



Industrial Data

ISSN: 1560-9146

ISSN: 1810-9993

industrialdata@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Perú

Ordóñez Ramírez, Virgilio; Palacios Limones, Carmen;
López Vargas, Armando; Suárez Escobar, Iván

Optimización del sistema de tratamiento fisicoquímico de una
estación depuradora de aguas residuales de bebidas gaseosas

Industrial Data, vol. 22, núm. 2, 2019, Julio-

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Perú

DOI: <https://doi.org/10.15381/idata.v22i2.16291>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81662532016>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Optimización del sistema de tratamiento fisicoquímico de una estación depuradora de aguas residuales de bebidas gaseosas

RECIBIDO: 08/07/2019 ACEPTADO: 16/08/2019

VIRGILIO ORDÓÑEZ RAMÍREZ¹
 CARMEN PALACIOS LIMONES²
 ARMANDO LÓPEZ VARGAS³
 IVÁN SUÁREZ ESCOBAR⁴

RESUMEN

El presente trabajo permite resolver un grave problema económico-ambiental que afecta a la comunidad al tener unidades de tratamiento con bajo niveles de eficiencia y altos costos de operación por la adición en exceso de reactivos. Mediante la investigación aplicada y experimental, se realizó un diagnóstico para determinar los requerimientos de mantenimiento, la identificación de las concentraciones y el lugar exacto en donde se adicionan las soluciones que demanda el agua residual. Los resultados alcanzados en las pruebas establecen que la dosificación ideal de sulfato de aluminio fue de 250 ppm para la maximización de la eficiencia de remoción de la contaminación en la unidad de tratamiento en un valor mayor al 90%.

Palabras-claves: Contaminación; caracterización; aguas residuales; remoción; maximización.

INTRODUCCIÓN

Las empresas que están conscientes de la necesidad de una administración responsable de los recursos naturales para la sostenibilidad de sus actividades manejan, de manera responsable, todos sus movimientos, minimizando aspectos ambientales negativos que genera la producción industrial hacia su entorno. Además, han sido muy cuidadosos en la aplicación de los conceptos de producción más limpia, generando cambios en sus procesos productivos con la finalidad de evitar el incremento de la contaminación en las fuentes de agua, debido a que «la preservación del medio ambiente, en especial del hídrico, es hoy en día no solo objeto de una fuerte demanda social, sino un mandato legal y la base de una economía sostenible» (Trapote, 2016, p. 37).

En la actualidad, las empresas del sector industrial de Guayaquil (Ecuador), que poseen en sus instalaciones sistemas de tratamiento para la depuración de sus aguas residuales industriales previa a la descarga hacia las fuentes de agua, no están operando de manera eficiente, pues generan un alto malestar interno a los accionistas en virtud de haber realizado una alta inversión para proteger la calidad de las fuentes de agua, mientras que esta no cumple su propósito y, por lo tanto, deben solventar costos de una operación inútil.

Al no remover la contaminación, se generan descargas de agua residual que presentan concentraciones en los parámetros de control que sobrepasan los valores establecidos como límite máximo permisible, lo que expone a la empresa a sanciones económicas por parte de la autoridad ambiental de aplicación responsable, así como a la remediación por la afectación ambiental.

¹ Ingeniero químico y M. C. en Ingeniería Ambiental por la Universidad de Guayaquil. Actualmente, es docente de la Universidad Politécnica Salesiana y director de proyectos medioambientales en la consultora ambiental Sotecma (Guayaquil).
E-mail: vordonezr@ups.edu.ec

² Ingeniera química y M. C. en Ingeniería Ambiental por la Universidad de Guayaquil. Además, es diplomada en Manejo Ambiental por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Guayaquil). Actualmente, es docente de la Universidad Politécnica Salesiana y coordinadora de proyectos medioambientales en la consultora ambiental Sotecma (Guayaquil).
E-mail: cpalaciosl@ups.edu.ec

³ Ingeniero mecánico por la Escuela Superior Politécnica del Litoral y M. C. en Educación Superior por la Universidad de Guayaquil. Actualmente, es docente en la Universidad Politécnica Salesiana (Guayaquil).
E-mail: alopez@ups.edu.ec

⁴ Ingeniero químico y M. C. en Educación Superior por la Universidad de Guayaquil. Actualmente, es docente en la Universidad Politécnica Salesiana (Guayaquil).
E-mail: iesuarez@ups.edu.ec

De acuerdo con lo indicado, se realizó un trabajo de investigación aplicado con el fin de optimizar la unidad de tratamiento fisicoquímico ya existente, proceso que «es una alternativa viable, eficiente y económica» (Aragonés *et al.*, 2009), mediante la identificación de la dosis de insumos requerida y maximizando la eficiencia de remoción de la contaminación, lo cual es muy viable en función de que «la predicción de la dosis óptima de coagulante es un factor crucial» (Bouyer *et al.*, 2005). Se estima que el 80% de las enfermedades existentes en países en vías de desarrollo son causadas por un abastecimiento de agua deficiente (World Health Organization, 2012).

