



Evaluación de compuestos bis-fluorofóricos en agua del río Tijuana

Evaluation of bis-fluorophore compounds in water from the Tijuana river

González-Joaquín Marlon Cesar ^{1-3*}, Íñiguez-Figueroa Christian A.¹, Aguilar-Martínez Xiomara Elizabeth ³, Oropeza-Guzmán Mercedes Teresita ², Martínez-Quiroz Marisela ¹⁻², Huerta-Saquero Alejandro ⁴

¹CETYS Universidad, Centro de Innovación y Diseño, Campus Tijuana, Av. CETYS Universidad No. 4 Fracc. El Lago, CP 22210. Tijuana, Baja California, México.

²Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, CP 22500, Tijuana, Baja California, México.

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, 22454 Tijuana, Baja California, México.

⁴Departamento de Bionantecología, Centro de Nanociencias y Nanotecnología CNYN-UNAM, Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, CP 22860, Ensenada, Baja California, México.

Autor de correspondencia: Marlon César González Joaquín, CETYS Universidad, Centro de Innovación y Diseño, Campus Tijuana, Av. CETYS Universidad No. 4 Fracc. El Lago, Tijuana, B.C. CP 22210, México. Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, CP 22500, Tijuana, Baja California, México. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, 22454 Tijuana, Baja California, México. E-mail: nanomarlon@outlook.com. ORCID: 0000-0002-6783-4574.

Recibido: 15 de Septiembre del 2019 **Aceptado:** 30 de Noviembre del 2019 **Publicado:** 15 de Enero 2020

Resumen. - Este trabajo se centra en el uso de compuestos bis-fluorofóricos en agua real para la detección y remoción de iones metálicos presentes en el río Tijuana, para esto se utilizó un trabajo previo de análisis químico y bacteriano de 6 muestras diferentes que se tomaron del Río Tijuana. Todos los sitios de muestreo fueron seleccionados cuidadosamente para obtener una comprensión precisa del estado actual del río a lo largo de su curso. Los resultados de TOC, DQO, DBO, Nitrógeno y fósforo mostraron que las presas no contienen cantidades elevadas de estos parámetros, pero al centro de la ciudad estos valores se incrementan por la posible interversión de conexiones del alcantarillado de la ciudad al río (55, 189, 131, 11.9 y 1.1 mg/L, respectivamente). Los puntos con mayor cantidad de materia orgánica fueron en el centro de la ciudad, por lo que se eligió ese punto en específico para la prueba de los compuestos bis-fluorofóricos, para asegurar la presencia de iones metálicos en el agua y se mostró que el agua que contiene compuestos fluorescentes y en presencia de estos compuestos bis-fluorofóricos hay un abatimiento de la fluorescencia. El análisis bacteriano mostró que el último punto de la ciudad, cerca de la frontera de USA y México, se concentra una cantidad elevada de bacterias y que la descarga va directo al océano pacífico, siendo un problema de salud y ambiental.

Palabras clave: Remoción de metales; Bis-fluorofórico; Tratamiento de aguas; Río Tijuana.

Abstract: This work focuses on the use of bis-fluorophore compounds in real water for the detection and removal of metal ions present in the Tijuana river, for this, a previous work of chemical and bacterial analysis of 6 different samples that were taken from the River was used Tijuana. All the sampling sites were carefully selected to obtain an accurate understanding of the current state of the river throughout its course. The TOC, COD, BOD, Nitrogen and phosphorus results showed that dams do not contain high amounts of these parameters, but in the city, center these values are increased due to the possible interversion of city sewer connections to the river (55, 189, 131, 11.9 and 1.1 mg / L, respectively). The points with the highest amount of organic matter were in the city center, so that specific point was chosen for the test of bis-fluorophoric compounds, to ensure the presence of metal ions in the water and it was shown that the water containing fluorescent compounds and in the presence of these bis-fluorophoric compounds there is a lowering of fluorescence. The bacterial analysis showed that the last point of the city, near the border of the USA and Mexico, concentrates a high number of bacteria and that the discharge goes directly to the Pacific Ocean, being a health and environmental problem.

Keywords: Metal removal; Bis-fluorophoric; Water treatment; Tijuana River.



1. Introducción

Tijuana es una ciudad ubicada en el extremo norte del país y colinda con los Estados Unidos. En el corazón de la ciudad fluye un río que lleva su nombre y tiene la característica de llevar agua del Río Colorado a ambos países mediante un acuerdo legal [1].

El agua que proviene del Río Colorado desemboca en las presas de Tijuana, primeramente en la presa el Carrizo para posteriormente llegar a la presa Abelardo L. Rodríguez, estas dos presas alimentan a las potabilizadoras de Tijuana, una ubicada en “El Florido” que es alimentada directamente de la presa el Carrizo y otra potabilizadora llamada “Abelardo L. Rodríguez” que es alimentada por la presa Abelardo L. Rodríguez, ambas potabilizadoras son encargadas de suministrar agua a la red de distribución de la ciudad de Tijuana. La presa el Carrizo desemboca por un arroyo a la presa Abelardo L. Rodríguez, parte del agua de la presa se transporta por medio de la canalización del Río Tijuana para finalizar su recorrido a la entrada de USA y llegar al mar del pacífico. Sin embargo, áreas aledañas a las presas contaminan el río que afecta en la calidad durante su traslado sobre la canalización, esto debido a que se encuentran pequeñas zonas de descarga de desechos, por parte de los ciudadanos y algunas empresas de Tijuana que manejan principalmente agente tóxicos, pesticidas y metales, siendo estos últimos de especial interés. Estos compuestos pueden elevar la contaminación del agua y por ende generar un problema en la salud de quienes la adquieren y beben, por lo tanto, es importante evaluar la calidad del agua y

