

“Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible”

CALIDAD DEL AGUA DE UN LAGO URBANO EN LA CIUDAD DE MEXICO (2015-abril 2017)

Tomasini Ortiz, Ana Cecilia; Ramírez González, Antonio; Ramírez Camperos, Esperanza, Cardoso Vigueros, Lina María; Bahena Bahena, Erick; Esquivel Sotelo, Alberto y Bahena Castro Ernesto.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, Morelos C.P. 62550.
atomasini@tlaloc.imta.mx; tramirez@tlaloc.imta.mx; eramirez@tlaloc.imta.mx; lina_cardoso@tlaloc.imta.mx;
eobb91@gmail.com; Alberto_e@hotmail.com y ernestobc@hotmail.com.

Resumen

El lago urbano estudiado, está situado al oeste de la Ciudad de México. La problemática de la eutrofización del lago se agudizó y el lago presentó algunas características del estado de hipertrofia por su someridad y circulación limitada, falta de estratificación, regímenes de nutrientes y oxígeno no balanceado y productividad muy alta, tomando como parámetro concentraciones de Clorofila *a*.

Por tal motivo, desde el 2015 hasta la actualidad, el IMTA viene monitoreando la calidad del agua de este lago y en marzo de 2016, se adaptó una planta piloto de coagulación-floculación alimentada con agua del mismo lago para el retiro de algas y el agua tratada se regresa a los lagos.

Los resultados obtenidos son: el pH y la temperatura no tuvieron grandes variaciones durante éste periodo. Donde se observó una fuerte mejoría es en la calidad del agua de los lagos, fue en el aumento de la transparencia, y una considerable reducción en turbiedad y clorofila *a*. Reduciéndose también las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total. Por último, la evaluación del aluminio, por su presencia en el coagulante, y el retorno del agua a los lagos, después del proceso de coagulación-floculación, no los afecta.

Las condiciones de hipertrofia se mantienen, pero con el tratamiento de las aguas se proporcionó un mejor aspecto a los lagos y se controló las floraciones de *Microcystis spp.* y el mal olor.

Palabras claves: Calidad del agua, Clorofila, Eutrófico, Hipertrofia, Nutrientes.

Introducción

Los lagos urbanos son ambientes acuáticos muy importantes para las grandes ciudades, ya que representan lugares significativos de recreación para sus habitantes. Actualmente son los cuerpos de agua que, un mayor número de personas visita, conoce y utiliza, (Oliva-Martínez, *et al*, 2008).

En México existen lagos urbanos con florecimientos frecuentes o permanentes, que están destinados a actividades deportivas y/o recreativas y que representan por lo tanto un riesgo latente para la biota residente y circundante. Se sabe que concentraciones altas de nutrientes favorecen el crecimiento acelerado del fitoplancton, siendo las cianobacterias los

microorganismos dominantes en los cuerpos de agua eutróficas ocasionando la formación de cúmulos de biomasa, conocidos como *blooms* o florecimientos (Pineda-Espinoza, *et al*, 2011).

El lago urbano estudiado, está situado al oeste de la Ciudad de México, abarca una superficie total de 60,240 m², de los cuales 12,240 m² están representados por islas. Su perímetro es de 1,883 m y su cuenca alberga 49,525 m³ de agua con una profundidad, media de 1.0 m y máxima de 1.8 m, con un tiempo de retención hidráulica de 11 días. La longitud máxima registrada es de 432 m (norte-sur) y el ancho máximo de 208 m (este-oeste). La alimentación del lago proviene de tres fuentes: el Río Hondo, una planta de tratamiento de aguas residuales y las pequeñas descargas de aguas negras sin tratar, provenientes de los locales comerciales asentados en la periferia (Alcocer, *et al* 1988).

