

Diseño de una tecnología para tratar el agua residual de Cervecería

Design of a technology to treat the residual water of brewery

MSc. Telvia Arias Lafargue, Ing. Yaritza Ravelo Vázquez

Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente. Cuba

tal@uo.edu.cu

Resumen

El presente trabajo se llevó a cabo en la Cervecería Hatuey ubicada en la provincia Santiago de Cuba. El análisis parte de la identificación de los residuales que aún quedan sin tratar o recuperar para su reutilización, pues en los últimos años la Cervecería ha reducido considerablemente el vertimiento de residuales, debido a la implementación de diferentes propuestas tecnológicas. Atendiendo a las características valoradas se confirma que aún la industria vierte residual altamente contaminante a la bahía a través del río Yarayó, fundamentalmente en lo referente a sólidos y coliformes. Se propone como tratamiento de residuales para esta cervecera un sistema compuesto por un sedimentador, un coagulador floculador y un filtro en medio granular, teniendo en consideración las características del terreno y la ubicación geográfica de la industria.

Palabras clave: tratamiento de residuales, cervecería.

Abstract

The present work was carried out in the Brewery Hatuey located in the county Santiago from Cuba. The analysis leaves of the identification of the residual ones that are still without to try or to recover for its reutilización, because in the last years the Brewery has reduced the vertimiento considerably of residual, due to the implementation of different proposed technologies. Assisting to the valued characteristics confirms that the industry still pours residual polluting highly to the bay through the river Yarayó, fundamentally regarding solids and coliformes. Intends as treatment of residual for this brewer a compound system for a sedimentador, a coagulative floculador and a filter between granulating, having in consideration the characteristics of the land and the geographical location of the industry.

Keywords: treatment of residual, brewery.

Introducción

La bahía, ríos, arroyos y drenes de Santiago de Cuba son cuerpos receptores donde se vierten residuales líquidos generados por diferentes sectores de producción y servicios. Esto ha traído para los mismos serias implicaciones socioeconómicas, higiénico – sanitarias, ambientales y estéticas, por tanto, se ha hecho necesario estudiar los residuales para determinar su composición y

grado de contaminación, con el fin de establecer las medidas necesarias para erradicar o minimizar impactos.

La Cervecería Hatuey es uno de los principales focos que desde hace más de 20 años se identifica como contaminante de la bahía, a través del río Yarayó, determinado por el vertimiento de los residuales que se producen durante el proceso de elaboración y embotellado de la cerveza y la maltina. Sin embargo, en los últimos años la misma ha reducido considerablemente el vertimiento de residuales, debido a la implementación de diferentes propuestas tecnológicas que aportan grandes beneficios en aras de reducir la contaminación y disminuir las afectaciones ambientales que los residuales generados provocaban en la zona.

A pesar de ello la mencionada entidad no dispone de sistema de tratamiento de los residuales que aún vierte, de modo que permita eliminar la contaminación producida por los mismos al realizarse su vertimiento en las aguas del río Yarayó y por consiguiente en la bahía santiaguera, vertiendo aún residuales líquidos cuyas demandas químicas y bioquímicas de oxígeno superan los límites permisibles de la norma de vertimiento vigente. Es por ello que el trabajo tiene como objetivo diseñar los equipos necesarios para el tratamiento de los residuales líquidos generados en el proceso productivo y sin recuperación aún.

Comúnmente las cerveceras tienen entre sus residuales el afrecho que se obtiene durante la filtración en la tina, la levadura desechada luego de la fermentación, la tierra de infusorio agotada en la filtración, las aguas de lavado de los equipos y las aguas de limpieza de las áreas. A lo anterior se suman las aguas de limpieza de cocina comedor.

Son múltiples las alteraciones químicas que puede presentar el agua y cada una de ella significa un tipo de contaminación. La tabla 1 refleja algunas alteraciones que puede presentar el agua y la contaminación que indica.

Tabla 1

Alteraciones químicas del agua y contaminación que indica [1]

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
Temperatura	El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. Las industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.
pH	Las aguas contaminadas con vertidos industriales pueden tener pH muy ácido. Este tiene una gran influencia en los procesos químicos del agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.
Conductividad	El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos.
Oxígeno disuelto OD	Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.
Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	DBO ₅ es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.
Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato de potasio en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO ₅ por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de esta, sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.

