



# REVISTA INGENIO

## Control de la formación y desarrollo del *bulking* en una planta de tratamiento de aguas residuales con aireación extendida. Caso de estudio: PTAR, Quitumbe

### Proposal to control the formation and development of bulking in a wastewater treatment plant with extended aeration. Case study: Wastewater treatment plant (WWTP), Quitumbe

Carlos Enríquez | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Oswaldo Molineros | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Sebastián Vaca | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

#### HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 22/06/2021

Aceptación: 09/09/2021

#### PALABRAS CLAVE

Límites permisibles, parámetros de control, aguas residuales, *bulking*.

#### ARTICLE HISTORY

Received: 22/06/2021

Accepted: 09/09/2021

#### KEY WORDS

Permissible limits, control parameters, wastewater, bulking.

#### RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales Quitumbe, de la ciudad de Quito, presentó *bulking* en su sistema de lodos activados mediante aireación extendida, lo que formó espumas sobrenadantes en el biorreactor, por lo que para solucionarlo se analizaron estadísticamente datos históricos y experimentales de calidad del agua y parámetros operacionales en contraste con límites permisibles para el «vertido en cuerpos de agua» de las normativas, Acuerdo Ministerial AM097-A y Ordenanza Metropolitana 404, con el fin de evaluar remoción de contaminantes, calculándose, además, un modelo correspondiente a la revisión del diseño existente, para comparar condiciones operativas actuales y calculadas. Finalmente, se concluyó que el origen del *bulking* es operacional, se determinaron dos propuestas: la primera consiste en la adición de una sustancia estabilizadora (hidróxido de calcio) en el reactor biológico, y la segunda, basada en la operación eficiente, consistente en la programación de la purga de lodos en exceso.

#### ABSTRACT

Quitumbe's Wastewater Treatment Plant, in the city of Quito presented bulking in its prolonged aeration through activated sludges process, which developed foaming on the biological reactors' surface. Therefore, to solve it, the historical and experimental data from the quality of water and operation parameters have been statistically analyzed and contrasted with the permissible limits for «discharges into water streams» regulations issued by; The Ministerial Agreement AM097-A and The Metropolitan Ordinance 404 with the aim to evaluate contaminants removal, also a model focused on the review of the existing design was calculated in order to compare the current operative conditions against the calculated ones. Lastly, concluding that the origin of the sludge bulking is purely operational, two proposals were made: The first entails the addition of a stabilizer substance (calcium hydroxide) into the biological reactor; and the second one, based on the efficient operation, consists in programming the purge of the excess sludges.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Distrito Metropolitano de Quito, las aguas residuales de los barrios: Manuelita Sáenz, San Alfonso, Nuevos Horizontes, Los Cóndores, Arrayanes, San Francisco del Sur, Martha Bucaram de Roldós, La Ecuatoriana, Las Orquídeas, La Concordia y Ninallacta, son conducidas hasta la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Quitumbe, ubicada al sur de la ciudad, entre las avenidas Guayanay Ñan y Rumichaca Ñan; que cuenta con 1,5 hectáreas y capacidad de tratamiento de 108 L/s.

Aquí el agua residual pasa del cárcamo de bombeo al pretratamiento, que consta de los procesos de cribado, desarenado y desengrasado para posteriormente ser

enviada al tratamiento secundario de lodos activados mediante aireación extendida, el cual se basa en la depuración del agua con un cultivo biológico conformado por una gran variedad de bacterias las cuales se alimentan de sustancias presentes en el agua contaminada para poder remover contaminantes a través de sus procesos metabólicos.

Entre la variedad de bacterias presentes que incluyen los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Gordonia*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Mycobacterium*, y las dos bacterias nitrificantes más comunes, los *Nitrosomas* y las *Nitrobacter* [1] se encuentran las de tipo filamentosas, que al proliferar de forma excesiva generan el problema del *bulking*, que provoca dificultades como: hinchamiento de lodos y aparición de espumas en la superficie de los reactores biológicos que pueden propagarse a los procesos posteriores y, por ende, afectar la calidad del agua tratada (ver Figura 1); además de generar una deficiente sedimentabilidad de los lodos destinados a la deshidratación [2].

Dicha problemática tiene su origen bajo ciertas condiciones que pueden ser: anormales concentraciones de oxígeno disuelto, valores de pH inferiores a 7,5 [3] así como una baja relación alimento/microorganismo (F/M) ( $0,05-0,15$  [ $\text{kg DBO}/\text{kgSSV}_{\text{LM}}^* \text{día}$ ]) o tiempos de retención celular elevados superiores al rango normal de 20-30 días [4].

De manera que para enfrentar el problema de *bulking* y que la PTAR continúe trabajando con normalidad, la presente investigación planteó una caracterización fisicoquímica del influente y efluente de la planta para evaluar el cumplimiento de remoción de contaminantes, de igual manera se caracterizó y analizó el diseño junto al desempeño del biorreactor (operación unitaria donde se identificó el problema).

Consecuentemente, los datos recolectados fueron aprovechados para lograr establecer las causas para la formación y proliferación del *bulking*, así como sus efectos adversos en la PTAR. Y, por ende, se determinaron procedimientos de control operativo y de mantenimiento para el crecimiento de las bacterias filamentosas, adecuados desde el punto de vista técnico y económico.

## 2. METODOLOGÍA

La planta de tratamiento de aguas residuales de Quitumbe posee un tren de tratamiento que consta de: bombeo inicial, con un cárcamo y filtro de sólidos gruesos; pretratamiento, de cribado y desarenado-desengrasado; tratamiento biológico, compuesto por dos biorreactores y sedimentadores; y filtración mecánica previa a la desinfección. Se evidenció que había un problema al observarse espumas en ambos biorreactores, mismas que pasaron a las dos unidades de sedimentación (clarificadores) del proceso posterior (ver Figura 2).

