



MONITOREO DE EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PTAR-UAAAN

**Felipe Hernández Hernández¹; Luis Samaniego Moreno¹; Aarón Isain Melendres Alvarez¹;
Juan Nápoles Armenta²**

¹Departamento de Riego y Drenaje, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista,
C.P. 25315, Saltillo, Coahuila, México.

lsamaniegom@gmail.com - 844 103 11 12 (*Autor de correspondencia)

²Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda
el Cañada, C.P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México.

Resumen

La calidad del agua es determinada mediante análisis para conocer sus características físicas y químicas, comparándolas con normas y estándares de calidad. De esta manera se puede identificar si el agua es apta para los requerimientos de calidad asociados a un uso determinado, por ejemplo, para consumo humano o riego, según sea el caso, dependiendo de sus procesos de depuración requeridos para la remoción de elementos indeseables o riesgosos. Para evaluar la calidad del agua en México principalmente se llevan a cabo cuatro indicadores, como lo son: Coliformes Fecales (CF), Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). En la PTAR-UAAAN se obtuvieron datos que permiten ver una buena eficiencia de remoción de contaminantes, pero para el uso de riego en servicio al público con contacto indirecto u ocasional se tuvo que en DBO₅ si se cumplió con la NOM-003-SEMARNAT-1997 al no superar el límite máximo permisible (30 mg por litro), aunque para el parámetro de SST hubo algunos días que no se cumplió con el límite máximo permisible (30 mg por litro), debido al mantenimiento de un reactor de la PTAR, fuera de esos días el tratamiento dio resultados adecuados para el uso de servicio al público antes mencionado, al igual en CF hubo momentos en los que supero el límite máximo permisible, sin embargo las remociones fueron excelentes con porcentajes arriba del 98 para CF en cuanto eficiencia en general.

Palabras claves: Calidad, CF, DBO₅, remoción, SST.



Introducción

Las fuentes de agua disponibles han sido contaminadas gradualmente y fueron las causantes de muchas epidemias que diezmaron ciudades enteras en la Antigüedad. El hombre tardó bastante tiempo en darse cuenta de que el agua que estaba consumiendo era la causante de muchas de las enfermedades que estaba padeciendo y solo a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX empezó a implementar procesos para tratar y desinfectar el agua que consumía (Sierra, 2011).

Noyola et al. (2013) menciona que el propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará.

Se conocen como operaciones unitarias a los métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos, y como procesos unitarios a los métodos que la eliminación de los contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos. En la actualidad, estas operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario (Hammeken & Romero, 2005).

La calidad del agua se vigila en la red de monitoreo, a través de cuatro parámetros principales: La DBO₅, DQO y CF resultan del vertido de aguas residuales municipales e industriales. Los SST se originan por descargas de aguas residuales o por erosión hídrica (CONAGUA, 2018).

Para el reúso de las aguas residuales tratadas en servicios al público con contacto indirecto u ocasional se establecen límites máximos permisibles de contaminantes de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1997 en parámetros como son los Coliformes Fecales (CF), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST) (SEMARNAT, 1997).

Objetivos

Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en el funcionamiento de la PTAR de la UAAAN mediante la evaluación de la calidad de agua en el influente y efluente de esta, a través del monitoreo mediante la medición y determinación de parámetros.

Analizar el comportamiento de los resultados del tratamiento del agua residual en general de la PTAR – UAAAN.

Contrastar los resultados del efluente de la PTAR – UAAAN con los límites permitidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997 (Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en riego en servicios al público con contacto indirecto u ocasional).



Parámetros de caracterización del agua residual

A continuación, se definen los indicadores de la calidad del agua, y a su vez como se evalúa el parámetro de acuerdo con su norma correspondiente establecida por la organización competente.

Potencial de hidrogeno (pH):

Es una forma de expresar la concentración de iones Hidrógeno [H+] o más exactamente de su actividad. Se usa universalmente para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas de una solución (Pérez, 2010)

Una vez que el equipo esta calibrado y verificado correctamente, se procede a realizar la medición de la muestra. Cuando sea posible, se miden las muestras directamente del cuerpo de agua, en este caso, se extrajo en un recipiente y realizaron las mediciones sobre una alícuota. Se sumergió el electrodo en la muestra, se agito levemente, espero que la lectura se estabilice, y se registró el dato.

Conductividad eléctrica (CE):

Es una medida de la corriente conducida por los iones presentes en el agua y depende de: la concentración de iones, la naturaleza de los iones, la temperatura de la disolución. Se expresa en las unidades de siemens por metro ($S m^{-1}$) o unidades equivalentes como microsiemens por centímetro ($\mu S cm^{-1}$).

Coliformes fecales (CF)

(CF-Método de filtración por membrana)

Comprende todos los bacilos aerobios o anaerobios facultativos, gram negativos no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44^{\circ} C \pm 1^{\circ}$ en un plazo de 24 h.

El método se basa en la filtración de una muestra directa o una alícuota de la muestra a través de una membrana de celulosa que retiene los organismos, colocando la membrana ya sea en un medio de cultivo selectivo de agar lactosado.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La concentración de la masa de oxígeno equivalente a la cantidad de dicromato consumida por la materia disuelta y suspendida cuando una muestra de agua se trata con este oxidante bajo condiciones definidas. (SCFI, 2011).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (SCFI, 2001a).

Turbidez

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas. Materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos (SCFI, 2001b).

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm secado y llevado a masa constante a una temperatura de 105 $^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (SCFI, 2015).

