



Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Especialización en ciencias Químicas con mención en Diagnóstico Ambiental

Trabajo final para acceder al título de Especialista en Cs. Qcas con mención en Diagnóstico Ambiental

BASES DIAGNÓSTICAS AMBIENTALES APLICADAS A UNA LAGUNA URBANA

Caso de Estudio: Laguna Salina en la localidad de Rada Tilly, Chubut



AUTOR: Bioq. María Cristina Reser

DIRECTOR: Mg. Adriana del Lujan Mangani

Comodoro Rivadavia

2020



AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a mi directora Mg. Adriana Mangani por su ayuda, esfuerzo, confianza y gran predisposición en todo momento.

A mi familia por su incondicionalidad y apoyo a lo largo de esta etapa.

A todos los docentes que forman parte de la Especialidad en Cs. Químicas con Mención en Diagnóstico Ambiental quienes con generosidad y dedicación me han ayudado a crecer profesionalmente.

A mis compañeras de la Especialidad por los momentos compartidos, la amistad y el compañerismo.

A los miembros del Jurado por los valiosos aportes realizados al presente documento

A todas las personas que de alguna u otra manera han brindado su apoyo haciendo posible el desarrollo de este Trabajo Final.

A todos ustedes, muchísimas gracias!!!



CONTENIDO

RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Generalidades.....	7
1.2. La Laguna de Rada Tilly, referenciación, antecedentes y estado actual.	8
2. PROCESOS Y TRATAMIENTOS	10
2.1. Procesos Naturales.....	10
2.1.1. Procesos biológicos en el agua	11
2.1.2. Procesos químicos más relevantes.....	16
2.2. Procesos de Tratamiento de los Aportes derivados de la actividad humana	17
2.3. Procesos que corresponden a un cuerpo de agua de aportes mixtos	18
2.3.1. Índices Hidrogeoquímicos	19
2.3.2. Salinidad	20
3. PRINCIPALES CONTAMINANTES	21
4. EFECTOS.....	25
4.1. Efectos sobre la Salud Humana	25
4.2. Efectos sobre el Ambiente, Biota y Ecosistemas.....	26
4.3. Efectos Globales	29
5. LEGISLACIÓN.....	30
5.1. Legislación Nacional, Provincial y Municipal.	30
5.2. Límites admisibles	33
5.2.1. Decreto 1540/16 Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Tabla 1. Límites permisibles en efluente descargado a cuerpo receptor hídrico	33
5.2.2. Decreto 1540/16 Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Tabla 3. Niveles guía de calidad de agua salada superficial para la protección de la vida acuática.....	34
5.2.3. Decreto 1540/16 Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Tabla 5. Niveles guía de calidad de agua dulce, salada, salobre para uso recreativo en contacto primario y secundario	34
5.2.4. Niveles de Calidad para sedimentos.....	35
5.3. Comparación de Niveles Guía de Calidad.....	36
6. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS	38
6.1. Consideraciones Previas.....	38
6.1.1. Plan de Muestreo	38
6.1.2. Elección del sitio de muestreo.....	38
6.1.3. Muestreo para ensayos fisicoquímicos y biológicos del agua:.....	39
6.1.4. Muestreo del Sedimento:.....	41



6.2.	Descripción general de las técnicas analíticas:.....	41
6.2.1.	Parámetros in situ	42
6.2.2.	Características Químicas.....	42
6.2.3.	Compuestos asociados a la actividad antrópica.....	44
6.2.4.	Caracterización Biológica.....	45
6.3.	Ensayos toxicológicos	46
6.3.1.	Ensayo de toxicidad aguda del agua en <i>Artemia Salina</i>	47
6.3.2.	Ensayo de toxicidad aguda del sedimento con semillas de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L)	47
6.3.3.	Ensayo de toxicidad aguda con <i>Allium cepa</i> L mediante la evaluación de la inhibición del crecimiento promedio de raíces de cebolla	48
6.3.4.	Evaluación genotóxica de sedimentos con <i>Allium cepa</i>	49
7.	FORMAS DE TRATAMIENTO	50
7.1.	Medidas de protección.....	51
7.1.1.	Reducción de los niveles hidrométricos de la laguna.....	51
7.1.2.	Desvío de los aportes puntuales antrópicos a la laguna	52
7.2.	Medidas de restauración.....	53
7.2.1.	Aireación /Oxigenación	53
7.2.2.	Biomanipulación	55
7.2.3.	Dragado de sedimentos.....	56
7.3.	Confección de planes directores de gestión	57
7.3.1.	Programas de Control Ambiental	58
8.	TECNICAS APLICADAS AL ANÁLISIS FORENSE	60
8.1.	Historia del sitio.....	60
8.2.	Técnicas analíticas forenses	61
8.2.1.	Trazadores	61
8.3.	Isotopía en el estudio de las aguas superficiales.....	64
8.3.1.	Isotopía del H y del O.....	64
8.3.2.	Isotopía del nitrógeno	65
9.	SINTESIS DIAGNÓSTICA	67
10.	CONSIDERACIONES FINALES.....	67
	GLOSARIO	69
	BIBLIOGRAFÍA	71



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación área de estudio	8
Figura 2. Perfil Fondo Salino de la laguna (Kersfeld, 1991).....	8
Figura 3. Ciclo de la Materia Orgánica (Autoría propia).....	16
Figura 4. Diagrama de Flujo Planta de Tratamiento.	18
Figura 5- Disposición de las zonas de muestreo	39
Figura 6. Comparación del área de la laguna por superposición de Imágenes Satelitales	51
Figura 7. Vertidos del contenido de la laguna salinizada al mar (Mayo 2020)	51
Figura 8. Proyección conducto de Impulsión (San Martín, 2017)	52
Figura 9. Sistema de Aireación Superficial mediante Turbina Eólica	55
Figura 10. Proyecto Golf Club Rada Tilly. https://radatillygolfclub.blogspot.com	59
Figura 11. Comparación de la evolución del volumen de la laguna.....	60
Figura 12. $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras analizadas junto con la recta meteórica global (Pérez et al, 2014)	65
Figura 13. Variaciones en la $\delta^{15}\text{N}$ de los compuestos de nitrógeno en diferentes materiales naturales y compuestos antrópicos (Mook, 2002)	66

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos e Índices Hidrogeoquímicos.....	19
Tabla 2. Características químicas a distintos niveles de Sólidos Totales Disueltos.....	20
Tabla 3. Contaminantes que afectan los diferentes compartimentos.....	24
Tabla 4. Niveles Guía de Calidad de Sedimentos para la Protección de la vida acuática	36
Tabla 5. Cuadro comparativo Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática	37
Tabla 6 Niveles guía de calidad de agua para uso recreativo en contacto primario y secundario	38
Tabla 7. Descripción general de técnicas analíticas	42
Tabla 8. Marcadores de Esteroles (como éteres de Trimetil silano) de aguas residuales	62
Tabla 9. Composición isotópica de las aguas de distintas fuentes	65



RESUMEN

Las lagunas urbanas ocupan un lugar de importancia debido a la cercanía con los centros poblacionales, permiten el establecimiento de aves tanto acuáticas como terrestres, lo cual incrementa su valor paisajístico pudiendo ser utilizadas para la realización de actividades educacionales y recreativas.

Los problemas a los que se enfrentan se asocian a la urbanización, depósito de escombros y residuos, flujo de aguas residuales y eutrofización ya que con frecuencia actúan como receptoras de vertidos puntuales o difusos.

El presente trabajo está destinado a la confección de un marco referencial que aporte bases diagnósticas para evaluar el estado de la laguna ubicada en el ejido de Rada Tilly.

Para entender la situación actual en el Capítulo I se realizó una investigación bibliográfica de los estudios realizados vinculados con el estado trófico, monitoreos previos y características hidroquímicas del sitio en estudio.

El Capítulo II estuvo orientado a la descripción de los procesos naturales que se llevan a cabo en la laguna y el tratamiento que recibe su principal ingreso antrópico, dado que sus características influirán sobre los distintos analitos presentes y la convertirán en un cuerpo de agua de aportes mixtos.

El Capítulo III y IV aborda los distintos constituyentes químicos y biológicos que podrían cuantificarse en el agua, su impacto y los efectos que los mismos provocan sobre la salud humana, el ambiente, biota, ecosistemas y sistemas globales.

En el Capítulo V se revisa la normativa nacional, provincial y municipal aplicable, poniendo énfasis en los niveles de calidad establecidos para su vertido al mar en caso de contingencias, protección de la vida acuática y uso recreativo.

Teniendo en cuenta el compilado legislativo, en el Capítulo VI se determinan las metodologías analíticas que permitirían efectuar el monitoreo o control de las condiciones del cuerpo de agua superficial y sus sedimentos; y los ensayos toxicológicos recomendados para la evaluación del agua y los sedimentos

A continuación, en el apartado VII se presentan las formas de tratamiento que podrían ponerse en valor para restaurar o mejorar la calidad de la laguna en estudio enfocadas en experiencias realizadas en otros lugares, principalmente en su uso como un espacio recreativo revalorizando su importancia actual.

Por último, en el Capítulo VIII se describen diferentes metodologías forenses destinadas al abordaje del historial del sitio mediante imágenes satelitales, técnicas analíticas basadas en trazadores químicos y biológicos que permitan identificar posibles fuentes de contaminación antrópica y técnicas isotópicas útiles en hidrología para el estudio de sitios contaminados, la identificación del origen de una contaminación, determinación de rutas metabólicas y procesos de transformación o como indicadores del origen y la edad de un cuerpo de agua.



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El sitio en estudio del presente trabajo corresponde a un cuerpo de agua salino; que por su proximidad con la urbanización podría asumirse como una laguna urbana.

Definimos una laguna como un cuerpo de agua permanente o transitorio de escasa profundidad, alojado en una cubeta de contorno bien definido, sin ciclo térmico ni estratificación persistente y circulación continua, con sedimentos propios distintos a los del terreno circundante, sin diferenciación entre la región litoral y profunda.

En clima húmedo, la acumulación excesiva de sedimentos conduce al pantano y en los más secos por salinización a la salina. Los ambientes de salinidad creciente (salina, salitral y salar) se incluyen en la categoría "laguna" (Dangavs, 2005).

La profundidad es lo que mejor la diferencia de un lago. Si bien no hay un límite establecido, se asumen 10 m, dado que en latitudes templadas la termoclina (capa dentro de un cuerpo de agua donde la temperatura cambia rápidamente) se forma a esa profundidad (Gerald *et al*, 2011)

Naturalmente, en las lagunas salinas la condición alcalina, la dinámica de la concentración y la disponibilidad de nutrientes para la producción primaria se encuentra limitada y por ende es de esperar una concentración de clorofila reducida, en relación a las concentraciones de nitrógeno y fósforo (Alfonso, 2018).

En el caso de las lagunas urbanas, si bien han sido mayormente creadas artificialmente, algunas pueden tener un origen natural, al ser excavadas o erigidas en micrositios del paisaje que ya presentaban humedales, lagunas permanentes o temporarias, etc.

Las lagunas urbanas ocupan un lugar de importancia en las ciudades al constituirse como lugares de descanso y esparcimiento significativos para sus habitantes ya que se encuentran cercanos a los centros poblados y son de fácil acceso. Permiten el establecimiento de aves, tanto acuáticas como terrestres, migratorias o residentes, incrementando su valor paisajístico; contribuyen a incrementar la calidad de vida y a mitigar las adversidades del clima urbano y de las precipitaciones y, a su vez, son utilizados para la realización de actividades educacionales y recreativas (Taborda *et al*, 2017).

Los problemas que enfrentan estas lagunas se asocian principalmente con la urbanización, el vertido de escombros y basura, los efluentes industriales, el flujo continuo de aguas residuales no tratadas, la eutrofización, el cambio de uso de la tierra, alteración del canal de entrada y salida, cambio climático y floraciones de cianobacterias tóxicas. Con frecuencia actúan como receptoras de vertidos de diferente naturaleza que se descargan de fuentes puntuales o difusas.

Los aportes puntuales se producen en puntos identificables y son relativamente estables en cuanto a caudal y calidad como las aguas residuales provenientes de plantas depuradoras, mientras que los aportes difusos se originan en áreas amplias y su calidad y magnitud dependen estrechamente de las características del suelo tales como escorrentías y de factores meteorológicos como la precipitación. En ambos casos favorecen los procesos de eutrofización, generan olores desagradables, registran crecimientos incontrolados de fitoplancton y plantas acuáticas que afectan la calidad del agua y producen sedimentos comúnmente anóxicos en gran parte de su extensión.

En función de los conceptos vertidos, se define como objetivo del presente trabajo la confección de un marco referencial que aporte bases diagnósticas para evaluar el estado de la laguna urbana ubicada en el ejido de Rada Tilly teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos y biológicos; y las relaciones entre ellos.

La valoración y preservación de la laguna y su entorno requiere conocer el impacto que se ejerce sobre ella para dejar de verla como un área marginal, dado que su localización facilita el acceso de un público numeroso que, en muchas ocasiones, tiene en este área su primer contacto con los ambientes

naturales, confiriéndole así alto potencial educativo donde se desarrollan hábitats de interés ecológico. También es importante diagnosticar su situación dado que los vertidos de líquidos cloacales humanos tienen incidencia significativa sobre la salud de las personas y la calidad ambiental.

1.2. La Laguna de Rada Tilly, referenciación, antecedentes y estado actual.

La ciudad de Rada Tilly se fundó en 1948 con unas pocas familias, en 1970 el censo nacional arrojó un total de 460 pobladores, y en la actualidad se aproxima a los 18000 habitantes. Desde su fundación el crecimiento ha sido constante, la urbanización fue ocupando los espacios disponibles y eso trajo aparejado el uso de los terrenos linderos a la laguna, como se muestra en la Figura 1.

La zona se caracteriza por un clima semiárido y templado-frío, con una temperatura media de 20°C en verano y 6°C en invierno. El viento es intenso y seco proveniente del oeste, brindando condiciones que favorecen la elevada evapotranspiración. La precipitación es del orden de los 200 mm anuales. El sitio de estudio comprende la laguna natural ubicada en la parte oeste del ejido de la ciudad de Rada Tilly ubicada entre los paralelos 45°55'37,57" Latitud Sur y 34°50,20" Longitud Oeste. Se encuentra a una altura de 4 msnm y en su origen ocupaba una superficie de aproximadamente 10 ha.

La misma es un cuerpo de agua léntico (interior, quieto y estancado), endorreico (sin comunicación con el océano), que carece de estratificación térmica y posee mezcla vertical durante todo el año (polimíctico), con características que permiten clasificarla como una laguna natural salina. Por su ubicación en la base del cañadón, recibe gran impacto del viento en dirección oeste-este.



Figura 1. Mapa de ubicación área de estudio

La laguna se formó como parte de la depresión del terreno, como un bajo salino. Tomando en cuenta la cercanía del mar es válido suponer que se trata de una antigua laguna costera de origen marino, tipo albúfera (Kersfeld, 1991) con un régimen de alimentación natural dado por precipitaciones, puntos de descarga de agua subterránea y escorrentías. Los períodos de sequías e inundaciones condicionaron su volumen y salinidad.

Al aflorar el agua subterránea salinizada se produce una intensa evaporación por efecto del viento y el clima, las sales precipitan formando una costra salina. La Figura 2 muestra el perfil del fondo salino de la laguna en sus orígenes.

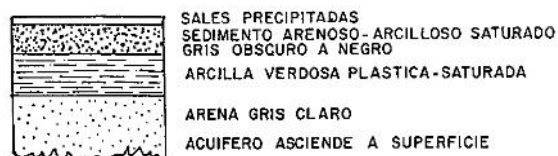


Figura 2. Perfil Fondo Salino de la laguna (Kersfeld, 1991)



En un contexto general el área está vinculada a la zona de descarga de un acuífero multiunitario de características regionales, con recarga en Pampa del Castillo y sentido de escurrimiento de oeste hacia este-sureste, en dirección a la costa atlántica (Castrillo *et al*, 1984). Esta circulación subterránea regional se produce a través de los niveles arenolimosos pertenecientes a la Formación Chenque, de muy baja permeabilidad y transmisividad, definiendo al sistema como acuitardo y las aguas circulantes que presentan un alto tenor salino son cloruradas a cloruradas-sulfatadas sódicas.

A este flujo regional se le adiciona uno de menor relevancia, provenientes de las zonas sobreelevadas, que en el ámbito urbano y suburbano actúan como áreas de recarga local (Castrillo *et al.*, 1984; Grizinik *et al.*, 2000).

Durante las lluvias esporádicas, a las aguas de circulación superficial provenientes de los cañadones del oeste, se le suman las de escurrimiento local que fluyen de las zonas altas. Este flujo descarga sobre sectores planos o de salida de cañadones colmatando el área lagunar.

De acuerdo con el esquema hidrogeológico propuesto para la zona se puede señalar que la variación en el contenido químico e isotópico de las aguas, probablemente se debe a varios factores, como mezclas entre las aguas típicas del acuífero multiunitario regional (flujo regional y local), aporte de aguas locales desde los cañadones del oeste, recarga selectiva de las precipitaciones (lluvia y nieve), aguas de origen antrópico y la acción de otros procesos como la evaporación.

La laguna se forma como una zona de descarga del acuífero. El agua subterránea aflorante es portadora de sales que precipitan permanentemente. La composición natural de sus aguas es clorurada a cloro-sulfatada sódica. Posee un pH neutro a levemente básico. Químicamente los cationes mayoritarios que pueden encontrarse son: Sodio (Na^+), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Potasio (K^+). El catión con neta predominancia es el Na^+ . El K^+ se encuentra en una proporción diez veces menor a éste.

Dentro de los aniones mayoritarios pueden encontrarse: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Bicarbonato (HCO_3^-), Carbonato (CO_3^{2-}) y Nitrato (NO_3^-). El Cl^- se comporta como un constituyente conservativo. Los valores altos de SO_4^{2-} y la relación sulfato-cloruro ($r \text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$), permiten considerar aguas con probable contaminación y conjuntamente con la presencia de halita y thenardita, sugieren un origen evaporítico lagunar. Esta hipótesis se confirma debido a la adyacencia a la planta depuradora de efluentes cloacales (Pérez *et al*, 2014).

La salinidad del agua se debe al alto tenor de sales disueltas. El contenido de electrolitos disueltos puede ser analizado en el laboratorio o interpolado a partir de la capacidad del agua de transmitir corriente eléctrica y, en este caso, hablamos de la salinidad en términos de conductividad eléctrica (normalmente en mS/cm o $\mu\text{S/cm}$) normalizada a una temperatura determinada (25°C).

Disponer de factores de conversión que relacionen la conductividad con alguna medida directa de la concentración iónica como la salinidad (suma de, al menos, los ocho iones mayoritarios) o el total de sólidos disueltos (residuo seco filtrable a 105°C) es una herramienta de trabajo muy útil para el desarrollo de estudios relacionados con cuerpos de agua salinos.

Según la clasificación de las aguas en virtud del residuo seco (Custodio y Llamas, 1983) las aguas se clasifican como:

- Agua dulce : 0-2000 mg/L a veces 3000 mg/L
- Agua salobre : hasta 5000 mg/L a veces 10000 mg/L
- Agua salada : hasta 40000 mg/L a veces 100000 mg/L
- Salmuera : > 100 g/L o hasta saturación

Existe asimismo una relación general entre el Total de Sólidos Disueltos (TDS) y la Conductividad Eléctrica (CE), de forma que, para valores de $\text{CE} < 5000 \mu\text{S/cm}$, $\text{TSD} = \text{CE} * 0,64$; mientras que para valores de CE superiores, el valor de $\text{TSD} = \text{CE} * 0,8$.

En el año 2014, los datos de CE medidos en la laguna arrojaron valores cercanos a 60 mS/cm en dos muestras cercanas a la Planta depuradora (Pérez *et al*, 2014). En virtud de este resultado podemos asumir que la laguna corresponde a un cuerpo de agua salada, posee una mineralización excesiva y no es apta para riego.



Esta condición salina favorece la presencia de partículas en suspensión. Cuando la laguna redujo el nivel debido al desalojo de su volumen (año 2017), se pudo observar la eflorescencia salina. Por debajo de los bordes costrosos se evidencian fangos gelatinosos de color gris con olores ofensivos.

La salinidad ha condicionado las variables biológicas de la laguna. El Estudio sobre la Calidad de Agua de la Laguna Aledaña a la Planta de Tratamiento de Rada Tilly realizado por Pesci, M. en 2012, dirigido por la Mg. Laura Pérez, como trabajo final de la Lic. en Protección y Saneamiento Ambiental puso de manifiesto una baja diversidad de microalgas que junto a la presencia de cianobacterias sería indicadora de un ambiente eutrófico

Debido a la existencia de un antiguo basural en las zonas aledañas en épocas pasadas, podrían encontrarse elementos traza tales como Fe, Mn, Cu, Cd, Zn, Pb y Cr. Sumado a esto se debe tomar en consideración que en la Villa Balnearia existe en dirección Oeste a la laguna un pequeño sector industrial con empresas entre las que se destacan las de servicios mecánicos.

Los desagües combinados de aguas residuales domésticas con aguas pluviales; y la potencial mezcla con aguas residuales industriales, podrían favorecer la presencia de constituyentes no convencionales tales como compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos, tensioactivos, detergentes, metales y sólidos disueltos entre otros.

2. PROCESOS Y TRATAMIENTOS

El ingreso de materia orgánica a la laguna puede tener un origen alóctono o autóctono. Como parte del origen alóctono se considera el aporte por precipitaciones y escorrentías de los cañadones, a través de una red de drenajes de curso temporario. En cambio, la materia orgánica autóctona es la que se origina en la propia masa de agua como resultado de los procesos biológicos de crecimiento, metabolismo y muerte de los seres vivos allí presentes y como resultado de las distintas reacciones químicas. Todas estas interacciones forman parte de los procesos naturales que se desarrollan en el cuerpo de agua.

Sumado a los aportes naturales se agregan los aportes derivados de la actividad humana. A partir del año 1998 se pone en operación la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales (PTEC) de la ciudad de Rada Tilly, diseñada para tratar un caudal del orden de los 3000 m³/día, siendo su capacidad máxima de tratamiento, en condiciones operativas ideales, de 3600 m³/día, lo que correspondería a un caudal medio de 150 m³/h y a una población estimada de 11250 personas, con un vuelco unitario 320 L/persona/día (San Martín, 2017). Si bien el líquido tratado se utiliza para el riego de los espacios públicos, en invierno es necesario el vertido del excedente al cuerpo de agua. En la actualidad la laguna recepciona al menos el 30% de dicho efluente, el cual posee un proceso de tratamiento secundario cuya calidad es relativamente estable.

Con los años, la laguna se convirtió en un sistema que actúa como pulmón ante problemas pluviométricos, sostén de inclemencias climáticas y receptor de aguas residuales tratadas total o parcialmente ante situaciones de contingencia que se producen en la planta depuradora.

Es de esperar que la incorporación de estos afluentes simulen sobre el espejo de agua un efecto de dilución, motivo por el cual de llevarían a cabo procesos que corresponden a un cuerpo de aportes mixtos.

2.1. Procesos Naturales

El equilibrio del ecosistema de la laguna incluye factores bióticos dentro de los cuales se consideran los distintos organismos que integran las cadenas tróficas y factores abióticos dados por el dióxido de carbono, oxígeno, fósforo, nitrógeno, azufre, silicio, y metales tales como el hierro y el manganeso.

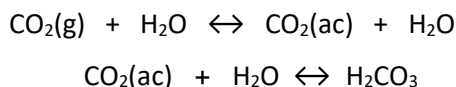
El comportamiento de dichos factores se puede explicar a través de los ciclos elementales o ciclos biogeoquímicos.



2.1.1. Procesos biológicos en el agua

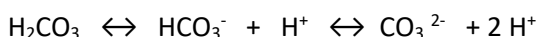
- Dióxido de carbono, Oxígeno y pH

El carbono está presente como dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y se puede disolver desde el aire mediante la siguiente reacción



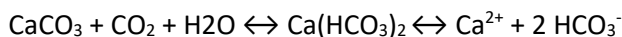
La constante de solubilidad de los gases disminuye en agua al aumentar la salinidad y la temperatura, por lo tanto en aguas saladas la solubilidad del CO₂ atmosférico es menor.

El ácido carbónico (H₂CO₃) se disocia siguiendo las siguientes reacciones:



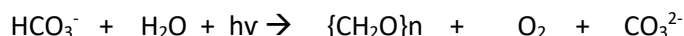
Es de esperar que la elevada fuerza iónica del agua genere una mayor disociación del H₂CO₃ dado por el incremento de las constantes efectivas de disociación. Se esperaría un contenido de bicarbonato (HCO₃⁻) y carbonato (CO₃²⁻) más elevado en comparación a un agua dulce en las mismas condiciones de temperatura y presión de CO₂ (Mook, 2002).

En sistemas naturales de agua dulce el ión CO₃²⁻ puede reaccionar con el ion Ca²⁺ generando carbonato de calcio (CaCO₃), mediante una reacción de precipitación. La ecuación de equilibrio calcocarbónico es la siguiente:



A diferencia de esto, en un medio salino; las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión que existen entre los iones del agua y los iones de las especies que participan del equilibrio provocan que cada ion Ca²⁺ y HCO₃⁻ por efecto salino se rodeen de un pequeño exceso de iones que disminuye la atracción global, aumentando la solubilidad, lo cual desplazaría el equilibrio anterior hacia la derecha (Skoog, 2001)

Por otro lado el CO₂ disuelto se convierte en materia orgánica durante el proceso de fotosíntesis. La misma se lleva a cabo por el **fitoplancton**; un conjunto de microorganismos microscópicos fotosintéticos formado mayoritariamente por bacterias y protistas entre las cuales se encuentran cianobacterias, dinoflagelados y algas verdes.

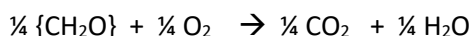


donde {CH₂O} representa un hidrato de carbono y hν la energía aportada por la luz solar.

Durante el día, la actividad fotosintética produce cantidades de oxígeno mayores de las que pueden solubilizarse en el agua y por la noche, la misma comunidad planctónica lo consume por respiración. Las concentraciones de oxígeno disuelto pueden variar en un ciclo diario entre un 170% y un 0 %. De esta forma, en sistemas muy productivos se pueden medir oscilaciones diarias de pH superiores a tres unidades (entre 6 y 9,5). La temperatura, radiación solar, disponibilidad de nutrientes y la salinidad son factores que afectaran el desarrollo del fitoplancton. Bajo condiciones óptimas de luz y temperatura, el fitoplancton requiere al menos, una concentración básica de nutrientes para empezar a estimular el crecimiento de su población. Los principales nutrientes son el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el silicio. Mientras que el Fe, Mn y azufre (S) se suelen considerar como micronutrientes.

Mientras la producción algal es la fuente primaria de carbono y oxígeno, otros microorganismos heterotróficos metabolizan la biomasa consumiendo oxígeno.

La respiración bacteriana en presencia de oxígeno provoca la degradación de la materia orgánica hasta CO₂ y agua (H₂O) produciendo energía y nuevas células.



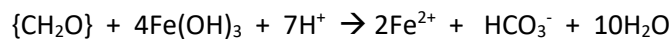
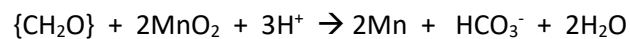


Por procesos de respiración endógena, muerte del fitoplancton por presencia de tóxicos y consumo por bacterias y/o zooplancton, se produce la desaparición del fitoplancton, liberando carbono orgánico particulado y disuelto en la columna de agua. Una fracción del carbono orgánico particulado se disuelve a carbono orgánico disuelto, y el resto se deposita en los sedimentos (Zouiten, 2012)

El fitoplancton se sedimenta en función de varios factores tales como el gradiente de densidad, las turbulencias verticales y el estado fisiológico del fitoplancton, entre otros. La sedimentación es un proceso de elevada importancia en los ecosistemas ya que a través de él se llega a eliminar el fitoplancton vivo de la columna de agua. En virtud de la salinidad de la laguna es de esperar que este proceso se vea enlentecido.

Si bien la metanogénesis es una reacción común en los sedimentos de aguas dulces, en los sedimentos de aguas saladas ricos en sulfatos las bacterias reductoras de sulfatos compiten con la población metanogénica (Brock y Madigan, 1993). El acetato (CH_3COO^-) y el hidrógeno (H_2) son los sustratos preferidos tanto para la reducción de sulfato como para la metanogénesis. Las bacterias reductoras de sulfato pueden utilizar hidrógeno y acetato a concentraciones más bajas que los metanógenos y parece que la competencia por el sustrato controla la intensidad de la metanogénesis en los sedimentos canalizando el flujo de electrones hacia la producción de CO_2 y en menor medida hacia la producción de metano (CH_4) (Sela-Adler *et al*, 2017)

Una vez que se agota el oxígeno en los sedimentos, las reacciones que siguen son la reducción del Mn, Fe, SO_4^- y por último la metanogénesis.



Las cargas externas de materia orgánica debido al ingreso a través de lixiviados, escorrentías y/o descargas antrópicas provocan el incremento de la materia orgánica y nutrientes. Esto sumado a la acción del viento y la salinidad incrementa la turbidez de la laguna.

