

Prototipo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria quesera en el cantón Guano provincia de Chimborazo *Prototype for the treatment of wastewater coming from the cheese industry in Guano, province of Chimborazo*

Felipe Guerra Huilca , Mario Cabrera Vallejo *, Wilfrido Salazar Yépez 

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060108; felipeguerra70@hotmail.com; hsalazar@unach.edu.ec

* Correspondencia: mcabrera@unach.edu.ec

Recibido 06 mayo 2018; Aceptado 30 julio 2018; Publicado 07 diciembre 2018

Resumen: El problema ambiental más importante de la industria quesera es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga contaminante asociada. Con la finalidad de minimizar el impacto ambiental es necesaria la depuración de las aguas provenientes de la producción de quesos. En este trabajo se presenta el diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales usando el método de lodos activados. El diseño consistió de tres etapas: caracterización de la planta de tratamiento de aguas residuales, estudio de lodos activados y estudio del efecto de la carga orgánica sobre la remoción de la materia orgánica. Es un estudio cuasi-experimental basado en datos reales recogidos en una de las industrias queseras del cantón Guano, provincia de Chimborazo, usando muestreo puntual sobre el depósito de aguas residuales. El prototipo está conformado de un tanque homogeneizador, un tanque aireador y un tanque sedimentador. La evaluación del prototipo inició empleando varios tiempos de retención hidráulica en 12, 24, 48 y 72 horas y recirculación de lodos. Como resultado se obtuvo una reducción de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de 21600 mg/L hasta llegar a un valor de 59 mg/L, con una eficiencia del 99.7%. Adicionalmente se empleó un tiempo menor de depuración en comparación con los resultados que se presentan en trabajos relacionados.

Palabras clave: Aguas residuales, planta de tratamiento, lodos activados, retención hidráulica.

Abstract: *The most important environmental problem in the cheese industry is the generation of wastewater, due to its volume and the associated pollutant load generated. In order to minimize the environmental impact, it is necessary to purify water coming from the production of cheese. This paper presents the design, construction and start-up of a prototype wastewater treatment plant using the activated sludge method. The design consisted of three stages: characterization of the wastewater treatment plant, study of activated sludge and study of the effect of the organic load on the removal of organic matter. It is a quasi-experimental study based on real data collected from one of the cheese industries in canton Guano, province of Chimborazo, using spot sampling on the wastewater deposit. The prototype is comprised of a homogenizer tank, an aerator tank, and a sedimentation tank. The evaluation of the prototype used different hydraulic retention times of 12, 24, 48 and 72 hours and recirculation of sludge. As a result, a reduction of the Biological Oxygen Demand (BOD) of 21600 mg/L was achieved, reaching a final value of 59 mg/L, with an efficiency of 99.7%. Additionally, a shorter purification time was obtained compared to results presented in related studies.*

Keywords: *Waste water, treatment plant, activated sludge, hydraulic retention.*

1 Introduction

Las aguas residuales provenientes de la industria láctea están constituidas en su mayoría por diferentes diluciones de leche entera, leche tratada, mantequilla y suero de derrames obligados o accidentales (Nemerow & Dasgupta, 1998).

El proceso de lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. Su desarrollo inició en 1913 y 1914, con los estudios de Edward Arden y William T. Lockett, quienes probaron que una alta concentración de bacterias aeróbicas redujo el tiempo de tratamiento de aguas residuales (Arora & Reichenberger, 2015).

Las bacterias constituyen el grupo más importante de microorganismos, en el proceso de lodos activados, por su función en la estabilización del material orgánico y en la formación del *floc* de lodo activo (Romero, 2004).

El tratamiento por lodos activados consiste principalmente de la aireación a la que se somete cualquier agua residual, durante un periodo de tiempo, con ello se logra reducir el contenido de materia orgánica (Ramalho, 1983). Según Varila y Díaz (2008), el papel del oxígeno es primordial en el tratamiento biológico de aguas residuales. La ausencia o presencia de oxígeno condiciona el tipo de microorganismos que posibilitan la degradación y eliminación de materia orgánica.

Los lodos activados como tratamientos biológicos para la depuración de aguas residuales han probado ser eficientes ya que la acción de los microorganismos presentes en el agua es la de metabolizar la materia orgánica hasta transformarla en materia suspendida en tejido celular nuevo y diferentes gases. Este proceso también es conocido como transferencia de contaminación ya que los contaminantes del agua son transferidos a los lodos formados en los tanques aireadores (Tchobanoglous *et al.* 2003).