Caracterización de la Cervecería Hatuey [10]

La Cervecería Hatuey, se fundó el 13 de enero de 1927 para la producción de alcoholes, aguardiente, cervezas y maltinas de gran calidad, siendo la cerveza Hatuey su producto insignia durante mucho tiempo. En la década del '70 se llevó a cabo la reconstrucción de la cervecería, montándose una planta de tecnología checa, más moderna y de mayor capacidad. Desde el año 2008 se dejó de producir aguardiente en la destilería con el propósito de eliminar la carga contaminante generada por el vertimiento de la vinaza de la destilación alcohólica. Ambos cambios tecnológicos han ocasionado diferentes impactos ambientales positivos y negativos. Desde su fundación los residuales líquidos generados durante los procesos productivos se vierten al río Yarayó que desemboca en la bahía. Nunca ha existido sistema de tratamiento para ellos y muy pocos han sido recuperados con fines de alimentación animal. Todo esto ha provocado que por años se incremente la contaminación de los cuerpos de

agua mencionados, con la consiguiente disminución de su capacidad de autodepuración y por ende generando problemas ambientales tales como: cambio de coloración, turbiedad y de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas del río, afectación al desarrollo turístico en la zona y disminución de la calidad de vida de la población aledaña [2,3, 5].

En los últimos años en la Cervecería Hatuey se ha reducido considerablemente el vertimiento de residuales, debido a la implementación de diferentes propuestas tecnológicas que aportan grandes beneficios en aras de reducir la contaminación y disminuir las afectaciones ambientales que los residuales generados provocaban en la zona y que en su momento se definían como: [2,5]

- ❖ Canal central de desagüe deteriorado, lo que provoca continuas tupiciones en diferentes áreas de la entidad y afectación a los vecinos aledaños a la misma.
- ❖ Vertimiento de desechos sólidos al desagüe principal, afrecho y tierra de infusorio gastada.
- ❖ Vertimiento de residuales líquidos al río Yarayó con una carga contaminante apreciable.
- ❖ Consumo importante de agua procedente del acueducto de la cual se sirven varios consumidores y debe ser evaluada y controlada.
- ❖ Vertimiento al basurero de parte de los vidrios y etiquetas generadas en el proceso de embotellado.
- ❖ Escape de vapor de agua, condensado y agua caliente producto del proceso de elaboración.
- ❖ Emisión de dióxido de carbono a la atmósfera debido al estado tecnológico de los equipos de la planta de recuperación de este subproducto.
- ❖ Emisión de gases de amoníaco debido a salideros y limpieza del sistema de refrigeración.

Para minimizar la contaminación al río Yarayó y la bahía, se propusieron alternativas basadas en la puesta en práctica de sistemas de tratamientos y

reutilización de los mismos, considerando las características que estos poseen, con el objetivo de aprovecharlos al máximo. La solución a algunos de los problemas descritos se logró mediante la implementación de las propuestas siguientes: [2, 4, 6, 7]

Diseñar los equipos necesarios para lograr la máxima recuperación de afrecho, así como la coordinación con la entidad encargada para recoger el mismo.

1. Recuperar la tierra de infusorio mediante un sedimentador para utilizarla con fines constructivos.
2. Diseño de un sistema de recuperación de la crema de levadura, para aprovecharla como alimento porcino.
3. Diseñar un sistema de extracción de polvo (ciclón) para recuperar el polvo que se escapa a la atmósfera.
4. La separación de los residuos sólidos generados en el embotellado para su comercialización con materias primas.
5. Insulación de tuberías y sustitución de las que estaban en mal estado.
6. Recuperación de las aguas frías y calientes del embotellado las que se reutilizan dentro del mismo proceso de embotellado
7. Reutilización del agua caliente que sale del intercambiador de calor de mosto cervecero.

Materiales y métodos

La dirección de la Cervecería Hatuey solicitó a la dirección UEB Servicios Técnicos de Aprovechamiento Hidráulico de Santiago de Cuba la caracterización de la calidad del agua residual del proceso productivo, en el mes de mayo del 2016, y que fue vertido al río Yarayó.