La problemática de la eutrofización del lago se agudizó y fue precisamente que, si bien, se redujeron los aportes de materia orgánica a 22 mg/L de DBO, se incrementaron ostensiblemente los de nitrógeno y fósforo a 8.8 y 4.7 mg/L (Alcocer, *et al*, 1988). Por otra parte, el pH fue mayor a 10 y corresponde al intervalo óptimo documentado para el crecimiento de cianobacterias, el cual se ubica entre 7.5 y 10 (Vela *et al.*, 2007). Este factor contribuyó al desarrollo de los florecimientos, ya que las cianobacterias tienen preferencia por ambientes neutros y alcalinos (Giraldez-Ruiz *et al.*, 1999). La temperatura fue superior a los 20°C y de acuerdo a otros estudios, se comprobó que el crecimiento de estas aumenta conforme se incrementa la temperatura, alcanzándose un crecimiento máximo por arriba de los 23°C (Chorus y Bartram, 1999; Roset, *et al.*, 2001; Jöhnk *et al.*, 2008). Palacios y Vega en el 2015, reportaron para el mes de junio una transparencia para el Lago Menor de 43.9 cm y para el Lago Mayor 21.6 cm, un pH de 11.85 y 11.32, respectivamente; sólidos disueltos totales de 230 y 232 mg/L; oxígeno disuelto de 12.04 y 20.02 mg/L turbiedad de 36 y 84 NTU y una temperatura de 16.13 y 17.26 °C.

En éste lago, las cianobacterias que se han observado son: *Anabaena fallax*, *A. helicoidea*, *Anabaenopsis tanganyikae*, *Aphanocapsa incerta*, *Geitlerinema carotinosum*, *Leptolyngbya boryana*, *L. tenerrima*, *Microcystis spp.*, *Microcystis aeruginosa*, *M. novacekii*, *M. panniformis*, *M. cf. protocystis*, *Planktothrix agardhii*, *Pseudanabaena mucicola* y *Synechocystis endophytica*. Los florecimientos de cianobacterias como *Microcystis spp.* son recurrentes durante todo el año, ocasionando una coloración verde brillante al agua, espuma que se mantiene sobre la superficie y mal olor. (Pérez-Morales, *et al*, 2016)

“Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible”

Como resultado de esto, el lago ha presentado algunas características del estado de hipertrofia por su poca profundidad y elevados tiempos de residencia del agua debido a flujos reducidos o nulos de entrada y salida del agua, falta de estratificación, regímenes de nutrientes y oxígeno no balanceado y productividad muy alta, tomando como parámetro concentraciones de Clorofila *a*. (Oliva-Martínez *et al*, 2008, Pérez-Morales, *et al*, 2016)

Por tal motivo, desde el 2015 hasta la actualidad, el IMTA viene monitoreando la calidad del agua de este lago y en marzo de 2016, de una planta de bombeo existente en el lugar, se adaptó una planta piloto de coagulación-floculación alimentada con agua del mismo lago para el retiro de algas y el agua tratada se regresa por gárgolas a los lagos (Figura 1).

PLANTA PILOTO

Tipo de planta	Clarificación convencional	
Procesos	Coagulación, Floculación hidráulica, sedimentación de alta tasa	
Coagulantes	Policloruro de aluminio Polímero catiónico	
Gasto promedio de operación	33 L/s	
	Parámetros de calidad	Eficiencia promedio
	Clorofila	90.6%
	Color	85.9%
	Turbiedad	85.5%
	Fósforo	62.1%
	Nitrógeno	32.1%

Figura 1. Planta Piloto coagulación-floculación y eficiencias de remoción

Objetivo

Monitorear la calidad del agua del lago antes y después del arranque de la planta de coagulación-floculación, y comprobar si mejora o no la calidad del agua.

Metodología

Con la finalidad de evaluar la calidad de los cuerpos de agua, después de la colocación de la planta piloto de coagulación-floculación, se realizaron determinaciones analíticas en campo de los parámetros asociados con la problemática de la presencia de algas en los cuerpos de agua, de acuerdo con lo descrito a continuación:

En el 2015, se establecieron 6 puntos de muestreo en los cuales se monitorearon diario, entre las 11:30 y las 13:00 horas, a partir del 10 de septiembre al 12 de diciembre, que se determinaron como: PM01, que corresponde a la descarga de agua tratada al Canal del Quijote, del punto PM02 y PM03, que se ubican en el Lago Menor (L. Menor) y los puntos PM04 al PM06, que se ubican en el Lago Mayor (L. Mayor) (Figura 2).



Figura 2. Vista en planta de los puntos de muestreo para el 2015 (PM: puntos de muestreo)

Para el 2016 y 2017, se establecieron 7 puntos de muestreo, en los cuales se monitorearon los lunes, miércoles y viernes, entre las 11:30 y las 13:00 horas, a partir del 10 de marzo al 30 de diciembre de 2016 y del 2 de enero al 28 de abril de 2017, que se determinaron como: PM00, PM01 (correspondiente a la entrada del agua del Canal) y PM02, que se ubican L. Menor. Los puntos PM05, PM08, PM11 y PM13, que se ubican en el L. Mayor (Figura 3).

