

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE LOS PATOS, ENSENADA, MEDIANTE ÍNDICES DE CALIDAD Y DE CONTAMINACIÓN

D'AMBROSIO, MARCELA¹; ELORDI MARÍA L.^{1,2}; BUFFONE, BÁRBARA¹; BALBI, KARINA; PORTA, ANDRÉS²; ANDRINOLO, DARÍO^{1,2}; CANO LEONARDO A.^{1,2*}

1 Programa Ambiental de Extensión Universitaria (PAEU). Secretaría de Extensión. Facultad de Ciencias Exactas – UNLP. Calle 47 y 115, La Plata, Argentina.

e-mail: paeu@exactas.unlp.edu.ar, <http://portala.exactas.unlp.edu.ar/>

2 Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CIMA). Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas – UNLP. – UNLP. Calle 47 y 115, La Plata, Argentina.

e-mail: cima@quimica.unlp.edu.ar, <http://cima.quimica.unlp.edu.ar/>

*leoacano@gmail.com

Resumen. *Se estudió la calidad del agua superficial en la laguna de Los Patos, partido de Ensenada, Buenos Aires, mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y el cálculo de los índices de Calidad de Agua (ICA) y de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO). La calidad del agua de la laguna se mantuvo dentro de los valores correspondientes a un cuerpo de agua de calidad media (a excepción de un período de salinización por pérdida de volumen de agua), con características típicas de laguna pampeana, naturalmente eutróficas con alto contenido de fósforo y clorofila a. El contenido de Cr(VI) supera el límite establecido para la protección de la vida acuática en el 58% de los muestreos. Los elevados valores obtenidos para la DQO frente a los de la DBO evidenciaron la presencia de un tipo de contaminación con materia orgánica no biodegradable. Los recuentos de bacterias coliformes tanto totales como fecales evidenciaron contaminación general y fecal, esta última posiblemente proveniente del arroyo del Gato. Según el ICA obtenido, la laguna se mantuvo en una calidad regular durante casi todo el período de estudio, mientras los valores del ICOMO fueron disminuyendo, lo cual indicaría una mayor presencia de contaminantes inorgánicos.*

Palabras clave: Laguna pampeana, Calidad de agua, Índices de calidad y contaminación.

1. INTRODUCCIÓN

El carácter, generalmente espontáneo, con que se ha dado la expansión urbana e industrial en las últimas décadas, ha obligado a frecuentes improvisaciones en los programas de desarrollo. Esta circunstancia ha impedido una adecuada organización de la prevención y el saneamiento de la contaminación ambiental [1].

Tanto el desarrollo humano como el crecimiento poblacional, ejercen presiones múltiples y diversas sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos y sobre el acceso a ellos. Estas presiones incluyen:

- » El aumento de la urbanización, que incrementa la vulnerabilidad a las enfermedades transmitidas por el agua.
- » La creciente demanda de agua por las ciudades, la industria y la agricultura, a menudo

asociadas a escasas oportunidades de fuentes alternativas.

» La deforestación y la variabilidad del clima que altera tanto la disponibilidad y calidad del agua, como los ciclos de inundación/sequía y el calendario de lluvias.

» Las obras de infraestructura asociadas con el desarrollo, tales como represas, rutas y la metodología de riego.

» El colapso de los sistemas cloacales y de recolección-transporte de aguas pluviales urbanas.

» La incorrecta gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) cuyos lixiviados afectan los acuíferos más expuestos (freáticos).

Las aguas superficiales son fuente de agua para consumo, y tienen un papel importante en la pesca, la piscicultura, y la recreación. Por lo tanto, su conservación y monitoreo permanente es de vital importancia tanto a nivel sanitario como para la preservación del recurso hídrico.

Los cursos de agua de la Provincia de Buenos Aires, afluentes del Río de La Plata, son algunos de los más contaminados del país. Entre ellos se encuentra el río Matanza - Riachuelo, y los arroyos Sarandí, Santo Domingo, las Conchitas y del Gato, entre otros.