Se tomaron muestras por triplicado y para recolectarlas se utilizaron envases de plástico de 1,5 L de capacidad, lavados previamente con agua destilada. La toma y conservación de las mismas, se realizó mediante la metodología establecida. La temperatura se determinó *in situ*. Las mismas fueron

entregadas posteriormente a un laboratorio debidamente certificado perteneciente a la Enast-UEB Santiago de Cuba del INRH [8].

Los parámetros determinados en las muestras fueron: Temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos sedimentables totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Turbiedad (TU), y como indicador microbiológico bacterias coliformes totales (CT) y bacterias coliformes fecales (CF) empleando el método del número más probable (NMP/100 mL). Los indicadores determinados fueron seleccionados tomando como base los métodos descritos en el Standard Methods [8]. En la tabla 2 se muestran los métodos analíticos utilizados en la determinación de cada uno de los parámetros analizados en las muestras de agua.

Tabla 2
Parámetros analizados y métodos empleados

Parámetros	Métodos Analíticos Empleados
Temperatura	Físico
pH	Potenciométrico
Conductividad eléctrica	Coductimétrico
Sólidos Sedimentables	Volumétrico
Demanda Química de Oxígeno	Espectrofotométrico
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Espectrofotométrico
Turbiedad	Nefelométrico
Bacterias coliformes totales	Microbiológico (NMP/100mL)
Bacterias coliformes fecales	Microbiológico (NMP/100mL)

En la tabla 3 se exponen los valores medios obtenidos para los parámetros analizados en las muestras de agua. Las determinaciones se comparan con los valores establecidos por la norma cubana NC-27/2012: "Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y al Alcantarillado-Especificaciones" [9].

Tabla 3

Resultados correspondientes a los parámetros de contaminación ambiental

Parámetros	Salida Final	Límites Máx NC-27/2012
Temperatura (°C)	30	<50
pH (u)	7,97	6-9
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	300	<3500
Sólidos Sedimentables (mg/L)	225	5
Turbiedad (UNT)	99	---
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	197	120
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	61	60
Bacterias coliformes totales (NMP/100mL)	> 110 000	1000
Bacterias coliformes fecales (NMP/100mL)	> 11 000	200

De los valores expuestos en la tabla se puede señalar lo siguiente:

Temperatura: Constituye un parámetro importante en lo que se refiere al control químico de las aguas. Es poco usual encontrar valores de temperatura constante pues este parámetro es dependiente del horario de la medición y de la época del año. La temperatura se comportó, en un rango de 29-32 °C; este parámetro no constituye una fuente de contaminación, pues esta se considera si su valor es superior a 50 °C.

pH: El valor del pH del agua tiene influencia en muchas reacciones que tienen lugar en el seno de la misma, en este caso osciló entre 7,7-7,97 unidades, por lo que se pueden considerar aguas ligeramente alcalinas y los valores están dentro de los límites máximos establecidos por la norma.

Conductividad eléctrica: es la capacidad que presenta una sustancia de transmitir la corriente eléctrica por la presencia de iones en solución. Un valor elevado se traduce en una salinidad alta. Este efluente posee una conductividad nb mucho menor que la establecida como límite, lo que indica que el contenido de sales disueltas no es considerable.

Turbidez: La turbidez de un agua es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal. El valor medio total de las muestras analizadas se encuentra por encima de lo establecido en la norma de vertimiento.

Demanda Química de Oxígeno: Está estrechamente relacionada de forma inversa con la concentración de oxígeno disuelto en las aguas, siendo un factor muy importante para indicar contaminación. Los valores dependen del contenido de materia orgánica y de algunas sustancias inorgánicas en las aguas debido a actividades físicas, químicas y bioquímicas. Se utiliza para medir el contenido de materia orgánica global (biodegradable y no biodegradable) en aguas naturales y residuales, es una medida de control de la calidad del agua. Los valores medios alcanzados para este parámetro superan en 77 mg/L los límites establecidos para el vertimiento, indicando un alto contenido de materia orgánica susceptible a oxidarse.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: Es otro parámetro indicador de materia orgánica presente en el agua y se emplea para evaluar la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica biodegradable presente. En este caso los valores medios alcanzados para este parámetro superan solo en 1 mg/L el límite para el vertimiento, indicando un contenido aceptable de materia orgánica susceptible a oxidarse.

