

Tratamiento de efluentes de una planta procesadora de frutas

Recibido: 18/10/10 Aceptado: 20/01/11

⁽¹⁾Mario Alcarraz Curi
⁽²⁾Jorge Inche Mitma

RESUMEN

Existe un crecimiento preocupante en los niveles de contaminación ambiental de los ecosistemas aledaños a la planta procesadora de frutas por la descarga de sus efluentes industriales sin tratamiento previo ni control adecuado de las autoridades correspondientes, debido a que muchas de ellas no han considerado la gestión de sus efluentes en el diseño de la planta. El objetivo de la presente investigación es caracterizar y gestionar los efluentes de la procesadora. Se concluye que los efluentes de la procesadora poseen un alto potencial contaminante por la abundante carga orgánica que poseen y que el tratamiento primario logra la reducción de dicho potencial a límites aceptados por la legislación peruana (remoción de turbidez 98.1% y reducción de la demanda bioquímica de oxígeno 96.58%), permitiendo la disminución del consumo de agua, liberación de penalidades y su constitución como una empresa amigable al medio ambiente para beneplácito de las autoridades ambientales y la comunidad en su conjunto.

Palabras clave: Gestión de efluentes, pulpa de frutas, contaminación, turbidez

WASTEWATER TREATMENT OF A FRUIT PROCESSING PLANT PULP

ABSTRACT

There is a growing concern in environmental pollution levels of the neighboring ecosystems fruit processing plant by the discharge of untreated industrial effluents and proper control of the authorities, because many of them have not considered the management their effluents into the design of the plant. The objective of this research is to characterize and manage the processing effluent. We conclude that the processing effluents have a high potential for contamination by the abundant organic load and that have achieved the primary treatment of this potential reduction to acceptable limits by Peruvian law (98.1% turbidity removal and reduction of BOD Oxygen 96.58%), allowing the reduction of water consumption, release of hardship and its incorporation as a business friendly environment for approval of environmental authorities and the community as a whole.

Keywords: Effluent management, fruit pulp, pollution, turbidity.

INTRODUCCIÓN

La preservación del medio ambiente representa uno de los mayores desafíos para la humanidad al iniciarse el siglo XXI. El acelerado desarrollo tecnológico, en respuesta a las crecientes demandas y expectativas del hombre, junto al acelerado crecimiento de la población, producen una enorme presión sobre nuestro ambiente, que se traduce en niveles cada vez mayores de contaminación. En el Perú, sobre todo en ciudades donde el crecimiento de industrias es vertiginoso, se nota muy claramente un crecimiento en los niveles de contaminación ambiental de los ecosistemas aledaños por la descarga de los efluentes industriales sin tratamiento previo ni control adecuado de las autoridades correspondientes. A pesar de la legislación existente para el control de los efluentes industriales, lamentablemente no se ejecutan en todas las industrias por razones económicas, técnicas, administrativas, entre otras. El problema se agrava por el incremento de pequeñas y medianas industrias clandestinas que evaden dicho control, contribuyendo a la contaminación del medio ambiente.

Afrontar el problema planteado no pasa solamente por el control, supervisión y sanción de las empresas generadoras de efluentes, sino también por la investigación, innovación y presentación de nuevas alternativas cada vez más factibles y económicas de tratamiento o reciclaje de dichos efluentes, que puedan ser adoptadas por las industrias implicadas, tales como los bioprocesos que representan en sí una opción tecnológica de menor impacto ambiental. ^(1,2)

El problema característico de los efluentes industriales es que, mientras los vertidos urbanos convencionales presentan impurezas minerales y orgánicas cuya naturaleza y concentración son bastante similares de una ciudad a otra, por lo que sus líneas de tratamiento pueden ser análogas; sin embargo, los vertidos industriales debido a su gran diversidad necesitan de una investigación propia para cada tipo de industria y la aplicación de procesos de tratamiento específicos. Así, para encontrar el proceso adecuado, es necesario realizar estudios de tratabilidad de aguas residuales, que se diseñan con el objetivo de conocer la capacidad de eliminación de contaminantes por medio de uno o varios procesos de tratamiento y, a la vez, acondicionar el efluente a los valores permisibles de carga orgánica y otros ele-

1 Magister en Microbiología, docente de la Facultad de Ciencias Biológicas. UNMSM.
 E-mail: biomac_20@hotmail.com

2 Doctor en Ciencias Administrativas, docente de la Facultad de Ingeniería Industrial. UNMSM.

mentos contaminantes, para su vertido a los cursos receptores de agua. Esto que parece tan lógico, raramente es realizado y es causa de innumerables fracasos en los sistemas de tratamiento.