METODOLOGÍA

En esta investigación utilizamos un estudio aplicado para cumplir con el objetivo propuesto, el cual es la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales. La investigación aplicada, también denominada utilitaria, consiste en un análisis básico y busca la aplicación, el empleo y las repercusiones prácticas de resultados en forma inmediata o media a través de la transformación de una realidad actual. A este tipo de investigaciones le interesa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de alguna teoría de va-

lor universal; la mayoría de las investigaciones son de esta naturaleza (Baena, 2003).

La planta de tratamiento de aguas residuales de bebidas gaseosas fue el lugar para esta investigación, por lo que las actividades que se realizaron en este escenario se convirtieron en un estudio de campo. Asimismo, también se realizó un trabajo experimental de laboratorio que permitió evaluar de manera cuantitativa desde el inicio hasta la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales. Estas actividades fueron estrechamente ligadas con el estudio de campo y la investigación aplicada, y se encuentran establecidas en la tabla 1.

RESULTADOS

Los resultados son expuestos en este artículo, considerando las siguientes fases: antes de la optimización, durante la optimización y después de la optimización.

Resultados antes de la optimización

Para este ítem, se consideraron datos históricos como antecedentes, todos los datos y resultados obtenidos durante el periodo 2016, antes de realizar el diagnóstico de la planta de tratamiento y su respectiva evaluación para su optimización.

Tabla 1. Metodología aplicada para la optimización.

Metodología	Actividades	Recursos necesarios	Responsables
Investigación de campo: - Recopilación de información - Entrevistas, reuniones - Observaciones	Evaluación inicial de la planta de tratamiento existente	Información existente (planos, análisis, pruebas)	Investigadores
	Identificación de cambios requeridos a la unidad para su optimización	Reactivos Equipos	Jefe de planta Investigadores Operadores
Investigación experimental (laboratorio)	Caracterización de las aguas residuales generadas en la evaluación inicial	Equipos de laboratorio Reactivos	Investigadores Operadores
	Pruebas de jarra durante la investigación de campo y optimización		Investigadores Operadores
	Caracterización de las aguas residuales generadas durante y después de la optimización		Jefe de planta Investigadores
Investigación aplicada: optimización de la planta de tratamiento	Mantenimiento de equipos existentes en unidad de tratamiento	Proveedores de mantenimiento	Jefe de planta Investigadores Operadores
	Compra de equipos y reactivos	Asignación recursos económicos	Jefe de planta Investigadores
	Puesta en marcha y ejecución para optimización de las unidades y ajuste de proceso	Equipos de laboratorio Reactivos	Jefe de planta Investigadores Operadores
	Evaluación de la unidad optimizada		Jefe de planta Investigadores

Fuente: elaboración propia.

Caracterización del agua residual cruda proveniente de la planta de tratamiento

De acuerdo con la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Guayaquil, 2013), la elaboración de bebidas no alcohólicas y aguas minerales le corresponde el Código 1594; los parámetros de control para este tipo de industria se describen en la tabla 2.

Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento antes de optimizar

En la tabla 2 se presentan los valores promedio, mínimos y máximos de algunos parámetros de control; se indica el porcentaje de remoción con el que estaba operando la planta de tratamiento; y, se señalan los valores máximos permisibles descritos en el Libro VI del TULSMA, Anexo 1, Tabla 09 del Ministerio del Ambiente (2015), sobre los criterios de calidad para la descarga de un efluente en un cuerpo dulce.

Identificación de cambios requeridos en la unidad de tratamiento

El proceso de tratamiento de aguas residuales requiere el cumplimiento de requisitos mínimos para alcanzar la remoción establecida en la teoría de purificación del agua residual industrial, y con esta finalidad se realiza una revisión para establecer

los cambios que se necesitan en la planta de tratamiento fisicoquímico (Russel, 2012).

