

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**Diagnóstico y propuesta de mejoras de la planta de tratamiento de aguas residuales de la
Municipalidad de La Unión, en la comunidad de Monserrat en Concepción, Cartago**

Ariana Paola Ortiz Obando

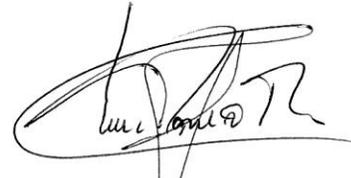
Cartago, Julio, 2016



“Diagnóstico y propuesta de mejoras de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Municipalidad de La Unión, en la comunidad de Monserrat en Concepción, Cartago”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura.

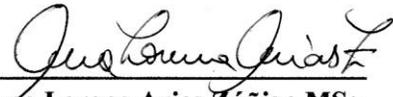
Miembros del tribunal



**Eric Romero Blanco Master.
Director**



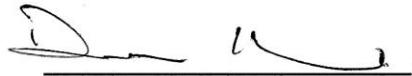
**Ing. Dixanja Azofeifa Lic.
Tutor Externo**



**Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga MSc.
Lector 1**



**Ing. Diana Zambrano Piamba MSc.
Lector 2**



**Ing. Diana Zambrano Piamba MSc.
Coordinador COTRAFIG**



**Floria Roa Gutiérrez Phd.
Directora Escuela de Química**



**Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga MSc.
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental**

DEDICATORIA

“Cuando mires al cielo, por la noche, como yo habitaré en una de ellas, como yo reiré en una de ellas, será para ti como si rieran todas las estrellas ¡Tú tendrás estrellas que saben reír!”

El Principito

Antoine de Saint-Exupéry

Para mi querida abuelita, quien me acompaña siempre y me permite tener estrellas que saben reír.

Para mis padres, a quienes les debo la maravillosa vida que tengo hoy, con todo mi amor, todos mis logros y cada sueño alcanzado son de ustedes y para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mis tutores de tesis, al Master Eric Romero y la Ing. Dixania Azofeifa, quienes han sido una guía y un gran apoyo en todo este proceso. También a Luis Miranda y Edward Matamoros, por abrirme las puertas, darme la confianza y permitirme realizar el proyecto en la Municipalidad.

Al CEQIATEC y a la Escuela de Ingeniería Ambiental, principalmente a Marco Méndez y Alejandro Córdoba, quien me ha dado su ayuda incondicional y de quien me llevo muchas enseñanzas.

Al Ing. Jorge Calvo y la Ing. Ana Lorena Arias, por toda la ayuda brindada y por el cariño que le tienen a sus estudiantes, por ser un gran ejemplo de profesionalismo, y ante todo, de humildad.

A Dios y a mis padres por darme la gran bendición y oportunidad de obtener una carrera universitaria.

A Osvaldo, quien ha sido el mejor compañero de vida y cuyo amor me impulsa siempre hacia adelante.

A mis hermanas y sobrinos, a quienes amo con todo mi corazón y son una inmensa motivación en mi vida.

A los increíbles amigos que me ha dejado esta institución, por marcar un antes y un después en mi vida, y quienes me han enseñado que no hay imposibles.

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AR	Agua residual
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EL	Edad del lodo
F/M	Relación alimento/microorganismos
GAM	Gran área metropolitana
GIRH	Gestión integrada del recurso hídrico
MO	Materia orgánica
OD	Oxígeno disuelto
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
SAAM	Sustancias activas al azul de metileno
SBR	Reactor de flujo discontinuo secuencial
SMEWW	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
SSLM	Sólidos suspendidos en el licor de mezcla
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
SSVLM	Sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla
TRC	Tiempo de retención celular
TRH	Tiempo de retención hidráulico
TRS	Tiempo de retención de sólidos

LISTA DE SÍMBOLOS

acmm	Metros cúbicos actuales por minuto.
E	Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]
fb	Fracción biodegradable de SSVLM .
h	Altura.
Kd	Coefficiente de decaimiento.
Pa	Presión atmosférica.
Ppm	Presión parcial de la humedad a temperatura atmosférica.
Ps	Presión estándar.
Q	Caudal promedio.
Qmax	Caudal máximo.
Qmin	Caudal mínimo.
RH	Humedad relativa.
scfm	Pies cúbicos estándar por minuto.
S	Carga contaminante de salida.
S ₀	Carga contaminante de entrada.
t	Tiempo por ciclo de secado.
Ta	Temperatura atmosférica.
Tr	Tiempo de retención hidráulico.
Ts	Temperatura estándar.
V	Volumen del reactor.
v ₀ y K	Coefficientes de velocidad de sedimentación.
X	Concentración de SSLM .
Xe	Concentración de SST del efluente.
Xv	Concentración de SSVLM.
X _v /X	Relación solidos volátiles/solidos suspendidos.
Y	Coefficiente de rendimiento.

- θ_c Tiempo de retención celular.
 ρ Densidad del aire.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1. Esquema típico de un sistema de lodos activados.....	21
Figura 2. 2. Esquema típico de tratamiento con reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR).....	25
Figura 3. 1. Localización del residencial Monserrat	29
Figura 4. 1. Unidad de pretratamiento de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos	44
Figura 4. 2. Tanque ecualizador de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.....	45
Figura 4. 3. Rebalse de la entrada a la PTAR de Monserrat, Tres Ríos	45
Figura 4. 4. Variación típica de caudal del agua residual de origen doméstico	46
Figura 4. 5. Espuma que cubre los tres tanques de aireación	48
Figura 4. 6. Fases de crecimiento microbiano en un sistema microbiano, donde A (fase de latencia), B (fase de crecimiento logarítmico), C (fase de crecimiento menguante), D (fase endógena).....	49
Figura 4. 7. Estado del selector del Tanque 2 presente en el sistema.....	51
Figura 4. 8. Distribución de los puntos de medición de OD en los reactores biológicos; donde A corresponde al tanque 3, B al tanque 2 y C al tanque 1.	52
Figura 4. 9. Lecho de secado de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.....	55
Figura 4. 10. Diagrama de distribución de las unidades de tratamiento propuestas para la optimización de la PTAR de Monserrat	60

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2. 1. Descripción de las diferentes fases de funcionamiento de un reactor discontinuo secuencial.....	24
Cuadro 2. 2. Clasificación de las bacterias presentes en un sistema de lodos activados.....	18
Cuadro 3. 1. Parámetros evaluados por etapa de tratamiento	31
Cuadro 4. 1. Descripción de las etapas de tratamiento de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos	34
Cuadro 4. 2. Duración por etapas de un ciclo típico del sistema de tratamiento de Monserrat, Tres Ríos	35
Cuadro 4. 3. Valores obtenidos según reportes operacionales de la PTAR de la urbanización Monserrat para el año 2014.	35
Cuadro 4. 4. Resumen de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos, Cartago	37
Cuadro 4. 5. Resultados de la caracterización del AR de entrada a la PTAR de la comunidad de Monserrat.	39
Cuadro 4. 6. Resultados de los indicadores analíticos por etapa de tratamiento para la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.....	41
Cuadro 4. 7. Dimensiones del tanque equalizador propuesto para la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.....	46
Cuadro 4. 8. Comparativo entre el diseño actual de los reactores y la propuesta de diseño según la teoría.....	50
Cuadro 4. 9. Resultados obtenidos de la medición de oxígeno disuelto en distintos puntos de los reactores biológicos.....	52
Cuadro 4. 10. Resultados obtenidos del cálculo de flujo de aire para la PTAR en estudio .	53
Cuadro 4. 11. Resumen del diagnóstico de parámetros analíticos de importancia en sistemas de tratamiento de lodos activados en los tres tanques de la PTAR	54
Cuadro 4. 12. Comparativo entre el diseño actual de los lechos de secado y la propuesta de diseño según la teoría	55

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	11
Abstract	12
1. Introducción	13
1.1. <i>Objetivos</i>	15
1.1.1. Objetivo general	15
1.1.2. Objetivos específicos.....	15
2. Marco Teórico.....	16
2.1. <i>Fundamentos de depuración de lodos activados</i>	16
2.1.1. <i>Factores ambientales en el proceso de lodos activados</i>	17
2.2. <i>Características del flóculo de lodos activados</i>	19
2.3. <i>Generalidades de lodos activados</i>	20
2.3.1. <i>Reactor de flujo discontinuo secuencial</i>	23
2.4. <i>Diseño y operación de PTAR´s de lodos activados</i>	26
3. Materiales y métodos.....	29
3.1. <i>Lugar de estudio</i>	29
3.2. <i>Evaluación preliminar de la PTAR</i>	29
3.3. <i>Identificación y análisis de propuestas de mejora</i>	32
3.4. <i>Elaboración del manual de operación y mantenimiento</i>	32
4. Resultados y discusión.....	33
4.1. <i>Descripción general de la PTAR en estudio</i>	33
4.2. <i>Evaluación de la PTAR</i>	35
4.2.1. Evaluación preliminar.....	35
4.2.2. Análisis de la evaluación preliminar	43
4.3. <i>Identificación y propuestas de mejora por etapa de tratamiento</i>	56
4.3.1. Tanque ecualizador.....	56
4.3.2. Reactores SBR.....	56
4.3.3. Lecho de secado.....	58
4.3.4. Operación y mantenimiento.....	59

4.4.	<i>Manual de operación y mantenimiento</i>	<i>61</i>
5.	Conclusiones y recomendaciones	62
5.1.	<i>Conclusiones.....</i>	<i>62</i>
5.2.	<i>Recomendaciones</i>	<i>63</i>
6.	Referencias bibliográficas.....	65
7.	Apéndices.....	70
	<i>APÉNDICE 1. Distribución actual de las etapas de tratamiento de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.</i>	<i>71</i>
	<i>APÉNDICE 2. Cálculos elaborados para el estudio de los indicadores analíticos del sistema.</i>	<i>72</i>
	<i>APÉNDICE 3. Lista de verificación del estado actual de una PTAR de lodos activados aplicada a la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.....</i>	<i>79</i>
	<i>APÉNDICE 4. Metodologías y parámetros de diseño</i>	<i>89</i>
	<i>APÉNDICE 5. Cálculo de flujo de aire necesario en reactores biológicos de la PTAR de Monserrat.</i>	<i>95</i>
	<i>APÉNDICE 6. Manual de Operación y Mantenimiento.....</i>	<i>97</i>
8.	Anexos.....	126
	<i>ANEXO 1. Resultado del análisis químico realizado por Laboratorio Químico LAMBDA</i>	<i>126</i>
	<i>ANEXO 2. Parámetros de diseño de la PTAR de Monserrat de Tres Ríos según Manual de Operación y Mantenimiento</i>	<i>127</i>
	<i>ANEXO 3. Tabla de relaciones funcionales en sistemas de lodos activados.....</i>	<i>128</i>
	<i>ANEXO 4. Tabla de compatibilidad de tecnologías de deshidratación de lodos según el tamaño de la PTAR.....</i>	<i>129</i>

RESUMEN

El proceso de urbanización provoca un alto impacto sobre el recurso hídrico debido a los grandes volúmenes de agua contaminada que es preciso tratar. En Costa Rica, el tratamiento de las aguas residuales representa un gran reto, donde la cobertura de alcantarillado sanitario con el adecuado tratamiento de sus aguas es de tan solo el 4.2 %. En el Residencial Monserrat, en La Unión de Concepción, la Municipalidad se encuentra a cargo de la unidad de tratamiento, que depura las aguas residuales de aproximadamente 813 viviendas. La unidad consiste de un sistema de lodos activados con el uso de reactores de flujo discontinuo secuencial, posee tres tanques de reacción y lechos de secado para el manejo de lodos. Debido al hallazgo de problemas operacionales en la planta, tales como la presencia de espuma en los reactores, problemas de rebalse en la entrada y capacidad de los lechos de secado, se realizó un diagnóstico del sistema con el fin de identificar oportunidades de mejora a nivel de rediseño, operación y mantenimiento y con base en esto proponer alternativas que permitan una mayor eficiencia en el proceso. El diagnóstico constó de una fase inicial de evaluación preliminar del sistema con el estudio de prácticas e indicadores visuales, físico-químicos y de dimensionamiento considerados fundamentales en procesos biológicos de tratamiento. Una vez obtenido el producto de esta fase se analizaron los resultados mediante una comparación con los valores recomendados según la teoría para la identificación de elementos que se puedan corregir o mejorar y realizar las respectivas propuestas de mejora. El diagnóstico arrojó como principal problemática la poca o nula purga del lodo en exceso de los reactores, que desencadena en el crecimiento excesivo de microorganismos filamentosos, tiempos de retención celular elevados, relaciones F/M bajas y un excesivo consumo del OD disponible. De igual forma se denota un crecimiento en el caudal de ingreso a la planta de un 28.5% sobrepasando la capacidad máxima instalada y por lo tanto de dimensionamiento de las unidades de tratamiento.

Palabras clave: AGUAS RESIDUALES, PLANTAS DE TRATAMIENTO, LODOS ACTIVADOS, REACTORES DE FLUJO DISCONTINUO SECUENCIAL, LECHOS DE SECADO.

ABSTRACT

Urbanization causes a high impact on water resources due to the large volumes of contaminated water that must be treated. Wastewater treatment is a major challenge for Costa Rica, where coverage of sewerage with adequate treatment is only 4.2 %. In the community of Monserrat, in La Unión, Concepción, the Municipality is in charge of the treatment unit, which purifies the wastewater of approximately 813 homes. The plant consists of a Sequence Batch Reactor System (SBR), which has currently three aeration tanks and a drying bed for waste sludge treatment. Because of the presence of operational problems in the plant, such as foam in the reactors, and problems of overflow to the inlet capacity and the drying beds, a diagnosis was conducted in the system in order to identify opportunities for improvement at the levels of redesign, operation and maintenance. On this basis propose alternatives of action that would enable greater efficiency in the process. The diagnosis consisted of an initial phase of preliminary assessment of the system with the study of practices, physico-chemical, sizing and visual indicators considered essential in biological treatment processes. Once obtained the product of this phase the results were analyzed by comparing them with the theory in order to identify elements that can be corrected or improved and make the respective proposals. The diagnosis showed as the main problem the few or no purge of the excess sludge of the reactors, which triggers the overgrowth of filamentous microorganisms, high cellular retention times, low F/M relations and overconsumption of the available oxygen which generates low DO levels. Also a growth is denoted in the income flow of the plant of about 28.5 %, exceeding the maximum installed capacity of the handling units.

Key words: WASTEWATER, TREATMENT PLANT, ACTIVATED SLUDGE, SEQUENCE BATCH REACTORS, DRYING BEDS.

1. INTRODUCCIÓN

La Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) se basa en que las múltiples aplicaciones del recurso: irrigación, agua para bebida, aguas de desecho, entre otros, deben ser consideradas en conjunto, y por consiguiente, se deben tomar en cuenta los efectos de cada uno de estos usos sobre los otros (PNUD, 2005).

El aumento desmedido de la población y la ausencia de una GIRH pone en peligro la preservación de las fuentes de agua y a su vez la salud pública. De lo anterior, surge el interés por el adecuado tratamiento de las aguas residuales urbanas, las cuales deben ser tratadas apropiadamente con el objetivo de proteger el estado ecológico de los medios receptores, evitar riesgos a la salud y producir efluentes con características (físicas, químicas y microbiológicas) aptas para su reutilización o vertido (Aragón, 2009).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se diseñan con el fin de proveer al agua residual una calidad apta para su vertido y garantizar la prevención de la contaminación de los cuerpos receptores; sin embargo, cambios en las características y cantidad de agua generada, así como en las condiciones operacionales, pueden ocasionar cambios en la calidad del agua tratada. Lo anterior puede resultar en un impacto no deseado al medio ambiente y a la violación de la regulación vigente (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales No.33601, Ley General de la Salud No.5395, Ley Orgánica del Ambiente No.7554, Ley de Biodiversidad No.7788) en temas ambientales (Stephenson & Stuetz, 2009) (Ministerio de Salud, 2007).

En lo que respecta a las plantas en operación, el país cuenta con 57 sistemas de saneamiento para aguas residuales domésticas. Una dificultad que existe es que la mayoría del agua recolectada en sistemas de alcantarillado sanitario no es tratada y se descarga directamente en cuerpos receptores. A este respecto es importante considerar que al día de hoy el 71,5 % de la población utiliza el tanque séptico como método primario y el 26,6 % posee alcantarillado sanitario. Durante el 2014 se reportó un avance en la cobertura de alcantarillado sanitario con tratamiento de aguas residuales, que pasó del 3,6% en el 2012, al 4,2%. Estos avances en materia ambiental se esperan sean aún mayores para el año 2020,

donde se estima una cobertura de hasta el 20% gracias a la inversión realizada en la planta Los Tajos, la cual abarca una parte del gran área metropolitana (GAM) (EN, 2014).

A nivel nacional existen varias instituciones encargadas de la gestión del recurso hídrico y la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Entre ellas se encuentran las Municipalidades, el Estado, en la figura del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), los Acueductos rurales (ASADAS) y operadores privados (Angulo, 2013).

En el residencial Monserrat, ubicado en Concepción de Tres Ríos, la Municipalidad se encuentra operando una PTAR compuesta por un sistema de lodos activados de reactores de flujo discontinuo secuencial (Municipalidad de La Unión, 2008). El sistema, en la actualidad, presenta problemas operacionales que dificultan su adecuado funcionamiento, como por ejemplo la presencia de espuma en los reactores así como el rebalse en algunas unidades de tratamiento.

Con el fin de asegurar que la calidad del efluente de una PTAR cumpla con las normas establecidas es indispensable llevar a cabo un monitoreo de parámetros tanto visuales como físico-químicos que permitan conducir la planta bajo las mejores condiciones, o en su defecto, aplicar las medidas preventivas o correctivas para que su operación sea siempre satisfactoria.

Debido a lo anterior, este proyecto pretende realizar un diagnóstico de la PTAR actual con el fin de identificar oportunidades de mejora y plantear propuestas que aseguren una mejora en el desempeño del sistema de tratamiento de la comunidad de Monserrat para los diferentes niveles: rediseño, operación y mantenimiento de las etapas de tratamiento.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Proponer mejoras técnico/operativas mediante el estudio de indicadores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Monserrat.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar desde el punto de vista técnico la planta de tratamiento de aguas residuales tomando en cuenta parámetros de diseño, operación y mantenimiento.
- Identificar y sugerir alternativas de mejora al sistema actual las cuales permitan incrementar el rendimiento del tratamiento de las aguas.
- Proponer un manual de operación y mantenimiento de la PTAR tomando en cuenta las mejoras propuestas en los tres niveles: rediseño, operación y mantenimiento.

2. MARCO TEÓRICO

En el ambiente, muchos de los contaminantes presentes en el agua son removidos gradualmente por medio de procesos físicos, químicos y biológicos. Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales buscan imitar estos mismos procesos que ocurren de forma natural (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2005); los cuales en conjunto forman los sistemas de remoción cuyo objetivo es la eliminación de contaminantes y el vertido de los efluentes depurados (Von Sperling, 2007c).

En el caso de los sistemas de tratamiento por lodos activados, se aprovecha la remoción de contaminantes presentes en el agua residual (AR) mediante la acción de microorganismos que utilizan el sustrato del influente como alimento.

2.1. Fundamentos de depuración de lodos activados

En general, en un sistema de lodos activados, el proceso de la biodegradación de la materia orgánica (MO) presente en el agua residual se da mediante la acción microbiológica (Bhattacharyya & Banerjee, 2007). Para poder reproducirse y funcionar de manera correcta, un organismo necesita: una fuente de energía, carbono para la síntesis de material celular, elementos inorgánicos (nutrientes) y orgánicos (factores de crecimiento) (Metcalf & Eddy, 1996). El proceso consta de tres fases, donde una porción de MO se oxida para suplir de energía y otra porción es sintetizada en nuevas células las cuales van a ser oxidadas posteriormente (EPA, 2009).

La cantidad de alimento utilizado para la obtención de energía en las reacciones metabólicas depende de la composición de la MO presente. En aguas residuales domésticas, un tercio de esta se utiliza como energía, mientras que los dos tercios restantes son para la síntesis de nuevas células (EPA, 2009).

Los requerimientos nutricionales de la biomasa tienen un impacto significativo en la operación y desempeño de un sistema de lodos activados (Orhon, Babuna, & Karahan, 2009), en ocasiones, los mismos pueden condicionar y limitar la síntesis celular y el crecimiento bacteriano (Metcalf & Eddy, 1996). Existen elementos esenciales para su

nutrición, estos se clasifican en el orden de elementos mayores, menores, traza y factores de crecimiento (EPA, 2009).

Los elementos mayores los constituye el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo. Los elementos menores son el sulfuro, potasio, sodio, magnesio, calcio y cloro. Los elementos traza son principalmente el hierro, manganeso, cobalto, cobre, boro, zinc, molibdeno y aluminio y en lo que corresponde a factores de crecimiento se encuentran las vitaminas y aminoácidos. Generalmente, en las aguas residuales domésticas y urbanas, todos estos factores y elementos se encuentran presentes. Como norma general, 5 partes de nitrógeno y 1 parte de fósforo es requerida por cada 100 partes de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) removida (EPA, 2009).

2.1.1. Factores ambientales en el proceso de lodos activados

Es importante destacar que existen factores ambientales que afectan la actividad microbiológica. Estos se clasifican como físicos, químicos o biológicos.

En los físicos es vital la temperatura, la presión osmótica y el oxígeno disuelto (OD). La temperatura tiene un efecto directo sobre el crecimiento celular. Un incremento de 10 °C (dentro del rango de temperatura de crecimiento bacteriano) puede doblar la generación de biomasa y por consiguiente la utilización de materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1996). Debido a que los microorganismos se alimentan por medio de ósmosis, la presión osmótica debe mantenerse en un rango específico. Esta depende de la concentración de sales la cual debe de encontrarse en el rango de 500 mg/L a 35 000 mg/L (EPA, 2009).

En general, el OD de 1 a 2 mg/L es el óptimo para mantener una población microbiana saludable, si este disminuye a menos de 0,5 mg/L el tratamiento aeróbico se va a ver afectado (EPA, 2009). Concentraciones por encima de 4 mg/L no suponen notables mejoras en el proceso y encarecen considerablemente los costes de aireación (Metcalf & Eddy, 1996).

Los factores químicos más importantes son el pH y la presencia de ácidos y bases, agentes oxidantes y reductores, metales pesados y ciertos químicos (EPA, 2009). El pH del agua es importante porque el crecimiento bacteriano es el óptimo en un rango de 6.5 a 7.5, fuera de este su crecimiento se inhibe (Metcalf & Eddy, 1996).

Los factores biológicos se refieren a las variantes en la población microbiana presente en el sistema. Los principales microorganismos involucrados en la descomposición de la materia orgánica son las bacterias unicelulares, que representan alrededor del 95% de la población total (Signorile et al., 2010). A su vez existen otros microorganismos de importancia biológica como lo son hongos, algas, protozoos, rotíferos y nematodos (Seneviratne, 2007). El grupo de los protozoos incluye ciliados, flagelados y amebas; entre ellos los que se encuentran en mayor número son los ciliados que a su vez cumplen con un rol importante en el proceso de depuración (Harrison, 2014). Se ha encontrado que su presencia lleva a una mejor clarificación del agua residual al alimentarse de bacterias en suspensión, en adición secretan una sustancia que asiste en el proceso de floculación (Signorile et al., 2010). Los nematodos no cumplen un papel significativo mientras que los hongos generalmente contribuyen a la generación de lodos no sedimentables (Harrison, 2014).

Como se mencionó anteriormente las bacterias son los organismos dominantes en el sistema, con la presencia de hasta 300 especies. Estas se clasifican según su forma y función durante el proceso (Seneviratne, 2007).