La radiación solar se atenúa con el aumento de la turbidez del agua, razón por la cual la concentración de los sólidos suspendidos en el medio acuático, provoca una disminución significativa de la intensidad lumínica que atraviesa la columna de agua. Como consecuencia, se producirá una disminución del crecimiento de las algas en las zonas más profundas de la laguna. La productividad fitoplanctónica queda restringida a una zona determinada, llamada zona eufótica, a la que llega hasta el 1% de la radiación incidente en superficie.

Otro componente de importancia del ecosistema acuático es el oxígeno. Los contaminantes orgánicos en forma de materia orgánica biodegradable pueden no ser directamente tóxicos, pero consumen gran cantidad de oxígeno para su degradación, conocida como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Manahan, 2000)

El oxígeno disuelto es un parámetro vital para la respiración de los organismos. La concentración de saturación del oxígeno en el agua, se define como la concentración que se encuentra en equilibrio con la atmósfera que la rodea y que depende principalmente de la temperatura, la salinidad y la presión. A medida que aumenta la salinidad, la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye. En aguas saladas, el oxígeno alcanza saturación a concentraciones mucho más bajas que en agua dulce. Por lo tanto, es frecuente observar que en los lagos salados se generan situaciones de anoxia a niveles relativamente poco profundos (Bucher & Bucher, 2006).

En condiciones de hipoxia o anoxia se pueden provocar malos olores, pobre estética del cuerpo de agua y cambios significativos en la estructura de las comunidades biológicas.

Las fuentes de aporte de oxígeno disuelto incluyen la reaireación por contacto con la atmósfera, el efecto del viento; y la producción por la acción fotosintética del fitoplancton, aunque parte de él se pierde durante la noche cuando las algas consumen oxígeno. El aumento de la velocidad del viento incrementa la mezcla en la columna de agua y la concentración del material en suspensión.

El contenido de oxígeno disuelto disminuye por la respiración de los seres vivos, la demanda de los sedimentos del fondo, la oxidación de la materia orgánica y la oxidación de amonios a nitratos entre otros.



Generalmente la parte superior de la laguna, bien oxigenada, contiene una gran cantidad de especies oxidadas, especies de carbono como CO_2 , de nitrógeno como NO_3^- , y de azufre como SO_4^{2-} . Las zonas deficientes de oxígeno tienden a contener especies químicamente reducidas como el CH_4 , NH_3 y SH_2 , para el C, N y S respectivamente

Bajo condiciones reductoras, el hierro suele estar presente como ion ferroso (Fe^{2+}) soluble, mientras que en las zonas aireadas se encuentra como hidróxido de Hierro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ u oxido férrico Fe_2O_3 . La diferencia entre zonas anóxicas y aeróbicas influyen en los fenómenos químicos que ocurren en el cuerpo de agua.

A escala fisiológica, la limitación del hierro reduce las tasas de fijación de CO_2 y de asimilación del nitrógeno inorgánico por el fitoplancton limitando la capacidad de las reacciones luminosas de fotosíntesis.

Teniendo en cuenta el pH de la laguna podríamos inferir que las soluciones ferrosas formarán precipitados estables, quedando inhabilitadas para el uso por parte del fitoplancton. En lagunas con elevada salinidad como el área en estudio, las elevadas concentraciones de especies alcalinas podrían limitar la disponibilidad de hierro, elemento crucial para el desarrollo del fitoplancton.

- **Ciclo del fósforo:**

El **Fósforo** es un elemento imprescindible para la vida. Su ciclo no tiene reserva atmosférica. Es un ciclo sedimentario. El punto de partida para la interpretación de su ciclo es a través de la erosión de las rocas fosfatadas presentes en los mares y litósfera que forman iones fosfato por disolución.

En forma particulada el fósforo no es accesible para la biocenosis.

El fósforo inorgánico disuelto, en forma de ortofosfato (PO_4^{3-}) es tomado por el fitoplancton en los cuerpos de agua ya que es el compuesto soluble biológicamente disponible.

Según el ratio de Redfielf por cada átomo de fósforo absorbido y utilizado por la biomasa se utilizan 106 átomos de carbono y 16 átomos de nitrógeno 106C:16N:1P, motivo por el cual se lo considera un elemento limitante.

En un ambiente natural los microorganismos generan fosfatos a partir de los detritos, estos iones se incorporarán al fitoplancton y algas; y luego pasa a los organismos heterótrofos (zooplancton) a través de las redes tróficas. Las aves acuáticas se alimentarán del fitoplancton, bacterias, invertebrados y eliminarán los fosfatos a través del guano. Los flamencos, por ejemplo, estimulan la producción heterotrófica y desencadenan efectos en cascada sobre la abundancia de procariontas, virus y nitrógeno disuelto debido a los aportes de fósforo soluble del guano y por la acción de pisoteo de los sedimentos durante su alimentación (Batanero *et al*, 2017).

El consumo por parte del fitoplancton y la sedimentación de partículas sólidas (arcillas) disminuyen la concentración de fósforo inorgánico (fosfatos) en la columna de agua. Los intercambios desde y hacia el sedimento son un sumidero importante de fósforo soluble, por lo tanto en sitios eutrofizados el sedimento es una fuente de fósforo biodisponible, ya que acumula fósforo adsorbido en arcillas que en algún momento pasara al agua intersticial y desde ahí a la columna nuevamente (Zouiten, 2012)

El pasaje a la columna de agua se ve favorecido por la remoción del sedimento por acción del viento y por la concentración de sal que provoca que las partículas permanezcan en suspensión y no precipiten al fondo con la misma facilidad que en el agua dulce.

En el sedimento, los fosfatos están principalmente en forma inorgánica precipitada formando compuestos de calcio, hierro y aluminio o en forma de compuestos orgánicos. El fosfato orgánico corresponde a los compuestos fosfatados vinculados a la materia orgánica.

La disponibilidad del fosfato es controlada por el Hierro y el Calcio. Su permanencia en el sedimento dependerá de la presencia de otros compuestos como los sulfuros.

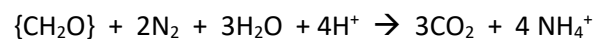
- **Ciclo del nitrógeno:**



El **Nitrógeno** es un elemento químico presente en todos los seres vivos, siendo componente esencial de las proteínas, material genético, clorofila, y de otras moléculas orgánicas clave.

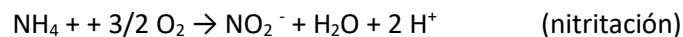
A diferencia del ciclo de fósforo, el ciclo del nitrógeno es mucho más complejo ya que presenta diversos cambios en el estado de oxidación, su depósito no es de tipo sedimentario sino gaseoso. Las sales de nitrógeno son altamente solubles, y se considera estable termodinámicamente sólo en forma de nitrógeno molecular y nitratos en condiciones óxicas, y en forma amoniacal bajo condiciones anóxicas. Generalmente, el nitrógeno se divide en dos formas orgánicas: nitrógeno orgánico particulado y nitrógeno orgánico disuelto; y dos formas inorgánicas: amonio y nitrato (Zouiten, 2012).

La fijación biológica del nitrógeno consiste en la incorporación del nitrógeno atmosférico, gracias a algunos microorganismos, principalmente *Azotobacter*, *Clostridium* y cianobacterias que se encuentran presentes en ambientes acuáticos.



Globalmente sólo un 3% de la producción neta de materia orgánica podría involucrar esta reacción (Brock y Madigan, 1993)

La **nitrificación** o **mineralización** (oxidación de NH_4^+ a NO_3^-) es el proceso mediado por bacterias mediante el cual el amoníaco es transformado en nitrito y finalmente en nitrato. Es realizada en dos pasos por diferentes bacterias: primero, las bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrococcus* convierten el amonio en nitrito,



Luego otra bacteria, *Nitrobacter*, oxida el nitrito en nitrato.



Este proceso se da en aguas bien oxigenadas y se pone de manifiesto cuando las aguas tienen mayor abundancia de nitratos sobre amonios. Si bien las bacterias nitrificantes pueden aclimatarse a la salinidad, el aumento de la conductividad del agua hace decrecer la velocidad de remoción del amoníaco y de nitrito (Fernández Pinilla, 2017).

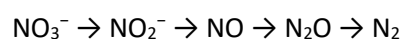
Solamente existen dos formas de nitrógeno que son asimilables por el fitoplancton, nitratos y amonio. A partir de la biomasa del fitoplancton, el nitrógeno se convierte en nitrógeno orgánico. Éste sufre una serie de procesos, tales como la sedimentación, la hidrólisis, la mineralización y la descomposición bacteriana, dando lugar al amonio.

El incremento del amonio también se produce a través de la **amonificación** (NH_4^+ producido por materia orgánica) cuando el ambiente acuático recibe desechos como urea (orina), ácido úrico (excreta de las aves), proteínas y ácidos nucleicos.

El amoníaco queda así disponible para los procesos de nitrificación y asimilación. Aunque el amonio, nitrito y nitrato estén disponibles para la absorción por parte del fitoplancton, la forma preferida para el consumo de esta sustancia es la de amonio. De hecho, cuando el nutriente limitante es el nitrógeno, se suele considerar la absorción preferencial del amonio con respecto al nitrato para la cinética del crecimiento del fitoplancton (Zouiten, 2012).

El exceso de compuestos nitrogenados biodisponible ocasiona la eutrofización del cuerpo de agua. Las aguas profundas pueden igualmente cargarse de amoníaco por reducción de los nitritos bajo la acción de las bacterias autótrofas o por los iones ferrosos.

Otro proceso que pueden sufrir los compuestos de nitrógeno es la **desnitrificación**, la cual consiste en la reducción de los nitratos a nitrógeno gaseoso en condiciones anaerobias y amonio a amoníaco en condiciones aerobias.



Un organismo desnitrificante común es el *Thiobacillus denitrificans*, aunque las bacterias heterotróficas, como *Micrococcus*, *Serratia*, *Pseudomonas*, y *Achromobacter*, son desnitrificadoras cuando las



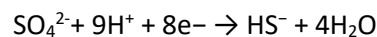
concentraciones de oxígeno son bajas. Este tipo de bacterias se encargan de la remineralización de la materia orgánica.

- **Ciclo del azufre**

El **Azufre** está presente en los cuerpos de agua en dos formas principales: como parte de la materia orgánica (R-SH) y como ion sulfato, y al igual que el nitrógeno es transformado por diversas vías mediadas por microorganismos. En la escala redox los compuestos de azufre son el siguiente aceptor de electrones después de los nitratos, hierro y manganeso. La reducción desasimilatoria del sulfato es efectuada por bacterias reductoras de sulfato, generalmente del género *Desulfovibrio*, anaerobias obligadas. La reacción dependerá de la concentración de sulfatos y la disponibilidad de materia orgánica (Brock y Madigan, 1993)

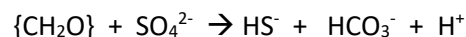
En invierno es común el desarrollo de una película orgánica- mineral, constituida por sedimentos y materia orgánica. Entre esta película y el sedimento se generan productos de fermentación como CO₂, H₂, acetato, propionato y butirato por oxidación de materia orgánica y consumo de O₂. Una vez consumido el oxígeno y degradada la materia orgánica, se producen las condiciones óptimas para la activación de las bacterias sulfato reductoras. La fuente de SO₄²⁻ provendría del acuífero freático produciendo mineralización del sedimento y desarrollo de un horizonte reductor de color negro, ubicado a una profundidad promedio de 15 cm del fondo. Al disminuir la actividad biológica o el volumen de la laguna, las condiciones anaerobias se mantienen pero la costra salina actúa limitando la fuente de materia orgánica (Dargám, R. M., & Depetris, P. J.; 1995)

La presencia de SH₂ tiene distintos orígenes, la respiración de los sulfatos a partir de la cual puede ser liberado a la atmósfera y suele relacionarse con un olor característico a “huevo podrido”.



La presencia de altas concentraciones de ion ferroso permite que los sulfuros se combinen para formar sulfuros de hierro insolubles otorgando un color negro característico a los sedimentos anaerobios.

La precipitación de sulfuros disminuye la concentración de Fe promoviendo la movilización de los fosfatos pudiendo producir eutrofización. Las condiciones reductoras favorecen la movilidad de P en la solución por desorción a partir de la desestabilización química de los óxidos de hierro o disolución desde compuestos con Calcio. El SH₂ también se genera por la liberación de grupos sulfhídrico de ciertos aminoácidos (cistina, cisteína y metionina) durante la hidrólisis de proteínas (desulfuración), o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales.



- **Ciclo del silicio:**

El silicio es uno de los elementos más abundantes de la biosfera, que en forma de silicio disuelto sirve como nutriente jugando un papel importante en el funcionamiento de las aguas marinas, costeras y continentales, contribuye en el desarrollo de las comunidades de diatomeas y en ambientes salobres, la presencia de las diatomeas resulta ser muy probable.

El silicio puede encontrarse en dos formas dentro de un medio acuático: el silicio disuelto disponible (Si(OH)₄) y el silicio biogénico particulado (SiO₂). El silicio biogénico particulado se disuelve en la columna de agua o se sedimenta en el fondo. Una parte del silicio biogénico particulado sedimentado se disuelve dentro de los sedimentos y vuelve a la columna de agua como silicio disuelto disponible.

En la Figura 3 se muestra gráficamente un resumen de los ciclos de la materia involucrados en los procesos naturales en el cuerpo de agua

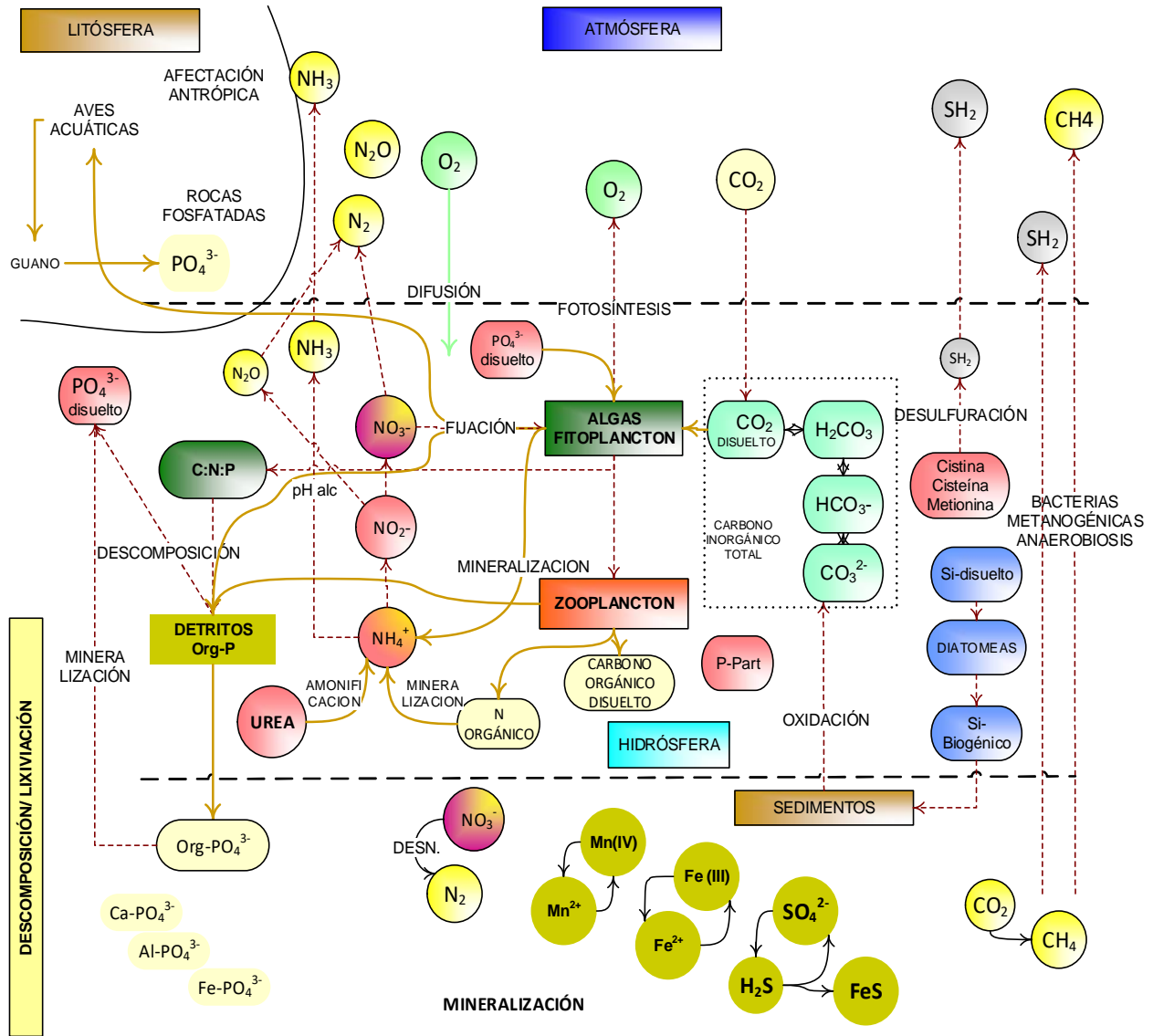
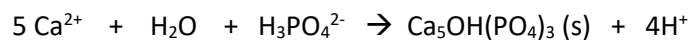


Figura 3. Ciclo de la Materia Orgánica (Autoría propia)

2.1.2. Procesos químicos más relevantes

La mayoría de las reacciones químicas se llevan a cabo entre distintas fases. Las fases más relevantes están dadas por el sedimento y el material coloidal suspendido. Las reacciones químicas involucran formación de complejos con ligandos orgánicos e inorgánicos, reacciones de oxidación-reducción, reacciones de precipitación-disolución y reacciones de adsorción-desorción principalmente.

Los sedimentos son capas de material finamente dividido que se depositan en el fondo, formados por mezclas de minerales tales como arcillas, fangos, arena junto a materia orgánica y actúan como sumideros de contaminantes como metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos. Dichas especies químicas podrían transferirse a las cadenas alimentarias, debido a la movilidad y disponibilidad para formar complejos. Los sedimentos pueden formarse por reacciones de precipitación. En presencia de fosfatos, CO_2 y Ca^{2+} puede precipitar hidroxipatita o carbonato de Calcio.



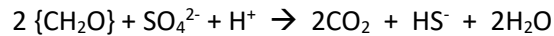
Los sedimentos carbonosos son importantes debido a su afinidad por los contaminantes pobremente solubles en agua. El carbono orgánico sedimentario suele provenir de fuentes biológicas entre las cuales se



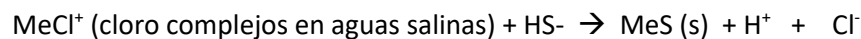
podría considerar celulosa, lignina, colágeno, cutícula y productos de degradación, sobre todo sustancias húmicas (Manahan, 2000)

Los metales se pueden asociar a diferentes fases del sedimento mediante adsorción sobre la superficie de partículas (arcillas, ácidos húmicos, óxidos hidratados de metales), unidos a carbonatos, ocluidos en óxidos hidratados de hierro o manganeso y unidos a materia orgánica, tanto viva como detrítica

Como se mencionó en el ciclo biogeoquímico del azufre, en la capa anaerobia del fondo, en presencia de materia orgánica la reducción de sulfatos genera sulfuros mediante la siguiente reacción:



Los metales pesados en presencia de sulfuros precipitarán como sulfuros metálicos insolubles, denominados Sulfuros Acidos Volátiles



La solubilidad tan baja de los sulfuros tiende a limitar la biodisponibilidad de los metales en los sedimentos anóxicos. Sin embargo la exposición de tales sedimentos al aire y la subsiguiente oxidación de sulfuros a sulfatos puede liberar cantidades significativas de metales pesados.

Otros procesos de importancia implican los ciclos de humectación-secado y precipitación-disolución de las costras eflorescentes. Cuando la laguna baja su nivel, la evaporación de fluidos cercanos a la superficie produce la precipitación de todos los solutos. Los carbonatos de sodio, que generalmente son porosos, se erosionan fácilmente. En condiciones húmedas posteriores, la disolución fraccionada devuelve solo los componentes más solubles a la solución, dejando atrás los carbonatos alcalinos-térreos y la sílice, típicamente como recubrimientos o rellenos intersticiales (Jones y Deocampo; 2003).

2.2. Procesos de Tratamiento de los Aportes derivados de la actividad humana

La laguna recibe el excedente del agua depurada por la planta de tratamiento de efluentes cloacales (PTEC). Inicialmente lo hacía en condiciones excepcionales, pero en la actualidad; debido al incremento de la población, se reutiliza el 70% del líquido tratado para el riego de espacios verdes distribuidos en la ciudad y el excedente es volcado a la laguna en estudio, cuyo nivel ha ido incrementándose paulatinamente.

El aumento del caudal de efluente acompaña al crecimiento de la población servida, estimado entre 18000 y 22000 habitantes según el Informe Ambiental de ampliación de la Planta de Tratamiento (San Martín, 2017); sumado al aporte de escorrentías superficiales y las precipitaciones durante períodos de lluvias intensas en el invierno.

La Planta de Tratamiento se diseñó para producir efluentes que garanticen el cumplimiento de estándares de calidad, de acuerdo con las reglamentaciones existentes y para el aprovechamiento potencial del efluente.

Composición de los efluentes tratados:

Los efluentes cloacales están constituidos por: compuestos orgánicos naturales (proteínas, azúcares, urea, grasas, ácido acético y ácido láctico, aceites vegetales, etc.); gases provenientes de la descomposición de materia orgánica (metano, ácido sulfhídrico, etc.), bionutrientes (compuestos de N y P, este último proveniente en gran parte de los detergentes) y microorganismos (coliformes totales y fecales, estreptococos, parásitos y virus). La Planta opera mediante un sistema de lodos activados de mezcla completa. El lodo activado es un proceso biológico utilizado para convertir la materia orgánica disuelta en flóculos biológicos sedimentables y sólidos que se eliminan por sedimentación.

El tratamiento involucra varias etapas:

- *Pretratamiento*: El líquido residual atraviesa un sistema de rejas gruesas donde se retienen los sólidos de mayor tamaño (maderas, trapos, plásticos); luego es conducido hacia un tamiz cilíndrico que retiene partículas superiores a 1,5 mm.



Mediante gravedad el efluente se dirige al desarenador en donde se separan sólidos más pesados a medida que atraviesan el canal.

- *Tratamiento secundario:* Este consta de dos partes: el reactor biológico y el sedimentador secundario.

El reactor biológico está construido con hormigón y cuenta con aireadores montados sobre pasarelas. El crudo desarenado se descarga conjuntamente con el lodo y se produce la oxidación biológica de la materia orgánica.

El líquido mezcla pasa por gravedad a los sedimentadores secundarios donde se produce la clarificación. Con el fin de mantener la biomasa bacteriana, una porción del fango sedimentado se recircula hacia el reactor biológico y la otra se deriva hacia el concentrador de lodos.

- *Tratamiento terciario:* El efluente tratado pasa luego por la cámara de cloración. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades (Metcalf & Eddy, 1995).

La cloración se lleva a cabo mediante una solución de hipoclorito de sodio y 60 minutos de contacto.

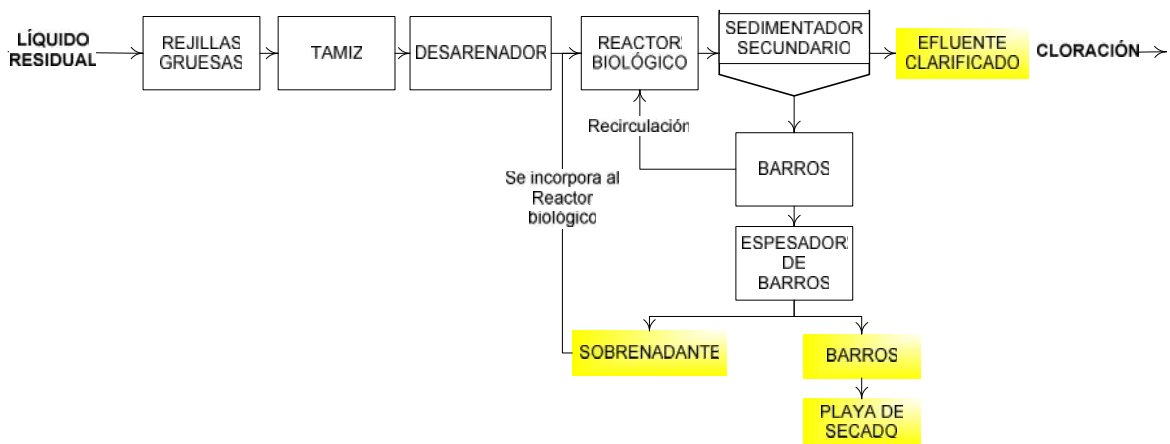


Figura 4. Diagrama de Flujo Planta de Tratamiento.

El efluente clarificado está destinado a la provisión de agua para riego, motivo por el cual cumple con los patrones de vertido y posee concentraciones de Nitrógeno y Fósforo adecuadas para la aplicación prevista.

Los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales no son eficaces para eliminar huevos de helmintos y tienen muy poco efecto en los contaminantes químicos, requiriéndose tratamientos específicos de nivel terciario.

Igualmente, los mayores inconvenientes se producen cuando la operación de la planta se ve alterada y generan la necesidad de verter la totalidad del efluente tratado parcialmente (solo con pretratamiento) en la laguna, favoreciendo el incremento de nivel y de nutrientes en la misma.

2.3. Procesos que corresponden a un cuerpo de agua de aportes mixtos

La composición de aniones y cationes de la laguna salina se relacionan con el origen de sus aguas. Debido al régimen de alimentación antrópico se convierte en un cuerpo de agua permanente con aportes mixtos. La incorporación de aguas tratadas podría ejercer un efecto de dilución sobre la descarga de agua subterránea natural.

Disponer de herramientas sencillas para su evaluación permite ver la variabilidad de las aguas a la hora de implementar acciones para su conservación.

La hidroquímica documentada en los trabajos realizados nos permiten ver la evolución en el tiempo de las aguas mediante el seguimiento de las variaciones de los iones principales en aguas salinas: Sulfatos y



Cloruros. En el caso de la laguna podemos plantear un seguimiento sencillo mediante índices geoquímicos y/o mediante la variabilidad de la salinidad expresada como Sólidos Totales Disueltos (TDS).

2.3.1. Índices Hidrogeoquímicos

Las relaciones entre los iones disueltos pueden guardar cierta relación con el terreno del que procede el agua, el resultado de mezclas de diferentes aguas o la interacción agua-suelo, por lo tanto las relaciones iónicas son una forma de evaluar los aspectos relacionados con las reacciones que han tenido lugar en la laguna.

Según datos relevados, los valores de salinidad superaban los 200 g/L en diciembre de 1997 antes de la puesta en marcha de la PTEC. Por razones naturales y antrópicas se incrementa el volumen de agua de la laguna manteniéndose con salinidades cercanas a los 45 g/L según Pesci en 2012 y valores cercanos a 48g/L en 2014 (Pérez B. *et al*, 2014). La siguiente tabla compara los datos y relaciones iónicas de las distintas fuentes de agua.

	TDS* (g/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	r SO ₄ ²⁻ / Cl ⁻ (mEq/L)	r Mg ²⁺ /Ca ²⁺ (mEq/L)	r Cl ⁻ /HCO ₃ ⁻ (mEq/L)
M7 (Pérez <i>et al</i> , 2014)	48,5	19905	16292	0,89	3,80	69,6
M8 (Pérez <i>et al</i> , 2014)	47,0	16995	16488	0,75	3,75	82,1
Patagonia Fm. (Levin <i>et al</i> , 1988)	15,6	11000	3400	2,38	0,75	26,1
Acuífero Freat. (Pérez <i>et al</i> , 2014)	18,0	11591	5039	1,67	2,1	22,2
Agua de mar (Levin <i>et al</i> , 1988)	35,5	4200	19600	0,16	~5	20-50
Acuífero freático RT3 (Fariás,2019)	0,72	631	373	1,25	0,5	5,39
Agua Residual Tratada (SCPL)	1,3	240	284,22	0,62	-	3,3

Tabla 1. Parámetros físicoquímicos e Índices Hidrogeoquímicos

* Estimado a partir del dato de CE.

CE<5000 μS/cm, TSD = CE*0,64; mientras que para valores de CE superiores, el valor de TSD= CE*0,8

Relación r Mg²⁺/Ca²⁺:

En las aguas continentales esta relación varía frecuentemente entre 0,3 y 1,5 y en el agua de mar tiene un valor cercano a 5. Las aguas que circulan por terrenos de formación marina o que han sufrido mezcla con el agua del mar presentan una relación elevada.

La relación r Mg²⁺/Ca²⁺ es mayor a 1,5; indicando que se trataría de aguas que circulan por terrenos de formación marina. Esto se confirma también por el alto contenido de cloruros

La disminución del r Mg²⁺/Ca²⁺ con respecto al valor inicial podría confirmar que el cuerpo de agua ha recepcionado aguas más carbonatadas, con una relación de iones que se asemejan a las aguas continentales.

