

Comparación de dos trenes de tratamiento primario de aguas residuales municipales

Naranjo Sánchez José de Jesús, Reyes Martínez Alejandro, Espitia Cabrera Alfonso*,
Quintana Díaz María Berenice

Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Energía. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: aec@azc.uam.mx

ORCID : 0000-0002-4703-1934

Recibido:

12/mayo/2022

Aceptado:

13/diciembre/2022

Palabras clave:

Aguas residuales,
tratamiento primario

Keywords:

Wasterwater,
primary treatment

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue diseñar y comparar un tren de tratamiento primario conformado por un sistema de coagulación con un mezclador estático en línea y filtración rápida versus un tren de tratamiento primario convencional que consiste en coagulación - floculación - sedimentación y filtración. Las aguas residuales se obtuvieron en la Unidad Azcapotzalco bajo condiciones ambientales de la zona. Al agua residual y al agua proveniente de los trenes de tratamiento se les midió: potencial de hidrógeno, temperatura, sólidos disueltos totales, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, potencial de óxido-reducción y conductividad eléctrica. El tratamiento convencional es un poco más eficiente que el tratamiento de coagulación en línea y filtración rápida, aunque cabe aclarar que es mucho más lento y costoso. Sin embargo, el tratamiento de coagulación en línea y filtración rápida representa un ahorro en costos de energía, reactivos empleados y tiempo de operación. Es importante mencionar que el mezclador estático fue fabricación propia y que un mezclador estático en línea podría incrementar la eficiencia del tratamiento.

ABSTRACT

The purpose of this work was to design and compare a primary treatment train consisting of an online coagulation in a static mixer and rapid filtration system versus a conventional primary treatment train consisted of coagulation-flocculation-sedimentation and filtration. The wastewater was obtained from UAM Azcapotzalco campus discharges under environmental conditions of the zone. the following parameters from Wastewater and effluents treatment trains were measured: hydrogen potential, temperature, total dissolved solids, dissolved oxygen, oxide-reduction potential and electrical conductivity. Conventional treatment was a little more efficient than online coagulation and rapid filtration treatment, although it should be noted that it is much slower and more expensive. However, the online coagulation and rapid filtration treatment represent saving in energy costs, reagents used and operating time. Is important to mention that the static mixer was self-fabricated and that a commercial static mixer would increase the treatment efficiency.

Introducción

Las aguas residuales presentan niveles de contaminación en los cuales se encuentran sólidos flotantes, partículas suspendidas y coloidales, desechos orgánicos y grasas, y aceites que requieren un tratamiento primario para su eliminación.

Este trabajo busca reducir las operaciones unitarias (coagulación-floculación-sedimentación y filtración) de un tren de tratamiento convencional versus un tren de tratamiento de dos operaciones unitarias, coagulación en línea y filtración rápida. En el cual al reemplazar la coagulación floculación sedimentación por la coagulación en línea en un mezclador estático con la ventaja de la ausencia de piezas móviles y, por lo tanto, un bajo mantenimiento; sin requisitos de energía externa para la formación de coagulos que facilitan la filtración (Hahn et al., 2000) al pasar agua a través de un medio poroso en el cual queden retenidos los contaminantes en suspensión. (Quiroz et al., 2019)

Las aguas residuales contienen sustancias que están tanto disueltas como en suspensión, estas pueden ser orgánicas o inorgánicas. La materia en suspensión puede ser de un tamaño y tener una densidad tal que pueda eliminarse con sedimentación, pero algunas de estas partículas son coloides de un tamaño submicrónico con cargas superficiales, que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y la formación de una partícula más grande para poder sedimentar.

La carga eléctrica del mismo signo de las partículas coloidales origina una repulsión entre ellas, impidiendo su unión y la separación del líquido, por lo que es necesario adicionar un electrolito que neutralice la carga eléctrica del coloide para eliminarlas por decantación. La neutralización de las cargas eléctricas de los coloides en suspensión en las aguas residuales es la condición primordial para un buen tratamiento por coagulación y floculación (Lorenzo-Acosta et al., 2006).

