



INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE
TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

RESIDENCIA PROFESIONAL

“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE
REMOCIÓN DE COLOR DE UN REACTOR
ANAEROBIO TIPO UASB DE AGUAS
RESIDUALES DE PLANTA AVÍCOLA”

INGENIERÍA QUÍMICA

ALUMNO

GARCÍA TOLEDO SERGIO IVÁN

ASESOR INTERNO

I.Q. FARRERA BALCAZAR ROCÍO

ASESOR EXTERNO

I.M. HIDALGO TRUJILLO MARTÍN

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le doy las gracias a mis padres Sergio H. García Medina y Esmeralda Toledo Aguilar por brindarme la fuerza y el apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por darme la oportunidad de cumplir quizás la meta más importante en mi vida, por darme una excelente calidad de vida. Todos mis logros son dedicados a ustedes.

Gracias a mis hermanos Luis Carlos y Daniela García Toledo por estar siempre conmigo, agradecido siempre por su compañía y su cariño.

Gracias a mi asesor la I.Q. Roció Farrera Alcázar y a mis revisores I.Q. Leonardo Gómez Gutiérrez y I.Q. Rene Cuesta Diaz por la supervisión y la asesoría a lo largo del desarrollo de este trabajo profesional.

Gracias al Ing. Martín Hidalgo Trujillo y al Ing. Luis Juárez Bonifaz por brindarme la oportunidad, la asesoría y el apoyo a lo largo de la residencia profesional en la industria BUENAVENTURA.

Agradezco de igual manera al I.Q. Jonathan San Sebastián Sánchez por la guía y asesoría durante mi estancia en la industria.

Por último, no me queda más que agradecer a todos mis familiares, amigos y compañeros que han sido parte de mi vida, gracias por su cariño, amistad y confianza, les estaré eternamente agradecido.

RESUMEN

Buenaventura es una empresa fundada en 1969 en Villaflores, Chiapas. Siempre bajo la filosofía de ofrecer lo mejor a nuestros consumidores, a través de un ambiente de trabajo sano y motivante.

La planta de tratamiento de aguas residuales de la planta de procesamiento avícola de Grupo Pecuario Buenaventura (GPB), tiene como objetivo tratar el agua residual descargada por el procesamiento avícola al fin de reciclar el 77.5% este efluente y emplear el 22.5% en irrigación de parcelas agrícolas. La calidad del agua destinada a reuso será adecuada para su empleo en actividades productivas conforme establece la norma NOM-127-SSA1-1994. No obstante, se señala enfáticamente que esta agua no entra en contacto directo con el producto (aves).

La planta de tratamiento de GPB, está basada en un proceso combinado fisicoquímico-biológico, con alcance de tratamiento terciario. Este proceso se puede considerar como uno de los más avanzados. Ya que tiene la intención de reciclar el agua residual ya tratada dentro de la propia procesadora de aves GPB en aquellas operaciones donde no tiene contacto directo con el producto.

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB) es un proceso de tanque simple. Las aguas residuales entran en el reactor por el fondo, y fluyen hacia arriba. Una capa de lodo suspendida filtra las aguas residuales, tratándolas al ir atravesándola.

La capa de lodos está formada por gránulos (pequeñas agrupaciones) de microbios (0.5 a 2 mm de diámetro), microorganismos que por su propio peso se resisten a ser arrastrados por el flujo ascendente. Los microorganismos en la capa de lodos degradan los compuestos orgánicos. Como resultado se liberan gases (metano y bióxido de carbono).

El gas que asciende hacia la superficie es recolectado en un domo y puede ser usado como fuente de energía (biogás).

La formación de un lodo granulado es fundamental para obtener buena eficiencia en el reactor UASB, lo cual depende, fundamentalmente de los factores siguientes:

- Disponibilidad de nutrientes.
- Temperatura.
- Tipo de residual.
- pH.
- Sedimentación por gravedad.

La concentración de biomasa en el reactor debe ser tan grande como sea posible. El valor máximo a ser alcanzado se ve limitado por las condiciones de operación propias del sedimentador, la cual incluye la recirculación por gravedad del lodo sedimentado.

Los reactores del tipo UASB presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación y manutención), producción pequeña de lodos excedentes, consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento. Son económicos energética y ecológicamente, los filtros anaerobios son relativamente pequeños, fáciles de construir y presentan buenas eficiencias de remoción de materia orgánica.

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.) y en una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) con compuestos de difícil degradación.

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos, bajo las únicas premisas de que sean líquidos y contengan materiales fermentables, y tengan una composición y concentración relativamente estable. Sin embargo, es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren en forma simultánea.