buscar alternativas para su proceso de descontaminación. Los metales en agua se pueden evaluar mediante equipos sofisticados y técnicas específicas, sin embargo, hay un interés en el uso de compuestos bis-fluorofóricos que han demostrado ser una alternativa viable en la detección y remoción de algunos metales en agua sintética (agua previamente preparada con metales de interés). Los compuestos bis-fluorofóricos son fluorescentes y el quitosano se utiliza para modificarlo con ellos lo cual les confiere la habilidad de remover algunos iones metálicos y mostrar una señal que puede ser cuantificable, de este modo pueden fungir como un evaluador de la calidad del agua así como un prospecto para no sólo evaluar sino remover algunos iones como Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} y Ca^{2+} que pueden estar presentes en el Río Tijuana [2].

2. Antecedentes

El Río Tijuana desemboca directamente al océano pacífico, cerca de las playas de Tijuana y San Diego, siendo un punto importante de turismo por parte de ambos países. Por lo tanto, es importante considerar la calidad de agua que llega al pacífico, debido a que atraviesa toda la ciudad de Tijuana y puede verse afectada por distintas variables durante su trayectoria. Tijuana se caracteriza por ser en su mayoría una ciudad industrializada y dentro de la canalización del Río Tijuana hay puntos de desagüe que vienen de algunas empresas que en algunos casos trabajan con materiales tóxicos, pesticidas y



metales. Estos compuestos pueden generar un problema de salud, por lo tanto, es importante poder remover y cuantificar dichos iones metálicos para evitar su llegada al mar.

En la actualidad hay distintos métodos para detectar y remover iones, sin embargo, el uso de polímeros naturales y sintéticos ha sido una alternativa muy importante, ya que pueden coagular y precipitar los iones presentes en el tratamiento de aguas, incluso en el tratamiento primario de aguas residuales. La combinación de ambos polímeros puede favorecer el enlace formado con los iones presentes y ser un material amigable con el medio ambiente. Un material muy utilizado es el quitosano, que no presenta toxicidad y además es biodegradable [3, 4]. Algunos autores han modificado el quitosano con aldehídos y ácidos para la remoción de metales pesados [5, 6], esto abre la posibilidad de poder realizar más arreglos y encontrar las mejores condiciones y formas de remover metales. La modificación del quitosano resulta atractiva para la detección y remoción de metales, por lo tanto se pretende hacer uso de un compuesto bis-fluorofórico del tipo carbamoyl benzoico que es capaz de funcionar como sensor para ciertos metales, sin embargo sólo se ha probado en agua sintética y se pretende hacerlo en agua real (muestra de agua que proviene del Río Tijuana) del Río Tijuana, donde los principales iones presentes en el agua residual industrial son Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} y Ca^{2+} , algunos iones forman una coagulación-floculación al momento de la combinación con quitosano modificado [6].

La combinación de un polímero natural y uno sintético genera los nuevos materiales llamados “Eco-Friendly” que son importantes en la actualidad porque son amigables con el ambiente y en la mayoría de los casos los nuevos materiales generan un alto costo al ambiente por la contaminación que puede producir [7].

La mayoría de los procesos utilizados para la remoción de metales son con el uso de materiales que no son amigables con el medio ambiente [8, 9] por lo tanto hay un especial interés en demostrar el uso de los compuestos bis-fluorofóricos en agua del Río Tijuana, el cual combina, materiales sintéticos, pero también materiales naturales como el quitosano.

La calidad del agua se puede evaluar con distintos parámetros como lo son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT), Alcalinidad, Sólidos Suspendidos (SS), Nitrógeno (N_2), Fósforo (P), Grasas y algunas técnicas como la espectroscopia de UV-vis y Fluorescencia, así como el análisis de microorganismos y de metales. Todos estos parámetros nos ayudan a determinar el grado de contaminación e impacto que puede tener el agua sobre la naturaleza.