En particular, para la Ciudad de La Plata y alrededores existen tres cuerpos de agua muy importantes y que están en estrecha relación entre sí:

» Zona costera bonaerense sur del Río de La Plata: se considera de importancia por recibir la descarga de arroyos y efluentes industriales (polo petroquímico, entre otros).

» Arroyo "del Gato": Este curso de agua también recibe vuelcos cloacales, efluentes industriales y descargas pluviales de buena parte de la ciudad de La Plata. Evidencia contaminación con organismos coliformes y alta concentración del anión nitrato disuelto en la superficie, así como elevada presencia de hidrocarburos y detergentes [2].

» Laguna de "Los Patos": Ubicada sobre la diagonal 74, frente a un relleno sanitario, comunicada al arroyo del Gato a través de canales con presencia de industrias en la zona, lo que la convierten en un cuerpo de agua propenso a la contaminación.

La laguna de Los Patos está dentro de las denominadas lagunas pampeanas o pampásicas, las cuales se caracterizan por ser ambientes poco profundos, con tiempo de permanencia del agua y salinidad altamente variable y naturalmente eutróficos [3,4]. Se trata de sistemas lénticos, es decir, que, si bien puede existir circulación y sentido de corriente, no hay una dimensión que predomine; el contacto con el entorno terrestre se reduce y los procesos endógenos cobran mayor importancia [5].

La ecología de las lagunas pampeanas ha sido relativamente poco estudiada. La falta de información generalmente ha impedido la conceptualización mínima necesaria para desarrollar medidas adecuadas de manejo sustentable. Estas medidas son indispensables para lograr la preservación de los recursos naturales que se encuentran continuamente amenazados debido a las distintas actividades antropogénicas generadoras de estrés ambiental.

En este contexto se realiza el siguiente trabajo con el objetivo de analizar el estado de la laguna de Los Patos, situada en el partido de Ensenada (Cuenca Hídrica vertiente Río de la Plata Intermedia). El monitoreo de calidad del agua incluyó la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, siendo estos últimos indicadores de la alteración del medio por contaminación general (bacterias coliformes totales) y por aporte de excretas (bacterias coliformes fecales). Los parámetros fisicoquímicos incluyen aquellos vinculados a la eutrofización y metabolismo bacteriano/algal (fósforo, nitratos, clorofila a), indicadores de

procesos de salinización (pH, conductividad, sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos) y otras determinaciones analíticas que contribuyen a caracterizar el agua. Se cotejaron los valores obtenidos en las determinaciones con valores guías correspondientes a diferentes usos establecidos por la ACUMAR (Autoridad de la Cuenca Matanza-Riachuelo) [6].

Por otra parte, se emplearon los parámetros estudiados para la determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA) y el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), lo que nos permite simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua.

2. METODOLOGÍA

2.1. Región en estudio

La laguna de Los Patos está ubicada sobre la diagonal 74 camino a Punta Lara, frente a un relleno sanitario.

En sus inmediaciones, además se encuentra una planta termoeléctrica y una empresa metalúrgica de gran porte. Si bien la termoeléctrica aún no se ha puesto en funcionamiento, la central posee una conexión para el abastecimiento de agua, desde Río de La Plata, la cual interrumpe la comunicación entre la laguna y el arroyo del Gato. Debido a esta intervención antrópica, el ingreso de agua a la laguna se ve restringido, afectando la dinámica hídrica de la misma [7,8]. La Figura 1 muestra el sitio de estudio y las industrias emplazadas en sus cercanías.



Figura 1. Ubicación de la laguna de Los Patos y establecimientos que la rodean.