Relación rCl⁻/HCO₃⁻:

El contenido de bicarbonatos es un valor relativamente constante en las aguas subterráneas por lo tanto la relación es útil para seguir el proceso de concentración de sales en el sentido del flujo subterráneo. En las aguas continentales tiene un valor entre 0,1 y 5 y en el agua de mar varía entre 20 y 50 (Custodio y Llamas, 1983). Esta marcada variación en los rangos de valores entre las aguas continentales y el agua de mar, así como el carácter trazador de los cloruros, hacen de este índice uno de los más utilizados para la



caracterización de sitios que han tenido un origen marino. Estos valores podrían mostrar fluctuaciones estacionales debido a los procesos de concentración por evaporación durante el verano.

El aporte desde la planta de tratamiento presenta una relación aproximada a 3,3 y una salinidad aproximada a 1,3 g/L (conductividad cercana a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), alcanzando la mayor relación en el agua de la laguna comparada con el agua de los acuíferos de la zona y agua de mar.

Relación $r \text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$:

En agua dulce los valores más frecuentes de esta relación suelen estar comprendidos entre 0,2-0,4; en el agua del mar presenta un valor de 0,11.

Un aumento en los valores de la relación sería indicativo de una posible contaminación o procesos de intrusión marina. La relación iónica cercana a 1,0 nos indica que la concentración iónica de ambos aniones se ha ido igualando indicando un posible origen común para ambos iones. Estos índices podrían sufrir variaciones en función de las fluctuaciones del volumen de la laguna.

La relación $r \text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ del agua cambia en función de la salinidad total del agua. Cuando la salinidad aumenta, se alcanza un punto en el que el tenor de sulfatos no se incrementa más, mientras que los cloruros continúan elevándose. Esto se debe a que los sulfatos han alcanzado el punto de saturación, ya que son mucho menos solubles que los cloruros. A partir de este punto, el exceso de sulfatos precipita en forma de sales, particularmente yeso (sulfato de calcio), formándose cristales que se acumulan en el sedimento. Dicho de otra forma, mientras más alta es la salinidad, la proporción de sulfatos en relación con los cloruros disminuye. Por el contrario, cuando el volumen de agua aumenta, grandes cantidades de sulfatos precipitados en los sedimentos se redisuelven, lo que produce un aumento de la proporción de sulfatos en el agua.

Asimismo, la solubilidad de los sulfatos disminuye cuando decrece la temperatura del agua, mientras que la solubilidad de los cloruros permanece casi constante. Esto explica que en períodos de alta salinidad (aguas bajas) y en días fríos de invierno, se podrían observar acumulaciones considerables de sulfato de sodio (sal de Grauber) sobre las costas.

2.3.2. Salinidad

Las propiedades físicas y químicas características del agua de la laguna varían según su tenor salino, el cual, a su vez, depende de su volumen. En la Tabla 2 se indican los valores medios de los principales parámetros para cuatro niveles distintos de salinidad.

Parámetro	Unidad	AÑO				
		1997 ¹	1999 ²	2012 ³	2014 (M7) ⁴	2014 (M8) ⁴
TSD	g/L	202,8	258,3	44,9	48,6	47,0
pH	-	7,99	8,41	8,82	-	-

Tabla 2. Características químicas a distintos niveles de Sólidos Totales Disueltos

¹(COAGUA); ²(Tótar, 1999); ³(Pesci, 2012); ⁴((Pérez et al, 2014):M7 (Zona O) y M8 (Zona S-E) referencia en Fig. 5).

El pH generalmente está cerca de la neutralidad en aguas salinas naturales ricas en sulfatos y cloruros. El aporte de aguas con mayor contenido de calcio y la fotosíntesis podrían causar su incremento a partir de la incorporación de aportes antrópicos.

Del análisis de los datos, se pone de manifiesto que la salinidad del agua de la laguna osciló históricamente desde una condición hipersalina extrema en los períodos de aguas bajas (1998-1999), hasta una condición



mesosalina, a partir del ingreso de aguas antrópicas y eventos pluviométricos (Según clasificación Hammer, 1986). Los valores de salinidad de la laguna se encuentran por encima de los del agua de mar.

Los datos de la Tabla 1 permitirían sugerir que el origen de la laguna podría atribuirse al ascenso capilar del agua desde un acuífero con elevada concentración de iones disueltos (dado que la profundidad del agua subterránea se relaciona directamente con la salinidad), lo cual confirmaría que el cuerpo de agua se genera como una zona de descarga del acuífero Patagoniano (Complejo Multiunitario), la cual por sucesivos procesos de evapotranspiración se ha ido concentrando situación que se confirma en el análisis isotópico realizado en el año 2014 por Pérez B. *et al* evidenciando que el cuerpo de agua posee valores de isotopía más empobrecidos que el agua de mar, tema que se abordará en el apartado 8.3.

Al comparar los valores de TDS con los presentados en el trabajo "Hidrogeología de Zonas Costeras: Caracterización del Acuífero Freático de la Ciudad de Rada Tilly" (Farías L, 2019) puede observarse que las napas freáticas de la ciudad utilizadas como pozos de riego poseen una salinidad inferior. Esto se correlaciona con los niveles isofreáticos de la laguna, ya que la misma se encuentra a 4msnm (Kersfeld, 1991) en comparación con los pozos de riego ubicados a 6msnm y los mismos descargarían en la zona de la laguna contribuyendo a la dilución también.

3. PRINCIPALES CONTAMINANTES

La descarga de aguas servidas no tratadas o tratadas deficientemente altera el equilibrio de las lagunas urbanas, los compartimentos prioritariamente afectados son **AIRE, AGUA, SEDIMENTOS** y **BIOTA**. El suelo solo se alterará durante los períodos de crecida del cuerpo de agua.

El **COMPARTIMENTO AIRE** se afecta por los compuestos gaseosos amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y sulfuro de hidrógeno (SH_2); los cuales se generan en condiciones anaerobias durante los procesos de degradación y de desnitrificación de la materia orgánica.

La laguna actúa también como un emisor de carbono, en forma de CO_2 , a través de procesos de descomposición, y en forma de metano (CH_4); pero en menor proporción debido a su salinidad. Una alta concentración de sal que alcanza una CE de 35 mS/cm disminuye la producción de CH_4 , mientras que una CE más alta de 80 mS/cm limita la producción de CH_4 y CO_2 (Tan *et al*, 2019).

Los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica por la acción bacteriana sobre los compuestos orgánicos generan olores que afectan las zonas aledañas. El SH_2 es el gas generado de mayor importancia, aunque existen otros compuestos volátiles como el indol, escatol y mercaptanos que pueden ser responsables de olores desagradables también.

La desnitrificación podría generar N_2O , un gas de efecto invernadero. En los ambientes acuáticos el N_2O se produce como un producto intermediario durante la desnitrificación y como un subproducto durante la nitrificación. Estos procesos pueden darse en la columna de agua, en los sedimentos y en el interior de partículas en suspensión.

La voladura de material particulado se produce en la época de retroceso del cuerpo de agua debido a la gran exposición al viento. El mismo se compone de arena y sal cristalizada y podría tener impacto sobre la zona poblada cercana.

El **COMPARTIMENTO AGUA** se ve afectado por la recepción de aguas contaminadas con o sin tratamiento previo debido a la incorporación de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, sólidos, nutrientes microorganismos y sustancias tóxicas entre las que se podrían encontrar metales. Dentro de los contaminantes se tendrá en cuenta:

La *materia orgánica* compuesta por proteínas, carbohidratos y grasas animales. La materia orgánica biodegradable se mide en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de la demanda química de oxígeno (DQO).



La materia orgánica e inorgánica en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta formará parte del contenido total de sólidos. Los *sólidos en suspensión* pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.

El Nitrógeno y Fósforo junto con el Carbono al incorporarse al cuerpo de agua favorecen los procesos de eutrofización. La incorporación de estos nutrientes se ve incrementada por los aportes de agua tratada, ya que el sistema de tratamiento de aguas residuales empleado en el ejido urbano de Rada Tilly, está diseñado para remover materia orgánica de tipo carbonoso.

El *Fósforo* es uno de los nutrientes esenciales en el crecimiento de los seres vivos; y se considera uno de los nutrientes que controla el crecimiento de las algas. En las aguas residuales aparece en forma de *fosfatos*, ya que los mismos son utilizados en muchos preparados comerciales destinados a la limpieza.

El contenido total de *Nitrógeno* está dado por nitrógeno orgánico, amoníaco, amonio, nitrito y nitrato. Una concentración alta de amonios y nitritos es indicativa de una polución reciente. En condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado en nitritos y luego en nitratos.

Dentro de los componentes biológicos que podrían ingresar a la laguna a través de aportes con un tratamiento primario se encuentran los *microorganismos patógenos* provenientes de las aguas residuales, los cuales se pueden deber a desechos humanos de personas enfermas o portadoras de una determinada enfermedad. Dado que los microorganismos patógenos se presentan en cantidades pequeñas y son difíciles de aislar, se emplean los microorganismos coliformes como indicadores cuya presencia en el agua es más numerosa y fácil de comprobar. Ya que hay especies coliformes en el suelo, se deben cuantificar las bacterias coliformes fecales, cuya presencia indica contaminación fecal y posible patogenicidad.

Desde hace más de una década se cuestiona la robustez científica de la determinación de *Escherichia coli* como parámetro indicador de contaminación fecal, particularmente para aguas recreativas marinas. Los estreptococos fecales (enterococos) han sido utilizados en diferentes países para evaluar la calidad sanitaria de sus recursos naturales, en especial, aguas marinas debido a su mayor tolerancia a la salinidad. (Min. Salud de la Nación, 2016).

Además de los microorganismos que ingresan en el cuerpo de agua a través de la contaminación fecal humana o animal, pueden estar presentes una serie de microorganismos patógenos autóctonos que una vez que se introducen, son capaces de colonizar el medio ambiente. Por ej.: *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Acanthamoeba* y *Leptospira*, entre otros. La biomasa bacteriana está limitada por la disponibilidad del carbono orgánico disuelto, de las formas disueltas de nitrógeno orgánico e inorgánico, la temperatura y la salinidad.

Los *metales pesados* son frecuentemente añadidos al agua durante ciertas actividades comerciales e industriales y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual o bien si se va a realizar el desalojo de agua de la laguna a la zona costera. Los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales presentan rendimientos medios para la eliminación de elementos traza, que distan de poder ser considerados eficientes (US. EPA, 1992)

Dentro del grupo de metales pesados se considera el Cd, Pb, Zn, Cu y Cr debido a su abundancia y movilidad natural. Los mismos se seleccionaron teniendo en cuenta las posibles fuentes de contaminación, ya que su presencia se facilita por el aporte de lodos provenientes de depuradoras y disposición no controlada de residuos.

El **COMPARTIMENTO SEDIMENTOS** naturalmente estaba formado por componentes arenoso-arcillosos de color gris oscuro a negro. Se esperaría que sobre esta capa se haya depositado materia orgánica, ya que este compartimento actúa como depósito y fuente de nutrientes debido a detritos formados por material de origen vegetal y animal endógeno y restos de material no digerido presente en las aguas residuales.

Los contaminantes no biodegradables o de baja velocidad de degradación permanecen en el sedimento de forma duradera, hasta que son retirados mediante dragado o enterrados por nuevas capas de sedimento, pudiendo provocar efectos adversos sobre los organismos que los asimilan, así como pasar a la cadena trófica (Hernández Crespo C., 2014). Dentro de los contaminantes que podrían afectarlo se considerará:



La liberación de **fosfatos** y **nitrógeno**, causada ya sea bajo condiciones anóxicas (por medio de reacciones químicas de óxido-reducción) o por medio de procesos de mezcla (diferencia en los gradientes de concentración), poniendo de manifiesto la importancia que tiene la acumulación de estos nutrientes en la eutrofización del cuerpo de agua.

Debido a las condiciones de pH, la cantidad de materia orgánica y el potencial redox se esperaría en el sedimento la distribución mayoritaria de los **Metales Pesados**. De existir cambios en las propiedades del sedimento como pH, contenido de limos y arcillas, salinidad, potencial redox y alteración de las condiciones anaeróbica y aeróbica, entre otros, los metales podrían mobilizarse o resuspenderse hacia la columna de agua, convirtiéndose en fuentes de contaminación. Se propone la cuantificación de Cd, Pb, Zn, Cu y Cr.

Las condiciones reductoras por la descomposición de la materia orgánica y la actividad microbiana, junto al aporte de sulfatos del agua favorecen la formación de sulfuros insolubles (Ruiz *et al*, 2019). En condiciones anóxicas, la presencia de sulfuros posibilita la formación de sulfuros metálicos muy insolubles.

Al considerar el **COMPARTIMENTO BIOTA** debemos considerar que el agua salada tiene mayor presión osmótica que el agua dulce. Por lo tanto, los seres vivos tienden a perder agua de sus cuerpos cuando la salinidad de su medio interno se hace inferior a la del agua que los rodea, lo que puede producir la muerte por desecamiento. Los seres vivos desarrollan una serie de mecanismos fisiológicos para adaptarse a salinidades crecientes, aunque existen límites (Bucher & Bucher, 2006).

En el cuerpo de agua conviven distintas comunidades biológicas formadas por fitoplancton y zooplancton. Este último se compone de macro y microinvertebrados y en su conjunto componen el biotopo.

La biodiversidad de la laguna es naturalmente baja, esto podría deberse al alto contenido de sales, ya que la diversidad disminuye a medida que se reduce la tolerancia osmótica con el incremento de la salinidad; sumado a la escasa penetración de luz a las capas inferiores del cuerpo de agua por el incremento de las partículas en suspensión y la menor concentración de oxígeno disuelto.

Las comunidades de **fitoplancton** pueden manifestar variaciones debido a cambios ambientales locales (descarga de nutrientes), regionales (fluctuaciones pluviométricas) o globales (incremento de la temperatura), motivo por el cual son buenos indicadores de las condiciones en que se encuentra el hábitat. Las microalgas en particular resultan ser muy interesantes para estos fines, ya que por su condición de productores primarios se encuentran al comienzo de la cadena trófica, razón por la cual las variaciones en este nivel van a tener consecuencias más o menos notables en los niveles de consumidores y podría ser un indicador biológico. Pequeñas comunidades de microinvertebrados pertenecientes al orden decápodo y copépodo han demostrado su permanencia en el sitio como parte del **zooplancton**.

La alimentación de los flamencos en determinados sectores de la laguna indicaría abundancia de crustáceos. Esto se pone de manifiesto en las zonas cercanas al vuelco del efluente proveniente de la planta de tratamiento. La falta de aireación en la zona noreste de la laguna podría limitar el crecimiento de este tipo de invertebrados.

Las **aves acuáticas** también constituyen un indicador biológico de la situación general de un cuerpo de agua. El uso de plumas de aves para el biomonitoreo de metales pesados es una excelente herramienta, ya que constituye una forma no invasiva ni letal de medir la concentración de metales (González *et al*, 2018).

Este compartimento sufrirá variaciones de acuerdo con la concentración de materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos y metales pesados. La existencia de barros contaminados afecta a los organismos acuáticos. Los mismos se convierten en bioacumuladores de tóxicos y en casos de polución extrema podría llegar a producir la muerte de los organismos bentónicos, limitando la supervivencia de los organismos superiores que se nutran de ellos.

Los principales contaminantes existentes en los cuerpos de agua son:



Estado de agregación del contaminante			
Compartimento	Sólido	Líquido	Gas
Aire			Olores Compuestos volátiles Metano Sulfhídrico Amoniac Material particulado
Agua	Materia Orgánica Biodegradable (carbohidratos, proteínas) Sólidos en Suspensión Nutrientes (P-N-C) Formas de Nitrógeno: Nitritos-Nitratos- Amonios Microorganismos patógenos Coliformes totales, coliformes fecales y enterococos Metales(Cd-Pb-Zn-Cu- Cr) Salinidad	Grasas y Aceites (Materia orgánica) Hidrocarburos*	Compuestos volátiles Metano Sulfhídrico Dióxido de Carbono Amoniac
Sedimentos	Metales (Cd-Pb-Zn-Cu- Cr) Sulfuros		
Biota	Microorganismos Patógenos Metales (Cd-Pb-Zn-Cu- Cr)		

Tabla 3. Contaminantes que afectan los diferentes compartimentos

* Se incluye por si hubiera algún aporte relacionado con los residuos y/o disposición de basura.



4. EFECTOS

4.1. Efectos sobre la Salud Humana

CONTAMINANTE	EFFECTOS DE UN CUERPO HÍDRICO ALTERADO SOBRE LA SALUD HUMANA
Olores- Compuestos volátiles	En bajas concentraciones tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos y crear perturbaciones mentales. En condiciones extremas pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, desanimar las inversiones (Metcalf & Eddy, 1995).
Metano	No es tóxico ni peligroso si se inhala en pequeñas cantidades; sin embargo, si una gran cantidad de metano desplaza el aire, la falta de oxígeno podría provocar asfixia.
Sulfhídrico	Las personas generalmente pueden oler el sulfuro de hidrógeno en bajas concentraciones en aire que varía de 0,0005 a 0,3 ppm. Puede afectar sobre todo a las personas que viven en zonas cercanas a las lagunas o plantas de tratamiento. La exposición a bajas concentraciones puede causar irritación en los ojos, la nariz o la garganta. También puede causar dificultad para respirar en asmáticos, dolor de cabeza, mala memoria, cansancio y pérdida del equilibrio. Breves exposiciones a altas concentraciones ocasiona pérdida de conciencia. En la mayoría de los casos, la persona se recupera sin otro efecto. Sin embargo, en algunas personas los efectos puede ser permanentes o a largo plazo como dolor de cabeza, déficit de atención, poca memoria y mala función motora.
Amoniaco	No se han encontrado efectos sobre la salud en humanos expuestos a concentraciones ambientales típicas de amoníaco. La exposición a altos niveles de amoníaco en el aire puede ser irritante para piel, ojos, garganta y pulmones; causa tos y quemaduras. El daño pulmonar y la muerte pueden ocurrir después de la exposición a muy altas concentraciones de amoníaco. Las personas con asma pueden ser más sensibles. El tratamiento de las aguas con cloro provoca la formación de cloraminas.
Material particulado	Debido a la dirección predominante del viento se afectan las viviendas vecinas. Puede causar problemas respiratorios y transportar bacterias, hongos, mohos y sus esporas.
Materia Orgánica- Sólidos Suspendidos	La materia orgánica no afecta al ser humano de manera directa, ocurre de manera indirecta a través del contacto con el agua. Los microorganismos atacan la materia orgánica o la estabilizan parcialmente a través de una serie de descomposiciones, con la aparición de malos olores y aspecto físico objetable. Cuando las aguas residuales tratadas son cloradas la materia orgánica residual da lugar a la formación de trihalometanos y cloraminas. Sustancias sospechadas como cancerígenas. Los sólidos suspendidos modifican las propiedades organolépticas del cuerpo de agua, otorgándole turbiedad.
Formas de Nitrógeno: Nitritos-Nitratos- Amonios	En seres humanos la concentración de nitrato en los sistemas acuáticos es perjudicial, sobre todo en los niños, ya que al llegar al estómago convierte estos altos niveles a nitrito, este llega al torrente sanguíneo, y el oxígeno que está presente en la hemoglobina es alterado formando la molécula metahemoglobina que es una condición anémica, causando daños cerebrales o incluso la muerte. Esto ocurre cuando la fuente de agua se utiliza para la provisión de agua potable.



	<p>Estos compuestos en la laguna pueden presentar efectos adversos sobre la salud humana por causas indirectas, por ejemplo por la proliferación de algas tóxicas que pueden ocasionar desde trastornos fisiológicos e intoxicación hasta la muerte de la persona afectada por su ingesta o por contacto de tipo recreacional.</p>
Nutrientes (P-N)	<p>Afectan al hombre de manera indirecta, a través del contacto con aguas contaminadas. El Fósforo no tiene impacto en la salud. El Nitrógeno es perjudicial a través de sus metabolitos.</p>
Microorganismos patógenos Bacterias-Virus- Protozoos- Parásitos	<p>La presencia de organismos patógenos, provenientes en su mayoría del tracto intestinal, hace que estas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas. Producen enfermedades de origen hídrico como: gastroenteritis, disentería y cólera, entre otras. Es importante controlar la presencia de protozoos tales como <i>Giardia lamblia</i> y <i>Cryptosporidium sp.</i> como agentes causantes de infecciones, debido al hecho de que son altamente resistentes al estrés ambiental y a los desinfectantes, y que las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales no están diseñadas para eliminarlos (Nasser, 2016)</p> <p>Los parásitos son transmitidos por los huevos y ooquistes eliminados con las heces fecales de las personas infestadas. Muchos de ellos requieren de dos a tres semanas en el ambiente para ser infectivos.</p> <p>Según la Organización Mundial de la Salud, 1.450 millones de infecciones en el mundo presentan infección por <i>Ascaris lumbricoides</i>, con efectos adversos en su salud (ascariasis), y síntomas como anemia, náuseas, oclusión de las vías biliares y obstrucción intestinal, lo que ocasiona alrededor de 3000 muertes al año (WHO, 2006).</p> <p>La persistencia de <i>Ascaris sp.</i> indica que el sistema de tratamiento por una laguna no es lo suficientemente eficiente contra los huevos de helmintos (Chaoua <i>et al.</i>; 2018).</p> <p>Entre los principales virus podemos mencionar a los rotavirus, astrovirus, norovirus, adenovirus entéricos, enterovirus, virus de las hepatitis A y E que han sido estudiados en los últimos años como importantes contaminantes de aguas ambientales. Estos patógenos involucrados en la trasmisión fecal-oral pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde gastroenteritis simple hasta hepatitis</p>
Metales(Cd-Pb- Zn-Cu- Cr)	<p>La mayoría de los efectos se manifiestan por la exposición crónica a metales. Una vez que están disponibles en el ambiente no experimentan degradación a través de actividades metabólicas, por lo tanto se acumulan (Duffus, 2003)</p> <p>Una vez absorbidos, se asocian con las proteínas de bajo peso molecular metalotioneínas y se acumulan en riñones, hígado y órganos reproductores. Existen pruebas que sugieren que puede inducir anomalías cromosómicas y ejercer efectos cancerígenos. Algunos afectan también el Sistema Nervioso</p> <p>El Zn y Cu son micronutrientes y se los considera de menor peligrosidad. La mayoría de los efectos tóxicos se producen por exposición aguda.</p>

4.2. Efectos sobre el Ambiente, Biota y Ecosistemas



CONTAMINANTE	EFFECTO ASOCIADO SOBRE EL AMBIENTE (BIOTA-ECOSISTEMAS)
Compuestos volátiles	Generan olores. Afecta la Calidad del Aire.
Metano	El CH ₄ es uno de los principales gases del efecto invernadero, su efecto negativo sobre el calentamiento del planeta es 21 veces mayor que el del CO ₂ .
Sulfhídrico	El SH ₂ es tóxico para las bacterias nitrificantes. Estas bacterias son altamente sensibles y si está presente incluso en baja concentración la biomasa nitrificante puede ser aniquilada. El resultado es la pérdida de nitrificación, el aumento del nivel de amonio en el efluente final.
Amoníaco	Puede dañar el sistema radicular de las plantas y los organismos del suelo. La vida acuática puede perjudicarse en concentraciones de aproximadamente 2mg/L y un pH de 7,4 a 8,5. La forma no ionizada NH ₃ es más tóxica para los organismos acuáticos debido a varios factores: las membranas branquiales de los peces son relativamente permeables al NH ₃ pero no al NH ₄ ⁺ , ya que el NH ₃ tiene una elevada solubilidad en lípidos, lo que facilita su paso a través de las membranas biológicas causando daños en la superficie respiratoria.
Material particulado	Puede afectar a las plantas de las zonas aledañas a las lagunas impidiendo que realicen fotosíntesis.
Oxígeno Disuelto	La ausencia de oxígeno disuelto (OD) es perjudicial para el cuerpo de agua. El análisis de OD mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en una solución acuosa, éste se expresa también como porcentaje de saturación de oxígeno Cuando la saturación se aleja del 100% indica que se han perdido las condiciones naturales. En términos de concentración, el nivel mínimo de OD para sustentar la vida acuática es de 4 mg/L lo que equivale a un 65%. Concentraciones menores generan, además, molestias ambientales por malos olores y condiciones insalubres. Los niveles bajos de oxígeno a menudo ocurren en el fondo de la columna de agua y afectan a los organismos que viven en los sedimentos. Las aguas con niveles inferiores a 1 mg/L se consideran hipóxicas y generalmente carecen de vida.
Materia orgánica	La descomposición de la materia orgánica requiere grandes cantidades de oxígeno, llegando a agotarse y creando condiciones anóxicas que impiden la vida acuática.
Formas de Nitrógeno: Nitritos-Nitratos-Amonios	El nitrito se encuentra presente como ion nitrito o como ácido nitroso (HNO ₂); la concentración de cada uno de ellos, depende del pH del agua de manera directa para el ion y de manera inversa para el ácido; ambos compuestos son extremadamente tóxicos. Los efectos toxicológicos en exposiciones prolongadas disminuyen la respuesta inmunológica de los organismos acuáticos induciendo a patologías que pueden conducir a la muerte de las especies, en organismos marinos reduce la habilidad de osmoregulación manifestándose en inhibición de los ciclos reproductivos. El nitrato es el producto final de la nitrificación, muy nocivo en los humanos y relativamente inofensivo para los peces y otros organismos acuáticos cultivados, debido principalmente a su limitada absorción a través de las branquias Hay pocos datos sobre el efecto tóxico de los amonios en agua salada. Los pocos peces de agua salada probados sugieren una mayor sensibilidad que los peces de



	<p>agua dulce. Las diatomeas presentan mayor sensibilidad que los invertebrados. (Calvachi, G. L. C., & Ortiz, I. A. S.; 2013).</p>
Nutrientes (P-N)	<p>La permanencia de este tipo de compuestos, origina el fenómeno de eutrofización, siendo uno de los efectos más visibles, la alteración de las propiedades organolépticas del agua como es el color verde, producto del crecimiento masivo de microalgas, algunas de las cuales podrían producir toxinas. También puede favorecer el desarrollo de organismos patógenos y vectores y por ende la transmisión de enfermedades.</p> <p>Generan importantes impactos sobre los cuerpos de agua ya que pueden incidir en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos, y la incorporación de niveles tóxicos que pueden afectar a las comunidades biológicas. Cuando las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo superan las barreras respectivas de 0,3 mg/L y 0,01mg/L puede suponerse una rápida proliferación de algas.</p>
Microorganismos patógenos Bacterias-Virus-Parásitos	<p>Los patógenos constituyen una amenaza para las aves marino-costeras. Estudios en Puerto Madryn, Rawson y Puerto Deseado han mostrado la presencia de varios patógenos, incluidos <i>Klebsiella sp.</i>, <i>Salmonella sp.</i> y <i>Shigella sp.</i>, en muestras de heces de gaviotas que se alimentan en los basurales (Yorio, P. <i>et al</i>; 2005). Los microorganismos pueden utilizarse como indicadores de contaminación.</p> <p>Los protozoos (giardias, criptosporidios) se pueden transmitir entre diferentes especies por medio del agua proveniente de bebidas y alimentos afectando a las mascotas, convirtiéndolas en importantes reservorios de transmisión a los seres humanos.</p>
Metales (Cd-Pb-Zn-Cu- Cr)	<p>Los cationes metálicos de Cd, Pb, Zn, Cu, Cr reaccionan con el nitrógeno o azufre y con ácidos débiles para formar productos estables mediante enlaces covalentes; también pueden unirse con metilo y alquilo para formar complejos metálicos en sistemas biológicos. Causan Toxicidad. Afectan la microfauna del ecosistema y puede acumularse en sistemas biológicos debido a efectos adversos sobre proteínas y enzimas. Pueden afectar negativamente los procesos aeróbicos a nivel de ppm o incluso de ppb.</p> <p>Los compuestos de Cadmio solubles se movilizan en el agua, mientras que los insolubles se depositan en el sedimento. En el ambiente es peligroso porque muchas plantas y algunos animales lo absorben eficazmente y lo concentran dentro de sus tejidos. Una concentración de 200 µg/L es tóxica para ciertos peces. Los carbonatos, hidróxidos y sulfuros de cadmio tienen muy baja solubilidad, por la cual, en los cuerpos de agua superficiales, a este metal se lo asocia principalmente a los sedimentos.</p> <p>El Plomo afecta a los microorganismos retardando la degradación heterótrofa de la materia orgánica. Se aloja en el sistema radicular de las plantas. Tiende a acumularse en los animales. Se concentra en hígado y riñones y luego puede pasar a los huesos, dientes y cerebro.</p> <p>El Zinc no se magnifica en las cadenas tróficas.</p> <p>El Cobre puede encontrarse en concentraciones muy altas en el agua, sedimentos y en la biota. Es un nutriente esencial en concentraciones bajas, pero su exceso es tóxico para peces y muchas especies de invertebrados. El Cu²⁺ como ion está ampliamente presente en el medio acuático y se considera la especie de cobre disuelto más tóxica (Jing & Kjellerup, 2018).</p> <p>Algunos de sus efectos fitotóxicos son: alteraciones en la fotosíntesis, aumento de la permeabilidad de la membrana plasmática y daño en el sistema de endomembranas debido a la peroxidación lipídica de las membranas.</p>



	<p>El Cromo se acumula en muchos organismos. Algunas algas acuáticas concentran 4000 veces sobre el nivel de su ambiente inmediato (Duffus, 2003).</p>
Sólidos Suspendidos	<p>Provocan escasa penetración de luz a las capas inferiores del cuerpo de agua, el agotamiento del oxígeno disuelto y la eutrofización influyendo sobre el balance ecológico. Terminan sedimentando en el fondo, lo cual puede dar lugar al enriquecimiento béntico, toxicidad y demanda de oxígeno de los sedimentos.</p> <p>Los sólidos en suspensión afectan en gran medida las formas químicas, la deposición y la distribución de los metales traza en el cuerpo de agua.</p>
Salinidad	<p>En áreas salinas hay pocos árboles debido a los requerimientos hídricos de los mismos; en cambio, son frecuentes los arbustos y las herbáceas.</p> <p>La salinidad puede ser un estresante químico en el medio ambiente acuático, ya que los niveles fluctuantes de salinidad pueden afectar a los organismos biológicos acuáticos que se adaptan a las concentraciones de salinidad predominantes.</p> <p>Estos sitios se convierten en los hábitats típicos de los flamencos. Pueden adaptarse a los niveles altos de cloruros, de carbonato de sodio, a menudo a los sulfatos y fluoruros, junto con temperaturas de hasta 68 °C o más, condiciones probablemente intolerables para la mayoría de animales. Los invertebrados se vuelven una fuente sumamente rica de alimento.</p> <p>En el caso del flamenco rosa, su forma de alimentarse, pisoteando y removiendo el agua y los sedimentos, produce cambios en la turbidez y distribución de nutrientes y reduce la cobertura de plantas sumergidas, lo que promueve un cambio de aguas claras (dominado por micrófitos sumergidos) a aguas turbias (dominado por fitoplancton). Sin embargo, se ven favorecidas las aves limícolas que prefieren alimentarse en zonas de aguas abiertas, sin vegetación, lo cual parece favorecer una correlación positiva entre flamencos y limícolas (Franke-Ante, R <i>et al</i>; 2013).</p>

4.3. Efectos Globales

CONTAMINANTE	EFECTOS GLOBALES
Metano Dióxido de Carbono Sulfhídrico Amoniaco Óxido Nitroso	<p>El proceso de autopurificación que se produce en la laguna es el resultado de una compleja interrelación de reacciones físicas, químicas y biológicas en las cuales se podrían generar gases tales como: CO₂, SH₂, NH₃, CH₄ y N₂O.</p> <p>Cuando los sistemas de lagunamiento superan la carga orgánica a tratar, es decir superan su capacidad, se producen problemas de olores y emanación de gases.</p> <p>El CH₄, N₂O y CO₂ se consideran Gases de Efecto Invernadero (GEI) por su capacidad de absorber la radiación infrarroja proveniente desde la superficie de la Tierra. El CH₄ se ubica en segundo lugar en importancia respecto del calentamiento global después del CO₂, porque a pesar de encontrarse en concentraciones notablemente inferiores, su efecto es casi 30 veces mayor.</p> <p>La producción GEI es resultado de la degradación de materia orgánica realizada por microorganismos estrictamente anaeróbicos presentes en agua o sedimentos anóxicos.</p>



5. LEGISLACIÓN

5.1. Legislación Nacional, Provincial y Municipal.

A continuación, se detalla la normativa que forma parte del marco legal vigente aplicable a los usos del recurso agua de las lagunas urbanas. Además de las normas detalladas, se debe contemplar la normativa asociada a la gestión de los recursos hídricos y observancia de normativa local en lo que corresponda. A la hora de establecer las jerarquías jurídicas referentes al destino y uso de las aguas se priorizan las leyes a nivel Nacional, provincial y municipal considerando que las modificatorias deben complementarse pero nunca contradecirse.