La digestión anaerobia constituye, principalmente, un método de pretratamiento de gran interés. En algunos casos, incluso, puede ser un tratamiento completo cuando no es preciso conseguir un efluente de alta calidad, y no se requiere la eliminación de nutrientes. Así, el proceso anaerobio, basado en un digestor UASB que funcione con TRH entre 10 y 14 horas, con un decantador adecuado a la salida, puede alcanzar los objetivos de depuración fijados por la UE para el vertido en zonas normales, esto es, conseguir una eliminación de DQO del 75 % y de SS del 90 %, o bien un efluente con una calidad determinada por una concentración máxima de 25 mg/l de DBO5, 125 mg/l de DQO y 35 mg/l de SS.

INDICE

RESUMEN

INDICE

1.INTRODUCCION

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN DEL PUESTO O AREA DEL TRABAJO DEL ESTUDIANTE 8

2.1. MISIÓN..... 9

2.2 VISIÓN..... 9

3. PROBLEMA A RESOLVER..... 10

4. OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS..... 11

4.1. Objetivo General 11

4.2. Objetivos específicos 11

5. JUSTIFICACION 12

6. MARCO TEORICO 13

6.1. SECCION DESCRIPTIVA DE LA PTAR..... 13

6.1.1. Propósito general 13

6.1.2. Descripción general de la PTAR 13

6.1.3. Operaciones unitarias y equipos que integran el proceso de tratamiento del agua en los RAN's. 15

6.2. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS 17

6.2.1. CARACTERISTICAS..... 19

6.2.2. Ventajas de los UASB 21

6.2.3. Desventajas..... 22

6.3. PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA..... 23

6.3.1. Etapa de hidrolisis..... 24

6.3.2. Etapa Fermentativa o Acidogénica..... 25

6.3.3. Etapa Acetogénica. 25

6.3.4. Etapa Metanogénica..... 26

6.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO 27

6.5. ASPECTOS ECONÓMICOS 28

6.6. TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICA 28

6.7. TRATAMIENTO COMBINADO (ANAEROBIO-AEROBIO) PARA LA DECOLORACIÓN DE LA VINAZA DE DESTILERIA. 29

6.7.1. Métodos analíticos 29

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7. PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.... | 30 |
| 7.1. PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE H ₂ SO ₄ A 0.02 N | 30 |
| 7.2. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS | 31 |
| 7.2.1. PH y alcalinidad..... | 31 |
| 7.3. TOMA DE TEMPERATURA..... | 33 |
| 7.4. DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO α | 34 |
| 7.5. DETERMINACIÓN DE COLOR..... | 35 |
| 8. RESULTADOS | 36 |
| 8.1. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-1..... | 36 |
| 8.2. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-2..... | 37 |
| 8.3. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-3..... | 38 |
| 8.4. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-4..... | 39 |
| 8.5. EVALUACION PROMEDIO DE LOS REACTORES..... | 40 |
| 9. ACTIVIDADES SOCIALES REALIZADAS EN LA EMPRESA | 41 |
| 10. CONCLUSION | 45 |
| 11. RECOMENDACIONES Y EXPERIENCIA PERSONAL | 46 |
| 12. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS. | 47 |
| 13. BIBLIOGRAFIA | 48 |
| 14. ANEXOS | 49 |

1.INTRODUCCION

La planta de tratamiento de aguas residuales de la planta de procesamiento avícola de Grupo Pecuario Buenaventura (GPB), ubicada en la población de Villaflores, Chiapas, tiene como objetivo tratar el agua residual descargada por el procesamiento avícola al fin de reciclar el 77.5% este efluente y emplear el 22.5% en irrigación de parcelas agrícolas. La calidad del agua destinada a reuso será adecuada para su empleo en actividades productivas conforme establece la norma NOM-127-SSA1-1994. No obstante, se señala enfáticamente que esta agua no entra en contacto directo con el producto (aves).

Por su parte la fracción destinada a riego tendrá una calidad superior a lo establecido por la regulación aplicable a descarga en cuerpos receptores (NOM-001-ECOL-1996, agua para riego agrícola tipo B).

El presente trabajo elaborado en la PLANTA PROCESADORA DE AVES BUENAVENTURA GRUPO PECUARIO S.A. DE C.V. ubicado en CARRETERA VILLAFLORES-OCOZOCOAUTLA KM 19. A fin de capturar el monitoreo de la remoción de color que presentan los reactores anaerobios tipo UASB con el objetivo de conocer la eficiencia que estos pueden ofrecer para el beneficio del proceso de tratamiento del agua tratada en la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales), presentando información detallada del proceso de tratamiento de agua que se lleva a cabo en el área de PTAR, procesos de muestreo e información recaudada, además de resultados obtenidos a lo largo de la residencia profesional con el fin de emitir un juicio final, evaluando la eficiencia y el aprovechamiento que pueden ofrecer los reactores anaerobios tipo UASB utilizados en la PTAR.