Materiales y Métodos

La PTAR de la UAAAN se ubica en Buenavista, Saltillo, Coahuila con coordenadas geográficas Latitud: 2805395.58 m N, Longitud: 295102.36 m E y 1775 msnm (Figura 1).

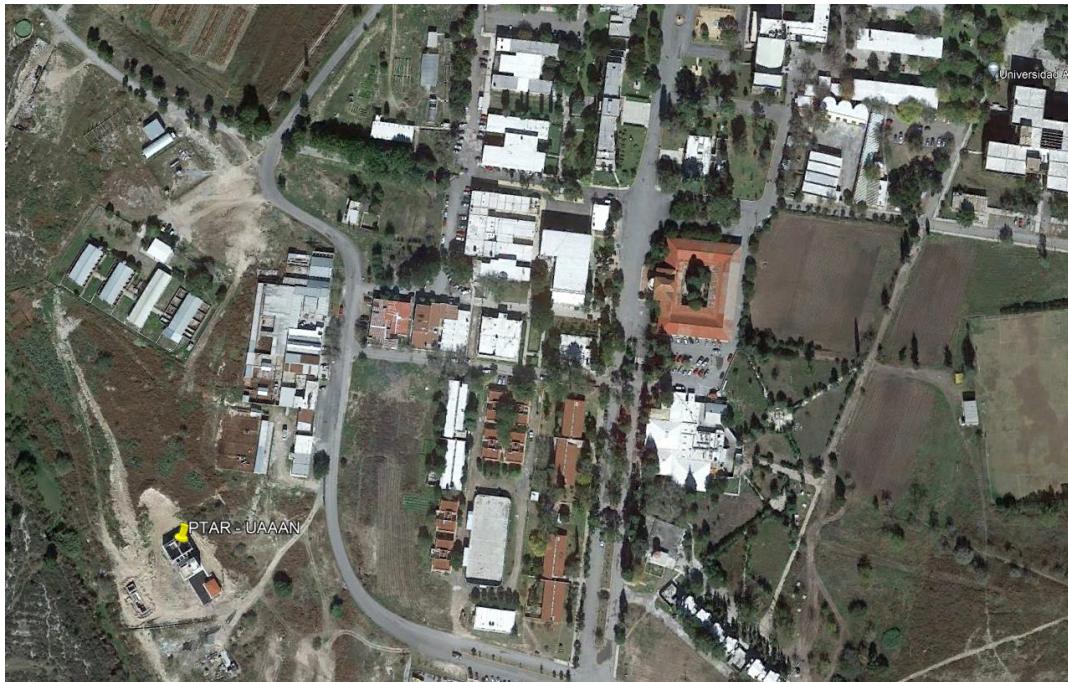


Figura 1. Localización de la PTAR – UAAAN.

En la PTAR de la UAAAN llegan las aguas residuales (AR) de la Colonia Eulalio Gutiérrez “El Ranchito” y de la universidad (figura 2).



Figura 2. Vista de Planta de la PTAR - UAAAN.

El monitoreo de eficiencia de tratamiento de las aguas residuales en la PTAR- UAAAN se realizó con el análisis de diversos parámetros para evaluar la remoción de contaminantes en el proceso en general, con datos de influente y efluente. Los parámetros medidos y determinados fueron: Conductividad eléctrica, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, pH, sólidos suspendidos totales y turbiedad. En el Cuadro 1 se presentan la fecha del análisis con un número de prueba de cuando se muestreo en la PTAR – UAAAN.

Cuadro 1. Fechas y número de prueba en análisis de cada parámetro.

# de Prueba	Fecha	Parámetro							
		CE	pH	SST	CF	DBO	DQO	Turbiedad	
1	23/02/2022	✓	✓	✓	✓	✓			
2	28/02/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
3	02/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
4	07/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
5	09/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
6	14/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
7	16/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
8	22/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
9	24/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
10	28/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
11	30/03/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
12	04/04/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
13	06/04/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	11/04/2022	✓	✓	✓	✓	✓			✓
15	18/04/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	25/04/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17	27/04/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18	02/05/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



19	11/05/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
20	18/05/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
21	23/05/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
22	25/05/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
23	30/05/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
24	01/06/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
25	06/06/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
26	08/06/2022	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

El método para evidenciar la eficiencia de los sistemas corresponde al cálculo del porcentaje de remoción de los contaminantes, el cual relaciona la entrada y salida de los criterios que son monitoreados durante todo el proceso (ver ecuaciones 1 y 2).

$$\text{Remoción (\%)} = \left(\frac{\text{Entrada} - \text{Salida}}{\text{Salida}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$\text{Remoción (\%)} = \left(1 - \frac{\text{Salida}}{\text{Salida}} \right) * 100 \quad (2)$$

Para cada parámetro se realizó su análisis con el procedimiento de acuerdo con la Norma mexicana correspondiente.

Potencial de Hidrogeno (pH)

Se hizo la medición del pH de cada muestra de las aguas residuales, comenzando con la más limpia, con un potenciómetro de la marca Thermo Scientific Orion Versa star Advanced Electrochemistry Meter, que incluye con la celda de conductividad 013005MD, la cual se introduce en la muestra contenida dentro de un vaso de precipitado, luego se realiza la lectura.