Los lodos activados de las industrias dedicadas a la elaboración de quesos, tienen alta concentración de materia orgánica soluble, esto presenta problemas en la sedimentación de los lodos afectando la eficiencia del tratamiento.

Este proceso se consigue mediante el uso de aireadores mecánicos que pueden ser colocados ya sea en el techo de los tanques o en la superficie del mismo. Mediante cálculos se hace transcurrir en un periodo determinado de tiempo la mezcla líquida de aguas residuales con *flocs* biológicos en suspensión, es separada en un sedimentador y parte de las células sedimentadas se recirculan con el fin de mantener en el reactor la concentración de

células deseadas, mientras que la otra parte se expulsa del sistema y se descarga el efluente clarificado (Romero, 2004).

Se eligió un sistema de aireación por ser un tratamiento biológico, a diferencia de un sistema de coagulación y floculación que es de tipo químico, debido a que los lodos resultantes de un tratamiento químico son contaminantes para el ambiente, por el contenido de sulfato de aluminio y sulfato ferroso. En tanto que los lodos activos que se producen en un tratamiento biológico son deshidratados y pueden ser dispuestos como desechos sólidos e incluso ser utilizados como abono orgánico.

La presente investigación permite analizar las variables necesarias a tomar en cuenta para el diseño de una planta de tratamiento de grandes dimensiones, y si es conveniente construir modelos a escala de laboratorio. Esto con la finalidad de obtener parámetros reales y no teóricos, tanto para el diseño como para la operación de los sistemas de tratamiento a escala real, ya que generalmente las plantas presentan problemas de operación y funcionamiento como consecuencia de diseños inapropiados basados en parámetros que no corresponden a las características físico-químicas del efluente, así como a las condiciones ambientales del lugar en donde se genera el mismo.

Los parámetros encontrados en los prototipos son utilizados para el diseño de sistemas de tratamiento a escala real, ya que a través de estos se puede evaluar la velocidad a la cual los microorganismos consumen la materia orgánica presente en el agua cruda, así como cada uno de los parámetros necesarios para controlar el correcto funcionamiento de la planta, con el objetivo de producir un efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido conveniente para su disposición o reutilización.

El objetivo de la investigación fue diseñar, construir y probar el funcionamiento de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activos para depurar aguas provenientes de la fabricación de quesos, logrando minimizar el impacto ambiental de estas aguas residuales y cumplir con los parámetros permisibles.

2 Metodología

Para obtener la muestra de agua residual se empleó el método de muestreo puntual durante ocho días tomando directamente de la descarga de la fábrica, donde se obtuvo una muestra de 4 litros que fue analizada en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (Unach).

Los efluentes generados por la fábrica son una mezcla de suero de leche y agua que es utilizada en el lavado de los tanques y son descargados al finalizar la jornada laboral.

1.1 Caracterización del agua residual, previo diseño y construcción del prototipo

La caracterización de las aguas residuales de la industria quesera se realizó en el Laboratorio de Servicios Ambientales (Unach y en el Laboratorio de Aguas CESTTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo) (anexo 1). Los niveles de contaminación y parámetros físico-químicos determinados incluyeron el DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), aceites y grasas, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, sólidos volátiles, sólidos totales, pH, temperatura y OD (oxígeno disuelto). Estos parámetros fueron relacionados a los límites permisibles establecidos por el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente) del Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Se utilizaron las siguientes técnicas para determinar los parámetros físicos-químicos

presentados en la tabla 1. Se tomó una muestra de 30 litros de agua residual y se puso en una cuba de aireación donde permaneció tratándose por 12 horas. Al finalizar el tratamiento, el agua fue nuevamente caracterizada para comprobar el tratamiento biológico por medio de aireación. Los cálculos del diseño de la planta de tratamiento se realizaron con los datos presentados en la tabla 2, los que sirvieron para diseñar un tanque homogeneizador para tener un caudal constante y facilitar el diseño de la planta de tratamiento.