Cuadro 2. 1. Clasificación de las bacterias presentes en un sistema de lodos activados

<i>Según su forma</i>	<i>Según su función</i>	<i>Comentarios</i>
Esféricas	Formadoras del flóculo	Son la mayoría. Las formadoras del flóculo son requeridas para la biodegradación y la formación de flóculos con buenas características de sedimentabilidad.
Varilla	Filamentosas	En altas cantidades ocasionan el bulking y la formación de espumas en el tanque de aireación.
Espiral	Nitrificantes	Son deseables. Convierten

Fuente: Adaptado de (Seneviratne, 2007)

En general, las poblaciones bacterianas y protistas siguen una curva normal de crecimiento, cuyas etapas son: fase de latencia (tiempo que transcurre hasta alcanzar una velocidad de crecimiento constante), fase exponencial (alcanza una velocidad de crecimiento exponencial), fase estacionaria (número de células viables permanece estable por condiciones medioambientales) y muerte (disminuye el número de células) (Rodríguez et al., 2008).

2.2. Características del flóculo de lodos activados

Los flóculos de los lodos activados son conglomerados de células bacterianas vivas y muertas, que a su vez incluyen restos de filamentosas, sales precipitadas, partículas inorgánicas atrapadas y fibras orgánicas (Eikelboom, 2000). Los microorganismos, además de su función depurativa, cumplen con una función constructiva en el sentido de otorgarle la estructura a los flóculos (Di Marzio, 2004).

La formación del flóculo resulta de la producción extracelular de polímeros gracias al incremento en la edad celular sumado a fuerzas químicas por cationes divalentes presentes en el agua (Eikelboom, 2000). Eventualmente, la célula se encapsula en una capa de polímeros con secreción pegajosa lo cual facilita la formación del flóculo bacteriano, este proceso permite que estas células individuales se peguen unas a otras. Conforme las células en el lodo envejecen y mueren, se pegan a los flóculos que se van formando. Sin embargo, si hay presencia de un gran número de células con edad avanzada, se dificulta su buena formación y genera un efluente turbio. Por otra parte, si las células crecen muy rápido, el área celular se incrementa con mayor rapidez de lo que la célula tarda en encapsularse, por lo que se generan flóculos poco densos y abultados que no logran sedimentar con facilidad (EPA, 2009).

2.3. Generalidades de lodos activados

El sistema de tratamiento por lodos activados es ampliamente utilizado a nivel mundial para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Ranade & Bhandari, 2014) en situaciones donde se requiere una excelente calidad del efluente y el espacio disponible es limitado (Von Sperling, 2007a). Posee eficiencias de remoción de materia orgánica entre el 80 y 99% (Orozco, 2005). Además, se caracteriza por su flexibilidad al ser capaz de la conversión de nitrógeno y remoción de fósforo presente en el agua residual (Ahuja, 2014).

Este tipo de tratamiento se clasifica como uno de tipo biológico y aeróbico (Ranade & Bhandari, 2014). El tratamiento biológico de las aguas residuales se compone de procesos básicos, donde se efectúa la conversión del sustrato orgánico a biomasa, conjuntamente con el proceso de separación física de la masa celular suspendida en el agua. En este caso la biomasa (población microbiana) se encuentra mezclada con el AR, que se conoce como licor mixto, sin estar adherida a ningún medio sólido, por lo que se clasifica como un proceso biológico en suspensión (Orozco, 2005).

En términos generales, el proceso involucra el AR en un medio con presencia de microorganismos en condiciones aeróbicas, es la combinación de la descomposición natural de la materia orgánica por el metabolismo biológico y la separación de los sólidos y líquidos gracias a la biofloculación (EPA, 2009).

El esquema típico formal de lo que es una planta de lodos activados se presenta en la figura a continuación.

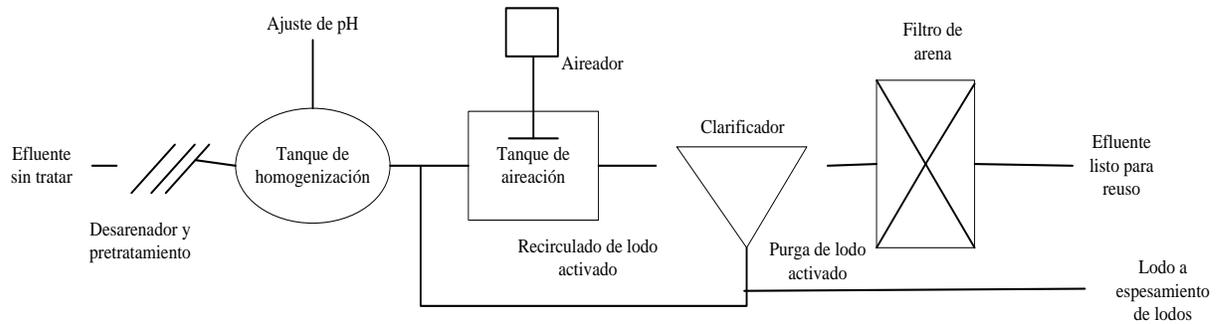


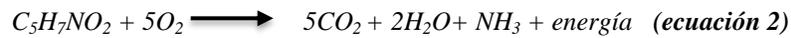
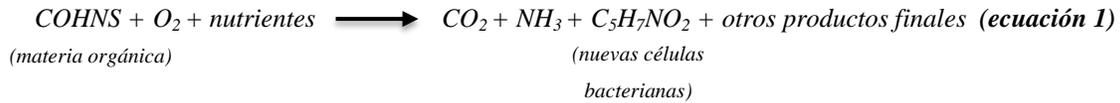
Figura 2. 1. Esquema típico de un sistema de lodos activados

Fuente: Adaptado de (Seneviratne, 2007)

Consiste de un tratamiento preliminar para la separación de sólidos más gruesos con rejillas y desarenadores. Luego se somete a la sedimentación primaria donde se remueven los sólidos asentables, que en las aguas residuales domésticas, pueden conformar hasta el 40% de la DBO total y 65% de sólidos suspendidos (SS). A continuación viene el tratamiento secundario conformado por el reactor biológico y el sedimentador secundario (Orozco, 2005). En el reactor biológico se lleva a cabo el desarrollo de la biomasa a partir de la MO que ingresa en el AR, este se caracteriza por la presencia de aireadores que garantizan el desarrollo de un ecosistema aerobio. Los flóculos sedimentables formados en esta fase son posteriormente separados en el sedimentador secundario. Una parte del lodo retenido en el sedimentador es recirculado al reactor con el fin de mantener estable la concentración de biomasa en el sistema (Von Sperling, 2007a). El resto se dispone como un desecho, el cual se estabiliza antes de su disposición final (Orozco, 2005).

Durante todo el proceso se pueden identificar cuatro fases: (1) clarificación, que ocurre gracias a la formación del flóculo y su posterior sedimentación, (2) oxidación de la materia orgánica, que se lleva a cabo gracias a la acción de microorganismos en los procesos de conversión del sustrato, (3) oxidación del material nitrogenado, proceso que se lleva a cabo mediante la nitrificación (oxidación del nitrógeno amoniacal presente en el AR) y posterior desnitrificación (reducción del nitrato mediante la incorporación de fases anóxicas en el reactor) , y por último (4) la digestión del lodo activado, que ocurre debido a la presencia de biomasa en el lodo ya sedimentado (Harrison, 2014).

En el reactor biológico, el cultivo bacteriano lleva a cabo la conversión de la materia orgánica según la estequiometría de las siguientes ecuaciones (Metcalf & Eddy, 1996).



Donde, en la primera etapa (ecuación 1) se da la oxidación de la MO en presencia de oxígeno y nutrientes, que genera nuevas células bacterianas, las cuales son oxidadas posteriormente (ecuación 2).

La aireación cumple un papel fundamental en el proceso, ésta se aplica con el fin de transferir oxígeno atmosférico al licor de mezcla (Woodard & Curran, 2006b), donde es consumido para oxidar la materia orgánica, en presencia de amonio y ácido sulfhídrico (Van Haandel & Ven der Lubbe, 2012). Al mismo tiempo, la turbulencia generada por la agitación del licor mixto cumple la función de mantener los flóculos en suspensión y asegura el contacto entre la biomasa, la materia orgánica y el oxígeno (Blake, 1989). Una aireación insuficiente en el tanque se traduce en niveles bajos de oxígeno disuelto y altas concentraciones de amoníaco (Ozturk, Serrat, & Teymour, 2015).

Los aireadores se clasifican en sistemas de aire difuso, donde las burbujas de aire salen de la parte inferior del tanque y la transferencia de oxígeno toma lugar en la trayectoria ascendente de las mismas, (Van Haandel & Ven der Lubbe, 2012) y aireadores mecánicos de superficie, que utiliza paletas giratorias para agitar el agua superficial incorporando así el aire y creando una corriente giratoria que mantiene los flóculos bacterianos en suspensión (Harrison, 2014).

Los aireadores de tipo difuso son comúnmente utilizados y existen varios tipos, como la aireación de burbuja fina, que posee alta eficiencia en transferencia de oxígeno, burbuja

gruesa, que requiere menor potencia por unidad de aire y posee una menor eficiencia (Woodard & Curran, 2006b), y mediante chorros de aireación, que utiliza un eyector tipo Venturi y se caracteriza por la generación de turbulencia que asegura la formación de burbujas de aire de tamaño pequeño y mediano (Van Haandel & Ven der Lubbe, 2012).

2.3.1. Reactor de flujo discontinuo secuencial

Existen muchas variantes del proceso de lodos activados, estos pueden ser clasificados de acuerdo con: la edad de lodos: en lodos activados convencionales, de aireación extendida y de tipo contacto-estabilización (Ranade & Bhandari, 2014), el tipo de flujo: en lodos activados de flujo continuo y lodos activados de flujo intermitente, y por último según el objetivo del tratamiento (Von Sperling, 2007c). A su vez existen modificaciones del proceso que buscan beneficios operacionales, tales como el incremento de la carga orgánica de entrada, alcanzar la remoción adicional de nutrientes y permitir la variación del flujo del sistema; ajustes a determinadas características del sitio y beneficios económicos y de mantenimiento (Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2014).

En el caso de la PTAR de Monserrat, se cuenta con la modalidad de lodos activados mediante el uso de reactores de flujo discontinuo secuencial (SBR, por sus siglas en ingles). El mismo consiste en una modificación comúnmente empleada y se clasifica como un sistema de flujo intermitente. En este caso, las fases de tratamiento del agua residual se producen a lo largo de un período de tiempo definido llamado ciclo, que una vez finalizado se vuelve a repetir de forma sistemática. Cada ciclo comprende una serie de fases que se suceden en el tiempo, según las características del tratamiento (Cárdenas, Yabroudi, & Benítez, 2012).

El SBR se basa en la secuencia de ciclos de llenado-vaciado alternados y todas las etapas del proceso se llevan a cabo en un reactor de mezcla completa. El líquido mezcla permanece en el interior del reactor durante todos los ciclos, lo cual permite evitar la necesidad de disponer de tanques de sedimentación secundaria (Metcalf & Eddy, 1996). Para optimizar el desempeño del sistema se utilizan dos o más reactores secuenciales (U.S.

Epa, 1999) y se usa particularmente en zonas con patrones de flujos bajos o variantes (Poltak, 2005).

Las principales ventajas del sistema son su flexibilidad y su eficiencia. En este se han observado tasas más altas de crecimiento microbiano, y por tanto una oxidación más rápida de la materia orgánica. La clarificación también tiende a ser más rápida debido a las condiciones estáticas de sedimentación (durante esta fase no hay corrientes de entrada o de salida, o equipo de extracción de lodos en movimiento) (Henry & Gary, 1999)

Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un sistema convencional, tales como la aireación y la sedimentación. A diferencia de este, en el SBR, los procesos se llevan a cabo secuencialmente en el mismo tanque. En general consta de cinco etapas: (1) llenado, (2) reacción (aireación), (3) sedimentación (clarificación), (4) extracción (vaciado por decantación) y (5) fase inactiva (las anteriores etapas pueden ser alteradas según aplicaciones operacionales) (Poltak, 2005). En el cuadro 2.1, se describen cada una de las fases y en la figura 2.2 se describe el esquema típico de un sistema de lodos activados mediante el uso de SBR.

Cuadro 2. 2. Descripción de las diferentes fases de funcionamiento de un reactor discontinuo secuencial

<i>Fase de funcionamiento</i>	<i>Descripción</i>
Llenado	El objetivo de esta fase es la adición de sustrato (agua residual) al reactor. Esta fase permite que el nivel del líquido en el depósito ascienda desde cerca del 25% de su capacidad (al final de la fase inactiva) al 100%. Este proceso suele llevar aproximadamente el 25% de la duración total del ciclo.
Reacción	El propósito de esta fase es que se completen las reacciones iniciadas durante la fase de llenado. Constituye un 35% de la duración total del ciclo.
Sedimentación	El objetivo de esta fase es permitir la separación de sólidos, para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente. En un reactor de este tipo, este proceso suele ser mucho más eficiente que en un reactor de flujo continuo debido a que el contenido del reactor está completamente en reposo.

Vaciado	Busca la extracción del agua clarificada del reactor. Se emplean métodos de decantación, siendo los más utilizados los vertederos flotantes o ajustables. El tiempo que se dedica al vaciado del reactor varía entre el 20 y 50% de la duración total del ciclo (duración típica de 45 minutos).
Fase inactiva	Su objetivo es permitir que el reactor termine su fase de llenado antes de conectar otra unidad. No es una fase necesaria, en algunos casos se omite

NOTA: La purga de lodos suele tener lugar durante la fase de sedimentación o fase inactiva, aunque puede llevarse a cabo durante cualquier fase, dependiendo del modo de operación.

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 1996).

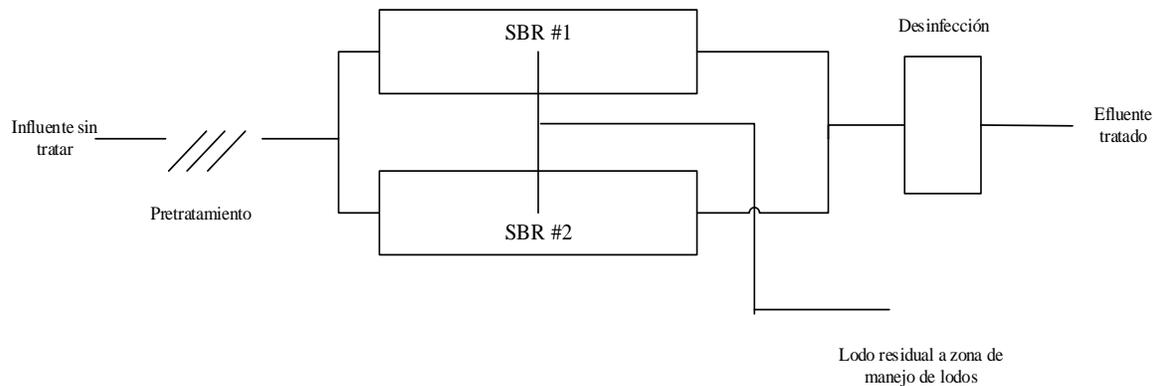


Figura 2. 2. Esquema típico de tratamiento con reactor de flujo discontinuo secuencial (SBR)

Fuente: Adaptado de (Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2014)

Una característica única de los SBR es que no es necesario disponer de un retorno del lodo activado. Dado que tanto la aireación como la decantación tienen lugar en el mismo tanque no se pierde cantidad de lodo en la fase de reacción (Metcalf & Eddy, 1996). Es importante a su vez conocer que existen modificaciones al proceso básico antes mencionado, donde por ejemplo se ha visto ventajoso el mezclar, airear, o realizar ambos procesos en la etapa de llenado del tanque (Woodard & Curran, 2006a).

Como ya se mencionó anteriormente, el sistema SBR permite la remoción de nutrientes, siendo los más comunes el fósforo (P) y el nitrógeno (N). Esta remoción conjunta con la materia orgánica se logra con la incorporación de etapas anaeróbicas en la fase de reacción. Con la introducción de la fase anaerobia se produce la liberación de fósforo por parte de los

microorganismos; en la fase aerobia tiene lugar la nitrificación, consumo de oxígeno y de fósforo; mientras que la desnitrificación ocurre en la siguiente fase anóxica (con solo presencia de oxígeno combinado) (Paredes & Ramos, 2014).

A su vez, el sistema no requiere de un tratamiento primario, tal como un sedimentador, a menos de que los sólidos suspendidos totales (SST) o la demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual sean mayores a 400 mg/L y 500 mg/L respectivamente (U.S. Epa, 1999).

2.4. Diseño y operación de PTAR's de lodos activados

En la práctica, los sistemas de tratamiento no operan bajo condiciones que se mantienen estáticas a través del tiempo, siendo la situación normal que tanto el flujo como la carga orgánica de entrada varíen significativamente a través del día. En el caso de aguas municipales, aproximadamente la mitad de la carga de entrada se produce en tan solo 4 horas del día (de 08:00 a 12:00), lo cual hace que la PTAR sufra variaciones en su carga orgánica e hidráulica (Van Haandel & Ven der Lubbe, 2012).

Cabe destacar que variaciones en las características del agua residual de entrada (fluctuaciones de pH, temperatura, nutrientes), problemas de diseño (limitaciones en la capacidad de aireación, mezcla y retorno de lodos), operación y mantenimiento de la planta pueden ocasionar complicaciones en la depuración de las aguas (Cervantes, Pavlostathis, & Haandel, 2006). Los problemas más frecuentes asociados a este tipo de tratamiento son el lodo voluminoso (bulking), el lodo ascendente y la espuma *Nocardia* (Metcalf & Eddy, 1996).

El bulking se caracteriza por la existencia de pobre capacidad de sedimentabilidad y escasa compactibilidad en los flóculos formados, se debe en su mayoría al crecimiento de organismos filamentosos o que crecen de forma filamentosa en condiciones adversas. El lodo ascendente consiste en la formación de un lodo con buena sedimentabilidad que flota o asciende a la superficie por causa de la desnitrificación. En cuanto a la espuma *Nocardia*, esta se asocia a la presencia de un organismo filamentosos de la familia *Nocardia* y consiste

en la formación de una espuma viscosa, marrón, que cubre los tanques de aireación y sedimentadores secundarios lo que ocasiona efluentes de baja calidad y malos olores (Metcalf & Eddy, 1996).

En la operación de una PTAR de lodos activados el proceso de aireación constituye aproximadamente del 60 al 80% de la energía total consumida en el sistema (Hreiz, Latifi, & Roche, 2015). Sumado a esto los costos aumentan al mantenerse una concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación por encima del valor recomendado, siendo una práctica común al buscar la buena calidad del efluente. Dado que los perfiles de una aireación óptima trabajan con el mínimo necesario para llevar a cabo el proceso de tratamiento y satisfacer las limitaciones, un aumento máximo del 30% en estos perfiles es suficiente como factor de seguridad y se ha demostrado que puede mejorar la respuesta dinámica del proceso hacia eventos transitorios (Ozturk et al., 2015).

En cuanto a diseño de sistemas de lodos activados, entre los parámetros más importantes a tomar en cuenta son la edad del lodo (indicador de retención celular), el tiempo medio de retención hidráulico (TRH) y la proporción entre la comida y los microorganismos presentes en el sistema (relación F/M) (Orhon et al., 2009).

El tiempo de retención celular (TRC), también conocido como Edad del Lodo (EL) o Tiempo de Retención de Sólidos (TRS) se define como el tiempo promedio en que las partículas de biomasa permanecen en el reactor antes de ser retiradas (State of Michigan Department of Environmental Quality, n.d.)(Orozco, 2005). Determina en gran parte la bioquímica del proceso, al depender de este el tipo de microorganismos presentes en el reactor (Von Sperling, 2007b); además, determina su volumen, la producción de lodos, requerimientos energéticos asociados con la aireación y disponibilidad de alimento, por lo que se considera también un parámetro nutricional (Metcalf & Eddy, 1996). El valor recomendado se encuentra entre los 4 y 15 días y se controla a través de la purga de lodos en exceso (Osorio & Rodriguez, 2014).

Una alta edad del lodo se relaciona con la operación del sistema bajo una población de microorganismos excesiva, lo que ocasiona que la DBO del influente sea consumida y los

organismos que se encuentran en el licor de mezcla ingresen al proceso de respiración endógena. A medida que la población envejece, los organismos se vuelven más complejos y más grandes por lo que son capaces de competir por el alimento que queda disponible. En esta fase la concentración de microorganismos es muy alta, sin embargo la producción de lodo disminuye significativamente. De igual forma los procesos anteriores disminuyen el consumo de oxígeno en el reactor (State of Michigan Department of Environmental Quality, n.d.).

La relación alimento/microorganismo (F/M) se define como la carga de alimento suministrado por día por unidad de biomasa en el reactor. Mientras que el tiempo de retención hidráulico es el tiempo promedio que el agua residual permanece en un tanque, desde la entrada hasta la salida. Es decir, define el tiempo promedio durante el cual el sustrato orgánico es sometido a tratamiento (Orozco, 2005).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el diagnóstico técnico de la planta de tratamiento se evaluaron los parámetros de diseño, operación y mantenimiento del sistema actual. Una vez finalizada esta etapa se procedió con la identificación y propuesta de mejoras.

3.1. Lugar de estudio

El proyecto se llevó a cabo en la PTAR del residencial Monserrat ubicado en la provincia de Cartago, en el cantón de La Unión, distrito de Concepción de Tres Ríos.

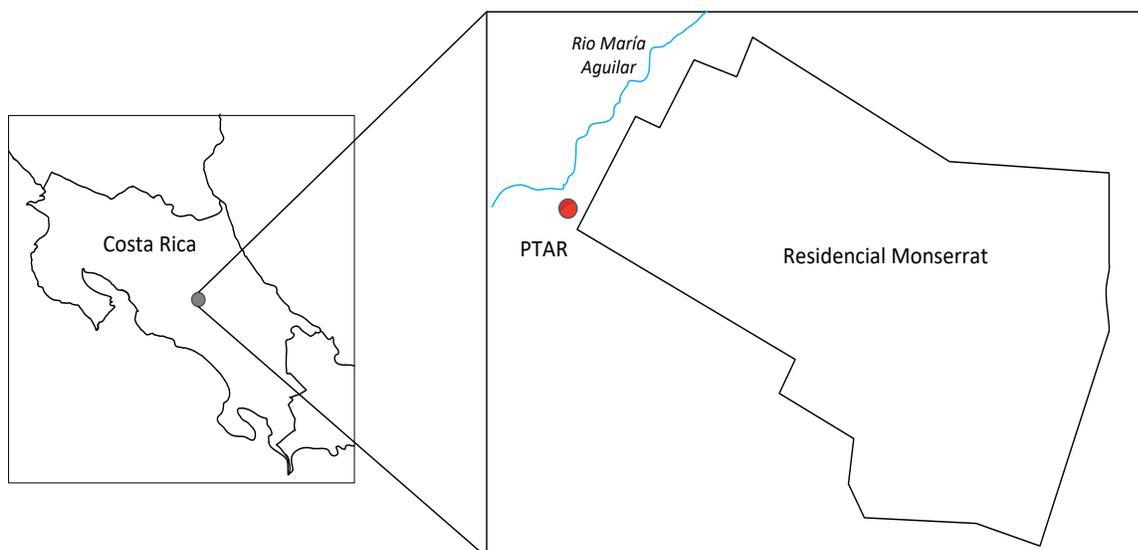


Figura 3. 1. Localización del residencial Monserrat

3.2. Evaluación preliminar de la PTAR

Se realizó una evaluación preliminar del sistema donde se analizaron las condiciones de operación y mantenimiento. Se incluyeron prácticas realizadas por el operador, recopiladas mediante las visitas hechas a la PTAR. A su vez se solicitaron documentos como lo son reportes operacionales, manual de operación y mantenimiento, así como la bitácora, con el fin de conocer las condiciones actuales del sistema, la caracterización de la PTAR y del agua por tratar.