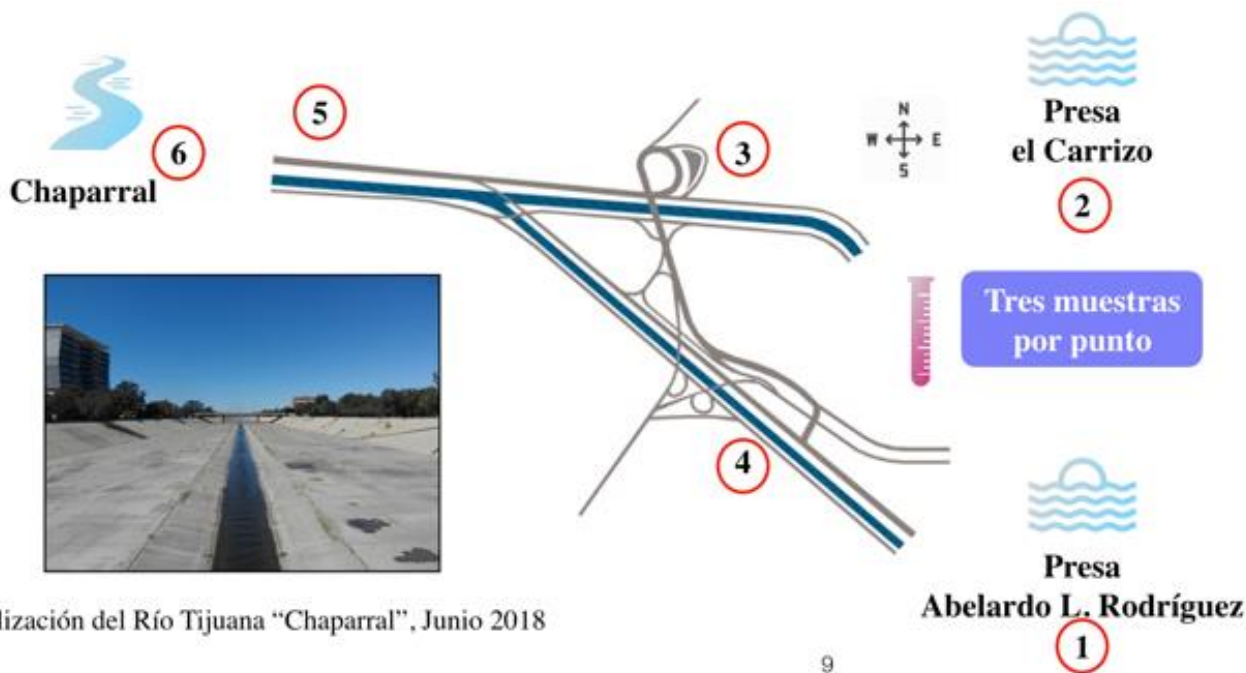


3. Metodología

Se seleccionaron seis sitios a lo largo del río Tijuana para la presente investigación. Los sitios fueron seleccionados tratando de abarcar ciertas distancias durante el río, con el fin de tener un conocimiento general del río Tijuana, para en un futuro conocer las áreas de mayor cambio en la contaminación y así poder seleccionar una mayor cantidad de puntos de muestreo y poder generar más información que pueda determinar la calidad del agua del río Tijuana e incluso conocer los focos de contaminación que están alterando la calidad

del río en su trayectoria. Los muestreos fueron realizados cada 2 meses.

Los seis sitios de muestreo fueron los siguientes: la primera muestra se tomó de la presa Abelardo L. Rodríguez (muestra 1), la segunda muestra se tomó de la presa Carrizo (muestra 2). En el centro de la ciudad, dos partes del río se interceptan, creando una formación en “Y”; una corriente del río proviene de Tecate de la presa el Carrizo, mientras que la otra corriente proviene de la presa Abelardo L. Rodríguez.



Canalización del Río Tijuana “Chaparral”, Junio 2018

Figura 1. Intercepción del río proveniente de la presa Abelardo L. Rodríguez y Carrizo (formación Y).

La tercera muestra se tomó de la corriente que proviene de la presa Carrizo (muestra 3), mientras que la cuarta muestra se obtuvo de la corriente que proviene de la presa Abelardo L. Rodríguez (muestra 4). La quinta muestra se tomó de la intersección de ambas corrientes

(muestra 5) donde el río se unifica para reanudar su camino hacia el Océano Pacífico a través de la parte occidental de la ciudad. Por último, pero no menos importante, el cuarto sitio de muestreo se tomó de la trayectoria de la presa Abelardo L. Rodríguez, esto debido a



que fue la muestra con mayor carga de contaminación en los parámetros medidos.

Los eventos de muestreo se llevaron a cabo de manera bimestral, iniciando en Julio-Septiembre. Las muestras se tomaron de los primeros 10-15 cm de las superficies de los ríos y represas y se analizaron dentro de las primeras 12 horas en busca de: pH, DBO, DQO y valores de TOC, así como la cantidad de sólidos suspendidos, absorbancia, fluorescencia; y el análisis de diferentes tipos de microorganismos. La carga microbiológica de las muestras de agua de seis puntos se evaluó de la misma manera (bimestral), los datos se determinaron por cuenta viable, mediante el método cuantitativo de las unidades formadoras de colonias (UFC) basadas en micro diluciones y placas del Luria Bertani (LB). Los análisis son en base a las normas siguientes, NOM-109-SSA1-1994, NOM-110-SSA1-1994, NOM-112-SSA1-1994 y NOM-113-SSA1-1994 [10-13]. La metodología para el análisis fue de la siguiente manera.

Se preparó una solución de 1.5 L de LB agregando triptona (15 g), extracto de levadura (7.5 g), NaCl (15 g) y agar (22.5 g); el agar se agregó después de ajustar el pH a 7.5. Todo el material necesario (medio LB y puntas de micropipeta) se llevó a esterilizar en la autoclave. Una vez esterilizado el material, se prepararon alrededor de 100 placas con LB para el crecimiento bacteriano, este procedimiento se realizó en campana de flujo laminar con luz UV. Las placas solidificadas se mantuvieron en refrigeración para evitar alguna contaminación o crecimiento de

bacterias provocado por el medio ambiente. El inóculo fue de 5, 50 y 500 µL de agua real y se incubó durante toda la noche, el conteo se realizó de manera visual por conteo de Unidades Formadoras de Colonias.

Tabla 1. Reactivos utilizados para el análisis microbiológico (Centro de Nanociencias y Nanotecnología).

Reactivo	Marca	Grado	Lote
<i>Triptona</i>	BECTON DISKINSON	ACS	4316611
<i>Extracto de levadura</i>	BECTON DISKINSON	ACS	3326151
<i>Cloruro de Sodio</i>	BEKER	ACS	-
<i>Agar</i>	BECTON DISKINSON	ACS	3218432

Todas las muestras y los análisis se realizaron por triplicado para determinar la confiabilidad de los resultados.

