfica como unidad de actuación para la planificación, control y gestión de los recursos hídricos, en las políticas de descentralización, ordenamiento territorial y desarrollo sustentable.*
- F) *La educación ambiental como una herramienta social para la promoción del uso responsable, eficiente y sustentable de los recursos hídricos en sus distintas dimensiones: social, ambiental, cultural, económica y productiva.*
- G) *Que el abastecimiento de agua potable a la población es la principal prioridad de uso de los recursos hídricos. Los demás usos se determinarán teniendo en cuenta las prioridades que se establezcan por regiones, cuencas hidrográficas y acuíferos.*
- H) *Equidad, asequibilidad, solidaridad y sustentabilidad, como criterios rectores que tutelen el acceso y la utilización del agua.*
- I) *Que para la gestión sustentable de los recursos hídricos compartidos con otros Estados deberán promoverse estrategias de coordinación y cooperación internacional, según lo establecido por la [Constitución de la República](#) en materia de aguas y saneamiento.*
- J) *La participación de los usuarios y la sociedad civil en todas las instancias de planificación, gestión y control.*
- K) *Que las personas jurídicas estatales sean las únicas que puedan prestar, en forma exclusiva y directa, los servicios públicos de agua potable y saneamiento.*
- L) *Que el marco legal vigente en materia de aguas debe estar en consonancia con la evolución del conocimiento científico y tecnológico.*

## **1.2 Análisis general de la normativa nacional aplicable en relación a otras normas internacionales de referencia.**

A continuación se presenta un breve análisis comparativo entre la norma UNIT 833:2008 que regula la calidad del agua potable en Uruguay en relación a los siguientes documentos internacionales:

- "Guidelines for Drinking-water Quality" Fourth Edition, de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 4<sup>ta</sup> Ed).
- "National Primary Drinking Water Regulations" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés) 816-F-09-0004, Mayo 2009.

Haciendo una revisión general entre la norma UNIT 833:2008 y las normas internacionales mencionadas, se observa que las mismas son semejantes tanto sobre los parámetros que se encuentran presentes, así como los órdenes de magnitud de los valores que son establecidos como máximos permisibles. Estas semejanzas se deben a que los requisitos de la norma UNIT fueron establecidos tomando en cuenta estas normativas internacionales, entre otras, y en muchos casos basándose en ellas.

Sin embargo, en algunos casos se pueden encontrar diferencias sobre la estructura de parámetros a evaluar, por ejemplo, el parámetro Glifosato + AMPA (Herbicida de amplio espectro y su metabolito mayoritario):

- UNIT 833:2008: Valor máximo permitido: 0,7 mg L<sup>-1</sup>
- EPA, 816-F-09-0004, May 2009: Valor máximo permitido: 0,7 mg L<sup>-1</sup>
- OMS, 4<sup>ta</sup> Ed: No se establece un valor de referencia. Ocurre en aguas potables en concentraciones considerablemente menores a aquellas perjudiciales a la salud. (3)

De la misma forma, se pueden también encontrar diferencias mínimas en los valores máximos permisibles, sin que éstos cambien su orden de magnitud, como por ejemplo en el caso del arsénico:

- UNIT 833:2008: Valor máximo permitido: 0,02 mg L<sup>-1</sup>
- OMS, 4<sup>ta</sup> Ed.: Valor máximo permitido: 0,01 mg L<sup>-1</sup>
- EPA, 816-F-09-0004, Mayo 2009: Valor máximo permitido: 0,01 mg L<sup>-1</sup>

Por otro lado, cabe destacar que la OMS, 4<sup>ta</sup> Ed, recomienda que se realice una revisión periódica de los estándares de calidad de agua potable, tomando en cuenta que a medida que aumenta el conocimiento, puede haber cambios específicos en los valores guía o nuevas amenazas a la seguridad del agua potable. De la misma forma puede haber modificaciones en la tecnología de tratamiento de agua potable y en los métodos analíticos de determinación de contaminantes. Por lo tanto, es recomendable que la estructura de los estándares nacionales e internacionales sea tal que permita realizar modificaciones rápidamente.

### **1.3 Análisis detallado de la normativa nacional aplicable en relación a otras normas internacionales de referencia, al respecto de parámetros específicos de interés para este informe.**

Para la comparación detallada de la norma UNIT 833:2008 al respecto de parámetros específicos se tomaron en cuenta las siguientes normativas:

- "Guía para la calidad del agua potable" Cuarta Edición de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- "National Primary Drinking Water Regulations" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés).
- "Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano" Portaria Nº 518, Ministerio da Saúde, Brasil.
- DIRECTIVA 98/83/CE Relativa a la Calidad de las Agua Destinadas al Consumo Humano de la Unión Europea.

### 1.3.1 Olor y Sabor

La Guía para la Calidad del Agua potable de la OMS establece que *"el agua no debe presentar sabores u olores que pudieran resultar desagradables para la mayoría de los consumidores."*

Esta recomendación se basa en que *"los consumidores evalúan la calidad del agua de consumo basándose principalmente en sus sentidos. Los componentes microbianos, químicos y físicos del agua pueden afectar a su aspecto, olor o sabor y el consumidor evaluará su calidad y aceptabilidad basándose en estos criterios. Aunque es posible que estas sustancias no produzcan ningún efecto directo sobre la salud, los consumidores pueden considerar que el agua muy turbia, con mucho color, o que tiene un sabor u olor desagradable es insalubre y rechazarla. En casos extremos, los consumidores pueden evitar consumir agua que es inocua pero inaceptable desde el punto de vista estético, y consumir en cambio agua de otras fuentes cuyo aspecto sea más agradable pero que puede ser insalubre."*

De la misma forma, las siguientes normas establecen:

- UNIT 833:2008: que el olor y sabor del agua potable debe ser característico, (ausencia de olor y sabor extraño)
- Ordenanza Brasileña: que el olor y sabor del agua potable debe ser no objetable
- DIRECTIVA 98/83/CE: que el olor y sabor del agua debe ser aceptable para los consumidores y no presentar cambios anómalos.

Por otra parte, la Regulación Nacional Secundaria de Agua Potable de la EPA(4) establece un valor máximo para el olor del agua potable de 3 veces el valor umbral de percepción.

### 1.3.2 Microcistinas

Según la Guía para la Calidad del Agua potable de la OMS: *"Las cianobacterias son bacterias fotosintéticas que comparten algunas propiedades con las algas: en particular, que poseen clorofila a y que liberan oxígeno durante la fotosíntesis."* *"En la mayoría de las aguas superficiales hay concentraciones pequeñas de cianobacterias, pero en condiciones ambientales*

*propicias pueden producirse «floraciones» con una gran densidad de cianobacterias.” “Algunas condiciones medioambientales, como la luz solar, las temperaturas cálidas, la baja turbulencia y las altas concentraciones de nutrientes, pueden favorecer su proliferación.”*

*“Se conocen muchas especies que producen toxinas llamadas «cianotoxinas», varias de las cuales son perjudiciales para la salud. Hay cianotoxinas con diferentes estructuras químicas y pueden encontrarse en el interior de las cianobacterias o ser liberadas al agua. Las cianotoxinas conocidas tienen toxicidades muy diversas (así como las diferentes variantes estructurales dentro de un grupo, por ejemplo, las microcistinas), y es probable que existan más toxinas que todavía no se han descrito.”*

*“Las cianotoxinas que se producen con mayor frecuencia en concentraciones altas (>1µg/l) son, al parecer, las microcistinas (oligopéptidos) y la cilindrospermopsina (un alcaloide).”*

*“Las cianotoxinas pueden alcanzar concentraciones potencialmente peligrosas para la salud humana, sobre todo cuando se produce una alta densidad celular por una proliferación excesiva...” durante los episodios de floraciones.*