- Valor máximo (3-4) pm = 134 gal
- Valor mínimo (5-6) pm = 0.06gal
- Volumen de almacenamiento necesario: 134-0.06 = 133.94 gal

$$v = 133.94 \text{ gal} * (1 \text{ m}^3) / (264.17 \text{ gal}) = 0.50 \text{ m}^3$$

$$a = h$$

$$h = 0.50 \text{ m}$$

$$l * a * h = 0.50 \text{ m}$$

$$l * 2h = 0.50 \text{ m}$$

$$l = 0.50 \text{ m} / (2(0.50))$$

$$l = 0.50 \text{ m}$$

$$l = h = a = 0.50$$

donde, l es la longitud; h altura y a ancho del tanque.

Tabla 1: Técnicas, metodologías de ensayo y parámetros físico-químicos.

Parámetro	Unidades	Norma	Método
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	STANDARD METHODS 5220-C	Digestión de Reactor (Hach)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	STANDARD METHODS 5210-B	Cabeza Gasométrica
Aceites y grasas	mg/L	STANDARD METHODS 5220-C	Gravimétrico
Sólidos Suspendidos	mg/L	STANDARD M.	Gravimétrico
Sólidos Sedimentables	ml/L	STANDARD METHODS 2540-C	Volumétrico
Sólidos Volátiles	mg/L	STANDARD METHODS 2540-B	Gravimétrico
Sólidos Totales	mg/L	STANDARD METHODS 2540-A	Gravimétrico
pH-Temperatura	Ud - °C	-----	Potenciométrico
Oxígeno disuelto	mg/L	-----	Potenciométrico

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Rice *et al.*, 2017).

Tabla 2: Caudales para el diseño del tanque homogeneizador.

Intervalo de tiempo en horas	Caudal Promedio de ocho días. Horario (gal/min)	Volumen efluente horario (gal)	Volumen horario acumulado (gal)	Volumen acumulado al final del periodo de tiempo (gal)
7-8	7,22	433,2	37,86	37,86
8-9	7.30	438.0	42.66	80.52
9-10	6,79	407.4	12,06	92.58
10-11	6.56	393.6	-1.74	90.84
11-12	5,84	350.4	-44.84	45.90
12-1	5.97	358.2	-37.14	8.76
1-2	6,46	387,6	-7.74	1.02
2-3	6.97	418.2	22.86	23.88
3-4	8.03	481.8	86.46	110.34
4-5	7.05	423.0	27.66	134
5-6	4.29	257.4	-137.94	0.06
Valores promedio	6.58	395.34		

3 Resultados y Discusión

3.1 Pruebas de Tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizaron en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Unach:

Tabla 3: Resultados de las pruebas de tratabilidad.

PARÁMETRO	AGUA CRUDA (mg/L)	AGUA TRATADA, 12 HORAS CON AIREACIÓN (mg/L)
DBO	41330	21600
DQO	60600	25040
Solidos Totales	37000	59800
Solidos Suspendidos	3000	3400
Solidos Sedimentables	259	4142

3.2 Ensamble de los Tanques

De los cálculos realizados en el diseño (anexo 2) se obtuvieron los siguientes resultados: el tanque homogeneizador tiene 0.50 m de largo por 0.50 m de ancho y 0.50 m de altura (figura 1). El caudal

que alimenta al biorreactor es de 0.094 L/día con una biomasa de 0.0011 Kg; el volumen del reactor es de 0.000035 m³, el tiempo de retención es de 3.6 días produciendo 253,4 Kg/día de lodos y 362,11 Kg/día de sedimentos secos. El caudal de los lodos es de 6.79 L/min, los cuales tendrán una recirculación de 0.0000047 L/min.

La demanda de oxígeno es de 208.7 Kg/día con un caudal de aire real de 9371663.7 L/día. El sistema trabaja con una eficiencia del 77.2%. El aire de alimentación al sistema se genera con un compresor de 0.31 hp.

En el prototipo, el DQO bajó hasta 410 mg/L en un tiempo de solo 72 horas con recirculación de lodos, ahorrándose medio día de retención hidráulica cumpliendo así con el primer parámetro permisible establecido por el TULSMA para descargas en alcantarillas (figura 2). Se obtuvo una reducción también en la Demanda Bioquímica de Oxígeno de 21600 a 59 mg/L (figura 3). La reducción de sólidos totales tratados con 72 horas de aireación fue desde 3700 a 730 mg/L (figura 4). Igualmente se redujeron los sólidos suspendidos (132 mg/L, figura 5) y sólidos sedimentables (0.1 mg/L, figura 6), obedeciendo con los parámetros aceptables.