2.2. Determinación de los parámetros de calidad fisicoquímica y microbiológica

Se realizó la determinación de los parámetros de calidad bacteriológicos y fisicoquímicos del agua de la laguna, para ello se tomaron muestras de agua superficial de la laguna cada 15 días en el período comprendido entre el 18/09/2014 y 6/11/2016, A excepción de parámetros microbiológicos, conductividad y OD, que fueron muestreados entre junio de 2015 a

noviembre de 2016 y DQO y DBO₅, entre octubre de 2015 y junio de 2016, siguiendo procedimientos estandarizados internacionalmente [9,10]. El punto de muestreo se ubica justo frente al relleno sanitario (34°50'31,10" S - 57°56'05,92" O).

En el sitio se midieron los siguientes parámetros in-situ, utilizando una sonda multiparamétrica SPER Scientific de calidad ambiental:

- Temperatura del agua
- Temperatura ambiente
- pH
- Oxígeno disuelto
- Sólidos totales disueltos
- Conductividad

En la Tabla 1 se detallan los parámetros medidos en el laboratorio y las correspondientes técnicas estandarizadas internacionalmente adoptadas del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (S.M.) que se emplearon para su determinación [10].

Analito	Método o técnica
Cloruros	Argentométrico – S.M. 4500-Cl ⁻ B.
Turbiedad	Nefelométrico – S.M.2130 B.
Cromo VI	S.M. 3500-Cr C.
Sulfatos	Nefelométrico – S.M. 4500-SO ₄ ⁻ E.
Sulfuros	S.M. 4500-S ₂ ⁼ E.
Nitratos	S.M. 4500-NO ₃ ⁻ E.
Fósforo total	Colorimétrico – S.M. 4500-P D
Clorofila a	Espectrofotométrico S.M. 10200 H.
Demanda bioquímica de oxígeno	Método de incubación 5 días – S.M. 5210 B.
Demanda química de oxígeno	S.M. 5220 D.
Coliformes totales	S.M. 9221.B
Coliformes fecales	S.M. 9221.C

Tabla 1. Parámetros y sus correspondientes técnicas de determinación.

2.3. Índices de calidad y contaminación por materia orgánica

Se aplicaron Índices de Calidad (ICA) y de contaminación por materia orgánica (ICOMO) utilizando los resultados obtenidos de cada muestreo a fin de analizar su variabilidad en el tiempo y su dependencia con los parámetros medidos en el periodo comprendido entre mayo de 2015 y octubre de 2016.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es calculado como la suma de nueve parámetros (oxígeno disuelto, DBO, nitratos, fósforo total, sólidos totales disueltos, turbidez, coliformes fecales, pH y diferencia entre temperatura ambiente y temperatura del agua) multiplicados por

un valor atribuido en función de la importancia del parámetro, tomando un valor entre 0 y 100 adimensional, así:

$$ICAa = \sum_{i=1}^n W_i Q_i \quad (1)$$

Para el cálculo del índice, se utilizaron factores de ponderación W_i propuestos por la National Sanitation Foundation (NSF) para cada parámetro y factores de escala Q_i que se calcularon por medio de ajustes polinómicos a las curvas de estandarización asociadas a cada variable formulados por la NSF [11].

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se expresa en diferentes variables que incluyen DBO y coliformes totales (CT), que reflejan a su vez, fuentes diferentes de contaminación por materia orgánica, así como el porcentaje de saturación de oxígeno que indica la respuesta o capacidad ambiental del sistema ante este tipo de contaminación. Se calcula según la siguiente fórmula:

$$ICOMO = 1/3.(I_{DBO} + I_{CT} + I_{OD\%}) \quad (2)$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,7 \log \text{ DBO (mg/L)}$$

$$I_{CT} = -1,44 + 0,56 \log \text{ CT (NMP/100 mL)}$$

$$I_{OD\%} = 1 - 0,01 \text{ OD (\% sat)}$$

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros temperatura, pH, turbidez, nitratos y sulfatos, en líneas generales mostraron una tendencia estacional, y se encontraron dentro del intervalo admisible establecido por ACUMAR tanto para uso recreativo como para protección de la vida acuática. La variación temporal de los demás parámetros fisicoquímicos estudiados se muestra en la Figura 2.