Conductividad Eléctrica (CE)

Según la NMX-A-093-SCFI-2018 La medición de la conductividad se debe realizar tan pronto como sea posible sin exceder las 24 horas, a partir de la toma de la muestra. Una vez que el equipo o instrumento este calibrado, se procede a realizar la medición de la muestra por triplicado de manera independiente. Sumergir la celda o el sensor en la muestra, agitar levemente, esperar que la lectura de conductividad se estabilice, obtener y registrar.

Se hizo la medición de la conductividad eléctrica (Ce) de cada muestra de las aguas residuales con un potenciómetro de la marca Thermo Scientific Orion Versa star Advanced Electrochemistry Meter que incluye con electrodo combinado de pH/ATC Orion ROSS Ultra Triode 8157BNVMD, el cual se introduce en la muestra contenida dentro de un vaso de precipitado, luego se realiza la lectura.

Coliformes Fecales (CF)

Se utilizó una autoclave modelo 25x-1 para esterilizar a $121^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 15 min a una presión manométrica de 0,098 066 MPa (1 Kg cm^{-2}), el material de laboratorio para hacer el análisis mediante el método de filtración por membrana.

Se preparó el medio MFC de acuerdo con el volumen de agua utilizado, se rehidrato con agua conteniendo un volumen de ácido rosólico (aurina) (C19H14O3) al 1 % en NaOH



0,2 N, con las proporciones adecuadas. Calentar el medio hasta su punto de ebullición, quitar inmediatamente del calor enfriar y distribuir en volúmenes convenientes en cajas de Petri. No esterilizar en autoclave.

El medio debe almacenarse entre 2°C y 10°C y cualquier porción no utilizada debe desecharse después de 96 h, según la NMX-AA-102SCFI-2006.

También se incubo las muestras sobre una membrana en los medios de cultivos que estuvieron contenidos en cajas Petri dentro de una incubadora DigiTherm Tritech Research modelo: SYM 04-1 que alcance de 44°C a 45°C en 24 horas.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Conforme a la NMX-AA-030/2-SCFI-2011 se realizó la determinación de DQO a través del método del tubo sellado a pequeña escala, para este análisis se ocuparon los siguientes aparatos: Reactor de instrumentos Hanna Calentador De Bloque C 9800 donde se colocan los tubos sellados a 150°C por 2 horas y posteriormente se utiliza el Fotómetro de banco multiparamétrico C99 Marca HANNA donde se introduce el tubo de blanco para calibrar con la tecla zero, posteriormente para leer los tubos de salida y entrada, se da en la tecla read, primero la de efluente y al final la del influente. Todos los datos son obtenidos con el método del tubo sellado a pequeña escala, con reactivo para rango medio (MR).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

De acuerdo con la NMX-AA028-SCFI-2001 se prepararon cuatro soluciones con diferentes proporciones de reactivos en matraces aforados, para el agua de dilución, la cual se preparó un litro de agua destilada, un mililitro de cada una de las cuatro soluciones antes mencionadas por el litro de agua destilada. El agua de dilución que estuvo contenida en una jarra se puso a airear por media hora mínimo, al mismo tiempo se agregó una alícuota de la muestra de agua a una botella o frasco Winkler y se rellena con el agua de dilución, y otra botella Winkler se llena con agua de dilución, la cual será el blanco.

Se determinó el análisis de la DBO5 con los aparatos de laboratorio siguientes: Incubadora para mantener una temperatura de 20 °C durante 5 días y medidor de oxígeno disuelto portátil - HI9146, el cual cuenta con una sonda para medir el oxígeno disuelto del agua de un blanco, salida y entrada, las cuales estuvieron contenidas en botellas winkler.

Turbidez

Según la NMX-AA-38-SCFI-2001 la medición de este parámetro se realizó con el aparato de laboratorio: Medidor portátil de turbidez (HI 93703 en el cual se realiza la lectura de una muestra de 10 ml de agua residual contenida en un pequeño frasco y se coloca en el orificio de un turbidímetro para hacer la medición, la cual es de manera directa y al instante, solo con dar lectura.

Principio de funcionamiento

El haz de luz que pasa a través de la muestra se dispersa en todas las direcciones. La intensidad y el patrón de la luz dispersa son afectados por muchas variables, como la longitud de onda de la luz incidente, el tamaño y la forma de las partículas, el índice de refracción y el color. El sistema óptico del HI93703 incluye un LED y un detector de luz dispersa (90°)

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

De acuerdo con la NMX-AA-034-SCFI-2015 para el análisis se preparó el dispositivo de filtración y secado, se usó filtro de fibra de vidrio en charola de aluminio, con la ayuda de unas pinzas se coloca la cara rugosa hacia arriba en el dispositivo de filtración. Se mojó filtro con agua destilada y aplico vacío, luego se regresó el filtro a la charola para colocarlo en el horno secado por una hora como mínimo. Se pesó el filtro con la charola y registro peso inicial o peso sin muestra, después se colocó filtro en el dispositivo de filtración y aplico una alícuota de la muestra y repitió los mismos pasos anteriores, solo que al último se registró el peso como final o con muestra.

Para la determinación de este parámetro se utilizó los siguientes instrumentos de laboratorio:

- Horno de secado hdt-17 mapsa
- Balanza analítica.

Resultados y Discusión

Potencial de hidrogeno (pH)

En pH se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la Figura 3.