No debe olvidarse que cuando la relación $DBO_5/DQO > 0,6$ predomina materia orgánica biodegradables y si es $< 0,2$ no son biodegradables. La relación calculada en este trabajo es de 0,31 por lo que puede considerarse como un agua residual moderadamente biodegradable.

Bacterias coliformes totales y fecales: Los métodos bacteriológicos permiten detectar las bacterias patógenas (coliformes) en las aguas. En este caso se puede apreciar que los valores medios obtenidos superan con creces los permitidos para el vertimiento según la norma vigente, indicando serios problemas de contaminación fundamentalmente por coliformes fecales.

En función de todo lo señalado se puede concluir que los residuales vertidos al cuerpo receptor constituido por el río Yarayó no cumple en sentido general con la calidad requerida por la norma cubana NC27/2012, conteniendo material biodegradable.

Análisis de la alternativa tecnológica para el tratamiento de los residuales

Luego de analizar todas las propuestas tecnológicas instaladas en la cervecera para reducir la carga contaminante del agua residual que se vierte en el río Yarayó y por consiguiente en la bahía santiaguera, se puede concluir que los residuales que quedan por tratar en la cervecería son las aguas de limpieza y las aguas de servicio con un flujo de residual en cuestión de 10 m³/h. Se analizarán los equipos que se necesitan para el tratamiento de las aguas residuales tomando como base la salida general de la planta.

Para determinar los equipos que garanticen el vertimiento cumpliendo con la norma vigente se realizó el análisis que se refleja en la tabla 4:

Tabla 4

Determinación de los porcentos de remoción según la norma de vertimiento

Parámetros	Salida Final	Límites Máx NC-27/2012	% RPi
T (°C)	30	<50	--
pH (u)	7,97	6-9	---
CE (µS/cm ²)	300	<3500	---
SS (mg/L)	225	5	97,77
Turbiedad (UNT)	99	---	100
DQO (mg/L)	197	120	39,08
DBO (mg/L)	61	60	1,63
BCT (NMP/100mL)	> 110 000	1000	99,09
BCF (NMP/100mL)	> 11 000	200	98.18

La tabla 4 muestra que son elevados los porcentos de remoción necesarios para la eliminación tanto de los sólidos presentes en el residual, como de la turbidez y los coliformes, lo cual demuestra que las aguas residuales presentan altos valores de contaminación teniendo en cuenta la norma cubana de vertimiento vigente NC-27/2012. Es por ello que se puede concluir que para lograr una completa descontaminación de estas aguas se necesitaría instalar una planta de tratamiento de residuales que se propone esté conformada por los siguientes equipos: sedimentador, coagulador-floculador y filtro granular.

La sedimentación se utiliza para la separación de partículas sedimentables presentes en las aguas residuales por la acción de las fuerzas del campo gravitatorio sin emplear sustancias químicas.

La coagulación floculación eliminará las partículas coloidales presentes en las aguas residuales a una gran concentración con ayuda de un agente químico.

En el laboratorio químico se realizaron las pruebas correspondientes para determinar la posible clarificación del residual analizado con las operaciones antes mencionadas.

La sedimentación se realizó sin añadir el coagulante con el objetivo de aplicar la sedimentación libre, observándose que la solución se tarda en separarse en las fases pertinentes (sólido- líquido) y que no se define claramente la interfase o zona de separación de las mismas, debido a las diferentes clases de tamaño que contiene la solución analizada, impidiendo observar con claridad la altura de la interfase, por lo que es necesario utilizar un coagulante.

El coagulante que se utilizó fue el sulfato doble de aluminio y potasio, comúnmente conocido como alumbre, añadiéndose 1g del mismo, pudiéndose observar fácilmente la interfase, es decir que se definió muy bien la separación de las fases. El floculante realizó una buena función dejando el líquido bien claro y sin sólidos en suspensión. Luego de las pruebas se concluye que la dosis a adicionar en la prueba de sedimentación es de 0,8g, dando como rango admisible entre 0.8–1g, constituyendo este rango el óptimo como umbral de floculación.