Se observó un marcado incremento en los sólidos totales disueltos (STD), la conductividad y la concentración de cloruros a partir de noviembre de 2015 hasta Abril de 2016. Estos aumentos podrían atribuirse a las obras que obstruyeron la comunicación de la laguna con el arroyo el Zanjón [7]. Cabe destacar que en ese período las temperaturas y precipitaciones se mantuvieron en los valores normales históricos.

Los valores obtenidos luego del período mencionado disminuyen significativamente, lo cual podría asociarse al aumento de las precipitaciones que tuvieron lugar en la región entre Julio y Noviembre de 2016 y que superan la media histórica de 1981-2010 según datos obtenidos de la página del Servicio Meteorológico Nacional (<http://www.smn.gov.ar/serviciosclimaticos>).

La variación temporal del oxígeno disuelto (OD) que puede verse en la Figura 2, contiene indicado el nivel guía establecido por ACUMAR para aguas de uso recreativo sin contacto directo (línea punteada roja), con contacto directo y para la protección de la vida acuática (línea punteada verde).

Para actividades recreativas con contacto directo y para la protección de la vida acuática el OD debe ser superior a $5 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Como permite apreciar el gráfico, en reiteradas ocasiones los niveles de OD se encuentran por debajo de ese valor. Aun así, los niveles de saturación de oxígeno obtenidos fueron más esperanzadores: durante el tiempo que se monitoreó la laguna el porcentaje de saturación de oxígeno promedió el 55 %, otorgando en principio las condiciones adecuadas para el desarrollo de la vida acuática.