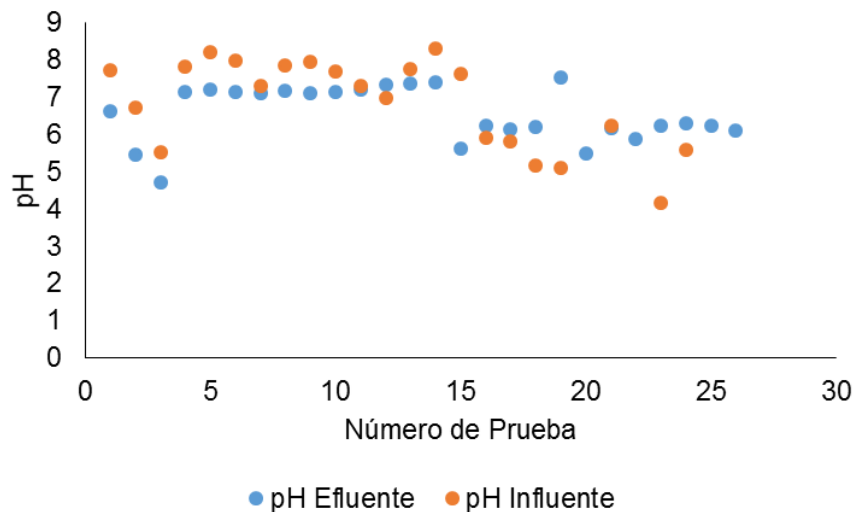


Figura 3. pH de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo

Hay una tendencia decreciente en el pH tanto para influente como efluente de la PTAR. Los resultados varían, pero están en un rango de 4 a 8, lo cual dice valores neutros y ácidos. Un valor cercano a cero es muy ácido y cercano a catorce es muy básico o alcalino.

Conductividad eléctrica (CE)

En CE se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la figura 4.

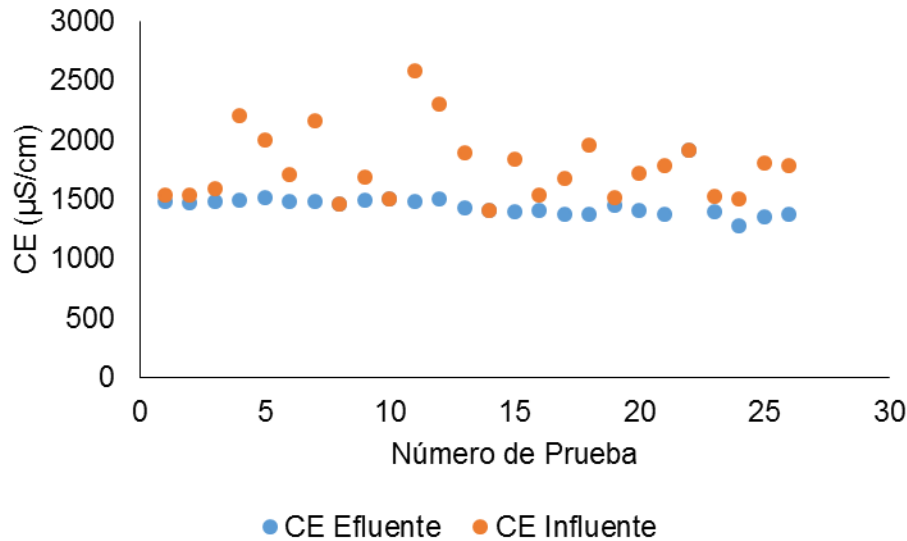


Figura 4. CE de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

Se observa una variación en la CE del influente, aunque tiene una tendencia decreciente con rango de valores de 1550 hasta 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en el efluente los datos se mantienen en un límite con un valor aproximado igual o menor de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Coliformes fecales (CF)

Los resultados de unidades formadoras de colonias por mililitro (ufc/ml), se observan en la figura 5.

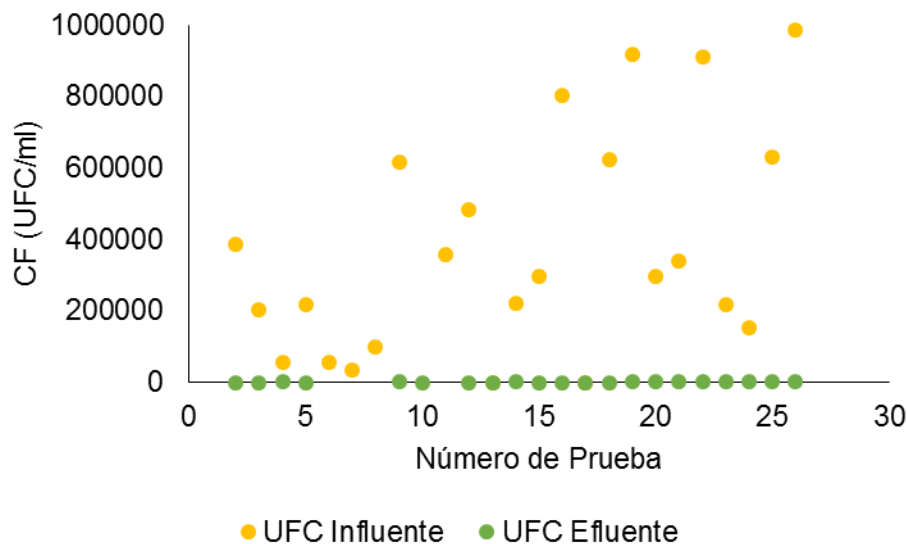


Figura 5. CF de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

Se puede ver una variación muy pronunciada en los valores del influente, además de reflejarse una tendencia creciente de bacteria llegando al millón de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml). En esta comparación se observa que debido a los procesos de desinfección del agua se tiene valores de bacteria no detectada (mostrados como cero) en el efluente de la PTAR sin embargo en la Figura 6 se observa un mejor rango para los datos de CF en la salida.