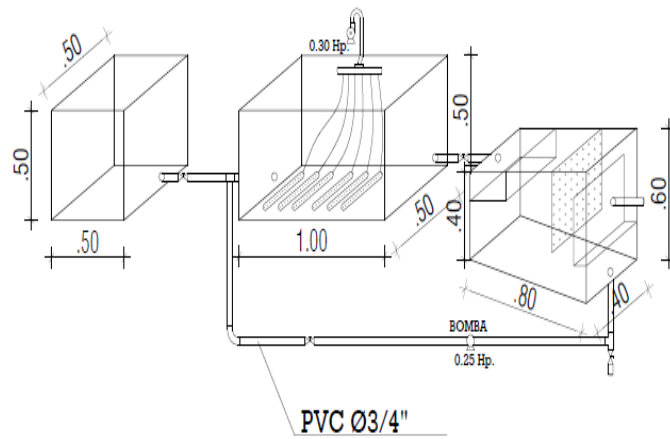


Figura 1: Dimensiones del Prototipo.

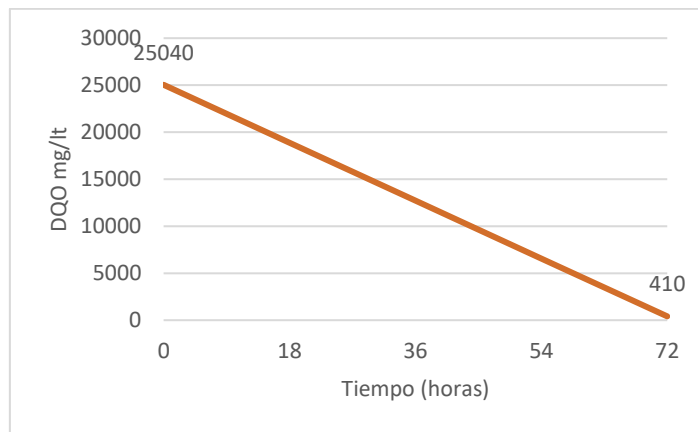


Figura 2: Reducción del DQO en el tratamiento del agua cruda en el prototipo.

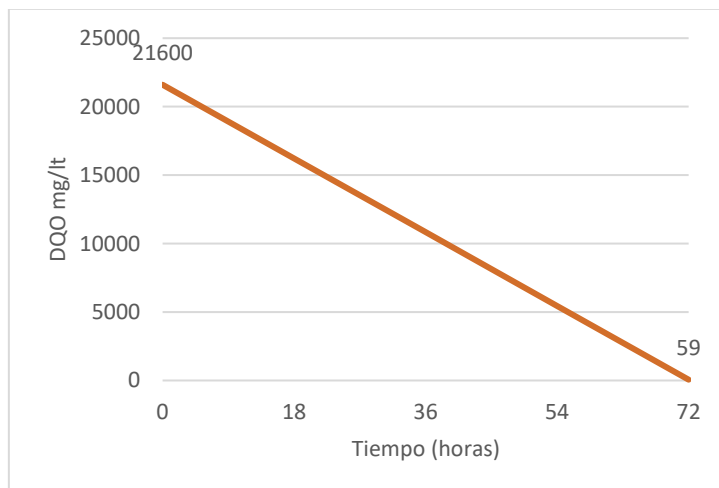


Figura 3: Reducción del DBO de agua cruda en el prototipo.

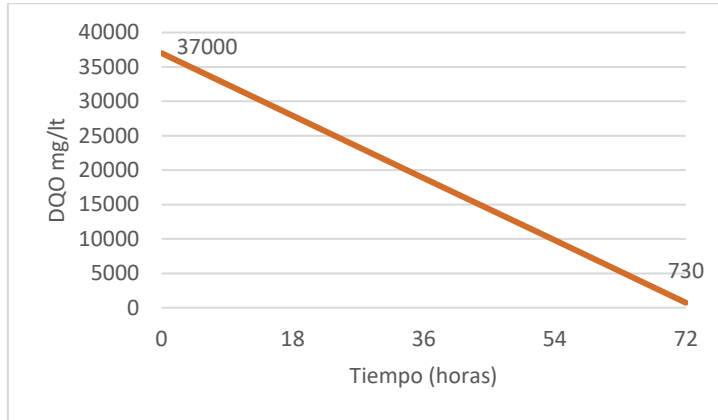


Figura 4: Reducción de Sólidos Totales en el tratamiento del agua cruda en el prototipo.