*“El análisis químico de la presencia de cianotoxinas no es el método preferible para el monitoreo sistemático, sino el monitoreo de signos de floración, o del potencial de desarrollo de floraciones, en el agua de origen, y el incremento de la vigilancia cuando se detectan tales signos. El análisis de las cianotoxinas exige tiempo, equipo y conocimientos, y el análisis cuantitativo de algunas cianotoxinas se ve obstaculizado por la falta de patrones analíticos. No obstante, han comenzado a comercializarse métodos rápidos, como el ELISA y los análisis enzimáticos, para unas pocas cianotoxinas, como las microcistinas.”*

*“El análisis químico de cianotoxinas es útil para evaluar la eficacia de las estrategias de tratamiento y preventivas, es decir, como forma de validación de las medidas de control...”*

*Aunque se calculan valores de referencia cuando hay datos suficientes, su función primordial es el establecimiento de objetivos de las medidas de control.*

*La OMS, en su guía para la calidad de agua potable “...ha establecido un valor de referencia provisional(5) para la microcistina-LR...” de 1 µg l<sup>-1</sup> para Microcistina-LR total. “La microcistina-LR es una de las más tóxicas de entre las más de 70 variantes estructurales de microcistina. Aunque es, al parecer, una de las microcistinas más abundantes en todo el mundo, en muchas regiones no es la variante más común, y es probable que las otras sean menos tóxicas.”*

En este sentido, las siguientes normas establecen:

- UNIT 833:2008; Microcistina-LR: valor máximo permitido 1 µg L<sup>-1</sup>
- Ordenanza Brasileña; Microcistina-LR: valor máximo permitido 1 µg L<sup>-1</sup>

Se destaca que tanto para el caso de la OMS, como para la norma UNIT de Uruguay y ordenanza Nº 518 de Brasil, la única cianotoxina que se establece como parámetro de control es la Microcistina-LR.

Por otra parte, en el caso de la EPA y de la regulación de la UE, las cianotoxinas no son parte de la regulación vigente. Sin embargo, Anatoxina-a, Microcistina-LR, y Cylindrospermopsin, se encuentran dentro del Lista de Contaminantes Candidatos (6) (CCL 3) de la EPA.

### 1.3.3 Atrazina

Según la tercera edición de la Guía para la calidad del agua potable de la OMS, *“La atrazina es un herbicida selectivo de preemergencia y posemergencia temprana. Se ha encontrado en aguas superficiales y subterráneas, debido a su movilidad en el suelo. Es relativamente estable en suelos y medios acuáticos, con un periodo de semidegradación del orden de meses, pero se degrada por fotólisis y por la acción microbiana en el suelo.”* Esta guía establece como valor de referencia para atrazina 0,002 mg L<sup>-1</sup>.

De la misma forma, las siguientes normas establecen:

- UNIT 833:2008; Atrazina: valor máximo permitido 0,003 mg L<sup>-1</sup>
- Ordenanza Brasileña; Atrazina: valor máximo permitido 0,002 mg L<sup>-1</sup>
- EPA: Atrazina; valor máximo permitido 0,003 mg L<sup>-1</sup>

Por otro lado, la “Guidelines for Drinking-water Quality” de la OMS en su cuarta versión, declara que tanto la atrazina como sus metabolitos (s)clorotriazina: desetilatrazina, desisopropil-atrazina y diaminocloroatrazina, han sido encontrados en aguas superficiales y subterráneas como resultado del uso de la atrazina. A su vez, fue demostrado que el perfil tóxico y el modo de acción de estos metabolitos son muy similares a aquellos de la atrazina.

Por esta razón, esta versión de las Guías para la Calidad de Agua Potable, incorpora en su lista de recomendaciones a los metabolitos (s)clorotriazina, definiendo un valor guía máximo para la suma de atrazina y sus metabolitos de 0,1 mg L<sup>-1</sup>.(7)

## 1.4 **Discusión sobre metabolitos de algas y cianobacterias que provocan problemas de olor y sabor en el agua**

Las propiedades de sabor y olor del agua (S/O) son fundamentales para la confianza del consumidor de agua. La mayoría de los problemas de S/O del agua son producidos por metabolitos de algas.

Los metabolitos de algas, ya sean de algas eucariotas o cianobacterias, son relevantes en todos los esquemas de manejo de agua debido a su actividad biológica. Algunos son tóxicos para los humanos y organismo

acuáticos (estas toxinas son no volátiles, solubles en agua e inodoras) y otros son volátiles y afectan las propiedades organolépticas del agua (S/O) pero no se conoce que afecten la salud. El rol de los metabolitos volátiles de algas está en discusión, podrían ser solamente subproductos del metabolismo celular, pero se tiende a interpretar que actúan como semioquímicos (compuestos que participan en la comunicación entre los individuos). Se dividen en tres grandes grupos: terpenoides, ácidos grasos insaturados y sulfuros. Cada grupo es producido preponderantemente por diferentes tipos de algas.

Los primeros y más conocidos compuestos volátiles de algas responsables de olor en agua, pertenecen al grupo de los terpenoides y son la geosmina o GSM (*trans*-1,10-dimetil-*trans*-9-decalol) y el 2-metilisoborneol o MIB (1,2,7,7-tetrametil-exo-biciclo-[2,2,1]-heptan-2-ol). La geosmina imparte al agua sabor y olor a tierra y el MIB sabor y olor a moho. Estos terpenos no son eliminados mediante los tratamientos convencionales del agua, y sus umbrales de detección olfativa son muy bajos (de 4 y 15 ng L<sup>-1</sup>, respectivamente). Ambos compuestos son sintetizados por una variedad de organismos, incluyendo algunas plantas vasculares, actinomicetos (*Streptomyces*) y hongos (*Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp). Entre las algas solamente son producidos por algunas cianobacterias. No se han reportado efectos tóxicos de estos compuestos en humanos. Sin embargo, las cianobacterias que las producen, también producen toxinas (que son inodoras) pero mediante caminos biosintéticos independientes. Entre los géneros de cianobacterias productoras de GSM se encuentran *Lyngbya*, *Oscillatoria*, y *Symploca*. La producción de GSM varía con las diferentes especies y aún puede variar con distintas cepas de la misma especie.

Varios nor-carotenoides son producidos por cianobacterias y algas eucariotas, entre los que se encuentran alfa-ionona, dihidrotrimetilnaftaleno, metilhept-5-en-2-ona, germacreno, geraniol y nerol y beta-ciclocitral. Este último es el más abundante y es producido por cianobacterias del género *Microcystis*. La contribución de estos compuestos al olor acuático es mucho menor que la de GSM y MIB.

El IPMP (2-isopropil-3-metoxipirazina) y el IBMP (2-isobutil-3-metoxipirazina) también contribuyen al olor.

Los otros tipos de compuestos producidos por algas no contribuyen significativamente al olor del agua.

Existen diversas medidas de protección de los recursos y gestión de las fuentes que permiten reducir la probabilidad de que se produzcan floraciones, y algunos métodos de tratamiento, como la filtración y cloración, permiten eliminar las cianobacterias y las cianotoxinas. La filtración puede eliminar eficazmente las células de cianobacterias y, simultáneamente, con frecuencia, una proporción alta de las toxinas. La oxidación con ozono o cloro, aplicando concentraciones y tiempos de contacto suficientemente altos, puede eliminar eficazmente la mayoría de las cianotoxinas disueltas en el agua.

## **1.5 Roles y competencias de las instituciones vinculadas al agua potable en Uruguay.**

## **MVOTMA**

Tiene la misión de procurar la mejora de la calidad de vida de los habitantes en el país, constituyéndose en el organismo generador de políticas públicas democráticas, transparentes y participativas en materia de hábitat, que contribuyan a un desarrollo económico sostenible y territorialmente equilibrado.

Artículo 6º.- Corresponde al Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente proponer al Poder Ejecutivo la Política Nacional de Aguas.

## **MSP**

El MSP tiene como misión establecer las políticas y las estrategias para el cumplimiento de las funciones esenciales de salud pública, de modo de asegurar la salud colectiva como un derecho humano básico y un bien público responsabilidad del Estado.