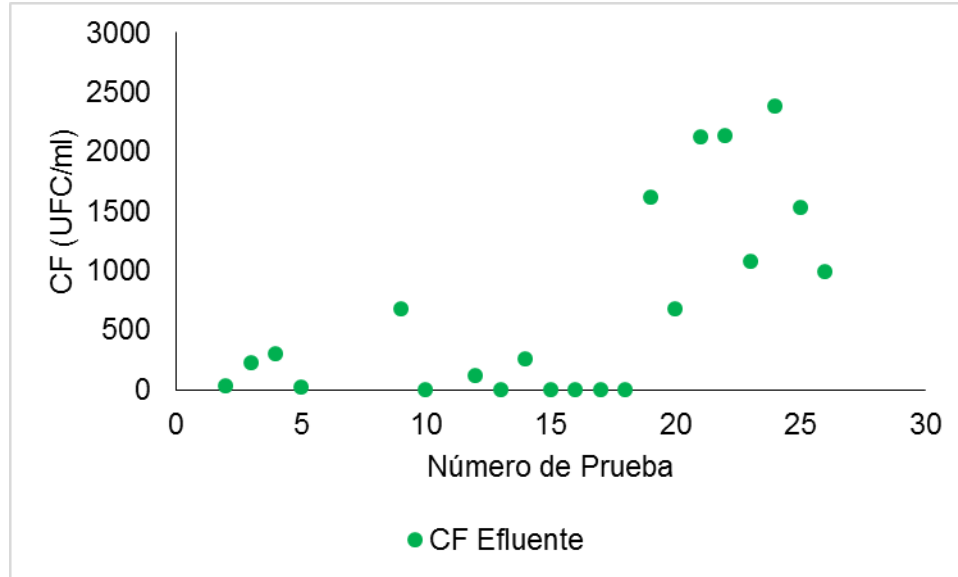


Figura 6. CF de Agua Residual en efluente de la PTAR - UAAAN Saltillo.

El valor en la bacteria es de cero (no detectada) hasta 2388 unidades formadoras de colonia por mililitro (UFC/ml), que pudo deberse a falta de dosis de cloración.

Demanda química de oxígeno (DQO)

En DQO se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Figura 7.

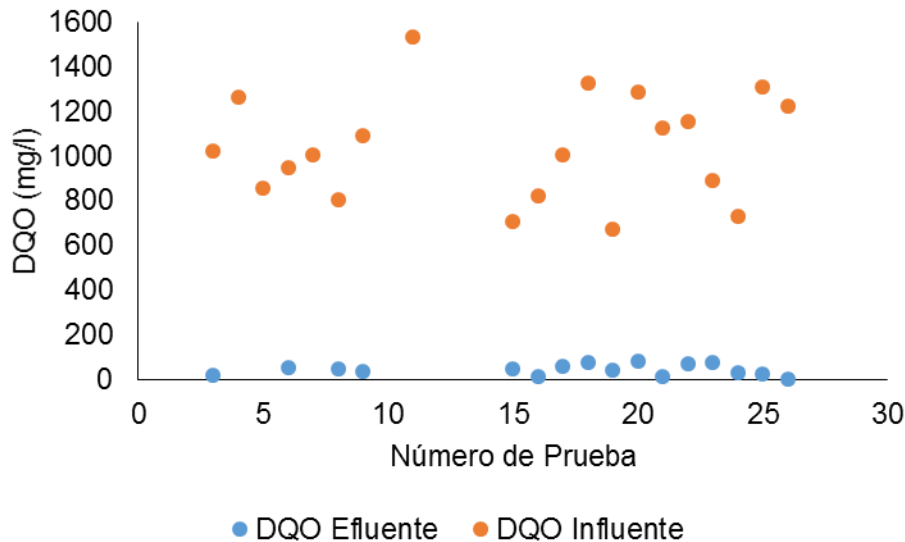


Figura 7. DQO de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

En el efluente se notan valores que no superan los 100 mg/L, mientras que en el influente el rango esta entre 600 a 1600 mg/L. En el efluente se presentan datos muy constantes, mientras que en el influente varían, aunque la tendencia parece ser decreciente

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

En DBO₅ se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 8.

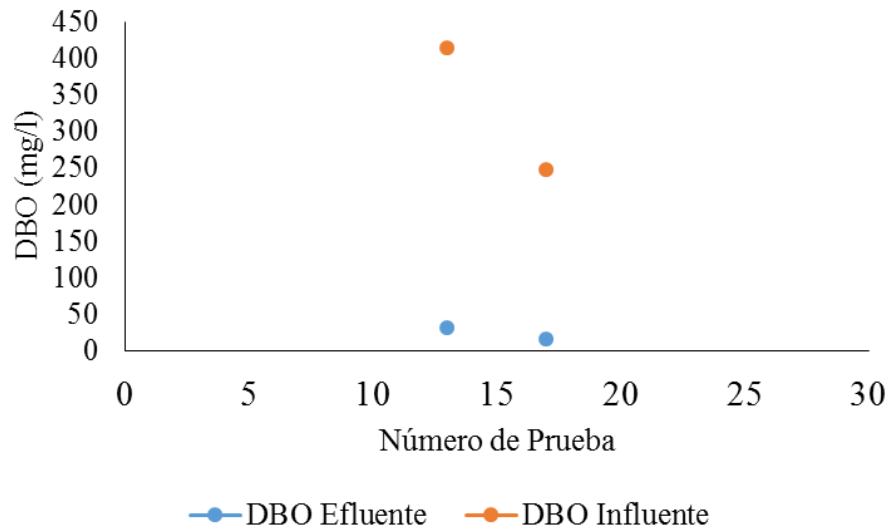


Figura 8. DBO₅ de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo

Se observa que los datos del Efluente son bajos y constantes con valores menores a 50 mg/ l, mientras que en el influente se tiene una variación, uno de 400 otro de 250 mg/l.