En visitas realizadas los días 15 y 18 de junio de 2019, se observó el estado del reactor biológico (ver Figura 3); el cual presentaba espumas en su superficie, normales en el proceso, de no ser por su coloración marrón, espesor

y cobertura superficial mayor al 30%, que teóricamente indican la presencia excesiva de bacterias filamentosas, como puede ser la *Gordonia*, además, sugieren una elevada edad de lodos, por lo que se dedujo un posible evento de espumas relacionado al *bulking* (ver Figura 4).

Por lo que, con base en la información obtenida de la observación, se procedió a realizar la recolección de datos de la planta y análisis de éstos, como se verá en los siguientes puntos.

### 2.1 TOMA DE MUESTRAS

Debido a la gran cantidad de datos históricos entregados por la EPMAPS [6], únicamente se necesitó realizar un muestreo experimental durante una semana: «simple», para análisis microbiológico. Y «compuesto-integral» para los demás parámetros, siendo seleccionados para todos los puntos: DBO, DQO, tensoactivos y sólidos totales. Adicionalmente se obtuvo el índice de coliformes fecales (análisis microbiológico) al ingreso y salida de la PTAR.

Los puntos de muestreo elegidos fueron:

1. Compuerta de agua cruda (influyente de la ptar).
2. Ingreso del biorreactor.
3. Salida del biorreactor.
4. Efluente de la planta.

De esta manera se llevó a cabo un contraste de datos para verificar si la planta estaba cumpliendo con su objetivo de remoción de contaminantes en su efluente respecto al influente. Además, se caracterizó el influente y efluente del proceso unitario donde se evidenció el problema (reactor biológico), en cuanto a DBO, DQO, sólidos totales y tensoactivos, ya que los tres primeros son indicadores del metabolismo bacteriano, mientras que el último puede favorecer la generación de espumas.

En cuanto a la frecuencia de muestreo, se tomó al lunes (día de arranque de la planta), miércoles (día de operación normal) y sábado (día no-laboral), los cuales poseen características representativas de caudal y carga contaminante; proveyendo de suficientes datos para el estudio en cuestión.

### 2.2 ANÁLISIS DEL BIORREACTOR

La caracterización del reactor biológico se llevó a cabo para observar su eficiencia en remoción de DBO y DQO, además de observar lo que ocurriría con tensoactivos y sólidos a la entrada y salida del proceso. Los resultados dan información importante sobre la operación del biorreactor y sobre el proceso de bio-floculación y metabolismo bacteriano.

### 2.3 OXÍGENO DISUELTO

La generación de espumas, así como el *bulking* ocasionado por una población excesiva de bacterias filamentosas



Figura 1. Espumas sobrenadantes en los clarificadores.

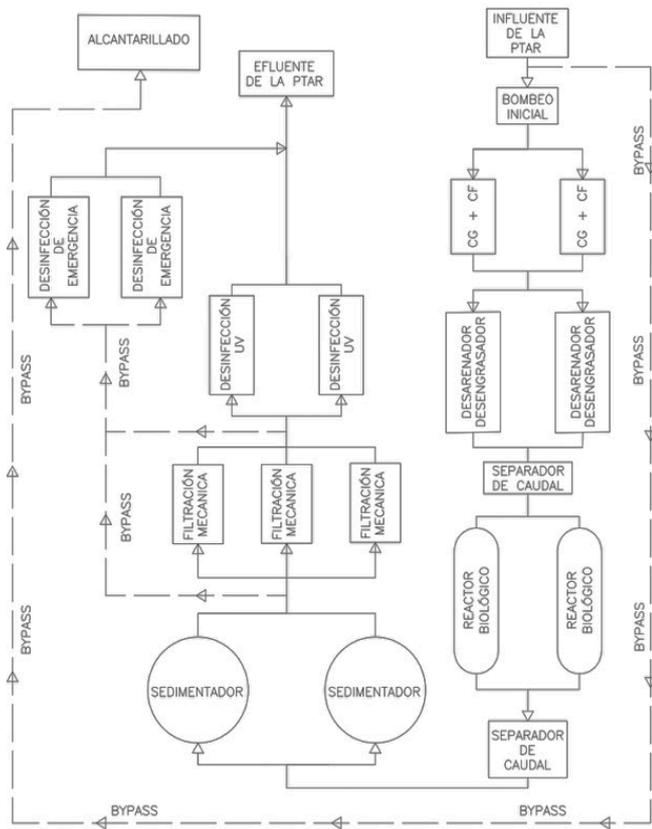


Figura 2. Procesos de tratamiento de la línea de agua [6].



Figura 3. Presencia de espumas en el reactor biológico.

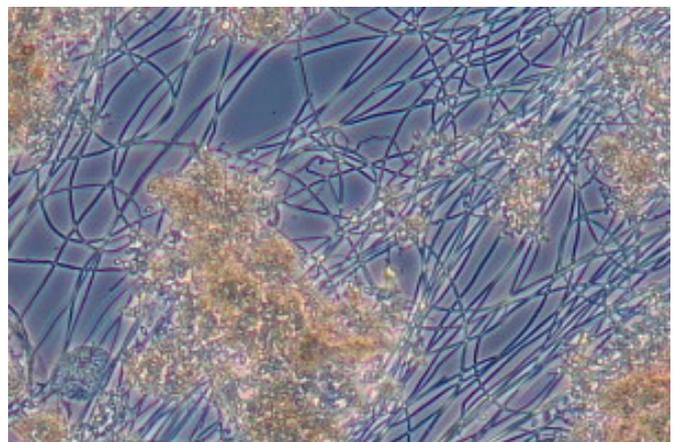


Figura 4. Bacteria filamentosa Gordonia [5].

pueden estar ligados a una sobreaireación del sistema o a una escasez de aire. Por lo que se revisaron gráficas con las concentraciones promedio diarias de meses asociados a la problemática.