El estudio pretende tratar los efluentes de la procesadora de frutas, a través de la remoción de la materia orgánica y disminución de la turbidez; para lograr una reducción del potencial contaminante de los efluentes a valores permisibles de evacuación, según la legislación peruana, y lograr el reciclaje del agua; contruyendo una imagen corporativa acorde con el medioambiente, ante la mirada del gobierno y la comunidad.⁽³⁻⁸⁾

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Bioprocesos Industriales y en el Laboratorio de Biotecnología y Microbiología Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas - Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Las muestras constituyeron los efluentes finales de la procesadora, las cuales fueron tomadas en recipientes estériles de 250 ml de capacidad. Se recolectaron a diferentes tiempos durante el proceso. El homogenizado de las muestras fue sometido a caracterización fisicoquímica considerando primordialmente los sólidos totales, turbidez, pH y demanda bioquímica de oxígeno.

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS EFLUENTES

Para la determinación de las características de cada uno de los efluentes, fueron sometidos a los siguientes análisis o determinaciones:

Determinación de pH ⁽¹⁾

Luego de homogenizar la muestra se tomó 100 ml. y determinó el valor de pH con el potenciómetro.

Determinación de azúcares totales (método Fehling Causse Bonnans)⁽¹⁾

a) Se midió 50 ml del efluente con una pipeta y se colocó en un matraz aforado de 100 ml. b) Se añadió 5 ml de HCl 1: 1 y caliente a 70 °C durante 15 min. Se enfrió a temperatura ambiente. c) Se neutralizó con NaOH usando fenolftaleína como indicador. d) Se completó el volumen a 100 ml con agua. e) Luego se filtró y se colocó en una bureta la solución problema. f) Se colocó en una fiola de 250 ml, 5 ml de la solución de Fehling A y 5 ml de solución

de Fehling B, se agregó 20 ml de agua destilada y unas perlas de vidrio, se llevó a ebullición y se vertió rápidamente la solución problema, con la ayuda de la bureta. A medida que la coloración (azul) cúprica se debilita, indica que la titulación está llegando a su fin. Se continuó la titulación hasta que el líquido que se encuentra sobre el precipitado rojo sea incoloro. g) Se anotó el volumen de la muestra problema consumido en la titulación.

Cálculo: % A.R = (f / vol. Solución gastados)*100

Determinación de sólidos totales ⁽¹⁾

Se agitó la muestra para eliminar los gases, luego se tomó 50 ml con pipeta volumétrica y fueron colocados en una cápsula de porcelana puesta a peso constante y pesada previamente. Se evaporó la muestra en baño maría y se secó en estufa a 110 °C hasta peso constante. Al término, se pesó la cápsula con los sólidos.

Determinación de la DBO ⁽¹⁾

Para esta prueba las muestras fueron procesadas inmediatamente llegadas a laboratorio o en algunos casos luego de un máximo de 24 horas de almacenamiento en refrigeración.

Las muestras fueron recolectadas en frascos de DBO de 300 ml y transportadas al laboratorio en contenedores refrigerados.

La demanda bioquímica de oxígeno fue determinada por el método propuesto en los métodos estándares para el análisis de aguas y aguas residuales de la A.O.A.C. 1971. Las muestras diluidas al 5% y 25% y sin diluir, fueron incubadas a 20 °C en oscuridad durante 5 días, se determinó el contenido de oxígeno de cada uno de los frascos previo a la incubación y luego de la incubación correspondiente, utilizando un electrodo de oxígeno después de un periodo de estabilización de 15 minutos. Los valores de la DBO₅ fueron determinados considerando los valores iniciales y finales, aplicando la relación:

$$\text{DBO (mg/L)} = \frac{\text{COD (i)} - \text{COD (f)}}{P}$$

Donde:

COD (i) = Concentración Inicial de oxígeno disuelto.