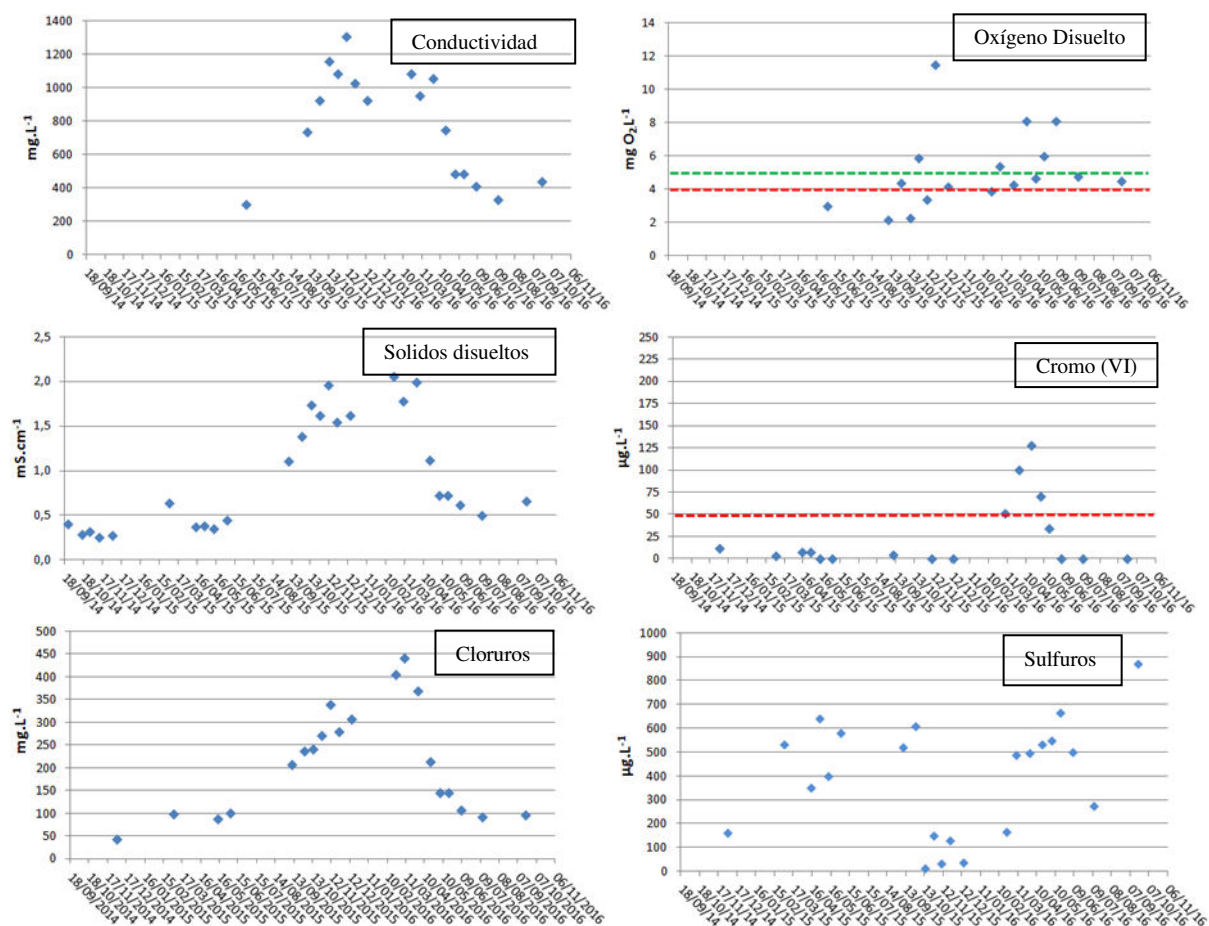


Figura 2. Variación temporal de varios parámetros fisicoquímicos.

Al analizar los resultados para el contenido de cromo hexavalente nos encontramos con que 23,5% de los valores registrados superan el valor que establece ACUMAR para usos del agua con fines recreativos (50 µg.L^{-1}). En cuanto a los niveles establecidos para la protección de la vida acuática, cabe destacar que las restricciones son mucho más estrictas, siendo el nivel guía para dicho propósito de 2 µg.L^{-1} ; en este caso el nivel es superado en aproximadamente el 58 % de casos. Debido a su toxicidad, efecto bioacumulativo y su incapacidad para ser biodegradados, los metales pesados constituyen un riesgo para una amplia variedad de peces y otros organismos acuáticos, aún cuando se

encuentra en baja concentración [11].

En la Figura 2 también se muestra la variación de la concentración de sulfuros en la laguna en el tiempo. ACUMAR establece como nivel guía para este parámetro un máximo de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$ para actividades recreativas con contacto directo, sin embargo, en lo que respecta a la protección de la vida acuática el límite es de $2 \mu\text{g.L}^{-1}$. Los resultados obtenidos superan ampliamente ambos límites en la mayoría de los casos.

La producción de sulfuro ocurre en el sedimento, por descomposición anaeróbica de la materia orgánica, siendo el sulfato el aceptor de electrones. Si bien los cuerpos de agua dulce no se caracterizan por tener un gran contenido de sulfatos, como es el caso de la laguna, altos niveles de materia orgánica sedimentable son suficientes para producir una cantidad de sulfuro capaz de extenderse desde el sedimento hacia la columna de agua, lo cual debido a su toxicidad puede alterar el normal desarrollo del ambiente acuático [12].