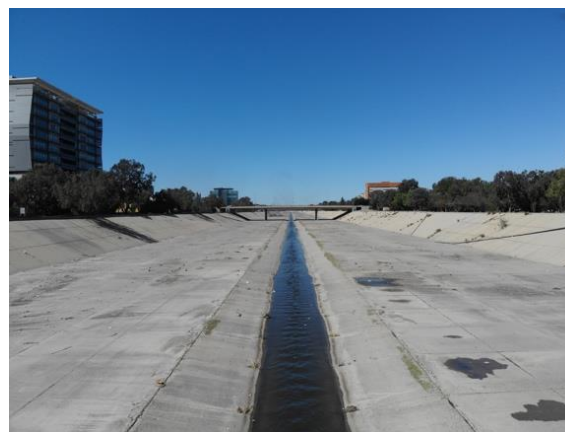


Figura 2. Río Tijuana a través de la ciudad y cerca de la zona fronteriza de Estados Unidos conocido como el Chaparral.

Finalmente se seleccionó las muestras del chaparral para las pruebas del compuesto fluorofórico, esto con la intención de tener un mayor alcance en la detección de algún metal



o compuesto en el agua, debido a que el punto de muestreo se encuentra al final de la trayectoria y es probable que tenga la mayor carga contaminante.



Figura 3. Río Tijuana a través de la ciudad cerca de la intersección “Y”.

También es importante mencionar que las imágenes de los sitios de muestreo se tomaron durante el evento de septiembre del 2018 y enero del 2019.

La síntesis del compuesto bis-fluorofórico se describe a continuación.

Para preparar el dianhídrido de quitosano, ChD, el procedimiento fue el siguiente: se añadió gradualmente quitosano de bajo peso molecular (1 g), bajo agitación mecánica constante en 100 ml de ácido acético acuoso al 0,7% (v/v). Después de completar la disolución, se añadieron gota a gota 6 ml de dianhidruo de 3,3',4,4'-benzofenonetetracarboxílico (0,67 g) en etanol. Para preparar el dianhídruo de amina de Chitosan, ChDA, la mezcla mencionada anteriormente se combinó con bencilamina

(se añadieron 0,4 ml gota a gota). Cada solución derivada de etanol se agitó durante 5 h. Después de la preparación, ambos derivados se precipitaron agregando una cantidad adecuada de acetona. Se realizó un paso final de purificación durante 24 h [2].

4. Resultados y Discusiones

Los niveles de materia orgánica, DBO, DQO y TOC de las muestras en la presa Abelardo L. Rodríguez (muestra 1) y la presa Carrizo (muestra 2), en los cuales, ambos se unen para dar origen al Río Tijuana, todos están cerca del mismo intervalo.

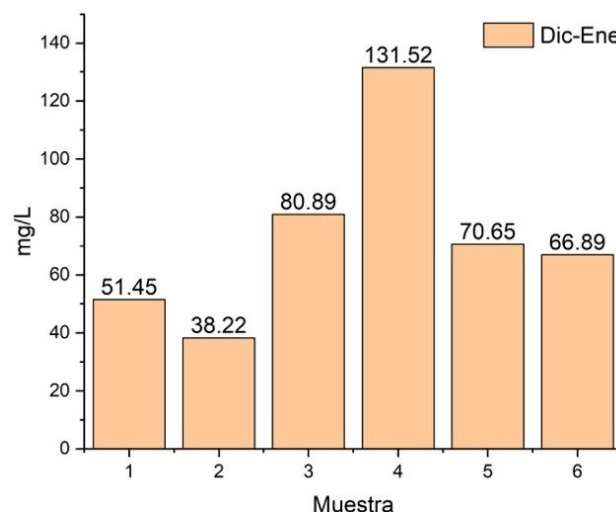


Figura 4. Análisis de DBO para los seis puntos de muestreo durante Diciembre del 2018 y Enero del 2019.

Las Figuras (4, 5, y 6) muestran una relación de mayor DBO, DQO y TOC en los puntos 3, 4 y 5. Los valores de DBO están por encima de la norma NMX-AA-028-SCFI-2001, el cual el valor máximo que debería de tener es de 35 mg/L y el valor dentro de las presas sobre pasa esos valores, además se observa que el punto 4 tiene hasta 5 veces más sobre el



límite de la norma. El límite permisible de DQO es entre 170 a 240 mg/L con base a la norma NMX-AA-030/2-SCFI-2011, se observa que el punto 4 de muestreo están en ese intervalo y los demás están por debajo. Las presas muestran una demanda química de oxígeno bastante buena, pero en la trayectoria del río aumenta considerablemente. Los valores permisibles para el TOC son aproximadamente 1 mg/L con base a la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 deberá ser menor a 1 mg/L y para todos los puntos de muestreo el valor sobre pasa los 8 mg/L.

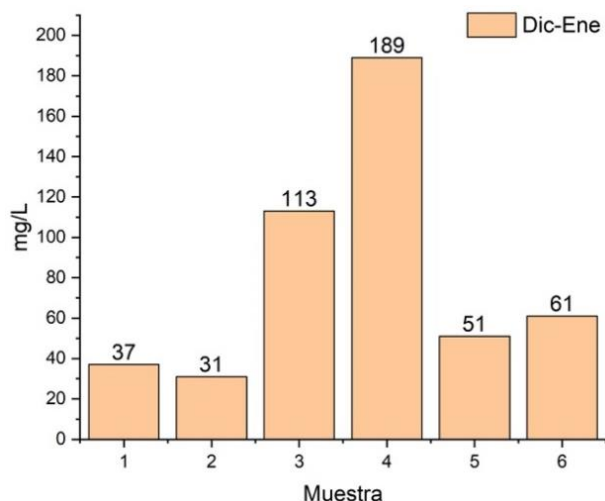


Figura 5. Análisis de DQO para los seis puntos de muestreo durante Diciembre del 2018 y Enero del 2019.