## **MGAP-DINARA**

Institución responsable de promover la utilización sostenida de los recursos pesqueros y acuícolas, mediante una pesca responsable y un procesamiento en tierra que satisfaga las normas higiénico-sanitarias y de calidad, a fin de lograr el máximo rendimiento sostenible de los recursos acuáticos en el largo plazo.

## **URSEA**

Según la Ley N° 17598 Promulgada el 13 de diciembre de 2002, La competencia de la URSEA será la regulación en materia de calidad, seguridad, defensa del consumidor y posterior fiscalización de las siguientes actividades:

...

C) Las referidas a la aducción y distribución de agua potable a través de redes en forma regular o permanente en cuanto se destine total o parcialmente a terceros, y la producción de agua potable, entendida como la captación y tratamiento de agua cruda y su posterior almacenamiento, en cuanto su objeto sea la posterior distribución.

...

## **OSE**

Según la ley orgánica N° 11907 Promulgada el 19 de Diciembre de 1952 y sus modificaciones a noviembre de 2010.

Artículo 2º - La Administración de las Obras Sanitarias del Estado, tendrá los siguientes cometidos y facultades: a) la prestación del servicio de agua potable en todo el territorio de la República...

En su Norma Interna de Calidad de Agua Potable aprobada en diciembre de 2012, establece que los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable son los establecidos en el Reglamento Bromatológico Nacional (Decreto 315/94), modificado por Decreto 375/11. Dicho decreto adopta la Norma UNIT 833:2008 reimpresión corregida Julio 2010, que establece un conjunto de requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano, cualquiera

sea su fuente de captación, tipo de tratamiento, producción y sistema de distribución.

## **UdelaR**

Según la Ley Orgánica 12.548 Universidad de la República

Artículo. 2 – Fines de la Universidad –

- La Universidad tendrá a su cargo la enseñanza pública superior en todos los planos de la cultura, la enseñanza artística, la habilitación para el ejercicio de las profesiones científicas y el ejercicio de las demás funciones que la ley le encomiende.

- Le incumbe asimismo, a través de todos sus órganos, en sus respectivas competencias, acrecentar, difundir y defender la cultura; impulsar y proteger la investigación científica y las actividades artísticas y contribuir al estudio de los problemas de interés general y propender a su comprensión pública; defender los valores morales y los principios de justicia, libertad, bienestar social, los derechos de la persona humana y la forma democrático-republicana de gobierno.

### **1.6 Participación de la UdelaR en el control de la calidad del agua potable**

Con fecha 17 de febrero del año 2004 se suscribió un Convenio Específico de Cooperación Institucional entre la URSEA y la Universidad de la República, a través de su Facultad de Química, para realizar estudios sobre temas relacionados a la calidad del producto agua potable en el sistema de distribución nacional, con una duración de 30 meses, el cual fue objeto de prórroga hasta el 24 de marzo de 2007.

El 11 de julio de 2007 se suscribió un segundo Convenio Específico de Cooperación Institucional entre ambas partes, para continuar realizando estudios sobre temas relacionados a la calidad del producto agua potable en el sistema de distribución para todo el país, el cual fue en primera instancia prorrogado y posteriormente ampliado. (Anexo convenio 2007)

El 10 de mayo próximo pasado se firmó un nuevo convenio para continuar con los estudios comprendiendo la toma y análisis de aproximadamente 1000 muestras en localidades del país con prestación del servicio de agua potable, para la realización de análisis que involucren algunos de los siguientes tipos de parámetros: microbiológicos, biológicos, físicos y químicos de componentes orgánicos e inorgánicos. Las localidades, frecuencias y parámetros analizados son definidos directamente por la URSEA. (Anexo convenio 2013)

Las listas de parámetros que se han monitoreado hasta el momento en marco del convenio vigente y aquellos que serán monitoreados en el futuro se encuentran en los- anexos (anexos de convenios+anexo cotización microcistinas 2010-2012).

La Facultad de Química ha realizado los muestreos y análisis solicitados por la URSEA en los respectivos convenios y ha respondido a todas las emergencias que han surgido realizando muestreos especiales en localidades específicas en el menor tiempo posible. Los resultados de los análisis realizados por la Facultad de Química desde el año 2004, solicitados por URSEA en el marco del convenio específico, en la gran mayoría de los casos se adecuan a lo estipulado en la norma UNIT 833:2008, norma que define los requisitos para potabilidad del agua según decreto No 375/2011. Los casos puntuales de desvío en ciertos parámetros, ya sea químicos, fisicoquímicos o microbiológicos, fueron informados oportunamente y la Facultad de Química realizó el seguimiento de los mismos a solicitud de la URSEA, en el marco del citado convenio, hasta su resolución.

### **1.7) Otros aportes de UDELAR respecto a la calidad y fuentes de suministro de agua potable**

La Facultad de Ingeniería ha asesorado a OSE en relación a procesos unitarios de potabilización tomando en cuenta la calidad del agua bruta; en particular en el marco del estudio del funcionamiento de unidades potabilizadoras UPA, se han realizando estudios concretos en Florida, Paso Severino y Aguas Corrientes. Asimismo, en 2007 se desarrolló un convenio acerca de remoción de manganeso en agua potable, uno de cuyos ejes consistió en realizar un estudio a nivel de la cuenca del Santa Lucía (considerando Aguas Corrientes como punto de cierre de ésta) para identificar y evaluar las posibles fuentes puntuales y difusas que aportan manganeso al agua bruta que se extrae para ser potabilizada en la planta de Aguas Corrientes, incluyendo varias campañas de muestreo de calidad de aguas y de aportes de las principales fuentes identificadas. En los años 2008 y 2009, se continuó trabajando en la cuenca de Santa Lucía, en el marco de un proyecto con DINAMA, elaborando un diagnóstico y recomendaciones para minimizar los impactos ambientales negativos de establecimientos lecheros sobre la cuenca mencionada.

También se han suscrito convenios con OSE para realizar estudios hidrológicos e hidráulicos en relación al diseño de la sobreelevación de la represa Paso Severino, alternativas constructivas existentes y evaluación de falla de la obra, realizando la modelación numérica de tramos importantes del Santa Lucía y algunos de sus afluentes. Asimismo se han estudiado los acuíferos subyacentes en la cuenca del río Santa Lucía: modelación numérica del acuífero Raigón (1998, 2009), la carta de vulnerabilidad (2000) para el mismo acuífero, el estudio de los recursos hídricos subterráneos del Departamento San José (2001), etc.

### **1.8) Referencias y Citas aclaratorias del Capítulo I**

- 1) [http://www.ursea.gub.uy/web/mnformativo2.nsf/2B6B0DFB7980B41283257A8500649386/\\$file/Dec%20375-011.pdf?OpenElement](http://www.ursea.gub.uy/web/mnformativo2.nsf/2B6B0DFB7980B41283257A8500649386/$file/Dec%20375-011.pdf?OpenElement)
- 2) [http://www.ursea.gub.uy/web/mnformativo2.nsf/2B6B0DFB7980B41283257A8500649386/\\$file/Dec%20375-011.pdf?OpenElement](http://www.ursea.gub.uy/web/mnformativo2.nsf/2B6B0DFB7980B41283257A8500649386/$file/Dec%20375-011.pdf?OpenElement)
- 3) WHO (2003) *Glyphosate and AMPA in drinking-water*

- 4) La regulación secundaria de agua potable de la EPA abarca parámetros específicos que no son vinculantes a nivel nacional pero que pueden ser adoptados de manera obligatoria por los diferentes estados de la Unión.
- 5) Valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa, pero hay escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud.
- 6) CCL 3 lista de contaminantes que actualmente** no se encuentran sujetos a ninguna reglamentación de agua potable, pero se conoce o se anticipa que pueden estar presentes en los sistemas de distribución de agua potable y que pueden requerir de regulación. Esta lista incluye, plaguicidas, bioproductos de desinfección, productos químicos comercializados, patógenos, productos farmacéuticos y toxinas biológicas.
- 7) Atrazine and Its Metabolites in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality

## Capítulo II

### **Posibles fuentes de contaminación.**

#### II.1) Enumeración de posibles fuentes.

Los informes generados por la cooperación de Jica con la Dinama, publicados entre 2010 y 2011 (Dinama-Jica, 2011) y algunos trabajos realizados por investigadores de la Udelar (Arocena et al, 2010, 2011 y 2012; Chalar et al, 2010, 2013), se consideran suficientes como caracterización general de la problemática, permitiendo realizar propuestas para su abordaje, desde el estado actual de conocimiento sobre la misma. Pero deberán planearse nuevos estudios para afinar tanto la comprensión de los problemas y en particular, para mejorar y actualizar las cuantificaciones de las variables y sus dinámicas temporales y espaciales, así como para evaluar y eventualmente corregir, las medidas de mitigación y control que se hayan puesto y se pongan en práctica.