LEGISLACIÓN NACIONAL	
Constitución Nacional (LEY 24.430)	<p>El Art. 41 se consagra el derecho a un ambiente sano y se establece la tutela del mismo. ...” Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo, según lo establezca la ley.</p> <p>Establece que la Nación dicta las Normas de Presupuestos Mínimos y prohíbe el ingreso de residuos peligrosos y radiactivos al territorio Nacional.</p> <p>El Art 43. Establece que toda persona puede interponer acción expedita y rápida de amparo, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley.</p>
Código Civil y Comercial de la Nación (LEY 26.994)	<p>El Art. 14: vela por los derechos individuales y de incidencia colectiva. La ley no ampara el uso abusivo de los derechos individuales cuando puede afectar el ambiente y a los derechos de incidencia colectiva en general.</p> <p>El Art. 240: Fija los límites al ejercicio de los derechos individuales sobre los bienes, los cuales deben ser compatibles con los derechos de incidencia colectiva</p> <p>El Art. 241 establece que cualquiera sea la jurisdicción en que se ejerzan los derechos, debe respetarse la normativa sobre presupuestos mínimos que resulte aplicable.</p>
Ley General del Ambiente (LEY 25.675)	<p>Establece los Presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.</p> <p>Asimismo fija la Política Ambiental Nacional y los principios sobre los cuales se funda la misma</p> <p>Establece un marco general sobre información y participación en asuntos ambientales, la responsabilidad por daño ambiental y la educación ambiental. La norma define el daño ambiental como toda alteración relevante que modifique negativamente el ambiente, sus recursos, el equilibrio de los ecosistemas, o los bienes o valores colectivos</p> <p>El Art.30: Consagra a la acción de amparo como una herramienta rápida, expedita; para la cesación de actividades generadoras de daño ambiental colectivo</p>
Régimen de Gestión Ambiental de Aguas.	<p>Establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Regula la utilización de las aguas, cuencas hídricas superficiales y sobre comités de cuencas hídricas.</p>



<p>(LEY 25688)</p>	<p>En el Art.2 define el concepto de agua como aquella que forma parte del conjunto de los cursos y cuerpos de aguas naturales o artificiales, superficiales y subterráneas, así como a las contenidas en los acuíferos, ríos subterráneos y las atmosféricas.</p> <p>En el Art.5 describe las acciones que involucran la utilización de las aguas entre las cuales se destacan los siguientes ítems:</p> <p>b) El estancamiento, modificación en el flujo o la profundización de las aguas superficiales;</p> <p>d) La colocación, introducción o vertido de sustancias en aguas superficiales, siempre que tal acción afecte el estado o calidad de las aguas o su escurrimiento;</p>
<p>Libre Acceso a la Información Pública Ambiental (LEY 25.831)</p>	<p>Establece el libre Acceso a la información, cuales son los sujetos obligados, el procedimiento. Centralización y difusión. Sobre denegación de la información y plazos para la resolución de las solicitudes de información ambiental.</p> <p>Entiende por información ambiental toda aquella información en cualquier forma de expresión o soporte relacionada con el ambiente, los recursos naturales o culturales y el desarrollo sustentable</p>
<p>Residuos Peligrosos LEY 24051</p>	<p>La generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos quedarán sujetos a las disposiciones de la presente ley, cuando se tratare de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional o, aunque ubicados en territorio de una provincia estuvieren destinados al transporte fuera de ella, o cuando, a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieren afectar a las personas o el ambiente más allá de la frontera de la provincia en que se hubiesen generado, o cuando las medidas higiénicas o de seguridad que a su respecto fuere conveniente disponer, tuvieren una repercusión económica sensible tal, que tornare aconsejable uniformarlas en todo el territorio de la Nación, a fin de garantizar la efectiva competencia de las empresas que debieran soportar la carga de dichas medidas.</p>
<p>Decreto 831/93</p>	<p>Reglamentación de la Ley N° 24.051. La normativa provincial se basa en los Niveles Guía establecidos en la presente normativa.</p> <p>Tabla 3-Niveles guía de calidad de agua para protección de vida acuática. Aguas saladas superficiales</p>
<p>Aprobación del Convenio sobre la Diversidad Biológica LEY 24375</p>	<p>Aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica, adoptado y abierto a la firma en Río de Janeiro el 05.06.1992.</p> <p>El Art.2 define los términos área protegida, conservación in situ, diversidad biológica, ecosistema y hábitat entre otros.</p> <p>El Art. 14 del mismo establece la Evaluación del impacto y reducción al mínimo del impacto adverso, en su punto 1. Cada Parte Contratante, en la medida de lo posible y según proceda: a) Establecerá procedimientos apropiados por los que se exija la evaluación del impacto ambiental de sus proyectos propuestos que puedan tener efectos adversos importantes para la diversidad biológica.</p>
<p>Resolución 795-E/2017</p>	<p>En el marco del Convenio de Cooperación Interinstitucional y de la Carta Acuerdo específica suscriptas con la ORGANIZACIÓN AVES ARGENTINAS (ASOCIACIÓN ORNITOLÓGICA DEL PLATA), se han realizado consultas con expertos de instituciones nacionales y provinciales especializadas en ornitología, como así también con las autoridades en materia de fauna silvestre provinciales, para actualizar la categorización de las aves autóctonas de la República Argentina.</p>



LEGISLACIÓN PROVINCIAL- PROVINCIA DE CHUBUT	
Constitución Provincial	<p>En el Capítulo VI “Medio Ambiente” establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano que asegure la dignidad de su vida y su bienestar y el deber de su conservación en defensa del interés común.</p> <p>Dicta legislación destinada a prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, impone las sanciones correspondientes y exige la reparación de los daños.</p>
LEY XI N° 35. «Código ambiental de la provincia de Chubut»	<p>Tiene por objeto la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente de la provincia de Chubut, estableciendo los principios básicos del desarrollo sustentable y propiciando las acciones a los fines de asegurar la dinámica de los ecosistemas existentes, la óptima calidad del ambiente, el sostenimiento de la diversidad biológica y los recursos escénicos para sus habitantes y las generaciones futuras.</p> <p>A través de él la provincia adhiere a la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos.</p> <p>Mediante el Decreto 185/09 se reglamenta el Título I Cap. I y el Título XI Cap. I del Libro Segundo.</p> <p>En el Título II se detalla la Protección de las aguas y del aire, las medidas protectivas y los permisos de descarga.</p>
LEY XVII N° 53 «Código de aguas de la provincia del Chubut»	<p>El Art. 109 establece que la eliminación de residuos podrá hacerse sólo en aguas corrientes, en acuíferos confinados no aprovechables para ningún otro uso, y en espejos de agua, todos podrán ser utilizados sólo en el caso de residuos orgánicos no sintéticos y en cantidades tales que no superen su capacidad de autodepuración o que no modifiquen en forma inconveniente el proceso de eutrofización.</p>
Ley XVII N° 88 «Ley de Política Hídrica Provincial»	<p>Tiene por objeto establecer la Política Hídrica Provincial y fortalecer la gestión institucional del sector hídrico en el ámbito de la Provincia de Chubut.</p> <p>En el Cap. III menciona los requisitos necesarios para todo vuelco o vertido de sustancias o efluentes al dominio público hídrico.</p> <p>Mediante el Art. 45 se crea el Instituto Provincial del agua.</p>
Dto. N° 1540/16 Reglamentación Parcial de la Ley XI N° 35 «Código Ambiental de la Provincia del Chubut»	<p>Establece las obligaciones de los emisores de efluentes líquidos.</p> <p>ANEXO II. Tabla I. Límites permisibles en efluente descargado a cuerpo receptor hídrico.</p> <p>ANEXO B. Tablas de calidad de los cuerpos hídricos según los distintos usos</p> <ul style="list-style-type: none">) Tabla 3. Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática.-) Tabla 5. Niveles guía de calidad de agua dulce, salada, salobre para uso recreativo en contacto primario y secundario.-

LEGISLACIÓN MUNICIPAL- MUNICIPALIDAD DE RADA TILLY	
Ordenanza 1312/98. Proyecto Siglo XXI	<p>Apunta al equilibrio armónico del medio natural y el hombre, enmarcado en el necesario desarrollo sustentable que permita a las generaciones futuras encontrarse con un ambiente urbano adecuado a sus necesidades.</p>



Ordenanza 1994/09	Ratificación de Acuerdo de Operación y Mantenimiento de la Planta de Efluentes y Redes Cloacales entre la Municipalidad de Rada Tilly, ente regulador de los Servicios Públicos de Rada Tilly, y la Sociedad Cooperativa Popular Limitada.
Comodato Golf Club/2010	En Octubre/2010 el Concejo deliberante aprueba el comodato por 20 años para el uso del predio de la laguna para la construcción de un campo de Golf.
Ordenanza 2365/17	Debido a las precipitaciones excepcionales ocurridas desde el 29/04/2017 el incremento del volumen de la laguna lindera a la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales impide su funcionamiento, autoriza al Ejecutivo Municipal a implementar las acciones técnicas y operativas necesarias.
Ordenanza 2387/17	Autoriza la Ampliación de Red de Agua tratada Municipal
Ordenanza 2500/19	Promueve la descarga del contenido de la laguna al mar a fin de mantener la cota en los niveles de seguridad en la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales.

Fuente: Nacional: Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Presidencia de la Nación (InfoLEG: <http://www.infoleg.gov.ar/>)

Provincial (Chubut): Honorable Legislatura Provincia del Chubut (Digesto Jurídico: <http://www.legischubut2.gov.ar/>)

Municipal: Asesoría Letrada Municipalidad de Rada Tilly

5.2. Límites admisibles

Los límites admisibles hacen referencia a las concentraciones máximas que deben presentar los vertidos para mantener o mejorar la calidad de los cuerpos de agua receptores.

A nivel provincial, el Decreto 1540/2016, como reglamentación parcial del Código Ambiental en la Provincia del Chubut, aporta estándares actualizados para efluentes descargados a cuerpos receptores hídricos. Si bien el mismo no establece Niveles Guía de Calidad para aguas superficiales; vincula la concentración del contaminante en la fuente en función del uso del cuerpo de agua. Es así que surgen Niveles guía de calidad de agua salada superficial para la protección de la vida acuática, para agua como irrigación y para uso recreativo en contacto primario y secundario entre otros.

5.2.1. Decreto 1540/16 Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Tabla 1. Límites permisibles en efluente descargado a cuerpo receptor hídrico

Parámetro	Unidad	Límite permisible para descargar a:		
		Cuerpo de agua superficial	Costa Marítima	Mar abierto mediante emisario
pH	-	6-9	6-9	6-9
Olor	-	No se permitirá el vuelco de efluentes con olores ofensivos		
Color	Abs	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Turbidez	NTU	≤ 30	≤ 50	-
DBO	mg O ₂ /L	Para cuerpos lénticos* ≤ 30	≤ 50	≤ 130
DQO	mg/L	Para cuerpos lénticos ≤ 150	≤ 250	≤ 500
Nitrógeno amoniacal	mg/L	≤ 5	≤ 20	≤ 75
Nitratos	mg/L	≤ 10	≤ 25	-
Nitrógeno Total	mg/L	≤ 10	≤ 50	-
Fósforo Total	mg/L	≤ 1	≤ 5	≤ 10
Ortofosfato	mg/L	≤ 0,5	≤ 0,5	-



Grasas y Aceites	mg/L	≤ 20	≤ 20	≤ 50
HCs Totales de Petróleo	mg/L	≤ 5	≤ 10	≤ 15
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	La fluctuación será menor al 10% en el cuerpo receptor, fuera de la zona de mezcla, en el momento de la descarga para esa profundidad		
Sólidos Sedimentables 10'	mL/L	Ausente	Ausente	-
Sólidos Sedimentables 2 hs	mL/L	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 30	≤ 50	≤ 200
Cadmio Total	mg/L	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Cobre Total	mg/L	≤ 1	≤ 1	≤ 3
Plomo Total	mg/L	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Zinc Total	mg/L	≤ 2	≤ 2	≤ 5
Cromo Total	mg/L	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Coliformes totales	NMP/ 100mL	≤ 1.000	≤ 1.000	≤ 100.000
Coliformes fecales	NMP/ 100mL	≤ 250	≤ 250	≤ 20.000
Huevos de Helmintos	NMP/ 100mL	Ausente	Ausente	-

* El término léntico se refiere a cuerpos de agua que no presentan una corriente continua. Los lagos, lagunas, embalses y humedales son distintos tipos de ecosistemas lénticos.

5.2.2. Decreto 1540/16 Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Tabla 3. Niveles guía de calidad de agua salada superficial para la protección de la vida acuática

Parámetro	Unidad	Nivel Guía	Observaciones
Amonio No ionizable	mg/L	400	
Cadmio Total	µg/L	≤ 0,12	
Cobre Total	µg/L	≤ 0,95 (1)	(1) Referido a la muestra de agua filtrada.
Cromo hexavalente	µg/L	1,5	
Cromo trivalente	µg/L	56	
Hierro	µg/L	≤ 300	(1) Referido a la muestra de agua filtrada
Nitrato	mg/L	200	
Nitrito	µg/L	1000	
Plomo	µg/L	≤ 19,5 (1)	(1) Referido a la muestra de agua filtrada; aplicable a agua marina
Residuos			Residuos flotantes o sumergidos. No deberán introducirse (directa o indirectamente a través de las actividades humanas) en aguas estuarinas o marinas residuos sólidos, incluyendo materiales flotantes o a la deriva, tales como equipos de pesca, plásticos, metales, gomas, vidrios, textiles, papeles, madera u otros materiales. Material sedimentable (residuos). No deberán introducirse residuos u otros materiales sólidos (directa) que puedan, solos o en combinación con otras sustancias, causar la deposición en el fondo, zona intermareal o costas de estuarios o mares de sólidos, lodos o emulsiones. No deberá alterarse la tasa natural de deposición y características de los sedimentos sedimentables u otros sólidos sedimentables.
Zinc (agua salada)	µg/L	≤ 8,6 (1)	(1) Referido a la muestra de agua filtrada, aplicable a agua marina

5.2.3. Decreto 1540/16 Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable. Tabla 5. Niveles guía de calidad de agua dulce, salada, salobre para uso recreativo en contacto primario y secundario



Parámetro	Unidad	Nivel Guía	Observaciones
pH	U pH	5,0- 9,0	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
Cianobacterias Totales	Células/mL	≤ 20.000 (1) > 20.000 y < 100.000 (2) > 100.000 (3)	(1) actividades Normales (2) Información (3) Prohibición de baño.
Toxinas cianobacterias (microcistinas totales)	µg/L	≤ 20	
Coliformes fecales	NMP/100mL	≤ 250	
Coliformes totales	NMP/100mL	≤ 1000	
Escherichia coli	E.coli/100mL	≤ 200 Concentración media geométrica, con mínimo de 5 muestras ≤ 400 Concentración máxima de una muestra simple	
Enterococo	Enterococo/100mL	≤ 35 Concentración media geométrica, con mínimo de 5 muestras ≤ 70 Concentración máxima de una muestra simple	
Microorganismos patogénicos (bacterias, virus, protozoos)	Las determinaciones son altamente necesarias cuando hay evidencia epidemiológica u otra que indique que es necesario		
Otros peligros biológicos (ej. Esquistosomiasis, plantas vasculares acuáticas y algas)	Las actividades recreacionales no deberían realizarse en aguas donde la autoridad responsable posea sospecha de que exista riesgo a la salud y seguridad de los usuarios.		
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales	No detectable		
Sustancias que imparten color, olor y sabor objetables	No detectable		
Hidrocarburos Totales	µg/L	≤ 300	

Nota 1: Las actividades en contacto primario comprenden baño, natación, buceo, práctica de windsurf, kitesurf, waveboard, esquí acuático, SUP (stand up paddle), entre otros en los cuales las extremidades entren en contacto con el agua y se pueda caer ocasionalmente.

Nota 2: Enterococo y Escherichia coli se agregan como nivel meta, hasta que los Laboratorios pongan a punto las técnicas para determinarlas. Hasta ese momento deberá continuarse realizando determinaciones de Coliformes fecales y totales. El plazo de implementación de dichas técnicas no deberá superar los 2 años a partir de la sanción de la presente norma.

5.2.4. Niveles de Calidad para sedimentos

Los problemas de calidad del sedimento se han convertido en un foco importante en la evaluación ambiental, protección y gestión de ecosistemas acuáticos. En nuestro país no están legislados los Niveles Guía de Calidad en Sedimentos.

La norma canadiense Canadian Sediment Quality Guideline for the Protection of Aquatic Life (CCME, 2001), es una guía utilizada para determinar si un sedimento se encuentra contaminado. No obstante, estos estándares, no fueron desarrollados considerando específicamente este tipo de sedimentos, sin embargo muestra valores que permiten considerar sedimentos no contaminados (Interim Freshwater Sediment Quality Guideline, ISQG), niveles con probables efectos sobre el medio ambiente (Probable Effect Level, PEL), y la incidencia porcentual para los valores de ICQG y PEL; que podrían tomarse como valores orientativos.



Analito	Unidad	AGUA DULCE		MAR	
		ISQG (Nivel Guía de Calidad Sedimentos)	PEL Nivel con efectos probables	ISQG (Nivel Guía de Calidad Sedimentos)	PEL Nivel con efectos probables
Cadmio	mg/kg	0,6	3,5	0,7	4,2
Cromo	mg/kg	37,3	90	52,3	160
Cobre	mg/kg	35,7	197	18,7	108
Plomo	mg/kg	35	91,3	30,2	112
Zinc	mg/kg	123	315	124	271

Tabla 4. Niveles Guía de Calidad de Sedimentos para la Protección de la vida acuática

ISQG: concentración por debajo de la cual no presenta efecto biológico adverso (CCME, 2001)

PEL: concentración por encima de la cual frecuentemente se observan efectos biológicos adversos (CCME, 2001).

5.3. Comparación de Niveles Guía de Calidad

Este apartado está destinado a la comparación de los niveles guía provinciales propuestos en los puntos 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3 con los establecidos en otras normativas internacionales

En primera instancia podemos abordar el análisis de los **Niveles Guía de Vertidos**. A la hora de evaluar y comparar los mismos con los existentes internacionalmente debemos tener en cuenta las particularidades del sitio en estudio, dado que la laguna es un cuerpo de agua salino que recepciona el excedente del líquido residual tratado por la Planta depuradora de la ciudad, por lo tanto su contenido corresponde a un efluente municipal tratado que sufre una dilución al mezclarse con aguas de alto tenor salino tal como se describió en el punto 2.3 Procesos que corresponden a un cuerpo de agua de aportes mixtos.

La Normativa de la Unión Europea propone límites de vertido de efluentes urbanos tratados a ríos, arroyos y mar (Directiva 91/271/CEE, 2006). Los niveles propuestos podrían ser comparables a los del efluente clarificado; pero no aplicaría al agua desplazada desde la laguna al mar. Esta misma situación se evidencia para los límites de calidad propuestos por Canadá (SOR/2012-139, 2012).

Con respecto a los **Niveles Guía de Calidad para distintos usos**, la legislación local se ha basado en el Decreto 831/93, en las normas canadienses, en los estándares propuestos por la Agencia de Protección ambiental US-EPA y WHO, entre otros.

Si bien el monitoreo de los parámetros debe ajustarse a la normativa local, en la Tabla 5 se presentan los **Niveles Guía de Calidad para la protección de la vida acuática** de distintas legislaciones a modo comparativo con la legislación provincial para estimar como sería la calidad del agua en estudio para diferentes usos en otros lugares del mundo.

La EPA se basa en dos criterios. El CMC (Criterio de Concentración Máxima) es una estimación de la mayor concentración que un determinado compuesto puede presentar en un cuerpo de agua superficial a la cual la comunidad acuática puede ser expuesta por un período corto de tiempo si resultar en un efecto inaceptable (exposición aguda). El CCC (Criterio de Concentración Continua) es una estimación de la máxima concentración que un compuesto puede presentar en un cuerpo de agua superficial a la cual la comunidad acuática puede ser expuesta indefinidamente sin resultar en efectos inaceptables. De este modo, este criterio hace referencia a una exposición crónica. Este mismo criterio ha sido adoptado por Canadá.



PARÁMETRO	Dec. 1540/16	Decreto 831/93	Estados Unidos (EPA)		Canadá (CCME)	
			AGUDO	CRÓNICO	AGUDO	CRÓNICO
pH	-	-	-	6,5- 8,5	-	7,0- 8,7
Amonio	400 mg/L	400 mg/L	-	-	-	-
Cadmio	≤ 0,12 µg/L	5 µg/L	33 µg/L	7,9 µg/L	-	≤ 0,12 µg/L
Cobre	≤ 0,95 µg/L	4 µg/L	4,8 µg/L	3,1 µg/L	-	-
Cromo VI	1,5 µg/L	18 µg/L	1100 µg/L	50 µg/L	-	1,5 µg/L
Cromo III	56 µg/L	-	-	-	-	56 µg/L
Hierro	≤ 300 µg/L	-	-	-	-	-
Nitratos	200 mg/L	-	-	-	1500 mg/L	200 mg/L
Nitritos	1000 µg/L	1000 µg/L	-	-	-	-
Plomo	≤ 19,5 µg/L	10 µg/L	140 µg/L	5,6 µg/L	-	-
Zinc	≤ 8,6 µg/L	-	90 µg/L	81 µg/L	-	-
Oxígeno Disuelto	-	-	-	-	-	> 8 mg/L

Tabla 5. Cuadro comparativo Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática

La Tabla 6 compara los **Niveles Guía de Calidad para agua de uso recreativo**. Los niveles de calidad propuestos por EPA contemplan el uso recreativo de contacto primario, aunque para el cuerpo de agua en cuestión debe considerarse la prohibición expresa de baño o recomendación de abstenerse del mismo de forma permanente. Se puede observar que los criterios provinciales guardan relación con estándares internacionales muy estrictos como las normas canadienses.

Parámetro	Pcia. Chubut Dec. 1540/16	EPA	Canadá (Guidelines for Canadian Recreational Water Quality)
pH	5,0- 9,0		6,0-9,0
Oxígeno Disuelto	> 5 mg/L	-	-
Cianobacterias Totales (Células/mL)	≤ 20.000 (Actividades Normales) > 20.000 y < 100.000 (Información) > 100.000 (Prohibición de baño).	-	≤ 100000
Toxinas cianobacterias (microcistinas totales)	≤ 20 µg/L	-	≤ 20 µg/L
Coliformes totales (NMP/100mL)	≤ 1000	-	--
Coliformes fecales NMP/100mL	≤ 250	-	-
Escherichia coli/ 100mL	≤ 200 Concentración media geométrica, con mínimo de 5 muestras ≤ 400 Concentración máxima de una muestra simple	Media Geométrica: 126	≤ 200 Concentración media geométrica, con mínimo de 5 muestras ≤ 400 Concentración máxima de una muestra simple
		Valor Umbral Estadístico: 410	
Enterococo/ 100 mL	≤ 35 Concentración media geométrica, con mínimo de 5 muestras ≤ 70 Concentración máxima de una muestra simple	Media Geométrica: 35	≤ 35 Concentración media geométrica, con mínimo de 5 muestras ≤ 70 Concentración máxima de una muestra simple
		Valor Umbral Estadístico:130	
Microorganismos patogénicos (bacterias, virus, protozoos)	Las determinaciones son altamente necesarias cuando hay evidencia epidemiológica u	-	No hay un valor guía establecido



	otra que indique que es necesario		
Otros peligros biológicos (ej. Esquistosomiasis, plantas vasculares acuáticas y algas)	Las actividades recreacionales no deberían realizarse en aguas con sospecha de que exista riesgo a la salud y seguridad de los usuarios.	-	No hay un valor guía establecido
Sustancias que imparten color, olor y sabor objetables	No detectable		Sin un valor. No debe tener un color intenso. Turbidez:50NTU
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales	No detectable		Las áreas deben estar libres de material flotantes o materiales que se asentarán para formar depósitos
Hidrocarburos Totales	$\leq 300 \mu\text{g/L}$		No debe presentar película visible, brillo, decoloración u olor; o formar depósitos en las costas o sedimentos del fondo que son detectables a la vista o por olor

Tabla 6 Niveles guía de calidad de agua para uso recreativo en contacto primario y secundario

6. METODOLOGÍAS ANALÍTICAS

6.1. Consideraciones Previas

6.1.1. Plan de Muestreo

El monitoreo de un cuerpo de agua, de sus sedimentos y su biología requiere la medición de parámetros in situ y tareas de muestreo que permitan valorar la existencia de afectación antrópica.

El objetivo de la toma de muestra es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de representar con exactitud al material de donde procede (APHA, 1992).

Antes de comenzar la actividad de muestreo es necesario establecer un plan de muestreo identificando los sitios a monitorear, el equipamiento necesario, la metodología y la logística que se usará durante las distintas tareas. El Plan también contemplará:

- Revisión de los antecedentes existentes
- Definición de objetivos y alcance del trabajo
- Organización de los equipos de campo
- Garantía de calidad y procedimientos de control de calidad
- Consideraciones de seguridad
- Procedimientos de descontaminación del material de muestreo.
- Preservación de las muestras
- Transporte seguro de las muestras y Cadena de Custodia

6.1.2. Elección del sitio de muestreo

El aspecto más relevante de la toma de una muestra es la recolección de una porción representativa que cumpla con los requisitos y objetivos del plan de muestreo y la prevención del deterioro y contaminación de la misma antes de su análisis.



Se propone un muestreo exploratorio, realizado de manera estacional en los meses de enero, abril, julio y octubre, a realizar en 5 puntos teniendo en cuenta la disposición que se presenta a continuación.