De igual manera se presentan recomendaciones y sugerencias para el beneficio del proceso de tratamiento de aguas residuales, así como también, actividades sociales realizadas en la empresa, tales como:

- Identificación, clasificación y evaluaciones de impacto ambiental en determinadas áreas (servicios auxiliares, almacén y aseguramiento de calidad) de la planta PROCESADORA DE AVES de la empresa BUENAVENTURA GRUPO PECUARIO S.A. DE C.V. aplicando la actualización de la ISO-14000-R0
- Evaluación de riesgo y seguridad de los trabajadores en determinadas áreas (servicios auxiliares, almacén y aseguramiento de calidad) de la planta PROCESADORA DE AVES de la empresa BUENAVENTURA GRUPO PECUARIO S.A. DE C.V. aplicando la actualización de la ISO-45000-1.1 “Identificación de riesgos y ISO-45000-1.2 correspondiente a la “Evaluación de riesgo a la salud y seguridad”.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA U ORGANIZACIÓN DEL PUESTO O AREA DEL TRABAJO DEL ESTUDIANTE



Buenaventura es una empresa fundada en 1969 en Villaflores, Chiapas. Siempre bajo la filosofía de ofrecer lo mejor a nuestros consumidores, a través de un ambiente de trabajo sano y motivante.

1971. Se iniciaron labores en la primera granja de gallina de postura establecida de manera formal para dar servicio al consumidor, para en el año de 1977 cambiarse a la producción de pollo de engorda.

1995. Para dar mayor valor agregado al producto y al cuidado ambiental se construyen tres distintas plantas: la procesadora, la de rendimientos y la de tratamiento de agua.

Buscando contar con un pollo de la mejor conformación muscular y la menor cantidad de grasa, en 1996 se buscó y consiguió la distribución exclusiva en México de la estirpe Cobb, una de las cinco casas genéticas de pollo más apreciadas en el mundo, iniciando operaciones en 1998 en el estado de Campeche. Con esto se logró el contar con una reproductora propia y tener un mayor control sobre la calidad del pollo con que se abastece a nuestros clientes. Posteriormente, esto permitiría incursionar de manera importante en la venta de huevo fértil. Para asegurar la calidad en la alimentación de estas aves se construyó en Yucatán una planta de alimentos exclusiva para esta división.

1997. Se duplicó la capacidad instalada de la planta de alimentos. Esto, en el estado de Chiapas. El alimento que se produce en esta planta facilita el crecimiento del ave, que es totalmente natural de acuerdo a sus características genéticas. En ningún momento se le da algún ingrediente que acelere su desarrollo artificialmente.

Con el objetivo de garantizar la sanidad en los productos, se obtuvo en 1998 la certificación TIF que la SAGARPA otorga a empresas que cumplen con altos estándares de calidad, para la planta procesadora, lo cual ha permitido ofrecer un producto con el máximo nivel de calidad y así extender nuestros mercados a lo largo de la República.

2009. Con el fin de contar con un mayor control de producto y proceso, a partir del 2009 se incorpora la plataforma tecnológica SAP, llegando a ser la única empresa avícola en todo el mundo que cuenta con la implementación de esta herramienta en todos sus procesos administrativos y de operación, lo cual nos mantiene así al frente con liderazgo tecnológico. Esto nos permite, entre otras cosas, la rastreabilidad del producto, y detección pronta de oportunidades de mejora para ofrecer el mejor costo.

Buenaventura es un firme creyente de contar con los mejores avances y desarrollos tecnológicos en todas sus líneas operativas. El avance de la tecnología ha llevado a invertir constantemente tanto en equipamiento de vanguardia, como en investigación, desarrollo y controles de calidad en las distintas áreas de la empresa.

A lo largo de los 45 años de historia han tenido el firme compromiso de entregar productos de la mejor calidad. Hoy en día se puede decir que ocupa el sexto lugar en la industria nacional.

2.1. MISIÓN

Obtener la satisfacción de los requerimientos alimenticios mediante la producción y la comercialización de productos de origen animal y vegetal, satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes: comprometidos con el bienestar de todos los colaboradores, el desarrollo de la comunidad y la preservación del medio ambiente. Los esfuerzos tecnológicos y administrativos van encaminados a hacer realidad este fin.

2.2 VISIÓN

La consolidación nacional e internacional en el mercado con productos de origen animal y vegetal.

3. PROBLEMA A RESOLVER

De acuerdo a los resultados del color del agua tratada de la PTAR de GPB, el laboratorio interno de la misma reporta valores elevados de color, la cual se ha detectado una difícil remoción de color en el proceso de los Reactores anaerobios de flujo ascendente, por lo que resulta importante conocer y evaluar el desempeño de los RAN's utilizados en la PTAR, en el cual se pretende buscar alternativas de mejora con el fin de contar con agua de mejor calidad para el consumo y cumplimiento en su totalidad de la NOM-127-SSA1-1994.

4. OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS

4.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de remoción de color en los UASB mediante el control de parámetros alfa en un rango de 0 a 0.8 durante el tratamiento del efluente de aguas residuales de planta avícola.

4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el pH de los efluentes de los reactores anaerobios de flujo ascendente a través del método de titulación utilizados en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, posterior determinar la eficiencia de remoción de color a través del parámetro ALFA.
- Monitoreo de los alfas en un rango de 0 a 0.80 de los reactores anaerobios tipo UASB.
- Emitir recomendaciones o sugerencias para optimizar el proceso de remoción de color en los reactores UASB.

5. JUSTIFICACION

En el área de clasificación de la planta PROCESADORA DE AVES BUENAVENTURA es separada la materia prima de mayor tamaño para satisfacer necesidades de diferentes consumidores, las aves de menos tamaño son pigmentadas con colorante vegetal, tornándose del color amarillo intenso, el cual es consumido con normalidad en las localidades.

En el proceso de tratamiento de agua residual generada en toda la planta resulta difícil la eliminación del color que el colorante utilizado en producción genera ya que, una vez concluido el proceso de tratamiento, el agua tratada aun cuenta con una ligera coloración amarilla, no obstante, dicha agua cumple con los parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 con excepción al límite máximo permisible en coloración.

De acuerdo al problema de remoción de color que se presenta en la PTAR de la planta BUENAVENTURA GRUPO PECUARIO S.A. DE C.V. se plantea la recaudación y documentación de datos generados en el proceso de biodegradación anaerobia en el área de los reactores anaerobios tipo UASB para proponer oportunidades de mejora con el objetivo de optimizar el proceso de tratamiento de aguas residuales y obtener una mejor calidad de agua, cumpliendo con los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

6. MARCO TEORICO

6.1. SECCION DESCRIPTIVA DE LA PTAR

6.1.1. Propósito general

La planta de tratamiento de aguas residuales de la planta de procesamiento avícola de Grupo Pecuario Buenaventura (GPB), ubicada en la población de Villaflores, Chiapas, tiene como objetivo tratar el agua residual descargada por el procesamiento avícola al fin de reciclar el 77.5% este efluente y emplear el 22.5% en irrigación de parcelas agrícolas. La calidad del agua destinada a reuso será adecuada para su empleo en actividades productivas conforme establece la norma NOM-127-SSA1-1994. No obstante, se señala enfáticamente que esta agua no entra en contacto directo con el producto (aves).

Por su parte la fracción destinada a riego tendrá una calidad superior a lo establecido por la regulación aplicable a descarga en cuerpos receptores (NOM-001-ECOL-1996, agua para riego agrícola tipo B). (Jorge López, 2005)

6.1.2. Descripción general de la PTAR

La planta de tratamiento de GPB, está basada en un proceso combinado fisicoquímico-biológico, con alcance de tratamiento terciario. Este proceso se puede considerar como uno de los más avanzados. Ya que tiene la intención de reciclar el agua residual ya tratada dentro de la propia procesadora de aves GPB en aquellas operaciones donde no tiene contacto directo con el producto. Así, la mayor parte del agua tratada se reutilizará realmente en operaciones de arrastre de plumas y vísceras dentro de la procesadora.

El agua residual cruda se colecta en la procesadora en canales abiertos que llegan finalmente un par de cárcamos de bombeo, denominados cárcamo de pluma y cárcamo de vísceras. (Jorge López, 2005)

Desde esos cárcamos el agua residual llega con un contenido enorme de sólidos gruesos, sangre y otros residuos propios del proceso productivo, es sometida primeramente a un pre-tratamiento consistente en una batería de cribas rotatorias que tienen la finalidad de retener sólidos gruesos y finos. Los sólidos, una vez separados, serán utilizados como materia prima en la planta de

proteínas de GPB. Así, la eliminación de estos sólidos no constituye realmente un residuo sino un subproducto del proceso de tratamiento.

Posteriormente, el agua es conducida a un tanque de equalización, donde se recibe ya libre de sólidos gruesos y finos y se realiza una homogenización hidráulica básica.

Desde el tanque de equalización el agua se bombea hacia un sistema de flotación por aire disuelto (DAF, Dissolved Air Flotation) donde se realiza la eliminación de sólidos suspendidos (sólidos muy finos que no se eliminaron por cribado) así como la mayor parte del contenido de grasas y aceites. En línea hay una dosificación de coagulante (sulfato de aluminio líquido) y floculante (polímero aniónico).

El siguiente paso involucra la homogenización del agua y un eventual ajuste pH previo a su ingreso al proceso biológico que consiste en un reactor anaerobio de lecho de lodos y flujo ascendente, UASB por sus siglas en inglés (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) seguido de un reactor aerobio secuencial por lotes o SBR por sus siglas en inglés (Sequencing Batch Reactor).