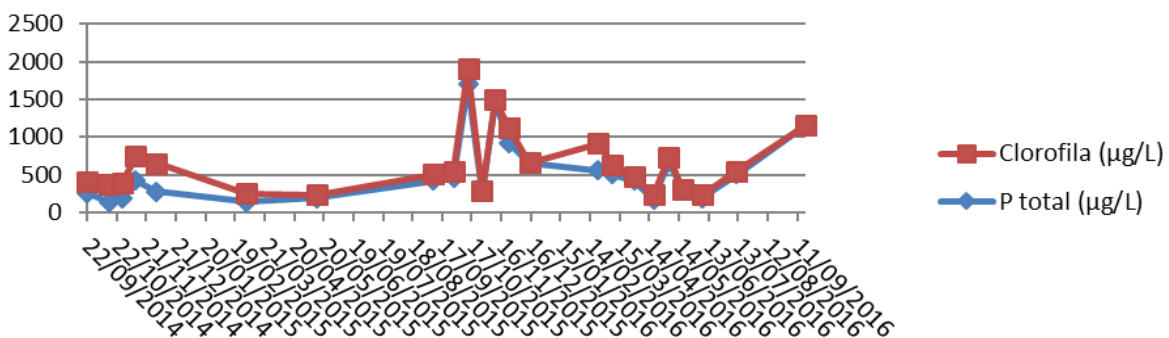


Figura 3. Variación temporal de Clorofila a y Fósforo total en la laguna.

Fecha	27/10/15	9/11/15	23/11/15	14/12/15	22/2/16	7/3/16	29/3/16	18/4/16	3/5/16	17/5/16	6/6/16
DBO ₅ (mg/L)	30	46	5	16	13	10	21	5	5	5	5
DQO(mg/L)	45	66,7	66,3	60	350	183,3	133,3	97	85	42	92,5
DBO/DQO	0,7	0,7	0,1	0,3	0,04	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabla 2. Valores de DBO₅ y DQO para la laguna entre noviembre de 2015 y junio de 2016.

Al analizar de manera conjunta los resultados obtenidos para las determinaciones de clorofila a y fósforo total, encontramos una tendencia similar en el comportamiento (Figura 3).

Estudios demuestran que el fósforo es el principal nutriente limitante en los ambientes de agua dulce, esto explicaría la correspondencia entre la variación de los niveles de clorofila a con las variaciones en el contenido de fósforo en el agua [13].

El contenido de fósforo total en la laguna supera ampliamente el nivel que establece ACUMAR para la protección de la vida acuática ($10 \mu\text{g.L}^{-1}$), en todos los muestreos. Cabe recordar que, si bien el fósforo constituye una fuente esencial de nutrientes, concentraciones muy elevadas pueden derivar en la eutrofización del agua, alterando la dinámica y el normal desarrollo del ecosistema acuático.

Calcular la relación DBO₅/DQO nos permite tener una idea de la naturaleza de los contaminantes existentes en el agua. De esta manera una interpretación de la relación

DBO₅/DQO nos dice que un resultado menor a 0,2 indica presencia predominante de contaminantes de naturaleza orgánica no biodegradable. Mientras que un resultado mayor a 0,6 señala la presencia predominante de contaminación orgánica de naturaleza biodegradable [14].

Como puede apreciarse en la Tabla 2, en el período comprendido entre noviembre de 2015 y Julio de 2016, 63,63 % de los muestreos de la laguna arrojan resultados que sugieren un predominio de contaminación orgánica de naturaleza no biodegradable.

3.2 Análisis microbiológico

La Figura 4 muestra la variación estacional del número de bacterias en las aguas de la laguna en el periodo comprendido entre el 1/6/15 y el 19/9/16. La misma permite apreciar que la densidad de coliformes totales halladas fue muy superior a la de coliformes fecales, esto indicaría que en las aguas de la laguna predomina una contaminación de tipo general (no fecal), además predominarían otros géneros bacterianos distintos a la *Escherichia coli*, tales como *Enterobacter*, *klebsiella* entre otros.