Turbidez

En la Figura 9 se muestran los resultados obtenidos de turbidez.

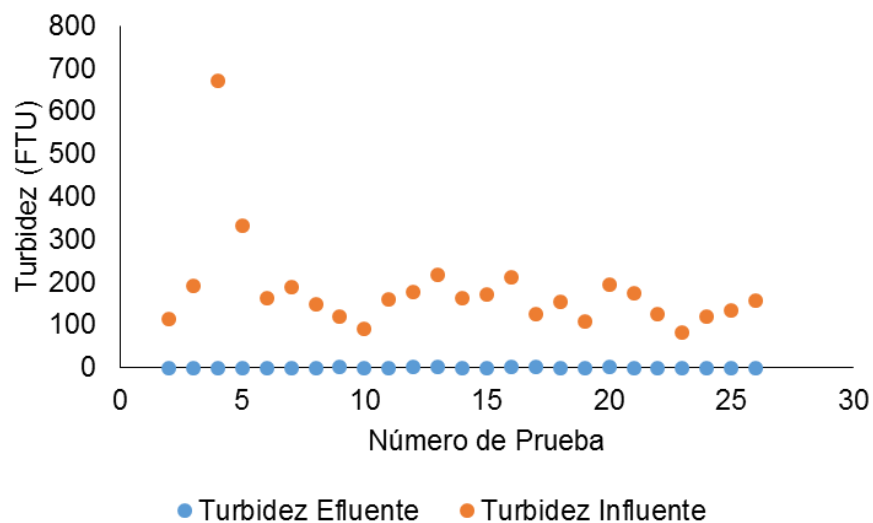


Figura 9. Turbidez de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo

Se puede ver que en el efluente se tiene una tendencia constante con un valor de cero, debido a los procesos de tratamiento, como la sedimentación que se tiene en la PTAR. Mientras que en el influente hay variaciones con una frecuencia similar, al subir y bajar, manteniendo así una tendencia decreciente.

En el influente se muestra una variación con rango de 100 a 200 FTU, tiende a subir y bajar poco a poco, a excepción de un dato con valor alto, posiblemente se deba que en ocasiones se recibía agua de marraneras con mayor cantidad de sólidos en la PTAR.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los resultados de SST se muestran en la Figura 10.

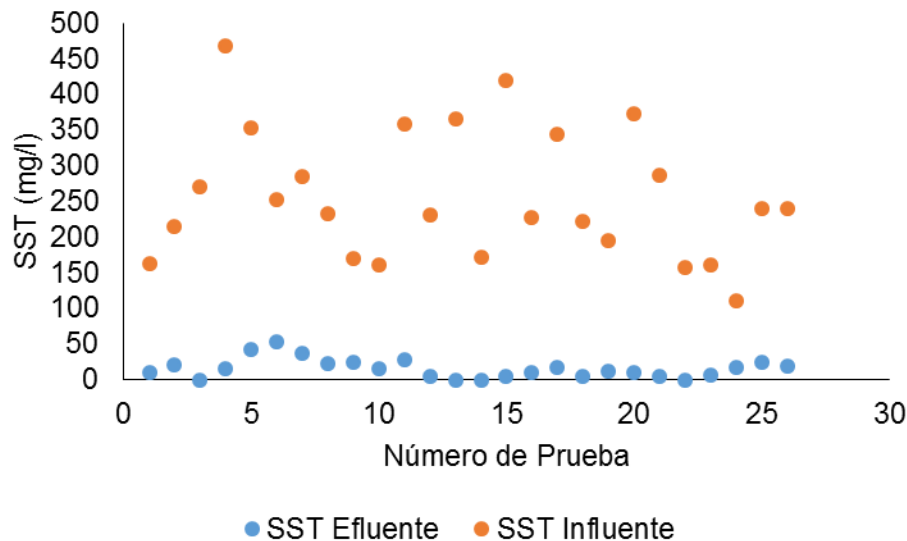


Figura 10. SST de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo

En el efluente se presenta una tendencia un poco constante con un rango de valor de 0 a 50 mg/L, debido a los tratamientos que permiten retirar los sólidos de las AR. Mientras que en el Influyente se tiene un rango de 100 hasta 500 mg/L, lo cual nos muestra variaciones con una tendencia decreciente.

Evaluación de la remoción

Remoción en DQO

En la Figura 11 se puede observar la remoción obtenida en el parámetro de DQO.