El Informe Principal del proyecto de Dinama-Jica (2011), realiza una enumeración de las fuentes de contaminación de las aguas del río Santa Lucía, clasificándolas en forma clásica en Puntuales (aquellas que provienen de una causa o actividad claramente identificable en un punto o área definida de la cuenca) y Difusas (las que provienen de actividades que ocupan áreas importantes). Entre las primeras están las provenientes de efluentes de Industrias y de aguas servidas de Ciudades o Poblaciones, a las que las estimaciones del informe atribuyen 20% de las cargas de contaminación de nutrientes (eutrofización) y de demanda biológica de oxígeno a nivel del conjunto de la cuenca. El restante 80% se atribuye a la Fuentes

Difusas.

Entre las causas de la contaminación difusa, provenientes principalmente de actividades agropecuarias, que en esta cuenca es principalmente pecuaria (ver cuadro 2-13, pág. 55 del informe) y dentro de esta, lechera. Sin embargo, dentro de la explotación lechera (tambo) se debería distinguir nuevamente entre fuentes difusas y puntuales, ya que los efluentes de salas de ordeño y corrales de espera contienen importantes cantidades de heces y orina. Estos efluentes suelen depositarse en piletas de decantación en las que queda lo principal de su carga sólida, pero al ser finalmente liberadas hacia aguas superficiales de la cuenca todavía contienen importantes cargas de nutrientes.

Las fuentes difusas de estas explotaciones las constituyen las áreas de suelo destinadas a producir los componentes de las rotaciones forrajeras que sustentan las explotaciones lecheras. Son principalmente las áreas de praderas y cultivos forrajeros (verdeos y cultivos para reservas forrajeras), buena parte de las cuales se utilizan para el directo pastoreo de los animales, mientras otras son cosechadas y almacenadas, para ser finalmente consumidas generalmente en las cercanías de las salas de ordeño. Dentro de esta cuenca existe además un área agrícola, la mayoría destinada a cultivos cerealeros anuales de invierno y verano de los que se cosechan sus granos, aunque también existen áreas importantes de cultivos hortícolas y frutícolas (perennes).

Una parte de esta contaminación difusa llega a las aguas superficiales en forma particulada, asociada a los sedimentos transportados por la erosión de los suelos, mientras que otra parte llega en forma de nutrientes solubles transportada por el escurrimiento superficial. La riqueza en nutrientes del sedimento generado por la erosión de los suelos depende de la del suelo erosionado, que tiene origen en su fertilidad natural y en la historia de fertilización recibida. A esto se agrega el enriquecimiento que sufre el sedimento durante el transporte, ya que las partículas más finas y ricas en nutrientes son transportadas preferencialmente. El factor de enriquecimiento en Fósforo (P) de los sedimentos puede ser cercano a 1.5 en promedio, pero en algunos eventos puede llegar a ser hasta de 5 veces la concentración del suelo original.

La importancia relativa de los diferentes usos del suelo es informada en el trabajo de Dinama-Jica(2011), en el que se presenta un mapa de usos del suelo aportado por la Renare-MGAP. En el se aprecia que dichos usos no son iguales en las diferentes subcuenas de la cuenca del Santa Lucía, así como también que es variable la importancia relativa de las fuentes puntuales de contaminación. En las recomendaciones de acciones de control y monitoreo del informe se destacan 3 grandes categorías de áreas definidas en base a la

variación indicada. En la parte norte de la cuenca, ubicada principalmente al norte y noroeste del cauce principal del río, en los Departamentos de San José, Florida y en parte también de Lavalleja, se indica que debe prestarse principal atención a la Fuentes Difusas de origen agropecuario (principalmente lechero), excepto el área alrededor de la ciudad de Florida, en la que se concentran Fuentes Puntuales (Urbanas e Industriales). En la parte sur del cauce principal, ubicada principalmente en el Departamento de Canelones, las fuentes difusas están distribuidas en cambio entre actividades lecheras, horti-frutícolas y cerealeras, aunque también existe una importante fuente puntual alrededor de la ciudad de Canelones, de similares características a las ya indicadas para la ciudad de Florida. Dentro de esta zona (particularmente en las subcuencas de los arroyos Tala, Canelón Grande y Canelón Chico), existen también actividades de producción animal de aves y cerdos, que podrían realizar aportes significativos de nutrientes, lo que no es destacado en este informe.

Una fuente puntual que es relativamente menos mencionada en el informe Dinama-Jica (2011), corresponde a los encierros de ganado para su engorde final pre faena, conocidos como "feed-lots". En países desarrollados estas fuentes de contaminación son caracterizadas como muy importantes y se hacen esfuerzos para regular su ubicación geográfica y controlar sus efluentes. Estas actividades seguramente deben estar creciendo, probablemente asociadas a las industrias frigoríficas. Dinama posee información sobre la ubicación y tamaño de feed-lots en el país que se presenta en un mapa, disponible en una presentación en slides en su pág. Web (Relevamiento y aspectos ambientales del sector engorde a corral). Según dicho mapa habría un feed-lot de entre 1000 y 3000 animales, uno de menos de 1000 y 3 sin datos, dentro de la cuenca del Santa Lucía, aguas arriba de Aguas Corrientes.

## II.2) Evidencias de los estudios y monitoreos sobre causas de contaminación e importancia relativa en las distintas subcuencas, hasta la toma de OSE en Aguas Corrientes.

El informe público del Monitoreo de 2011 de (Dinama, 2011) reporta que se estableció una red de estaciones de muestreo de agua y mediciones in situ a lo largo del cauce principal del río y de sus afluentes. Las estaciones se ubicaron en las partes altas de las cuencas, antes y después de sitios en los que hay importantes fuentes puntuales (ciudades e industrias) y en los dos embalses, el de Paso Severino sobre el Santa Lucía Chico y el de Canelón Grande sobre el arroyo del mismo nombre. Los resultados presentados corresponden a dos fechas de muestreo en el año 2010.

La principal conclusión general es que las aguas de toda la cuenca tienden a presentar altos valores de P y puntualmente de otros

contaminantes. Debe destacarse que estos monitoreos no reportan o no incluyeron agroquímicos y sus subproductos, otros que los nutrientes (parte de los cuales son aportados por los agroquímicos denominados fertilizantes); esta es una carencia que deberá ser encarada y estudiada a futuro. Sin embargo, se hace una mención a la aparición de atrazina, un herbicida de vieja generación y muy persistente, cuya utilización está prohibida en la Unión Europea y está en consideración en los EEUU.