Los límites para el análisis son: mínimo de 0,5 mg/L, y el rango normal en sistemas con nitrificación de 1,5-4,0 mg/L [7].

#### 2.4 CURVA DE POTENCIAL REDOX

«La curva de potencial redox (eH, electrodo de hidrógeno), se usa principalmente como un indicador de diagnóstico de la progresión del proceso de nitrificación-desnitrificación y como un parámetro de control» [8]. Esto a través de la medición y conversión de la energía química de oxidación-reducción

Se analizó el 12 de junio de 2019 al ser el día más crítico. Determinar si el pH era bajo y afectaba al cultivo biológico, nos llevó a la mencionada curva de potencial redox, que a través del sistema SCADA es medido cada 5 minutos, y se relaciona con las mediciones de oxígeno disuelto y el pH.

#### 2.5 REVISIÓN DEL DISEÑO

Comprender el funcionamiento del reactor biológico requería poder cuantificar de algún modo la diferencia entre el comportamiento que se esperaba para el reactor en las condiciones operativas para ese entonces y las que realmente se estaban dando para que el problema haya tenido lugar. Por lo que se calculó un modelo en función de parámetros según el tipo de sistema de tratamiento, información histórica del reactor biológico y observaciones del manual de operaciones.

El análisis se basó principalmente en el dimensionamiento del proceso unitario y la edad de lodos, calculados para datos de caudal y carga contaminante de la planta y ajustado dentro de los rangos normales para un proceso de lodos activados por aireación extendida.

Volumen del reactor biológico:

$$V = \frac{DBO_5 * Q}{SSV_{LM} * C_m} \quad (1)$$

Donde:

v = volumen del reactor [m<sup>3</sup>]

DBO<sub>5</sub> = concentración de DBO en el influente [kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>]

Q = caudal a tratar [m<sup>3</sup>/día]

SSV<sub>LM</sub> = concentración de sólidos suspendidos volátiles del licor de mezcla [kg ssv<sub>LM</sub>/m<sup>3</sup>]

cm = carga másica [kg DBO<sub>5</sub>/kg ssv<sub>LM</sub> \* día]

Edad de lodos:

$$\theta_c = \frac{V * SSV_{LM}}{[(Q_{purga} * SSV_{purga}) + (Q_{efluente} * S_{efluente})]} \quad (2)$$

Donde:

θ<sub>c</sub> = edad de lodos [días]

v = volumen del reactor [m<sup>3</sup>]

SSV<sub>LM</sub> = concentración de sólidos suspendidos volátiles del licor de mezcla [kg ssv<sub>LM</sub>/m<sup>3</sup>]

Q<sub>purga</sub> = caudal de purga [m<sup>3</sup>/hora]

SSV<sub>purga</sub> = concentración de ssv en la purga de lodo [kg/m<sup>3</sup>]

Q<sub>efluente</sub> = caudal del efluente [m<sup>3</sup>/hora]

SSV<sub>efluente</sub> = concentración de ssv en el efluente [kg/m<sup>3</sup>]

#### 2.6 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL) Y RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS (F/M)

El IVL, es el cociente entre los sólidos suspendidos totales en el reactor biológico (SST<sub>LM</sub>) en mg/L y el dato obtenido de la prueba de sedimentabilidad de los lodos expresado en mL/L en un tiempo de 30 min [9]. Dato que se recoge diariamente en la PTAR.

Índice volumétrico de lodos:

$$IVL = \frac{V_{30}}{SST_{LM}} * 1000 \left( \frac{mL}{g} \right) \quad (3)$$

Donde:

IVL = índice volumétrico de lodos [mL/g]

v<sub>30</sub> = volumen de decantación en 30 minutos [mL/L]

SST<sub>LM</sub> = concentración de SST en el licor mezcla [g/mL]

El llamado factor de carga o relación

$$\frac{\text{alimento}}{\text{microorganismos}} \left( \frac{F}{M} \right)$$

Es el más significativo de los parámetros para medir el nivel de carga del proceso de lodos activados, «esta relación ayuda a mantener un balance adecuado entre la cantidad de nutrientes disponibles y la cantidad de microorganismos en el reactor aerobio» [10]. Los valores típicos de esta relación varían entre 0,05-0,15 para DBO en aireación extendida (ver Tabla 1).

Relación F/M:

$$F / M = \frac{S_o}{\theta * SSV_{LM}} \quad (4)$$

Donde:

F/M = relación F/M [kgDBO/kgSSVLM \* día]

S<sub>o</sub> = concentración de DBO en el afluente [kg/m<sup>3</sup>]

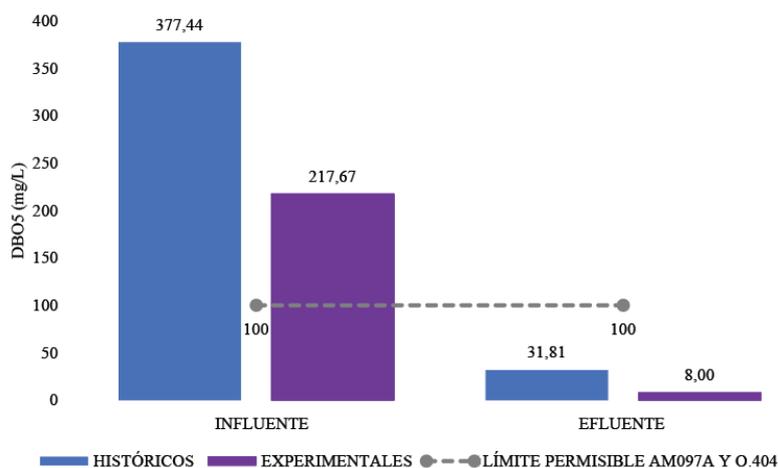
θ = tiempo de retención hidráulica del biorreactor [día]

SSV<sub>LM</sub> = concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación [kg/m<sup>3</sup>]

**Tabla 1. Rangos y valores típicos de IVL**

Sedimentabilidad	Valores para índice volumétrico de lodos	
	Rango	Típico
Óptima	0 - 50	45
Buena	50 - 100	75
Media	100 - 200	150
Pobre	200 - 300	250
Muy pobre	300 - 400	350

Nota: [11].