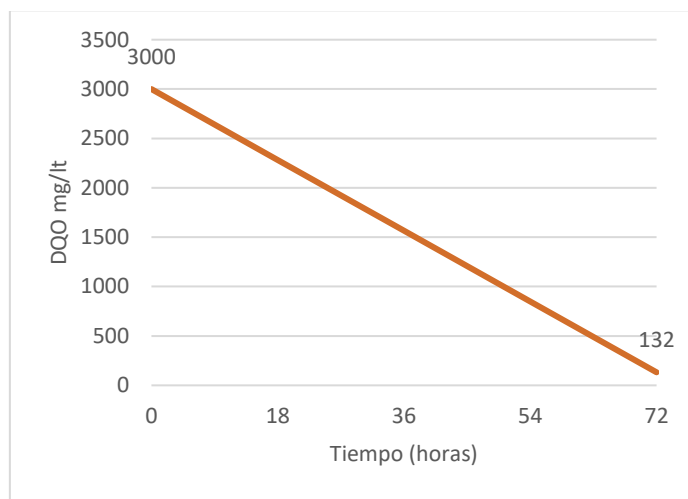


Figura 5: Reducción de Sólidos Suspensos en el tratamiento del agua cruda en el prototipo.

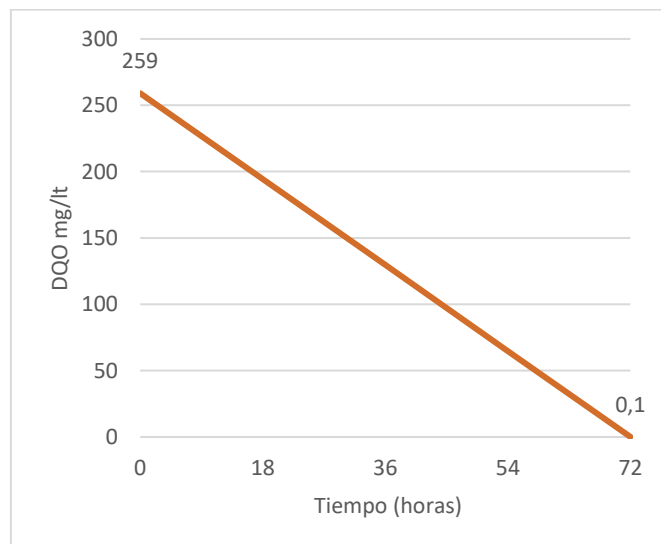


Figura 6: Reducción de Sólidos Sedimentables en el tratamiento del agua cruda en el prototipo.

Tabla 4: Resultados de los cálculos de diseño del tanque homogeneizador.

Característica	Valor
volumen (m ³)	0.125
largo (cm)	50
ancho (cm)	50
altura (cm)	50

En la tabla 4, se muestran las medidas generales que tiene el tanque homogeneizador para un volumen de 0.125 m³ de agua residual. En la caracterización inicial de las descargas de la industria quesera se logró determinar la carga contaminante presente en dichas aguas, obteniendo los siguientes valores de DQO (25040 mg/L) y DBO (21600 mg/L). Al observar un valor alto de DBO se sabe que la carga orgánica presente en el agua es alta y esta al ser depositada en ríos o terrenos sin un tratamiento previo produce malos olores por su proceso de putrefacción o descomposición.

Álvaro Arango Ruíz (2007), manifiesta que estas aguas concentran la mayor cantidad de contaminantes originados en sus procesos y dicha agua tiene gran cantidad de materia orgánica, especialmente grasas y aceite; además de sólidos suspendidos y valores de pH que salen de los rangos aceptables para vertimientos. Se menciona también que la remoción del DBO fue del orden del 94% así como grasas y aceites del 99% en un tiempo de 15 minutos.

En este estudio, durante todo el tratamiento, se logró mantener los valores de pH, temperatura y OD adecuados para un óptimo desarrollo de los microorganismos, mediante el estricto control de los mismos.

En la tabla 5 se muestra los resultados del prototipo del tanque aireador los cuales se calcularon para un caudal de 0.094 L/día, con un tiempo de retención de 3.6 días logrando una eficiencia de remoción de DBO del 77%, con potencia del compresor para la aireación de 0.31 hp.