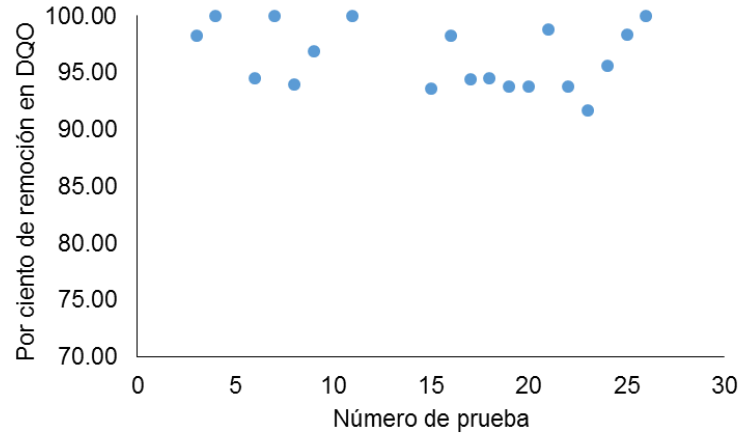


Figura 11. Remoción en DQO de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

La eficiencia de remoción va desde un rango entre noventa a cien por ciento en la DQO.

Remoción en SST

En la figura 12. Se puede notar la remoción en Sólidos Suspendedos Totales (SST)

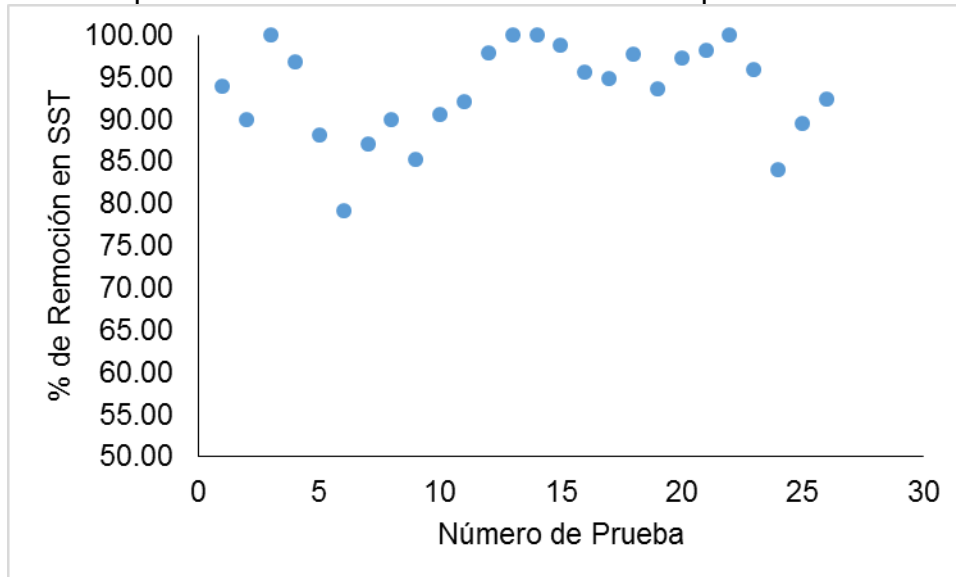


Figura 12. Remoción en SST de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

El por ciento de remoción en SST vario por lo regular, con promedio de 93.52. Se tiene un rango de valores de 79 a 100, lo cual representa una muy buena eficiencia.

Remoción en turbidez

En la figura 13 se puede examinar la remoción en turbidez.

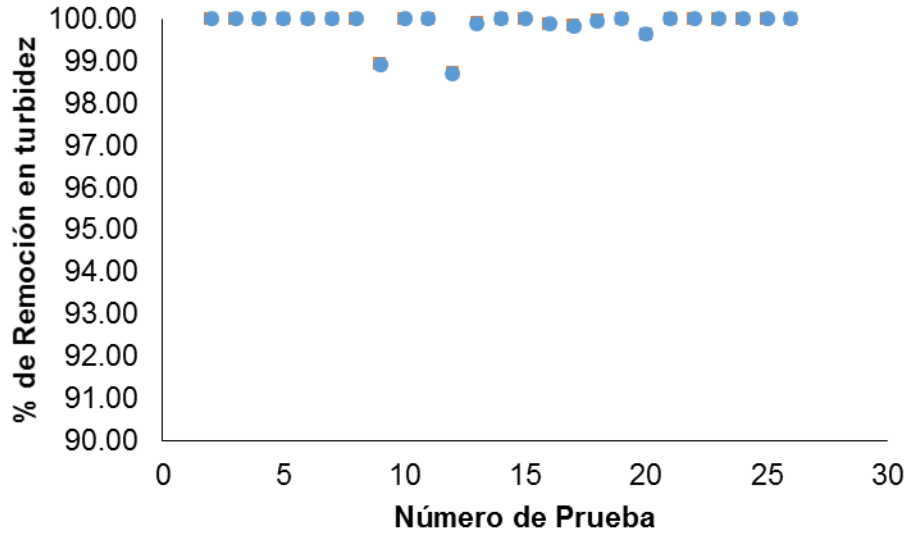


Figura 13. Remoción en turbidez de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

El promedio del por ciento de remoción fue de 99.87, representando una eficiencia excelente.