**Figura 5. Contraste de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 RESULTADOS

##### 3.1.1 Remoción de contaminantes en la PTAR

Para mostrar los resultados obtenidos del muestreo experimental, en los puntos 1 y 4, se trazaron gráficas que en sus barras muestran las concentraciones históricas y experimentales para influente y efluente de la PTAR y rectas que señalan las concentraciones máximas permitidas por el Acuerdo Ministerial 097-A (AM097-A) y la Ordenanza Metropolitana 404 (0,404) a razón del emplazamiento de la PTAR (ver Figura 5).

De esta manera, en cuanto a la DBO, desde el inicio de operación se ha cumplido con el límite de descarga de 100 mg/L de ambas normativas. Mientras que en DQO se cumple con el límite más crítico de 160 mg/L (0,404) y, por ende, con los 200 mg/L que establece el AM097-A (ver Figura 6).

En cuanto a sólidos totales, tanto influente como efluente se encuentran por debajo del límite permisible más crítico (1200 mg/L) cumpliendo satisfactoriamente con la normativa (ver Figura 7).

Según datos históricos, los tensoactivos sobrepasan el valor permisible de 0,5 mg/L ínfimamente, sin embargo, en la experimentación sí se cumple con una remoción del 99,7% (ver Figura 8).

Finalmente, en cuanto a coliformes fecales, experimentalmente se cumplió con lo especificado en ambas normativas de una remoción superior al 99,9% (ver Figura 9).

##### 3.1.2 Análisis del biorreactor

La caracterización del reactor biológico (puntos 2 y 3) reflejó que en cuanto a la DBO y DQO, existe una remoción que es complementada por los clarificadores, para llegar a un 80-95%; los valores de sólidos son normales, debido al proceso de biofloculación y metabolismo bacteriano, y son eliminados mediante sedimentación. Y los tensoactivos removidos ya indican concentraciones menores al límite normativo (ver Tabla 2).

##### 3.1.3 Oxígeno disuelto

El 2019 fue el año en que se atestiguó la presencia de espumas, y junio el mes en que se dio una tendencia al aumento de oxígeno disuelto en el reactor A y gran disminución en

el B, debido a acciones correctivas para solucionar el problema. Se identificaron días críticos, como el 12 de junio, que mostró estados visiblemente opuestos entre ambos biorreactores, y del cual se partió para el análisis de dichas condiciones, pues ambos extremos crean condiciones favorables para que las espumas sobrenaden y las bacterias filamentosas perduren (ver Figura 10).

### 3.1.4 Potencial redox

#### *Reactor biológico A*

Para este reactor se muestra la curva verde de oxígeno disuelto. Las mediciones durante picos de carga contaminante son elevadas, superan los 4 mg/L. Durante la aireación, la materia orgánica se oxida y se produce la nitrificación, creciendo la curva azul debido al aumento del potencial redox, que se estabiliza hasta caer en la zona «de paro», donde el oxígeno decae, y las bacterias llevan a cabo la desnitrificación (ver Figura 11).

En la figura 12 se observa la curva púrpura de pH, a razón de oxidaciones y reducciones, que no varía fuera de 6,3 a 6,15; rango bajo, que «favorecería el crecimiento de bacterias filamentosas por su afinidad a los medios ácidos, y afectaría el de los microorganismos nitrificantes-desnitrificantes debido a su sensibilidad» [10] (ver Figura 12).

En consecuencia, la remoción de contaminantes bajo altas concentraciones de oxígeno no se da de manera más eficiente, sino que propicia la formación de espumas y acidifica el medio.

#### *Reactor biológico B*

En éste, se observa un comportamiento constante, específicamente en la curva de oxígeno disuelto de color verde donde se mantiene una concentración de alrededor de 0,5 mg/L, y sufre ligeros aumentos alrededor de las 12:00 h. y su elevación a las 21:00 horas (ver Figura 13).

Debido a estas bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se obtienen resultados negativos de potencial redox, es decir, que se produjo una reducción en el agua basificándola, pero el pH siguió bajo (ver Figura 14).

Es así como, al mantener oxígeno y pH bajos, se estaría propiciando el desarrollo de bacterias filamentosas más que en sobre aireación; pues permite el desarrollo de sus filamentos, ya que éstas acaparan de mejor forma el oxígeno en bajas concentraciones.

En conclusión, el pH ligeramente bajo, teóricamente propicia el desarrollo desequilibrado de las bacterias filamentosas e inhibe el de las bacterias desnitrificantes.

### 3.1.5 Revisión del diseño

En la tabla 3 se muestran los resultados de los cálculos del modelo y de variaciones mínimas entre las columnas

de «Diseño calculado» y «Diseño existente». Esto permitió realizar la columna de «Condiciones operativas calculadas» y compararla con «Condiciones operativas actuales», ambas calculadas con datos proporcionados para el 2019.

Se concluyó que la purga de lodos para el caudal con que operaba la planta debía ser un 50% mayor, confirmando la observación anterior de una elevada edad de lodos (ver Tabla 3).