Los puntos seleccionados corresponden a:

1. Zona 1: (45°55'40"S 67°34'42"O) cercana al ingreso de efluentes provenientes de la Pta de Tratamiento.
2. Zona 2: (45°55'37"S 67°34'28"O) representa el punto donde la laguna posee la mayor profundidad estimada
3. Zona 3: (45°55'33"S 67°34'14"O) corresponde al área donde se colocan las bombas para el vertido al mar.
4. Zona 4: (45°55'34"S 67°34'33"O) corresponde al borde con talud pronunciado
5. Zona 5: (45°55'41"S 67°34'22"O) área sur-este, costa.



Figura 5- Disposición de las zonas de muestreo

La ubicación exacta de los puntos de muestreo debe hacerse con un GPS. Al momento del muestreo registrar en la Cadena de Custodia los datos ambientales: Temperatura, viento y Humedad.

Para el muestreo en el punto 2 es necesario contemplar la utilización de una embarcación para al menos dos personas que pueda ingresar al sitio provocando la menor perturbación posible, aunque debe considerarse la solicitud de un permiso especial dado que el ingreso a la laguna está prohibido.

Igualmente, previo a la extracción, evaluar los riesgos que implica el muestreo, efectuando una primera inspección para seleccionar el equipo necesario. Analizar la factibilidad de efectuar el muestreo desde la orilla si existen riesgos para la salud y seguridad del operador.

6.1.3. Muestreo para ensayos fisicoquímicos y biológicos del agua:

Mediante una Sonda Multiparamétrica tipo HORIBA se determinaran los parámetros in situ: pH, Temperatura, Turbidez, Conductividad, Oxígeno disuelto y potencial Redox.

Los muestreos del agua se realizarán mediante una botella de muestreo tipo Van Dorn o Knudsen al menos a 2 m de la costa y a una profundidad estimada de 0,5 m.

En los casos en que la profundidad sea superior a los 2 m verificar con la sonda que los parámetros in situ permanecen constantes a distinta altura. De no ser así, tomar una muestra integrada en profundidad, a los 0,5 y 1,5 m teniendo la precaución de no remover los sedimentos.

Es importante que no haya cambios en la ubicación del sitio cuando se trata de muestreos periódicos.

Para evitar la contaminación de la muestra debido a la resuspensión de sedimentos vadear desde la orilla hasta el punto donde las olas no remuevan el fondo.



Sobre la matriz agua, en las muestras extraídas se evaluarán las siguientes características:

- Características químicas: Análisis de aniones y cationes, DBO, DQO, Nitrógeno Total, Nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, Fosforo Total y Ortofosfatos, Sólidos Totales Disueltos, Sólidos Sedimentables
- Compuestos asociados a la actividad antrópica: Grasas y aceites, Hidrocarburos Totales, Cadmio, Cobre, Cromo total, Zinc Total, Plomo.
- Caracterización Biológica: Coliformes Totales, fecales, *Escherichia coli*, Enterococos y Huevos de Helmintos. Muestreo de Fitoplancton. Muestreo de Zooplancton

Se colectará en cada punto:

- 1 botellas de 1L de vidrio color ámbar sin cámara de aire (aniones y cationes, STD). No preservar
- 1 recipiente de 1L de plástico o vidrio sin conservantes (sólidos sedimentables)
- 1 botella de 500 mL de vidrio, sin cámara de aire (DBO). Enfriar a 4°C. No preservar. Procesar dentro de las 6 hs.
- 1 botella de 1L de plástico (compuestos de N). Filtrar con membrana 0,45 μ y luego transferir al recipiente. Enfriar inmediatamente.
- 1 botella de 1L de vidrio color ámbar lavada con HCl (hidrocarburos, grasas y aceites)
- 1 botella de 1L plástica transparente acidificada con HNO₃ (metales)
- 1 botella de 500 mL de vidrio ámbar lavada con HCl (compuestos de Fósforo)
- 1 recipiente de 250- 300 mL estéril (análisis bacteriológico)
- 1 recipiente de 10L plástico para generar una muestra compuesta para el análisis de Huevos de Helmintos. Tomar 2L de muestra por sitio de muestreo.
- 1 recipiente de 1L de plástico inerte de polivinilo o polietileno para la realización del bioensayo toxicológico. Esta muestra debe ser procesada preferentemente sin demora para evitar cambios en su composición original como resultado de reacciones físicas o químicas, y/o procesos biológicos.

Cada recipiente debe contar con una etiqueta, en la cual se rotulará de manera abreviada el sitio de muestreo. Se conservarán en frío hasta el traslado al laboratorio.

Cada punto debería muestrearse por triplicado.

- *Muestreo de Fitoplancton:*

Las muestras para el análisis cualitativo del fitoplancton se deben tomar a una profundidad de 0,5 m con red de plancton de 20 μ m de apertura de malla. Una parte de cada muestra se fija con formaldehído al 4% y la otra se mantiene sin fijar para la observación de los organismos vivos. Estas muestras se analizan bajo microscopio óptico.

- *Muestreo de zooplancton:*

Las muestras se deben tomar con una red cuando los componentes del plancton son escasos. El tamaño de la malla debe ser lo suficientemente pequeño (20 μ m) para retener los organismos deseados y bastante grande como para evitar los problemas de obturación (47 μ m).

Un aspecto importante a tener en cuenta es la seguridad durante la toma de muestras. Verificar las condiciones de los bordes y utilizar elementos de protección personal (guantes, waders, antiparras y máscara con filtros).



6.1.4. Muestreo del Sedimento:

Una vez recolectada la muestra de agua y teniendo en cuenta de provocar la menor perturbación del sitio, tomar las muestras de sedimentos.

Los muestreos se realizarán con un muestreador tipo “Core Sampler”. Se recogerán entre 0,5 y 1 kg de sedimento por punto de muestreo. Las operaciones deben repetirse, si se extrae poca cantidad de muestra. Si se utilizan barras extensoras, debe realizarse el trasvase rápidamente para evitar la contaminación de la muestra.

A su vez, debe preverse la recolección de 0,5 kg de sedimento por punto de muestreo para generar una muestra compuesta. Las muestras se coleccionarán en bolsas tipo Ziploc. Deben sellarse y refrigerarse lo más pronto posible.

Análisis a realizar en la matriz sedimento: pH, conductividad, Cadmio, Cobre, Plomo, Cromo total, Zinc Total, Nitrógeno y Fósforo Total.

6.2. Descripción general de las técnicas analíticas:

Las metodologías propuestas para la toma de muestra y la realización de las determinaciones siguen los lineamientos del Manual “Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales” (SM) de American Public Health Association (APHA, 1992. “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”) Otras metodologías de referencia, son de la US Environmental Protection Agency (<https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-compendium>)

Parámetro	Unidad	Técnica
Conductividad	µs/cm	(SM) 2510 B
Temperatura	°C	SM 2550 B
pH	-	SM 4500 H B. Método electrométrico
Oxígeno Disuelto	mg/L	SM 4500-O G. Método de Electrodo de Membrana
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	SM 2540 B- Sólidos Totales secados a 103-105°C.
Sólidos Sedimentables	mL/L	SM 2540 F- Sólidos Sedimentables
Sulfatos	mg/L	SM 4500-SO4= E. Método turbidimétrico
Cloruros	mg/L	SM 4500-Cl- B. Método Argentométrico
Carbonatos y Bicarbonatos	mg/L	SM 2320-B. Método de Titulación
Calcio	mg/L	SM 3500-Ca D. Método Titulométrico de EDTA
Magnesio	mg/L	SM 3500 -E. Método de cálculo
Sodio	mg/L	SM 3500-Na C. Método fotométrico de emisión de llama
Potasio	mg/L	SM 3500-K D. Método fotométrico de llama
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	SM 5210 B - Prueba ROB 5 días. RESPIROMETRICO
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	SM 5220-D. Método de Reflujo Cerrado, método colorimétrico
Nitrógeno Orgánico	mg/L	SM 4500 N _{org} . Método de Kjeldhal
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	SM 4500 NH ₃ F. Método de electrodo selectivo de amoniaco
Nitratos	mg/l	SM 4500- NO ₃ ⁻ D. Método del electrodo de Nitrato
Nitritos	mg/L	SM 4500- NO ₂ ⁻ B. Método colorimétrico



Fósforo Total-Ortofosfato	mg/L	SM 4500 P-D Método del Cloruro estagnoso
Grasas y Aceites	mg/L	EPA 413.2 modificado.- Determinación por Infrarrojo
Hidrocarburos Totales	mg/L	EPA 418.1 modificado.- Determinación por Infrarrojo
Cd- Cu-Pb- Cr- Zn	µg/L	EPA 6020 B
Digestión de Sedimentos	-	EPA 3015A / EPA 3051A /EPA 3052
Coliformes Totales	NMP/100mL	SM 9221 B. Técnicas estandarizadas de fermentación en tubo múltiple (NMP) de coliformes totales
Coliformes Fecales	NMP/100mL	SM 9221 C Procedimiento de NMP para coliformes fecales
Escherichia coli	NMP/100mL	SM 9225 Diferenciación de bacterias coliformes
Enterococos	NMP/100mL	SM 9230 Grupo de Estreptococos y enterococos fecales
Huevos de Helminetos	NMP/100mL	Método de Bailenger modificado (WHO, 1996).

Tabla 7. Descripción general de técnicas analíticas

6.2.1. Parámetros in situ

Conductividad:

Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Calibrar el equipo previamente.

Temperatura:

Es una magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro. Influye en la solubilidad de las sales y en la disociación de las sales disueltas y por lo tanto en la conductividad y el pH

pH:

Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se lo define como $-\log[H^+]$. Para trabajos de rutina utilizar un medidor de pH exacto y reproducible hasta 0,1 unidades de pH con una escala de 0 a 14 y dotado de un ajuste compensador de la temperatura.

Oxígeno Disuelto:

Es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos, dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Es importante en los procesos de: fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica. La cantidad de O_2 presente en el agua es afectada por la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica.

El método electrométrico se basa en la generación de una corriente eléctrica directamente proporcional a la concentración del oxígeno que atraviesa la membrana de un electrodo, que es solo permeable a los gases. Este método es el más utilizado porque no presenta interferencias (otros gases no generan corrientes eléctricas), la determinación es inmediata y, además, permite efectuar mediciones in situ con dispositivos portátiles.

6.2.2. Características Químicas

Aniones y cationes



Sólidos Totales disueltos:

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en el recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a una temperatura de 103-105 °C. Indica el grado de salinidad de las aguas. Es un indicador de la concentración iónica del agua.

Sólidos Sedimentables:

Son aquellos sólidos capaces de sedimentar en el fondo del cono Imhoff en el transcurso de 10 minutos y 2 horas. Cuando se efectúa la descarga de un líquido con gran cantidad de materias en suspensión, puede haber sedimentación con formación de lodos, que pueden entrar en descomposición anaeróbica dando lugar a la formación de gases creando problemas sanitarios y estéticos desagradables

Demanda Bioquímica de Oxígeno

El contenido de Materia Orgánica en el cuerpo de agua se expresa a través de la demanda bioquímica carbonosa de oxígeno (DBO_C) que se define como la medida de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, por lo que es una determinación de uso común en laboratorios de plantas de purificación de agua, y un bioindicador importante para determinar la calidad del agua así como el grado de contaminación orgánica. En el caso particular de la laguna la determinación se dificulta debido al alto contenido de sales de las muestras. La salinidad de las muestras puede subestimar los valores de DBO.

Experimentalmente se mide la disminución del oxígeno disuelto (generalmente mediante métodos manométricos o mediante sensores electrónicos de presión) de un agua incubada a 20°C durante 5 días en oscuridad.

El pH debe estar comprendido entre 6,5 y 7,5. Deben evitarse muestras que contengan cloro residual.

Demanda Química de Oxígeno

Es una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte (K₂Cr₂O₇); el ensayo se lleva a cabo en presencia de sulfato de plata (Ag₂SO₄) que actúa como catalizador; y de sulfato de mercurio (HgSO₄), el cual evita la interferencia de los iones cloruro. El método consiste en someter la muestra a un exceso conocido de K₂Cr₂O₇, en medio ácido y a reflujo (abierto o cerrado); el K₂Cr₂O₇ no reducido se determina bien mediante valoración con sulfato de hierro (FeSO₄) y sulfato de amonio ferroso (FAS) e indicador ferroína; o bien mediante colorimetría (λ=600 nm).

Este ensayo mide materia orgánica total, aunque también incluye la contribución de compuestos inorgánicos reducidos hierro, manganeso, nitritos y sulfuros, entre otros, si están presentes en la muestra. El Ag₂SO₄ reacciona con cloro, bromo y yodo, por lo tanto la presencia de cloruros puede interferir en la reacción. El exceso de cloruros se debe inhibir mediante la adición de HgSO₄ manteniendo una relación 10:1 de HgSO₄:Cl⁻.

Si las muestras no se analizan inmediatamente deben acidificarse a pH<2 con H₂SO₄. En aguas residuales el cociente DBO₅/DQO se halla el intervalo 0,4 - 0,8. Variaciones en esa relación pueden deberse a desvíos por defecto en la DBO cuando el cuerpo de agua es salino.

Nitrógeno

Es un nutriente limitante para el crecimiento de los microorganismos relacionados con la capacidad de autodepuración de medios naturales. Está presente en forma de nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico.

Analíticamente el N orgánico y el amoníaco se pueden determinar juntos denominándose "Nitrógeno Kjeldahl". La determinación consiste en una digestión del agua en medio sulfúrico, en presencia de sulfato potásico y un catalizador de sulfato mercúrico. Dada la toxicidad del Hg y la dificultad para eliminar sus residuos debería evaluarse la sustitución del mismo como catalizador

Nitrógeno Amoniaco:

Es el producto principal en la descomposición de materia orgánica nitrogenada (ej. proteínas, bases nitrogenadas, urea, etc.). Su presencia en las aguas superficiales se atribuye a la actividad microbiana producto de la degradación de la materia orgánica nitrogenada proveniente de las aguas residuales



domésticas. En solución acuosa se encuentra en equilibrio, controlado principalmente por el pH y la temperatura, con el ión amonio.

La turbidez, el color y las sustancias precipitadas por el ion hidroxilo, como Mg^{2+} y Ca^{2+} interfieren y requieren su eliminación previa por destilación o precipitación con sulfato de zinc y álcali.

Estas operaciones requieren una atención especial. La complejidad de la determinación puede resolverse mediante un electrodo selectivo, aplicable a muestras con una concentración de 0,03 a 1400 mg/L, sin interferencias por el color o la turbidez. No se requiere destilación.

Nitratos:

Es la forma de nitrógeno más oxidada. Su presencia indica una contaminación lejana con materia orgánica. Se debe utilizar una solución tampón de Sulfato de Plata para eliminar cloruro, bromuro, ioduro, sulfuros y cianuros; ácido sulfámico para eliminar nitritos, un tampón a pH= 3 para eliminar bicarbonatos y mantener el pH y la fuerza iónica constante; y sulfato de aluminio para complejar ácidos orgánicos. La complejidad de la determinación puede resolverse mediante un electrodo selectivo.

Nitritos:

El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco a nitrato como en la reducción del nitrato. Esa oxidación y reducción pueden ocurrir en las plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de distribución del agua y aguas naturales. Es un índice de contaminación cercana. Sugiere junto a los amonios una actividad biológica grande.

Las muestras se deben analizar inmediatamente, para evitar la conversión bacteriana del NO_2^- en NO_3^- o NH_3 . Para conservación a corto plazo, durante 1 ó 2 días congelar la muestra a $-20^\circ C$ o conservar a $4^\circ C$.

Si la muestra contiene sólidos en suspensión filtrar a través de un filtro de membrana de 45 μm .

Fósforo Total- Ortofosfato

Las formas más frecuentes que pueden encontrarse en el agua son ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Para determinar fósforo total debe hacerse la digestión de la muestra convirtiendo las distintas especies en ortofosfato.

El método con ácido perclórico se recomienda para muestras de sedimentos.

La digestión con ácido sulfúrico- ácido nítrico se recomienda para la mayoría de las muestras. También pueden utilizarse persulfato, verificando si las recuperaciones son idénticas.

Se basa en la reacción del molibdato de amonio y el tartrato antimonílico de potasio con el fosfato en medio ácido dando una coloración azul. Los arseniatos actúan como interferencia ya que producen una coloración similar.

6.2.3. Compuestos asociados a la actividad antrópica

Grasas y Aceites:

Se determinan cuantitativamente grupos de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común en percloroetileno. La determinación es una medida de grasas animales biodegradables y aceites vegetales junto con aceites minerales relativamente no biodegradables.

Hidrocarburos Totales

Está constituido por cualquiera de las diversas clases de productos de petróleo, que van desde gases no condensados a diversos alquitrans. Si se mezcla una solución de hidrocarburos y materiales grasos en percloroetileno con gel de sílice, los ácidos grasos son extraídos de forma selectiva de la solución. Los materiales no eliminados son considerados hidrocarburos. Las películas de hidrocarburos interfieren en el intercambio gaseoso entre el aire y el agua. Proviene de efluentes y desechos industriales.

Cadmio:

Es un metal tóxico. Puede llegar al agua por el deterioro de tuberías galvanizadas. Se prefiere el método espectrométrico de absorción atómica electrotermico (horno de grafito). Los métodos de absorción atómica de llama y de plasma de acoplamiento inductivo proporcionan un aceptable nivel de precisión y



sesgo, con límites de detección más altos. El método de la ditizona es adecuado cuando la precisión buscada no es tan grande.

Cobre:

Es esencial para los seres humanos. Se calcula 2 mg la necesidad diaria de cobre para una persona adulta. Se recomiendan los métodos espectrométricos de absorción atómica, de plasma de acoplamiento inductivo y de la neocuproína, debido a que no presentan interferencias. Se deben analizar las muestras lo antes posible. Si es necesario almacenarlas, utilizar 0,5 mL HCl + 1/100 mL de muestra, ya que se adsorbe en la superficie de los recipientes.

Cromo Total- Cromo VI

Es un metal que ingresa a los cuerpos de agua a través de los desechos industriales. Se recomiendan los métodos espectrométricos de absorción atómica, de plasma de acoplamiento inductivo.

Zinc Total:

Es un elemento esencial para humanos. La forma más común de introducción en el suministro doméstico es por el deterioro del hierro galvanizado y deszincado del latón. En estos casos también puede estar presente Cd y Pb. Las muestras se deben analizar dentro de las 6 horas de su recolección o bien utilizar HCl como conservante.

Digestión de Muestras para análisis de Sedimentos

El tratamiento de las muestras con ácido clorhídrico y ácido nítrico reduce las interferencias por materia orgánica y disuelve los metales en una forma libre que permite analizarlos mediante espectrometría de absorción atómica.

La digestión de los sedimentos permite la determinación de los metales totales.

6.2.4. Caracterización Biológica

Coliformes Totales:

El grupo coliforme está formado por todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 hs a 35 °C.

El grupo coliforme incluye 4 géneros, siendo la especie *Escherichia coli* el más representativo de la contaminación fecal. No obstante, la presencia de bacterias coliformes totales no siempre es indicadora de contaminación con desechos humanos ya que algunas pueden desarrollarse en el suelo. La muestra debe ser colectada en frascos de vidrio o de polipropileno autoclavable, de boca ancha estériles. En el frasco debe quedar una cámara de aire para poder homogeneizar la muestra antes de procesarla. La misma debe conservarse a 4 °C hasta ser analizada. El período máximo de conservación de la muestra en frío es de 6-8 horas. La determinación podría realizarse mediante filtro de membrana.

Coliformes Fecales:

Esta prueba permite diferenciar entre los coliformes de origen fecal (intestino de animales de sangre caliente) y los procedentes de otras fuentes. Estos organismos, están presentes en el tracto digestivo de seres humanos y animales de sangre caliente, siendo eliminadas a través de las heces. La presencia de este tipo de coliformes, puede indicar el aporte de aguas residuales, aunque también debe tenerse en cuenta la presencia de aves acuáticas.

La prueba se realiza tomando con un ansa material de los tubos positivos de la reacción anterior e incubarlos durante 24 horas a $44,5 \pm 0,2$ °C en caldo EC.

Escherichia coli

Se realiza cuando es necesario identificar a las bacterias que forman parte del grupo de coliformes fecales para establecer la naturaleza de la contaminación. Se utilizan pruebas diferenciales. Las tradicionales son: Indol, Rojo de metilo, Voges-Proskauer y citrato (IMViC). Pueden usarse medios de cultivo diferenciales.



El cultivo debe ser puro. Las 4 pruebas bioquímicas deben realizarse de una misma colonia, tomando material del centro de la misma. Las colonias de las bacterias coliformes en el medio diferencial se desarrollan produciendo colonias de color rojo oscuro con brillo metálico.

Enterococos:

Estos microorganismos se han utilizado junto a los coliformes fecales para diferenciar o confirmar contaminación fecal humana de la de otros animales de sangre caliente. Es un excelente indicador como contaminación de aguas para uso recreativo.

Se aplican las mismas consideraciones que para coliformes totales. Se prefiere la técnica de tubos múltiples. La técnica de filtro de membrana es apta para aguas dulces y saladas, pero no resulta recomendable en caso de aguas muy turbias.

Los resultados indican que los copépodos pueden representar un reservorio ambiental adicional de enterococos, lo que sugiere la conveniencia de rediseñar los protocolos utilizados actualmente para la detección microbiana durante la evaluación de la calidad microbiológica de muestras ambientales (Signoretto, et al, 2005)

Huevos de Helmintos:

Los huevos de helmintos se encuentran en el ambiente y son de gran importancia en salud pública, debido a su mínima dosis infectiva y a su alta resistencia a diversas condiciones ambientales, como la temperatura, el pH y la humedad, así como a la desinfección con cloro. Se los utiliza, asimismo, como indicadores de la presencia de parásitos por contaminación fecal en aguas residuales tratadas, y en lodos y biosólidos generados por sistemas de tratamiento. Los géneros más predominantes son *Ascaris*, *Trichuris*, *Ancylostoma* e *Hymenolepis* (Campos et al, 2018).

Se deben coleccionar 10 litros de muestra. Si bien la legislación solo indica que debe informarse el número total de huevos, es importante determinar su viabilidad o capacidad de desarrollarse hasta la etapa infectiva; los huevos con una larva completamente desarrollada y móvil, se consideran viables.

6.3. Ensayos toxicológicos

En la evaluación de la contaminación del agua los estudios de toxicidad son necesarios, ya que las pruebas físicas y químicas no resultan suficientes para la valoración de los potenciales efectos sobre la vida acuática. El monitoreo fisicoquímico de los efluentes y el cuerpo de agua receptor permite identificar y cuantificar los diferentes constituyentes descargados en el sistema (APHA, 1992; Manahan, 2000).

A pesar de ser éste un enfoque muy valioso no evalúa la totalidad de los efectos que se producen sobre la biota, ya que no proporciona información sobre los efectos biológicos. El ingreso de una sustancia en un sistema acuático podría desencadenar reacciones químicas que modifican la biodisponibilidad de los contaminantes. No es posible predecir la toxicidad de las mezclas de los distintos compuestos dada la posibilidad de generar efectos sinérgicos, aditivos o antagónicos en los sistemas vivos (Sobrero, 2010)

No existen herramientas analíticas ni instrumentales para medir la toxicidad. Es sólo mediante el uso de organismos vivos que podemos estimar los efectos de los contaminantes en los sistemas biológicos. La ecotoxicología es una rama de la ciencia que integra conceptos de ecología y toxicología.

Los ensayos de toxicidad o bioensayos son procedimientos que permiten cuantificar la respuesta de los organismos expuestos a una o varias sustancias, residuos o factores ambientales aislados o en combinación. Son herramientas de diagnóstico adecuadas para determinar los efectos de agentes físicos y químicos sobre organismos de prueba, bajo condiciones experimentales específicas y controladas en los cuales se controlan las condiciones bióticas (especie, edad) y abióticas (temperatura, humedad, intensidad lumínica, duración e intensidad de la exposición, composición físico-química del medio) (Ronco, 2004)

Según el tipo de respuesta se pueden clasificar en ensayos de toxicidad aguda (exposición corta: 24-96 hs) o de toxicidad crónica (bioensayos de larga exposición).

Dada la distribución de los posibles tóxicos en los distintos compartimentos, se propone evaluar la toxicidad del agua y de los sedimentos de la laguna en estudio.



6.3.1. Ensayo de toxicidad aguda del agua en *Artemia Salina*.

Para la evaluación de la ecotoxicidad aguda del agua de la laguna se propone el Ensayo de toxicidad aguda en *Artemia salina*. Este invertebrado puede sobrevivir en lagos y piscinas salinas y se adapta a una amplia gama de salinidades entre 5 g/L y 300 g/L (ISO/TS 20787:2017).

Artemia salina es un organismo que pertenece a la clase Crustácea, y se usa ampliamente en ensayos de letalidad, ya que es fácil de adquirir, cultivar y manipular en laboratorio; es sensible a una gran variedad de tóxicos y es un bioensayo rápido, confiable y económico (Vanhaecke y Persoone, 1981).

Este ensayo es sumamente útil dado que los quistes desecados están disponibles comercialmente y no hay necesidad de mantener una colonia viva de manera permanente.

Este método simple se utiliza para evaluar muestras ambientales de agua, extractos, fracciones o compuestos puros en concentraciones crecientes (12,5%, 25%, 50% y 100% v/v) con tres réplicas para cada concentración.

Las larvas de *Artemia salina sp.* se obtienen a partir de la eclosión en condiciones estandarizadas de los quistes desecados, los cuales son hidratados con una solución salina de agua de mar artificial para obtener la población de larvas libres (nauplios) para la realización de la prueba de toxicidad. La hidratación podría realizarse con una solución de 35g/L de sal marina (Cruzeiro *et al*, 2017).

La prueba se basa en la determinación de la concentración que mata el 50% de los nauplios de *Artemia* en 24 horas, esta concentración se conoce como concentración letal CL50 (concentración del material en agua, suelo o sedimento que se estima letal para el 50% de los organismos de ensayo).

El cálculo de la CL50 se obtiene mediante análisis PROBIT convirtiendo los porcentajes de inmóviles a unidades PROBIT para obtener una recta de regresión lineal de los valores PROBIT (variable dependiente) vs. el porcentaje de la concentración ensayada o dosis (variable independiente), a través de una planilla de cálculo Excel.

Para verificar que los efectos observados se atribuyen al agua de la laguna, se utilizará un control negativo de agua de mar artificial y un control positivo de Dodecil Sulfato de Sodio (SDS) como sustancia de referencia (González *et al*, 2003).

La utilización de organismos acuáticos como bioindicadores se debe a su sensibilidad frente a una gran variedad de tóxicos, rapidez con la que se obtiene la respuesta, bajo costo y elevada sensibilidad.

6.3.2. Ensayo de toxicidad aguda del sedimento con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L*)

Muchas sustancias que se encuentran en concentraciones trazas en el agua pueden acumularse en los sedimentos en concentraciones elevadas a través del tiempo. Esta situación cobra importancia cuando estas sustancias son liberadas desde el sedimento a la columna de agua por acción del viento o antrópicamente. Esto justifica su control, para minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Las muestras de sedimento se deben tratar para obtener un extracto inorgánico y orgánico, de modo tal que conserven los compuestos contaminantes con el que se realizaran luego las pruebas (Biruk *et al*, 2016). Para evaluar toxicidad una de las semillas más comúnmente utilizadas es la *Lactuca sativa L*.

El bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L*) es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición) en la que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento. Como puntos finales para la evaluación de los efectos fitotóxicos, se determina la inhibición en la germinación y la inhibición en la elongación de la radícula y del hipocotilo

Si bien *L. sativa* no es una especie representativa de ecosistemas acuáticos, la información generada a partir de esta prueba de toxicidad proporciona datos acerca del posible efecto de los contaminantes en las



comunidades vegetales cercanas a las márgenes de cuerpos de agua contaminados, siendo también una especie interesante de considerar por su importancia desde el punto de vista hortícola. Por otra parte, es de fácil y rápida germinación, por lo que es posible desarrollar la prueba en pocos días. (Sobrero & Ronco, 2004).

Cada punto final se analiza comparando el efecto generado en los organismos expuestos a las muestras con respecto a la respuesta en los organismos del control negativo sujetos a las mismas condiciones de ensayo, excepto por la ausencia de muestra.

Con el fin de controlar la sensibilidad de las semillas, simultáneamente a la evaluación de la toxicidad de una muestra debe realizarse un control positivo, utilizando, por ejemplo, una sal de Zn (II) como tóxico de referencia.

Con los resultados del ensayo se elabora una gráfica dosis-respuesta colocando en la ordenada el porcentaje de inhibición y en la abscisa, la concentración.

Mediante un método gráfico o el uso de programas estadísticos, se calcula la concentración que produce el 50% de inhibición (CI_{50}/CE_{50}) para cada punto final evaluado. Para el caso de muestras en donde la inhibición es inferior al 50%, o para determinar el valor correspondiente al NOEC (concentración a la cual no se observa efecto) o LOEC (concentración más baja a la cual se observa efecto) se realiza el análisis de comparación de medias (t Student, Dunnett) para verificar la significancia estadística en el porcentaje de efecto.