La coagulación y la floculación tienen lugar en etapas sucesivas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los micro flóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos (Eleonora et al., 2019).

La mezcla rápida se refiere a la etapa del proceso de coagulación y es posiblemente la operación más importante del proceso, ya que es donde se produce la desestabilización de los coloides. Es aquí donde tienen lugar las reacciones de desestabilización y donde se forman las partículas de coágulos primarios, cuyas

características influyen significativamente en la cinética de floculación posterior (Bratby et al., 2016). Esta etapa ocurre en forma instantánea y en el experimento para el tratamiento convencional se realizó con un mezclador a 250 rpm durante tres minutos.

Posterior a la coagulación se añaden polímeros o sustancias aglutinantes como la bentonita, que en un mezclado lento, a 25 rpm durante 25 minutos, permiten que los coagulos se aglomeren formando flóculos de mayor tamaño que por gravedad pueden sedimentarse.

La filtración puede realizarse posterior a la coagulación o como pulimento al sobrenadante de la sedimentación para garantizar la remoción de sólidos refractarios a la coagulación-floculación.

El objetivo básico de la filtración, por lo tanto, es separar las partículas, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación-floculación y sedimentación. En consecuencia, el trabajo que los filtros desempeñan depende directamente de la mayor o menor eficacia de los procesos mencionados.

En este trabajo, como tratamiento alternativo, a través de una filtración secuencial con diversos materiales filtrantes como grava, arena, zeolitas, antracita y un filtro poliéster, después de una coagulación en línea en un mezclador estático usando la energía de la bomba que conduce el agua residual a través del tren de tratamiento se remueven los sólidos sedimentables, filtrables y coloidales en la filtración secuencial

Metodología

Parámetros del agua residual

Para llevar a cabo la comparación de los dos trenes de tratamiento primario se evaluaron los siguientes parámetros importantes, como son; pH, potencial de óxido reducción (ORP), demanda química de oxígeno, DQO, conductividad eléctrica (σ), sólidos totales disueltos (TDS), oxígeno disuelto (DO), temperatura, y color.

Prueba de Jarras

La cantidad de coagulante y floculante se determinó en la prueba de jarras en donde se establecen las condiciones de operación, tiempo de mezclado lento y rápido y el orden y tiempo de dosificación de reactivos.

El mezclado rápido tiene como objetivo el generar la turbulencia necesaria para que los reactivos empleados entren en contacto con las partículas coloidales a fin de neutralizar sus cargas, lograr desestabilizarlas y que se

aglomeren dando la formación de coágulos, con gradientes que van de 50 a 300 rpm.

En el mezclado lento con un gradiente de 20 a 40 rpm ocurre la formación de flocúlos de mayor tamaño que posteriormente son retirados en el proceso de sedimentación/filtración (Lorenzo-Acosta, 2006).

Se hizo la prueba de jarras a distintas dosis de coagulante y floculante, buscando el valor óptimo para la realización y comparación de ambos trenes de tratamiento de aguas residuales. Se emplearon muestras de 1 litro de agua residual para la prueba con mezclado rápido a 250 rpm durante 3 minutos añadiendo sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante al 7%, variando esta cantidad 80, 90, 100, 120, 150 y 170 mg/l, posteriormente se añadió bentonita $SiO_3 \cdot H_2O$ como floculante con mezcla lenta a 25 rpm por 25 min.

Los resultados obtenidos de la prueba de jarras se muestran en la figura 1. La cantidad optima de coagulante para emplear en los dos trenes de tratamiento, es de 100 mg de coagulante/ l y de 1 g de bentonita/l.