Modificación del punto de adición del coagulante

En la inspección se determinó que el punto de adición del coagulante presentaba una ubicación incorrecta, lo cual generaba una destrucción de los núcleos ya formados, porque en lugar de entrar a una mezcla lenta pasan hacia una más acelerada, por la acción de una bomba. El nuevo punto de mezcla rápida se cambió en un punto previo al floculador, con lo que se evitó la destrucción de los flocs.

Cambio de entrada de agua al sedimentador

La entrada de agua residual al sedimentador estaba dispuesta en el fondo del tanque por medio de unos tubos en forma de flauta. Se observó que el problema era que los orificios del tubo estaban ubicados hacia abajo, debido a que el agua, al ingresar con fuerza, chocaba con el sedimento que estaba sedimentado y lo resuspendía (Valencia, 2016).

Se corrigió la entrada de agua residual, se sellaron los orificios del tubo dispuestos hacia abajo y se perforaron nuevos orificios, pero esta vez dispuestos hacia los lados, con dos placas (arriba y abajo) que permitieron amortiguar el flujo de entrada para no resuspender los lodos ya sedimentados.

Modificación de la entrada de agua a unidades de filtración

Tabla 2. Parámetros de monitoreo de acuerdo con el CIIU 1594.

Actividad industrial	Parámetros de monitoreo
Elaboración de bebidas no alcohólicas y aguas minerales	Aceites y grasas, DBO, DQO, SST, pH

Fuente: GAD Municipio de Guayaquil, 2016.

Tabla 3. Valores promedio, mínimos y máximos de parámetros químicos analizados antes de la optimización.

		Promedio	Mínimo	Máximo	TULSMA- Libro VI, Anexo 1, Tabla 09	% de remoción
pH (U-pH)	Entrada	4,52	3,84	5,60	----	---
	Salida	6,18	5,38	6,68	6-9	
Sólidos suspendidos (mg/l)	Entrada	94,83	45,00	135,00	----	37,26
	Salida	59,50	27,00	88,00	130	
DQO (mg O₂/l)	Entrada	9045	6615	11487	----	25,16
	Salida	6770	4770	9610	200	
DBO (mg O₂/l)	Entrada	6572	3800	8400	----	39,85
	Salida	3953	2750	5396	100	
Aceites y grasas (mg/l)	Entrada	3,3	4,1	2,5	----	4,97
	Salida	3,1	3,8	2,4	30	

Fuente: elaboración propia.

En la evaluación a los filtros se detectó que estos se encontraban taponados; el principal motivo era la baja eficiencia de remoción en el tratamiento fisicoquímico, lo que generaba la rápida sobresaturación de las capas filtrantes. Asimismo, se observó que la entrada de agua al filtro era hacia un solo punto, por lo que el agua residual no se esparcía homogéneamente en toda el área del filtro (Segura, 2009).

El primer punto fue superado con los cambios realizados en los procesos previos a la filtración. La entrada de agua residual al filtro fue cambiada para que se distribuya, homogéneamente, por medio de una hilera de diez entradas con un diámetro de cuatro pulgadas.

Resultados durante la optimización

Realizado el diagnóstico para precisar su eficiencia, se realizaron las respectivas modificaciones a las instalaciones y los procesos de dosificación de reactivos, coagulación, floculación, sedimentación y filtración para iniciar las pruebas de optimización (Marín, 2012), las cuales se detallan a continuación:

Pruebas experimentales para dosificación de reactivos

Corrección del pH mediante dosificación de cal

Se realizaron pruebas para ajustar el pH entre 6 a 7 U-pH, considerando que el agua residual de la empresa se encontraba entre 3 a 5 U-pH y simulando lo que sucedía en el pozo de neutralización (Ramalho, 2015). Para ello, se dispuso diez litros de agua residual, se midió el pH inicial y se agregaron diferentes concentraciones de lechadas de cal partiendo de una solución concentradas al 10% y una solución de trabajo al 1%; luego se agitó el contenido y se midió el pH corregido. Se tiene como resultado que es posible corregir el pH entre 6,5 a 7,5 para iniciar el proceso de coagulación y floculación con una dosis de cal entre 150 a 200 mg/l,

según varíe el pH inicial (Amaya *et al.*, 2004). Estos resultados de corrección de pH se encuentran en la tabla 4.