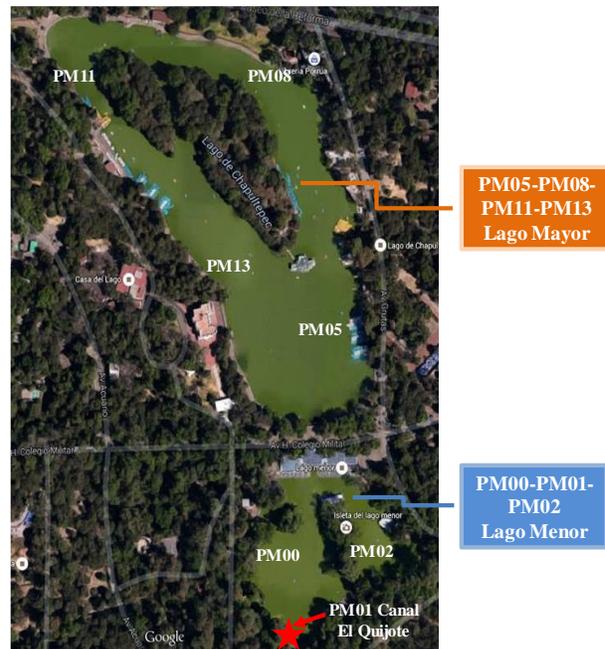


Figura 3. Vista en planta de los puntos de muestreo para 2016-2017 (PM: puntos de muestreo)

En cada punto de muestreo se determinaron los siguientes parámetros de campo: Transparencia (Disco Secchi, DS), potencial de hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales (SDT), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), turbiedad (NTU) y temperatura (°C) del agua. Se midieron estos

“Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible”

parámetros con ayuda de un medidor multiparámetros HACH, modelo HQ40d; un turbidímetro HACH, modelo 2100P; colorímetro HACH, modelo DR900 y un medidor de oxígeno disuelto SCIENCE MED, modelo 820.

Cada quince días se tomaron muestras en cada uno de los puntos para los siguientes análisis químicos: Fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), ya que son los nutrientes esenciales para el crecimiento de las algas, aluminio (Al), por presentarse en el coagulante seleccionado, y clorofila *a* (Cl_a), para la determinación de la biomasa algas. Los primeros tres por el método HACH y el último con el método APHA.

Resultados

El pH se mantuvo entre 10 y 11 unidades de pH y la temperatura entre los 20 y 21°C, no teniendo grandes variaciones durante el periodo 2015 al 2017.

En la Figura 4, se muestra el promedio semanal de la Transparencia durante el periodo 2015 al 2017. Apreciándose que, durante el 2015, en el mes de octubre, hubo un fuerte incremento en Transparencia en el L. Menor, esto se debió a que se estuvo agregando directamente a éste, un coagulante (Policloruro de aluminio), el cual favoreció el incremento de la Transparencia y la cual decae en los meses de noviembre y diciembre. A partir de marzo del 2016, se puso en operación una pequeña planta de coagulación – floculación, utilizando el mismo coagulante y como floculante un polímero catiónico, para tratar el agua del lago, quitando el exceso de algas, y retornando el agua limpia a los lagos. Lo que ha logrado que se incremente la Transparencia de los lagos.

Los promedios anuales de la medición de Transparencia, dada en centímetros (cm). Donde el promedio del 2015 para el L. Menor fue de 26 cm y para el L. Mayor fue de 17 cm. Para el 2016 el promedio fue de 44 y 37 cm, respectivamente, y hasta abril del 2017, el promedio fue de 53 y 46 cm para cada uno de los lagos. Mostrando claramente una mejoría en la transparencia de los lagos, siendo más notorio en el L. Menor.