Una vez obtenida esta información se procedió a realizar el estudio de los documentos con el fin de determinar la calidad histórica del efluente e identificar posibles problemas en el sistema de tratamiento según variaciones en indicadores de la eficiencia del proceso.

Posteriormente se realizó un monitoreo de la PTAR mediante la determinación tanto de indicadores visuales como físico-químicos en las diferentes etapas del sistema.

Para la determinación de indicadores visuales se utilizó la “*Lista de verificación del estado actual de una PTAR de lodos activados*” (ver Apéndice 3), la cual incluye los parámetros visuales esenciales en evaluación de infraestructura y proceso de un sistema de lodos activados, tomando como referencia lo estipulado por Metcalf y Eddy, (1996).

Para la determinación de indicadores físico-químicos de importancia, se realizaron análisis de distintos parámetros en las etapas de tratamiento que se enuncian en el cuadro 3.1.

Para la caracterización del influente se realizó un muestreo compuesto de 4 horas (6:30 am a 10:30 am) el día 27 de octubre del 2015, lo anterior debido a que después de las 10:30 am, por problemas con el flujo del AR, no se pudo seguir con el procedimiento recomendado. El análisis de los parámetros físico-químicos de las muestras de agua se realizó en las instalaciones de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental y el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos del Tecnológico de Costa Rica (CEQIATEC), siguiendo los procedimientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW)-Ed. 22. De igual forma se realizaron análisis de fósforo y nitrógeno total en muestras de agua obtenidas mediante un muestreo compuesto de 2 horas cada 20 minutos (6:30 am a 8:30 am) el día 22 de marzo del 2016. Esto fue realizado por Laboratorios Químicos LAMBDA (ver Anexo 1).

Para el estudio de los indicadores físico-químicos en las etapas restantes se realizó un muestreo compuesto de 6.5 horas el día 04 de noviembre del 2015, el mismo se llevó a cabo en la fase de reacción de cada ciclo así como en la fase del vaciado del agua tratada.

Los respectivos análisis se elaboraron en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Ambiental y el CEQIATEC siguiendo las metodologías establecidas por el SMEWW.

Cuadro 3. 1. Parámetros evaluados por etapa de tratamiento

<i>Etapa de tratamiento</i>	<i>Parámetros</i>	<i>Método de Análisis**</i>
Influyente	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	5210 B
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5220 B
	Grasas y aceites	5520 B
	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	5540 C
	Temperatura	2550 B
	pH	4500-H ⁺ B
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	2540 D
	Sólidos Sedimentables	2540 F
	Fósforo y Nitrógeno Total	4500 N-B / 4500 P-E
Fase de reacción (Licor de mezcla)	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5220 B
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	5210 B
	Sólidos Suspendidos Totales (SSLM)	2540 D
	Sólidos Suspendidos Volátiles (SSVLM)	2540 E
	Oxígeno Disuelto (OD)	5240-G
Fase de vaciado	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5220 B
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	5210 B
	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	5540 C
	Temperatura	2550 B
	Grasas y aceites	5520 B
	pH	4500-H ⁺ B
	Sólidos sedimentables	2540 F
	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	2540 D
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)	2540 E	

** (American Public Health Association, 2012)

El análisis de la concentración de oxígeno disuelto en los tanques de aireación se realizó mediante la medición en el sitio el día 13 de mayo del 2016, con un equipo medidor de oxígeno disuelto marca EcoSense modelo DO200A. El mismo fue calibrado para una altitud de 1350 m.s.n.m., como promedio del distrito de Concepción.

Una vez llena la Lista de Verificación y teniendo los resultados de la evaluación analítica del sistema, se procedió a la evaluación del dimensionamiento de la planta de tratamiento con base en los criterios de diseño utilizados mediante una comparación con los parámetros teóricos y de diseño recomendados según la teoría.

Se desarrolló una hoja de cálculo utilizando el programa Microsoft Excel para el redimensionamiento de las etapas del sistema, donde se programaron las fórmulas, los parámetros de diseño necesarios, así como las variables de diseño. La metodología utilizada se detalla en el Apéndice 4 del presente informe. Para asegurar que los resultados obtenidos a partir del uso de la herramienta de cálculo fueran correctos, se validó tomando como referencia el libro *“Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors, Volume 5”* de Von Sperling (2007) para el dimensionamiento del sistema de Reactores de Flujo Discontinuo Secuencial.

3.3. Identificación y análisis de propuestas de mejora

Finalizado el diagnóstico preliminar se identificaron los puntos de mejora en la PTAR y se propusieron alternativas de mejora. Lo anterior mediante consulta a expertos en el tema y revisión bibliográfica.

3.4. Elaboración del manual de operación y mantenimiento

Con base en el diagnóstico preliminar y la identificación y propuesta de mejoras se elaboró un manual de operación y mantenimiento para la PTAR, que incluye aspectos fundamentales de mejora para el adecuado control de los procesos del sistema de lodos activados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos según cada objetivo planteado. Se realiza el análisis de la evaluación preliminar técnico/operativa del sistema y se compara con lo recomendado por la teoría. De igual forma se identifican oportunidades de mejora y se realizan propuestas que buscan la optimización de los procesos.

4.1. Descripción general de la PTAR en estudio

La Municipalidad de La Unión de Tres Ríos es el ente responsable directo de la operación del sistema de tratamiento ubicado en la cuarta etapa de la urbanización de Monserrat, la misma consiste en un complejo habitacional de aproximadamente 813 casas que, según información dada por la institución, se encuentran conectadas a la PTAR.

Es importante destacar que al momento de la construcción y puesta en marcha del sistema (año 2008), la etapa de construcción de la urbanización no estaba finalizada por lo que se sospecha, de acuerdo con lo indicado por el Sr. Luis Miranda (encargado directo de la PTAR), que se otorgaron permisos para que casas no previstas en el caudal de diseño conectaran sus AR, aumentando así el caudal de entrada (L. Miranda, comunicación personal, 14 de octubre 2015).

Según el Manual de Operación y Mantenimiento, el caudal de diseño es de 508 m³/día, mismo que se ha incrementado con el paso del tiempo. Para el número de viviendas cuyas aguas son tratadas en la actualidad y tomando la dotación promedio para Costa Rica, de 250 litros por habitante día, con un promedio de 4 habitantes por vivienda, y un factor de recuperación del 80%, según la Reglamentación Técnica para Diseño y Construcción de Urbanizaciones, Condominios y Fraccionamientos del AyA, se asume el ingreso de un caudal promedio de 652,8 m³/día.

Es importante mencionar que la PTAR fue diseñada con tan solo dos tanques de aireación, agregándose un tercer reactor, en el año 2015, cuando la Municipalidad tomó la operación de la planta.

La unidad de tratamiento de Monserrat trabaja bajo un sistema biológico aerobio que cuenta con las debidas etapas de pretratamiento, tratamiento secundario, y un tratamiento de lodos. En el cuadro 4.1 se muestra la distribución actual de las etapas de tratamiento y en el Apéndice 1 se ejemplifican los componentes del sistema y su distribución en el sitio.

Cuadro 4. 1. Descripción de las etapas de tratamiento de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos

<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>
Pretratamiento y tanque equalizador	Sistema de cribado inicial que garantiza la separación de sólidos gruesos y un sistema desarenador que funciona como un tratamiento preparatorio de flotantes. Posteriormente posee un tanque equalizador cuya función es minimizar las fluctuaciones de carga orgánica y uniformar el flujo del AR.
Tratamiento primario y secundario	El reactor biológico es el encargado de realizar estas etapas de tratamiento en el sistema de SBR, actualmente posee tres tanques, ambos procesos se llevan a cabo en el mismo reactor en un ciclo aproximado de 3.0 horas. Los tres tanques poseen un bioselector al ingreso, en donde se recircula una cantidad de lodo activado al agua cruda con el fin de que el contacto entre los microorganismos y la carga orgánica inicie desde antes de la fase de reacción.
Lechos de secado	El tratamiento de los lodos provenientes de la purga del sistema se lleva a cabo en lechos de secado.

Fuente: (Municipalidad de La Unión, 2008)

La configuración de un ciclo típico de aireación, según información brindada por la Municipalidad, corresponde a 90 minutos completos de llenado-aireación (se alternan 20 minutos aireados y 10 minutos de reposo), 45 minutos de sedimentación y 45 minutos en vaciado. Sin embargo, durante las visitas realizadas se notó que los ciclos no cumplen con esta programación, donde en la mayoría de ocasiones no se cumplen los 20 minutos de aireación en la primera fase. El período de tiempo destinado para cada etapa de tratamiento en un ciclo completo se denota en el cuadro a continuación.

Cuadro 4. 2. Duración por etapas de un ciclo típico del sistema de tratamiento de Monserrat, Tres Ríos

<i>Etapa</i>	<i>Duración (horas)</i>
Llenado / Reacción	1,5
Sedimentación	0,7
Decantado	0,7
Total	3

Fuente: (Municipalidad de La Unión, 2008)

4.2. Evaluación de la PTAR

4.2.1. Evaluación preliminar

4.2.1.1. Reportes operacionales

Con el objetivo de evaluar el comportamiento histórico de la planta y el sistema en términos de la calidad del efluente, se solicitaron los reportes operacionales de los últimos años, específicamente la información correspondiente a los años 2014 y 2015. Los datos correspondientes al año 2015 no se incluyen en el presente informe debido a que la Municipalidad no pudo brindar dicha información.

Cuadro 4. 3. Valores obtenidos según reportes operacionales de la PTAR de la urbanización Monserrat para el año 2014.

<i>Parámetro</i>	<i>Primer trimestre</i>	<i>Segundo trimestre</i>	<i>Tercer trimestre</i>	<i>Cuarto trimestre</i>	<i>Límite máx. permisible efluente**</i>
Monitoreo por el ente generador					
Caudal promedio (± 36,3 m ³ /día)	355,0	320,0	339,0	388,0	N/A
Caudal máximo (± 36,3 m ³ /día)	481,0	463,0	412,0	447,0	N/A
pH (± 0,13)	7,08	7,47	7,94	7,93	5 a 9
Sólidos sedimentables (± 0,10 ml/l)	0,54	0,59	0,57	0,51	1
Temperatura (±	22,50	24,94	23,54	22,81	15 a 40

0,63 °C)					
Análisis físico-químicos y microbiológicos (Laboratorio Nacional de Aguas)					
DBO (± 10 mg/L)	20	25	41	41	50
DQO (± 8 mg/L)	44	59	117	117	150
pH ($\pm 0,10$)	6,87	6,75	7,27	7,27	5 a 9
Temperatura ($\pm 0,1^\circ\text{C}$)	26,2	24,0	25,0	25,0	15 a 40
SST ($\pm 1,0$ mg/L)	14,0	39,0	41,0	41,0	50
Sólidos sedimentables ($\pm 0,1$ ml/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	
Grasas y aceites ($\pm 0,5$ mg/L)	9,3	5,2	6,2	6,2	30
Sustancias activas al azul de metileno ($\pm 0,4$ mg/L)	4,4	2,6	4,8	4,8	5

Fuente: (Municipalidad de La Unión, 2015)

**(*Ministerio de Salud, 2007*)

El cuadro anterior denota que para el período en cuestión los parámetros del agua tratada cumplen con lo estipulado en el Decreto Ejecutivo 33601-MINAE-S. Sin embargo, es importante mencionar que, en este caso en específico, por la configuración de la PTAR el tipo de muestreo debe ser distinto al de una unidad de flujo continuo.

Según lo estipulado en los reportes, los muestreos se realizan a la salida del sistema cada 30 minutos por unas dos horas aproximadas. Dado que un ciclo típico de tratamiento dura aproximadamente 3 horas y no todos los tanques realizan el ciclo al mismo tiempo, se considera más representativo realizar un muestreo en la fase de vaciado de cada tanque por separado, lo que daría información más significativa del estado real del vertido de los tres reactores de la PTAR.

De igual forma el parámetro de SAAM es el que más se acerca al límite máximo permisible, estando por debajo en un 4%. Este análisis es un indicador de la presencia de

sustancias tenso-activas en el agua, que provienen del uso de detergentes y otros productos de limpieza. Los efectos causados por su alto contenido en los cuerpos receptores de agua derivan en formación de espuma, la toxicidad de los surfactantes contenidos (que representan un serio peligro a la vida acuática) y el contenido de fosfatos que propicia el crecimiento desmesurado de la flora acuática (Estados Unidos Mexicanos, 2001).

Se detalla en los reportes operacionales un caudal máximo diario medido por el ente generador de aguas de 447 m³/día, y un caudal de diseño para la planta de 723 m³/día. Estos resultados que se reportan no concuerdan con los datos suministrados por la Municipalidad para el presente estudio, donde el Manual de Operación reporta un caudal de diseño de 508 m³/día. A su vez los encargados carecen de información acerca de dichas mediciones de caudal de ingreso estipuladas en los reportes, ni de la metodología de medición utilizada.

4.2.1.2. Análisis de Indicadores

- Condiciones actuales e indicadores visuales

Con el fin de conocer las condiciones actuales de la PTAR, entre el período de octubre y noviembre del 2015, se aplicó la Lista de Verificación que incluye parámetros visuales, de infraestructura, operación y mantenimiento del sistema (ver Apéndice 3). Con base en esta lista se determinaron los aspectos relevantes observados durante las visitas al sitio y se elaboró un cuadro resumen de fortalezas y debilidades encontradas durante la revisión, con el fin de calificar la situación actual por etapa según su existencia, desempeño, eficiencia y/u operación (ver Cuadro 4.6). El número 1 corresponde a los requisitos que se encuentran presentes y su desempeño, eficiencia y/u operación es adecuado; el 2 se refiere a aquellos que están presentes pero hay hallazgos mayores; y el 3 a requisitos inexistentes en el sitio.

Cuadro 4. 4. Resumen de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos, Cartago

<i>Etapa</i>	<i>Requisitos óptimos</i>	<i>Situación Actual</i>
Influyente	Existe un control de las características del AR de entrada a la planta	3
Pretratamiento	Posee elemento para medición de caudal a la entrada	2
	Evita sobrecargas hidráulicas en el proceso de tratamiento	1

	Remoción de arenas, sustancias sólidas sedimentables y demás compuestos inorgánicos.	1
	Remoción de sólidos de tamaño medio y grueso	1
	Rejillas e infraestructura en buen estado	1
	Adecuada disposición de los residuos sólidos producto del cribado	3
	Tanque de equalización evita sobrecargas en el proceso de tratamiento	3
	Infraestructura del tanque de equalización en buen estado	1
Reactores SBR	Color del licor de mezcla se encuentra entre el café claro y café oscuro	1
	El licor de mezcla posee un olor a tierra mojada	1
	No hay presencia de natas ni espumas sobre el reactor	3
	Flóculos formados poseen buenas propiedades de sedimentabilidad	1
	Se observa mezclado uniforme en el reactor con nivel de turbulencia media	3
	Se observa una distribución de aire homogénea a nivel del reactor	3
	No hay crecimiento excesivo de algas	1
Manejo de lodos	Deshidratación de lodos con el objetivo de obtener un lodo seco y sin olor apreciable	3
	Uso de lodos como compostaje	3
	Apropiado manejo de los lodos	2
Operación y mantenimiento	Se toman muestras en los puntos de control	2
	Se cuenta con memoria de cálculo	3
	Se posee manual de operación y mantenimiento	1
	Se poseen especificaciones técnicas de la PTAR	3
	Se posee bitácora de operación y mantenimiento.	2

Escala de evaluación:

Está presente y el desempeño, eficiencia y/u operación es adecuado: 1

Está presente pero hay hallazgos mayores en el diseño, eficiencia y/u operación: 2

No existe en el sitio: 3

- Caracterización del agua residual de entrada a la planta

Es necesario contar con una caracterización de las aguas residuales que ingresan a la PTAR, esto con el fin de conocer el perfil físico-químico de las mismas. Debido a que la planta fue diseñada con el fin de tratar aguas residuales ordinarias y al ser un sistema de tratamiento biológico, es importante identificar variaciones que puedan ocasionar el vertido de aguas residuales especiales y que afecten el proceso de lodos activados.

Según información brindada por la Municipalidad de La Unión no se cuenta con una caracterización de las aguas de entrada al sistema, por este motivo, se realizaron análisis físico-químicos con el fin de obtener una caracterización completa del influente el cual se presenta en el Cuadro 4.5.

Cuadro 4. 5. Caracterización del agua residual de entrada a la PTAR de la comunidad de Monserrat.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor obtenido</i>	<i>Valor típico**</i>		
		<i>Débil</i>	<i>Medio</i>	<i>Fuerte</i>
DBO ₅ (±16 mg/L)	216 mg/L	110	220	400
DQO (± 18 mg/L)	455 mg/L	250	500	1000
SST (± 1 mg/L)	132 mg/L	100	220	350
SSV (± 1 mg/L)	114 mg/L	80	165	275
SSed (± 0,05 ml/L)	1,50 mg/L	5	10	20
Ph (±0,01)	8,69	N/A	N/A	N/A
T (±0,1 °C)	23,4 °C	N/A	N/A	N/A
GyA (±0,5 mg/L)	110,0 mg/L	50	100	150
SAAM (± 0,4 mg/L)	13,0 mg/L	N/A	N/A	N/A
Fósforo Total (±0,1 mg/L)	4,8 mg/L	4	8	15
Nitrógeno Total (±1 mg/L)	47 mg/L	20	40	85

**(*Metcalf & Eddy, 1996*)

De acuerdo con los resultados obtenidos, las características del influente se encuentran dentro del rango establecido por la teoría para aguas residuales domésticas, clasificándose como un AR con grado de contaminación medio. A su vez, se descarta la presencia significativa del ingreso de aguas residuales de tipo especial al alcantarillado sanitario.

Como se mencionó anteriormente, los requerimientos nutricionales de la biomasa tienen un impacto significativo en la operación y desempeño de un sistema de lodos activados (Orhon et al., 2009), como norma general, se establece una concentración óptima de nutrientes que siga la relación DBO: nitrógeno: fósforo de 100:5:1.

Siguiendo la relación óptima de nutrientes, para las condiciones actuales del sistema, se requiere de una concentración de nitrógeno y fósforo de 10,8 mg/L y 2,16 mg/L respectivamente. Como evidencia en el cuadro 4.5 se nota una concentración que excede lo recomendado; sin embargo, tomando en cuenta los valores teóricos de la concentración media de dichos nutrientes en aguas residuales domésticas, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango típico esperado.

La configuración alternada en los 90 minutos de la fase de reacción de la PTAR, incorpora etapas anaeróbicas con el objetivo de disminuir la cantidad de fósforo y nitrógeno presente en el AR. En la fase anaeróbica se produce la liberación de fósforo por parte de los microorganismos, donde se da la nitrificación, consumo de oxígeno y de fósforo, mientras que la desnitrificación ocurre en la fase anóxica (Paredes & Ramos, 2014).

Cabe destacar que la presencia de altas concentraciones de fósforo y nitrógeno en el agua residual, en forma de fosfatos y nitritos, favorece la eutrofización de los cuerpos receptores; fenómeno que consiste en un desarrollo excesivo de algas y plantas acuáticas que disminuyen las concentraciones del oxígeno disuelto disponible (Osorio & Rodriguez, 2014).

- Indicadores físico-químicos por unidad de tratamiento

En el cuadro 4.6 se presentan los resultados de la determinación de los parámetros físico-químicos por unidad de tratamiento del sistema.

Cuadro 4. 6. Resultados de los indicadores analíticos por etapa de tratamiento para la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.

Parámetro	Límite máx. permisible efluente*	Valor obtenido					
		Fase de reacción / Licor de Mezcla			Fase de vaciado		
		Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3
DBO ₅	50	75,69± 6,60 mg/L	92,48± 8,08 mg/L	120,44 ± 10,52 mg/L	<10 ± 0,5 mg/L	<10 ± 0,5 mg/L	<10 ± 0,5 mg/L
DQO	150	1182,71 ± 317,54 mg/L	1247,13 ± 316,35 mg/L	731,68 ± 327,36 mg/L	155,7815 ± 14,521 mg/L	134,841 ± 14,736 mg/L	60,746 ± 15,845 mg/L
SS (± 1 mg/L)	50	7120	8765	2085	0	0	0
SSV (± 1 mg/L)	N/A	6130	7500	2085	0	0	0
SSed (± 0,05 mL/L)	1	325	400	190	0	0	0
pH(± 0,01)	5 a 9	7,21	7,20	7,54	7,68	7,16	7,29
T (± 0,1 °C)	15 a 40	22,5	22,3	22,9	23,3	22,8	23,9
GyA (± 0,5 mg/L)	30	ND	ND	ND	14	<10	11
SAAM (± 0,4)	5	ND	ND	ND	10	0,4	0,2

NA: No Aplica / ND: No Determinado

*(Ministerio de Salud, 2007)

Los resultados obtenidos en las muestras correspondientes a la fase de vaciado en su mayoría cumplen con el límite máximo permisible establecido por el reglamento, a excepción del tanque 1 donde la concentración de DQO excede en un 4% el límite y las SAAM en un 50%.

Es conocido que los distintos tipos de tratamiento se clasifican según el grado de tratamiento obtenido, donde se considera primario aquel con reducciones de DBO₅ hasta el 50 % y secundario cuando supera el 80% de remoción (Orozco, 2005). El uso de un sistema de flujo discontinuo secuencial no requiere de un tratamiento primario, a excepción de que se tenga una concentración de SST en el influente superior a los 400 mg/L. Se evidencia en los resultados obtenidos y la caracterización del influente, una eficiencia de remoción de DBO₅ de un 95% para el caso de los tres tanques (ver sección A.2.1 del Apéndice 2), siendo la máxima eficiencia de remoción esperada por la teoría, donde se indica, que para procesos en buenas condiciones debe estar entre el 85 % y el 95 % (Von Sperling, 2007c).

De igual forma, el tanque 3 es el que presenta una mayor eficiencia de remoción de contaminantes, siendo su porcentaje para los parámetros de DQO y SST de 86,6% y 100% respectivamente.

A pesar de lo anteriormente expuesto, es necesario un estudio más profundo del comportamiento de los procesos en los tres tanques. Los resultados obtenidos del estudio del efluente son producto del muestreo del AR de salida en la altura media de la compuerta que vacía el efluente. Sin embargo, por la distribución del sistema se considera que el AR que se vierte una vez iniciada la fase de vaciado – en la altura máxima del tanque - no posee la misma composición ni concentración de sólidos suspendidos que la que se vierte finalizando la etapa – en la altura mínima del tanque -, considerándose una composición variable a lo largo de la fase de vaciado cuya concentración de sólidos y por consiguiente de materia orgánica va en aumento. Lo anterior va a depender de la eficacia de sedimentación de los flóculos formados y la configuración del sistema mecánico de la compuerta de vaciado, específicamente la velocidad y duración de la etapa de vaciado del tanque que pueda ocasionar la suspensión del material ya sedimentado.

Con base en el cuadro 4.6, se denota un aumento de la carga orgánica del sistema (DQO, DBO₅) en el licor mixto, donde inician las fases de oxidación biológica, para una posterior disminución de los distintos parámetros en la fase de decantado, donde ya se dio la fase de separación sólido-líquido, es decir la sedimentación de los flóculos formados durante el proceso.