COD (f) = Concentración de oxígeno disuelto de las muestras luego de la incubación.

P = Fracción decimal de muestra utilizada.

Determinación de las NTU (Method 180.1 USEPA) ⁽¹⁾

Una vez encendido el nefelómetro se esperó hasta que se estableciera el equipo, luego se insertó la celda con el patrón correspondiente al rango de turbidez esperado para la muestra. Se ajustó la lectura al valor exacto del patrón con el control de calibración del equipo. Se colocó la muestra a medir en una celda nefelométrica, secando cuidadosamente la superficie externa y eliminando las burbujas que pudiera haber. Se retiró del nefelómetro la celda del patrón y se colocó la celda con la muestra. La lectura de turbidez se hizo directamente, expresada en NTU.

REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Se realizó mediante procesos fisicoquímicos utilizando dos coagulantes: el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y el polycat CS-5460 (Policloruro de Aluminio). La evaluación y selección fue realizada por el método de jarras, recomendado por APHA, AWWA & WPCF (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater.

Coagulación - Flocculación ⁽⁹⁾

El proceso de coagulación-floculación se realizó a nivel laboratorio. Se acondicionó el agua residual a pH 6.5 con la adición de ácido sulfúrico 1 N o a pH 9.0 con la adición de NaOH 1 N. Este líquido fue puesto bajo agitación a 100 rpm y se le adicionaron simultáneamente los volúmenes adecuados de los coagulantes ya mencionados para obtener dosis de 50mg/L. Inmediatamente después se adicionaron la dosis de 0.1 mg/L del floculante anfotérico 2PNOD2R. La mezcla se agitó durante 30 segundos a 100 rpm y después 30 minutos a 30 rpm. Al término de este tiempo, se suspendió la agitación y se dejó sedimentar durante 30 minutos. El sobrenadante fue separado por decantación en peras verticales de decantación y analizados para determinar la DBO, SST y turbiedad de los mismos.

RESULTADOS**Tabla 1.** Caracterización de los efluentes de la procesadora de frutas antes del tratamiento.

N.º de muestra	Sustrato	NTU	Sólidos totales (mg/L)	DBO (mg/L)	PH
01	Mango	168	2700	4380	5.5
02	Mango	176	2760	4670	4.8
03	Mango	183	3050	5020	4.3
04	Mango	205	3800	5650	5.0
05	Mango	179	2830	4880	4.6
06	Mango	188	3530	5320	5.0
07	Mango	185	3100	5100	5.1
08	Mango	181	2990	4970	4.9
09	Mango	192	3460	5400	4.7
10	Mango	199	3480	5450	4.2

Fuente: Análisis fisicoquímico del laboratorio de Bioprocesos Industriales. FCB. UNMSM.

Tabla 2. Caracterización de los efluentes de la procesadora de frutas después del tratamiento primario: coagulación-floculación.

N.º de muestra	$Al_2(SO_4)_3$			Polycat CS-5460		
	NTU	ST	DBO	NTU	ST	DBO
01	5.2	162	218	4	145	158
02	6	191	265	4.5	150	126
03	6.5	180	300	3	135	192
04	6.8	260	383	2.5	86	189
05	5.5	223	338	3	155	176
06	6.7	236	310	3.5	140	168
07	6.1	242	347	3.1	148	159
08	5.4	176	286	5	196	235
09	6	219	305	2.8	169	171
10	5.5	258	360	3.2	92	164

Fuente: Análisis fisicoquímico del laboratorio de Bioprocesos Industriales. FCB. UNMSM.

Tabla 3. Porcentaje de remoción de materia orgánica usando polycat-5460.

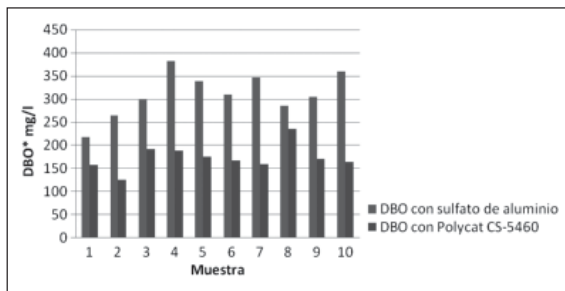
	ST	DBO	NTU
Inicial	3,170	5,084	185.6
Final	141.6	173.8	3.46
Porcentaje	95.5	96.58	98.1

Fuente: Análisis fisicoquímico del laboratorio de Bioprocesos Industriales. FCB. UNMSM.