Los dos tanques del reactor SBR se airean intermitentemente utilizando sopladores rotatorios en una secuencia preprogramada en un PLC (Programmable Logic Control).

El agua tratada se descarga intermitentemente desde los SBR hacia un tanque de amortiguamiento y de ahí pasa a un canal de contacto con ozono. Así, el agua tratada biológicamente sufre una oxidación adicional del tipo químico utilizando ozono que se genera en un equipo especializado a partir del aire comprimido y seco. El ozono también tendría una acción desinfectante en el agua.

Posteriormente el agua ozonizada es bombeada hacia una batería de filtros de lecho profundo seguidos de filtros de carbón activado, operaciones que eliminan sólidos suspendidos remanentes, así como color y olor del agua.

Finalmente, el agua filtrada recibe una desinfección con solución de hipoclorito de sodio antes de su ingreso a un par de cisternas de colección de agua tratada, desde donde se bombea se reuso en la procesadora de aves. (Jorge López, 2005)

6.1.3. Operaciones unitarias y equipos que integran el proceso de tratamiento del agua en los RAN's.

6.1.3.1. Tratamiento secundario (biológico).

- Un tanque de homogenización que recibe el agua residual proveniente del DAF. En este tanque también se puede recibir una recirculación del efluente de los módulos anaerobios, y en él también se puede realizar un eventual ajuste de pH mediante medición de sosa, el tanque de homogenización está dotado de un mezclador sumergible para asegurar la homogeneidad del agua y evitar la deposición de sólidos en el fondo.
- Un sistema de dosificación de solución de sosa caustica al 10% utilizando bombas dosificadoras.
- Un reactor anaerobio tipo UASB, constituidos por 4 módulos iguales, en los cuales se realiza la eliminación por vía anaerobia de la mayor parte de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Como resultado del tratamiento anaerobio, se genera biogás que se envía a un sistema de incineración.
- Un reactor secuencia por lotes o SBR, constituido por dos tanques iguales en los cuales se trata el agua de manera intermitente por vía aerobia. En este tanque se lleva a cabo una eliminación parcial de nitrógeno y fosforo. En cada tanque existe un brazo decantador para extraer el agua tratada de forma periódica, un mezclador sumergible para agitar el contenido en los periodos anóxicos, así como una red de difusiones de aire de burbuja fina colocados en el fondo de los reactores.
- Un sistema de aireación utilizando un par de sopladores rotatorios de lóbulos.
- Una bomba sumergible para la extracción de la purga de lodos generados en el proceso aerobio.
- Un tanque de amortiguamiento, el cual recibe el efluente tratado del reactor SBR.

(Jorge López, 2005)