6.3.3. Ensayo de toxicidad aguda con *Allium cepa* L mediante la evaluación de la inhibición del crecimiento promedio de raíces de cebolla

Otro modelo genético para evaluar la presencia de contaminantes ambientales, lo constituyen las plantas superiores, no sólo debido a su elevada sensibilidad para detectar mutágenos, sino porque ofrecen la posibilidad de evaluar varios tipos de efecto, desde mutaciones puntuales a algunas aberraciones cromosómicas en células de diferentes órganos o tejidos, como hojas, raíces y polen (Biruk *et al*, 2016). Entre dichos modelos, la especie *Allium cepa* es reconocida como uno de los mejores sistemas de prueba debido a su fácil manejo y bajo costo, su buena correlación con otros sistemas de prueba (Sobrero & Ronco, 2004).

Cuando un bulbo de cebolla (*Allium sp*) se rehidrata, se produce una estimulación del crecimiento de las células, lo cual permite la elongación de las raíces de la planta. Sin embargo, cuando la hidratación se lleva a cabo en presencia de sustancias tóxicas, la división celular de los meristemas radiculares puede inhibirse, ya sea retardando el proceso de mitosis o destruyendo las células.

Este tipo de alteraciones generalmente impide el crecimiento normal de la raíz y, por tanto, su elongación.

El ensayo consiste en comparar la longitud media estadística alcanzada por las raíces de los bulbos de la especie *Allium cepa* puestos en contacto con distintas diluciones del agua de la muestra con la longitud media desarrollada por las raíces de los bulbos germinados con un blanco de agua en el mismo lapso de tiempo (72 h de prueba)

En la prueba se podrían emplear cinco concentraciones de los extractos del sedimento, un control negativo (agua de red), y uno o dos controles positivos (Cu^{2+}). El porcentaje de inhibición del crecimiento de las cebollas expuestas a las diluciones de la muestra contra el blanco y la presencia o ausencia de tumores en las raíces permitiría evaluar la biotoxicidad del sedimento analizado.

El ensayo es sensible a bajas concentraciones de metales pesados.



6.3.4. Evaluación genotóxica de sedimentos con *Allium cepa*

Allium cepa también es reconocida como un excelente modelo genético para evaluar los contaminantes ambientales ya que las células de los meristemas apicales muestran fácilmente un amplio rango de alteraciones citológicas

Este ensayo podría ser útil para evaluar los efectos fitotóxicos, citotóxicos y genotóxicos de los sedimentos de la laguna en estudio, es decir la capacidad del sedimento para producir daños al ADN. Una manera de estimar este efecto es mediante la evaluación del índice mitótico, frecuencia de aberraciones cromosómicas en células en anafase y telofase y frecuencia de micronúcleos en células en interfase de las raicillas de *Allium cepa* expuestas a distintas concentraciones de un tóxico (Magdaleno *et al*, 2014).

Los altos Índices Mitóticos son el resultado de un incremento en la división celular, que puede producir una proliferación celular desordenada e incluso la formación de tumores en los tejidos.

El ensayo consiste en exponer al menos 4 bulbos de *Allium cepa* de 2 cm de diámetro aproximado, en 3 réplicas, a distintas concentraciones de extracto de sedimentos utilizando metil metansulfonato (MMS) como control positivo.

Al cabo de las primeras 72 horas, se retiran las cebollas de sus respectivos tratamientos y se procede a preparar entre dos y tres raíces de dos cm de longitud de cada cebolla para análisis al microscopio. Las raíces se fijan con solución de Carnoy. (Muñoz-Solarte, D. M., & Guerrero-Pepinosa, N., 2013).

Las observaciones microscópicas de las células meristemáticas de las raíces se realizan a partir de la coloración de los cromosomas con orceína 2 % en ácido acético 45 % (Biruk *et al*, 2016).



7. FORMAS DE TRATAMIENTO

Los tratamientos deben considerarse como parte de un PLAN INTEGRAL DE GESTION DE LA LAGUNA y teniendo como premisa la protección y mantenimiento de los estándares de calidad fijados.

El ingreso de nutrientes, sedimentos y materia orgánica en forma particulada y disuelta debido a los aportes naturales o antropogénicos aceleran el proceso de eutrofización.

La eutrofización de los ecosistemas acuáticos se refiere a un estado ecológico, donde los procesos biológicos impulsados por una mayor carga de nutrientes de su cuenca conduce a la proliferación de productores primarios (fitoplancton, plantas acuáticas, cianobacterias), hipoxia o incluso anoxia y pérdida de biodiversidad (Vinçon-Leite, B., & Casenave, C. ;2019).

El primer paso para restaurar o mejorar la calidad de una laguna es eliminar o tratar las entradas puntuales o antropogénicas (aguas residuales) y difusas o naturales (escorrentía, precipitaciones), aunque éstas últimas son inevitables. Los aportes antropogénicos o naturales recepcionados por la laguna generalmente contienen concentraciones relativamente altas de nutrientes como fósforo y nitrógeno y de no disminuir los ingresos, los beneficios a largo plazo de los tratamientos implementados podrían no lograrse.

La reducción de las cargas externas puntuales tales como: vertido de efluentes, arrojado de residuos sólidos contaminantes o basura disminuirá la carga de nutrientes, microorganismos y sedimentos que ingresan a la laguna. La tasa de recuperación o mejora dependerá de la resiliencia intrínseca del cuerpo de agua, es decir la capacidad de absorber perturbaciones, manteniendo sus características de estructura, dinámica y funcionalidad prácticamente intactas; pudiendo retornar a la situación previa a la perturbación tras el cese de la misma (Holling, 1973).

A diferencia de los ríos y arroyos, las lagunas y lagos atrapan y reciclan materiales en sus sedimentos; esto forma parte de la carga interna. Cuando dicha carga es significativa, pueden ser necesarios tratamientos para mejorar su calidad. (Cooke *et al*, 2016).

Los cuerpos de agua poco profundos son más difíciles de recuperar a pesar de que son "óxicos", ya que la disponibilidad de nutrientes para la absorción por parte de las algas se debe a la resuspensión de los sedimentos por parte del viento. En las mismas condiciones un cuerpo de agua estratificado puede bloquear la disponibilidad de Fósforo en la zona hipolimnética y lograr una recuperación más eficaz.

La carga interna de Fósforo disminuirá a medida que el sedimento enriquecido se entierre debajo de un sedimento nuevo y menos rico en nutrientes.

En el caso de la laguna de Rada Tilly, las estrategias de mejora pueden abordarse desde distintos puntos de vista, por un lado debe atenderse el incremento del nivel por encima de las cotas de seguridad mediante la reducción de los niveles hidrométricos y por otro deben sumarse esfuerzos para lograr la restauración del cuerpo de agua para ponerla en valor como un espacio recreativo.

Las características actuales de la laguna en estudio, en relación con su profundidad (3m aproximadamente) podría compararse con el sistema de lagunaje facultativo empleado en el tratamiento de efluentes, donde el cuerpo de agua actúa como una gran trampa de sedimentos en la que los procesos de asociación con la materia particulada (adsorción, precipitación, coprecipitación o asimilación por la biota) favorecerían la retirada de metales y nutrientes de la columna de agua para su inmovilización en el fondo.

Las lagunas facultativas son grandes estanques de agua, cuya área máxima no debería sobrepasar las 15 ha., sin agitación mecánica y sin aireación en los que se establecen condiciones aerobias en la capa superior y condiciones anaerobias en las capas inferiores. Estas condiciones dependen de la profundidad (Metcalf-Eddy, 1995).

Dentro de las Medidas que implican la Protección y Mantenimiento de la laguna podemos considerar:

-) MEDIDAS DE PROTECCIÓN: como la reducción del nivel y el desvío de los aportes puntuales antrópicos a la laguna



-) MEDIDAS DE RESTAURACIÓN: tales como: la oxigenación y la biomanipulación a través de la biorremediación. Dentro de los métodos de restauración más drásticos consideraremos el dragado de sedimentos
-) CONFECCIÓN DE PLANES DIRECTORES DE GESTIÓN

7.1. Medidas de protección

7.1.1. Reducción de los niveles hidrométricos de la laguna

El ingreso de agua a la laguna produce el incremento de su nivel, superando las cotas de terreno natural de las inmediaciones e imposibilita el escurrimiento natural de las aguas de lluvia de las zonas aledañas pudiendo inclusive inundar la zona poblada. Este exceso de agua ha generado la necesidad de que la PTEC defina una “cota de seguridad” a partir de la cual la operación se ve alterada, dado que se produce acumulación de agua en algunos sectores del predio o reingreso de agua salina a las instalaciones. En la Figura 6 se muestra el incremento de la superficie desde el año 2003 de 15,9 ha a 22 ha aproximadamente en la actualidad utilizando superposición de imágenes mediante la herramienta Google Earth.



Figura 6. Comparación del área de la laguna por superposición de Imágenes Satelitales

Esta situación, sumado a eventos pluviométricos no planificados y el crecimiento de la dotación de agua domiciliaria y consecuente caudal de aguas residuales domésticas, generó la necesidad de implementar estrategias para el desalajo de su excedente.

Debido al colapso del sistema de tratamiento de efluentes cloacales y por las precipitaciones extraordinarias, en 2014, 2017, y en la actualidad (Mayo 2020) la localidad de Rada Tilly necesito reducir el nivel de la laguna a través del vertido al mar.

Dado que la ciudad no contaba con una derivación exclusiva para la reducción del volumen de la laguna, se conectó, por su practicidad y bajo costo económico, un sistema de bombas al desagüe pluvial más cercano y se vierte en contenido de la laguna a la zona central de la playa (Bajada 16).

El vertido en la zona central de la playa, impacta psicológicamente en la población debido al riesgo de contraer enfermedades infecto contagiosas, asociadas a bacterias (*Salmonella*, *Shigella*, *E. coli* enterohemorrágica) y virus (enterovirus, hepatitis, adenovirus, papilomavirus) o patógenos oportunistas (*Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio vulnificus* o *Aeromonas hydrophila*).



Figura 7. Vertidos del contenido de la laguna salinizada al mar (Mayo 2020)

Es de esperar que la salinidad del mar junto con la incidencia de la luz, temperatura, falta de nutrientes y competencia con microorganismos autóctonos dificulten la permanencia de bacterias del tipo enterobacteriaceae, aunque debe tenerse en cuenta que la mayoría de los tratamientos aplicados a las aguas residuales no consiguen eliminar la presencia de virus entéricos infectivos o de su material genético, por lo tanto, cursos de agua superficiales tales como mares, ríos, lagos y lagunas, donde los efluentes tratados son volcados, resultan contaminados por estos patógenos de transmisión fecal-oral (Barrios, 2019)

Debido al riesgo potencial que acarrea el contacto con aguas salinas antropizadas cuyos indicadores biológicos podrían superar los límites permitidos, como medidas de seguridad hacia la población ante una emergencia, los vertidos al mar deberían realizarse en momentos que no alteren el normal desempeño de la comunidad, en cuanto a actividades recreativas; estableciendo un radio de seguridad durante las operaciones de vuelco, restringiendo el paso en este sector y aprovechando la energía del mar en marea alta para minimizar el impacto.

Con el fin de buscar una solución definitiva, se podría revalorizar el Estudio de Impacto Ambiental "Rehabilitación, Ampliación de la planta cloacal existente y Construcción de la Impulsión" (San Martín, 2017), el cual contempla la ejecución de un conducto de descarga al mar en la ladera del cerro Punta Piedras (Zona Norte- Bajada 32). Si bien dicha canalización estaba pensada para eliminar el excedente de los efluentes cloacales tratados, podría emplearse para disminuir el nivel de la laguna. El documento prevé la construcción de la conducción en PEAD (Polietileno de Alta Densidad) de 500 mm de diámetro.

Una de las ventajas del sitio elegido es la lejanía con respecto al Área Protegida Punta del Marqués.

El EIA no aclara el sitio de descarga, pero se podría planificar el vuelco a través de un emisario proyectado a cierta distancia de la costa para aprovechar el efecto de dilución de las corrientes y la energía del mar con el fin de evitar el impacto sobre la playa y arena.



Figura 8. Proyección conducto de Impulsión (San Martín, 2017)

La disposición de los vertidos debe adecuarse con los niveles de Calidad establecidos en el Decreto 1540/16 MAyCDS. ANEXO II. Tabla I. Límites permisibles en efluente descargado a cuerpo receptor hídrico.

7.1.2. Desvío de los aportes puntuales antrópicos a la laguna

Para lograr la reducción del ingreso a la laguna de aguas residuales tratadas deficientemente o no tratadas, es necesaria la ampliación de la Planta de Tratamiento de Efluentes de la ciudad y la gestión adecuada de los efluentes que no sean reutilizados. En la actualidad ese porcentaje sería del 30%. La ampliación de la planta de tratamiento implica la construcción de un módulo de las mismas características que el actual. Contempla la instalación de una Batería de Filtros a Discos que permitirá completar el proceso secundario avanzado para la contención de huevos de helmintos (parásitos) que hayan traspasado el sedimentador secundario a fin de completar el proceso para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente de acuerdo a lo estipulado en el Decreto 1540/16.

Es de esperar que en un futuro el excedente de efluentes tratados supere la cantidad actual, motivo por el cual podría evaluarse la existencia de antiguas cañerías, las cuales podrían utilizarse para transportar el



excedente de efluente de la Planta de Tratamiento hacia la zona sur, generando a su paso un cordón forestal que proveerá un filtro verde para la ciudad.

Debe tenerse en cuenta que de reducirse la totalidad del ingreso de agua proveniente de la planta de tratamiento, la variación del volumen de la laguna se dará naturalmente por evaporación y precipitaciones. En temporadas de lluvias escasas podría producirse la consolidación del sedimento y el incremento de la salinidad, lo cual es una desventaja para los invertebrados ya que causa la desaparición progresiva del zooplancton, lo que obliga a muchas aves a migrar hacia otros espacios donde puedan conseguir el alimento necesario para cubrir su dieta.

Cuando, por efecto de la evaporación, la lámina de agua es muy escasa la concentración de sales podría llegar a ser tan elevada que sólo permitiría la vida de especies altamente especializadas. Al igual que en los cristalizadores de una salina, es de esperar la aparición de microalgas del género *Dunaliella salina* y bacterias halófilas (*Halobacterium*), cuyos pigmentos tiñen de un rosado intenso la salmuera residual (Baxter, B.K., & Zalar, P.; 2019).

7.2. Medidas de restauración

7.2.1. Aireación /Oxigenación

La degradación de la materia orgánica tiene lugar fundamentalmente por la actividad metabólica de bacterias heterótrofas facultativas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno disuelto, si bien su velocidad de crecimiento, y por lo tanto la velocidad de depuración, es mayor en condiciones aerobias (Metcalf-Eddy, 1995).

La hipoxia o anoxia en la interfaz sedimento-agua facilita la liberación de fósforo, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, manganeso, hierro y otros elementos a la columna de agua. Los nutrientes reciclados estimulan mayor crecimiento de algas y se desarrolla una retroalimentación.

Las condiciones anóxicas producen formas solubles de metales, como Fe y Mn, que causan problemas de olor y color, afecta las redes tróficas disminuyendo los hábitats bentónicos.

La disminución de la carga interna de nutrientes en los sedimentos de la laguna es el objetivo principal de la Oxigenación y/o Aireación. Esto se puede lograr de manera natural guiando la hidráulica a favor de la aireación que dan sistemas naturales por ejemplo la acción del viento o bien mediante sistemas de aireación forzada.

A- Sistemas de aireación natural

El proceso de transferencia de oxígeno puede describirse como un fenómeno que ocurre en tres etapas. Inicialmente las moléculas de gas son transferidas a la superficie del líquido, alcanzando la condición de saturación, aquí la velocidad de transferencia es mayor y la película de gas-líquido se vuelve más fina. Luego, las moléculas de oxígeno atraviesan dicha película por difusión molecular y finalmente el oxígeno se dispersa en el líquido por difusión y convección (Yáñez, 1980).

Existen varios factores que afectan las condiciones biológicas e hidráulicas de la laguna. Algunos pueden controlarse, pero otros dependen de factores meteorológicos.

La actividad biológica está muy influida por las características de la circulación del agua. El tiempo para lograr un determinado grado de depuración se denomina tiempo de retención. Desde el punto de vista de la depuración importa si toda la materia orgánica que entra en la laguna permanece en ella durante un tiempo, o si atraviesa rápidamente el estanque.

En este caso la materia orgánica ingresa y dadas las condiciones endorreicas de la laguna, el agua permanece en el cuerpo de agua, por eso la importancia de mantener un tirante de profundidad que permita procesos de autodepuración. El tirante líquido no debe ser menor de 0,90m. Un valor recomendable en condiciones medias es de 1m y si el aporte antrópico contiene muchos sólidos sedimentables podría preverse una zona de mayor profundidad rodeando o alrededor del punto de ingreso del efluente de la PTEC a la laguna.



Otro factor de importancia es la acción de los vientos ya que posibilita la homogeneización de la masa líquida llevando el oxígeno de la superficie a las capas más profundas. Cuando la fotosíntesis no es suficiente, el viento puede contribuir para la transferencia y difusión de oxígeno desde la atmósfera.

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas también se verán afectadas por la temperatura, asociada a la mayor radiación solar. Si bien en verano la concentración de oxígeno en el agua puede disminuir, este fenómeno se ve compensado por el aumento de la velocidad de la fotosíntesis.

En regiones con evaporación intensa puede pensarse en lagunas sin efluentes, pero dadas las condiciones meteorológicas de los últimos años, las mayores precipitaciones durante el invierno y el excedente de líquidos tratados se refuerza la necesidad de un vertedero como se planteó en el apartado 7.1.1.

Para favorecer la aireación natural los dispositivos de entrada y salida de la laguna deben localizarse de modo que la dirección de los vientos predominantes ocurra desde el ingreso hacia la salida. Esto evita la formación de cortocircuitos y zonas estancas, las cuales pueden generar olores

Las aguas residuales tratadas total o parcialmente deben ser introducidas en la laguna debajo de la superficie a cierta distancia de su borde. Es aconsejable que existan dos o más entradas a través de tuberías y la salida sea instalada lo más distante posible.

B- Sistemas de Aireación Mecánicos:

La acción del viento junto al suministro de oxígeno mediante un sistema de aireación mecánico induciría el mezclado vertical del líquido de la laguna, asegurando una distribución más uniforme de la DBO, oxígeno disuelto, bacterias y algas y por lo tanto un mejor grado de estabilización del agua.

Los sistemas de aireación forzada son útiles para resolver el tema de los olores de las zonas estancas pero tienen la desventaja del requerimiento de energía para su implementación. Los sistemas usados deben mantener una concentración de 2mg/L de oxígeno en la interfase agua-sedimento.

La aireación mecánica de la interfaz también ha demostrado ser útil para el desarrollo de las bacterias nitrificantes lo que lleva a una disminución del amonio y aumento del nitrato. La reducción de los nutrientes previene las floraciones de cianobacterias.

Los aireadores mecánicos consiguen la aireación mediante energía mecánica para provocar la ruptura del agua en gotas. El aumento de la transferencia de oxígeno se logra por incremento en el área de la interfase aire-agua.

Según el principio de funcionamiento se clasifican en:

- **Neumáticos:** inyectan oxígeno o aire comprimido directamente en el agua
- **Pulverizadores:** Dispersan el agua en el aire, permitiendo el intercambio de gases del agua con el oxígeno del aire. Dentro de estos se encuentran las estructuras tipo cascada que no requieren energía externa o los dispositivos de chapoteo mecánico que si la requieren

Según su posición en la columna de agua, pueden ser:

- **Aireadores superficiales**, como los tambores rotativos, los aireadores de paleta, fuentes y burbujeadores
- **Aireadores sumergidos**, como los difusores de burbujas, Venturi y conos de aireación

B.1.: Pulverizadores -Aireadores superficiales

La aireación artificial ha tenido una gran aplicación sobre todo en sistemas lénticos, ya que sus altos tiempos de retención hidráulica los predispone a la acumulación de nutrientes y ausencia de oxígeno.

En 2013, para la restauración del lago Góreckie en Polonia se implementaron aireadores de rocío basados en el uso de energía obtenida de la Turbina eólica del tipo Savonius para la difusión de gases, es decir, para la aspersión de agua, donde el H₂S y otros gases son reemplazados por oxígeno. En este caso la restauración del cuerpo de agua dulce, de 100 ha y una profundidad de 8 a 16 m, ubicado dentro de un parque mostró

que el agua que fluye a través del aireador pudo absorber hasta siete veces más oxígeno y la eficiencia dependió de la velocidad del viento, (Podsiadłowski S., *et al*, (2017).

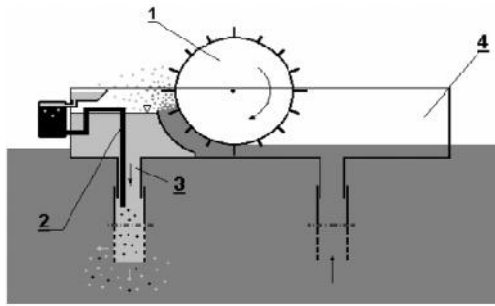


Fig. 2. Pulverizing aerator with a phosphorus inactivation system: 1 impeller, 2 coagulant dispenser, 3 pressing section, 4 suction section (acc. to Osuch and Podsiadłowski, 2012).



Figura 9. Sistema de Aireación Superficial mediante Turbina Eólica

La ventaja de un sistema montado sobre una balsa permite el traslado dentro de la laguna.

Aireadores Sumergidos: Difusores de Burbujas

Su funcionamiento se basa en el uso de un motor que hace girar un eje que succiona aire del ambiente y lo inyecta en el agua, generando un efecto tipo Venturi.

Dentro de las ventajas se puede mencionar la generación de un buen rango de circulación de agua vertical, fácil instalación y generalmente presentan poco mantenimiento. Como desventaja se debe considerar el costo debido al alto consumo de energía (Piñeros-Roldan, A. J. *et al*, 2020), aunque se puede evaluar la alimentación mediante paneles solares.

A la hora de su implementación deben tenerse en cuenta las condiciones del ambiente (salinidad), siendo más adecuadas las cañerías en PVC y accesorios tipo Venturi como los utilizados en Piscicultura.

Los aireadores tipo Venturi también tienen la ventaja de ser autoaspirantes, disipan los gases disueltos, impulsados con bombas electrosumergibles y cuya actividad se suspende cuando la aireación es impulsada por los vientos.

La oxigenación puede ser una herramienta de restauración efectiva para disminuir la carga interna y las concentraciones de fósforo, amonio y olores molestos. Es más probable que la oxigenación sea eficaz para la reducción de nutrientes cuando se implementa como un plan integral que incluya la reducción de aportes antropogénicos externos. Si los aportes antropogénicos son superiores a la reducción de nutrientes que se logra mediante la aireación, la misma pasa a ser una estrategia de mantenimiento y no un método de restauración. (Preece *et al*, 2019).

Si se logran niveles ligeramente aceptables de oxígeno en la laguna la misma podría eventualmente abatir alguna carga orgánica de aguas residuales tratadas deficientemente o no tratadas ante emergencias, sin cambiar su calidad.

7.2.2. Biomanipulación

La biorremediación es un área de la biotecnología ambiental que utiliza organismos vivos como plantas, hongos y microorganismos para mejorar la calidad de ambientes contaminados mediante procesos de degradación.

Los organismos utilizados se alimentan de contaminantes y los degradan mediante reacciones de óxido reducción (Villota Meza T. D., 2014).

Los tratamientos biológicos convencionales utilizados para el tratamiento de aguas residuales tienen una baja remoción de la DQO en aguas residuales salinas, ya que la sal tiene efectos adversos sobre la flora microbiana causados por el cambio en la osmolaridad del medio. Otros efectos adversos que se ponen de



manifiesto son la baja reducción de la materia orgánica y el incremento de los sólidos suspendidos, lo que genera una reducción en la sedimentación y turbidez en el agua. Los protozoos también ayudan a reducir la turbidez en los tratamientos biológicos pero la salinidad reduce la actividad ya que no pueden sobrevivir.

Dado que en la zona no hay experiencia con este tipo de remediación, a continuación se enuncian métodos utilizados internacionalmente que podrían probarse localmente para la eliminación de sustancias orgánicas e inorgánicas extrañas al sistema natural que podrían existir en la laguna debido a la descarga de efluentes sin un tratamiento óptimo.

A- Biorremediación mediante Bacterias Tolerantes a la Sal

Las bacterias y otros microorganismos halófitos se caracterizan por vivir en ambientes hipersalinos acuáticos (mayores a 3,5% de sales totales), y es por esta capacidad que estos microorganismos han sido objeto de estudio para la remediación de aguas y suelos con concentraciones altas de sal.

Existen ensayos experimentales que ha llevado a cabo el tratamiento de aguas residuales salinas sintéticas usando cultivos microbianos diferentes

Los resultados obtenidos mostraron que el rendimiento en la tasa de degradación de DQO se incrementaba el 80-90% cuando el tratamiento del efluente se realizaba mediante un lodo suplementado con una bacteria halófila (*Halobacter halobium*) y al incrementar las concentraciones de sal (Abou-Elela, S. *et al*, 2010).

El cultivo bacteriano encargado de la depuración se puede incorporar en forma de biopelícula adherido a soportes de alta superficie como los empleados en sistemas de tratamiento MBBR (Reactor Biológico de Lecho móvil)

Si bien estas metodologías se encuentran descriptas en la literatura, las mismas se han realizado en escala de laboratorio debido a su complejidad, motivo por el cual se deben implementar en pequeña escala para luego transferir la experiencia al sitio real.

B- Biorremediación mediante Microinvertebrados acuáticos autóctonos

Haciendo uso del microcrustáceo camarón de salmuera *Artemia sp* que tiene como una de sus principales características el de ser filtradores no selectivos, que hace posible la disminución de carga de materia orgánica en suspensión la cual favorece en la reducción de la turbidez y disminución de microorganismos de las aguas contaminadas.

Debido a su enorme capacidad de regular su presión osmótica, la *Artemia sp* soporta niveles de salinidad de más de 220 mg/L. Es notable también su capacidad de absorber el poco oxígeno disuelto en el agua salina.

Su alimentación consiste esencialmente de microalgas que se encuentran en medios hipersalinos naturales (algunas especies de *Chateoceros*, *Dunaliella*, *Tretaselmis*, *Oscillatoria*, *Chlorella*, etc.), pero también absorbe partículas de detritos ricos en bacterias halófilas (*Pseudomonas*, *Halobacterium*, *Acinetobacter*, etc.) y también conjuntos de alimentos microparticulados (levadura, salvado de arroz, soja, maíz, etc.) como los que se emplea para cultivos intensivos.

Esta experiencia podría usarse como puntapié para biorremediar la laguna sembrando *Artemia salina* como paliativo para solucionar la afectación del cuerpo de agua (Carrera *et al*, 2018; Sheen Hernández, J. M. E., 2020), sabiendo que requiere de un monitoreo constante y de personal entrenado.

7.2.3. Dragado de sedimentos

La dominancia de los procesos de sedimentación en la laguna debido a la profundidad y los tiempos de residencia hidráulica relativamente largos son factores que contribuyen a la colmatación del fondo, disminuyendo el volumen disponible de agua con concentraciones de oxígeno que favorezcan los fenómenos de autodepuración.



La acumulación de lodos en la laguna puede afectar su rendimiento por la disminución del volumen efectivo y el cambio de forma del fondo ya que se altera la hidráulica del reservorio. Por lo tanto, la eliminación periódica de lodos suele ser inevitable y la sostenibilidad a largo plazo dependerá de su gestión segura y eficaz, siendo necesario evacuar la situación cada 5 a 10 años.

La disposición adecuada de los lodos de fondo, constituye un verdadero problema ambiental debido a que generalmente, son reactivos por cianuros y por sulfuros, como resultado de la oxidación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, que suele involucrar reacciones de reducción de sulfatos orgánicos, por acción de las bacterias desulfobrio (Metcalf y Eddy, 1995). Adicionalmente, estos lodos pueden contener organismos patógenos y contaminantes, un amplio rango de metales pesados y altas concentraciones de sales solubles que pueden afectar negativamente las propiedades del suelo, por esta razón se consideran peligrosos y requieren de tratamiento. Dentro de las formas más conocidas de dragado se puede considerar el dragado mecánico y el dragado hidráulico.

A- Dragado mecánico:

Se realiza mediante una excavadora, requiere equipamiento de soporte para transportar los lodos. Los proyectos de dragado mecánico generalmente se encuentran cerca de una costa o estuario siendo un agente de perturbación antropogénica a gran escala que puede afectar profundamente la calidad del agua y la estructura de las comunidades de zooplancton.

B- Dragado hidráulico:

Consiste en el bombeo del lodo mediante un equipo no tripulado. El sistema de avance permite un vaciado secuencial de los lodos, el cual podría acoplarse a cualquier sistema de deshidratación de barros (filtros, centrífugas, geofomas filtrantes)

Dentro de las ventajas se puede considerar la transferencia del lodo a una geofoma filtrante la cual consiste en bolsas de material geotextil tejido de polipropileno altamente resistente a la degradación biológica y química, cuyo lixiviado se puede reingresar a la laguna.