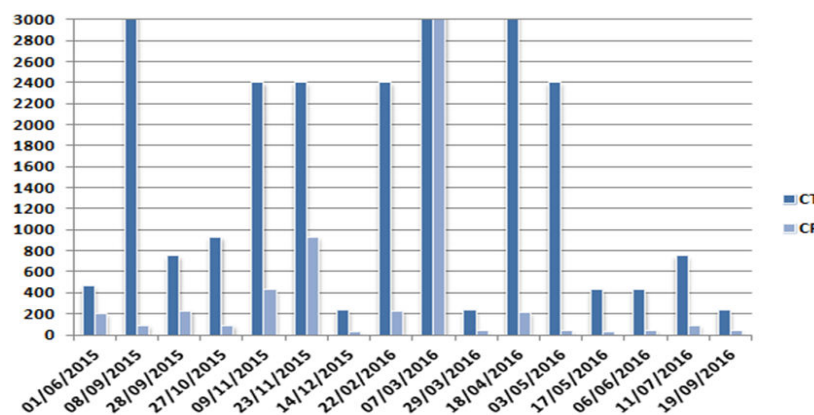


Figura 4. Distribución estacional de coliformes totales y fecales en la laguna.

Sim embargo, los resultados obtenidos para bacterias coliformes fecales en el período de primavera-verano de 2015 superan el valor límite admisible impuesto por ACUMAR como apto para el uso del cuerpo de agua con fines recreativos con contacto directo de 200 NMP/100 mL. Es posible que la conexión que tiene la laguna con el arroyo del Gato, el cual recibe gran parte de los efluentes cloacales de la ciudad [2], sumado al aporte que realizan las aves que se posan sobre las aguas de la laguna, sean las causantes de la presencia de bacterias coliformes fecales.

3.3 Aplicación de los índices

La variación temporal de los resultados correspondientes a los cálculos del ICA y el ICOMO se muestra en la Figura 5, la escala de colores del gráfico corresponde a la clasificación establecida por la NSF (rojo: calidad muy mala o contaminación muy alta; celeste: calidad excelente o ninguna contaminación). En la mayoría de los casos los

resultados para el ICA corresponden a una calidad regular, a excepción de dos oportunidades en las que se registraron niveles de calidad buenos y una donde la calidad fue mala.

Los valores de ICOMO en la mayoría de los monitoreos resultaron medios o bajos, mientras que en una única ocasión arrojaron un resultado correspondiente a un grado de contaminación muy elevada. Ese día se determinó una elevada presencia de coliformes totales lo que coincidió con bajos niveles de oxígeno disuelto y altos valores registrados para DBO₅. La combinación de estos factores derivó en el máximo nivel de contaminación por materia orgánica registrado a lo largo de período de estudio.

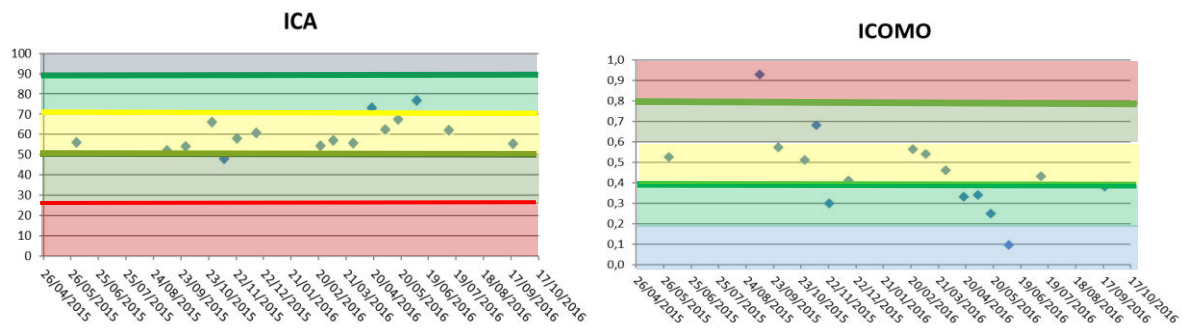


Figura 5. Resultados ICA - ICOMO.

Los valores de los índices nos muestran que en líneas generales el estado de la Laguna de Los Patos, para el período 2015-2016 corresponde a un cuerpo de agua con calidad media a buena y un grado de contaminación por materia orgánica de media a baja.