El P es el principal nutriente contaminante de aguas dulces, ya que las concentraciones excesivas de este nutriente generan eutroficación que puede provocar eventos de crecimientos (floración) de algas cianobacterias. En particular las cianobacterias producen varios metabolitos, que encarecen o impiden el proceso de potabilización, como geosminas (sustancias volátiles aromáticas) o toxinas graves para la salud humana (Bonilla 2009). Los valores de concentración de P estuvieron en general por encima del límite establecido por Dinama, excepto en las partes altas de las cuencas de los ríos Santa Lucía Chico y Grande, donde disminuye tanto la densidad poblacional como la intensidad de uso agropecuario y predominan las pasturas naturales y los montes nativos. En cambio, los niveles de concentración de este nutriente aumentaron luego del pasaje de las aguas por concentraciones urbanas e industriales, y también se incrementaron los niveles de otros contaminantes orgánicos.

Es llamativa la elevada concentración de P en el agua del Embalse del Canelón Grande; en el de Paso Severino estos niveles son también altos pero en una menor magnitud. Quizás esta diferencia se explique en parte por el hecho de que el embalse del Canelón Grande fue inaugurado en 1956, mientras que el de Paso Severino lo fue en 1988, una diferencia de 32 años. El uso del suelo histórico comenzó mucho antes y fue mucho más intenso en la cuenca del primero de los dos embalses, que está en el centro del área históricamente más erosionada del país. Además, según información de DIEA (Saavedra, 2011) en la década previa y hasta la fecha del cierre del embalse, se alcanzó la mayor superficie de agricultura cerealera de secano (principalmente trigo) de la historia del país, con 1,6 millones de ha. Este fenómeno nacional involucró al Departamento de Canelones, incluidas las cuencas de los Canelones Grande y Chico, mientras en la del Santa Lucía Chico recién comenzaba el desarrollo de la Lechería. El mapa de erosión del país, basado en fotografías aéreas de 1966 (Cayssials et al., 1978), que obedece a la historia de uso del suelo hasta esa fecha, ubica a las cuencas de los Canelones dentro de un área severamente erosionada y a la del Santa Lucía Chico en una de erosión leve o moderada. De todas maneras, a partir de los años 50-60 del siglo pasado también se incrementó la actividad agrícola en la cuenca de la Presa de Paso Severino, con el desarrollo de la lechería.

La elevada tasa de erosión de suelos que acompañó ese desarrollo agrícola se debió a que el mismo estuvo basado en laboreo agresivo sin medidas efectivas de conservación de suelos y la construcción de estas presas retuvo en los lagos gran parte del suelo erosionado. Los modelos de pérdida de P disponibles señalan que la erosión de partículas de suelo ricas en P total permite explicar por sí sola la eutroficación de aguas superficiales. Este mecanismo explicaría también, además de las altas concentraciones actuales de P de ambas presas, la alta turbidez de sus aguas, debidas a la presencia de sedimentos en suspensión. Esta hipótesis se fundamenta aun más por el hecho de que en ese entonces recién comenzaba en el país el uso de fertilizantes, por lo cual los niveles de P lábil (poco retenido) del suelo eran bajos, y la llegada de P soluble a las aguas superficiales era de mucha menor magnitud relativa con respecto a la de P particulado (asociado a las partículas).

Si esto es confirmado tiene implicancia en el manejo del flujo de agua de ambas represas para su procesamiento en Aguas Corrientes. Pero más importante es que indica que el problema persistiría a futuro, en alguna medida, aunque las medidas de mitigación que se recomiendan adelante sean exitosas en minimizar la llegada de nuevo P a las aguas.

Cabe señalar, sin embargo, que el mecanismo de transporte de P soluble asociado al incremento de la concentración de P lábil del suelo ha venido cobrando importancia creciente, ya que los niveles de P lábil en los suelos de la cuenca de la Presa de Paso Severino se han elevado considerablemente en los últimos años, según estudios recientes en esa área realizados por investigadores de las Facultades de Ciencias y de Agronomía (Arocena et al., 2012). Los mismos revelan que estos niveles superan frecuentemente los necesarios para no limitar el crecimiento y producción de las pasturas y cultivos que sustentan la lechería, y se ubican en niveles considerados internacionalmente como excesivos y peligrosos para el medio ambiente. Este incremento excesivo del P lábil del suelo se asocia a una sobrefertilización fosfatada que no está basada en recomendaciones agronómicas científicas y también a la aplicación de P en superficie, para simplificar las operaciones de siembra y fertilización con las máquinas de siembra directa. A estos aportes difusos se suman los puntuales ya descritos, que provienen de salas de ordeño y sus alrededores. La concentración de P de aguas superficiales de microcuencas ubicadas en esta zona (Arocena et al., 2012), se asocia claramente al tipo de explotación y al nivel de P lábil del suelo, ya que las mayores concentraciones de este nutriente se registran en la zona de tambos, donde hay más fuentes puntuales de contaminación y donde también los niveles de P lábil del suelo son más elevados. En las microcuencas agrícola-ganaderas los niveles son intermedios, mientras que estos niveles son bajos en las zonas ganaderas, donde no hay aportes puntuales y los niveles de erosión y

de P lábil de suelo son mínimos. Cabe señalar que en este estudio se seleccionaron microcuencas no afectadas por los residuos de ciudades ni por la actividad industrial, por lo cual el origen del P en las aguas es exclusivamente agropecuario.

El informe recientemente publicado de Aubriot et al. (2013), sobre los resultados de determinaciones realizadas en 2010 y 2011 en el Canelón Chico, corroboran y profundizan los resultados de los trabajos de Dinama-Jica, identificando mejor el efecto de la fuente puntual del Frigorífico Canelones y también de las aguas residuales y otros residuos de la ciudad de Canelones. En este trabajo, se indica otro problema general en la cuenca del Santa Lucía, que es la pérdida de los montes nativos ribereños y la falta de áreas permanentemente vegetadas que formen un filtro superficial de las masas que se muevan hacia las corrientes de aguas superficiales. Este trabajo postula la posible incidencia de algunos cultivos de soja plantados cerca de la corriente de agua del arroyo Canelones. Cabe acotar, sin embargo, que este cultivo no es particularmente intensivo en el uso de fertilizantes ya que no requiere ser fertilizado con N y sus requerimientos de P son bajos. Algunos de los otros cultivos comerciales requieren ser fertilizados en mayor medida, y muchos de ellos son parte de las actividades agrícolas de la cuenca desde hace mucho más tiempo y en mucho mayor área que la soja. Este cultivo, si bien viene creciendo en el área de interés, lo ha hecho en mucho menor escala superficial que en las zonas agrícolas principales del país. En efecto, la encuesta de intención de siembra de DIEA-MGAP para la campaña 2011-2012 (lo último que aparece publicado en su pág. Web), indicaba menos de 5000 ha de cultivos de verano para todo el Departamento de Canelones. Evidentemente, hay maíz, sorgo y girasol en esa intención de siembra, además de soja. Además, la cuenca del Santa Lucía en Canelones corresponde a menos de la mitad del territorio del departamento. Por otra parte, información preliminar proporcionada por el Sistema de Información Geográfico de la RENARE-MGAP, interpretando imágenes satelitales del mismo período de la cuenca del Santa Lucía Chico de 256.980 ha, identificó solo 6670 ha de cultivos de verano. Por lo tanto, debe prestarse atención a toda la actividad de cultivos de la cuenca y no solo a uno de ellos, que hasta el presente es minoritario en área ocupada.

### Capítulo III

#### **Recomendaciones**

##### III.1) Sobre fuentes puntuales (efluentes de centros urbanos, industrias, tambos, etc.)

El informe de Dinama-Jica (2011) releva los principales aportes puntuales de contaminación por efluentes líquidos; entre industria de la carne, curtiembres, industria alimenticia, industria de bebida, lácteos, textil y plantas de aguas

residuales domésticas aportaban un total de 41726 m<sup>3</sup>/d(día) de efluente con 3618 kgDBO<sub>5</sub>/d, 2602 kgN<sub>total</sub>/d y 285 kgP<sub>total</sub>/d. De dichos vertidos, la industria frigorífica aportaba el 45% del nitrógeno y el 48% del fósforo y las aguas residuales el 26% del nitrógeno y el 34% del fósforo. Para reducir la cantidad de estos vertidos es necesario implementar modificaciones importantes en los sistemas de tratamiento, eventualmente nuevas plantas, cuyo costo de instalación y probablemente de operación supera los niveles de inversión que las industrias y organismos estatales han realizado históricamente. De hecho el propio informe reconoce la existencia de un altísimo porcentaje de vertidos que no cumplen con las limitaciones establecidas por la normativa propuesta.