### 3.1.6 Índice volumétrico de lodos y relación (IVL) Alimento/Microorganismos (F/M)

A continuación, se presentan los resultados de IVL para el día 12 de junio de 2019, tanto para el reactor A como para el B.

$$IVL_A = 465.79 \text{ mL/g}$$

$$IVL_B = 482.89 \text{ mL/g}$$

Como se puede observar, en ambos reactores, el IVL sobrepasó los 300 mL/g, valor para el cual la sedimentabilidad ya es «muy pobre», es decir, sin duda hubo *bulking* (ver Figura 15).

Y como complemento, en base a datos históricos, se presentan las gráficas del IVL versus F/M para días entre los meses de enero y abril (ver Figura 16).

La relación entre estos es inversa, porque cuando el alimento escasea, las bacterias filamentosas lo identifican y proliferan mayormente para acapararlo, elevando el IVL, y pese a que incrementa, la relación F/M varía dentro del rango ideal para un proceso de aireación extendida. Se acota que el IVL es sensible al caudal de purga que denota nuevamente una relación entre la problemática y la edad de lodos. Estableciéndose como la causa raíz la edad del lodo que, según la operación al 2019, era aproximadamente de 43 días, siendo lo ideal 28, según el modelo calculado.

### 3.2 DISCUSIÓN

En la búsqueda de la causa raíz de la problemática, se llevó a cabo la metodología mencionada, la cual se basó en ir descartando posibles causas comúnmente relacionadas con la aparición del *bulking*, siendo analizado en primera instancia, el cumplimiento global de la PTAR que demostró una eficaz remoción de contaminantes en la correlación de datos experimentales e históricos, acorde a las normativas de referencia, lo cual indicó que el problema no generaba una deficiente remoción de contaminantes del reactor biológico, que fue el objetivo de la experimentación, sino que se focalizaba en los parámetros operativos que regulan este proceso unitario.

A partir de aquí se hizo un neto uso de los datos históricos obtenidos del reactor biológico, proporcionados por la EPMAPS [6], entre los cuales se encuentran: la

Figura 6. Contraste de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

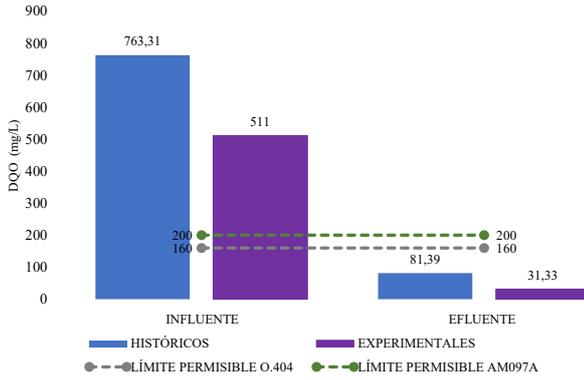


Figura 7. Contraste de remoción sólidos totales

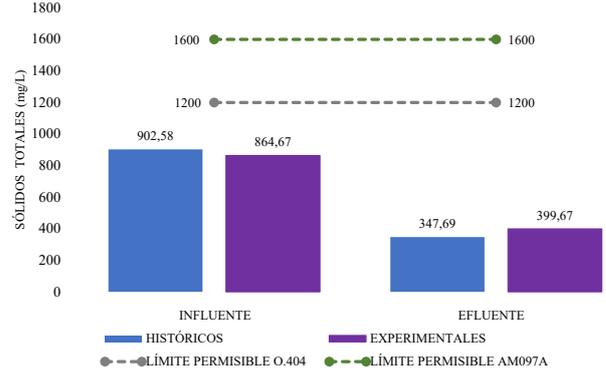


Figura 8. Contraste de remoción de tensoactivos

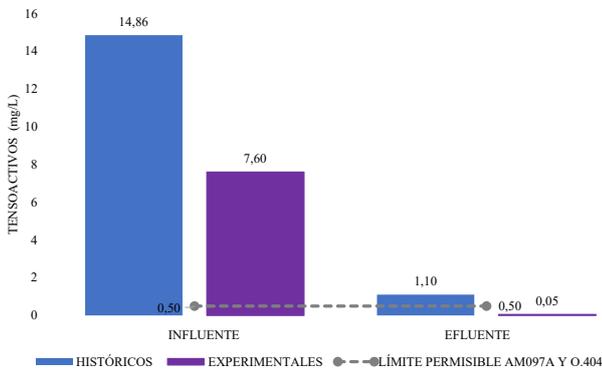


Figura 9. Remoción experimental de coliformes fecales

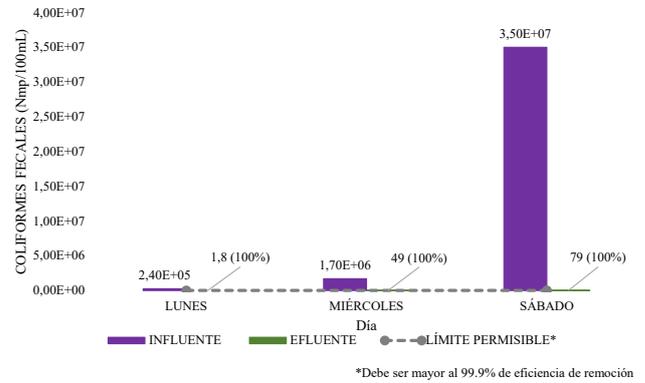


Figura 10. Concentraciones promedio de oxígeno disuelto para junio 2019

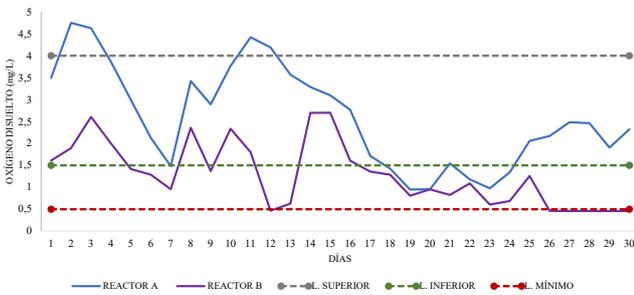


Figura 11. Potencial redox y oxígeno disuelto en función del tiempo. Reactor A (12 de junio de 2019)