En la tabla 6 se muestra el diseño del tanque sedimentador, para un volumen de 0.16 m³ obteniendo un tanque con 80 cm de largo por 40 cm de ancho, altura de entrada de 40 cm y una salida de 60 cm. En la tabla 7 se compara los parámetros obtenidos con el prototipo vs los parámetros permisibles establecidos por TULSMA, donde se comprueba la eficacia del sistema.

Tabla 5: Resultados de los cálculos de diseño del tanque aireador del prototipo.

Característica	Valor	Unidad
Caudal	0,094	L/día
Biomasa en el reactor	0.0011	Ks/ ssv
Volumen del reactor	0.25	m ³
Tiempo medio de retención hidráulica	3.6	día
Caudal de recirculación	0.0000047	L/min
Eficiencia en remoción de DBO total	77	%
Presión hidrostática del agua	0.42	psi
Presión Absoluta	15	psi
Potencia del compresor	0.31	hp

Tabla 6. Resultados de los cálculos de diseño del tanque sedimentador.

Característica	Valor
Volumen (m ³)	0.16
Largo (cm)	80
Ancho (cm)	40
Altura 1 (cm)	40
Altura 2 (cm)	60

Tabla 7: Cuadro comparativo del agua tratada (Prototipo) con los parámetros permisibles establecidos por el TULSMA.

Parámetro	Prototipo	Tulsma
DBO	59	250
DQO	410	500
Sólidos Totales (mg/L)	730	1600
Sólidos Suspendidos (mg/L)	132	220
Sólidos Sedimentables (mg/L)	0,1	20
Grasas y Aceites (mg/L)	8,10	100

4 Conclusiones

Con los datos obtenidos en las pruebas de tratabilidad se procedió a realizar el diseño de una planta de tratamiento a escala real, para posteriormente por medio de un reemplazo de datos en las ecuaciones iniciales calcular los valores óptimos para el diseño y construcción del prototipo.

Una vez construido y probado el prototipo se evidenció la reducción de carga contaminante con resultados de DQO desde 25040 mg/L hasta llegar a un valor de 410 mg/L, mientras que DBO desde 21600 mg/L hasta llegar a un valor de 59 mg/L. En los sólidos totales se obtuvieron valores finales de

730 mg/L, sólidos suspendidos de 132 mg/L, sólidos sedimentables de 0,1 ml/L, grasas y aceites de 8,10 ml/L, en los diferentes tiempos de retención hidráulica, así cumpliendo con los parámetros permisibles establecidos por el TULSMA y demostrando la eficiencia de nuestro sistema.

Con la puesta en marcha del prototipo construido se pudieron obtener los parámetros de diseño, los cuales pueden ser llevados a una escala real para el tratamiento dentro de la industria quesera, siendo las dimensiones de cada tanque las siguientes: Tanque homogeneizador (0,50 m x 0,50 m x 0,50 m), Tanque aireador (1,0 m x 0,50 m x 0,50 m), Tanque sedimentador (0,80 m x 0,40 m x 0,40 m- en la altura 1; x 0,60 m-altura 2).

Referencias

- Arango, A. (2007). *Tratamiento de aguas residuales de industria láctea. Producción + Limpia*, 2(2):23-30.
- Arora, M., & Reichenberger, J. (2015). *Turning Sewage into Reusable Water*. Bloomington: Archway Publishing.
- Nemerow, N.L. & Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Ramalho, R. S. (1983). *Introduction to Wastewater Treatment Processes*, Second Edition. Barcelona: London Academic Press.
- Rice, E., Baird, R. & Eaton, A. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, D.C.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de Agua Residuales, Teoría y Principios de Diseño*, 3ra ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Tchobanoglous, G. Burton, F. & Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. New York: Mac Graw Hill.
- Varila, J.& Díaz, F. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología*, 7(2):21-28.

Anexos

Anexo 1. Análisis de laboratorio de las aguas crudas procedentes de la quesera Isabel

LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

N° SE: 045 - 14

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Luis Felipe Guerra **INFORME N°:** 045 - 14
EMPRESA: Tesis UNACH **N° SE:** 045 - 14
DIRECCIÓN: Cda. Pucara Mz 3 casa 14. **FECHA DE RECEPCIÓN:** 04 - 07 - 14
TELÉFONO: 2946735 **FECHA DE INFORME:** 14 - 07 - 14