La actividad de los tambos, de gran presencia en la cuenca, también implica cargas puntuales vertidas al ambiente. Desde una perspectiva general, en el mejor de los casos se cuenta con el sistema de lagunas de deantación, que no siempre es operado en las mejores condiciones. El desarrollo y la aplicación de tecnologías de tratamiento y gestión de residuos aptas para las distintas escalas productivas debe encararse involucrando a múltiples actores.

Otra fuente importante de contaminación ya mencionada son los denominados "feed-lots", cuyo número se ha incrementado notablemente en el último período, normalmente asociados a la actividad frigorífica. Una primera recomendación es actualizar la información acerca de su ubicación y tamaño. En segundo lugar, lamentablemente en la mayoría de los casos conocidos en el país no se ha previsto un sistema para retirar regularmente las excretas, y después realizar el correspondiente tratamiento, y para modificar la situación creada sería necesario una reformulación radical del establecimiento, con inversiones importantes. Como ya se dijo, también debe evaluarse la importancia de confinamientos animales de cría de aves y cerdos.

En todos estos temas, la UDELAR puede aportar estudio y desarrollo de soluciones para sistemas de tratamiento de efluentes líquidos y residuos sólidos. Se tienen detalles de distintas propuestas y tecnologías que podrían ser desarrolladas desde el Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería.

### III.2) Sobre fuentes dispersas (agricultura y agropecuaria en general)

Para conciliar el uso lechero predominante de la cuenca con la calidad medioambiental, se debe, en primer lugar, disminuir el riesgo de erosión, prestando especial atención a lograr que las rotaciones forrajeras empleadas y su utilización, generen una importante cobertura de la superficie. Si bien en la agropecuaria lechera se practica la siembra directa en forma mayoritaria, existe evidencia de que la erosión aun sigue activa, porque no se logra suficiente cobertura del suelo. Por lo tanto, una importante contribución al logro de mitigar la erosión y el escurrimiento superficial sería extender a las actividades agropecuarias predominantes en la cuenca del Santa Lucía la exigencia de trabajar sobre Planes de Uso y Manejo de Suelos que generen tasas de erosión tolerables, como las que empieza a aplicar el MGAP este año a

los sistemas de agricultura cerealera. El protocolo utilizado se basa en la aplicación del modelo USLE/RUSLE adaptado y validado en Uruguay (Durán y García Préchac, 2007) para el que se desarrolló un program de computación (García Préchac et al., 2012) de uso gratuito, disponible en la pág. web de la Facultad de Agronomía.

El pastoreo rotativo es otra medida que disminuye la llegada de P particulado a las aguas, ya que bajo este sistema de manejo una mayor parte del área mantiene un stand de gramíneas y leguminosas en crecimiento activo, lo cual reduce el escurrimiento y la erosión.

Se debería, además, fertilizar con P solo en las situaciones con niveles de este nutriente en el suelo, iguales o inferiores a los niveles críticos establecidos para diferentes cultivos y pasturas por la investigación nacional. Sería necesario incorporar también parte del fertilizante fosfatado dentro del suelo, ya que la aplicación continua de P en superficie incrementa en forma exponencial la llegada de P soluble a las aguas, que es además la forma de mayor biodisponibilidad para las cianobacterias ("algas verde-azules").

La implementación de estas medidas de manejo, sumadas a otras, como la conservación y recuperación de la vegetación ribereña mediante la delimitación de una zona de exclusión a definir en estudios específicos y la limitación del acceso directo de los animales a los cursos de agua, disminuiría, seguramente, el riesgo de esta contaminación difusa.

Estas recomendaciones, con énfasis en las explotaciones lecheras, son también válidas para todas las demás actividades agropecuarias. En particular las de la agricultura intensiva hortícola y frutícola, así como la de cultivos cerealeros anuales. Pero en el caso de lo que describimos como fuentes puntuales dentro de las explotaciones lecheras, las recomendaciones ya se hicieron antes.

El informe Dinama-Jica (2011) reporta algunas actividades en que se consideró el uso de otros agroquímicos diferentes a los fertilizantes. Pero la información manejada indica que el nivel de conocimiento está a una escala muy macro, casi al de conocer la magnitud de la importación de diferentes productos (se tiene conocimiento de que los Servicios Agronómicos del MGAP están comenzando a disponer de información mucho más detallada). Se debe avanzar rápidamente hacia un conocimiento más profundo a nivel de cada sistema de producción agropecuaria y al de cada uno de sus componentes (cultivos, en general). Un primer objetivo debe ser conocer las carga cuantitativa de herbicidas, insecticidas y fungicidas que se aplica en cada una de las porciones del territorio de cada subcuenca, al nivel más detallado posible. Esto brindaría un mapa que, como lo hizo a gran escala el informe Dinama-Jica, ubicaría las actividades productivas y las áreas donde focalizar la atención. Otro nivel necesario es profundizar en la modelación de la dinámica de estos productos y sus subproductos en suelos y aguas, así como en el conocimiento sobre los riesgos ambientales que generen, de manera de contar con que permitan predecir el efecto de cambios en los sistemas de producción y por lo tanto, de utilización de dichos productos. En este campo, el objetivo debe ser guiar la toma de decisiones hacia las opciones que concilien producción con conservación de la calidad ambiental.

Es imprescindible ahondar en el conocimiento del uso de la tierra y su dinámica temporal en todas las subcuencas, que como la información indica, es variable. Esto es necesario para relativizar la importancia de las causas de contaminación y para guiar los trabajos de monitoreo y contralor. Un primer paso es profundizar, con la metodología utilizada por la cooperación de Dinama y Jica u otra que se considere mejor, la identificación cualitativa y cuantitativa de las fuentes de contaminación en las distintas subcuencas del Santa Lucía.

En segundo lugar, y dada la importante cantidad de información de diagnóstico existente, se deberían implementar proyectos de investigación que evalúen las respuestas de recuperación de los ecosistemas fluviales de la cuenca frente a paquetes de medidas de mitigación seleccionados. Esto se puede realizar en pequeñas cuencas piloto y generar información relevante para la implementación de medidas en toda la cuenca u otras zonas del país.

Por lo tanto, deberán encararse trabajos multidisciplinarios de monitoreo e investigación en forma inmediata y a largo plazo, que permitan comprobar o rechazar las diferentes hipótesis planteadas sobre la importancia relativa de las causas, así como también evaluar la eficacia de las medidas de manejo recomendadas, o fundar el desarrollo de otras que pudieran ser mejores.

### III.3) Otras recomendaciones

La problemática de la calidad del agua en la cuenca del río Santa Lucía es un problema multidimensional, cuyo abordaje pleno, partiendo del conocimiento existente en la cuenca, requiere la realización de un diagnóstico integral y la coordinación de múltiples conocimientos y propuestas, que pueden desarrollarse con la participación de los distintos servicios de UDELAR e instituciones nacionales involucradas. Algunos de los aspectos que podrían ser parte de este abordaje, y que son realizables en plazos razonables (12 a 18 meses) son los siguientes.