Según indica Von Sperling, (2007) debe de existir un equilibrio entre la carga orgánica por eliminar y la cantidad de microorganismos necesarios para eliminar dicha carga. Esta concentración de microorganismos se determina con base en el nivel de sólidos suspendidos volátiles presentes en licor de mezcla (SSVLM), siendo el valor recomendado por la teoría de 1500 mg/L a 3500 mg/L. En el caso de la concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla se recomiendan los valores de 2000 mg/L a 5000 mg/L (Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2014).

Comparando los resultados obtenidos de la concentración de sólidos en los reactores con los teóricos, se evidencia una concentración que sobrepasa los valores recomendados, para el caso de los tanques 1 y 2. En el caso del tanque 1, se obtiene una concentración de SSLM un 42 % mayor así como en el caso de los SSVLM de un 75 %. Con respecto al tanque 2 se denota una concentración de SSLM y SSVLM que excede lo recomendado en un 75 % y 114 % respectivamente.

4.2.2. Análisis de la evaluación preliminar

A partir de la información que se encuentra detallada en la sección anterior, específicamente en el cuadro 4.6, se procede al análisis de cada uno de los factores que poseen una calificación de 2 y 3, siendo los parámetros que, según la revisión inicial del sistema, deben de ser evaluados con mayor detalle y se deben de intervenir. A su vez, se analizan y relacionan las problemáticas encontradas según los resultados analíticos del sistema, y los parámetros de operación, mantenimiento y diseño recomendados.

4.2.2.1. INFLUENTE Y PRETRATAMIENTO DE LA PTAR

Con respecto al control de las propiedades del agua residual de entrada a la PTAR, se carece de una caracterización completa de las mismas, punto que se discute en secciones anteriores. De igual forma, a pesar de que en el sistema de pretratamiento se cuenta con la instalación de un vertedero triangular, cuya función es la medición del caudal de ingreso a la planta, se carece de un histórico de datos de este parámetro en específico debido a que no es utilizado en la operación de la unidad de tratamiento.

La etapa de pretratamiento consiste en un desarenador, un sistema de cribado con tres láminas de rejillas y un vertedero triangular para la medición del caudal (ver figura 4.1). Con base en la lista de verificación, y el estudio de los distintos indicadores del sistema en secciones anteriores, la unidad de tratamiento cumple con los requisitos óptimos de remoción de sólidos medios y gruesos; de igual forma, mediante la inspección visual no se identificó mayor problema en su operación y mantenimiento. Con respecto a la limpieza y mantenimiento de las rejillas se realiza según lo recomendado, sin embargo no existe una adecuada disposición de los residuos sólidos producto del cribado, los cuales son recolectados en un carrito y depositados en un agujero descubierto en el suelo de la parte trasera del lote donde se ubica la PTAR.



Figura 4. 1. Unidad de pretratamiento de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos

Posterior a la etapa del pretratamiento se cuenta con un tanque ecualizador enterrado (ver figura 4.2), cuya función principal es regular y almacenar el agua residual de entrada

mientras se cumplen los ciclos en los reactores. El tanque en la actualidad presenta problemas a nivel de diseño debido a que durante las horas pico de entrada de agua el tanque no da abasto y se rebalsa, haciendo que el flujo de AR se devuelva. De igual forma el canal de entrada no posee un sistema de “by-pass”, lo que hace que el agua inunde el piso de la planta (ver figura 4.3).



Figura 4. 2. Tanque ecualizador de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos



Figura 4. 3. Rebalse de la entrada a la PTAR de Monserrat, Tres Ríos

Con base en el crecimiento del caudal de ingreso a la PTAR, se denota un aumento para la capacidad instalada de la unidad de tratamiento de un 28,5%. De igual forma, según los parámetros de diseño del sistema (ver Apéndice 5), el caudal de diseño consiste en el caudal promedio diario. Como es conocido, el caudal de ingreso a un sistema de tratamiento varía con respecto al tiempo y tiene horas pico en su generación como se detalla en la figura a continuación.

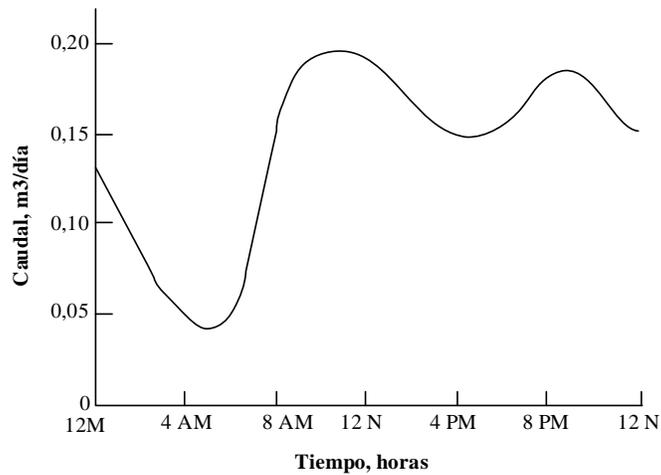


Figura 4. 4. Variación típica de caudal del agua residual de origen doméstico

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 1996)

Por lo anterior, según Metcalf & Eddy, (1996), un sistema de tratamiento se debe diseñar con el caudal máximo (punta) promedio, el cual consiste en el caudal medio diario multiplicado por 12 horas, para el caso en estudio éste sería de $54,4 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Tomando como base dicho caudal, y siguiendo las ecuaciones de diseño estipuladas en el Apéndice 4 se determina que el tanque ecualizador debe de tener una capacidad de $293,76 \text{ m}^3$ (ver metodología y parámetros de diseño en Apéndice 4), que consiste en un aumento de la capacidad instalada de un $270,9 \%$. Las características del tanque ecualizador calculadas son las que se presentan en el cuadro 4.7.

Cuadro 4. 7. Dimensiones del tanque ecualizador propuesto para la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.

Parámetro	Diseño actual	Diseño Recomendado
Volumen del tanque (V_t)	88 m^3	$293,76 \text{ m}^3$
Altura (h)	$4,42 \text{ m}$	$4,00 \text{ m}$
Largo (L)	$6,20 \text{ m}$	$16,30 \text{ m}$

Ancho (A)	3,20 m	4,08 m
-----------	--------	--------

Según la comparación en cuanto a dimensionamiento, el tanque ecualizador actual se encuentra sub-dimensionado y no cuenta con la capacidad necesaria para amortiguar el caudal de ingreso de AR al sistema.

4.2.2.2.REACTORES BIOLÓGICOS

La presencia de espuma en el tanque de aireación es normal en el proceso, normalmente, en una planta bien operada, del 25 % al 10 % de la superficie del tanque de aireación se encuentra cubierta por una capa de espuma liviana de 5 cm a 8 cm (Carlini, 2003). Sin embargo, como resultado de la aplicación de la Lista de verificación de indicadores visuales, se evidencia la presencia de una nata gruesa y densa de color canela de aspecto grasoso que cubre por completo los tres tanques de aireación (ver figura 4.5) lo cual contradice lo esperado en procesos de tratamiento de lodos activados (Von Sperling, 2007b).





Figura 4. 5. Espuma que cubre los tres tanques de aireación

Según Von Sperling (2007), existen dos posibles causas del problema, siendo la primera que el tiempo de retención celular es muy alto y la segunda que puede haber un crecimiento en el lodo de un tipo de microorganismo denominado actinomiceto, siendo el más común la *Nocardia*. Con un tiempo de retención celular alto se promueve su crecimiento y consiste en un organismo filamentosos que flota en la superficie y atrapa otras partículas y burbujas de aire formando una espuma densa y resistente (State of Michigan Department of Environmental Quality, n.d.).

Mediante el cálculo de la edad del lodo se reportaron valores superiores a los esperados, siendo la edad del lodo para el tanque 1 de 53,93 días, para el tanque 2 de 66,39 días, y el tanque 3 de 15,79 días. Lo anterior evidencia un modo de operación del sistema bajo una población de microorganismos excesiva que, de acuerdo con Henry & Gary, (1999), tiende a situarse en la fase de crecimiento endógena.

La figura 4.6, ilustra las fases de crecimiento microbiano en un sistema biológico y cómo la tasa de crecimiento varía de acuerdo al incremento del TRC.

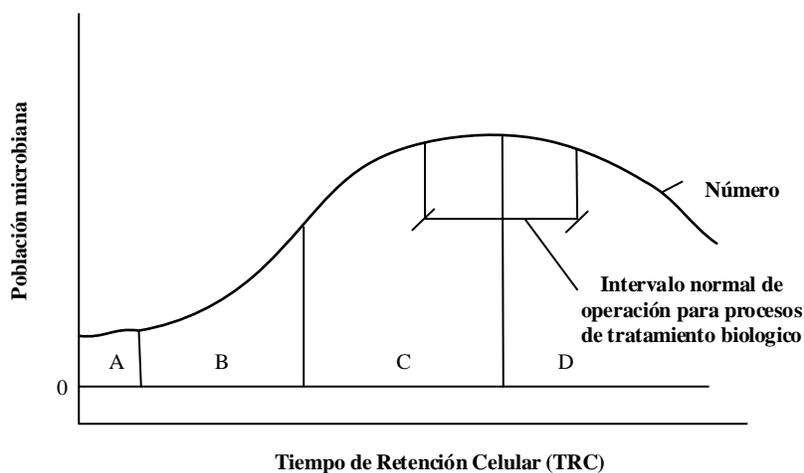


Figura 4. 6. Fases de crecimiento microbiano en un sistema microbiano, donde A (fase de latencia), B (fase de crecimiento logarítmico), C (fase de crecimiento menguante), D (fase endógena)

Fuente: Adaptado de (Henry & Gary, 1999)

En la actualidad no se tiene control estricto sobre la purga de lodos que se realiza en los reactores. Para Von Sperling, (2007) se considera uno de los controles más importantes del proceso dado que mantiene un balance entre los microorganismos en aireación y la cantidad de alimento que ingresa al sistema.

Mediante el cálculo de la relación F/M (ver Apéndice 4), se determinaron valores para el Tanque 1, 2 y 3 de 0,033, 0,027 y 0,073 respectivamente. Siendo lo recomendado por la teoría para reactores discontinuos de 0,05 a 0,10 (Pennsylvania Department of Environmental Protection, 2014) o de 0.05 a 0.30 (Metcalf & Eddy, 1996). Los resultados obtenidos hacen referencia a la falta del alimento necesario para la población de microorganismos presente en los reactores, estando los valores para el tanque por debajo de lo recomendado por la teoría. De igual forma dichos valores se relacionan con la falta de purga del lodo en exceso lo cual eleva la carga biológica presente en el sistema.

Debido al crecimiento del caudal de AR que es tratado por el sistema se procede a realizar un rediseño del SBR así como de sus parámetros de operación con el fin de evaluar y comparar las condiciones actuales con las recomendadas por la teoría, los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 4.8. La metodología utilizada así como los parámetros de diseño se detalla en el Apéndice 4.

Cuadro 4. 8. Comparativo entre el diseño actual de los reactores y la propuesta de diseño según la teoría.

<i>Parámetro</i>	<i>Diseño actual</i>	<i>Diseño recomendado</i>
Numero de ciclos por día	8	5,7
Numero de reactores	3	4
Tiempo total del ciclo	3 horas	4.2 horas
Volumen total por reactor	69,85 m ³	70,19 m ³
Tiempo de llenado		1,05 horas
Tiempo de reacción	1,5 horas	1,27 horas
Tiempo de sedimentación	0,7 horas	0,80 horas
Tiempo de vaciado	0,7 horas	0,7 horas
Tiempo inactivo	0 horas	0,39 horas
Tiempo total de ciclo	3 horas	4,2 horas

NOTA: En el diseño actual se realizan las etapas de llenado y reacción al mismo tiempo, para un total de 1,5 horas.

Como se observa en el cuadro 4.8, el sistema actual se encuentra con problemas de dimensionamiento, donde, se recomienda la presencia de un reactor biológico adicional, así como una modificación en el número de ciclos por día con un aumento en el tiempo total del ciclo.

Es importante mencionar a su vez que los reactores cuentan con una etapa adicional en la entrada del AR denominada selector. Este cumple la función de incrementar el tiempo de contacto entre el agua cruda y la biomasa mediante la recirculación de lodo activado. De acuerdo con el Manual de Operación y Mantenimiento, esta recirculación se considera continua durante las secuencias de llenado-aireación.

En la actualidad se presenta mal olor y acumulación de una gran cantidad de sólidos sin digerir en las celdas de los selectores (ver figura 4.7).



Figura 4. 7. Estado del selector del Tanque 2 presente en el sistema

Otro aspecto que cabe destacar es la distribución de aire y la mezcla en los reactores. Con base en las diversas visitas que se realizaron a la PTAR se observó la inexistencia de un mezclado uniforme así como de una distribución no homogénea en los tres reactores. Se presume que la presencia de la nata gruesa sobre los reactores dificulta una adecuada distribución del aire, de igual forma en lo que corresponde a los tanques 1 y 2 se observa la presencia de puntos muertos en las esquinas de los reactores y zonas con mucha turbulencia.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de la concentración de oxígeno disuelto (OD) se anotan en el cuadro 4.9, de igual forma en la figura a continuación, se presenta la distribución de los distintos puntos donde se llevó a cabo la medición.

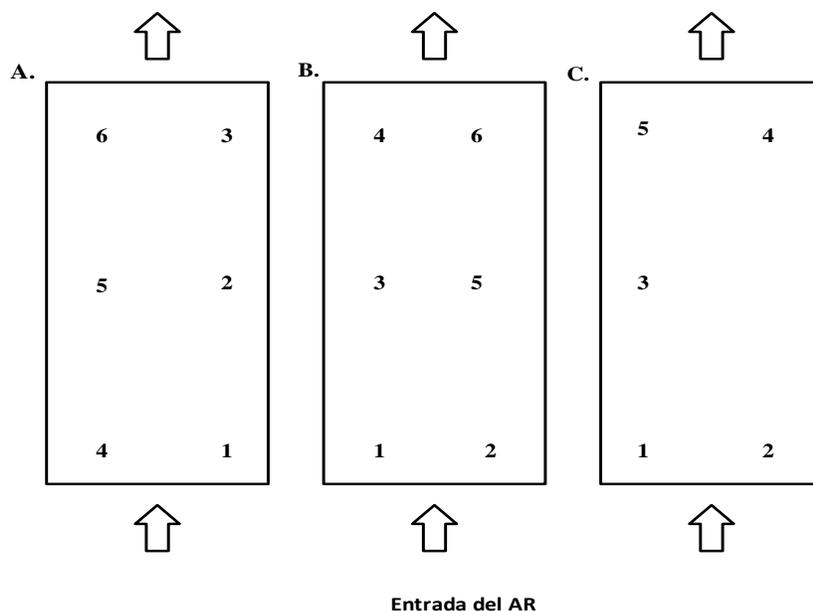


Figura 4. 8. Distribución de los puntos de medición de OD en los reactores biológicos; donde A corresponde al tanque 3, B al tanque 2 y C al tanque 1.

Cuadro 4. 9. Resultados obtenidos de la medición de oxígeno disuelto en distintos puntos de los reactores biológicos

<i>Punto de muestreo</i>	<i>Tanque 1</i> ($\pm 0,01$ mg/L)	<i>Tanque 2</i> ($\pm 0,01$ mg/L)	<i>Tanque 3</i> ($\pm 0,01$ mg/L)
1	0,15	0,08	0,18
2	0,05	0,10	0,15
3	0,06	0,81	0,07
4	0,04	0,70	0,06
5	0,05	0,28	0,06
6	ND	0,76	0,05
<i>Promedio \pm desviación estándar</i>	0,07 \pm 0,04	0,455 \pm 0,339	0,095 \pm 0,055

ND: No determinado

Se determinó que la concentración de oxígeno disuelto en los tres tanques se encuentra por debajo del valor recomendado de 1,5 mg/L a 2 mg/L. Relacionado con lo expuesto anteriormente, de acuerdo con Metcalf & Eddy, (1996), relaciones F/M bajas, la presencia

de la fase de respiración endógena o de nitrificación, incrementa la concentración de oxígeno necesario para la remoción de DBO₅. A su vez, se conoce que niveles bajos de oxígeno conducen al crecimiento de microorganismos filamentosos (Water Environment Federation, 2008).

Mediante consultas con el personal a cargo del sistema de tratamiento, se conoce que el tanque 3 posee un sistema de aireación de tipo difuso mediante burbuja fina que se encuentra en buen estado debido a que su puesta en marcha es más reciente. Se presume de igual forma que el sistema de los tanques 1 y 2 es mediante burbuja fina, de hecho en el mes de diciembre del 2015 se hizo un cambio tanto en el sistema de tubería como los discos del sistema del tanque 1.

El sistema de aireación actual se compone de dos bombas aireadoras marca *Kaiser* modelo *DB 130 C*, de las cuales una suple los dos primeros tanques y la otra solo al tanque 3. Los difusores de burbuja fina son marca SSI modelo AFD350. Se desconoce la distribución y número de difusores instalados.

Con el objetivo de evaluar la capacidad instalada del sistema de aireación actual, se calculó, utilizando la metodología estipulada en el Apéndice 5, el flujo de aire necesario para la oxidación biológica de la materia orgánica y de igual forma, el flujo de aire máximo dado por el sistema de aireación instalado. Los resultados obtenidos se denotan en el cuadro 4.10

Cuadro 4. 10. Resultados obtenidos del cálculo de flujo de aire para la PTAR en estudio

<i>Flujo de aire requerido</i>	<i>Flujo de aire máximo según capacidad instalada</i>
5,49 m ³ /min	18,56 m ³ /min

Según los cálculos anteriores la capacidad instalada es suficiente para suplir el flujo de aire necesario para que se lleven a cabo los distintos procesos. Sin embargo, es necesario un estudio más profundo de la distribución y localización de los discos en los reactores, punto fundamental en la eficiencia de transferencia de oxígeno.

De igual forma, a pesar de que se cuente con el volumen de aire necesario, la eficiencia de transferencia de oxígeno se ve afectada tanto por la sobrecarga de concentración de SSLM en el licor de mezcla, como por la elevada edad del lodo, procesos que demandan grandes cantidades de oxígeno (Metcalf & Eddy, 1996). Se presume que la presencia de espuma y el mal estado de los difusores limitan de igual forma los procesos de oxigenación. Todo lo anterior se evidencia con los valores bajos de OD obtenidos.

El cuadro 4.11 presenta un resumen de la condición actual del proceso de tratamiento de los tres tanques y su comparación con lo recomendado teóricamente.

Cuadro 4. 11. Resumen del diagnóstico de parámetros analíticos de importancia en sistemas de tratamiento de lodos activados en los tres tanques de la PTAR

Tanque	Recomendado	1	2	3
Parámetro				
SSVLM	2500 mg/L	6130 mg/L	6500 mg/L	2085 mg/L
F/M	0,05 a 0,30	0,033	0,027	0,073
OD	1,5 a 2 mg/L	0,07 mg/L	0,455 mg/L	0,095 mg/L
TRC	4 – 10 días	53,93 días	66,39 días	15,79 días

4.2.2.3. TRATAMIENTO DE LODOS

Derivado del proceso de degradación de la materia orgánica en los reactores biológicos se genera una gran cantidad de lodos parcialmente digeridos. Su tratamiento es necesario para hacer posible su eliminación de manera segura y económica.

En este caso los lechos de secado tienen el objetivo de la deshidratación de los lodos, sus celdas se componen de capas de arena gruesa y grava y el fondo se encuentra inclinado para el desagüe del agua en exceso.

La capacidad del lecho de secado no da abasto con el volumen de lodos que se deben purgar (ver figura 4.9) lo que ocasiona la poca o nula purga del lodo sedimentado en los reactores, a su vez presenta mal olor debido a que al rebalsarse las celdas se convierte en un medio anaerobio. El sistema instalado no cumple su función de deshidratación debido a que la forma de disponerlo es mediante la empresa SAHUCO que lo humedece para poder transportarlo en un camión cisterna.



Figura 4. 9. Lecho de secado de la PTAR de Monserrat, Tres Ríos

En la actualidad la planta recibe un flujo de ingreso de AR mayor con respecto al caudal de diseño del sistema. Por este motivo, se evalúa la purga de lodos en exceso para las condiciones actuales, así como el dimensionamiento de los lechos vs el recomendado según la teoría, resultados que se presentan en el cuadro 4.12. La metodología de diseño utilizada se evidencia en el Apéndice 4.

Cuadro 4. 12. Comparativo entre el diseño actual de los lechos de secado y la propuesta de diseño según la teoría

<i>Parámetro</i>	<i>Diseño actual</i>	<i>Diseño recomendado</i>
------------------	----------------------	---------------------------

Carga de lodo en exceso	ND	29,22 kg/día
Caudal a purgar	ND	9,35 m ³ /día
Volumen	ND	186,98 m ³
Área Superficial	ND	747,92 m ²
Ancho	1,9 m	27,35 m
Largo	2,3 m	82,04 m
Altura de la cama de lodos	0,73 m	0,2-0,3 m

ND: No Determinado

4.3. Identificación y propuestas de mejora por etapa de tratamiento

4.3.1. Tanque ecualizador

Identificación:

- Según lo determinado en la sección 4.2.2.1, es fundamental la construcción de un tanque ecualizador de mayor capacidad que permita amortiguar el flujo de entrada al sistema en las horas pico.

Propuestas de mejora:

- El tanque ecualizador debe ser de 293,76 m³ contemplando un tiempo de retención mínimo de 6 horas.
- Su construcción debe ser inmediata, dado que la modalidad del tanque actual es enterrado, se puede construir un tanque adicional que termine de suplir la capacidad de almacenaje en las horas que esto sea necesario, el nuevo tanque debe tener un volumen de 205,76 m³, manteniendo una relación largo ancho (L/A) de 4 metros.

4.3.2. Reactores SBR

Identificación:

- Los resultados obtenidos, en la sección 4.2.2.2, evidencian que la principal problemática es la incorrecta purga del lodo en exceso del sistema. Lo anterior desencadena en el crecimiento excesivo de microorganismos filamentosos, tiempos de retención celular elevados, relaciones F/M bajas y un excesivo consumo del OD disponible.

Propuestas de mejora:

- Es fundamental iniciar acciones correctivas y preventivas para el control de la presencia de *Nocardia*. A corto plazo se debe de remover físicamente la espuma presente en los reactores, dado que la mayor parte del microorganismo se encuentra en la espuma. Su presencia se puede eliminar de forma selectiva (Water Environment Federation, 2008). Se debe de remover la capa superficial con ayuda de un rastrillo y disponer de forma adecuada, ya sea enviada al lecho de secado o, en caso de ser necesario, al relleno sanitario.
- Acompañado de la remoción física, se puede realizar un tratamiento químico que involucra la adición de un polímero catiónico al licor mixto y la pulverización de altas concentraciones de cloro directamente sobre la espuma (se debe tener cuidado de no añadir cantidades tóxicas de cloro para el lodo activado) (Water Environment Federation, 2008).
- Seguido de las medidas anteriores se debe de aumentar el caudal de la purga del lodo en exceso en un 10% al día. Para el sistema actual el caudal recomendado es de 9,35 m³/día, el cual debe de aumentarse en un 10% de forma repetitiva hasta lograr la disminución del tiempo de retención celular. Con el fin de lograrlo se debe monitorear este parámetro acompañado de la relación F/M. Según resultados obtenidos en la sección 5 del apéndice 2, para lograr una relación F/M adecuada el sistema debe de mantenerse en un nivel de SSVLM de 2171,4 mg/L aproximadamente.
- En cuanto a los selectores, se debe de purgar completamente el lodo y sólidos que se encuentran estancados, se debe poner especial atención en la recirculación del licor mixto debido a que, al haber una concentración excesiva de lodo en los reactores, esta acción arrastra sólidos ya sedimentados a esta fase de tratamiento.