En estudios realizados sobre cuerpos de agua dragados se demostró que los niveles de Fósforo total, clorofila y Transparencia por disco Secchi disminuían mientras que las concentraciones de Nitratos, Sólidos Totales disueltos y Conductividad se incrementaban significativamente (Jing, L *et al*, 2015).

La resuspensión de sedimentos después de la perturbación generalmente provoca una rápida liberación de nutrientes a la columna de agua. El incremento de la conductividad y los STD podría indicar la resuspensión de metales en partículas (p. Ej., Ca, Mg, Na, K, Ba, Fe, Sr y su liberación del sedimento a la fase acuosa.

En cuanto al efecto sobre las comunidades bióticas, luego del dragado se observó una disminución de los rotíferos (indicadores efectivos de cambios ambientales) y aumento de los crustáceos, dado que los primeros son más sensibles a los cambios en los nutrientes.

Es de esperar que la mineralización disminuya después del dragado debido a la alteración de las comunidades microbianas y bentónicas.

Deben evaluarse las tasas de sedimentación previa a la operación, ya que los fondos podrían colmatarse en períodos breves nuevamente. Deben tenerse en cuenta también: los costos de la operación, el área destinada a la disposición de los lodos de acuerdo con el volumen generado y la gestión de los mismos previo a su disposición final. No debe omitirse el tratamiento de las aguas de retorno generadas a partir de los barros.

7.3. Confección de planes directores de gestión

El Plan Director parte de un análisis de la situación inicial de la laguna y tiene la misión de definir y dar prioridad a las acciones y a las políticas que deben adoptarse para minimizar los impactos a los que está expuesta, materializados en programas operativos



7.3.1. Programas de Control Ambiental

7.3.1.1. Control del perfil de lodos de la Laguna

Como parte del programa de control de la laguna también se podría instrumentar la evaluación del perfil de lodos, ya que los sedimentos pueden preservar el registro de las variaciones temporales de la entrada de contaminantes por acción antrópica, deposición atmosférica, captación de escorrentías, ingreso y vertido de efluentes provocando modificaciones de la columna líquida en ciertas zonas dependiendo de condiciones la hidráulicas.

También es recomendable realizar una batimetría.

7.3.1.2. Control y visualización de la aireación que recibe la laguna, aspecto, coloraciones

La inspección visual de la laguna podría proporcionar información relativa a la forma en que está operando. Algunos de los indicadores cualitativos más importantes en el funcionamiento y estabilidad del sistema son el color, la observación al microscopio de los organismos y el olor.

La emisión de malos olores normalmente es causada por sobrecarga de la laguna, el aumento repentino en la carga orgánica, los cambios en la composición del agua residual o el desarrollo de condiciones anaerobias. Generalmente, provienen de los depósitos de lodo flotante y de la vegetación en putrefacción de la propia laguna.

Cuando la laguna funciona correctamente es de esperar una coloración verde oscura brillante, debido a la producción de oxígeno por acción de las algas, que utilizan la luz solar como fuente de energía (CONAGUA, 2007); altas concentraciones de OD y pH mayor a 8 y ausencia de malos olores.

La presencia de insectos o larvas de insectos en la laguna, indica un mantenimiento pobre y una mala circulación.

7.3.1.3. Volumen de lodos

Para estimar la profundidad y calcular el volumen de lodos de la laguna, se requiere de la medición anual de la profundidad de lodos en al menos 5 puntos.

7.3.1.4. Recuperación de la ribera.

Las tareas a realizar involucran el desmalezamiento, retiro de residuos y limpieza de las márgenes de la laguna. Posteriormente se podría implementar una cubierta vegetal con especies autóctonas adaptadas a las condiciones ambientales locales: bajas temperaturas, elevadas amplitudes térmicas, fuertes vientos y sequía primavera-verano.

Dada la diversidad de aves existentes el sitio podría ser declarado como una Reserva Urbana.

Desde el año 2010 existe un proyecto de recuperación y limpieza del sector para generar un área para el desarrollo de actividades deportivas y sociales; aunque esto podría afectar el ecosistema actualmente establecido.



Figura 10. Proyecto Golf Club Rada Tilly. <https://radatillygolfclub.blogspot.com>

7.3.1.5. Seguimiento y estimulación del desarrollo de la fauna de invertebrados

La composición específica del zooplancton puede ser un excelente criterio para caracterizar el estado trófico de los sistemas acuáticos y para deducir la estructura de las comunidades acuáticas. Las diferencias en el estado trófico se manifiestan claramente en la estructura de la comunidad zooplanctónica y en las relaciones zooplancton-fitoplancton (Conde-Porcuna *et al*, 2004).

Es de esperar un incremento en el zooplancton a medida que se restauran las condiciones de la laguna.

7.3.1.6. Programa de vigilancia ambiental para prevenir arrojados de residuales líquidos y sólidos de cualquier naturaleza, no autorizados.

La colocación de cercos perimetrales evitaría el ingreso para el arrojado de residuos y escombros.

Para favorecer la restauración del cuerpo de agua debería evitarse la incorporación de efluentes cloacales sin tratamiento, el desalojo del excedente de barros proveniente de los sedimentadores y el vertido de efluentes líquidos y sólidos no autorizados cualquiera sea su naturaleza.

7.3.1.7. Control de Parámetros de Calidad y Parámetros de vertido

Con el objetivo de evaluar el impacto antrópico sobre el recurso hídrico se propone la valoración de la calidad del agua mediante unos pocos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

- A. **Oxígeno Disuelto**, para conocer el nivel de oxigenación de la laguna;
- B. **Recuento de coliformes totales y coliformes fecales** tendientes a establecer la relación de los mismos.
- C. **Recuento de Enterococos fecales**, dada su mayor supervivencia en aguas saladas y como complemento de la relación planteada en B.
Estos recuentos microbiológicos (ítems B y C) permiten discernir acerca de la naturaleza de la carga orgánica (WHO, 1993)
- D. **Conductividad**: para evaluar el efecto de dilución por aguas dulces.

Todos los parámetros responden a los muestreos en puntos sugeridos en 6.1.2

Asimismo, en el caso de requerirse el desalojo del volumen del cuerpo de agua, se deberían considerar los parámetros de calidad para vertidos según lo establecido en el Decreto 1540/16, en canalización a la salida de la laguna y en vertido en el receptor.

8. TECNICAS APLICADAS AL ANÁLISIS FORENSE

La aplicación del análisis forense ambiental a un sitio determinado facilita la obtención de conclusiones sobre su origen y evolución. Con el fin de exponer ejemplos de sus usos se aplican a continuación herramientas satelitales y técnicas analíticas forenses.

8.1. Historia del sitio

El análisis de imágenes satelitales a través del programa Google Earth permite acceder al historial del sitio en estudio desde el año 2003, ya que aloja escenas tridimensionales del mundo real.

A medida que se fue produciendo el crecimiento demográfico de la ciudad, aumenta el aporte de agua tratada a la laguna de estabilización, la cual va incrementando su superficie significativamente. A continuación se observan imágenes cronológicas de su historial.

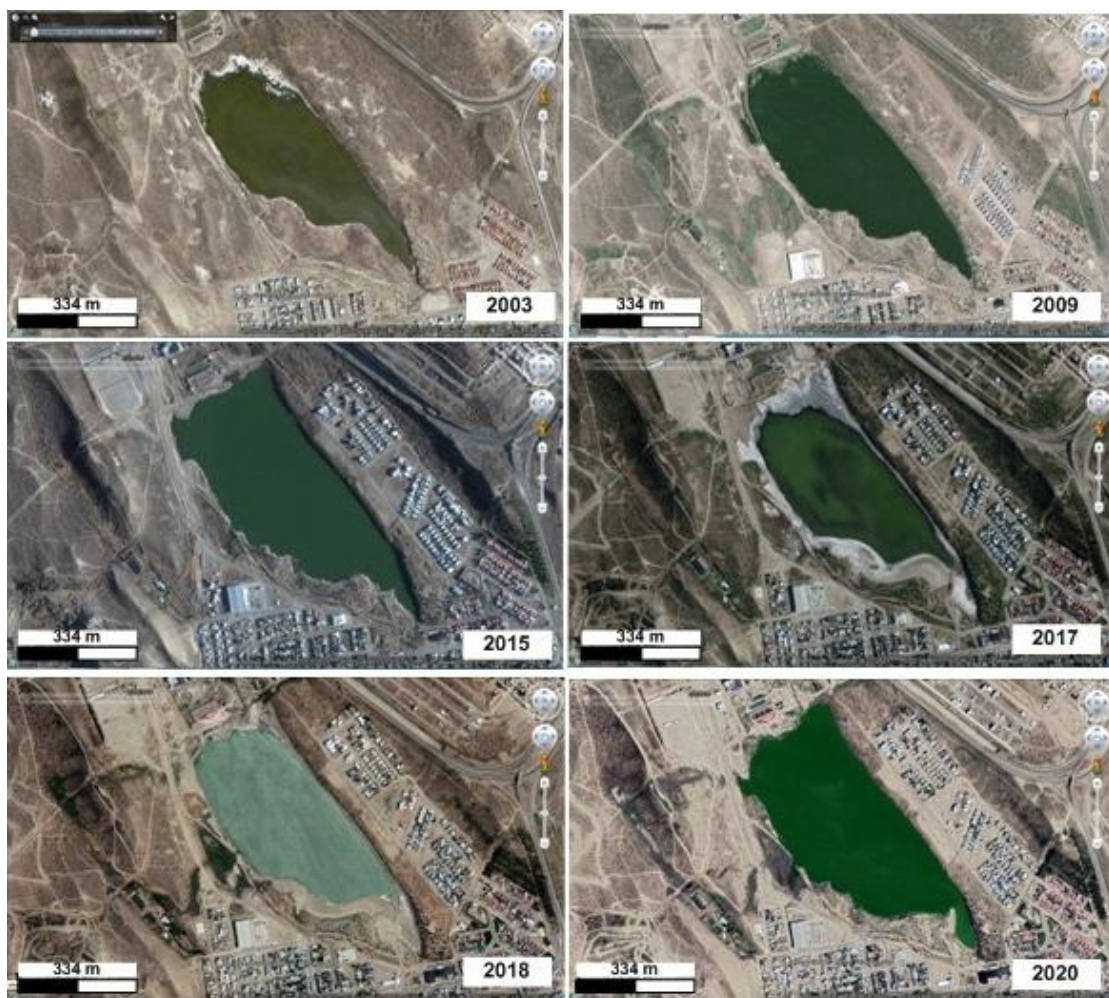


Figura 11. Comparación de la evolución del volumen de la laguna

En las imágenes satelitales puede observarse el incremento del tamaño del espejo de agua con el transcurso de los años. La fotografía registrada en marzo de 2003, luego del período estival evidencia un área de menores dimensiones y la eflorescencia salina en los márgenes que podría atribuirse a fenómenos de evaporación.

En 2009 y 2015 las fotografías se registraron en el mes de noviembre y julio respectivamente y muestran el incremento del área ocupada.



La disminución del volumen en el año 2017 se produjo por el desalojo del volumen de agua de la laguna posterior al evento pluviométrico extraordinario ocurrido en marzo 2017 y colapso de la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales.

A pesar de ello se observa una recuperación importante del área de la laguna para febrero de 2018.

La última foto registrada en marzo 2020 muestra un crecimiento importante de sus márgenes, lo que generó la necesidad de proponer un nuevo vaciamiento.

8.2. Técnicas analíticas forenses

El objetivo principal de la evaluación forense del espejo de agua es determinar cuál ha sido su origen natural y cuál es la posible afectación que ocasionan las descargas para conocer de qué forma y en que rango los distintos contaminantes se han dispersado en el ambiente.

Las técnicas forenses propuestas permiten discriminar si la presencia de nutrientes y microorganismos se deben al proceso natural de eutrofización o si el aporte de aguas residuales total o parcialmente tratadas está contribuyendo con este fenómeno

La mayoría de las pautas de calidad del agua se centran en la presencia de bacterias coliformes totales y termotolerantes, *Escherichia coli* y enterococos, las cuales se encuentran tanto en el hombre como en animales homeotermos, pero existen otros trazadores químicos que permiten vincular las sustancias contaminantes encontradas con sus fuentes de origen y así discriminar el origen de las fuentes.

Además de los trazadores, las técnicas isotópicas permiten resolver distintas cuestiones entre las que podemos enumerar: discriminación de fuentes, detección de procesos de degradación y transformación, detección de procesos de atenuación natural, identificación de vías metabólicas o mecanismos de transformación, entre otros.

8.2.1. Trazadores

Se han propuesto una serie de trazadores químicos y biológicos diferentes para identificar posibles fuentes de contaminación antrópica.

La utilización simultánea de varios marcadores ofrece una mejor discriminación entre las fuentes y herramientas más adecuadas para rastrear el transporte y el destino de los contaminantes orgánicos en los ecosistemas acuáticos.

8.2.1.1. TRAZADORES QUÍMICOS:

Esteroles:

Los esteroles son componentes estructurales de las células y la mayoría de los organismos los sintetizan. En humanos y otros animales superiores, el colesterol es biohidrogenado por la microflora intestinal para formar 5 β -coprostanol (Murphy B., Morrison R., 2005).

El 5 β -coprostanol se ha identificado en material no fecal derivado de otros organismos, como algas y bacterias, a pesar de ello se ha utilizado como indicador de las aguas residuales humanas en aguas marinas y aguas superficiales.

Es posible determinar el grado de tratamiento o la edad del efluente usando un isómero del 5 β - coprostanol el cual se convierte en epicoprostanol por acción bacteriana.

A pesar de que se degrada en condiciones óxicas, puede resistir relativamente inalterado durante muchos años en sedimentos anóxicos

El epicoprostanol, un isómero de coprostanol, puede usarse como un indicador del nivel de tratamiento de la materia fecal porque se forma durante el tratamiento anaeróbico de aguas residuales.



El uso combinado de las relaciones 5β -coprostanol/colesterol y epicoprostanol/ 5β - coprostanol nos permite determinar la dimensión de la contaminación, el grado de tratamiento del efluente vertido y si la contaminación es actual o pasada.

- **Esteroles Totales:**
Este método está basado en la saponificación de la materia orgánica. Debido a la baja solubilidad, estos compuestos se encuentran distribuidos en la fase sólida de la materia orgánica.
- **Esteroles libres:**
La concentración de los esteroles libres es significativamente menor que la de los compuestos unidos por lo tanto, pueden requerirse tamaños de muestra mayores.

Los esteroles derivatizados se inyectan en un Cromatógrafo Gaseoso con detector de masas (GC-MS) (Murphy B., Morrison R., 2005)

COMPUESTO	PESO MOLECULAR	(m/z)	Marcador potencial para
5β -coprostanol	460	370	Materia fecal animal
Epi-coprostanol	460	370	Aguas residuales tratadas o efluente fecal viejo
Colesterol	458	329	Fauna(ingresos naturales y antropogénicos)
5α -colestanol	460	370	Reducción in situ de colesterol
24-ethylcoprostanol	488		Materia fecal de herbívoros
B-sitosterol	486	396	Plantas terrestres

Tabla 8. Marcadores de Esteroles (como éteres de Trimetil silano) de aguas residuales

El valor de referencia del coprostanol se puede establecer a partir de la fuente de aporte, es decir utilizando muestras de la planta de tratamiento de aguas residuales y luego comparar el efecto de dilución que se produce en la laguna e inclusive en el agua de mar.

Ácidos grasos

Los ácidos grasos están presentes en todos los organismos vivos y a menudo comprenden el componente lipídico más grande en muestras ambientales.

El uso de estos compuestos en el rastreo de aguas residuales puede ocurrir de varias maneras diferentes.

Los ácidos grasos presentes en las bacterias, son diferentes a las que se encuentran en animales y plantas. Los microorganismos bacterianos no contienen ácidos grasos poliinsaturados a diferencia de las plantas superiores y animales, donde son comunes.

En los organismos superiores la síntesis de AG se realiza a través de la enzima ácido graso sintasa, utilizando Acetil CoA como precursor. Las bacterias pueden usar otros precursores, lo que genera cadenas carbonadas impares. También pueden existir cadenas ramificadas iso y anteiso.

Alquilbencensulfonato (LAS) y surfactantes

Los tensioactivos y detergentes son muy utilizados tanto en hogar como en la industria; se usan como detergentes domésticos, en productos para el cuidado personal como cosméticos y productos farmacéuticos y en diferentes formulaciones industriales tales como el procesamiento de textiles y fibras; minería, floculación y producción de petróleo; producción de pinturas, plásticos y lacas; industria de alimentos; industria de pulpa y papel; industria del cuero y pieles; y agricultura (González *et al*, 2004). Pasan con todos los demás materiales a las aguas residuales, donde pueden degradarse.



Los compuestos resistentes y/o sus productos de degradación pueden encontrarse en el efluente o concentrarse en el lodo. Los compuestos estudiados con mayor frecuencia son el alquilbenceno sulfonato lineal (LAS) y el polietoxilato de nonilfenol.

Los LAS ingresan en los ecosistemas acuáticos con los efluentes domésticos, como residuos en productos de limpieza y detergentes.

8.2.1.2. TRAZADORES BIOLÓGICOS

Varios microorganismos presentes en las descargas fecales ofrecen la posibilidad de distinguir entre fuentes

Se adoptan 3 enfoques:

Metodología de Especiación, basada en los hallazgos de que especies particulares pueden ser indicativas de fuentes humanas o animales, incluyen ensayos para *Bacteroides fragilis* y fagos de Bacteroides, colífagos de ARN F-específicos, especies de *Bifidobacterium*, *Rhodococcus coprophilus* y virus entéricos humanos.

Metodología Fenotipificación: incluyen perfiles de resistencia a antibióticos múltiples (MAR) de *E. coli* y estreptococos fecales.

Metodología de genotipificación: incluyen ribotipado (RT), electroforesis en gel de campo pulsado (PFGE), perfiles de PCR repetitiva y finalmente detección de marcadores moleculares específicos del huésped. Algunos autores los consideran más confiables que las reacciones bioquímicas fenotípicas.

Escherichia coli y Estreptococos fecales:

Escherichia coli se encuentra exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente. Métodos recientes basados en determinantes antigénicos pueden ser útiles para diferenciar entre *E. coli* de fuentes humanas y animales.

El término "estreptococos fecales" es una definición que describe los estreptococos asociados con el tracto gastrointestinal del hombre y de los animales. La taxonomía de los estreptococos ha sufrido cambios importantes y se ha dividido en tres nuevos géneros: Lactococcus, Enterococcus y Streptococcus. Las especies intestinales o fecales pertenecen principalmente a los géneros Enterococcus o Streptococcus y todos poseen el antígeno del grupo D de Lancefield.

Las aguas residuales humanas se caracterizan por un predominio de enterococos (p. Ej., *E. faecalis* y *E. faecium*). *Streptococcus bovis* y *S. equinus* son los estreptococos predominantes en las heces de vacas y caballos, respectivamente

Otro enfoque se basa en la relación coliformes fecales: estreptococos fecales (FC / FS). Las heces humanas contienen un mayor número de FC, mientras que las heces de los animales contienen niveles más altos de FS. Una proporción mayor a 4 sugiere un efluente de aguas residuales cuya fuente de contaminación es humana, mientras que una proporción menor a 0,7; animal.

Bacteriófagos y virus Humanos

Los bacteriófagos son virus que infectan exclusivamente bacterias, contienen una cápside y su genoma puede ser ADN o ARN. Debido a su similitud física y genómica con los virus entéricos humanos, a su abundancia en aguas residuales y a que son fácilmente detectables mediante métodos sencillos, varios bacteriófagos han sido sugeridos como indicadores virales.

Estos incluyen colífagos somáticos y colífagos F específicos, que infectan *Escherichia coli* y otras especies emparentadas, y bacteriófagos que infectan *Bacteroides fragilis* (Barrios, 2019)

Aunque la calidad microbiológica del agua y efluentes industriales y cloacales se evalúa con indicadores bacterianos, se ha demostrado que otros agentes patógenos como los virus y protozoos presentan mayor resistencia a procesos de desinfección y una mayor estabilidad en el ambiente que las bacterias, por su



constitución bioquímica y estructural. Es decir, que un agua que cumpla adecuadamente con los parámetros bacterianos aún podría contener virus.

8.3. Isotopía en el estudio de las aguas superficiales

El núcleo atómico de un elemento que contiene diferente número de neutrones recibe el nombre de isótopo. Con mediciones suficientemente precisas como las de los espectrómetros de masa, se observan pequeñas diferencias en el comportamiento químico y físico de los compuestos isotópicos. El fenómeno que hace que estas diferencias isotópicas se produzcan recibe el nombre de *fraccionamiento isotópico*.

La utilización de técnicas isotópicas en el estudio de sitios contaminados, permite identificar el origen de la contaminación, cuantificar la eficacia de la remediación, determinar rutas metabólicas o procesos de transformación y evaluar la atenuación natural en un sitio determinado, entre otros.

En la última década, la Espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS), en combinación con técnicas cromatográficas mejoradas, ha proporcionado avances en diversas áreas de la ciencia forense, incluidas las técnicas de preparación de muestras que han permitido una discriminación más confiable o significativa entre muestras (Matos, M. P., & Jackson, G. P., 2019).

8.3.1. Isotopía del H y del O

En general los isótopos en hidrología se utilizan como trazadores o como indicadores de la edad de un cuerpo de agua. Cuando se utilizan los isótopos estables como trazadores, la característica diferenciadora es la diferencia de la masa molecular entre la sustancia y su trazador. La desintegración radioactiva también ofrece la posibilidad de determinar el tiempo de residencia del agua en el sistema, que, bajo unas determinadas condiciones, se denomina edad o tiempo de tránsito (Mook, 2002).

En la naturaleza existen dos isótopos estables del hidrógeno (^1H -protio y ^2H -deuterio (D)) y tres isótopos estables del oxígeno (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O). De las nueve moléculas de agua isotópicamente diferentes sólo H_2^{16}O , H_2^{18}O y $^1\text{HD}^{16}\text{O}$ se originan en la naturaleza en concentraciones cuantificables. La concentración isotópica o las relaciones de las abundancias generalmente se refieren a las de un estándar específico escogido.

El estándar internacional para la medida de las relaciones $\text{D}/^1\text{H}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ es un agua de mar que se denomina SMOW (Viena - Estándar Mean Ocean Water).

Las propiedades de los diferentes isótopos de un mismo elemento son muy similares, pero las pequeñas diferencias de movilidad iónica, tensión de vapor, difusividad, etc, hacen que el agua natural tenga ligeras diferencias de composición isotópica según su origen en el ciclo hidrológico.

Así, el agua de mar es más pesada o enriquecida en HD^{16}O y HD^{18}O que el agua dulce, mientras que el vapor de agua de mar es más ligero o enriquecido en H_2^{16}O respecto al agua de mar de la que es originario.

A partir del muestreo del agua de lluvia de todo el mundo, se puso de manifiesto que la dispersión de la mayor parte de los valores no era muy grande y que se ubicaban a lo largo de una recta, llamada Recta Meteorica Mundial.

Para el caso particular de los cuerpos de aguas superficiales, la evaporación es un proceso de no equilibrio que enriquece el agua residual en isótopos pesados. Al aumentar la salinidad disminuye la presión de vapor y las moléculas de agua pierden movilidad al quedar sujetas a la esfera de hidratación de los iones, dificultando el intercambio isotópico en el equilibrio agua vapor.

En la recta $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras analizadas junto con la recta meteorica global (Figura 12) y la Tabla 9 que se muestra a continuación, se puede observar que las muestras correspondientes a la laguna de Rada Tilly en inmediaciones de la depuradora cloacal de esa localidad M7 y M8, presentan el mayor enriquecimiento isotópico de todo un conjunto de muestras estudiadas durante el monitoreo realizado en las zonas aledañas a Comodoro y Rada Tilly en el marco de la caracterización hidroquímica e isotópica de aguas superficiales, cuerpos lagunares y suelos salinizados de la cuenca costera (Pérez B. *et al*, 2014); tomando como referencia el Standart Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW)

	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
Pérez <i>et al</i> , 2014- M7	-1*	-27*
Pérez <i>et al</i> , 2014- M8	-1,2*	-28*
Patagonia Fm. (Levin, 1988)	-9,4	-78,7
Acuífero Freático (Pérez <i>et al</i> , 2014)	-5*	-48*
Agua de mar (Levin, 1988)	-2,1	-2,4
Acueducto	-5,7	-52,1

Tabla 9. Composición isotópica de las aguas de distintas fuentes

(* Datos estimados a partir de la curva de la Figura 8.2)

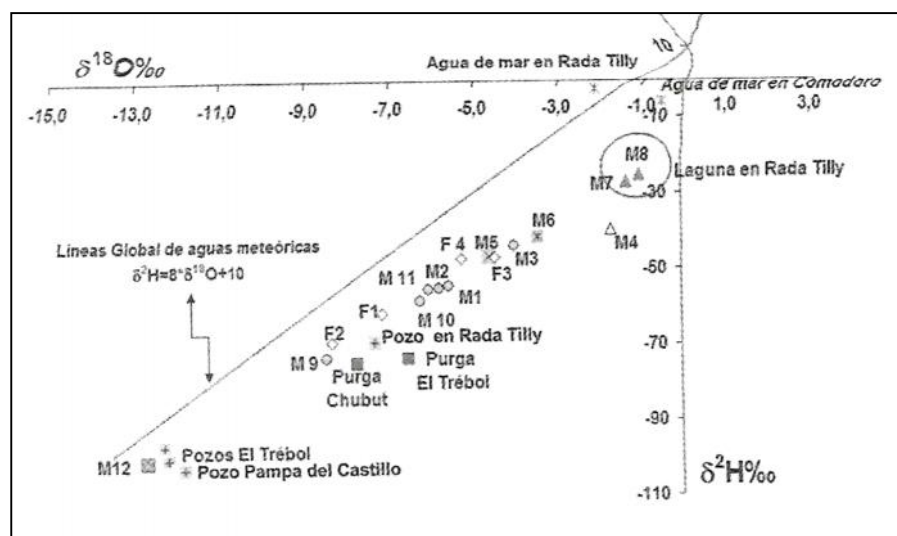


Figura 12. $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ de las muestras analizadas junto con la recta meteórica global (Pérez *et al*, 2014)

8.3.2. Isotopía del nitrógeno

El nitrógeno presenta dos isótopos estables: ^{14}N y ^{15}N . El contenido en ^{15}N de una sustancia se expresa como su desviación isotópica, $\delta^{15}\text{N}$, respecto al estándar del aire atmosférico.

El nitrógeno procedente de efluentes ganaderos o de fosas sépticas o redes de alcantarillado, al proceder de amonio el cual ha sufrido procesos de volatilización importantes, tiene valores de $\delta^{15}\text{N}$ isotópicamente más pesados, con valores comprendidos entre 10 y 20‰ y la $\delta^{18}\text{O}$ del nitrato, suele presentar valores inferiores (0 a 7‰) al de los fertilizantes, ya que generalmente procede la nitrificación de los compuestos amoniacales nitrificados a partir del oxígeno del agua y atmosférico (Otero *et al*; 2009)

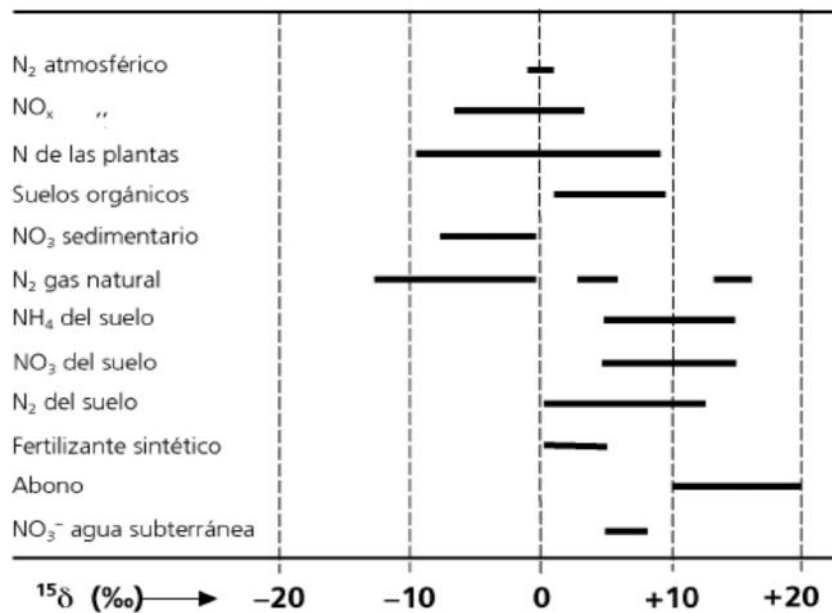


Figura 13. Variaciones en la $\delta^{15}\text{N}$ de los compuestos de nitrógeno en diferentes materiales naturales y compuestos antrópicos (Mook, 2002)

La composición isotópica estable de nitrógeno de los organismos se aplicó por primera vez en el campo de las biogeociencias hace más de medio siglo. Miyake y Wada (1967) informaron por primera vez que los animales marinos incorporan preferentemente ^{15}N en relación con ^{14}N durante el procesamiento metabólico del nitrógeno en la dieta.