#### III.3.1. Gestión del recurso agua (cantidad y calidad)

La correcta gestión del recurso agua para abastecimiento público requiere contar con herramientas que permitan simular diferentes escenarios y prever la disponibilidad de agua en cantidad y calidad. Teniendo en cuenta la disponibilidad de una red y campañas de monitoreo reseñadas más arriba, así como la disponibilidad de datos de nivel y caudal de la red de monitoreo de DINAGUA, se propone modelar la cuenca del río Santa Lucía utilizando el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Éste es un modelo de dominio público desarrollado por USDA (Agricultural Research Service) y Texas A&M AgriLife Research, de la Universidad de Texas A&M. SWAT es un modelo que ha sido aplicado en grandes cuencas, que permite simular la calidad y cantidad de aguas superficiales y aguas subterráneas, y predecir el impacto del uso y prácticas de manejo del suelo, así como variabilidad y cambio climático. El modelo permite evaluar y prevenir la erosión de suelos y controlar las fuentes de contaminación puntuales y difusas, dotando de las necesarias herramientas para la gestión integral de la cuenca. El uso de SWAT en Uruguay tiene la

ventaja del desarrollo ya existente para el uso del modelo de estimación de erosión USLE/RUSLE (Durán y García Préchac, 2007; García Préchac et al., 2012), ya que este modelo, modificado en su componente de erosividad, es su generador de erosión.

Se propone revisar el actual plan de monitoreo de efluentes y calidad de aguas en coordinación con las distintas instituciones involucradas. En lo que respecta a los análisis predictivos que pueden lograrse a partir de la aplicación del modelo SWAT, es necesaria la calibración y verificación de este modelo. En consecuencia es posible la interpretación de los datos de calidad resultantes y sus desviaciones. Esto puede servir de insumo a un modelo de análisis de riesgos enfocado concretamente en las decisiones a tomar en los puntos de extracción y, muy especialmente, en la planta potabilizadora. Los estudios planteados en este punto servirán de base para la gestión integral del sistema, considerando la protección de la cuenca (limitando y reduciendo los aportes de elementos que atenten contra la calidad requerida en el agua bruta), la operación de la planta potabilizadora y los controles de calidad del agua suministrada.

### III.3.2. Fuentes de agua y proceso de potabilización

El abastecimiento público de agua a la ciudad de Montevideo y región metropolitana se basa actualmente en los recursos hídricos de la cuenca del río Santa Lucía. Para disminuir la vulnerabilidad del sistema se requiere contar con múltiples embalses, aprovechando recursos de otras cuencas. OSE dispone de estudios de esta naturaleza, que con datos de los emplazamientos y diseños preliminares de estos embalses, permitirían encarar un modelo de gestión múltiple, en cantidad y calidad, para garantizar el abastecimiento público. Como antecedente, puede mencionarse que en un proyecto de final de carrera de la Facultad de Ingeniería se analizó con éxito la gestión de hasta tres embalses ubicados aguas arriba de la represa Paso Severino, como alternativa a la sobreelevación de la misma (García, I. et al., 2010). Para ello se implementó en la cuenca un modelo de gestión de recursos hídricos (MODSIM, Universidad del Estado de Colorado) que permitió establecer la mejor configuración de embalses aguas arriba de Paso Severino, como alternativa a su sobre-elevación.

La gestión integral de la cuenca del Santa Lucía orientada a preservar su uso de mayor jerarquía, que es la potabilización con destino a consumo humano en la planta de Aguas Corrientes, involucra no sólo aspectos predictivos sino el control permanente de la calidad del agua bruta en el día a día para tomar decisiones en materia de potabilización. En lo que respecta al proceso de potabilización, la calidad del agua bruta así como los productos químicos aplicados (tipo y dosis) son determinantes de la calidad del agua tratada. En consecuencia estudios detallados en materia de aportes de las fuentes más significativas sumados a análisis de series históricas de calidad de agua bruta, consumo de productos químicos y calidad del agua elevada desde la planta pueden relacionarse. A través de ensayos de laboratorio se pueden ajustar con mayor precisión las decisiones en la planta a propósito de dosis de aplicación de estos. En particular es posible la determinación de dosis óptimas de

coagulantes o coadyuvantes en la coagulación y por otra parte es posible un análisis similar a los efectos de la aplicación de carbón activado para remover olor y sabor ante episodios de eutroficación, entre otras decisiones.

### III.3.3. Implementación de alertas tempranas de fenómenos nocivos para la calidad de agua

Instrumentar medidas de alertas tempranas en la fuente de agua a potabilizar sobre la presencia de cianobacterias potencialmente tóxicas, como recomienda la Organización Mundial de la Salud (Chorus & Bartram 1999) y siguen muchos países.

En el proceso de potabilización del agua es necesario establecer un plan contingencia para responder a la ocurrencia de eventos adversos con un sistema de activación eficiente y apropiado en cada caso como la presencia de cianobacterias ("algas verde-azules"). Las floraciones de cianobacterias son muy frecuentes en diversos cuerpos de agua de nuestro país, muchos de los que son utilizados para potabilización (ver recopilación en Bonilla 2009). Los sistemas de alertas tempranas buscan predecir el fenómeno de una floración y posibilitar un plan de contingencia (Chorus & Bartram 1999, Chorus, 2012), y se basan en el conocimiento del funcionamiento del cuerpo de agua a gestionar y la información disponible de la biología de los organismos nocivos. Los sistemas de alerta se basan en utilizar algunos bioindicadores (células, biomasa) e indicadores ambientales (temperatura, pH, turbidez, etc) para la aplicación de árboles de decisión elaborados con diferentes situaciones ambientales. Los indicadores ambientales y biológicos que deben ser simples, rápidos y fácilmente medibles. Nuestro país no tiene implementado un sistema de este tipo en el tratamiento de agua potable, lo que nos ubica en una situación de riesgo e incapacidad de responder rápidamente frente a un evento de floración tóxica de cianobacterias.

### III.3.4 Monitoreo de caudales utilizando instrumentos hidroacústicos

La gestión del recurso agua y el estudio de nuevas fuentes y la aplicación de un modelo de gestión múltiple de embalses exige contar con medidas precisas de caudales. A nivel nacional la experiencia en sistemas de monitoreo hidrométrico remoto es incipiente. En general, las mediciones están integrados por reglas limnimétricas que se registran de manera visual, mientras que la medición de caudales es muy esporádica. A nivel internacional existen sistemas de monitoreo con medición de velocidades, en base a instrumentos hidroacústicos que utilizan ultrasonido. Estos instrumentos acústicos pueden ser utilizados tanto para aforo como para medición continua. El método del índice de velocidad genera regresiones (curvas de aforo) que relacionan el caudal en una sección con la velocidad media en una línea transversal. A diferencia de las relaciones nivel-caudal, el índice de velocidad es muy poco afectado por los efectos de remanso en los canales. La aplicación de éste método para el registro continuo de caudales se ha incrementado en los últimos 15 años, debido a la continua reducción del costo de los instrumentos acústicos. Se entiende necesario avanzar en la evaluación de la incorporación de esta tecnología a la rutina de monitoreo de los cursos de agua en el Uruguay.

En paralelo, o alternativamente, se puede asesorar a OSE para diseñar una red telemétrica de monitoreo (precipitación y niveles), con transmisión en tiempo real. Asimismo, aportar a la mejora de las curvas de aforo disponibles en Paso Pache, Santa Lucía y Florida.

### III.3.5 Efecto del ultrasonido sobre las cianobacterias.

La proliferación de cianobacterias (floración) en ecosistemas acuáticos es consecuencia, entre otras causas, del aporte antrópico de nutrientes y provoca un adicional deterioro de la calidad de agua debido a su potencial toxicidad, limitando los usos del recurso como la potabilización, recreación y conservación de la biodiversidad. Esta problemática socioambiental cuenta con una intensa investigación a nivel mundial focalizada en el desarrollo de métodos para su mitigación. Sin embargo, no existe un consenso sobre el mejor método, debido a que las cianobacterias sobreviven a condiciones limitantes, y a que existen efectos secundarios por uso de químicos contaminantes, soluciones económicamente costosas y de corta duración. Recientemente se ha aplicado el ultrasonido para controlar el crecimiento de cianobacterias, sin embargo su comprensión es parcial, ya que se focaliza en una especie, y los mecanismos de acción, su eficacia y efectos ecosistémicos no han sido debidamente evaluados. Investigadores del IMFIA junto a investigadores del Instituto de Física de la Facultad de Ingeniería y del Departamento de Ecología-Sección Limnología de la Facultad de Ciencias ha comenzado a explorar el efecto del ultrasonido sobre las especies nativas de cianobacterias productoras de floraciones tóxicas y comunidades planctónicas naturales de lagos. Una exhaustiva evaluación de esta tecnología incipiente en la biota nativa generará el conocimiento necesario para el diseño de prototipos y evaluación de productos existentes en el mercado internacional para su aplicación en cuerpos de aguas naturales y plantas de tratamiento de nuestro país.