- Mediante el redimensionamiento del sistema, con base en los parámetros de diseño recomendados por la teoría, el ciclo típico de tratamiento debe de aumentarse a 4,2 horas, para un total de 5,7 ciclos por día. De igual forma se debe de adicionar un reactor que permita cumplir con la duración de tratamiento recomendada. Se propone utilizar el tanque de concreto que se encuentra sin uso en la PTAR, el mismo es de aproximadamente 70 m³ y cumple con los requerimientos de diseño.
- Una vez que se establezca la carga de microorganismos en el sistema, es de vital importancia revisar el sistema de aireación presente en los tanques. Lo anterior debido a que el hecho de que exista una mezcla desigual o zonas sin mezcladas en los reactores se puede deber a la presencia de difusores tapados, fugas en la tubería de aire o flujo de aire demasiado bajo. Por lo anterior, dentro de las rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo se debe proceder a realizar la limpieza correspondiente de los difusores y la revisión de tuberías y conexiones de aire, en caso de ser necesario el incremento del flujo de aire, tomando en cuenta el requerido por el sistema de 5,49 m³/min.

4.3.3. Lecho de secado

Identificación:

- Con base en lo detallado en la sección 4.2.2.3, el sistema de lechos de secado se encuentra en la actualidad sub-dimensionado, lo cual impide el almacenaje de los lodos generados en el proceso. Según la propuesta de redimensionamiento, se requiere un área mínima de 747.92 m² para que cumpla su función de secado. El cálculo anterior permite afirmar que este tipo de tratamiento no es viable según las características de espacio disponible que presenta la PTAR.

Propuestas de mejora:

- Por el momento, se debe de incrementar la frecuencia de recolección de los lodos. A corto plazo, se pueden utilizar las celdas del lecho de secado para el almacenamiento; sin embargo, es necesario invertir en un sistema de tratamiento nuevo que permita el cumplimiento de lo referenciado en el Decreto N.39316-S, Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos, que exige

un porcentaje de humedad máximo del 75% y un control más estricto sobre el manejo de estos residuos. De igual forma con base en este decreto se vuelve de carácter obligatorio la entrega de un reporte semestral de manejo de lodos, así como el uso de una bitácora, que contemple los datos de volumen y fecha de retiro del residuo.

- Se recomienda la instalación de un filtro de prensa de bandas que sustituya la unidad del lecho de secado (ver Anexo 4). Entre las ventajas que ofrece esta tecnología se encuentran la baja necesidad de personal, mantenimiento relativamente simple y se pueden iniciar y apagar rápidamente en comparación con otras tecnologías (U.S. EPA, 2000).

4.3.4. Operación y mantenimiento

Identificación:

- Con la aplicación de la Lista de Verificación, se determinó que falta capacitación técnica para el operador de la PTAR, lo anterior debido a la falta de control operacional y de reconocimiento adecuado de los parámetros físico-químicos fundamentales en un sistema de tratamiento biológico.
- De igual forma, se presentan deficiencias en cuanto a los métodos de control utilizados así como de la operación general del sistema.

Propuestas de mejora:

- Se debe realizar una capacitación básica que permita al operador adquirir un mayor conocimiento de los parámetros por analizar y se encuentre capacitado para la toma de muestras y el análisis básico adecuado de los resultados obtenidos. Los parámetros y periodicidad del análisis son los estipulados en el Decreto No.33601, Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

En la figura 4.10 se detalla la distribución de las unidades de la PTAR propuesta

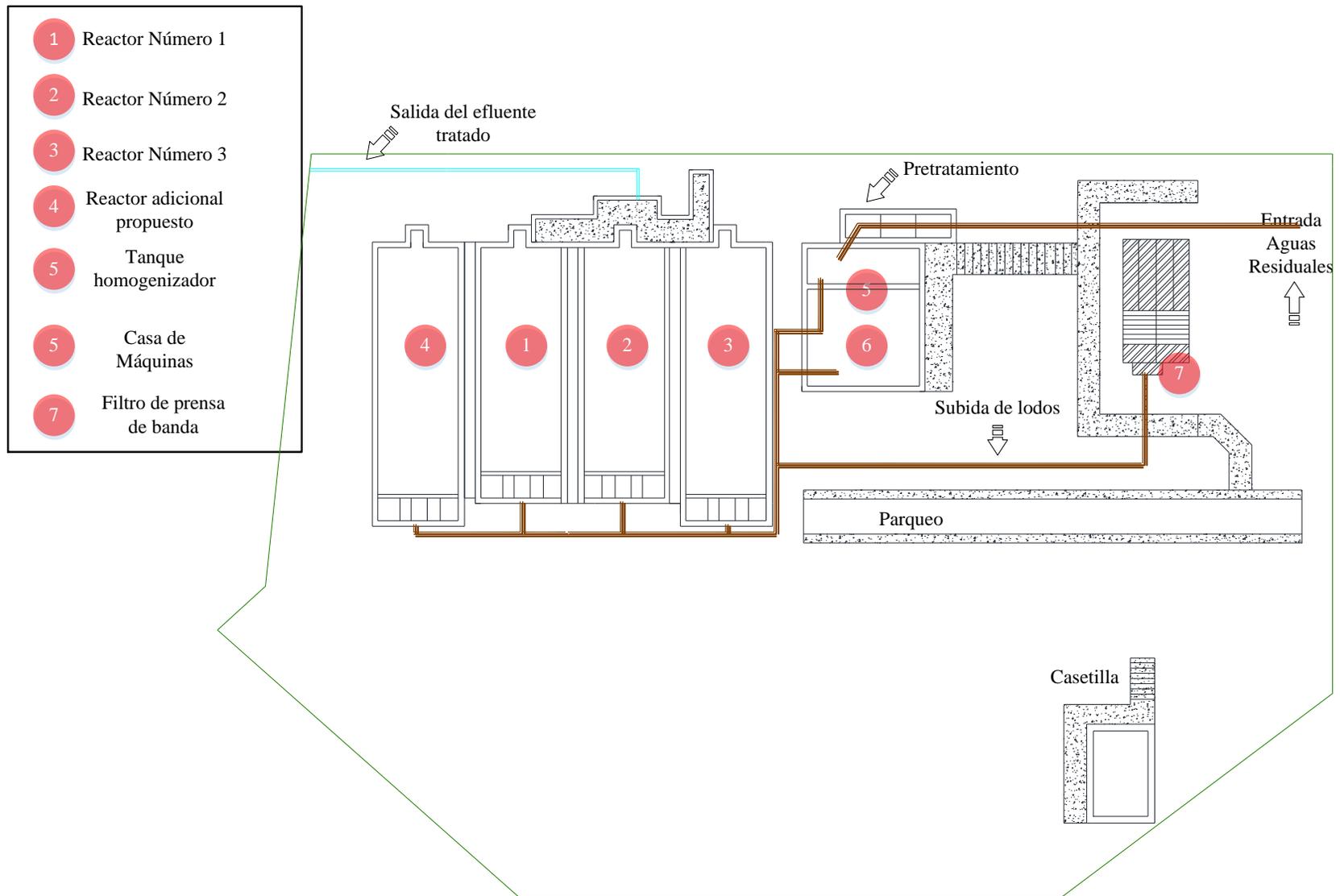


Figura 4. 10. Diagrama de distribución de las unidades de tratamiento propuestas para la optimización de la PTAR de Monserrat

4.4. Manual de operación y mantenimiento

En cuanto a la operación y mantenimiento de la PTAR se propone seguir los procedimientos establecidos en el manual de operación y mantenimiento adjuntado en el apéndice 6. Su estructura general incluye los lineamientos estipulados por el Decreto N^o-31545-S-MINAE, *Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales*, donde se presenta la información básica de diseño, control operacional y de mantenimiento, así como problemas operacionales y posibles soluciones que se puedan presentar en la unidad de tratamiento.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A partir del análisis de resultados se concluye que:

- El análisis de la calidad histórica del efluente, para el año 2014, establece que el sistema cumple con lo estipulado en el Decreto Ejecutivo 33601 en cuanto a los límites máximos permisibles de vertido de aguas residuales a un cuerpo receptor.
- Se denota un aumento del 28.5% del caudal de ingreso de AR a la planta lo cual, de acuerdo con los parámetros de diseño del sistema, excede la capacidad máxima instalada de tratamiento.
- El tanque ecualizador no cuenta con la capacidad de amortiguamiento para el volumen de AR que debe ser tratada, el volumen de almacenamiento ideal es de 293,76 m³ de AR.
- Los valores obtenidos según la caracterización físico-química del influente se encuentran dentro del ámbito establecido por la teoría para aguas residuales domésticas de contaminación media.
- Los resultados obtenidos a partir del estudio físico-químico de las unidades de tratamiento evidencian el cumplimiento de la legislación ambiental vigente con respecto a la calidad del vertido de aguas a un cuerpo receptor.
- La PTAR opera con altas concentraciones de SSVLM (6130 mg/L, 7500 mg/L y 2085 mg/L para los tanques 1, 2 y 3 respectivamente) y tiempos de retención celular elevados (53,93 días, 66,39 días y 15,79 días para el tanque 1, 2 y 3 respectivamente), evidencia de un modo de operación del sistema bajo una población de microorganismos excesiva.
- Se determinaron valores de relación F/M muy por debajo de lo recomendado por la teoría, los mismos son de 0,033, 0,027 y 0,073 para los tanques 1,2 y 3 respectivamente.
- La presencia de espuma densa de color canela y de aspecto grasoso sobre los tres tanques de aireación se debe a la presencia de organismos filamentosos en el sistema, el más común corresponde a la *Nocardia*.

- Se requiere la instalación de un cuarto tanque de reacción, así como el incremento de la duración del ciclo típico de tratamiento a 4,2 horas.
- La concentración de oxígeno disuelto en los tres tanques de aireación se encuentra muy por debajo del valor recomendado, siendo la concentración promedio de 0,07, 0,455 y 0,095 para los tanques 1,2 y 3 respectivamente.
- La capacidad instalada del sistema de aireación actual es la adecuada para el flujo de aire que demandan los diversos procesos de oxidación de la PTAR.
- La capacidad del lecho de secado no da abasto con el volumen de lodos que se deben purgar lo que ocasiona la poca o nula purga del lodo sedimentado en los reactores.
- Debido al espacio disponible, de aproximadamente 1600 m², el manejo de los lodos mediante la tecnología de lechos de secado es inviable, requiriendo un área de construcción de al menos 2244 m².

5.2. Recomendaciones

A partir del análisis de resultados se recomienda que:

- Se realice un estudio más representativo del caudal de ingreso a la PTAR, por el método volumétrico o con el uso de equipo digital, que brinde mayor confiabilidad al redimensionamiento del sistema propuesto.
- Se ejecute un estudio microbiológico del licor de mezcla una vez realizadas las propuestas de mejora que permitan un control más estricto del crecimiento de microorganismos filamentosos en el licor de mezcla.
- Se efectúen muestreos con mayor frecuencia al efluente durante la fase de vaciado, que involucren la toma de un número mayor de muestras desde el inicio hasta la finalización de la etapa debido a la composición variante del efluente.
- Se realicen un mayor número de muestreos para obtener una caracterización más representativa del AR de entrada a la PTAR.
- Se instale un filtro de prensa de banda para la deshidratación de los lodos generados en el proceso, con referencia al cumplimiento del Decreto N.39316-S, Reglamento

para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos, que exige un porcentaje de humedad máximo del 75%

- Se apliquen las medidas de operación y mantenimiento, así como la compra de equipo laboratorio, que se detalla en el manual de operación y mantenimiento proporcionado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuja, S. (2014). Go To 16.1 Introduction Page. In *Water Reclamation and Sustainability*. Elsevier. Retrieved from https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpWRS00027/cid:kt00U97FB1/viewerType:pdf/root_slug:water-reclamation-sustainability?cid=kt00U97FB1&page=2&q=activated_sludge_factors&b-q=activated_sludge_factors&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-off-set=10&b-rows=10&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default
- American Public Health Association. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd ed.). Washington, DC. USA: American Public Health Association.
- Angulo, F. (2013). Manejo, disposición y desecho de las aguas residuales en Costa Rica. *Decimonoveno Informe Del Estado de La Nación En Desarrollo Humano Sostenible*, 19, 3–34. Retrieved from http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/019/angulo_2013.pdf
- Aragón, C. (2009). Optimización del proceso de lodos activos para reducir la generación de fangos residuales, 355.
- Bhattacharyya, B. C., & Banerjee, R. (2007). Go To 6.2 Activated Sludge Process Page. In *Environmental Biotechnology*. Oxford University Press. Retrieved from https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpEB000003/cid:kt008VNJA6/viewerType:pdf/root_slug:environmental-biotechnology?cid=kt008VNJA6&page=3&q=wastewater_treatment_activated_sludge_process&b-q=wastewater_treatment_activated_sludge_process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default
- Blake, L. S. (1989). Go To 29.12.4 Activated Sludge Page. In *Civil Engineer's Reference Book (4th Edition)*. Taylor & Francis. Retrieved from https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpCERBE005/cid:kt002YVC03/viewerType:pdf/root_slug:civil-engineers-reference?cid=kt002YVC03&page=6&b-q=nutrients_for_microorganisms_sludge_activated&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default&q=nutrients_for_microorganisms_sludge_activated
- Cárdenas, C., Yabroudi, S. C., & Benítez, A. (2012). Desempeño de un reactor biológico secuencial (RBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas Performance of a Sequencing Batch Reactor (SBR) in the treatment of domestic sewage, 2011, 111–120.

- Carlini, M. F. (2003). *Problemas Operacionales en Plantas de Tratamiento*. Pontificia Universidad Católica Argentina.
- Cervantes, F. J., Pavlostathis, S. G., & Haandel, A. C. van. (2006). Go To 4.2.1.1 Modes of Operation Page. In *Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters - Principles and Applications*. IWA Publishing. Retrieved from [https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpABTPIWPK/cid:kt00UA1NL1/viewerType:pdf/root_slug:advanced-biological-treatment?cid=kt00UA1NL1&page=4&q=aeration in activated sludge process&b-q=aeration in activated sludge process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-off-set=10&b-rows=10&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default](https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpABTPIWPK/cid:kt00UA1NL1/viewerType:pdf/root_slug:advanced-biological-treatment?cid=kt00UA1NL1&page=4&q=aeration%20in%20activated%20sludge%20process&b-q=aeration%20in%20activated%20sludge%20process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-off-set=10&b-rows=10&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default)
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2005). *Water Treatment - Principles and Design* (2nd ed.).
- Di Marzio, W. D. (2004). Microbiología de lodos activados: una herramienta retrospectiva y predictiva de la depuración de efluentes. *Agua Latinoamericana*, 4(5), 16–17.
- Eikelboom, D. H. (2000). *Process control of activated sludge plants by microscopic investigation*. London, UK: IWA Publishing.
- EN. (2014). *Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (Costa Rica) Vigésimo primer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, Costa Rica.
- EPA. (2009). Notes on activated sludge process control.
- Estados Unidos Mexicanos. (2001). Análisis De Aguas - Determinación De Fósforo Total En Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas - Método De Prueba. *Nmx-Aa-029-Scfi-2001*, 16. Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>
- Harrison, R. M. (2014). Go To 5.2.3.1 Percolating Filter Page. In *Pollution - Causes, Effects and Control (5th Edition)*. Royal Society of Chemistry. Retrieved from [https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpPCECE015/cid:kt00UM3P22/viewerType:pdf/root_slug:pollution-causes-effects?cid=kt00UM3P22&page=15&q=activated sludge plants operation&b-q=activated sludge plants operation&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default](https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpPCECE015/cid:kt00UM3P22/viewerType:pdf/root_slug:pollution-causes-effects?cid=kt00UM3P22&page=15&q=activated%20sludge%20plants%20operation&b-q=activated%20sludge%20plants%20operation&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default)
- Henry, J. G., & Gary, W. H. (1999). *Ingeniería Ambiental* (1st ed.). Mexico: Prentice Hall.
- Hreiz, R., Latifi, M. a., & Roche, N. (2015). Optimal design and operation of activated sludge processes: State-of-the-art. *Chemical Engineering Journal*, 281, 900–920.

<http://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.125>

- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Mexico: McGraw Hill, Inc.
- Ministerio de Salud. (2007). Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales, 56.
- Municipalidad de La Unión. (2008). Manual de operación y mantenimiento: Planta de tratamiento de aguas residuales, Monserrat de Tres Ríos.
- Orhon, D., Babuna, F. G., & Karahan, O. (2009). *Industrial Wastewater Treatment by Activated Sludge*. IWA Publishing. Retrieved from [https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpIWTAS001/cid:kt00UA9IU7/viewerType:pdf/root_slug:industrial-wastewater?cid=kt00UA9IU7&page=24&b-q=nutrients for microorganisms sludge activated&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-](https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpIWTAS001/cid:kt00UA9IU7/viewerType:pdf/root_slug:industrial-wastewater?cid=kt00UA9IU7&page=24&b-q=nutrients+for+microorganisms+sludge+activated&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-)
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. ACODAL.
- Osorio, G., & Rodriguez, A. (2014). *Estudio de la influencia del tiempo de retención celular sobre la reducción de materia orgánica carbonácea y nitrógeno en una nueva configuración del sistema de estabilización por contacto tratando agua residual doméstica*. Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago de Cali.
- Ozturk, M. C., Serrat, F. M., & Teymour, F. (2015). Optimization of Aeration Profiles in the Activated Sludge Process. *Chemical Engineering Science*, 139, 1–14. <http://doi.org/10.1016/j.ces.2015.09.007>
- Paredes, J. F., & Ramos, M. R. (2014). Reactores Discontinuos Secuenciales: una Tecnología Versátil en el Tratamiento de Aguas Residuales. Review. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina. UMNG*, 24 (1), 49–66.
- Pennsylvania Department of Environmental Protection. (2014). The Activated Sludge Process Part III, (October).
- PNUD. (2005). Gestión Integrada del Recurso Hídrico. *Red Internacional Para El Desarrollo de Capacidades En La Gestión Integrada Del Recurso Hídrico*.
- Poltak, R. F. (2005). Sequencing Batch Reactor Design and Operational Considerations, (September), 27.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento De Aguas Residuales* (Segunda Ed). Barcelona: Reverté.
- Ranade, V. V., & Bhandari, V. M. (2014). Go To 9.4.1 Activated Sludge Process Page. In *Industrial Wastewater Treatment, Recycling, and Reuse*. Elsevier. Retrieved from

[https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpIWTRR003/cid:kt00U98P84/viewerType:pdf/root_slug:industrial-wastewater?cid=kt00U98P84&page=6&b-q=wastewater treatment activated sludge process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default&q=wastewater treatment activated sludge process](https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpIWTRR003/cid:kt00U98P84/viewerType:pdf/root_slug:industrial-wastewater?cid=kt00U98P84&page=6&b-q=wastewater%20treatment%20activated%20sludge%20process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default&q=wastewater%20treatment%20activated%20sludge%20process)

Rodríguez, E., Isac, L., Salas, D., Fernández, N., Zornoza, A., Pérez, B., ... Estevez, F. (2008). *Manual práctico para el estudio de grupos bioindicadores en fangos activos*. GBS.

Seneviratne, M. (2007). Go To 8.7.1 Activated Sludge Process Page. In *Practical Approach to Water Conservation for Commercial and Industrial Facilities*. Elsevier. Retrieved from

[https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpPAWCCIF1/cid:kt0064MLF1/viewerType:pdf/root_slug:practical-approach-water?cid=kt0064MLF1&page=28&b-q=wastewater treatment activated sludge process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default&q=wastewater treatment activated sludge process](https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpPAWCCIF1/cid:kt0064MLF1/viewerType:pdf/root_slug:practical-approach-water?cid=kt0064MLF1&page=28&b-q=wastewater%20treatment%20activated%20sludge%20process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default&q=wastewater%20treatment%20activated%20sludge%20process)

Signorile, G., Molinari, A., Lugoli, F., Sciancalepore, L., Montemurro, P., & Donno, A. De. (2010). Study of the correlation between microfauna and the macrostructure of activated sludge and the efficiency of biological wastewater treatment plants, 15–19.

State of Michigan Department of Environmental Quality. (n.d.). *Activated sludge process control: training manual for wastewater treatment plant operators*. Michigan.

Stephenson, T., & Stuetz, R. (2009). *Principles of Water and Wastewater Treatment Processes*. IWA Publishing.

U.S. Epa. (1987). Design Manual: Dewatering Municipal Wastewater Sludges. *Center for Environmental Research Information*.

U.S. Epa. (1999). United States Environmental Protection Agency. *Wastewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors (EPA 832-F-99-073)*, 1–9. Retrieved from <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/mtbfact.cfm>

U.S. EPA. (2000). Biosolids Technology Fact Sheet Centrifuge Thickening and Dewatering, 1–8.

Van Haandel, A. C., & Ven der Lubbe, J. G. M. (2012). *Handbook of Biological Wastewater Treatment: Design and Optimisation of Activated Sludge Systems* (2nd ed.). IWA Publishing.

Von Sperling, M. (2007a). *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. IWA Publishing. Retrieved from

https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpASABRV07/cid:kt00U9ZXM5/viewerType:pdf/root_slug:activated-sludge-aerobic?cid=kt00U9ZXM5&page=1&b-q=activated_sludge&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-

Von Sperling, M. (2007b). *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. IWA Publishing.

Von Sperling, M. (2007c). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*. IWA Publishing.

Water Environment Federation. (2008). *Operation of municipal wastewater treatment plants* (6th ed.). Alexandria, VA, USA: Mc Graw Hill.

Woodard & Curran, I. (2006a). Go To 7.8.1.2 Variations of the Activated Sludge Process Page. In *Industrial Waste Treatment Handbook (2nd Edition)*. Elsevier. Retrieved from

https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpIWTHE001/cid:kt003Z3TA3/viewerType:pdf/root_slug:industrial-waste-treatment?cid=kt003Z3TA3&page=16&b-q=SBR_treatment_process&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference

Woodard & Curran, I. (2006b). Go To 7.8.1.4 Aeration Systems for Activated Sludge Page. In *Industrial Waste Treatment Handbook (2nd Edition)*. Elsevier. Retrieved from

https://app.knovel.com/web/view/swf/show.v/rcid:kpIWTHE001/cid:kt003Z3TC1/viewerType:pdf/root_slug:industrial-waste-treatment?cid=kt003Z3TC1&page=23&q=aeration_in_activated_sludge&b-q=aeration_in_activated_sludge&sort_on=default&b-subscription=TRUE&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default

7. APÉNDICES

APÉNDICE 1. DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO DE LA PTAR DE MONSERRAT, TRES RÍOS.