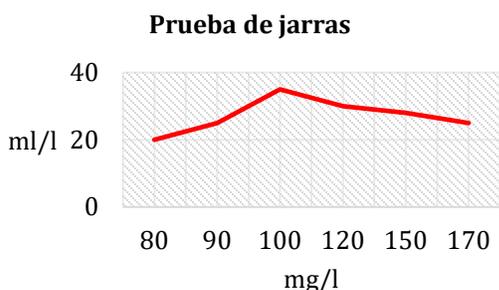


Figura 1. Prueba de jarras dosis de sulfato de aluminio(mg/l) vs volumen de floculos formados y sedimentados(ml/l).

Trenes de tratamiento

En las figuras 2 y 3 se muestra el tren de tratamiento convencional. Posterior a la sedimentación, el sistema de filtrado consta de: un filtro multicapa (grava, arena sílica, zeolita y antracita), un filtro de antracita y un filtro poliéster.



Figura 2. Tren de tratamiento de agua convencional.



Figura 3. Sedimentación en tratamiento convencional.

En la figura 4 se muestra el tren de tratamiento de coagulación en línea en el mezclador estático y filtración rápida con el mismo sistema de un filtro multicapa, un filtro de antracita y un filtro poliéster. La figura 5 muestra el mezclador estático.



Figura 4. Tren de tratamiento de coagulación en línea filtración rápida.



Figura 5. Mezclador estático

Las descargas de los dos trenes de tratamiento fueron recolectadas en frascos de boca ancha para la medición de parámetros.

Con un Medidor Multiparámetros 556 MPS marca YSI de lectura directa, se determinan los parámetros de calidad del agua. Para la medición de DQO se usó un reactor marca HACH y un Fotómetro multiparamétrico para DQO modelo HI 83399 marca HANNA.

Resultados y discusión

En ambos trenes de tratamiento se tomaron muestras por triplicado para comparar parámetros (Tabla 1).

Tabla 1. Medición de parámetros del agua sin y con tratamiento.

Muestras	Agua residual			Tratamiento Convencional			Tratamiento Coagulación en línea y filtración rápida		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
σ [$\mu S/cm$]	1863	1075	953	874	869	1093	1361		
TDS [g/L]	1.410	0.787	0.747	0.694	0.644	0.843	1.187		
DO [mg/L]	2.44	7.05	3.12	3.94	5.71	4.98	5.57		
ORP	-114	-55	-10	-10	-32	-11	-17		
pH	8.46	7.20	6.65	6.51	6.98	6.70	6.60		
Temperatura [$^{\circ}C$]	24.26	23.16	23.16	23.16	23.33	23.33	23.33		

Para poder establecer el comportamiento de ambos trenes de tratamiento, se presenta en la Tabla 2 un comparativo de los valores de los parámetros obtenidos experimentalmente.

Tabla 2. Comparación de los valores promedio de ambos trenes de tratamiento.

Parámetros	Agua residual	Promedio de muestras tratamiento convencional (Eficiencia, %)	
		Promedio de muestras tratamiento convencional (Eficiencia, %)	Promedio de muestras tratamiento coagulación en línea y filtración rápida (eficiencia, %)
σ [$\mu S/cm$]	1863	967.3 (48%)	1107.6 (40.6%)
TDS [g/L]	1.410	0.742 (47.4 %)	0.891 (36.8%)
DO [mg/L]	2.44	4.70	5.42
ORP	-114	-25 (78.1%)	-20 (82.4%)
pH	8.46	6.78 NA	6.76 NA
Temperatura [$^{\circ}C$]	24.26	23.16 NA	23.33 NA

El valor del parámetro de conductividad eléctrica disminuyó en ambos trenes de tratamiento, sin embargo, el que dio un resultado mejor fue el tren de tratamiento primario convencional arrojando una conductividad eléctrica promedio de 967.3 $\mu S/cm$ en comparación con 1863 $\mu S/cm$ del agua residual recolectada, indicando la descomposición en iones de las sales disueltas.

El ORP es un parámetro que indica cuando un agua es reductora u oxidante. En este proyecto la medición de ORP de -114 mV (agua residual), -25 mV (tratamiento convencional), -20 mV (tratamiento de coagulación en línea), indica que, se tiene un agua con poder reductor. Presentando una oxidación del material presente en el agua residual ligeramente mayor para el tratamiento alternativo.