### III.3.6. Aguas subterráneas

Para integrar las componentes de agua superficial y subterránea que interactúan en la cuenca del río, se propone la realización de la carta de vulnerabilidad y riesgo de contaminación, a través de alguna de las metodologías usuales (DRASTIC, GOD o BGR, a elección). La documentación resultante del trabajo a realizar permitirá obtener para toda la cuenca un mapa a escala 1:250000, y hasta 1:100000, de la clasificación en zonas de alta, media y baja vulnerabilidad de los acuíferos, asociado al riesgo de contaminación por pesticidas y fertilizantes, en secano y riego. La determinación de las zonas de recarga, de la potencia de la zona vadosa, de la interacción del agua con el suelo, la profundidad de los acuíferos y la permeabilidad en la zona saturada aportará a ordenar el uso del territorio, fijando las áreas de exclusión para actividades contaminantes a efectos de preservar la fuente de agua subterránea, mediante perímetros de protección a los campos de bombeo que se estén utilizando para abastecimiento de agua a poblaciones e industrias.

Conviene destacar que las actividades planteadas en el punto III.3.1 constituyen un insumo esencial para la elaboración de la carta de vulnerabilidad y riesgo de contaminación planteada.

### III.3.7 Gestión de lodos de potabilización y de plantas de tratamiento de efluentes.

La gestión de los lodos de procesos de potabilización es un tema que requiere atención a nivel nacional en el marco del cumplimiento de la normativa ambiental vigente (decreto 253/79 y sus modificativos, PTR). En consecuencia es posible abordar las distintas etapas de gestión de lodos - tanto a nivel piloto como a nivel de planta- apuntando a la caracterización, valorización (con o sin recuperación de aluminio) del residuo o la aplicación de procesos tendientes a un producto apto para su disposición final ambientalmente segura acorde al estado del arte a nivel internacional. Por otra parte en lo que respecta a las plantas de tratamiento de efluentes situadas sobre la cuenca, se plantea un aporte similar al de lodos de potabilización, en lo que respecta a la caracterización de lodos y sus oportunidades de valorización previas a su disposición en vertedero municipal.

### III.3.8 Area de protección cercana a las tomas de agua para potabilizar.

Existen otro tipo de medidas complementarias que se deberían evaluar y que atienden a la preservación directa de las fuentes de agua a utilizar para la potabilización. Estas medidas refieren a zonas de exclusión de uso del suelo cercano o bordeando lagos o embalses de donde se tome el agua. En particular, en Aguas Corrientes existe una zona que ya ha sido expropiada por OSE en torno a Aguas Corrientes. En muchos países del mundo es común la creación de parques nacionales donde se encuentran las fuentes de agua para potabilizar como forma de preservar su calidad de agua y evitar el uso de técnicas muy costosas para la potabilización.

### III.3.9 Estudio de las condiciones de los tanques de almacenamiento de agua potable.

El agua potabilizada pasa por tanques de almacenamiento que permiten regular el suministro. Los fenómenos de formación, desprendimiento y sedimentación de los biofilms (formados por microorganismos aerobios y anaerobios) en las paredes de estos tanques pueden ser influidos por la presencia de nutrientes en el agua que llega a los mismos. Si bien este parece ser un fenómeno de segundo orden frente a los otros elementos ya discutidos, la inspección y estudio de las condiciones existentes en los tanques y el comportamiento de los biofilms allí presentes puede dar también datos adicionales sobre los fenómenos que impactan en las propiedades organolépticas del agua potabilizada.

## IV) Referencias de los capítulos II y III

Arocena R, Chalar G, Fabián D, De León L & González-Piana, M. (2010). Informe final del convenio DINAMA-Fac de Ciencias (Sección Limnología).

Estudio del estado trófico de los embalses Canelón Grande y Paso Severino durante el período comprendido entre diciembre 2006 -febrero 2010.

Arocena R, Chalar G, Perdomo C, Fabián D, Pacheco JP, González M, Olivero V, Silva M & García P. (2011). Impacto de la producción lechera en la calidad del agua. Seminario Sustentabilidad Ambiental de los Sistemas Lecheros en un Contexto Económico de Cambios. Serie Actividades de Difusión N°663 INIA-LATU Montevideo: 18-20.

Arocena R, G Chalar, C Perdomo, D Fabián, JP Pacheco, M González, V Olivero, M Silva, P García, V Etchebarne (2012). Impacto de la producción lechera en la calidad de los cuerpos de agua. VII Congreso de Medio Ambiente Asociación de Universidades del Grupo Montevideo. Ponencia oral. Junio 2012 La Plata.

Auriot, L., C. Piccini y E. Machín (2013). Calidad del agua del arroyo Canelón Chico (2011-12) e identificación de problemas ambientales. Pág.Web de la Sec. Limnología de la Fac. De Ciencias-Udelar, Información sobre el Río Santa Lucía.

Bonilla S. (editora) (2009). Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de monitoreo. Documento técnico del PHI N° 16, UNESCO, Montevideo.

Cayssials, R., J. Liesegang y J. Piñeyrúa (1978). Panorama de la erosión y conservación de suelos en Uruguay. Dir. de Suelos y Fertilizantes-MAP, Boletín Técnico No. 4.

Chalar G, Arocena R, Pacheco JP & Fabián D. (2010). Trophic assessment of streams in Uruguay: A Trophic State Index for Benthic Invertebrates (TSI-BI). *Ecological Indicators* 11: 362 -369

Chalar G, L Delbene, I González-Bergonzoni & R Arocena. (2013). Fish assemblage changes along a trophic gradient induced by agricultural activities (Santa Lucía, Uruguay) *Ecological Indicators* 24: 582-588.

Chorus I. & Bartram J. (1999). Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. Chapman & Hall, London.

Chorus I. (2012). Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Dessau-Roßlau.

Dinama-Jica (2011). Proyecto sobre control de la contaminación y gestión de la calidad del agua en la cuenca del Río Santa Lucía. Informe final (Principal y Anexos), disponible en [pág. web de Dinama-MTOTMA](#).

Dinama (2011). Monitoreo y evaluación de calidad de agua Río Santa Lucía, resultados del rediseño del programa (período 2011), 37 p., disponible en [pág. web de Dinama-MTOTMA](#).

Durán, A. y F. García Préchac (2007). Suelos del Uruguay, Origen, Clasificación, Manejo y Conservación. Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, Buenos Aires, Tomo I: 334p, Tomo II: 358p.

García, I., Pauletti, S., Pigola, P. (2010) Regulación de aportes en la cuenca

Paso Severino. Proyecto de final de carrera Ingeniería Civil, Hidráulica y Ambiental.

García Préchac, F., C. Clérici, M. Hill, E. Hill (2012), EROSION versión 6, Programa de computación para el uso de la USLE/RUSLE en la Región Sur de la Cuenca del Plata. Versión actualizada de la versión 3.0, incluyendo subrutina para estimar C con RUSLE, operativa en Windows. Trabajo financiado por DINAMA-UNDP, Proyecto URU/03/G31, disponible en [www\fagro.edu.uy](http://www.fagro.edu.uy): Dpto. de Suelo y Aguas, Manejo y Conservación.

Saavedra, C. (2011). Un siglo de agricultura. Rev. del Plan Agropecuario No. 137.