Remoción en CF

En la figura 14 se puede observar la remoción en Coliformes Fecales

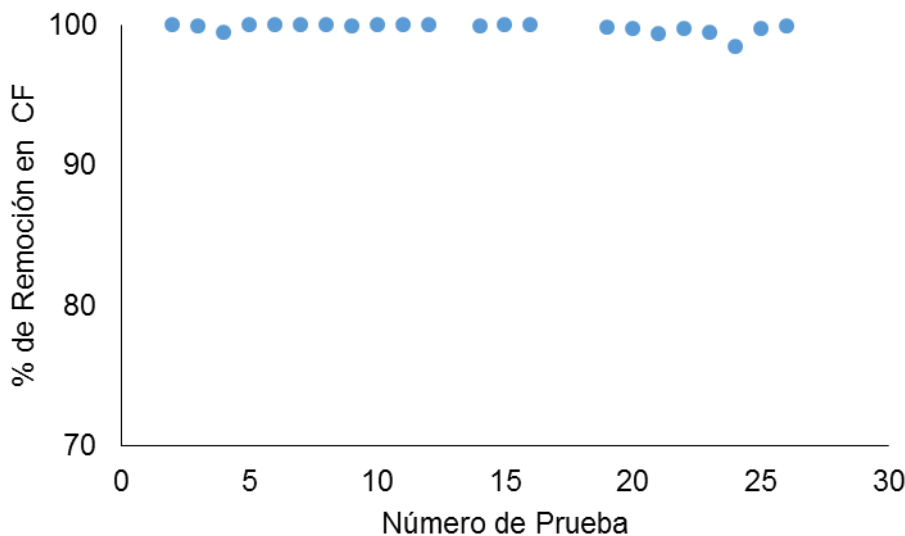


Figura 14. Remoción en CF de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

El porcentaje de remoción en este parámetro es poco variable, con valores de 98 a 100. Por lo regular fue excelente la remoción.

Remoción en DBO₅

En la Figura 15 se puede observar la remoción de DBO₅

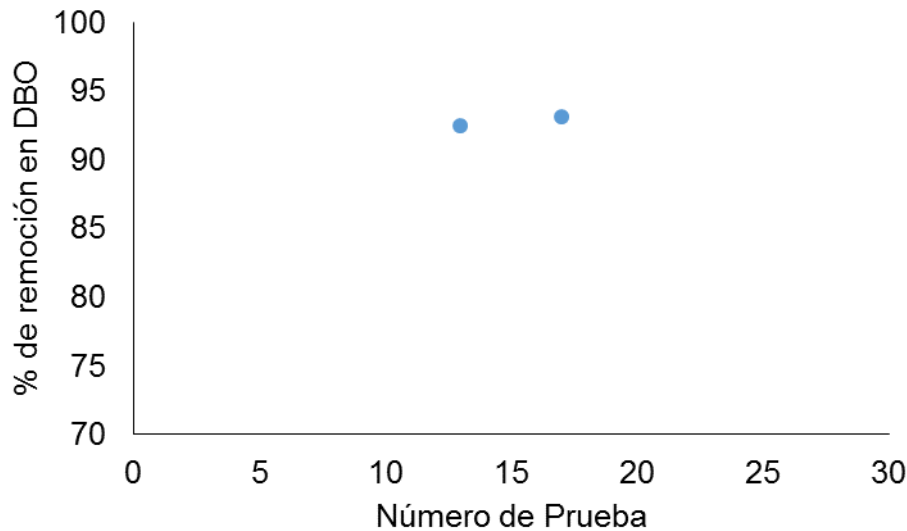


Figura 15. Remoción en DBO_5 de Agua Residual en PTAR - UAAAN Saltillo.

Se puede notar que los valores son de 92.44 y 93.11 de porcentaje de remoción.

Discusión

La eficiencia que se obtuvo sobre los parámetros medidos y determinados como turbidez y coliformes fecales representan un excelente resultado en remoción, aunque para la calidad del agua para reusó en servicios al público con contacto indirecto u ocasional, no fue apta en algunos momentos cuando se desestabilizó el proceso de un reactor de la PTAR, seis días (19, 21, 22, 23, 24, y 25) de análisis, en los cuales se obtuvieron resultados (superando el límite permisible de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997) con detección de UFC de coliformes fecales en el efluente de la planta.

Conclusiones

La eficiencia de tratamiento general en la PTAR-UAAAN estuvo en buenas condiciones de tratamiento, se obtuvo una remoción de entre el 80 y 100 por ciento en el parámetro de sólidos suspendidos totales, de 92 a 100 por ciento en DQO, de 92 y 93 por ciento en DBO y de 99 al 100 por ciento en la turbiedad, por otro lado, la remoción encontrada, al inicio del muestreo, en coliformes fecales, presenta rangos alrededor de 99.99 por ciento, sin embargo, esta eficiencia disminuyó hasta 98.44 después de que se hizo el mantenimiento de uno de los reactores del sistema. Estos indicadores nos permiten saber que se estuvo realizando un buen proceso en general. En cuanto al reusó del agua para fin de riego en contacto indirecto u ocasional los resultados de la DBO_5 cumplieron con el límite permisible de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1997, mientras que los de SST, hubo tres días (5, 6 y 7) de análisis que se superó el límite permisible, fuera de esos



días el agua tratada estuvo adecuada para el uso mencionado anteriormente, en relación con estos dos parámetros.

Referencias Bibliográficas

- CONAGUA. (2018). Calidad del Agua. In *Numeragua México 2018* (p. 34).
- Hammeken, A. M., & Romero, E. (2005). Capitulo 2. Fundamentos del tratamiento de agua residual. In *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula* (pp. 23–52).
- Noyola, A., Morgan, J. M., & Güereca, L. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. In *Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México* (p. 7).
- Pérez, J. E. (2010). *Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de Yopal*. Universidad Industrial de Santander.
- SEMARNAT. (1997). NOM-003-SEMARNAT-1997. In *Normas Oficiales Mexicanas* (pp. 50–56).
- Sierra, C. A. (2011). Capitulo 1 Conceptos generales. Sección 2. Importancia del recurso agua. In *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (p. 28).