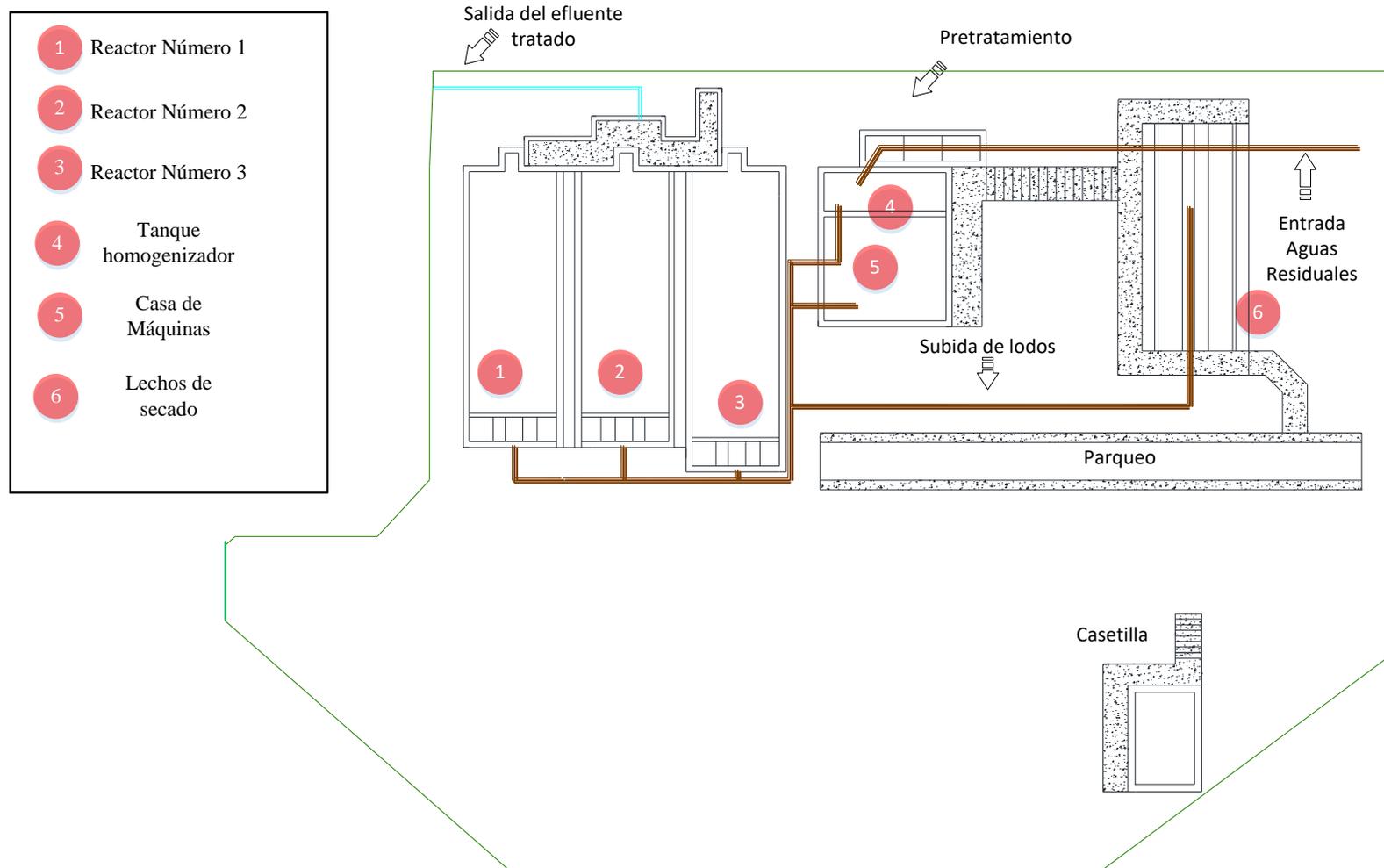


Figura A.1.1. Diagrama de distribución del estado actual de la PTAR de Monserrat

APÉNDICE 2. Cálculos elaborados para el estudio de los indicadores analíticos del sistema.

- Cálculo de eficiencias de remoción

La eficiencia de remoción de carga contaminante en el sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

Dónde:

E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]

S: Carga contaminante de salida (mg/L DQO, DBO₅ o SST)

*S*₀: Carga contaminante de entrada (mg/L DQO, DBO₅ o SST)

Cálculo para el tanque 1:

$$E_{DBO} = \frac{(216 - 10)}{216} \times 100 = 95.4\%$$

$$E_{DQO} = \frac{(455,384 - 155,7815)}{455,384} \times 100 = 65.8\%$$

$$E_{SST} = \frac{(132 - 0)}{132} \times 100 = 100\%$$

Cálculo para el tanque 2:

$$E_{DBO} = \frac{(216 - 10)}{216} \times 100 = 95.4\%$$

$$E_{DQO} = \frac{(455,384 - 134,841)}{455,384} \times 100 = 70.4\%$$

$$E_{SST} = \frac{(132 - 0)}{132} \times 100 = 100\%$$

Cálculo para el tanque 3:

$$E_{DBO} = \frac{(216 - 10)}{216} \times 100 = 95.4\%$$

$$E_{DQO} = \frac{(455,384 - 60,746)}{455,384} \times 100 = 86.6\%$$

$$E_{SST} = \frac{(132 - 0)}{132} \times 100 = 100\%$$

- Inventario de sólidos en el tanque de aireación

1. Kilogramos de sólidos suspendidos en los tanques de aireación

$$kg_{SSLM} = SSLM * V$$

Donde,

SSLM: concentración de Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezcla (mg/L)

V: volumen del reactor (m³)

Cálculo para el tanque 1

$$kg_{SSLM} = 7120 \frac{g}{m^3} * 0.001 * 74 m^3$$

$$kg_{SSLM} = 526.88$$

Cálculo para el tanque 2

$$kg_{SSLM} = 8765 \frac{g}{m^3} * 0.001 * 74 m^3$$

$$kg_{SSLM} = 648.61$$

Cálculo para el tanque 3

$$kg\ SSLM = 2085 \frac{g}{m^3} * 0.001 * 100\ m^3$$

$$kg\ SSLM = 208.5$$

2. *Kilogramos de sólidos suspendidos volátiles en los tanques de aireación*

$$kg\ SSLVM = SSVLM * V$$

Donde,

SSVLM: concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla (mg/L)

V: volumen del reactor (m³)

Cálculo para el tanque 1

$$kg\ SSVLM = 6130 \frac{g}{m^3} * 0.001 * 74\ m^3$$

$$kg\ SSVLM = 453.62$$

Cálculo para el tanque 2

$$kg\ SSLVM = 7500 \frac{g}{m^3} * 0.001 * 74\ m^3$$

$$kg\ SSVLM = 555$$

Cálculo para el tanque 3

$$kg\ SSVLM = 2085 \frac{g}{m^3} * 0.001 * 100\ m^3$$

$$kg\ SSVLM = 208.5$$

3. *Kilogramos de DBO de entrada a los reactores*

$$kg\ DQO = DQO \times Q \times 0.001$$

Donde,

DBO: concentración de DBO en el influente (mg/L)

Q: Caudal de entrada a cada tanque (m³/ciclo)

Cálculo para los 3 tanques

$$kg\ DBO = 216 \frac{g}{m^3} * 0.001 * 70\ m^3$$

$$kg\ DBO = 15.2$$

***NOTA: se toma como Q de entrada a cada reactor 81.6 m³/ciclo, siendo el Q diario promedio de 652.8 m³/día, y un total de 8 ciclos diarios.*

4. Razón Materia/ Microorganismos (F/M) en los tanques de aireación

$$F/M = \frac{Masa\ DBO}{Masa\ SSVLM}$$

Donde,

Masa DBO: Masa de DBO en el Licor de Mezcla (kg)

Masa SSVLM: Masa de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla (kg)

Cálculo para el tanque 1

$$F/M = \frac{15.2}{453.62}$$

$$F/M = 0.033$$

Cálculo para el tanque 2

$$F/M = \frac{15.2}{555}$$

$$F/M = 0.027$$

Cálculo para el tanque 3

$$F/M = \frac{15.2}{208.5}$$

$$F/M = 0.073$$

5. Cálculo de los kilogramos deseados de SSVLM en los tanques

$$F/M = \frac{\text{Masa DBO}}{\text{Masa SSVLM}}$$

Donde,

Masa DBO: Masa de DBO en el Licor de Mezcla (kg)

Masa SSVLM: Masa de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla (kg)

F/M: Relación Alimento Microorganismos recomendada de 0.1 a 0.5

Para 0.1:

$$0.1 = \frac{15.2}{\text{Masa SSVLM}}$$

$$\text{Masa SSVLM} = 152 \text{ kg}$$

$$152 \text{ kg} = \text{SSVLM} \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 0.001 * 70 \text{ m}^3$$

$$\text{SSVLM} = 2171.4 \text{ mg/L}$$

Para 0.5:

$$0.5 = \frac{15.2}{\text{Masa SSVLM}}$$

$$\text{Masa SSVLM} = 30.4 \text{ kg}$$

$$30.4 \text{ kg} = \text{SSVLM} \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 0.001 * 70 \text{ m}^3$$

$$\text{SSVLM} = 434.28 \text{ mg/L}$$

6. Cálculo de los kilogramos de SS que ingresan al sistema

$$\text{kg SST} = \text{SST} * Q * 0.001$$

Donde,

SST: concentración de SST en el influente (mg/L)

Q: Caudal de entrada a cada tanque (m³/ciclo)

Cálculo para los tanques 1 y 2

$$\text{kg SST} = 132 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 0.001 * 74 \text{ m}^3$$

$$\text{kg SST} = 9.77$$

Cálculo para el tanque 3

$$\text{kg SST} = 132 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * 0.001 * 100 \text{ m}^3$$

$$\text{kg SST} = 13.2$$

***NOTA: se toma como Q de entrada a cada reactor 81.6 m³/ciclo, siendo el Q diario promedio de 652.8 m³/día, y un total de 8 ciclos diarios.*

7. Cálculo de la edad del lodo

$$EL = \frac{SSLM}{SS \text{ agregados}}$$

Donde,

SSLM: Masa de SSLM (kg)

SS agregados: Masa de Sólidos Suspendidos del influente (kg/día)

Cálculo para el tanque 1

$$EL = \frac{526.88}{9.77}$$

$$EL = 53.93 \text{ días}$$

Cálculo para el tanque 2

$$EL = \frac{648.61}{9.77}$$

$$EL = 66.39 \text{ días}$$

Cálculo para el tanque 3

$$EL = \frac{208.}{13.2}$$

$$EL = 15.79 \text{ días}$$

***APÉNDICE 3. Lista de verificación del estado actual de una PTAR de lodos
activados aplicada a la PTAR de Monserrat, Tres Ríos.***

Fecha: 26 de octubre, 2015

Ubicación: Monserrat de Tres Ríos

Encargado de la Verificación: Ariana Ortiz Obando

Tipo de Aguas Residuales: Domésticas Industriales
Otras

Tipo de recogida: Red Sanitaria Red unitaria / *NOTA: Se sospechan conexiones pluviales*

Clasificación según la edad del lodo: SBR

Medio receptor: Cuerpo Receptor / Río María
Aguilar

Alcantarillado Sanitario

Caudal de entrada: Desconocido

Tipo de control de la PTAR: Recirculación de lodos Purga / *Inexistente*

Caudal de diseño: 508 m³

Evaluación de la INFRAESTRUCTURA	
Unidad de tratamiento	Detalles

presente		
(x) Rejillas (desbaste)	(x) Reja de barras	Numero de rejillas: () Una () Dos (x) Más de dos: <i>tres</i> Material: () Acero () Acero inoxidable (x) Otro: <i>desconocido</i> Tamaño de la barra: Profundidad de la barra: 1100 mm (Recom. 25 a 37,5 mm) Separación entre barras: 25 mm, 15 mm y 5 mm (Recom. 25 a 50 mm)
	() Tamices	<input type="checkbox"/> Inclinado fijo <input type="checkbox"/> Inclinado giratorio <input type="checkbox"/> Tambor giratorio Abertura de los tamices: _____ Material: _____
	() Disco giratorio	<input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Fino Intervalo de paso: _____ Material: _____
	() Centrifugo	Material: _____
(x)Desarenador <i>NOTA: El nivel del agua NO permite su visualización.</i>	Número de unidades	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2
	Tipo de desarenador:	<input type="checkbox"/> De flujo horizontal <input type="checkbox"/> Aireado <input type="checkbox"/> De vórtice
	Dimensiones:	Largo: _____ (Recom. L/A = 10 y 20)

	Ancho: _____	
	Profundidad: _____	
	Altura del agua (h) : _____	
Inclinación del fondo: _____ (Recom. Min 10%)		
Velocidad de paso: _____ (Recom. 3 m/s)		
(x) Canal de entrada <i>NOTA: No se puede visualizar</i>	Dimensiones: _____ _____	
(x) Tanque de homogenización	Volumen: $88m^3$ Localización: <i>Posterior al pretratamiento</i>	
() Sedimentador Primario <i>NOTA: Al ser SBR, no se lleva a cabo esta fase.</i>	Tiempo de retención: <i>No Aplica</i> (Recom. 1.5 a 2.5 horas)	
	Tipo de fondo: () Con paredes inclinadas (tipo cono) () Pendiente en fondo (x) Sin pendiente	
	Posición de mamparas	Detalles: <i>No Aplica</i>
	Dirección de entrada del AR	Detalles:
	Dimensiones:	Largo: _____

	<i>No aplica</i>	Ancho: _____ Profundidad: _____ Altura del agua (h) : _____	
(x) Tanque de aireación <i>NOTA: Hay tres tanques de aireación. Con numeración de 1, 2 y 3.</i>	Tipo de aireación	(x) Difusores <i>NOTA: En TA 1 no se conoce el tipo de aireación</i>	(x) Burbuja fina: <i>En 2 y 3</i>
			() Burbuja gruesa
			() Chorros de aireación
		() Aireadores mecánicos	() De eje horizontal
			() De eje vertical
	Dimensiones:	Largo: <i>12.5 m</i> Ancho: <i>2.54 m</i> Profundidad: <i>desconocida</i> Altura del agua (h) : <i>2.2 m</i>	
(x) Sedimentador secundario	Tipo de fondo	() Con paredes inclinadas (tipo cono) () Pendiente en fondo (x) Sin pendiente	
	Dirección de entrada del AR	<i>HORIZONTAL</i>	

	Dimensiones:	Largo: _____ Ancho: _____ Profundidad: _____ Altura del agua (h) : _____
() Desinfección:	Descripción: _____ _____ _____	
(x) Tratamiento de lodos:	Tipo de sistema: Lecho de Secado Descripción General: <ul style="list-style-type: none"> - <i>En infraestructura se encuentra muy bien, posee techo</i> - <i>Olor bastante fuerte, se convierte en un medio anaerobio.</i> - <i>En ocasiones se rebalsa el lecho con el lodo “fresco”, sospechas de mal dimensionamiento o mucha purga de lodos</i> - <i>No existe control en el mantenimiento, es decir, se vacía cuando sea necesario.</i> - <i>Su propósito no se cumple, debido a que no funciona como “secador”, la empresa encargada de su recolección lo Humedece para poder llevarselo en el camión cisterna (SAHUCO es la encargada de la recolección del lodo)</i> 	

Evaluación de indicadores visuales de la PTAR (en caso de ser condiciones diferenciadas para cada tanque se agrega el número de tanque correspondiente por indicador)	
Color del licor de mezcla	<input checked="" type="checkbox"/> CAFÉ CLARO Y OSCURO <input type="checkbox"/> GRISÁCEO O NEGRO
Olor del licor de mezcla	<input checked="" type="checkbox"/> A TIERRA MOJADA <input type="checkbox"/> A HUEVO PODRIDO
Presencia de espuma en el TA Detalles: <i>Capa gruesa, parecida a una nata</i>	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO
Color de la espuma	<input type="checkbox"/> BLANCA <input type="checkbox"/> OSCURA <input checked="" type="checkbox"/> COLOR CANELA
Presencia de natas en el SEDIMENTADOR SEC.	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO
Grado de mezclado Detalles: <i>el tanque 1 es el que tiene un grado de mezclado más irregular.</i>	<input type="checkbox"/> TURBULENCIA BAJA <input type="checkbox"/> TURBULENCIA MEDIA <input checked="" type="checkbox"/> TURBULENCIA ALTA
Color del lodo	<input checked="" type="checkbox"/> NEGRO <input type="checkbox"/> GRISÁCEO
Presencia excesiva de algas	<input type="checkbox"/> SÍ <input checked="" type="checkbox"/> NO
Distribución de la aireación Detalles: <i>se visualizan zonas muertas,</i>	<input type="checkbox"/> HOMOGÉNEA <input checked="" type="checkbox"/> HETEROGÉNEA

<p><i>principalmente en tanque 1 y 2. Aireación más fuerte en el centro de los tanques.</i></p>	
<p>Abultamiento de lodos <i>NOTA: La espuma no permite visualizar problemas de sedimentación del flóculo, sin embargo el efluente no parece que arrastre flocs.</i></p>	<p>() SÍ (x) NO</p>

NOTAS:

El efluente tratado se observa con gran cantidad de sólidos, principalmente al llegar el final de la fase de decantado

Evaluación de la operación y mantenimiento	
<p>Se toman muestras en puntos de control. <i>¿Cuáles?: salida de cada TA (pH, T, sol. sedimentables, OD)</i> <i>¿Frecuencia?: semanal</i> <i>NOTA: No se tiene claridad en los indicadores y metodología del análisis del mismo, ej: toman OD en salida y no en el sitio</i></p>	<p>(x) SÍ () NO</p>

Se posee memoria de cálculo	<input type="checkbox"/> SÍ <input checked="" type="checkbox"/> NO
Se posee manual de operación y mantenimiento	<input type="checkbox"/> SÍ <input checked="" type="checkbox"/> NO
Se poseen especificaciones técnicas de la PTAR	<input type="checkbox"/> SÍ <input checked="" type="checkbox"/> NO
Se posee bitácora de operación y mantenimiento.	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO
Se poseen planos de la PTAR	<input type="checkbox"/> SÍ <input checked="" type="checkbox"/> NO

Desarrollo de pruebas:

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> pH Frecuencia: <i>semanal</i> | <input type="checkbox"/> SSLM Frecuencia: _____ |
| <input checked="" type="checkbox"/> Oxígeno disuelto Frecuencia: <i>semanal</i> | <input type="checkbox"/> SST Frecuencia: _____ |
| <input type="checkbox"/> DBO Frecuencia: _____ | <input type="checkbox"/> SSVLM Frecuencia: _____ |
| <input type="checkbox"/> DQO Frecuencia: _____ | <input type="checkbox"/> IVL Frecuencia: _____ |
| <input checked="" type="checkbox"/> Temperatura Frecuencia: <i>semanal</i> | <input type="checkbox"/> Cama de lodos Frecuencia: _____ |
| <input type="checkbox"/> Nutrientes Frecuencia: _____ | <input checked="" type="checkbox"/> Sol. sedimentables Frecuencia: <i>semanal</i> |

VERIFICACIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES

Caseta de vigilancia	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Agua Potable	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Servicios sanitarios	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Equipo de protección personal	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

Estado general de la PTAR:

- *A simple vista se evidencian problemas operacionales*
- *Infraestructura bastante buena, no hay presencia de estructuras en mal estado*
- *Poner especial atención a reportes operacionales, muestreos.*
- *La mayor parte del tiempo a eso de las 10:30 am se rebalsa la PTAR , el tanque de "homogenización" no da abasto (Aumento caudal de entrada)*
- *Duración típica de los ciclos: 90 min aireación (intervalos 20 min aireado, 10 min reposo), 45 min sedimentación, 45 min decantado*
- *Siempre que llueve se inunda la PTAR.*
- *Poner especial cuidado al manejo de residuos sólidos en la etapa de operación y mantenimiento.*
- *No se cuenta con una caracterización del AR de entrada a la planta*

APÉNDICE 4. Metodologías y parámetros de diseño

A. Cálculo de Caudal máximo y Caudal mínimo

- Caudal máximo

$$Q_{max} = Q * 1.8$$

Donde,

Q_{max} : Caudal Máximo

Q : Caudal Promedio

- Caudal mínimo

$$Q_{min} = Q * 0.5$$

Donde,

Q_{min} : Caudal Mínimo

Q : Caudal Promedio

B. Metodologías y parámetros de diseño

Cuadro A.4.1. Metodología de diseño para el tanque ecualizador

<i>Ítem por ser calculado</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ecuación</i>
Volumen del tanque	m^3	$Vt = Q_{max} * Tr$
Altura	m	h (valor adoptado)
Largo	m	$L = 4 * A$
Ancho	m	$A = \sqrt{\frac{Vt}{4 * h}}$

Donde,

Q_{max} = Caudal máximo diario ($m^3 h^{-1}$)

Tr = Tiempo de retencion hidraulico (horas)

Cuadro A.4.2. Parámetros de diseño para el tanque ecualizador

Parámetro	Criterios de diseño
Caudal de diseño	Q_{max}
Tiempo de retención hidráulico	6 horas
Número de unidades	1
Altura recomendada	4 metros
Relación L/A	4 metros

Cuadro A.4.3. Metodología de diseño para el sistema de Reactores de Flujo Discontinuo Secuencial (SBR)

Ítem por ser calculado	Unidades	Ecuación
# de ciclos por día	--	m (valor adoptado según Tabla 1)
Tiempo total de ciclo	Horas	$T_{total} = \frac{24}{m}$
Tiempo de arribo del influente durante el ciclo	Horas	$T_{arribo\ influente\ durante\ ciclo} = \frac{T_{arribo\ influente\ durante\ el\ dia}}{m}$
Fracción biodegradable de SSVLM	--	$fb = \frac{0.8}{1 + 0.2 * Kd * \theta c}$
Volumen de reacción	m^3	$V_{react} = \frac{Y * \theta c * Q * (So - S)}{Xv (1 + fb * Kd * \theta c)}$
Volumen de llenado	m^3	$V_{fill} = \frac{Q}{m}$
Volumen de transición	m^3	$V_{trans} = fH * V_{fill}$
Volumen de lodos	m^3	$V_{lodo} = V_{react}$
Volumen total del reactor	m^3	$V_{total} = V_{react} + V_{fill} + V_{trans}$
Altura total del reactor	m	H_{tot} (valor adoptado)
Altura de llenado	m	$H_{fill} = \frac{V_{fill}}{Area} = \frac{V_{fill}}{(V_{total}/H_{tot})}$
Altura de transición	m	$H_{trans} = fH * H_{fill}$
Altura de lodos	m	$H_{lodo} = H_{tot} - (H_{fill} + H_{trans})$

Concentración de SSLM	mg/L	$X = \frac{Xv}{(SSV/SS)}$
Masa de SSLM en el reactor	kg	$Mx = \frac{X * Vtotal}{1000}$
Concentración de SS en el lodo asentado	mg/L	$Xr = \frac{Mx * 1000}{Vlodo}$
Numero de reactores	--	n (valor adoptado)
Volumen por reactor	m^3	$Vreactor = \frac{Vtotal}{n}$
Tiempo de llenado por ciclo	Horas	$Tfill = Tarribo \text{ de influente durante el ciclo} / n$
Tiempo activo durante el ciclo	Horas	$Tactivo = Ttotal * \frac{Vreact}{Vtotal}$
Tiempo de reacción durante el ciclo	Horas	$Treact = Tactivo - Tfill$
Velocidad de sedimentación en la interfaz de lodo	m/hora	$v = v_0 * e^{-kX}$
Tiempo de sedimentación durante el ciclo	Horas	$Tsed = \frac{(Htrans + Hfill)}{v}$
Tiempo de decantado durante el ciclo	Horas	$Tdecan$ (valor adoptado; $\leq Ttotal - Tfill - Treact - Tsed$)
Tiempo de inactividad durante el ciclo	Horas	$Tinact = Ttotal - (Tfill + Treact + Tsed + Tdecan)$
Numero de purgas del efluente	--	$m*n$
Volumen de cada purga del efluente	m^3	$\frac{Q}{(m * n)}$

Donde,

$Y =$ coeficiente de rendimiento (g SSVLM/g DBO₅ removida)

$\theta c =$ tiempo de retención celular (días)

$Q =$ caudal ($m^3 d^{-1}$)

$So =$ DBO de influente total (mgL^{-1})

$S =$ DBO soluble de influente total (mgL^{-1})

$Xv =$ Concentración de SSVLM (mgL^{-1})

K_d = coeficiente de decaimiento (d^{-1})

v_0 y K = coeficientes de velocidad de sedimentación

Fuente: (Von Sperling, 2007)

Cuadro A.4.4. Parámetros de diseño para el sistema de Reactor de Flujo Discontinuo Secuencial (SBR)

<i>Variable o criterio</i>	<i>Valor</i>	<i>Fuente</i>
Relación alimento microorganismos, F/M	0.25 – 0.5 / día	(Von Sperling, 2007)
Duración de ciclo típico de tratamiento	(4 a 6) horas	(Von Sperling, 2007c)
Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezcla, SSLM	(2000 a 2500) mg/L	(U.S. Epa, 1999)
Tiempo de detención hidráulico	(6 a 14) horas	(U.S. Epa, 1999)
Tiempo de retención celular	(4 a 10) días	(Von Sperling, 2007c)

Cuadro A.4.5. Constantes cinéticas de diseño para un sistema de lodos activados convencional

<i>Constante</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
Y		0.4-0.8
K_d	d^{-1}	0.06-0.10
Relación X_v/X		0.7-0.85
Fracción de transición, Fh		0.1
V_0	<i>m/hora</i>	8.6
K	<i>m³/kg</i>	0.5
Relación DBO/SST	<i>mgDBO₅/mg SST</i>	0.45-0.65

Fuente: (Von Sperling, 2007)

Cuadro A.4.6. Metodología de diseño para el lecho de secado

<i>Ítem por ser calculado</i>	<i>Unidades</i>	<i>Ecuación</i>
Producción de sólidos volátiles	gSSV/día	$P_{xv} = Y * Q * (S_o - S) - kd * fb * Xv * V$
Producción de sólidos totales	gSS/día	$P_x = \frac{P_{xv}}{Xv/X}$
Carga de lodo en exceso	gSS/día	$L_{ex} = P_x - X_e * Q$
Caudal a purgar	m	$Q_p = \frac{L_{ex}}{X}$
Volumen del lecho	m ³	$Vl = Q_p * t$
Área superficial del lecho	m ²	$A_s = \frac{Vl}{h}$
Largo	m	$L = 3A$
Ancho	M	$A = \sqrt{A_s}$

Donde,

Y = coeficiente de rendimiento (g SSVLM/g DBO₅ removida)

Q = caudal (m³ d⁻¹)

S_o = DBO de influente total (mgL⁻¹)

S = DBO soluble de influente total (mgL⁻¹)

Kd = coeficiente de decaimiento (d⁻¹)

fb = fracción biodegradable de SSVLM

Xv = Concentración de SSVLM (mgL⁻¹)

X = Concentración de SSLM (mgL⁻¹)

X_e = Concentración de SST del efluente (mgL⁻¹)

V = volumen del reactor (m³)

t = tiempo por ciclo de secado (días)

h = altura de la celda (m)

Fuente: (Von Sperling, 2007)

Cuadro A.4.7. Parámetros de diseño del lecho de secado para un sistema de lodos activados convencional

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Altura	20-30 cm
Tiempo de secado	20-75 días
Tiempo de remoción	5 días

Fuente: (Ramalho, 1996)

APÉNDICE 5. Cálculo de flujo de aire necesario en reactores biológicos de la PTAR de Monserrat.