Tabla 4. Porcentaje de remoción de materia orgánica usando sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

	ST	DBO	NTU
Inicial	3,170	5,084	185.6
Final	214.7	311.2	5.97
Porcentaje	93.2	93.87	96.78

Fuente: Análisis fisicoquímico del laboratorio de Bioprocesos Industriales. FCB. UNMSM.



(*) DBO: demanda bioquímica de oxígeno.

Figura 1. Reducción comparativa de la DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO: Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ vs. Polycat CS-5460.

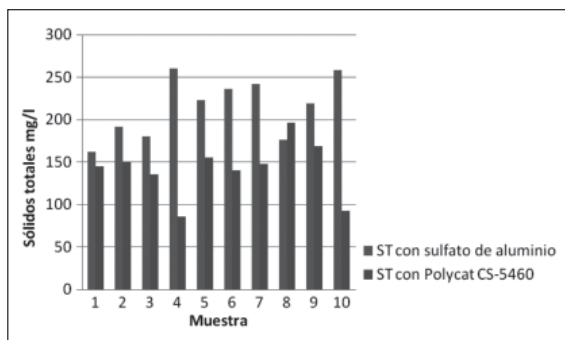
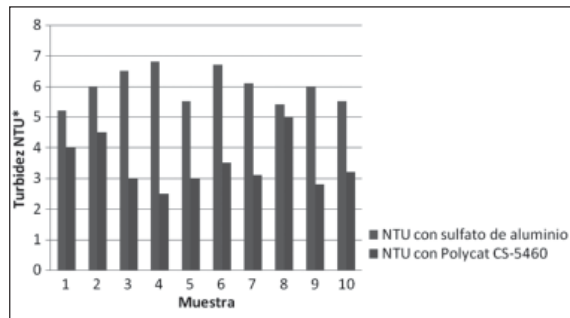


Figura 2. Reducción comparativa de LOS SÓLIDOS TOTALES: Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ vs. Polycat CS-5460



(*) ST: sólidos totales.

Figura 3. Reducción comparativa de TURBIDEZ: Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ vs. Polycat CS-5460.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La caracterización de los efluentes de las plantas procesadoras de frutas varían en cada uno de los valores determinados, diferencias explicadas por el tipo de sustrato utilizado. En la planta, durante la investigación, se procesó mango. Los valores promedio encontrados con la cual se trabajo se expresan en la Tabla 1, siendo los más relevantes para la presente investigación la DBO (5,084) y la turbidez (185.6). Comparado estos valores con los reportados por otras procesadoras de frutas son bastante similares, las variaciones se evidencian por la variedad de frutas utilizadas, el volumen procesado y la tecnología usada.

Para el proceso de coagulación-floculación y sedimentación se ensayaron dos coagulantes químicos, uno inorgánico el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y otro orgánico el polycat CS-5460, habiendo sido elegido el segundo por su mejor remoción de turbidez (98.1%) y reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (96.58%), tal como lo demuestra la Tabla 3.

Los porcentajes de remoción encontrados en la presente investigación son similares a los reportados en otras investigaciones referentes a tratamiento primario, tal como el realizado por Meza Pérez Arturo, y colaboradores en el Instituto de Ingeniería, UNAM en la investigación floculación-coagulación como pos-tratamiento del efluente de un reactor anaerobio que trata vinazas tequileras. En esta investigación se presentan resultados del tratamiento mediante floculación-coagulación de los efluentes que descarga un reactor anaerobio que trata vinazas de tequila, con el fin de determinar la dosis efectiva de floculantes para eliminar el color y materia orgánica. Las pruebas se realizan a

nivel laboratorio en un equipo de jarras, con ayuda de floculantes tales como sulfato de aluminio, cloruro férrico, entre otros, probados de forma individual y en mezclas, variando la dosis y el pH de la vinaza. Los resultados obtenidos muestran que los floculantes más adecuados son: el sulfato de aluminio, cloruro férrico, porque alcanzaron una eficiencia de remoción del 80%; sin embargo está claro que los efluentes comparados son diferentes en su composición química.