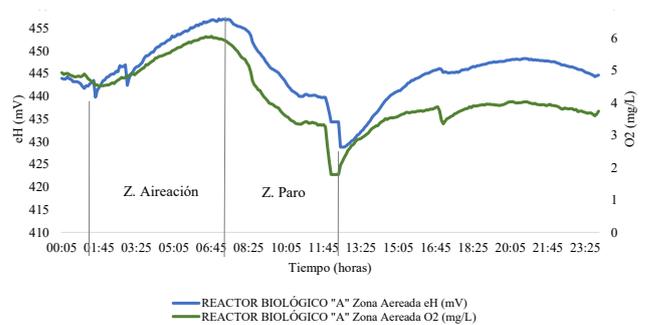


Figura 12. Potencial redox y pH en función del tiempo. Reactor a (12 de junio de 2019)

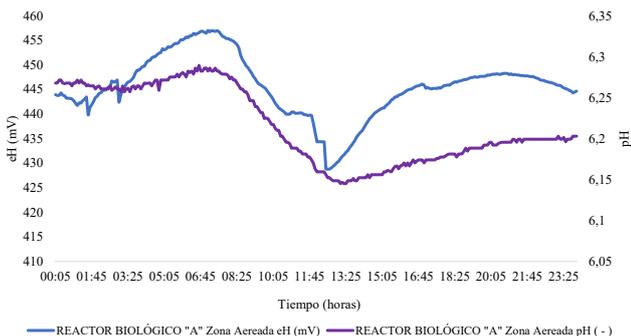
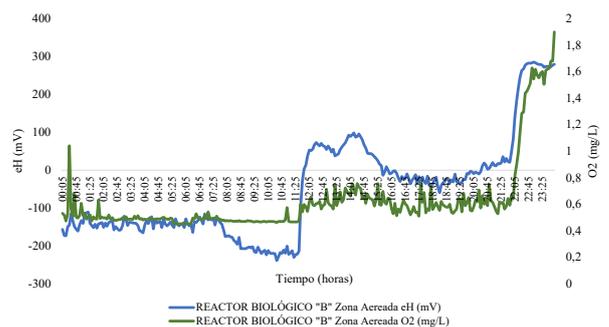


Figura 13. Potencial redox y oxígeno disuelto en función del tiempo. Reactor A (12 de junio de 2019)



obtención diaria de la velocidad de sedimentación ( $v_{30}$ ),  $SSV_{LM}$  y  $SST_{LM}$ , concentraciones de oxígeno disuelto, potencial redox y pH.

En dicho proceso se suscitaron anomalías en la concentración de oxígeno disuelto y potencial redox medidas por el sistema SCADA, determinándose que existen variabilidades de oxígeno entre el biorreactor B respecto del A; llegándose a dar casos en que uno queda sobreaireado (concentración promedio mayor a 4 mg/L), y el otro en escasez (concentración promedio menor a 0,5 mg/L), lo cual es una causa netamente operativa debida a los intentos por solventar el problema en la que ambos extremos perjudican relativamente la sedimentación del lodo tratado (aumento del IVL) al crear condiciones favorables para el desarrollo elevado de bacterias filamentosas, responsables de los eventos de espumas. Además, de esta causa se deriva el pH ligeramente bajo, comprendido entre 6 y 6,5 en ambos biorreactores según el análisis, el cual nuevamente propicia el desarrollo desequilibrado de las bacterias filamentosas; mientras que una corrección hacia un pH de 7,5 a 9, podría disminuir el riesgo, estabilizando el cultivo biológico.

Por otro lado, el análisis de los demás parámetros inherentes al proceso de lodos activados por aireación extendida, tales como edad de lodo, caudal de purga, relación F/M, e IVL, y sus interrelaciones denotaron la causa raíz que se define en el tiempo de retención celular o edad de lodo, que según la operación de la planta al momento de la problemática era mayor a la necesaria, alargando la permanencia de las bacterias filamentosas y, por tanto, el hinchamiento de lodos (aumento del IVL), implicando menores porcentajes de materia seca obtenidos del proceso de deshidratación, debido a que no existió una correcta separación entre la fase sólida y líquida. Lo cual recae nuevamente en una causa netamente operativa que es un bajo caudal de purga.

Por lo tanto, definiéndose tras la revisión del diseño que la problemática tiene un carácter operativo y que el oxígeno disuelto requería volver a estabilizarse dentro del rango ideal, se establecen dos propuestas complementarias para optimizar la operación de la planta: la primera consiste en la adición de cal y la segunda se enfoca directamente en corregir el caudal de purga. Ambas atacan las causas mencionadas, sin embargo, la segunda se dirige a la raíz del problema y es la de mayor importancia, pero debería ser acompañada de la primera para eliminar las espumas, ya que las bacterias filamentosas son capaces de sobrevivir en las espumas emulsionadas durante varios meses, gracias a sus actividades exoenzimáticas; en consecuencia, si no se retiran eficazmente del sistema, los problemas en la PTAR podrían prolongarse en el tiempo.

### 3.2.1 Propuesta 1

#### Adición de cal

Consiste en la adición de cal, que produce una disminución del IVL y la formación de espumas, precipita contaminantes disueltos y controla el pH. Se aplica hidróxido de calcio en concentraciones de 10 a 30 mg/L a la entrada de cada unidad y se lo realizará de forma instantánea, es decir, en 1/30 del tiempo de retención hidráulico.