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 085-14 Agua de Quesera Agua
 El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS
 MA - 085-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	UJK(+)	FECHA DE ANÁLISIS
* Sólidos Totales	mg/l	PIE-ISA-04	37000	±: 6 %	04 - 07 - 14
* Sólidos Suspendedos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	3000	N/A	04 - 07 - 14
* Sólidos Sedimentables	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - F	259	N/A	04 - 07 - 14
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	135	N/A	04 - 07 - 14
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	93	N/A	04 - 07 - 14
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	41330	N/A	04 - 07 - 14
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	60600	N/A	04 - 07 - 14

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados de STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:
 Dr. Juan Carlos Lara R.
 Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

Juan Carlos Lara R.
 Dr. Juan Carlos Lara R.
 Técnico L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
 - Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1
 L.S.A. Campus Máster Edición Riera Km 1 1/2 vía a Guano Briqueo Administrativo. FMC2101-01

$$V = 0.35 L$$

$$V = 0.00035 m^3$$

TIEMPO MEDIO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

$$T = \frac{V}{Q}$$

$$T = \frac{0.00035 m^3}{0.00009 \frac{m^3}{día}}$$

$$T = 3.6 días$$

PRODUCCIÓN DE LODO

$$Px = \frac{(0.8 mg ssv/mgDBO)(39909 L/día)(21600 - 4927.5)mg/L}{1 + (0.05^{d-1})(2 días)}$$

$$Px = 253479162.9 mg ssv/día$$

$$Px = 253.4 Kg ssv/día$$

PRODUCCION DE SOLIDOS TOTALES DE DESECHO

LODOS SECOS

$$= \frac{Px}{Porción volátil de sólidos (70\% asumido al inicio)}$$

$$LODOS SECOS = \frac{253.4 Kg ssv/día}{0.7}$$

$$LODOS SECOS = 362.11 Kg/día$$

CAUDAL DE LODOS

$$QW = \frac{Lodo Seco \cdot (10^3)}{Concentración de sólidos totales en lodo sedimentado (datos obtenidos en el lab)}$$

$$QW = \frac{362.11 Kg ssv/día (10^3)}{37000 mg/L}$$

$$QW = 9.78 m^3/día$$

$$QW = 9786.7 L/día$$

$$QW = 6.79 L/min$$

CAUDAL DE RECIRCULACIÓN DE LODOS

$$QR = \frac{Q \cdot X}{Xr - X}$$

$$QR = \frac{0,000062 L/min (3400 mg/L)}{(0,8 - 59800) - 3400 mg/L}$$

$$QR = 0,0000047 L/min$$

RELACIÓN ALIMENTO MICROORGANISMO

$$\frac{A}{M} = \frac{0,00009 \frac{m^3}{día} \cdot 21600 mg/L}{0,25 m^3 \cdot 3000 mg/L}$$

$$\frac{A}{M} = 0,00259 d^{-1}$$

DEMANDA DE OXÍGENO

$$DO = 1,5 Q (SO - Se) - 1,42Xr \cdot Qw$$

$$DO = 1,5(24,24 L/min)(21600 - 4927,5)mg/L - 1,42(0,8 \cdot 59800)(6,79 L/min)$$

$$DO = 144948,4 mg/min$$

$$DO = 208,7 Kg/día$$

CAUDAL DE AIRE EN CONDICIONES NORMALES

$$Q_{AIRE} = \frac{DO}{(0,232)(1,20)}$$

$$Q_{AIRE} = \frac{208,7 Kg día}{(0,232)(1,20)}$$

$$Q_{AIRE} = 749,7 m^3/día$$

Anexo 2. Cálculos para el diseño del prototipo.

CÁLCULO DEL CAUDAL QUE ALIMENTARÁ AL BIOREACTOR

$$XV = V \cdot X$$

$$XV = 0.25 m^3 \cdot 3400000 \cdot mg/m^3$$

$$XV = 850000 mg/m^3$$

$$XV = \frac{Qc \cdot Y \cdot Q(So - Se)}{1 + Kd \cdot Qc}$$

$$Q = \frac{XV(1 + Kd) \cdot Qc}{Qc \cdot Y(So - Se)}$$

$$Q = \frac{850 mg/l \cdot (1 + 0.05d^{-1}) \cdot (4 días)}{(4 días) \cdot (0,6 mg ssv) \cdot (21600 - 4927,5)mg/L}$$

$$Q = 0.094 L/día$$

BIOMASA EN EL REACTOR

$$XV = \frac{(2 días)(0,8 mg ssv/mgDBO) \cdot (0,09 L/día)(21600 - 4927,5)mg/L}{1 + (0,05^{d-1})(2 días)}$$