Rosa María Ramírez Zamora y colaboradores en el Instituto de Ingeniería de la UNAM desarrollaron la investigación Proceso de Coagulación-Floculación para el tratamiento de aguas residuales: Desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos. En este trabajo se probó el proceso de coagulación-floculación como una etapa de pre-tratamiento de las aguas residuales producidas en la Ciudad de México. El interés en esta investigación se centró en evaluar la eficiencia de tratamiento obtenida con nuevos productos de coagulación-floculación comparada con la obtenida con productos comerciales de probada efectividad. Llegaron a la conclusión que de acuerdo a modelos matemáticos de remoción de parámetros fisicoquímicos, el mejor coagulante y floculante fueron respectivamente PAX XL60 y el 2PNOD2R a pH de 6.0 con una dosis de 20 mg/L y 0.1 mg/L. Con estos compuestos se obtienen eficiencias para SST del 88%, Color del 92%, Turbiedad del 98% y DQO del 82%.⁽¹⁰⁻¹⁴⁾

CONCLUSIÓN

Los bajos niveles de NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) encontrados (3.46) en los efluentes tratados, permitirán recuperar el recurso agua para las primeras etapas de lavado de la materia prima, las máquinas y equipos de la planta, reduciendo significativamente el consumo de agua y los costos del proceso. La materia orgánica retirada del efluente luego del proceso coagulación floculación y sedimentación serían destinadas a composteo en el área verde posterior de la planta procesadora.

El coagulante con mayor eficacia para la remoción de la materia orgánica de los efluentes de la procesadoras de frutas (mango) es el polycat CS-5460; sin embargo, los dos coagulantes ensayados removieron la materia orgánica hasta valores que se encuentran dentro de los límites permisibles para la descarga de efluentes industriales. Los porcentajes de remoción de materia orgánica usando polycat CS-5460 representa el 96.58% para la DBO y 98.10% para turbidez y para el caso de sulfato de aluminio 93.87 para la DBO y 96.78% para la turbidez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Crites R, Tchobanoglous G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales*. Bogotá: Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A.
- [2] Environmental Protection Agency (EPA) (1988). *Manual de diseño de pantanos construidos y sistemas de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. Ohio: Center for Environmental Research Information.
- [3] Metcalf & Eddy (1996). *Ingeniería de aguas residuales*. 3ª Edición. México D.F. McGraw Hill.
- [4] Araundel J. (2002). *Tratamiento de aguas negras y efluentes industriales*. 2ª edición, Zaragoza: Editorial Acribia.
- [5] Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. Vol. I, Madrid.
- [6] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). *Manual de disposición de aguas residuales: origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales*. Lima: CEPIS / OPS / OMS. Tomo I.
- [7] Pérez P. J y Valverdú A.A. (2003) *Depuración y reutilización de aguas residuales. Encuentro medio ambiental almeriense: En busca de soluciones*. Almería.
- [8] APHA (1994). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. Washington.
- [9] Meza P. A, Briones M. R, Ilangovan K. (2004). *Floculación - coagulación como postratamiento del efluente de un reactor anaerobio que trata vinazas tequileras Meza Pérez*. Coordinación de Bioprocesos Ambientales, México D.F.: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- [10] Ramírez R. (2000). "Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos". Instituto de Ingeniería, México D.F.: UNAM, Programa de Ingeniería Química y Química Ambiental, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Morelia. Mar 21-24.
- [11] Olguín E., Peña E., Hernández E. (1994). "Tecnologías ambientales para el desarrollo sustentable". Instituto de Ecología. Elsevier Science. México. pp. 11-20.
- [12] Umaña R. (2004). "Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtiembre mediante sistema de lodos activados escala piloto". Tesis. Universidad de la Frontera Temuco-Chile.

[13] Rueda-Becerril M. (2006). "Evaluación del uso de un proceso químico en el tratamiento de las aguas residuales de una industria alimentaria". Toluca.

[14] Decreto Supremo XXX-2008-Vivienda (2008). Límites máximos permisibles a las aguas residuales de los sistemas de alcantarillado sanitario. Lima.