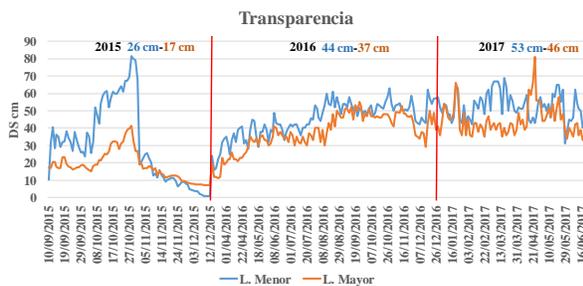


Figura 4. Promedios semanales de la Transparencia en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

En la Figura 5, se muestra el promedio semanal de la turbiedad durante el periodo 2015 al 2017. Apreciándose que, durante el 2015, en el mes de octubre, hubo un fuerte decremento de la Turbiedad en el L. Menor, debido a lo que se comentó anteriormente, el cual favoreció una baja en esta medición, y la cual se incrementa en los meses de noviembre y diciembre. A

partir de marzo de 2016, se ve cómo va decreciendo la Turbiedad en ambos lagos.

Los promedios anuales de la Turbiedad, en el 2015, en L. Menor y L. Mayor se obtuvo un promedio de 263 y 128 NTU, el cual baja a 20 y 30 NTU, respectivamente, en el 2016, y para el 2017, se obtuvo un promedio de 11 y 15 NTU, respectivamente, decreciendo considerablemente.

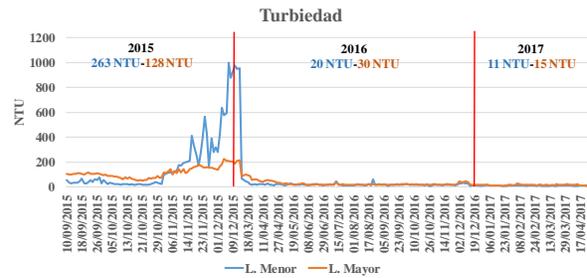


Figura 5. Promedios semanales de la Turbiedad en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

Los promedios semanales del Oxígeno Disuelto (OD), durante el periodo 2015 hasta abril del 2017, se muestran en la Figura 6. Donde se obtuvo que, durante el 2015, en el mes de octubre, baja considerablemente el OD, por el coagulante en el L. Menor y en el L. Mayor, se llegó a medir hasta 20 mg/L de OD. En el 2016 después del arranque de la planta, hubo un fuerte decremento de OD en el mes de marzo, incrementándose de abril a junio, bajando durante los meses de lluvia, posteriormente se incrementa fuertemente en el mes de diciembre en ambos lagos. En el 2017, se comportan más o menos igual en ambos lagos, solamente en el mes de abril, el L. Mayor sufre una considerable baja de OD.

Los promedios anuales del OD en el 2015 se obtiene 14 mg/L para el L. Menor y de 16 mg/L en el L. Mayor, en el 2016 fue de 12 y 11 mg/L, respectivamente y hasta abril del 2017, se obtuvo 11 y 10 mg/L.

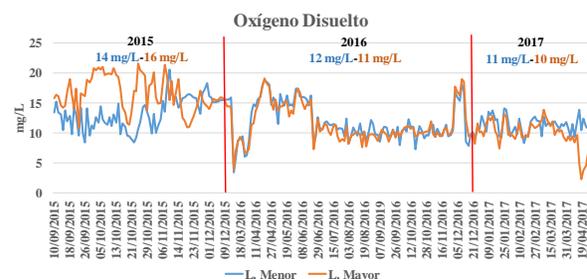


Figura 6. Promedios semanales del Oxígeno Disuelto en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

Los promedios semanales de la Conductividad Eléctrica (CE) y de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) durante el mismo periodo, se presentan en la Figura 7. Apreciándose que, en el 2015, por efecto del coagulante, se obtuvo un promedio anual de 461 y 445 µS/cm y de SDT, 369 y 356 mg/L µS/cm. En el 2016, durante la temporada de lluvias, baja considerablemente la CE y los SDT en ambos lagos. Obteniendo así un promedio anual de CE de 424 y 436 µS/cm y de SDT 341 y 349 mg/L, levemente más bajos que el 2015. En el 2017 se incrementa la

“Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible”

CE a 529 y 542 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los SDT entre los 424 y 435 mg/L , esto debido por la temporada de secas y la alta radiación solar de la época, que provoca la baja de nivel del agua en los lagos, concentrándose así estos dos parámetros.