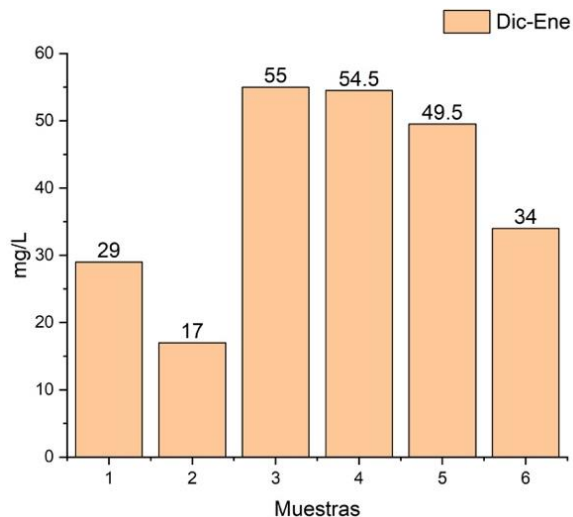


Figura 6. Análisis de TOC para los seis puntos de muestreo durante Diciembre del 2018 y Enero del 2019.

Un factor importante que se le puede atribuir a los puntos tres, cuatro y cinco son que en dicha área se encuentran parques industriales que a su vez están conectadas por alcantarillas que llegan a en algunos casos a la canalización del Río Tijuana.

Posterior al trayecto industrial se encuentra una elevada área de vegetación creciente de manera natural y este factor puede ser el motivo por el cual disminuye la carga contaminante que se ve reflejado en los puntos cinco y seis.

Las Figuras (7 y 8) corresponden al análisis de Nitrógeno y Fósforo, sin embargo, estos parámetros no se ven tan variados con respecto a los anteriores, de la misma forma el punto tres se ve con mayor concentración.

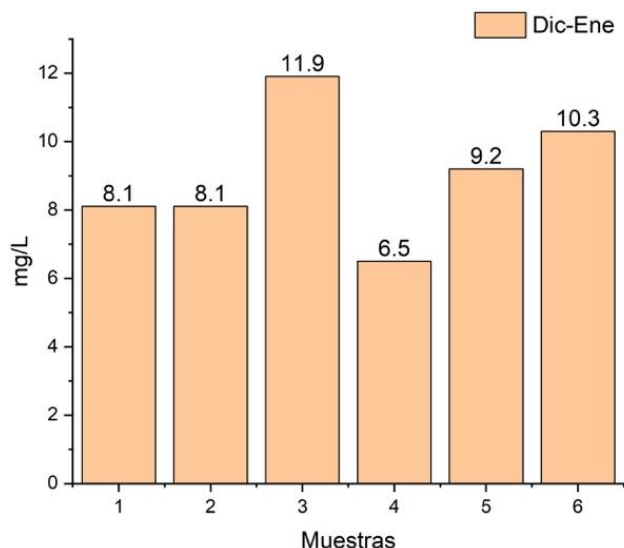


Figura 7. Análisis de Nitrógeno para los seis puntos de muestreo durante Diciembre del 2018 y Enero del 2019.

La mayor cantidad de N_2 se encuentra cerca de la intersección en las dos fuentes de agua, aproximadamente 10 veces más que los demás puntos de muestreo.

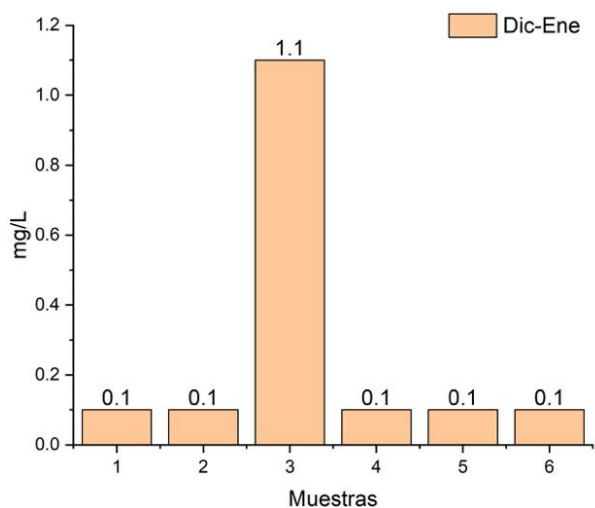


Figura 8. Análisis de Fósforo para los seis puntos de muestreo durante Diciembre del 2018 y Enero del 2019.

El punto tres difiere de todos los demás puntos, de igual forma se atribuye a las distintas conexiones del alcantarillado que

llegan a la canalización provenientes de las distintas industrias aledañas.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de todos los puntos de muestreo y se observa que el Chaparral (muestra 6) cerca de la franja fronteriza a Estados Unidos expuso un alto contenido de bacterias. La proporción de coliformes es similar en todos los cuerpos muestreados de agua, mientras que los bacilos aumentan significativamente en la evaluación de la presa el Carrizo.

Los resultados del estudio microbiológico mostraron que el sitio de muestreo número 6 presentó el mayor contenido bacteriano en Julio-Septiembre, que luego disminuyó con respecto a las muestras tomadas en Septiembre-Octubre. Esta disminución se puede atribuir a la acumulación y al corte del servicio de agua que se llevó a cabo durante ese período en la ciudad de Tijuana. Los análisis de aguas de ambas represas se mantuvieron con un bajo contenido de bacteriano.

Tabla 2. Reporte microbiológico del Río Tijuana.