La filtración es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO, metales pesados, virus; es decir, para asegurar una calidad superior del efluente. Con la filtración podemos tratar efluentes sin agregar coagulantes, con agregación de coagulantes, antes de la filtración o antes del sedimentador secundario y para depurar aguas residuales previamente coaguladas, floculadas y sedimentadas.

El diseño del equipamiento permitió obtener las siguientes dimensiones:

- sedimentador $H=1.97\text{m}$, $D=3,11\text{m}$ y $H_c=2,12\text{m}$;

- coagulador floculador: $D = 2,5\text{m}$ y $H=2,83\text{m}$;
- filtro en medio granular es necesario un solo equipo con $A_{1f} = 1,4\text{m}^2$ y $A_f = 7,54\text{m}^2$.

donde

H..... altura (m)

Hc.... altura del cono (m)

D.....diámetro (m)

A_{1f} área de un filtro (m^2)

A_fárea de filtración (m^2)

Para valorar esta tecnología se tuvo en cuenta que la industria en cuestión se encuentra ubicada en una zona densamente poblada, con manto freático superficial y no dispone de mucho terreno sin utilizar, lo cual impide pensar en la posibilidad de emplear lagunas de oxidación para el tratamiento de los residuales, algo muy utilizado en muchas otras cervecerías.

La propuesta tecnológica tendría como costo solo por mano de obra y mantenimiento general teniendo en cuenta la existencia de equipos en la entidad que pueden satisfacer las necesidades expuestas.

Conclusiones

Atendiendo a las características valoradas se confirma que aún la industria vierte residual altamente contaminante a la bahía a través del río Yarayó, fundamentalmente en lo referente a sólidos y coliformes.

Se propone como tratamiento de residuales para esta cervecera un sistema compuesto por un sedimentador, un coagulador floculador y un filtro en medio granular, teniendo en consideración las características del terreno y la ubicación geográfica de la industria.

Referencias bibliográficas

1. Velasco, J.L; Soriano, O; Fernández, J; Rubio, A. "Características físico-químicas de diferentes masas de agua: I Cuenca del Tajo (Guadalajara, España). Revista *Ecología*, 16. 2002, pp 27-35.

2. ARIAS LAFARGUE, T., REYES YOLA, O. “Posibles aplicaciones de prácticas de producción más limpias en cervecería Hatuey”. *Revista Tecnología Química*, 30 (2). 2010, pp. 36 – 43.
3. ARIAS LAFARGUE, T.; REYES YOLA, O. “Caracterización ambiental del combinado industrial Hatuey (Parte 1)”, *Revista Tecnología Química*, 30(3). 2010, pp 53 -66.
4. ARIAS LAFARGUE, T.; REYES YOLA, O., CRESPO SARIOL, H. “Opciones de prácticas de producción más limpias para la producción de cervezas y alcoholes en Santiago de Cuba”. *Revista Tecnología Química*, 32(1). 2012, pp. 83 -89.
5. ARIAS LAFARGUE, T.; REYES YOLA, O. “Caracterización ambiental del combinado industrial Hatuey (II parte)”. *Revista Tecnología Química*. 2012, 32(3), pp 232 -238.
6. ARIAS LAFARGUE, T. “[Viable elección para recuperar aguas de pasteurización](#)”. *Revista Tecnología Química*, 34(1). 2014, pp. 38 – 47.
7. ARIAS LAFARGUE, T.; LÓPEZ RÍOS, L. “Propuesta tecnológica para el aprovechamiento energético del bagazo de cebada malteada de la Cervecería Hatuey”. *Revista Tecnología Química*. 2015, 35(3), pp. 356-374.
8. APHA, AWWA, W. “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. 21 st ed. American Public Health Association, Washington. 2005, pp. 5-72.
9. NC-27/2012: “Vertimiento de aguas residuales a aguas terrestres y al Alcantarillado-Especificaciones”.
10. TÉCNICOS, U.S. “Informe de la caracterización de los residuales de la cervecería Hatuey”. 2016.