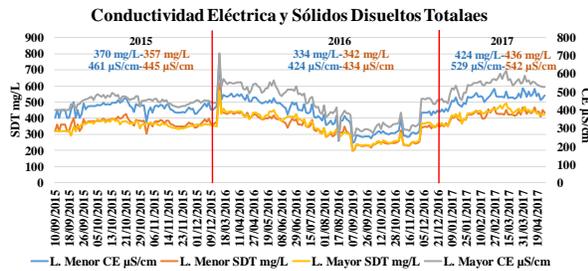


Figura 7. Promedios semanales de la Conductividad Eléctrica en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

El parámetro de Color solo se midió durante el 2016 y 2017. En la Figura 8, se muestran los promedios semanales del Color durante el 2016 y 2017. Apreciándose que, en el 2016, durante la temporada de lluvias, baja considerablemente el Color en ambos lagos, por la dilución. En el 2017 se incrementan el Color, principalmente, en el L. Mayor.

Los promedios anuales para el Color, donde se obtiene para el 2016 un promedio anual en el L. Menor es de 197 y En el L. Mayor de 257 Pt/Co, y para el 2017, 210 y 277 Pt/Co respectivamente. Esto debido por la temporada de secas y la alta radiación solar de la época, provocando un incremento en la productividad algal. La fotosíntesis se incrementa con el aumento de la intensidad lumínica y la temperatura.

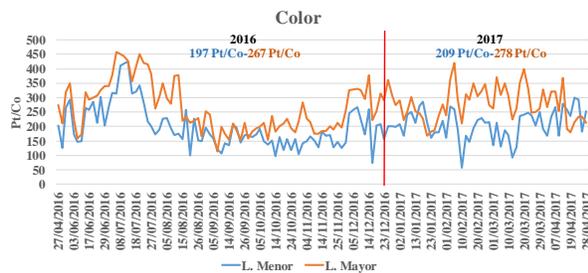


Figura 8. Promedios semanales de Color en el L. Menor y L. Mayor el periodo 2015-2017

En la Figura 9, se muestran los días de muestreo y valores obtenidos de Cla durante el 2015 al 2017. Apreciándose que, en el 2015, la Cla fue muy alta y después de la puesta en marcha de la planta, en el 2016, bajó considerablemente. En el 2017 se incrementan levemente ésta, siendo más alta en el L. Mayor.

Los promedios anuales para la Cla, fueron los siguientes. En el 2015 se obtuvo un promedio anual en el L. Menor de 830 y en el L. Mayor de 717 $\mu\text{g}/\text{L}$. Para el 2016 hubo una baja considerable en Cla, con 177 y 223 $\mu\text{g}/\text{L}$, respectivamente, incrementándose levemente para el 2017, con 217 y 254 $\mu\text{g}/\text{L}$.

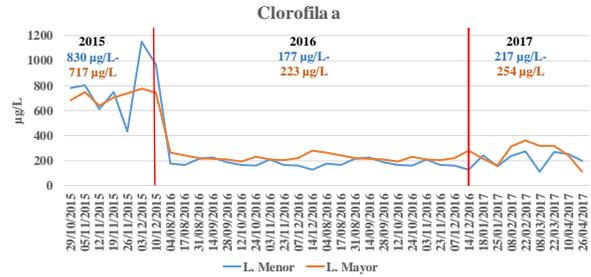


Figura 9. Comportamiento de Clorofila a en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

En la figura 10, se muestra el comportamiento de la biomasa algal del 2015 al 2017. Donde se observa que, en el 2015, la biomasa fue muy alta y después de la puesta en marcha de la planta, en el 2016, baja considerablemente. En el 2017 se incrementan levemente ésta, siendo más alta en el L. Mayor.

Los promedios anuales para la biomasa, del 2015 al 2017. Se obtuvo para el 2015 un promedio de 52,624 mg/m^3 , en el L. Menor y 48,165 mg/m^3 , en el L. Mayor. Para el 2016, hubo un decremento considerable, 11,885 mg/m^3 (77%) y 15,070 mg/m^3 (69%), respectivamente, y para el 2017, se incrementa levemente 14,526 y 17,024 mg/m^3 en ambos lagos.

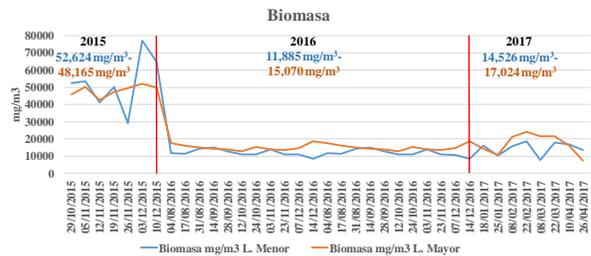


Figura 10. Comportamiento de la Biomasa en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

En la Figura 11, se muestran los días de muestreo y valores obtenidos del Fósforo Total (PT) durante el 2015 al 2017. Observando que, en el 2015, el PT fue muy alto y después de la puesta en marcha de la planta, en el 2016, bajó considerablemente. En el 2017 se incrementan levemente ésta, siendo más alta en el L. Menor.