A. Cálculo de flujo de aire, en pies cúbicos actuales por minuto, del compresor marca Kaiser modelo DB 130 C

$$acfm = scfm \times \frac{Ps}{[Pa - (ppm \times RH)]} \times \frac{(Ta + 460)}{(Ts + 460)}$$

$$acfm = 550 \times \frac{14.5}{[12.4548 - (0.3631 \times 0.8)]} \times \frac{(68 + 460)}{(68 + 460)}$$

$$acfm = 655.61 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$acmm = 18.56 \text{ m}^3/\text{min}$$

Donde,

scfm = Pies cúbicos estándar por minuto (según ficha técnica del compresor)

acmm = Metros cúbicos actuales por minuto

Ps = Presión estándar, psia (CAGI y ISO utilizan 14.5 psia)

Pa = Presión atmosférica, psia

Ppm = Presión parcial de la humedad a temperatura atmosférica

RH = Humedad relativa

Ta = Temperatura atmosférica, °F

Ts = Temperatura estándar, °F (CAGI y ISO utilizan 68 °F)

B. Metodología de cálculo

Cuadro A.5.1. Metodología de cálculo de demanda de oxígeno en un sistema de lodos activados convencional

<i>Variable o criterio</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ecuación</i>
Relación kg O ₂ /kg DBO ₅ removida	$\frac{kg \text{ O}_2}{kg \text{ DBO}_5}$	Segun tabla Anexo 1
Carga orgánica influente	kg DBO ₅	$X_{inf} = S_o * Q$

Carga orgánica efluente	$kg\ DBO_5$	$X_{ef} = S * Q$
DBO removida	$kg\ DBO_5$	$X_{removida} = X_{inf} - X_{ef}$
Demanda de O_2 carbonoso	$\frac{kg\ O_2}{dia}$	$O_2_{carbonoso} = \left(\frac{kg\ O_2}{kg\ DBO_5}\right) * X_{removida}$
Demanda máxima de O_2 carbonoso	$\frac{kg\ O_2}{dia}$	$Max\ O_2_{carbonoso} = O_2_{carbonoso} * 2$
Demanda de O_2 carbonoso en el sitio	$\frac{kg\ O_2}{hora}$	$O_2_{carbonoso\ en\ sitio} = \frac{Max\ O_2_{carbonoso}}{0.6} * \frac{1}{24}$

Donde,

$Q =$ caudal ($m^3\ d^{-1}$)

$S_o =$ DBO de influente total (mgL^{-1})

$S =$ DBO soluble de influente total (mgL^{-1})

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)

Cuadro A.5.2. Metodología de cálculo del flujo de aire necesario, para un sistema de aire difuso, en un sistema de lodos activados.

<i>Variable o criterio</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ecuación</i>
Demanda teórica de aire	m^3/dia	$DTA = \frac{O_2_{carbonoso\ en\ sitio}}{\rho * 0.232}$
Demanda actual de aire	m^3/dia	$DAA = \frac{DTA}{0.15}$
Requerimiento de aire para diseño	m^3/min	$\frac{DAA}{1440}$

Donde,

$\rho = 1.2998\ kg/m^3$ (densidad del aire)

0.232, corresponde al porcentaje de oxígeno presente en el aire

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996)

APÉNDICE 6. Manual de Operación y Mantenimiento

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Proyecto:

PTAR, Urbanización Monserrat, La Unión de Tres Ríos

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Monserrat trata las aguas de una zona residencial de aproximadamente 813 viviendas.

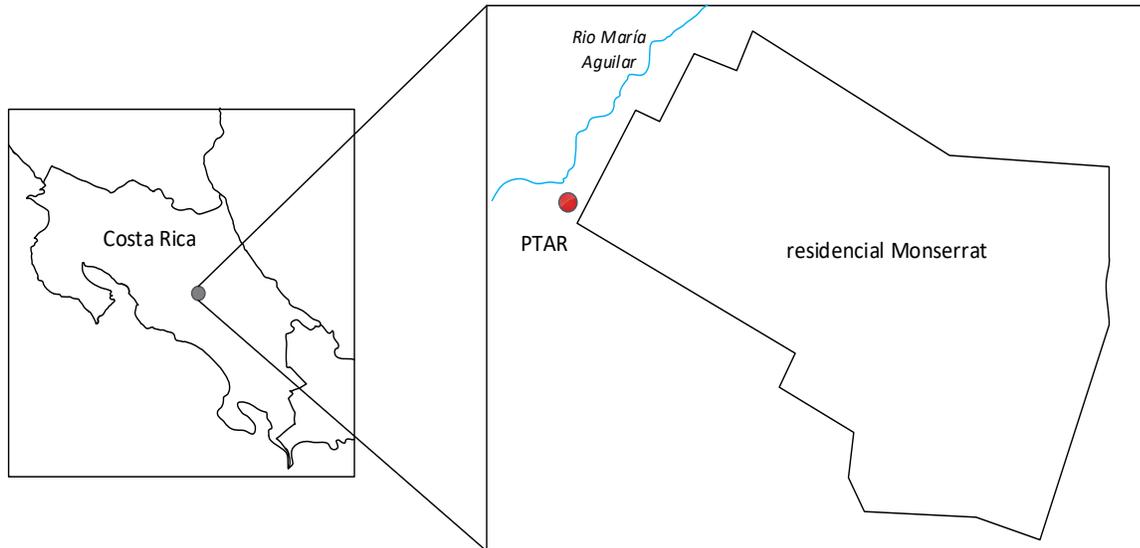


Figura 1. Localización del residencial Monserrat

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

El proceso de tratamiento consiste de un Sistema de Reactores de Flujo Discontinuo Secuencial, conocido como SBR por sus siglas en inglés, acompañado de las debidas etapas de pretratamiento y manejo de lodos.

El SBR se basa en la secuencia de ciclos de llenado-vaciado alternados y todas las etapas del proceso se llevan a cabo en un reactor de mezcla completa.

Los procesos unitarios que intervienen se llevan a cabo secuencialmente en el mismo tanque. En general consta de cinco etapas: (1) llenado, (2) reacción (aireación), (3) sedimentación (clarificación), (4) extracción (vaciado por decantación) y (5) fase inactiva (las anteriores etapas pueden ser alteradas según aplicaciones operacionales).

Cuadro 1. Descripción de las diferentes fases de funcionamiento de un reactor discontinuo

secuencial.

<i>Fase de funcionamiento</i>	<i>Descripción</i>
(1) Llenado	El objetivo de esta fase es la adición de sustrato (agua residual) al reactor. Esta fase permite que el nivel del líquido en el depósito ascienda desde cerca del 25% de su capacidad (al final de la fase inactiva) al 100%. Este proceso suele llevar aproximadamente el 25% de la duración total del ciclo.
(2) Reacción	El propósito de esta fase es que se completen las reacciones iniciadas durante la fase de llenado. Constituye un 35% de la duración total del ciclo.
(3) Sedimentación	El objetivo de esta fase es permitir la separación de sólidos, para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente. En un reactor de este tipo, este proceso suele ser mucho más eficiente que en un reactor de flujo continuo debido a que el contenido del reactor está completamente en reposo.
(4) Vaciado	Busca la extracción del agua clarificada del reactor. Se emplean métodos de decantación, siendo los más utilizados los vertederos flotantes o ajustables. El tiempo que se dedica al vaciado del reactor varía entre el 20 y 50% de la duración total del ciclo (duración típica de 45 minutos).
(5) Fase inactiva	Su objetivo es permitir que el reactor termine su fase de llenado antes de conectar otra unidad. No es una fase necesaria, en algunos casos se omite

NOTA: La purga de lodos suele tener lugar durante la fase de sedimentación o fase inactiva, aunque puede llevarse a cabo durante cualquier fase, dependiendo del modo de operación.

La descripción general de las etapas se presenta en el cuadro a continuación, de igual forma en la figura se muestra la distribución de las etapas de tratamiento en el sitio.

Cuadro 2. Descripción de las etapas de tratamiento de la PTAR de Monserrat

<i>Etapa</i>	<i>Descripción</i>
Pretratamiento y tanque ecualizador	<p>Sistema de cribado inicial que garantiza la separación de sólidos gruesos y un sistema desarenador que funciona como un tratamiento preparatorio de flotantes.</p> <p>Posteriormente posee un tanque ecualizador cuya función es minimizar las fluctuaciones de carga orgánica y uniformar el flujo del Agua Residual.</p>
Tratamiento primario y secundario	<p>El reactor biológico es el encargado de realizar estas etapas de tratamiento en el sistema de SBR, actualmente posee cuatro tanques, ambos procesos se llevan a cabo en el mismo reactor en un ciclo aproximado de 4,2 horas.</p> <p>Los tres tanques poseen un bioselector al ingreso, en donde se recircula una cantidad de lodo activado al agua cruda con el fin de que el contacto entre los microorganismos y la carga orgánica inicie desde antes de la fase de reacción.</p>
Filtro de prensa de banda	<p>El principio de funcionamiento de los filtros de banda se basa en conseguir la separación sólido-líquido del lodo mediante su escurrido entre dos bandas bajo tensión. La presión que se realiza sobre el material aumenta gradualmente conforme las dos bandas pasan por rodillos de diámetros decrecientes produciendo, además, un efecto de cizalladura que favorece la evacuación de la fase líquida.</p>

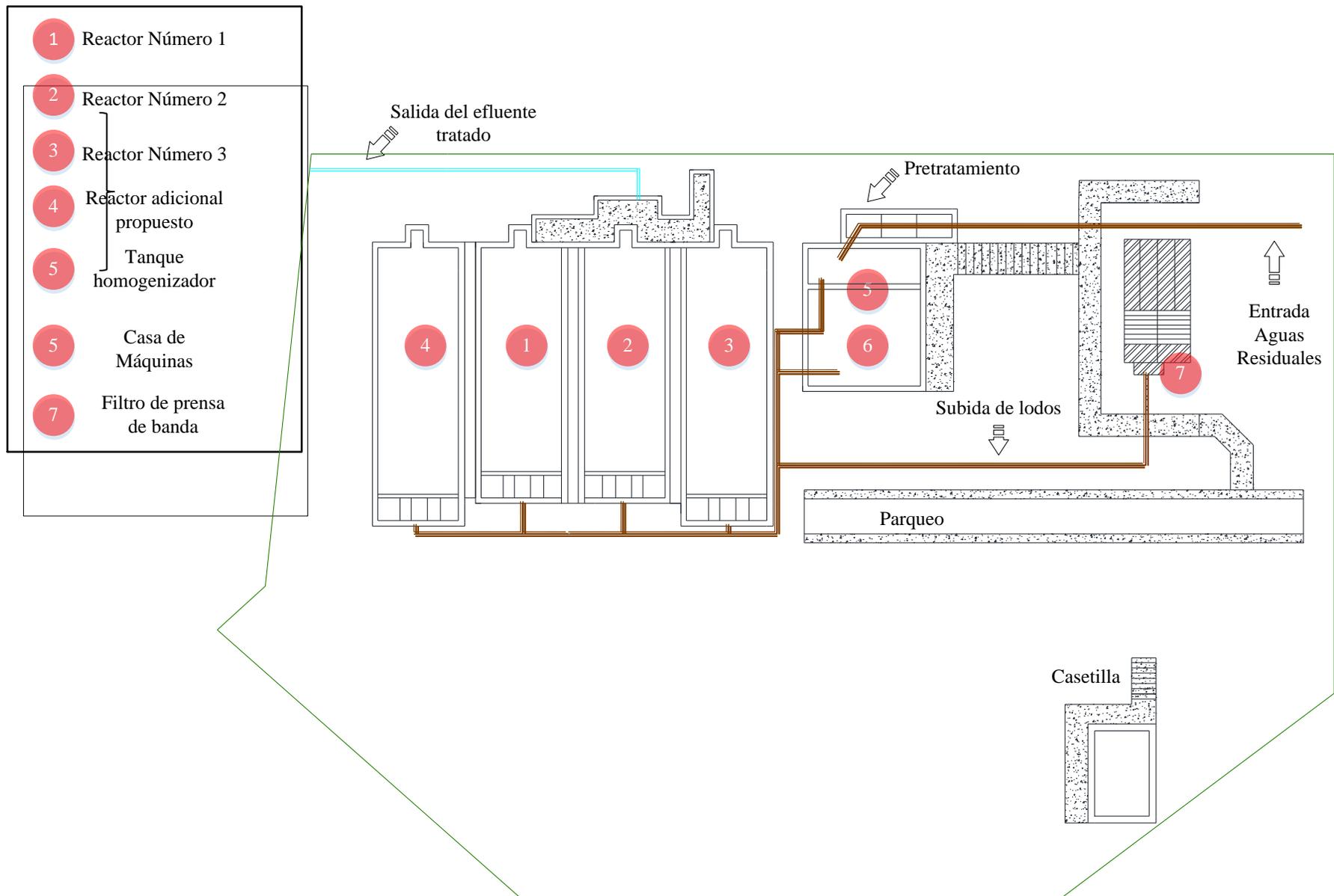


Figura 2. Diagrama de distribución de las unidades de tratamiento de la PTAR de Monserrat

3. INFORMACION BASICA DE DISEÑO

a. Jornada de operación

La Planta se debe operar las 24 horas del día los 365 días del año. Al ser un sistema de tratamiento de aguas ordinarias de zona residencia, las AR se generan en todo momento.

b. Jornada de trabajo

Se recomienda una jornada de trabajo de 8 horas al día 6 días a la semana para el mantenimiento y operación de la PTAR

c. Volúmenes de diseño y capacidad de la planta

<i>Etapa de tratamiento</i>	<i>Volumen de diseño</i>
Tanque ecualizador	294 m^3
Reactores SBR	66 m^3

d. Caudal promedio diario

La Planta recibe un caudal promedio diario de $653 \text{ m}^3/\text{día}$. El cual se mantendrá constante a través del tiempo dado que el sistema se encuentra en su máxima capacidad.

e. Caudal máximo horario

El caudal máximo horario corresponde a $49 \text{ m}^3/\text{hora}$.

f. Tipo de AR según código CIU

El agua residual se clasifica de tipo ordinario, es decir generada por las actividades domésticas del hombre (uso de inodoros, duchas, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa, etc) por lo que no contiene un código de clasificación CIU.

g. Caracterización del AR cruda

<i>Parámetro</i>	<i>Valor obtenido</i>
------------------	-----------------------

DBO₅ (±16 mg/L)	216
DQO (± 18,254 mg/L)	455,384
SST (± 1 mg/L)	132
SSV (± 1 mg/L)	114
SSed (± 0,05 ml/L)	1,5
pH (±0,01)	8,69
T (±0,1 °C)	23,4
GyA (±0,5 mg/L)	110
SAAM (± 0,4 mg/L)	13
Fósforo Total (±0,1 mg/L)	4,8
Nitrógeno Total (±1 mg/L)	47

h. Parámetros de vertido esperados

<i>Parámetro</i>	<i>Límite máx. permisible efluente (Ministerio de Salud, 2007)</i>
DBO₅	50 mg/L
DQO	150 mg/L
SS	50 mg/L
SSV	N/A
SSed	1 mL/L
Ph	5 a 9 °C
T	15 a 40
GyA	30 mg/L
SAAM	5

i. Principales Parámetros de diseño

<i>Variable o criterio</i>	<i>Valor</i>
----------------------------	--------------

Relación alimento microorganismos, F/M	0.1 – 0.5 / día
Numero de ciclos por día	5.7 ciclos
Duración de ciclo típico de tratamiento	Llenado / 1.05 horas Reacción / 1.27 horas Decantado / 0.80 horas Vaciado / 0.70 horas Inactivo / 0.39 horas TOTAL / 4.2 horas
Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezcla, SSVLM	2000 a 2500 mg/L
Tiempo de retención celular	6 días

NOTA: Se incorpora en la fase de reacción una configuración alternada de 10 minutos de reposo por 20 minutos de aireado. La incorporación de etapas anaeróbicas se da con el objetivo de disminuir la cantidad de fósforo y nitrógeno presente en el AR, lo anterior gracias a que en la fase anaeróbica se produce la liberación de fósforo por parte de los microorganismos, donde se da la nitrificación, consumo de oxígeno y de fósforo, mientras que la desnitrificación ocurre en la fase anóxica.

4. PERFIL DEL PERSONAL

Para que la planta de tratamiento cumpla con su objetivo es necesario que se opere por medio de personal calificado. Se recomienda un operador que labore jornada completa 8 horas diarias.

Por el hecho de que el lugar de trabajo es bastante riesgoso al estar en constante contacto con aguas residuales es vital que los operadores cuenten con respaldo medico de que se encuentran en capacidad de laborar en una zona con dichas características. A su vez deben de realizarse chequeos médicos continuos que garanticen la seguridad laboral.

Debe de existir un ingeniero a cargo que realice una visita semanal con el fin de inspeccionar las condiciones del sistema y las bitácoras.

Para el operador, debe de ofrecerse una capacitación básica intensa, se seguirán los siguientes criterios:

- Que el operador tenga una visión general de los parámetros que se van a analizar.
- Que el operador se encuentre capacitado para la toma de muestras específicas según el parámetro.
- Que el operador tenga la capacidad para la ejecución y manejo propio para cada parámetro del procedimiento siguiendo siempre las instrucciones respectivas del caso.
- Que el operador tome conciencia de los peligros que conlleva el uso de productos químicos y la importancia del uso del equipo de protección personal, tales como anteojos y guantes.
- Que maneje todo el procedimiento de evacuación de los desechos y las aguas residuales.
- Que el operador tenga la capacidad del reconocimiento adecuado de los resultados obtenidos.

5. EQUIPO

Para llevar a cabo de manera eficiente los procesos de operación y mantenimiento de la planta se debe de tener a mano el siguiente equipo:

- **Equipo de protección personal:** guantes, anteojos de seguridad, botas y mascarillas de ser necesario.
- **Bolsas de basura**
- **Pala y rastrillos:** Para la limpieza manual de las rejillas y del sistema de flotación.
- **Dos caretillos (como mínimo):** Uno para el transporte de materiales de limpieza o mantenimiento y el otro para el transporte de los lodos secos y lodos provenientes del sedimentador primario.
- **Mangueras:** Para la limpieza de rutina y mantenimiento de los sistemas de la planta.
- **Muestreador de acrílico transparente:** Para la medición de la profundidad de la cama de lodos en los reactores.

- **Para las pruebas de laboratorio que se deben de realizar se necesita:**
 - Termómetros, para la medición del agua de las muestras.
 - Medidor de pH
 - Incubadora, balanza analítica, frascos Winkler, pipetas y probetas para la determinación de la DBO₅.
 - Medidor de oxígeno disuelto, para llevar un control en el tanque de aeración
 - Cono de Imhoff, para realizar mediciones periódicas de sólidos sedimentables.
 - Equipo de medición de SAAM (Sustancias activas al azul de metileno) con el fin de llevar un control de la cantidad de grasas y aceites a la entrada del sistema de lodos activados y el sistema de flotación.
 - Reactivos necesarios para la prueba de DBO₅, tales como sulfato de mangesio heptahidratado, cloruro de calcio, cloruro de hierro (III) hexahidratado, disolución reguladora de fosfatos y ácido glutamínico.
 - Estufa, mufla y crisoles para la medición de sólidos suspendidos volátiles, necesarios para la determinación de la relación F/ M y el IVL.

6. OPERACIÓN

Rejillas

Se debe hacer una limpieza diaria de las rejillas, para eliminar los sólidos que obstruyan el paso del agua y que puedan dañarlas, además para evitar los malos olores. La frecuencia de la limpieza va a depender de las características del agua entrante (cantidad de sólidos que arrastre). Se espera que para este punto no existan conexiones de agua pluvial que vayan al alcantarillado sanitario, por lo tanto las condiciones del estado del tiempo no deberán de influir. La cantidad de veces que se limpien las rejillas, queda a criterio del operador, pero lo recomendable es que debe de hacerse como mínimo una vez por turno.

Los sólidos se retiran con ayuda de un rastrillo, evitando que pasen a través de las rejillas y se introduzcan en la planta. Se depositan en una cubeta destinada para dicho fin, el contenido de la misma se dispondrá como basura que será llevado al relleno sanitario.

Vertederos

Para realizar la medición del caudal, se debe de medir la altura del agua desde el vértice, conociéndola, se aplica la siguiente fórmula para calcular el caudal exacto de entrada a la planta:

$$Q = 1,4 * H^{5/2}$$

Dónde:

H= Altura del agua (m)

Q= Caudal (m³/s)

Las mediciones de caudal se recomiendan realizarlas diariamente al menos una vez por turno para determinar si hay anomalías en la cantidad de agua que ingresa. Se debe de anotar en la bitácora.

Bombeo

Diariamente el operador debe verificar que en la bomba no haya ruidos inusuales. Al menos una vez por semana se debe de remover los sedimentos que pudieran ocasionar taponamientos en las bombas.