6.1.3.2. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA PTAR

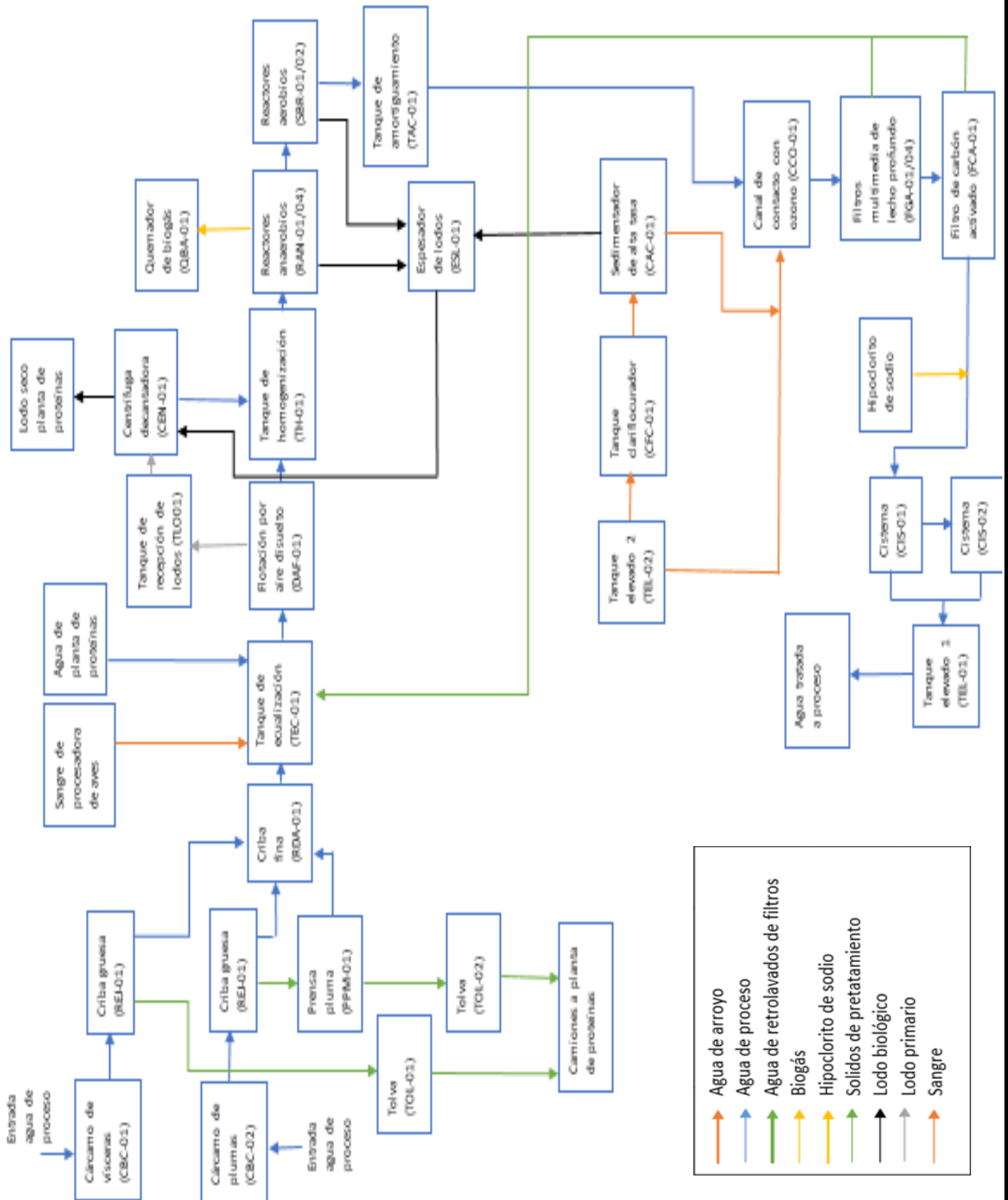


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de la PTAR (Planta de Tratamientos de Aguas Residuales).

6.2. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB) es un proceso de tanque simple. Las aguas residuales entran en el reactor por el fondo, y fluyen hacia arriba. Una capa de lodo suspendida filtra las aguas residuales, tratándolas al ir atravesándola.

La capa de lodos está formada por gránulos (pequeñas agrupaciones) de microbios (0.5 a 2 mm de diámetro), microorganismos que por su propio peso se resisten a ser arrastrados por el flujo ascendente. Los microorganismos en la capa de lodos degradan los compuestos orgánicos. Como resultado se liberan gases (metano y bióxido de carbono). Las burbujas ascendentes mezclan los lodos sin necesidad de piezas mecánicas. Las paredes inclinadas vuelcan el material que alcanza la superficie del tanque. El efluente clarificado es extraído de la parte superior del tanque en un área por encima de las paredes inclinadas.

Después de varias semanas de uso, se forman gránulos más grandes de lodos que, a su vez, actúan como filtros de partículas más pequeñas al ir subiendo el efluente por la capa de lodos. Dado el régimen ascendente, los organismos que forman los gránulos son acumulados, mientras que los demás son arrastrados por el flujo. (Ramalho, 2003)

El gas que asciende hacia la superficie es recolectado en un domo y puede ser usado como fuente de energía (biogás). Se debe mantener una velocidad ascendente de 0.6 a 0.9 m/h para mantener la capa de lodos en suspensión.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional. (Marjorie Márquez y Sergio Martínez. 2011)

En la figura 3 se muestra un esquema general de uno de estos reactores, donde se distinguen 4 zonas:

- La zona 1 se llama lecho del lodo.
- La zona 2 se llama la manta de lodo.
- La zona 3 es la zona de bajo nivel de turbulencia.
- La pieza 4 del diagrama sirve como sedimentador.