Los promedios anuales para PT, del 2015 al 2017. Se obtuvo para el 2015 un promedio de 2.0 mg/L , en el L. Menor y 1.6 mg/L , en el L. Mayor. Para el 2016, hubo una baja a 1.0 y 1.1 mg/L , respectivamente, y para el 2017, se mantiene en 1.0 mg/L en ambos lagos.

“Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible”

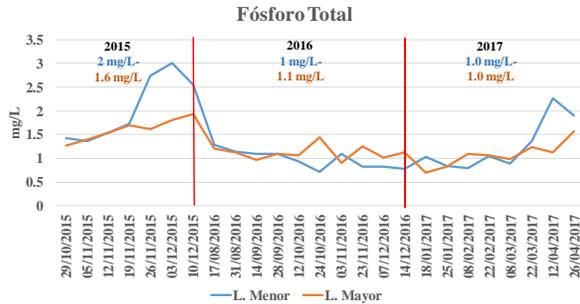


Figura 11. Comportamiento del Fósforo Total en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

En la Figura 12, se muestran los días de muestreo y valores obtenidos del Nitrógeno Total (NT) durante el 2015 al 2017. Apreciándose que, en el 2015, el NT fue muy alto. En el 2016, con la planta operando, bajó considerablemente. En el 2017 continúa bajando ésta, Teniendo unos picos al alza el L. Menor.

Los promedios anuales obtenidos de NT para el 2015 fueron de 13.5 mg/L, en el L. Menor y 14.1 mg/L, en el L. Mayor. Para el 2016, de 6.8 y 6.7 mg/L, respectivamente, reduciéndose casi a la mitad, y para el 2017 se obtuvo un promedio de 4.7 y 3.5 mg/L.

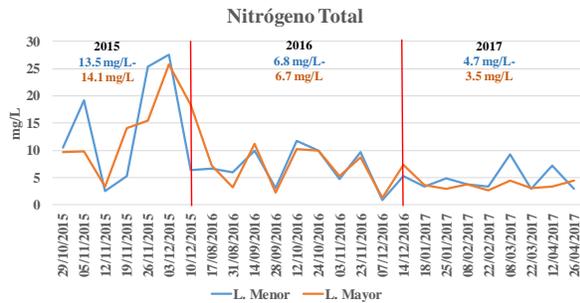


Figura 12. Comportamiento del Nitrógeno Total en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

Por último, también se estuvieron haciendo determinaciones de aluminio, debido al contenido de este en el coagulante, y que tanto afectaría al lago. En la figura 13, se muestra que, durante la colocación del coagulante directamente en el lago, en el 2015, el aluminio fue muy alto. Para el 2016 y 2017, éste se ha ido reduciendo considerablemente. Para el 2015 tenemos un promedio final en el L. Menor de 0.320 mg/L y para el L. Mayor de 0.344 mg/L. Para el 2016, 0.114 y 0.068 mg/L, respectivamente, y para el 2017, 0.058 y 0.044 mg/L. Por lo que se puede decir que el aluminio del coagulante utilizado en la planta, al retornar el agua ya tratada a los lagos, no los afecta.

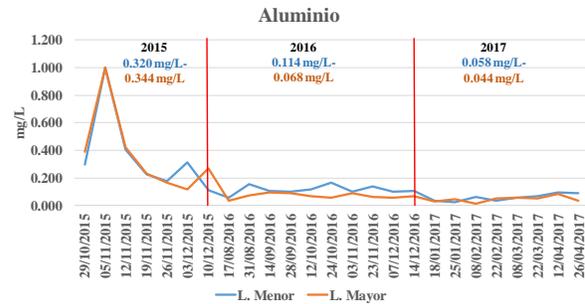


Figura 13. Comportamiento del Aluminio en el L. Menor y L. Mayor durante el periodo 2015-2017

Durante el 2015, se observaron florecimientos de *Microcystis spp.*, principalmente, pero a partir del 2016 al 2017 no se han presentado florecimiento alguno.