Muestra	Julio-Septiembre UFC/mL	Septiembre- Noviembre UFC/mL	Noviembre- Enero UFC/mL
1	1,050	0	1.55×10^5
2	330	500	1.31×10^4
3	5.2×10^6	600	7.31×10^4
4	5.4×10^6	15,567	6.45×10^5
5	3.7×10^6	5,450	2.46×10^5
6	2,190,000	1,967	3.73×10^5

Para los sitios de muestreo número 3, 4 y 5 se observa el mismo fenómeno que en el punto 6; se detectó un alto contenido de bacterias en



el mes de Julio-Septiembre, seguido de una disminución en Octubre-Noviembre. Respecto a los géneros identificados, se observa en todos los casos que los coliformes son el grupo predominante; Son porcentajes del 56% al 83%. En cuanto al grupo de bacilos, se encontró un intervalo de 17% a 25% en todas las muestras.

Por otro lado, cuando se llevó a cabo el segundo evento de muestreo, se observó una capa verdosa de microalgas en toda la orilla de la presa en el sitio de muestreo número 1; causando una posible inhibición de las

bacterias debido a la presencia de agentes tóxicos, posiblemente a descargas de aguas contaminadas en las presas.

La Figura 9 muestra los espectros UV-Vis para las muestras 1-6. Estas tienen bandas de absorción ligeramente estructuradas que corresponden a transiciones electrónicas $\pi-\pi^*$. Estas señales pueden atribuirse a la presencia de agentes infecciosos presentes en el agua, que se observa en los resultados microbiológicos y concuerda con lo que se observa en la fluorescencia.

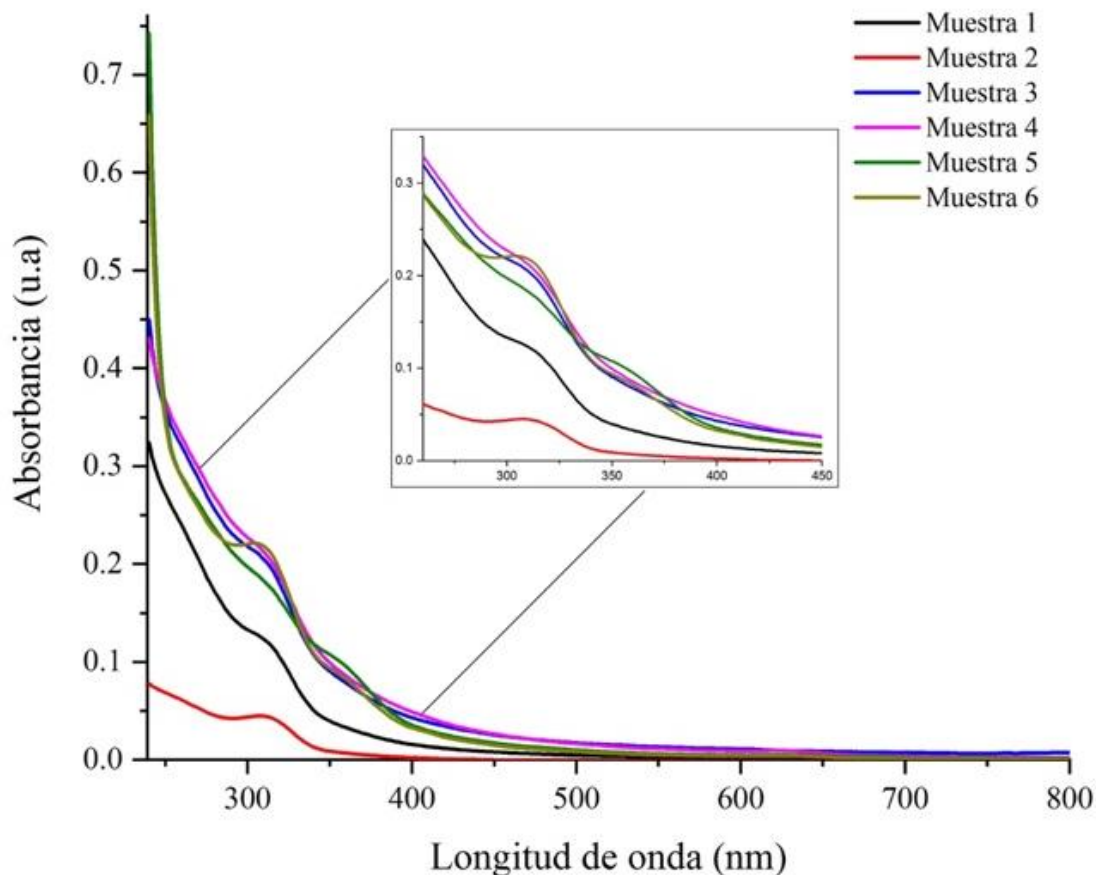


Figura 9. Espectro de UV-vis para los seis puntos de muestreo del bimestre Septiembre-Noviembre.



Sin embargo, otros compuestos orgánicos no infecciosos pueden absorber una pequeña longitud de onda; incluso la absorbancia del cloro puede ser de hasta 310 nm en este análisis. Dado que se están realizando experimentos con floculantes en aguas residuales, es importante recuperar estos datos para analizar su comportamiento después de la adición de los compuestos bis-fluorofóricos de manera experimental, deberá haber una tendencia de aumento o disminución de la adsorción.