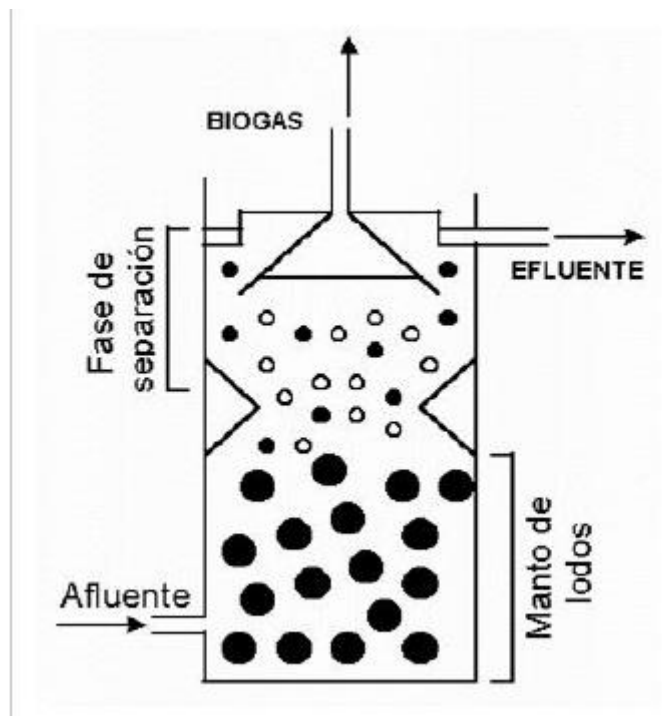


Figura 2 Esquema general de un reactor UASB

La formación de un lodo granulado es fundamental para obtener buena eficiencia en el reactor UASB, lo cual depende, fundamentalmente de los factores siguientes:

- Disponibilidad de nutrientes.
- Temperatura.
- Tipo de residual.
- pH.
- Sedimentación por gravedad.

La concentración de biomasa en el reactor debe ser tan grande como sea posible. El valor máximo a ser alcanzado se ve limitado por las condiciones de operación propias del sedimentador, la cual incluye la recirculación por gravedad del lodo sedimentado. (Marjorie Márquez y Sergio Martínez. 2011)

La actividad biológica del lodo también debe ser elevada, esta actividad depende fundamentalmente de la cantidad de microorganismos presentes en el lodo los cuales son responsables de la degradación de la materia orgánica presente en el residual tratado.

Debido a que las bacterias anaerobias tienen baja velocidad de crecimiento, solamente es posible obtener lodos con elevada actividad biológica después de un largo tiempo de adaptación (entre 0,5 y 1 año).

El tiempo de retención de sólidos debe ser elevado para que pueda desarrollarse una mezcla apropiada de microorganismos, esto puede obtenerse mediante una operación efectiva de las tres funciones del separador.

El tiempo de retención hidráulico en el reactor debe ser tan pequeño como sea posible. En estas condiciones, el contacto entre el efluente y la biomasa debe ser muy bueno. Para cumplir con este objetivo debe tenerse en cuenta dos aspectos muy importantes:

- a) El sistema de distribución del afluente debe ser diseñado de forma tal que todo el lodo en la parte inferior del reactor se mantenga en íntimo contacto con el afluente.
- b) El líquido en el lecho y en la zona de dispersión debe estar debidamente mezclado. Para evitar el uso del mezclado mecánico debe garantizarse que la turbulencia que produce el biogás, resultante de la anaerobiosis, provoque un mezclado adecuado.

6.2.1. CARACTERÍSTICAS

En los sistemas anaerobios de flujo ascendente, y bajo ciertas condiciones, se puede llegar a observar que las bacterias pueden llegar a agregarse de forma natural formando flóculos y gránulos. Estos densos agregados poseen unas buenas cualidades de sedimentación y no son susceptibles al lavado del sistema

bajo condiciones prácticas del reactor. La retención de fango activo ya sea en forma granular o floculenta, hace posible la realización de un buen tratamiento incluso a altas tasas de cargas orgánicas. La turbulencia natural causada por el propio caudal del influente y de la producción de biogás provoca el buen contacto entre agua residual y fango biológico en el sistema UASB. En los sistemas UASB pueden aplicarse mayores cargas orgánicas que en los procesos aerobios. Además, se requiere un menor volumen de reacción y de espacio, y al mismo tiempo, se produce una gran cantidad de biogás, y por tanto de energía.

El proceso UASB se inventó a mediados de los 70 en la Universidad de Wageningen (Holanda) por un equipo dirigido por el Doctor Gazte Lettinga y se aplicó por primera vez a escala industrial en una industria azucarera alemana. Durante varios años, fue continuamente mejorado para el tratamiento de grandes caudales de aguas residuales, y cargas con importantes fluctuaciones diarias.

El UASB es un sistema trifásico de alta carga que opera como un sistema de crecimiento en suspensión. La elevada concentración de biomasa en el UASB lo hace más tolerante a la presencia de tóxicos. (Vanessa Gandarillas, 2017)

Consiste esencialmente en una columna abierta, a través de la cual el líquido residual se pasa a una baja velocidad ascensional. El manto de fangos se compone de gránulos o partículas además del agua residual. El fenómeno de granulación que rige la formación de los gránulos constituye la parte fundamental del proceso. El tratamiento del agua se da cuando se pone en contacto el agua con los gránulos. Los gases producidos bajo condiciones anaerobias provocan la recirculación interna, lo que ayuda en la formación y mantenimiento de las partículas biológicas, sobre las cuales algunas partículas de gas se adhieren. El gas libre y el gas adherido a gránulos se retienen en el colector de gas en la parte alta del reactor. El líquido que ha pasado a través del manto contiene algunos sólidos residuales y gránulos biológicos que pasan a través del sedimentador donde los sólidos se separan del futuro efluente.