Pruebas de jarra para determinar la dosis óptima de coagulante

Se realizaron cuatro pruebas de jarra y se obtuvo como prueba de jarra óptima la que ajustó el pH a 7,5 U-pH. Como resultado, se observó una mejor formación de flóculos y sedimentación con mínimos de 5 mg/l de SST en el agua clarificada en las dosis de 250 mg/l de sulfato de aluminio +1 ppm de floculante. El porcentaje de remoción alcanzó un porcentaje de 94,9%. De igual manera, se mejoraron los valores de DQO desde 7540 mg/l de ARI hasta 800 ppm, que resultó la mejor dosis en esta prueba (250+1). El porcentaje de remoción se mantuvo por encima de 80% en las dosificaciones de 250+1 y 250+5. Lo indicado se encuentra en la tabla 5.

Resultados de la operación de la planta de tratamiento optimizada

Luego de que se obtuvieron las dosis de reactivos para el tratamiento convencional fisicoquímico, se tomaron muestras al ingreso y salida de la planta de tratamiento para determinar la eficiencia de este tratamiento tras la realización de los cambios y ajustes para la optimización.

Muestreo durante la operación de la planta de tratamiento

A lo largo de cinco días, se realizó un muestreo diario, cada dos horas, durante la operación de la planta de tratamiento. Los resultados promedios se observan en la tabla 6.

Resultados después de la optimización

El siguiente análisis se realizó considerando el promedio de todos los datos existentes con el fin de

Tabla 4. Corrección de pH mediante lechadas de cal.

Concentración cal en mg/l	Determinación de dosis de cal					
	Pruebas					
	P1		P2		P3	
pH inicial	pH corregido	pH inicial	pH corregido	pH inicial	pH corregido	
100	3,84	6,1	4,3	6,5	5	6,9
150	3,84	6,8	4,3	7,2	5	7,3
200	3,84	7,2	4,3	7,5	5	7,6
250	3,84	7,6	4,3	7,8	5	8,1

Fuente: elaboración propia.

hacer el seguimiento y la verificación después de la optimización.

Seguimiento y verificación de eficiencia

En la tabla 7 se aprecian las concentraciones promedio del efluente tratado en la planta de tratamiento después de la optimización.

De acuerdo con los resultados de seguimiento de la tabla 7, se puede apreciar la eficiencia de la optimización del tratamiento fisicoquímico convencional que logró remover contaminantes entre el 70 y 80%, cumpliendo así con los objetivos de esta investigación, que además elimina parámetros fisicoquímicos mediante la sedimentación de la mayor cantidad de sólidos en suspensión posible, para que solo circule al resto de la planta de tratamiento una mezcla mayormente líquida y homogénea.

DISCUSIÓN

La realización de los cambios identificados durante la evaluación preliminar de la unidad de tratamiento permitió optimizar el proceso de depuración.

El uso de insumos químicos en dosis inadecuadas, puntos inexactos y estados físicos inapropiados contribuía en la baja eficiencia de remoción de la contaminación.

La determinación de la dosis óptima de los reactivos de manera experimental permitió maximizar la eficiencia de remoción de la unidad de tratamiento fisicoquímico, a la vez que minimizó el consumo de los reactivos evitando la saturación de las unidades de filtración (Arboleda, 2000).

CONCLUSIONES

Se determinaron los valores de 200 ppm de cal, 250 mg/l de sulfato de aluminio y 1 ppm de polímero como dosis óptima para el tratamiento fisicoquímico de la estación depuradora de aguas residuales.

Respecto a las modificaciones realizadas para la optimización de la planta de tratamiento, se construyó un tanque reservorio junto al floculador con una línea de ingreso del efluente a tratar y el coagulante al mismo tiempo, consiguiendo una mezcla

Tabla 5. Resultados de prueba de jarra óptima.

Sulfato de aluminio mg/l	Polímero ppm	pH corregido	SST en mg/l	% de remoción	DQO en mg/l	% de remoción
0	0	4,3	98	0	7540	0
150	1	7,5	21	78,57	2500	66,84
150	5	7,5	18	81,63	2560	66,05
200	1	7,5	15	84,69	1500	80,11
200	5	7,5	10	89,80	1300	82,76
250	1	7,5	5	94,90	800	89,39
250	5	7,5	5	94,90	840	88,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Resultados promedios del agua residual durante la operación.