Los espectros de fluorescencia obtenidos de los sitios de muestreo 1-6 se muestran en la Figura 10. La variación tanto en la longitud de onda como en la intensidad de la fluorescencia

es atribuible a la presencia de contaminantes de los sitios de muestreo y será importante al momento de agregar los compuestos bis-fluorofóricos que nos indicará la presencia de iones. El análisis del río sirve de dos maneras, la primera es para conocer la calidad del agua que va al océano pacífico y la otra es para poder ubicar los puntos de mayor contaminación dentro del río y así poder probar el sensor en un punto que asegure la presencia de contaminantes y especialmente la de metales. Faltaría hacer un análisis previo de metales en el agua, pero eso es trabajo a futuro.

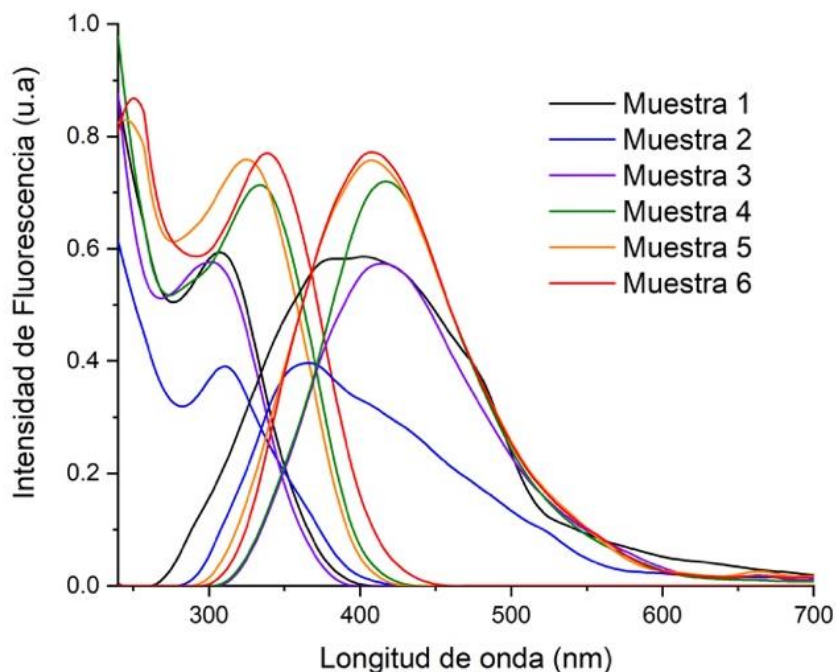


Figura 10. Espectro de Fluorescencia normalizada para los seis puntos de muestreo del bimestre Diciembre-Enero.

La Figura 11 muestra la adición del compuesto bis-fluorofórico en relación con el

agua del punto cuatro de la canalización. Se observa que el agua tiene una elevada



fluorescencia de aproximadamente 1000 unidades arbitrarias y conforme se agrega el sensor esa fluorescencia se ve abatida, esto puede; deberse a que el agua de la

canalización contiene compuestos fluorescentes y además iones metálicos que al unirse con el compuesto bis-fluorofórico se abate la fluorescencia de manera gradual.

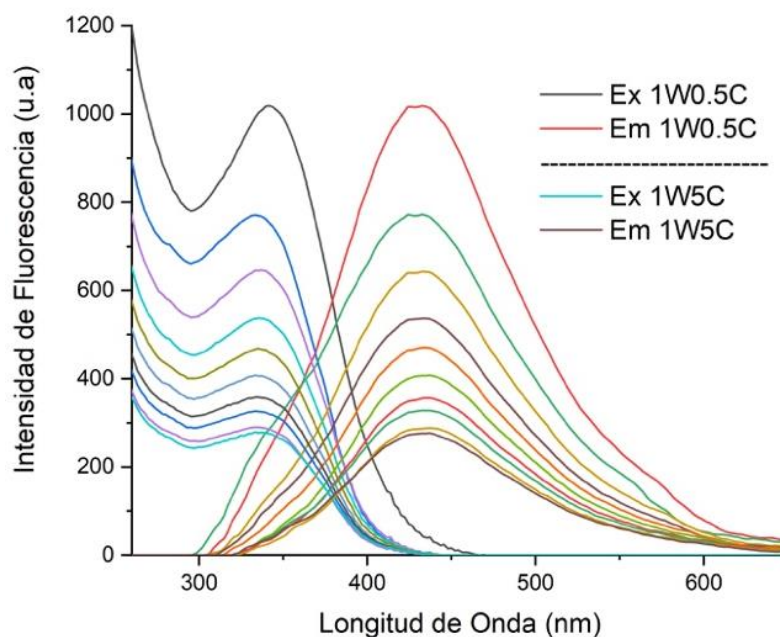


Figura 11. Abatimiento gradual de la fluorescencia en presencia del compuesto bis-fluorofórico a una concentración 1×10^{-5} M en solución acuosa.

El propósito de analizar las presas de la ciudad de Tijuana es poder conocer la calidad del agua que hay en ellas y ver los puntos en donde el agua se contamina, antes de llegar al pacífico. Las presas no contienen agua contaminada y por ese motivo se usa para su potabilización, sin embargo, hay cierta parte del agua de las presas que sigue su cauce por la canalización y que debería de llegar al mar sin alguna alteración grande, sin embargo, pasa lo contrario, durante ese trayecto el agua se contamina por distintas vías, ya sea desechos industriales o desechos generados por parte de los ciudadanos. Las normas establecidas en este

documento dan un valor de límite permisible para desechos de aguas residuales y en la mayoría de los casos, los valores en la canalización sobrepasan esos límites, los cuales llegan a desembocar directo al mar. En su mayoría, los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 son sobrepasados por variadas unidades y sobresaliendo los puntos de muestreo 4, cercas de las zonas industriales.