Reactores SBR

El tanque de aireación requiere de una operación diaria cuidadosa, para procurar su correcto funcionamiento. Las actividades que se deben llevar a cabo para el buen funcionamiento del tanque de lodos activados son:

- El operador debe velar porque la aireación se mantenga siempre constante, para evitar cualquier fase anaerobia. Debe ponerse especial atención al sistema de aireación y se debe asegurar su buen funcionamiento permanente. Debe de mantenerse una concentración mínima de Oxígeno Disuelto de 1 mg/L.

- La concentración de oxígeno debe medirse, a diario, se recomienda que se haga al menos una vez en cada turno.

La medición se hace con un oxidímetro. Solamente, se introduce el electrodo a diferentes profundidades y en diferentes sectores del tanque, se debe limpiar el electrodo con agua destilada y secarlo con toallas. Los datos se reportan en la bitácora respectiva. En caso de haber mucha turbulencia y de que la medición no sea estable, se puede tomar una muestra en un recipiente de plástico y realizar la medición inmediatamente.

- Se debe de prestar atención al color, olor de los lodos. Un lodo activado de buena calidad es de color café oscuro (marrón) con un leve olor mohoso tipo tierra de hoja.
- La cantidad de lodos que se purgan es una de las operaciones de mayor importancia, ya que se tiene que tener una cantidad balanceada entre el lodo y la cantidad de carga orgánica del agua a tratar. Se recomienda hacer la purga una vez al día, el caudal a purgar recomendado se establece en los parámetros de diseño del manual, sin embargo queda a criterio del operador aumentar o mantener dicha purga.
- Para determinar la concentración de lodos en el sistema, se realiza la prueba de sedimentación, la cual consiste en tomar varias muestras en diferentes puntos del tanque, se colocan en un cono Imhoff, se dejan sedimentar durante 30 min. Los valores deben encontrarse entre 100 y 300 ml/l para que la relación sea la adecuada. Se recomienda hacer esta prueba al menos una vez al día. Se anotan los datos en la bitácora.
- En caso de haber un exceso o deficiencia de lodos, se debe de regular la purga. La forma más fácil de monitorear es con la medición de la altura de la cama de lodos. La misma se debe encontrar entre 0.3 y 1 metro de profundidad. Esta medición debe ser llevada a cabo en los 4 reactores cada día a la misma hora. Se puede estimar el volumen de purga del sistema con la medición de la altura de la siguiente forma:

$$V = (H_{\text{cama}} - 1) * 2.6 * 12.5$$

Donde,

$$V = \text{volumen de purga}(m^3)$$

Hcama= profundidad de la cama de lodos (m)

El cálculo del caudal de purga lo debe realizar el operador tomando en cuenta las características de la bomba instalada. De igual forma se recomienda realizar una PURGA INTERMINENTE, la cual se va a realizar una vez al día.

- Si se da la presencia de espumas en el tanque, es la señal de que hay poco ingreso de lodo, o bien que hay una presencia excesiva de alguna sustancia como grasas o aceites. Por lo que se debe de:
 1. Aumentar rápidamente el contenido de lodos cuando la instalación se ponga en marcha.
 2. Eliminar mecánicamente la espuma.
 3. Verificar que estas medidas sirvieron, de lo contrario se debe de estudiar la composición del agua cruda, la cantidad de lodos purgados, la eficiencia del sistema de aireación o realizar estudios microbiológicos del licor de mezcla.

7. CONTROL OPERACIONAL

Es de suma importancia realizar una vigilancia sistemática de la planta para que esta funcione de la manera óptima. Las deficiencias y posibles trastornos que se observen deben de eliminarse de acuerdo con la prioridad y respectivas instrucciones de manejo. Los acontecimientos especiales se deben de comunicar al ingeniero encargado y registrarse en el informe o explicarse en la bitácora de la planta. Los análisis, mediciones y lecturas deben de ser los prescritos por la legislación.

El control operacional más importante es que la purga de lodos sea la correcta, debido a que la cantidad de lodos activados purgados afecta los siguientes parámetros:

- Calidad del efluente
- Velocidad de crecimiento
- Consumo de oxígeno

- Sedimentabilidad del licor mezclado
- Cantidad de nutrientes requerida
- Presencia de espumas
- Posibilidad de nitrificación

La purga de lodos elimina la cantidad de microorganismos que se produjeron por arriba de la cantidad de microorganismos que murieron en el proceso. Cuando se realiza la purga, se restaura el balance que existía antes del crecimiento en exceso de los microorganismos. Esta condición se conoce como estado estacionario y es una condición deseable para la operación de la planta.

El objetivo del control del proceso es alcanzar el estado estacionario controlando uno o varios de los siguientes factores:

- Tiempo medio de retención celular
- Relación Alimento Microorganismos (F/M)
- Concentración de Sólidos Suspendedos Volátiles en el licor de mezcla

En el **cuadro 3** se detallan los procedimientos para el control de la purga de lodos de acuerdo con el método de control empleado.

De igual forma, las ecuaciones necesarias para los cálculos respectivos se detallan a continuación:

- **Cálculo de eficiencias de remoción**

La eficiencia de remoción de carga contaminante en el sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

Dónde:

E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]

S : Carga contaminante de salida (mg/L DQO, DBO₅ o SST)

S_0 : Carga contaminante de entrada (mg/L DQO, DBO₅ o SST)

- **Inventario de sólidos en el tanque de aireación**

Kilogramos de sólidos suspendidos en los tanques de aireación

$$kg\ SSLM = SSLM * V$$

Donde,

$SSLM$: concentración de Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezcla (mg/L)

V : volumen del reactor (m³)

Kilogramos de sólidos suspendidos volátiles en los tanques de aireación

$$kg\ SSLVM = SSVLM * V$$

Donde,

$SSVLM$: concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla (mg/L)

V : volumen del reactor (m³)

- **Kilogramos de DBO de entrada a los reactores**

$$kg\ DQO = DQO * Q * 0.001$$

Donde,

DBO : concentración de DBO en el influente (mg/L)

Q : Caudal de entrada a cada tanque (m³/ciclo)

- **Razón Materia/ Microorganismos (F/M) en los tanques de aireación**

$$F/M = \frac{Masa\ DBO}{Masa\ SSVLM}$$

Donde,

$Masa\ DBO$: Masa de DBO en el Licor de Mezcla (kg)

Masa SSVLM: Masa de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla (kg)

- ***Cálculo de los kilogramos deseados de SSVLM en los tanques***

$$F/M = \frac{\text{Masa DBO}}{\text{Masa SSVLM}}$$

Donde,

Masa DBO: Masa de DBO en el Licor de Mezcla (kg)

Masa SSVLM: Masa de Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor de Mezcla (kg)

F/M: Relación Alimento Microorganismos recomendada de 0.1 a 0.5

- ***Cálculo de los kilogramos de SS que ingresan al sistema***

$$\text{kg SST} = \text{SST} \times Q \times 0.001$$

Donde,

SST: concentración de SST en el influente (mg/L)

Q: Caudal de entrada a cada tanque (m³/ciclo)

- ***Cálculo de la edad del lodo (igual que el TRC)***

$$EL = \frac{\text{SSLM}}{\text{SS agregados}}$$

Donde,

SSLM: Masa de SSLM (kg)

SS agregados: Masa de Sólidos Suspendidos del influente (kg/día)

Cuadro 3. Procedimientos de operación estándar para el control de la purga de lodos

Método de control	Qué verificar	Cuándo verificar	Cálculo	Frecuencia del ajuste	Condición	Causa probable	Respuesta
F/M	SSVLM y DQO del efluente	Diario	F/M basado en DQO promedio de días entre SSLM promedio de 7 días	Diaria	F/M calculada alta Satisfactoria Baja	Purga excesiva Purga insuficiente	Reducir purga Incrementar purga
SSVLM	SSVLM y DQO, DBO del efluente	Diario	Balance de sólidos volátiles	Diaria	SSVLM calculado altos Satisfactoria Baja	Purga insuficiente Purga excesiva	Incrementar purga Reducir purga

Tiempo de medición de retención celular, TRC	SSVLM y DQO, DBO del efluente	Diario	Balance de sólidos promedio de 7 días	Diaria	TMRC calculados altos	Purga insuficiente	Incrementar purga
			Concentración de sólidos promedio de 7 días en la purga y en el influente		Satisfactoria		
					Baja	Purga excesiva	Reducir purga

En síntesis las labores de operación consisten en:

1. Medición de pH, caudal, sólidos sedimentables, temperatura y oxígeno disuelto tanto a la entrada como salida de la planta de tratamiento de aguas residuales.
 2. Inspección diaria de las estructuras hidráulicas
 3. Limpieza diaria de las estructuras hidráulicas en especial rejillas.
 4. Medición diaria de la profundidad de la cama de lodos de los reactores.
 5. Implementación de una bitácora con toda la información de los puntos anteriores.
 - De haber un cambio operacional o estructural deberá reportarse de esta manera en la bitácora además de ser firmado por el supervisor del sistema.
 - Análisis de laboratorio actuales*
 - Notas:
 - Responsable:
- *Al menos DBO, DQO y SST.
6. Uso del filtro de prensa de banda, según la ficha técnica e instrucciones de manejo según el proveedor del equipo.

Cuadro 4. Parámetros y frecuencia de medición recomendada para la PTAR

<i>Tipo de medición</i>	<i>Frecuencia</i>
Mediciones rutinarias ¹ (En Licor de Mezcla)	
Caudal	Diario
pH	
Sólidos Sedimentables	
Temperatura	
Oxígeno Disuelto	
Análisis Periódicos (En la salida de la PTAR)	
Caudal	Trimestral
pH	
Sólidos Sedimentables	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Grasas y aceites

**Sustancias Activas al Azul de Metileno
(SAAM)**

Temperatura

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

8. POSIBLES PROBLEMAS

Rejillas

En caso de aumentar el caudal de entrada del agua, se puede dar una saturación más rápida de las rejillas así como un arrastre de sólidos que ya hayan sido atrapados por las cribas.

Vertedero

Sólidos de gran tamaño pueden obstruir el paso del agua.

Reactores SBR

En esta fase del tratamiento se pueden encontrar con mayor frecuencia los siguientes problemas:

- Aumento de la presión en el sistema o la distribución irregular del aire, lo cual indica la presencia de obstrucciones en los elementos de aireación.
- Presencia de depósitos en el tanque de aireación los cuales pueden ocurrir cuando la turbulencia y la velocidad mínima en el fondo es muy baja.
- Contenido mínimo de oxígeno en el tanque de aireación es menor a 1 mg/L, pueden esperarse trastornos en el proceso de degradación biológica.
- Formación de espuma en el tanque de aireación por la existencia de sustancias especiales en las aguas residuales (detergentes, grasas o aceites) los cuales no fueron removidos eficientemente en el proceso de pre tratamiento, o crecimiento excesivo de microorganismos filamentosos.

- La presencia de lodo abultado, el cual surge por un desarrollo excesivo de organismos filamentosos. El lodo activado se hace muy voluminoso y la velocidad de sedimentación baja considerablemente.

A continuación se detallan los problemas que pueden ser encontrados en este sistema, así como las posibles causas.

Cuadro5. Problemas y posibles causas que pueden ocurrir en el sistema de tratamiento.

PROBLEMA	CAUSAS
1. Sedimentación pobre en el clarificador	
1.1. Abultamiento del lodo filamentoso	OD Bajo, F/M Alto, Difusores obstruidos, Transferencia inadecuada de O ₂ , Descarga industrial
1.2. Abultamiento del lodo no filamentoso	F/M Alto, Edad de lodos baja, Descarga industrial
1.3. Lodo ascendente	Manto de lodos alto, Acumulación de sólidos en el aireador, Corto circuito
1.4. Desfloculación	pH Alto/bajo, Acumulación de sólidos en el aireador, Descarga industrial
1.5. Flóculo disperso	Lodo joven, Edad de lodos baja
1.6. Flóculo Fino	OD Alto, Lodo Viejo, Edad de lodos alta
2. Espuma excesiva en los reactores	
2.1. Espuma blanca	Lodo joven, Edad de lodos baja
2.2. Espuma café oscuro gruesa	Lodo viejo, Edad de lodos alta

3. Reducida demanda de OD en el aireador	OD bajo, pH Alto/bajo, F/M bajo, Descarga industrial, Temperatura baja
4. Olores en el reactor	OD bajo, Difusores obstruidos, Transferencia inadecuada de O ₂ , Descarga industrial
5. Lodo séptico	OD bajo, Transferencia inadecuada de O ₂ , Descarga industrial
6. Natas en exceso	OD bajo, Acumulación de sólidos en el aireador
7. Crecimiento excesivo de algas en las paredes y vertederos	Exceso de OD,
8. Bajo OD en el aireador	Difusores obstruidos, Transferencia inadecuada de O ₂ , Descarga industrial
9. Alto OD en el aireador	Corto Circuito, Temperatura baja

9. MANTENIMIENTO

Rejillas

Cuando se evidencie que las rejillas están en mal estado, rotas o desgastadas, se deben de sustituir las mismas, por unas en buen estado. Este proceso se realiza cada vez que el operador perciba estos daños.

Vertederos

El operador debe verificar el estado del vertedero, si existen grietas o cualquier daño en la estructura, en caso de existir se debe de reparar o si son muy considerables hacer la sustitución del mismo.

Bombeo

Todas las partes de la bomba que estén en contacto con el agua residual deberán tener una capa de pintura anticorrosiva, la cual debe aplicarse cuando sea necesario.

Se debe de seguir el manual de la bomba proporcionado por el fabricante, para saber cada cuánto se debe de lubricar el motor y como se debe de hacer, además de cómo llevar a cabo el cebado, alineación de la bomba con el motor, entre otros procedimientos y problemas específicos que puede presentar la bomba con que se trabaje.

Se debe de anotar en bitácora todas las actividades de mantenimiento que se les realicen a las bombas, para tener un control.

Reactores SBR

El tanque de aeración necesita de mantenimiento y limpieza muy cuidadosos. Debe ponerse especial atención al sistema completo de aireación y se debe asegurar su buen funcionamiento permanente, es importante que la cantidad de oxígeno disuelto se encuentre dentro de los límites requeridos para la adecuada operación por lo que es vital chequear los difusores y darles el adecuado mantenimiento.

En caso de existir una mala distribución del aire es vital desmontar y limpiar los elementos, siguiendo las indicaciones del fabricante. Abrir las válvulas de bloqueo del aire

antes de volver a sumergir el difusor en el tanque lleno y en caso necesario renovar los elementos de aireación.

Dado que los tanques de aeración operan en paralelo hay que poner atención a una correcta disposición de las aguas residuales y lodos de purga.

Si existen deficiencias en la cantidad de oxígeno disuelto del sistema es necesario limpiar, reparar o reemplazar las instalaciones de aireación. En caso de tener problemas con la existencia de espumas en el tanque de aeración es necesario revisar el sistema de flotación y aplicar las medidas correctivas necesarias. En caso de que el problema persista se recomienda un cambio en el sistema de tratamiento o la aplicación de antiespumantes biológicos no nocivos.

Se debe de mantener un monitoreo de los valores del IVL y el contenido de sólidos para observar posibles variaciones en la composición del agua y de los lodos, para así tomar las medidas necesarias en caso de encontrar problemas en el sistema.

Se debe verificar que el sistema de aireación se mantenga en buen estado. Se le debe de dar el mantenimiento indicado por el fabricante, en cuanto a lubricación, capacidad de trabajo, verificación de voltajes, para así evitar sobrecalentamientos. Cualquier problema que presente debe ser reportado y reparado.

Filtro de prensa de banda

El mantenimiento preventivo como correctivo debe ir conforme lo estipulado por el proveedor del equipo.

10. DESECHOS

Los primeros desechos que se generan en la planta son los sólidos retenidos en las rejillas de cribado, los mismo pueden ser enviados al relleno sanitario de manera normal, ya que no contiene materia peligrosa.

Los otros desechos generados son los lodos provenientes del sistema SBR, estos se deshidratan en el filtro de prensa de bandas y se envían posteriormente al relleno sanitario como residuos ordinarios.

Es obligatorio el cumplimiento de lo referenciado en el Decreto N.39316-S, Reglamento para el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos, que exige un

porcentaje de humedad máximo del 75% y un control estricto sobre el manejo de estos residuos. De igual forma con base en este decreto se vuelve de carácter obligatorio la entrega de un reporte semestral de manejo de lodos, así como el uso de una bitácora, que contemple los datos de volumen y fecha de retiro del residuo. Para mayor referencia consultar el Reglamento.

11. REPORTES OPERACIONALES

Los reportes operacionales deberán ser entregados al Ministerio de Salud cada trimestre.

Estos deben contener:

- Datos generales
- Disposición de las aguas residuales
- Medición de caudales
- Resultados de las mediciones de parámetros por parte del ente generador
- Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos
- Evaluación de las unidades de tratamiento
- Plan de acciones correctivas
- Registro de producción
- Nombre y Firma del Responsable Técnico del Reporte y Propietario o Representante Legal.

Los detalles de cada sección se encuentran en el Decreto No.33601, Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

CUADRO RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES RECOMENDADAS

ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Medición de pH, temperatura, sólidos sedimentables, caudal, oxígeno disuelto, profundidad de la cama de lodos	Diario, a cada hora durante toda la jornada laboral.
Limpieza manual de las rejillas	Diario, a cada hora si lo amerita.
Reactores SBR	Medición semanal del IVL, DBO _{efluente} y DBO _{influyente} , relación F/M y oxígeno disuelto.
DBO, DQO y sustancias activas al azul de metileno	En el caso del DBO y DQO, debe ser medido semanalmente, mientras que las sustancias activas al azul debe ser una vez mensualmente (por presupuesto).
Uso del filtro de prensa de banda para deshidratación de lodos	Diario
Frecuencia de disposición de los lodos secos	Semanal
Revisión general de equipo de bombeo	Diariamente, en cada turno.
Uso de bitácoras	Diariamente.
Reportes operacionales	Trimestralmente.

8. ANEXOS

ANEXO 1. Resultado del análisis químico realizado por Laboratorio Químico LAMBDA



Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica
e-mail: lambda@raesa.co.cr • www.laboratoriolambda.com

RESULTADO DE ANALISIS # 369,062

---RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO---

FECHA: 22 DE MARZO DE 2016

SOLICITANTE: ARIANA ORTIZ OBANDO

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA RESIDUAL ENTRADA DE LA PLANTA DE MONSERRAT DE LA PLANTA DE TRES RIOS, MUNICIPALIDAD LA UNION, MUESTREO COMPUESTO, 2 HORAS CADA 20 MINUTOS, RECIBIDA EN EL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 07 DE MARZO DE 2016.

<u>ANALISIS SOLICITADO:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>	<u>PROCEDIMIENTO</u>	<u>REFERENCIA</u>
NITROGENO TOTAL (COMO N)**/ mg/l.....	47 ± 1	APHA/ AWWA.....	4500-N-B
FOSFORO TOTAL (COMO P)**/ mg/L.....	4,8 ± 0,1	APHA/ AWWA	4500-P-E

OBSERVACIONES:

- PROCEDIMIENTOS UNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd 2012.
- MUESTRA CÓDIGO LAMBDA: 0129-Q00.


ALBERTO A. COTO GRIJALVA
N.I. CQCR 986



NOTA: Refiérase al código lambda para cualquier consulta.

Figura. Resultado del análisis químico realizado el 22 de marzo del 2016 por Laboratorio Químico LAMBDA

ANEXO 2. Parámetros de diseño de la PTAR de Monserrat de Tres Ríos según Manual de Operación y Mantenimiento

Cuadro. Parámetros de diseño de la PTAR Monserrat

<i>ETAPA</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>
ENTRADA	DBO total	mg/L	300
	DQO	mg/L	667
	SS	mg/L	152
	Q diario	m ³ /d	508
	Q diario	m ³ /h	21
SALIDA	DBO	mg/L	6
	DQO	mg/L	<100
	N org		2
DISEÑO HIDRAULICO	Tiempo de aireación	Horas	1,50
	Tiempo de sedimentación	Horas	0,75
	Tiempo de vaciado	Horas	0,75
	Tiempo de llenado	Horas	1,5
	Duración del ciclo total	Horas	3
	Ciclos/día	--	8
	No. De contenedores	--	2

ANEXO 3. Tabla de relaciones funcionales en sistemas de lodos activados

Ítem	Relación y unidades	SS influente	Sedimentación primaria	Coeficientes		Edad del lodo (días)								
				Y (g/g)	$k_d(d^{-1})$	2	6	10	14	18	22	26	30	
Producción de sólidos	SS/S _T (kg SS/kg DBO ₅ rem)	No	No	0.5	0.09	0.50	0.42	0.37	0.33	0.31	0.29	0.28	0.28	
				0.6	0.08	0.60	0.51	0.45	0.41	0.38	0.36	0.34	0.34	
				0.70	0.007	0.71	0.61	0.55	0.50	0.47	0.44	0.42	0.40	
		Si	Si	0.5	0.09	0.83	0.75	0.70	0.67	0.65	0.63	0.63	0.63	
				0.6	0.08	0.96	0.87	0.81	0.78	0.75	0.73	0.71	0.71	
				0.7	0.007	1.04	0.95	0.88	0.84	0.80	0.78	0.76	0.74	
	Si	No	0.5	0.09	1.08	1.00	0.95	0.92	0.90	0.88	0.88	0.88		
			0.6	0.08	1.23	1.14	1.09	1.05	1.02	1.00	0.98	0.98		
			0.7	0.007	1.29	1.20	1.13	1.08	1.06	1.03	1.01	0.99		
	Relación SSV/SS en el reactor	SSV/SS (g/g)	No	No	0.5-0.7	0.07-0.09	0.89	0.87	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.81
			Si	Si	0.5-0.7	0.07-0.09	0.79	0.76	0.75	0.73	0.72	0.71	0.71	0.71
			Si	No	0.5-0.7	0.07-0.09	0.75	0.73	0.71	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68
Demanda de oxígeno carbonoso		-	-	0.5	0.09	0.84	0.95	1.02	1.07	1.10	1.13	1.14	1.14	
		-	-	0.6	0.08	0.70	0.83	0.91	0.97	1.01	1.13	1.14	1.14	
		-	-	0.7	0.07	0.57	0.70	0.80	0.86	0.91	0.95	0.98	1.01	
Volumen del reactor	X _v V/S _T (kg SSV/kg DBO ₅ /d)	-	-	0.5	0.09	0.88	2.16	3.11	3.88	4.55	5.15	5.71	6.24	
		-	-	0.6	0.008	1.07	2.67	3.87	4.85	5.70	6.47	7.17	7.84	
		-	-	0.7	0.007	1.26	3.21	4.69	5.92	6.98	7.93	8.80	9.62	

Notas:

Contribución per cápita: DBO₅ = 50 g/habitante d, SS=60 g/habitante d

Eficiencias de remoción en el tanque primario: DBO=30%, SS=60%

S_T= Carga de DBO₅ removida (kg DBO₅/d)

Fuente: Adaptado de (Von Sperling, 2007)

ANEXO 4. Tabla de compatibilidad de tecnologías de deshidratación de lodos según el tamaño de la PTAR

	Tamaño de la PTAR, m ³ /s		
	<0.04	0.04-0.44	>0.44
Espesadores de correa y tambor	X ¹	X	X
Centrifuga		X	X
Filtro de prensa de banda	X ²	X	X
Filtro al vacío		X	X
Filtro de prensa		X	X
Lechos de Secado	X	X	
Laguna de lodos	X	X	

¹Adecuado para el dispersamiento del lodo o inyección del lodo

²Solo se utilizan prensas con baja presión en este rango de flujo

Fuente: Adaptado de (U.S. Epa, 1987).