La composición isotópica de nitrógeno de los organismos proporciona un enfoque único para describir sus hábitos alimenticios, un fenómeno ecológico a macroescala, porque el enriquecimiento de ^{15}N durante la transferencia trófica integra una serie de procesos bioquímicos que acompañan el fraccionamiento isotópico durante el metabolismo del nitrógeno.

El nitrógeno en un organismo está contenido predominantemente en proteínas, que son largas cadenas de aminoácidos (AA) unidas por enlaces peptídicos. En consecuencia, el enfoque del análisis isotópico de los AA se basa en el hecho de que la composición isotópica de nitrógeno de los AA individuales en la materia orgánica refleja el fraccionamiento isotópico asociado al metabolismo del nitrógeno.

El valor $\delta^{15}\text{N}$ de un organismo refleja inherentemente la composición isotópica de las fuentes de nitrógeno inorgánico (por ejemplo, nitrato, nitrito, amoníaco y urea) asimiladas por los productores primarios en la base de la red alimentaria (Ohkouchi *et al*, 2017).

Se utilizaron isótopos estables para revelar las fuentes de nitrato-nitrógeno en la escorrentía de aguas pluviales residenciales urbanas. La compilación de datos de más de 1500 cuencas hidrográficas europeas para investigar las principales causas subyacentes a la propagación histórica de la hipoxia en los lagos europeos, y descubrieron que la hipoxia desencadenada antropogénicamente en los lagos europeos fue causada principalmente por una mayor descarga de fósforo (P) de fuentes puntuales urbanas (Yang *et al*, 2020)



9. SINTESIS DIAGNÓSTICA

Varios estudios se han centralizado en la caracterización hidroquímica e isotópica de la laguna, la cual ha variado en función del tipo de aportes que recibe naturalmente sumado a las interferencias de tipo antrópico. En base a ello se pueden consignar los aspectos relacionados con las reacciones que han tenido lugar en las aguas, como resultado de mezclas de diferentes aguas o la interacción agua-suelo.

El monitoreo realizado en las localidades de Comodoro Rivadavia y de Rada Tilly, ambas comprendidas en la zona de estudio de la Cuenca Costera del Grupo Sur de la Vertiente Atlántica, en el año 2014 por Pérez *et al*, arrojó ciertas semejanzas en la caracterización físico química entre el agua de la laguna de Rada Tilly y la de aguas entrampadas en zona del cordón forestal de Comodoro Rivadavia, correspondiendo a una clasificación de aguas Sulfatadas, Cloruradas, Sódicas siendo el catión predominante el Na⁺.

Debe destacarse que la concentración salina de la laguna en estudio se debe a sucesivos procesos de evaporación y concentración, y a su origen marino.

Asimismo el monitoreo realizado arrojó también semejanzas en la composición isotópica correspondiendo a aguas enriquecidas isotópicamente, con concentración de sales por evaporación, y a la presencia en las márgenes de la laguna de sales thenardita (Na₂SO₄) y halita (NaCl).

En relación a la composición química de la laguna, las fluctuaciones de salinidad, unidas a la composición mixta de las aguas, dan lugar a equilibrios de complejidad variable asociados a patrones específicos de reciclado de recursos y organización de sus ecosistemas.

Los rasgos abióticos condicionan el estado de mineralización de la laguna en estudio, lo cual influye sobre el desarrollo biótico en la misma. Esto se pone de manifiesto a través de los resultados encontrados por Pesci en 2011 y 2012, con una baja diversidad de especies de microalgas y la presencia de cianobacterias que indicarían un ambiente trófico. La elevada salinidad impide la supervivencia de especies vegetales que no estén adaptadas a esta condición. Pequeñas comunidades de microinvertebrados pertenecientes al orden decápodo y copépodo han demostrado su permanencia en el sitio como parte del zooplancton y la presencia constante de aves relacionadas a la disponibilidad de alimento.

Sumado a estas caracterizaciones y factores abióticos y bióticos la utilización de imágenes aéreas de distintos años permiten comparar los cambios morfológicos ocurridos y cuantificar las variaciones espaciales. Considerando la imagen del año 2003 como la base de información más antigua de la laguna es posible observar el aumento de sus márgenes, la variación estacional de la coloración y el aporte de sales en el contorno superficial durante los momentos en los que se produjo el desalojo de su contenido.

10. CONSIDERACIONES FINALES

De no existir un modelo de gestión adecuado, la falta de planificación junto a la expansión urbana hacia los alrededores de cuerpos de agua va provocando un continuo deterioro de los ecosistemas que hace necesario el diagnóstico ambiental para lograr la protección del recurso hídrico en el contexto de una planificación territorial y ambiental que garantice la utilización racional de los recursos naturales. A menudo las actividades antropogénicas perturban los ambientes acuáticos limitando su capacidad de autodepuración, lo que se ha traducido en una disminución del valor estético y recreativo de estos cuerpos de agua, restringiendo las alternativas de uso y limitando las actividades que los ciudadanos pueden hacer entorno a estos sistemas.

Por tratarse de una laguna urbana vulnerable a las distintas acciones antrópicas es propensa a que las concentraciones esenciales de las especies reactivas sufran una desviación dando lugar al proceso de contaminación ya sea por la disminución del oxígeno disuelto o el aumento de materia orgánica, clorofila, nitratos o fosfatos.



Si bien el ecosistema podría adaptarse para conservar su función depurativa, la misma puede verse alterada una vez que se supere su capacidad de carga, motivo por el cual a evaluación de la calidad del agua superficial es una estrategia significativa en la planificación y ordenamiento de los usos del suelo y en el establecimiento de medidas estructurales y no estructurales de gestión que tengan como objetivo minimizar el estado de degradación ambiental y mejorar la calidad de vida de la población asociada.

Dado que el cuerpo lagunar podría recepcionar el excedente de agua total o parcialmente tratada proveniente de la Planta de Efluentes debería tenerse en cuenta su capacidad de resiliencia y autodepuración para poder abatir una carga orgánica extraordinaria sin modificar su calidad, ya que los líquidos cloacales humanos tienen incidencia significativa sobre la salud de las personas y la calidad ambiental.

Por otro lado, debe ponerse en valor el área de la laguna, ya que la pérdida del espejo de agua podría tener repercusiones negativas sobre las especies que lo habitan, como determinadas plantas halófitas, invertebrados de ambientes salinos, flamencos y aves limícolas.

A partir de este análisis también se desprende la necesidad de evaluar la readecuación del sistema de reúso del efluente tratado, con el fin de disminuir los vertidos, elaborar un plan de control del nivel de la laguna de manera tal de realizar un adecuado seguimiento de la misma e implementar un Programa de control y monitoreo de la calidad del agua para dar cumplimiento al Decreto 1540/16 en el caso del desalojo de su contenido

En función del incremento de las aguas tratadas una vez modificada la Planta de tratamiento y eventos pluviométricos extraordinarios que generen la necesidad de evacuar el contenido de la laguna hacia el mar debido al aumento de las cotas deberían planificarse las obras necesarias para la construcción definitiva de un conducto de impulsión que elimine el impacto sobre la zona central de la playa.

La evolución planificada constituye una función básica de los poderes públicos orientada a resolver los conflictos en beneficio del interés común de forma concentrada entre los agentes socioeconómicos y en un horizonte temporal a largo plazo dónde tan importante como “lo que se debe hacer” es lo que “no se debe hacer” y dónde tan importante como resolver los problemas actuales es prevenir los potenciales.

Un mejor estado de la laguna podría contribuir al uso eficiente y sustentable del paisaje urbano, del recurso agua, y a largo plazo contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes.



GLOSARIO

Acuífero: rocas y terrenos que transmiten el agua con facilidad a través de sus poros y fracturas, por ejemplo la piedra caliza, arenisca y granito fracturado.

Acuitardo: formación geológica capaz de almacenar agua, pero cuya conductividad hidráulica es relativamente pequeña, por lo que transmite con lentitud el agua que contiene en sus poros y la cede tan lentamente que no puede por sí misma abastecer debidamente los pozos, aunque permite una recarga de acuíferos.

Adsorción: proceso físico y químico por el que una sustancia adsorbida se adhiere a la superficie de un sólido adsorbente

Alóctono: término utilizado para describir la materia orgánica que no es originaria del lugar en que se encuentra.

Anoxia: falta de oxígeno

Antropogénico: material, sustancia o contaminante que resulta de la actividad humana. Por lo general, la presencia de contaminantes antropogénicos tiene lugar debido a vertidos (accidentales o clandestinos) o derrames.

Albúfera: laguna litoral, en costa baja, de agua salina o ligeramente salobre, separada del mar por una lengua o cordón de arenas.

Autodepuración: proceso natural a través del cual los sistemas acuáticos reducen su contaminación, destruyendo las materias extrañas incorporadas al mismo. Incluye procesos físicos, químicos y biológicos, y se relaciona de manera directa con la disponibilidad de oxígeno en el sistema.

Bacteriófago: virus capaces de infectar de manera exclusiva a las bacterias. Utilizan las maquinarias biosintéticas de las bacterias para multiplicarse en su interior.

Batimetría: estudio de las profundidades del mar, lagunas o incluso cursos de agua.

Biocenosis: conjunto de organismos, vegetales o animales, que viven y se reproducen en determinadas condiciones de un medio o biotopo.

Bioensayo: ensayo en el cual el poder o potencia de una sustancia es medido a través de la respuesta de organismos vivos o sistemas vivientes.

Bioindicador (Indicador biológico): especies utilizadas para detectar la presencia y efectos de los contaminantes, estimar sus efectos o predecir los riesgos.

Bio-manipulación es la alteración deliberada de un ecosistema mediante la adición o eliminación de especies.

Biorremediación (o remediación biológica): proceso biotecnológico que utilice microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para recuperar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural.

Biotopo: unidad geográfica más pequeña de la biosfera o de un hábitat caracterizada por su biota que se puede definir con las fronteras convenientes.

Cadena De Custodia: proceso que permite el control y vigilancia de la muestra, desde que se toma en el punto de interés, se analiza en el laboratorio y se reporta el resultado. Asegura la rastreabilidad de la muestra.

Coliformes totales: bacterias que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae. Son bacilos Gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Pueden también ser encontradas en suelos, plantas o cualquier efluente conteniendo materia orgánica. El grupo coliformes está constituido por varios géneros: Escherichia, Enterobacter, Klebsiella, Citrobacter, principalmente.

Conductividad: capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos



Copépodos: son crustáceos más complejos que se pueden localizar tanto en aguas continentales como en aguas marinas, siendo mucho más abundantes y diversos en ambientes eutróficos y sistemas salinos.

Decápodos: suborden de crustáceos que poseen 5 pares de patas, ojos sobre pedúnculos móviles y los tres primeros pares de apéndices torácicos dispuestos para auxilio de la boca.

Emisarios: conducto cerrado, con flujo a presión utilizado para introducir los líquidos residuales en el mar.

Endorreico: área en la que el agua no tiene salida fluvial hacia el océano.

Ensayos Toxicológicos: Son pruebas empleadas para reconocer y evaluar los efectos de los contaminantes sobre la biota. En los bioensayos se usa un tejido vivo, organismo, o grupo de organismos, como reactivo para evaluar los efectos de cualquier sustancia fisiológicamente activa.

Escorrentía: agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.

Eutrofización: aumento de nutrientes en el agua, especialmente de los compuestos de nitrógeno y/o fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta.

Guano: abono natural creado a partir de excrementos de ciertos tipos de aves y murciélagos

Léntico: cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr, ni fluir.

Meristemas radiculares: Tejido a partir del cual se forma la raíz

Muestra simple o puntual: Muestra recolectada en un lugar y tiempo específico y que refleja las circunstancias particulares bajo las cuales se hizo la recolección.

Muestra integrada: Muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos o lo más cercanas posible.

Nauplio: primera larva característica de los crustáceos.

Organismos Patógenos: organismos capaces de producir enfermedades y daños a la salud.

Polimíctico: calificación que se aplica a los lagos cuyas aguas se mezclan vertical y completamente muchas veces al año.

Recta Meteorica Mundial: proyección de los valores de oxígeno (^{18}O) y deuterio sobre una recta. La recta surge a partir de muestrear el agua de lluvia de todo el mundo, ya que ambos isótopos están asociados a la misma molécula y son covariantes

Red trófica: conjunto de cadenas alimentarias de un ecosistema, interconectadas entre sí mediante relaciones de alimentación.

Resiliencia: capacidad de los ecosistemas de soportar perturbaciones sin alterar significativamente sus características estructurales y funcionales.

Salinidad: es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. Se puede expresar como mg/l de cloruros.

Termoclina: capa dentro de un cuerpo de agua donde la temperatura cambia rápidamente con la profundidad.

Tirante líquido: profundidad de la laguna

Zona hipolimnética: capa inferior de agua en los lagos estratificados que retiene la temperatura del invierno.

Zooplankton: fracción del plancton constituida por organismos microscópicos que flotan libremente en los sistemas acuáticos.



BIBLIOGRAFÍA

- Abou-Elela, S. I., Kamel, M. M., & Fawzy, M. E. (2010). Biological treatment of saline wastewater using a salt-tolerant microorganism. *Desalination*, 250(1), 1-5. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.03.022>
- Alfonso, M. B. (2018). Estructura y dinámica del zooplancton en una laguna con manejo antrópico: laguna La Salada (Pedro Luro. Pcia. de Buenos Aires). Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina
- APHA-AWWA-WPCF (1992) Métodos Normalizados para el Análisis del Agua Potable y Residuales. 17ª edición. Madrid-España. Días de los Santos S. A
- Ayres, R. M., Mara, D. D., & World Health Organization. (1996). Analysis of wastewater for use in agriculture: a laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques.
- Barrios, M. E. (2019). Herramientas virales para la detección e identificación del origen de la contaminación fecal en desechos industriales y aguas residuales domiciliarias. Buenos Aires. Argentina
- Batanero, G. L., León-Palmero, E., Li, L., Green, A. J., Rendón-Martos, M., Suttle, C. A., & Reche, I. (2017). Flamingos and drought as drivers of nutrients and microbial dynamics in a saline lake. *Scientific reports*, 7(1), 1-13.
- Baxter, B. K., & Zalar, P. (2019). The Extremophiles of Great Salt Lake: complex microbiology in a dynamic hypersaline ecosystem. *Model Ecosystems in Extreme Environments*. 57-99. Academic Press. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812742-1.00004-0>
- Biruk, L. N., Moretton, J. A., Filippetto, J., Etcheverry, J., Weigant, C., Fabrizio de Iorio, A. R., & Magdaleno, A. (2016). Evaluación genotóxica de sedimentos de la cuenca Matanza-Riachuelo bajo la influencia de distintos usos del suelo. *Acta Toxicol. Argent.* 24 (1), 33-47
- Brock, T. D., Madigan, M. T., & Abad, V. T. (1993). Microbiología. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Bucher, E. H., & Bucher, A. E. (2006). Limnología física y química. *Bañados del Río Dulce y Laguna Mar Chiquita (Córdoba, Argentina)*. Córdoba, Argentina: Academia Nacional de Córdoba, Argentina, 79-191.
- Chaoua, S., Boussaa, S., Khadra, A., & Boumezzough, A. (2018). Efficiency of two sewage treatment systems (activated sludge and natural lagoons) for helminth egg removal in Morocco. *Journal of infection and public health*, 11(2), 197-202. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2017.07.026>
- Calvachi, G.L.C., & Ortiz, I.A.S. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y salud*, 15(1), 72-88
- Campos, M.C., Beltrán, M., Fuentes, N., & Moreno, G. (2018). Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. *Biomédica*, 38(1), 42-53. Doi: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>
- Carrera, M. F., Robledo, T. G., & Galera, I. L. (2018). Biorremediando nuestros humedales Primera y Segunda Laguna de Caleta Olivia (Santa Cruz). *Memorias de las Cuartas Jornadas de Investigación Educativa y Terceras Jornadas de Práctica de la Enseñanza del Profesorado en Ciencias Biológicas de la FCEfyN de la UNC (2018)*, 22-23.
- Castrillo, E., Amoroso, A., & Griznik, M. (1984). Contribución al conocimiento geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut. *IX Congreso Geológico Argentino*, 393-406.
- Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente CCME (2001). Directrices de Calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática. Agua dulce y marina ISQG / PEL. Recuperado el día 12 de noviembre de 2020 de <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilización. Tlalpan, México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



- Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E., & Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas*, 13(2), 23-29
- Cooke, G. D., Welch, E. B., Peterson, S., & Nichols, S. A. (2016). Restoration and management of lakes and reservoirs. 3° Edition. United States of America: CRC Press.
- Cruzeiro, C., Amaral, S., Rocha, E., & Rocha, M. J. (2017). Determination of 54 pesticides in waters of the Iberian Douro River estuary and risk assessment of environmentally relevant mixtures using theoretical approaches and *Artemia salina* and *Daphnia magna* bioassays. *Ecotoxicology and environmental safety*, 145, 126-134. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.010>
- Custodio, E; Llamas, M.R, Hidrología Subterránea, 1983-Tomo I. Universidad Politécnica de Barcelona. España: Ed Omega.
- Dangavs, N. (2005). Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. Geología Y Recursos Minerales De La Provincia De Buenos Aires. (págs. 219-236). XVI Congreso Geológico Argentino. La Plata: Asociación Geológica Argentina
- Dargám, R. M., & Depetris, P. J. (1995). Mecanismos de control hidroquímico en aguas y salmueras de las Salinas Grandes, provincia de Córdoba. *Rev. Asociación Geológica Argentina*, 50, 87-102.
- Duffus, J. H. (1983). Toxicología ambiental. Barcelona: Ediciones Omega
- Farías, L (2019) "Hidrogeología de Zonas Costeras: Caracterización del Acuífero Freático de la Ciudad de Rada Tilly". Provincia de Chubut. Hidrodinámica y oscilaciones del Nivel Freático. Tesis de grado. UNPSJB. Inédito
- Franke-Ante, R., Rosado, A. & Diavanera, A. 2013. Programa de conservación del flamenco en el Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos, Departamento de La Guajira, costa Caribe de Colombia. Proyecto Fortalecimiento de Capacidades Técnicas para los Funcionarios del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, FOCA Colombia-Finlandia. Colombia.
- Fernández Pinilla, R. (2017) La concentración de O₂ parece regular el equilibrio entre amonificación y nitrificación en las aguas de la laguna costera del mar menor. *Farmantra*. Volumen 3 (Julio 2017).
- Galán, P. (2000). Metodologías para monitoreo de agua y sedimentos en cursos superficiales y suelos afectados por contaminantes de origen industrial. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente, Buenos Aires (Argentina). Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental.
- Geraldí, A. M., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2011). El rol de las lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano. *Ciencia hoy*, 21(123), 16-22.
- Government of Canada (2012). SOR/2012- 139 Reglamento sobre efluentes de sistemas de aguas residuales recuperado el día 16 de noviembre de <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-2012-139/page-2.html#h-782131>
- González, D., Álvarez Bernal, D., Mora, M., Buelna-Osben, H. R., & Ruelas-Insunza, J. R. (2018). Biomonitorio de metales pesados en plumas de aves acuáticas residentes del lago de Chapala, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(2), 215-224.
- González, A. M., Presa, M. F., & Lurá, M. C. (2003). Ensayo de toxicidad a *Artemia salina*: Puesta a punto y aplicación a micotoxinas. *Revista Fabicib*, 7, 117-122.
- Griznik, M., & Hirtz, N. (2000). Salinización en el ejido urbano de la ciudad de Comodoro Rivadavia, Chubut. Argentina. Evaluación y propuesta de saneamiento. *I Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas*. São Paulo: ABAS, 17p.
- Health Canada. (2012). Guidelines for Canadian Recreational Water Quality. 3° Edition recuperado el día 14 de noviembre de 2020 de https://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/guide_water-2012-guide_eau/guide_water-2012-guide_eau-eng.pdf
- Hernández Crespo, C. (2014). Evaluación del contenido de Sulfuros Ácidos Volátiles y Metales Extraídos Simultáneamente en los sedimentos de L'Albufera de Valencia. Modelación matemática de procesos biogeoquímicos en el perfil del sedimento (Doctoral dissertation). Valencia, España.



- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23.
- ISO/TS 20787:2017 (2017). Nanotechnologies - Aquatic toxicity assessment of manufactured nanomaterials in saltwater lakes using *Artemia* sp. Nauplii recuperada el día 19 de noviembre de 2020 de <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/fca6cf92-4a17-4a03-a15e-f6dc081755b5/iso-ts-20787-2017>
- Jing, L., Liu, X., Bai, S., Wu, C., Ao, H., & Liu, J. (2015). Effects of sediment dredging on internal phosphorus: A comparative field study focused on iron and phosphorus forms in sediments. *Ecological engineering*, 82, 267-271. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.099>
- Jing, R., & Kjellerup, B. V. (2018). Biogeochemical cycling of metals impacting by microbial mobilization and immobilization. *Journal of Environmental Sciences*, 66, 146-154. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.04.035>
- Jones, B. F., & Deocampo, D. M. (2003). Geochemistry of saline lakes. *Treatise on Geochemistry*. Volume 5, 393-424.
- Kersfeld, J. (1991) Estudio Hidrogeológico. Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales. Consejo Federal de Inversiones
- Levin, M., Panarello, H. O., Albero, M. C., Castrillo, E., Griznik, M., & Amoroso, A. (1988). Groundwater recharge and subsurface flow in the Comodoro Rivadavia area, Chubut province, Argentina. Isotopic and hydrochemical study. *NATO ASI series. Series C, Mathematical and physical sciences*, 222, 377-393.
- Magdaleno, A., Juárez, Á. B., Dragani, V., Saenz, M. E., Paz, M., & Moretton, J. (2014). Ecotoxicological and genotoxic evaluation of Buenos Aires city (Argentina) hospital wastewater. *Journal of toxicology*, 2014.
- Manahan S. (2000). Introducción a la Química Ambiental. Barcelona, España: Reverté
- Matos, M. P., & Jackson, G. P. (2019). Isotope ratio mass spectrometry in forensic science applications. *Forensic Chemistry*, 100154. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.forc.2019.100154>
- Metcalf & Eddy, (1995) Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3° Edición. Madrid, España: Mc Graw-Hill
- Argentina, Ministerio de Salud. (2016). Directrices sanitarias para uso seguro de aguas recreativas. Módulo II. Resolución Ministerial 125/2016
- Mook, W. (2002). Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. Principios y Aplicaciones. Amsterdam, Países Bajos: Cúspide
- Muñoz-Solarte, D. M., & Guerrero-Pepinosa, N. (2013). Allium test para evaluar el efecto citotóxico y genotóxico de extractos naturales en células meristemáticas de *Allium cepa*. *Memorias*, 11(19), 83-86.
- Murphy B., Morrison R., (2005). Introduction to Environmental Forensics. USA: Ed. Academic Press. Elsevier.
- Nasser, A. M. (2016). Removal of *Cryptosporidium* by wastewater treatment processes: a review. *Journal of water and health*, 14(1), 1-13 recuperado el 12 de noviembre de 2020 de <https://iwaponline.com/jwh/article-pdf/14/1/1/394480/jwh0140001.pdf>
- Ohkouchi, N., Chikaraishi, Y., Close, H. G., Fry, B., Larsen, T., Madigan, D. J., & Ogawa, N. O. (2017). Advances in the application of amino acid nitrogen isotopic analysis in ecological and biogeochemical studies. *Organic Geochemistry*, 113, 150-174. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.07.009>
- Otero, N; Torrento, C; Soler, A; Menció, A; Mas-Pla J. (2009). Monitoring groundwater nitrate attenuation in a regional system coupling hydrogeology with multi-isotopic methods. The case of Plana de Vic (Osona, Spain). *Agriculture Ecosystems and the Environment*, 133 (1-2), 103-113. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.007>



- Preece, E. P., Moore, B. C., Skinner, M. M., Child, A., & Dent, S. (2019). A review of the biological and chemical effects of hypolimnetic oxygenation. *Lake and Reservoir Management*, 35(3), 229-246.
- Pesci, M (2012). Estudio sobre la Calidad de Agua de la Laguna Aledaña a la Planta de Tratamiento de Rada Tilly. Informe Final de la Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental, UNPSJB, Inédito.
- Pérez B., Ríos S.M., Dapeña C., Nillni A., Rubilar J.y Locci,F. (2014). Hidroquímica e Isotopía de las aguas superficiales, cuerpos lagunares y suelos salinizados de la Cuenca Costera del Grupo Sur, vertiente atlántica. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 123, 55-63.
- Piñeros-Roldan, A. J., Gutierrez-Espinosa, M. C., Lapa-Viana, M., & Coelho-Emerenciano, M. G. (2020). Aireación en la tecnología Biofloc (BTF): principios básicos, aplicaciones y perspectivas. *REVISTA POLITÉCNICA*, 16(31), 29-40.
- Podsiadłowski, S., Osuch, E., Przybył, J., Osuch, A., & Buchwald, T. (2018). Pulverizing aerator in the process of Lake Restoration. *Ecological Engineering*, 121, 99-103.
- Ruiz, A.M., Millán, J.J., Martínez, I. A., & Espinosa, R. J. (2019). Registro de eventos contaminantes en los sedimentos del humedal salino de Laguna Honda (Jaén, España). *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (24), 40, 79-80.
- San Martín, MS. (2017) Informe Ambiental del Proyecto “Rehabilitación, Ampliación de la Planta Cloacal Existente y Construcción de la Impulsión”. Rada Tilly. Chubut
- Sela-Adler, M., Ronen, Z., Herut, B., Antler, G., Vigderovich, H., Eckert, W., & Sivan, O. (2017). Co-existence of methanogenesis and sulfate reduction with common substrates in sulfate-rich estuarine sediments. *Frontiers in Microbiology*, 8, 766. doi: 10.3389/fmicb.2017.00766
- Sheen Hernández, J. M. E. (2020). Efecto de la *Artemia sp* sobre los parámetros físicos y microbiológicos de las aguas residuales de la laguna de estabilización, Distrito Santa Rosa 2019. Ciclayo, Perú.
- Signoretto, C., Burlacchini, G., Pruzzo, C., & Canepari, P. (2005). Persistence of *Enterococcus faecalis* in aquatic environments via surface interactions with copepods. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(5), 2756-2761. [Doi: 10.1128/AEM.71.5.2756-2761.2005](https://doi.org/10.1128/AEM.71.5.2756-2761.2005).
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2001). Química analítica. México: McGraw-Hill.
- Sobrero, M.C. y A. Ronco. (2004). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Capítulo 4.4 Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) México: IMTA, 2004.Canadá: IDRC, Castillo Morales, G.
- Sobrero, M. C. (2010). Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- SW-846, Compendium recuperado el 15 de noviembre de <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-compendium>
- Taborda, V. J., Gianello, D., Aguer, I., & Crettaz Minaglia, M. C. (2017). Importancia de la conservación de las lagunas urbanas pampeanas. In *Congreso Internacional Aguas, Ambiente y Energía (Mendoza, 11 al 13 de octubre de 2017)*.
- Tan, X., Acquah, I., Liu, H., Li, W., & Tan, S. (2019). A critical review on saline wastewater treatment by membrane bioreactor (MBR) from a microbial perspective. *Chemosphere*, 220, 1150-1162.
- Tótar A. (1999) “Estudio ambiental de la laguna Oeste del ejido urbano de Rada Tilly” Informe Final de Técnico Universitario en Protección y Saneamiento Ambiental, UNPSJB, Inédito.
- U.S. Environmental Protection Agency. Criterios nacionales de calidad del agua recomendados. Tabla de criterios de vida acuática. Recuperado el día 12 de noviembre de 2020 de <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table#table>.
- Vanhaecke, P., Persoone, G., Claus, C., & Sorgeloos, P. (1981). Proposal for a short-term toxicity test with *Artemia nauplii*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 5(3), 382-387.



- Villota Meza, T. D. (2014). Biorremediación de aguas residuales con alta salinidad mediante bacterias halófilas aisladas de perfiles costeros de Ecuador. Universidad de las Américas. Quito, Ecuador
- Vinçon-Leite, B., & Casenave, C. (2019). Modelling eutrophication in lake ecosystems: A review. *Science of the total environment*, 651, 2985-3001.
- World Health Organization (1993). Rapid Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution. A Guide to Rapid Source Inventory Techniques and their use in Formulating Environmental Control Strategies. Part I. pag.152. Geneva
- World Health Organization (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II. Wastewater use in agriculture. Geneva
- Yang, H., Zhao, Y., Wang, J. H., Xiao, W. H., Jarsjö, J., Huang, Y., & Wang, H. J. (2020). Urban closed lakes: Nutrient sources, assimilative capacity and pollutant reduction under different precipitation frequencies. *Science of the Total Environment*, 700 (134531). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134531>
- Yañez, F. (1980). Transferencia de oxígeno y aireación. Centro. Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Perú.
- Yorio, P., Bertellotti, M. y García Borboroglu, P. (2005) Estado poblacional y de conservación de gaviotas que se reproducen en el litoral marítimo argentino. *El Hornero*, 20 (1), 53-74.
- Zouiten, H. (2012). Análisis mediante modelado avanzado de procesos de eutrofización en lagunas litorales: aplicación a masas de aguas atlánticas y mediterráneas. Santander, España.