5. Conclusiones

La mayor parte de contaminación es en la ciudad y esto puede ser debido a los densos



asentamientos urbanos cerca de la canalización del río que lo utilizan continuamente como un relleno sanitario, un mal sistema municipal de alcantarillado, múltiples instalaciones industriales que desechan agua contaminada y un uso ineficiente de aguas residuales pre-tratadas de las instalaciones de tratamiento están causando que el Río Tijuana llegue contaminado al Océano Pacífico. De acuerdo con los resultados, las presas son aceptables en condiciones de uso para la potabilización del agua ya que no alcanzan en su mayoría los límites permisibles establecidos por las normas, sin embargo, el agua que no es utilizada para potabilizar que sigue el trayecto hacia la canalización sufre múltiples cambios en su calidad por distintos factores, uno de ellos son los desechos industriales que están a los alrededores y otro son los asentamientos de indigentes dentro de la canalización. La mayor fuente de contaminantes se da en el área industrial, al centro de la ciudad de Tijuana entre las presas y el pacífico. El agua que llega al pacífico llega contaminada de distintas formas durante la trayectoria de las presas al mar. Los compuestos bis-fluorofóricos mostraron ser capaces de propiciar un cambio en presencia de agua real, sin embargo, falta complementar con otras técnicas para saber qué es lo que está abatiendo la fluorescencia, ya que pueden ser distintos compuestos presentes en el agua y no sólo metales.

Agradecimientos

Se agradece a los autores presentes en el trabajo, al CONACYT por la beca otorgada, así como al Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tijuana, la Universidad Autónoma de Baja California Valle de las Palmas, al CNyN y CETYS Universidad, al alumno Saúl Solares Martínez por las imágenes tomadas durante el proyecto.

Referencias

- [1] R. M. Gersberg, D. Daft, and D. Yorkey, "Temporal pattern of toxicity in runoff from the Tijuana River Watershed," *Water Research*, vol. 38, no. 3, pp. 559-568, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.002>.
- [2] M. Martínez-Quiroz, E. A. López-Maldonado, A. Ochoa-Terán, G. E. Pina-Luis, and M. T. Oropeza-Guzman, "Modification of chitosan with carbamoyl benzoic acids for testing its coagulant-flocculant and binding capacities in removal of metallic ions typically contained in plating wastewater," *Chem. Eng. J.*, vol. 332, no. September 2017, pp. 749-756, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.042>.
- [3] M. R. Kasaai, "Determination of the degree of N-acetylation for chitin and chitosan by various NMR spectroscopy techniques: A review," *Carbohydr. Polym.*, vol. 79, no. 4, pp. 801-810, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.10.051>.
- [4] V. K. Thakur and M. K. Thakur, "Recent advances in graft copolymerization and applications of chitosan: A review," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 12, pp. 2637-2652, 2014. <https://doi.org/10.1021/sc500634p>.
- [5] T. R. A. Sobahi, M. Y. Abdelaal, and M. S. I. Makki, "Chemical modification of Chitosan for metal ion removal," *Arab. J. Chem.*, vol. 7, no. 5, pp. 741-746, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.12.011>.
- [6] M. Martínez-Quiroz, E. A. López-Maldonado, A. Ochoa-Terán, M. T. Oropeza-Guzman, G. E. Pina-Luis, and J. Zeferino-Ramírez, "Innovative uses of carbamoyl



benzoic acids in coagulation-flocculation's processes of wastewater," Chem. Eng. J., vol. 307, pp. 981-988, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.011>.

[7] M. Monier, D. A. Abdel-Latif, and Y. G. Abou El-Reash, "Ion-imprinted modified chitosan resin for selective removal of Pd(II) ions," J. Colloid Interface Sci., vol. 469, no. 1, pp. 344-354, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.01.074>.

[8] M. Nourani, M. Baghdadi, M. Javan, and G. N. Bidhendi, "Production of a biodegradable flocculant from cotton and evaluation of its performance in coagulation-flocculation of kaolin clay suspension: Optimization through response surface methodology (RSM)," J. Environ. Chem. Eng., vol. 4, no. 2, pp. 1996-2003, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.03.028>.

[9] A. Y. Zahrim, A. Nasimah, and N. Hilal, "Coagulation/flocculation of lignin aqueous solution in single stage mixing tank system: Modeling and optimization by response surface methodology," J. Environ. Chem. Eng., vol. 3, no. 3, pp. 2145-2154, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.07.023>.

[10] NOM-109-SSA1-1994. Procedimiento para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. <https://amyd.quimica.unam.mx/mod/url/view.php?id=12738>.

[11] NOM-110-SSA1-1994. Preparación y dilución de muestras para su análisis microbiológico. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/110ssa14.html>.

[12] NOM-112-SSA1-1994. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/112ssa14.html>.

[13] NOM-113-SSA1-1994. Método para cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>.

[14] NMX-AA-028-SCFI-2001. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales residuales (DBO5) y residuales tratadas-método de prueba. <https://agua.org.mx/biblioteca/nmx-aa-028-scfi-2001-analisis-de-agua-determinacion-de-la-demanda-bioquimica-de-oxigeno-en-aguas-naturales-residuales-dbo5-y-residuales-tratadas-metodo-de-prueba/>

[15] NMX-AA-030/2-SCFI-2011. Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales residuales y residuales tratadas-método de prueba-parte 2-determinación del índice de la demanda química de oxígeno-método de tubo sellado a pequeña escala. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5304230&fecha=27/06/2013

[16] NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNorma.xhtml?pidn=anErSWdUU3IHZldreEVidFoxYzhhdz09>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)