Agua residual		Días				
Parámetro	Flujo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
pH	Entrada	6,72	6,71	6,71	6,7	6,7
	Salida	7,08	7,18	7,15	7,04	7,14
Turbidez en NTU	Entrada	218,4	317	864	514	529
	Salida	15,7	39,2	45,7	52,1	48,4
Color en UC-PT	% de remoción	92,81	87,63	94,71	89,86	90,85
	Entrada	48,4	306	169	225	316
	Salida	1,8	5,2	6,1	5,5	5,5
DQO mg O ₂ /l	% de remoción	96,28	98,30	96,39	97,56	98,26
	Entrada	9770	8500	9340	10030	9890
	Salida	340	285	470	920	1040
% de remoción		96,52	96,65	94,97	90,83	89,48

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Seguimiento promedio de concentraciones del efluente tratado.

Parámetro	Periodo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
pH	Entrada	4,69	5	6,265	6,15	6	6,2
	Salida	7,15	6,52	6,59	7,15	7,4	7,5
SST	Entrada	218	384	193,5	179	222	126
	Salida	25	59	43	24,5	14	5
	% de remoción	88,53	84,64	77,78	86,31	93,69	96,03
DQO	Entrada	3627	4627	5543,5	8590	5620	4926
	Salida	470	470,3	901	1100	265	181
	% de remoción	87,04	89,84	83,75	87,19	95,28	96,33
DBO	Entrada	3280	2360	1119	1314	1209	1075
	Salida	410,5	470,3	285	238	58	67
	% de remoción	87,48	80,07	74,53	81,89	95,20	93,77
Aceites y grasas	Entrada	3,8	4,1	5,8	2,6	6,8	8,1
	Salida	0,6	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2
	% de remoción	84,21	85,37	96,55	92,31	95,59	97,53

Fuente: elaboración propia.

rápida en un tiempo de contacto de aproximadamente un minuto y permitiendo realizar el primer paso del tratamiento químico convencional. Con el cambio de las líneas de ingreso del agua a tratar en el sedimentador, se corrigió la resuspensión de los lodos formados y se logró una distribución homogénea del agua residual que ingresa a los filtros mediante la instalación de tuberías dispuestas apropiadamente.

Los resultados de los análisis realizados antes, durante y después de la optimización permitieron verificar la eficiencia de la planta de tratamiento, logrando un porcentaje de remoción mayor al 90% en las variables de sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, DQO, DBO y el pH ajustado al rango de la descarga (Chung, 2018). Este proyecto evidencia lo importante de la interconexión de la Universidad con otros espacios de la sociedad para contribuir con su conocimiento en la mejora de la calidad de vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Amaya, W.; Cañón, Ó. y Avilés, Ó. (2004). Control de pH para una planta de tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 14(1), 86-95.
- [2] Aragonés, P.; Mendoza, J.; Bes-Piá, A.; García, M. y Parra, E. (2009). Application of multicriteria decision analysis to jar-test result for chemicals selection in the physical-chemical treatment of textile wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 164(1), 288-295.
- [3] Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- [4] Baena, G. (2003). *Metodología de la investigación*. México, D. F., México: Publicaciones Culturales.
- [5] Bouyer, D.; Estudié, R. y Liné, A. (2005). Experimental analysis of hidrodynamics in a jar-test. *Process Safety and Environmetal Protection*, 83(1), 22-30.
- [6] Chung, A. (2018). *Hacia un escenario futurable para la universidad pública. Conceptos, aportes y reflexiones*. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- [7] Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Guayaquil (2013). *Formato de instrucciones para adjuntar a los reportes semestrales. Actividades según el CIIU. F-CCA-ARI-01 versión 1.0*.
- [8] Marín, R. (2012). *Procesos físicoquímicos en depuración de aguas. Teoría, práctica y problemas resueltos*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- [9] Ministerio del Ambiente (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. Anexos del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). En *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua* (pp. 286-339). Quito, Ecuador: Presidencia de la Repùblica.

- [10] Ramalho, R. (2015). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona, España: Reverté.
- [11] Russel, D. (2012). *Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico*. Barcelona, España: Reverté.
- [12] Segura, J. (2009). *Maquinaria para tratamiento y depuración de aguas fundamentos y aplicaciones*. Madrid, España: Bellisco Ediciones Técnicas y Científicas.
- [13] Trapote, A. (2016). *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas*. Alicante, España: Unión de Editoriales Universitarias Españolas.
- [14] Valencia, C. (2016). *Aguas residuales. Una visión integral*. Bogotá, Colombia: UD.
- [15] World Health Organization (2012). *UN-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS). The Challenge of extending and sustaininig services*. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44849>.