Discusión

Vela y colaboradores en el 2007, determinaron un pH de 10 y temperaturas mayores a 20°C, en el presente estudio encontramos que el pH se mantuvo entre 10 y 11 de pH y la temperatura entre los 20 y 21°C, no teniendo grandes variaciones durante el periodo 2015 al 2017.

Donde se observó una fuerte mejoría en la calidad del agua de los lagos, después de la puesta en marcha de la planta de coagulación floculación en el mes de marzo del 2016, fue en la transparencia, turbiedad y clorofila *a*, ya que, los promedios anuales de la medición de transparencia en el 2015 para el L. Menor fue de 26 cm y para el L. Mayor fue de 17 cm. En el 2016 el promedio anual fue de 44 y 37 cm respectivamente y en el 2017 el promedio anual fue de 53 y 46 cm para cada uno de los lagos. Con respecto a la turbiedad, también se observa la franca mejoría, ya que, en el 2015, en L. Menor y L. Mayor se obtuvo un promedio anual de 263 y 128 NTU, el cual baja a 20 y 30 NTU, respectivamente, en el 2016 y para el 2017, se obtuvo un promedio anual de 11 y 15 NTU respectivamente. Por último, la Clorofila *a*, en el 2015 se obtuvo un promedio anual de 830 y 717 µg/L. Para el 2016 hubo una baja considerable, con 177 y 223 µg/L, para el 2017, incrementándose levemente, con 217 y 254 µg/L. Siendo la biomasa algas para el 2015 de 52,624 mg/m³ en el L. Menor y de 48,165 mg/m³ en el L. Mayor. En el 2016 11,885 y 15,070 mg/m³ respectivamente y en el 2017, con un leve incremento de 14,526 y 17,024 mg/m³.

Alcocer y colaboradores en 1988, reportaron concentraciones de nitrógeno total y fósforo total a 8.8 y 4.7 mg/L, respectivamente. Lo que se encontró en el presente estudio las concentraciones de NT fueron, para el 2015 de 13.5 y 14.1 mg/L, muy altas. Para el 2016, de 6.8 y 6.7 mg/L, reduciéndose casi a la mitad, y para el 2017 se obtuvo un promedio de 4.7 y 3.5 mg/L. En el caso del fósforo, se obtuvo para el 2015 un promedio anual de 2.0 y 1.6 mg/L. Para el 2016 hubo una baja a 1.0 y 1.1 mg/L, y para el 2017, se mantiene en 1.0 mg/L en ambos lagos.

Por último, la evaluación del aluminio, debido al contenido del coagulante y que tanto afectaría a los lagos. Este no los afecta,

“Norteamérica y el Caribe en el camino hacia el desarrollo sostenible”

ya que, para el 2015 tenemos un promedio anual de 0.320 y 0.344 mg/L, en L. Menor y en el L. Mayor, debido a que en el L. Menor se estuvo poniendo directamente el coagulante. Para el 2016, ya con la planta en operación, se obtienen promedios de 0.114 y 0.068 mg/L y para el 2017, 0.058 y 0.044 mg/L.

Si se consideran las metas de calidad del agua para cuerpos de agua, en cuestiones de protección de la vida acuática (CONAGUA, 2015), se tiene que, en el periodo de estudio del 2015 al 2017, el pH que se encuentra entre los 10 y 11 unidades de pH, no cumple con el límite de pH entre 6.5-8.5. En el caso de la CE y SDT los límites son de 759 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para CE y para SDT son 500 mg/L, lo que quiere decir que los lagos se encuentran aceptables, durante el periodo de estudio, ya que los promedios anuales obtenidos, están por debajo de los límites de estos parámetros. Para PT, el límite es de 0.7 mg/L, se observa que no se cumple durante éste periodo. Por último, en aluminio se tiene un límite de 0.05 mg/L, lo que se observó en el estudio fue que, durante el 2015 y 2016, no se cumple, está por arriba del límite, en cambio en el 2017, en el L. Menor se encuentra levemente por arriba del límite y en el L. Mayor está por debajo de éste.