$$XV = 1194.06 mg ssv$$

$$XV = 0.0011 Kg ssv$$

VOLUMEN DEL REACTOR

$$V = \frac{XV}{X}$$

$$V = \frac{1194.06 mg ssv}{3400 mg/L}$$

CAUDAL DE AIRE REAL

$$Q_{AIRE REAL} = \frac{Q_{AIRE}}{0,08}$$

$$Q_{AIRE REAL} = \frac{749,7 \text{ m}^3/\text{dia}}{0,08}$$

$$Q_{AIRE REAL} = 9371,6 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{AIRE REAL} = 9371663,7 \text{ L}/\text{dia}$$

VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO APLICADA AL TANQUE DE AIREACIÓN

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{Q_{AIRE REAL} \cdot (1000)}{So \cdot Q}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{9371663,7 \text{ L}/\text{dia} \cdot (1000)}{(21600)(34909) \text{ L}/\text{dia}}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = 12,4 \text{ m}^3 \text{ aire}/\text{Kg DBO}$$

VOLUMEN DE AIRE REQUERIDO POR UNIDAD DE DBO REMOVIDA

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{Q_{AIRE REAL} \cdot (1000)}{(So - Se) \cdot Q}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = \frac{9371663,7 \text{ L}/\text{dia} \cdot (1000)}{(16672,5) \cdot (34909) \text{ L}/\text{dia}}$$

$$\frac{Q_{AIRE}}{DBO} = 16,10 \text{ m}^3 \text{ AIRE}/\text{Kg DBO}$$

EFICIENCIA EN REMOCION DE DBO TOTAL

$$E = \frac{(So - Se)}{So}$$

$$E = \frac{(21660 - 4927,5)}{21660}$$

$$E = 0,77 \quad 77,2\%$$

CÁLCULOS DE LA POTENCIA DEL COMPRESOR

$$DBO_{AFLUENTE} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \cdot Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$$

$$21660 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ Kg}}{1000000 \text{ mg}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \cdot 34,9 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$= 753,84 \text{ Kg DBO}/\text{dia}$$

$$753,84 \frac{\text{DBO}}{\text{dia}} \cdot 12,4 \text{ m}^3 \text{ AIRE}/\text{Kg DBO} \cdot \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$= 6,49 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$= 229,1 \text{ ft}^3/\text{min}$$

PRESIÓN HIDROSTÁTICA DEL AGUA

$$P_{H2O} = d \cdot g \cdot h$$

$$P_{H2O} = 998,23 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \text{ m}/\text{s}^2 \cdot 0,3 \text{ m}$$

$$P_{H2O} = 2934 \text{ Pascales}$$

$$P_{H2O} = 0,42 \text{ psi}$$

PRESIÓN ABSOLUTA

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{H2O}$$

$$P_{abs} = 14,69 \text{ psi} + 0,42 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 15,1 \text{ psi}$$

POTENCIA DEL COMPRESOR

$$P = \frac{0,22Q}{\eta} \left\{ \left(\frac{P_{abs}}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right\}$$

$$P = \frac{0,22 \cdot (229,1 \text{ ft}^3/\text{min})}{0,8} \left\{ \left(\frac{15,1 \text{ psi}}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right\}$$

$$P = 0,31 \text{ hp}$$

CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL TANQUE SEDIMENTADOR

Tomamos el 65% del tanque aireador.

Asumimos valores: $l = 0,80 \text{ m}$ $a = 0,40 \text{ m}$ $h = 0,40 \text{ m}$ $h_1 = z$

$$VT = V1 + \frac{V2}{2}$$

$$VT = \frac{l \cdot a \cdot h}{1} + \frac{l \cdot a \cdot h}{2}$$

$$VT = \frac{2(l \cdot a \cdot h) + l \cdot a \cdot h_1}{2}$$

$$2VT = 2 \cdot l \cdot a \cdot h + l \cdot a \cdot h_1$$

$$2VT = l \cdot a (2h + h_1)$$

$$2h + h_1 = \frac{2VT}{l \cdot a}$$

$$h_1 = \frac{2VT}{l \cdot a} - 2h$$

$$h_1 = \frac{2(16 \text{ m}^3)}{0,80 \text{ m} \cdot 0,40 \text{ m}} - 2(0,40) \text{ m}$$

$$h_1 = 0,2 \text{ m}$$