12. CONCLUSIONES

- La evaluación de los diferentes parámetros determinados nos permite calificar a la laguna de Los Patos como un cuerpo de agua superficial con características propias de laguna pampeana.
- Los registros de STD, cloruros y conductividad mostraron un marcado aumento a partir de septiembre de 2015, lo cual podría estar asociado a la interrupción del flujo de agua entre el arroyo El Zanjón y la laguna.
- En reiteradas ocasiones el valor de cromo VI supera el nivel guía adoptado para la protección de la vida acuática poniendo en riesgo la biota de la laguna.
- El elevado contenido de fósforo encontrado actúa como nutriente principal para la proliferación de algas, que se evidencia con los altos niveles de clorofila a encontrados. Estos parámetros aportan las condiciones necesarias para que este cuerpo de agua sufra procesos de eutrofización.
- Los valores de demanda química de oxígeno registrados en la laguna sugieren un predominio de contaminación orgánica de naturaleza no biodegradable. Este tipo de contaminación puede provenir del relleno sanitario cercano.
- Según los niveles de coliformes fecales, que superan el nivel guía establecido durante los

meses de primavera-verano, se evidencia una contaminación del tipo fecal probablemente asociada a las heces de animales que habitan la laguna y al aporte de efluentes cloacales asociados al arroyo del Gato.

- En el período de estudio, la calidad del agua de la laguna se mantuvo dentro de los valores correspondientes a un cuerpo de agua de calidad media según el criterio del ICA y con baja contaminación por materia orgánica según el ICOMO.

REFERENCIAS

- [1] *Rio de La Plata. Calidad de las aguas franja costera sur. Informe de Avance*. Editado por OSN, AGOSBA y SIHN, (1994).
- [2] Estudio "*Calidad ambiental de las Cuencas de los Arroyos del Gato y Pereyra*". Proyecto PNUD-FREPLATA. CIMA, UNLP, (2002).
- [3] Quirós, R., Rennella, A., Boveri, M., Rosso, J.J., y Sosnovsky, A. "Factores que afectan la estructura y el funcionamiento de las lagunas pampeanas", *Ecología Austral*, vol 12, pp 175-185, (2002).
- [4] Grosman, F., *Espejos en la llanura. Nuestras lagunas de la Región Pampeana*. Comité editor de la UNCPBA, (2009)
- [5] Wetzel Robert G., *Limnología*. Editorial Omega. (1981).
- [6] <http://www.acumar.gov.ar/ACUsentencias/CausaMendoza/2009abril/060409e/AnexoIuso060409.pdf>
- [7] Artículo periodístico del Diario El Día. "*Denuncian que corre riesgos la laguna Los Patos en Ensenada*" Disponible en: <http://www.eldia.com/la-ciudad/denuncian-que-corre-riesgos-la-laguna-los-patos-en-ensenada-68430>, (2015).
- [8] Tortorelli María del Carmen, *Ríos de Vida*. 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica (2009).
- [9] *Guidelines for drinking-water quality: Aspectos microbiológicos*. WHO (World Health Organization) (3rd Edition). Geneva. 1 (7), pp. 105-126, (2008).
- [10] *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th Edition, American Water Works Association, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, (1992).
- [11] Elordi M. Lucila; Colman Lerner J. Esteban y Porta A. Andrés. "Estimación y evaluación de la calidad del agua de los arroyos las Piedras y San Francisco mediante el índice de calidad del agua WQI-NSF". *Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina*. Puliafitto, Allende, Panigatti Editores, UTN Mendoza, pp 207 – 216, (2013).
- [12] Radwan M., Willems P. , El- Sadek A. y Berlamont J. "Modelling of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand in river water using a detailed and a simplified model" *International Journal of River Basin Management*, vol. 1:2, pp 97-103, (2003).
- [13] Nancy N. Rabalais. "Nitrogen in Aquatic Ecosystems". *Journal of the Human Environment*, Vol 1, pp 102-112, (2002).
- [14] González Delgado M., Orozco Barrenetxea C., Pérez Serrano A., Alfayate Blanco J., Rodríguez Vidal F. *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*, Ed. Paraninfo, (2002)