Dosificación de cal:

$$P = \frac{V * Co}{I * 10^3} \quad (5)$$

Donde:

P = peso de la cal por añadir al reactor [kg]

V = volumen útil del reactor [m<sup>3</sup>]

Co = concentración [mg/L]

I = grado de pureza de la cal [%]

Para una concentración de 10 mg/L y a razón de la pureza de la cal disponible en el país, de alrededor del 60%, se obtuvieron diarios para cada unidad. Teóricamente se aconseja que el tiempo de aplicación, sea de una edad a una edad y media de lodo, siendo en este caso 28 días, de los que se plantea hacerlo saltando uno para evitar taponamiento de difusores. Se debe «tomar muestras del licor de mezcla cada 3 días para observar el avance del control del *bulking*» [8], es decir, que dicho control servirá para evaluar si la concentración de cal es la adecuada dentro del rango sugerido y se hace mediante la medición del IVL en el licor de mezcla hasta que se establezca dentro del rango de sedimentabilidad óptimo (ver Tabla 4).

Dicho esto, tenemos en la tabla 5 el costo total de la propuesta. Cabe recalcar que, si bien se puede solucionar el problema por periodos de tiempo relativamente largos, no es una solución definitiva (ver Tabla 5).

### 3.2.2 Propuesta 2

#### Frecuencia de purga

El objetivo es corregir el tiempo de retención celular mediante la purga del exceso de lodo, influyendo positivamente en la calidad del efluente, en la sedimentación del licor de mezcla, manteniendo una buena relación F/M, y principalmente controlando la velocidad de crecimiento de las bacterias.

Las condiciones de operación actuales de la PTAR indican que para condiciones normales de operación existe un caudal de purga de 5 m<sup>3</sup>/hora. Este establece un tiempo de retención de 43 días.

Figura 14. Potencial redox y oxígeno disuelto en función del tiempo. Reactor B (12 de junio de 2019)

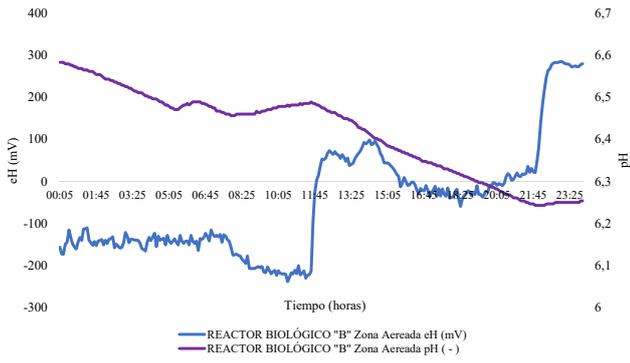


Figura 15. IVL y relación F/M. Reactor A

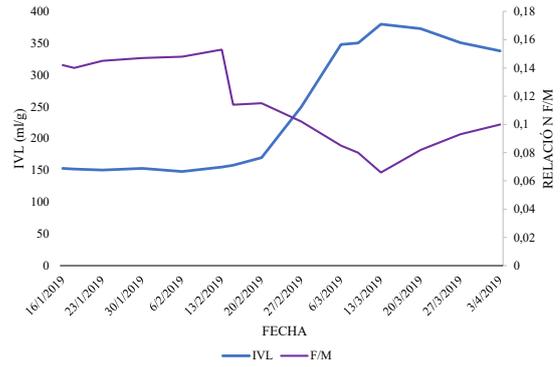


Figura 16. IVL y relación F/M. Reactor B

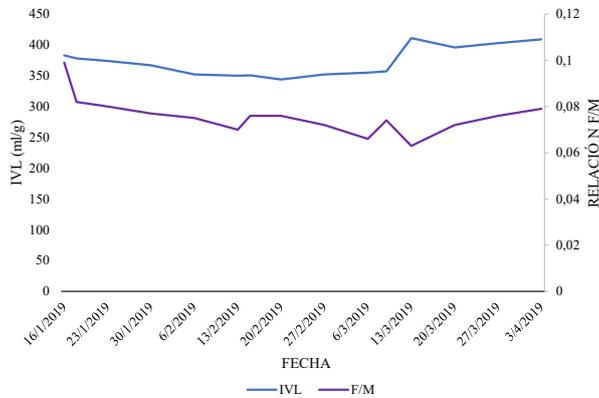


Tabla 2. Análisis del reactor biológico

Parámetros	PUNTO 2 (Ingreso al reactor biológico)	PUNTO 3 (Salida del reactor biológico)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) [mg/L]	2.456,33	1.714,33
Demanda química de oxígeno (DQO) [mg/L]	12.585	8.450
Sólidos totales [mg/L]	6.666,67	9.110,67
Sustancias activas al azul de metileno (detergentes aniónicos) [mg/L]	0,06	0,02

Tabla 3. Resultados de la revisión del diseño

	Diseño calculado	Diseño existente	Condiciones operativas calculadas	Condiciones operativas actuales
Caudal medio (Qm) [m <sup>3</sup> /h]	392,04	392,04	-	-
Caudal actual (Qa) [m <sup>3</sup> /h]	270	270	270	270
Volumen por biorreactor [m <sup>3</sup> ]	5.901,517	6.080	6.080	6.080
Tiempo de retención hidráulico para Qm [horas]	15,05	15,3	-	-
Tiempo de retención hidráulico para Qa [horas]	21,86	22,52	22,52	22,52
Caudal de purga de fangos para Qa [m <sup>3</sup> /h]	7,65	-	7,65	5
Recirculación de fangos para Qa [%]	74,48	-	74,48	120
Tiempo de retención celular para Qa [días]	27,44	25	28,27	43,25

**Tabla 4.** Aplicación de cal para el control del *bulking*

Aplicación	
Agente químico	Hidróxido de calcio Ca(OH) <sub>2</sub>
Dosis de aplicación	98 kg*biorreactor/día
Tiempo de aplicación	28 días (saltando un día)
Forma de aplicación	Adición directa sobre punto de entrada a cada biorreactor