De acuerdo a las directrices que marca la OECD (por sus siglas en inglés: Organization for Economic Cooperation and Development, 1982), para el estado trófico de los lagos, se encuentran hipertrofico, ya que marcan como límite para Clorofila *a*, $>25 \mu\text{g}/\text{L}$ y el lago tiene un promedio final en el 2017 de $235 \mu\text{g}/\text{L}$. Para nitrógeno total el límite es de $>1200 \mu\text{g}/\text{L}$ y el lago tiene un promedio final de $4,100 \mu\text{g}/\text{L}$. Por último, el fósforo total, está en $> 100 \mu\text{g}/\text{L}$ y el lago presenta $1,000 \mu\text{g}/\text{L}$.

En el 2015 se estuvieron presentando algunos florecimientos de *Microcystis spp.*, principalmente en el L. Menor, y a partir del 2016, estos no se han dado en ninguno de los dos lagos.

Conclusiones

La calidad del agua de los lagos menor y mayor, se ha beneficiado con la puesta en operación de la planta de coagulación-floculación para el retiro de algas. Ya que, se ha logrado aumentar la transparencia, y disminuir la turbiedad, la clorofila *a*, la biomasa algal y los nutrientes (nitrógeno y fósforo). Lo cual ha evitado los florecimientos de *Microcystis spp.*

La utilización del policloruro de aluminio, en especial el aluminio contenido en él, después del tratamiento, no afecta a los lagos.

Las condiciones de hipertrofia se mantienen, pero con el tratamiento de las aguas se proporcionó un mejor aspecto a los lagos y se controló las floraciones de *Microcystis spp.* y el mal olor.

Bibliografía

Alcocer, J., Ato, E., Bles, E. y Vilaclara, G. (1988). Estudio preliminar del efecto del dragado sobre el estado trófico del

Lago viejo de Chapultepec. *Contaminación Ambiental*, **4**: 43-56.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). 21ed. American Public Health Association/American Water Work Association/Water Environment Federation. Washington, D. C.

Chorus, I. y Bartram, J., (1999). *Toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. E y FN Spon, London, 416 pp.

Giraldez-Ruiz, N., Bonilla I. y Fernandez-Piñas, F. (1999). “Role of external calcium in homeostasis of intracellular pH in the cyanobacterium *Anabaena* sp. Strain PCC7120 exposed to low pH”. *New Phytology*, **141**: 225-230.

Jöhnk, K.D., Huisman, J., Sharples, J., Sommeijer, B., Visser, P.M. y Stroom, J.M., (2008). Summer heatwaves promote *florações* of harmful cyanobacteria”. *Global Change Biology*, **14**:495-512.

Oliva-Martínez, M. G., Rodríguez-Rocha, A., Lugo-Vázquez, A. y Sánchez-Rodríguez, M. R. (2008). Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrofico. *Hidrobiológica*, **18** (1):1-13

Organization for Economic Cooperation and Development. (1982). Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. Final Report. *OECD Cooperative Programmed on monitoring of inland waters (Eutrophication control)*, Environment Directorate, OECD, Paris. 154p.

Palacios-Adame, A. A., y Vega-Morales, A. (2015). Plan de acciones para atender la problemática de calidad de agua en el Lago de Chapultepec, primera sección. Tesis. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. 97 pp.

Pérez-Morales, A., Olivos-Ortiz, A., Quijano-Sheggia, S. I., Espinoza-Rodríguez, C. H. y Jiménez-Santos, M. A. (2016). Estado actual del estudio de cianobacterias dulceacuícolas formadoras de florecimientos en el centro de México. En: *Florecimientos Nocivos en México*. García-Mendoza, E.; Quijano-Sheggia, S. I.; Olivos-Ortiz, A., y Núñez-Vázquez, E. J. (Eds). Ensenada, México, CISESE. pp. 408-421

Pineda-Mendoza, R., Martínez-Jerónimo, F., Garduño-Solórzano, G. y Olivera-Ramírez, O. (2011). Características morfológicas y moleculares de Cianobacterias filamentosas aisladas de florecimientos de tres lagos urbanos Eutróficos de la Ciudad de México. *Polibotánica*. **31**:31-50, ISSN 1405-2768.

Roset, J., Aguayo, S. y Muñoz, M.J. (2001). Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. *Review in Toxicology*. **18**: 65-71.

Vela, L., Sevilla, E., Martín, B., Pellicer, S., Bes, Ma. T., Fillat, M. F. y Peleato, Ma. L., (2007). Las microcistinas. *Real Academia de Ciencias*. Zaragoza. **62**. 135-146.