En el tren de tratamiento convencional se obtuvo una menor cantidad de TDS, ya que este tratamiento requiere de un coagulante y floculante, que logran capturar más sólidos teniendo así una mejor eficiencia. En el tren de tratamiento de coagulación en línea solo se requiere del coagulante y la turbulencia que se genera dentro del mezclador estático, siendo un poco menos eficiente, o 47.4% vs 36.8%

Se puede observar también una mayor cantidad de oxígeno disuelto con el tratamiento de coagulación en línea y filtrado rápido, lo que generalmente indica que se tiene agua de mejor calidad, como resultado de la turbulencia que ocurre en el mezclador estático. Los valores de pH y de temperatura reportados para ambos trenes de tratamiento tienen casi el mismo valor sin observar cambios significativos

Toda vez que la Demanda Química del Oxígeno es un parámetro reglamentado en la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021 para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, se determinaron Los valores experimentales de la demanda química de oxígeno para las muestras.

En la tabla 3 se reportan los resultados obtenidos.

Tabla 3. Valores experimentales de DQO.

Muestra	DQO Primera muestra	DQO segunda muestra	DQO Tercera muestra
Agua residual	66 mg/l	66 mg/l	66 mg/l
Con tratamiento convencional	29 mg/l	37 mg/l	49 mg/l
Con Tratamiento de coagulación en línea y filtración rápida	35 mg/l	41 mg/l	46 mg/l

El promedio de eficiencias de DQO fue 70.45% para el tren de tratamiento convencional mientras que en el tren de tratamiento de coagulación en línea y filtración rápida fue de 69.31%, por lo que la diferencia no es significativa

Cabe resaltar que el valor de la DQO del agua residual se encuentra por debajo de la norma de 150 mg/L promedio para aguas residuales que se descargan a ríos y una de las razones es porque por la pandemia habían pocos usuarios de los servicios sanitarios en la UAM-Azc, por lo que consideramos que es un valor atípico y lo importante de la experimentación son las eficiencias encontradas que resultan ser muy alentadoras para el tratamiento primario.

Conclusiones

En el tren de tratamiento primario de coagulación en línea en un mezclador estático y filtración rápida, se elimina el uso de un tanque con un agitador mecánico para la coagulación y como no se utiliza la floculación, también se elimina otro tanque con su sistema de agitación mecánica

Asimismo, al no emplear material floculante se elimina un consumible y al eliminar el tiempo requerido para la mezcla lenta para la floculación y el tiempo para la sedimentación que también se elimina, el proceso global es más rápido con eficiencias casi similares.

Con esto se puede concluir que la propuesta del tren de tratamiento primario alternativo de coagulación en línea y filtración rápida es funcional y presenta las ventajas de disminuir los costos por consumo de energía y equipos al eliminar tanques y sistemas de agitación mecánicos, así como de consumibles al eliminar el floculante, con el beneficio adicional de que es más rápido el proceso de tratamiento primario de las aguas residuales. *Que también contribuye a la reducción de costos*

Finalmente, es importante mencionar que el mezclador estático fue una construcción propia debido al espacio disponible para la experimentación y que si se adquiere un mezclador estático de línea, es posible que mejore la eficiencia en los parámetros evaluados

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco por su apoyo para llevar a cabo las pruebas experimentales en sus instalaciones y por su interés en apoyar nuevas tecnologías.

Referencias

- Bratby, J. (2016). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. *Water Intelligence Online*, 15(0). doi:10.2166/9781780407500.
- Eleonora Vollan. (2019). Flocculation: Processes and Applications. Nova.
- Hahn, H. H., Hoffmann, E., & Ødegaard, H. (Eds.). (2000). *Chemical Water and*
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(2), 10-17.
- Quiroz S., Menéndez C. & Izquierdo E. (2019). *Tratamiento de agua y aguas residuales*. Manabí – Ecuador. UTM – Universidad Técnica de Manabí
- NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.