**Tabla 5.** Presupuesto total para la adición de hidróxido de calcio

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (en USD)	Precio total (en USD)
A	INSUMOS				
A.1	Hidróxido de calcio (sacos de 25 kg) (incluye transporte)	N sacos	110	8	880

**Tabla 6.** Espesamiento y deshidratación en un día

Espesamiento y deshidratación en un día de operación normal	
Caudal de purga [m <sup>3</sup> /h]	7,65
Polímero [kg]	6,98
Lodos deshidratados [m <sup>3</sup> ]	7,344

**Tabla 7.** Presupuesto mensual para la frecuencia de purga

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (en USD)	Precio total (en USD)
A	INSUMOS				
A.1	Polielectrolito catiónico (sacos de 25 kg)	N sacos	9	6,25	56,25
B	TRANSPORTE				
B.1	Transporte de lodo a escombrera Cocotog 40 km (volqueta 15 m <sup>3</sup> )	N de viajes	15	26,25	393,75
	Total (USD)				450

Sin embargo, con base en el tiempo de retención celular de 28 días especificado para condiciones de operación actuales calculadas, se establece que el caudal de purga debería ser de 7,65 m<sup>3</sup>/hora.

Según los datos del proceso de deshidratación de lodos, se necesitan 6,98 kg de polímero para producir 7,3 m<sup>3</sup> de lodos deshidratados en un día de operaciones (ver Tabla 6).

Los rubros considerados son los mismos con los que la planta ha venido operando, tanto en insumos como transporte y disposición final en la escombrera de

Cocotog. Estimándose en la tabla el costo total para 1 mes de operación según resultados diarios obtenidos al 2019 (ver Tabla 7).

#### 4. CONCLUSIONES

Se determinó que se cumple con los límites establecidos por ambas normativas en cuanto a DBO, DQO, sólidos totales, tensoactivos y coliformes fecales. Consecuente-

mente, la planta está cumpliendo su objetivo de remoción de contaminantes.

La eficiencia del reactor biológico determinó que se remueve efectivamente DBO y DQO, y los ST indican que se suscita el proceso de bio-floculación y metabolismo bacteriano propio de un tratamiento de lodos activados. Tras revisar el diseño, se concluyó que la problemática tiene origen operacional, generando desequilibrio en la concentración de oxígeno disuelto y pH, formación de espumas y una elevada edad de lodos, que propician la permanencia de espumas y el desarrollo de bacterias filamentosas. Por último, el cálculo de condiciones operativas indica que la purga de lodos es inferior a la que debería realizarse. Y que el tiempo de retención celular (43 días) es 1,5 veces mayor al calculado (28 días).

Se dedujeron dos propuestas de control; la primera usa cal como estabilizador para disminuir el IVL, mejorar la sedimentación, aumentar la alcalinidad, controlar la población de bacterias filamentosas y la formación de espumas, solucionando el problema por periodos de tiempo relativamente largos. La segunda determinó que la edad de lodo debe ser corregida con un caudal de purga de 7,65m<sup>3</sup>/h, mejorando la sedimentación de lodos, facilitando su espesamiento y deshidratación para su disposición final.

## REFERENCIAS

- [1] J. Alzate, «Remoción biológica de nitrógeno por nitrificación y desnitrificación aeróbica en reactor de cargas secuenciales SBR», Tratto da Universidad Nacional de La Plata, 2019. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/84134/Documento\\_completo.pdf-PDFA2u.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/84134/Documento_completo.pdf-PDFA2u.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [2] G. Salinas, «Control preventivo y correctivo del *bulking* filamentoso y espumas», tesis de ingeniero civil-químico Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2013. Recuperado el 21 de junio de 2019; primera edición: pp. 68-75. Disponible en: [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-8500/UCF8855\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-8500/UCF8855_01.pdf)
- [3] J. Carrera, «Eliminación biológica de nitrógeno en un efluente con alta carga», 2001, obtenido de Universitat Autònoma de Barcelona <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5299/jcm1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] Metcalf & Eddy, *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw Hill, 2003.
- [5] A. Zornoza, S. Serrano y J. L. Alonso, «Environmental ordination of filamentous», 2017.
- [6] EPMAAPS, *Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Quitumbe*, Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, 2018.
- [7] M. Carlini, *Problemas operacionales en plantas de tratamiento*, 2003, recuperado el 10 de julio de 2019; primera edición: pp.12-20 Disponible en: [https://www.puntoambiental.com/informes/problemas\\_operacionales\\_en\\_plantas\\_de\\_tratamiento.pdf](https://www.puntoambiental.com/informes/problemas_operacionales_en_plantas_de_tratamiento.pdf)
- [8] K. Contreras Bernal, *Control de bulking filamentoso en procesos de lodos activados con aireación extendida*, tesis de ingeniero-civil químico, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2010. Recuperado el 21 de junio de 2019; primera edición: pp. 66-69. Disponible en: [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-1000/UCG1411\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-1000/UCG1411_01.pdf)
- [9] OSE, *Cálculos básicos para la operación de la PTAR Canelones*, 2016.
- [10] G. Buitrón, C. Reino y J. Carrera, *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales*. Tratto da Programa Iberoamericano Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2018, Recuperado de: [http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento\\_aerobio\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf)
- [11] M. Von Sperling, «Dimensionamento de lodos ativados por batelada utilizando os principios da teoria da flujo de sólidos», Universidad Federal de Minas Gerais, 2001. Recuperado el 3 de julio de 2019 de Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG4website: [http://aves\\_dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v6n34/v6n34a05.pdf](http://aves_dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v6n34/v6n34a05.pdf)