Para lograr una operación correcta del sistema se requiere la formación de biomasa floculante, y la puesta en marcha suele requerir la inoculación previa del reactor con grandes cantidades de fangos de algún otro sistema de operación.

El proceso UASB se puede aplicar a una amplia variedad de aguas residuales industriales. Al igual que en otros tipos de tratamiento de aguas residuales, en los UASB también son necesarias unas etapas previas de adecuación del influente antes de ingresarlas al reactor, como por ejemplo, eliminación de aceites y grasas, desarenado, corrección de pH. Tras este tipo de pretratamientos, el UASB puede convertir el 70-95% de la materia orgánica biodegradable en una corriente de biogas valorizable.

La tecnología de alta carga se basa en el crecimiento del fango granular y en el separador de tres fases (biogás-líquido-sólido), ha tenido un gran éxito comercial con un gran número de instalaciones en el mundo.

La industria alimentaria mundial es un usuario activo de esta tecnología de tratamiento anaerobio. Aunque también se ha implantado en industrias como la cervecera, destilería, plantas de procesado de la patata, la industria del papel y la celulosa, industria textil, química y farmacéutica. (Vanessa Gandarillas, 2017)

6.2.2. Ventajas de los UASB

Los reactores del tipo UASB presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación y manutención), producción pequeña de lodos excedentes, consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento. Son económicos energética y ecológicamente.

Los filtros anaerobios son relativamente pequeños, fáciles de construir y presentan buenas eficiencias de remoción de materia orgánica.

También proporcionan una mejora el grado de tratabilidad de las aguas residuales para las etapas subsecuentes, ya que en ellos hay mayor concentración de bacterias que en otros sistemas, lo cual permite operar con velocidades de carga orgánica más elevadas además de minimizar problemas de colmatación por sólidos y se reduce la posibilidad de cortos circuitos.

La pantalla que hay en el RAFA crea una zona de bajo nivel de turbulencia donde aproximadamente el 99.9% del lodo en suspensión se sedimenta en el fondo del reactor. (Marjorie Márquez y Sergio Martínez. 2011)

Otras ventajas de los reactores UASB, se listan a continuación:

- Bajos requerimientos nutricionales.
- El proceso puede manejarse con altas cargas intermitentes.
- Los lodos se conservan (sin alimentación) por largos períodos de tiempo.
- Producción de metano aprovechable.
- Identificación y medición de productos intermedios que proporcionan parámetros de control adicionales.
- La fermentación ácida y metánica, así como la sedimentación tienen lugar en el mismo tanque, por lo cual las plantas son muy compactas.
- El consumo de potencia es bajo, puesto que el sistema no requiere ninguna agitación mecánica.
- La retención de biomasa es muy buena y por eso no es necesario reciclar el lodo.

6.2.3. Desventajas.

Las limitaciones del proceso están relacionadas con las aguas residuales que tienen altos contenido de sólidos, o cuando su naturaleza impide el desarrollo de los lodos granulados.

El arranque del proceso es lento, pues consiste en mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de la biomasa siendo los nutrientes necesarios lo más importante para su crecimiento.

Las bacterias anaerobias (particularmente las metanogénicas) se inhiben por un gran número de compuestos.

Su aplicación debe ser monitoreada y puede requerir un pulimiento posterior de su efluente, además se generan malos olores si no es eficazmente controlado. (Marjorie Márquez y Sergio Martínez. 2011)

6.3. PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.) y en una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) con compuestos de difícil degradación.

Las razones por las que la digestión anaerobia es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica (como son las aguas residuales domésticas) se deben a los siguientes beneficios:

- Reducción significativa de malos olores.
- Mineralización.
- Producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil.
- Reducción de emisiones de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH_4 (que produce efecto invernadero 20 veces superior al CO_2) y producción de CO_2 ahorrado por sustitución de energía fósil.

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos, bajo las únicas premisas de que sean líquidos y contengan materiales fermentables, y tengan una composición y concentración relativamente estable. Sin embargo, es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren en forma simultánea. (Rosa Yaya, 2012)

El proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica se divide en cuatro fases o procesos característicos:

6.3.1. Etapa de hidrolisis.

La hidrolisis de la materia orgánica polimérica a compuestos solubles o monómeros es el paso inicial para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos, ya que los microorganismos únicamente pueden utilizar materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular. Es entonces el proceso de hidrolisis, el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia. La etapa Hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global de todo el proceso de digestión anaerobia.

La hidrolisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, hidratos de carbono y lípidos) es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares, que la mayoría de microorganismos tienen la capacidad de producirlas. Estas enzimas se liberan al medio acuoso, o están ligadas a la pared celular.

Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso, ya que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrolisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas sin hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteicas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, hidrogeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso. (Rosa Yaya, 2012).

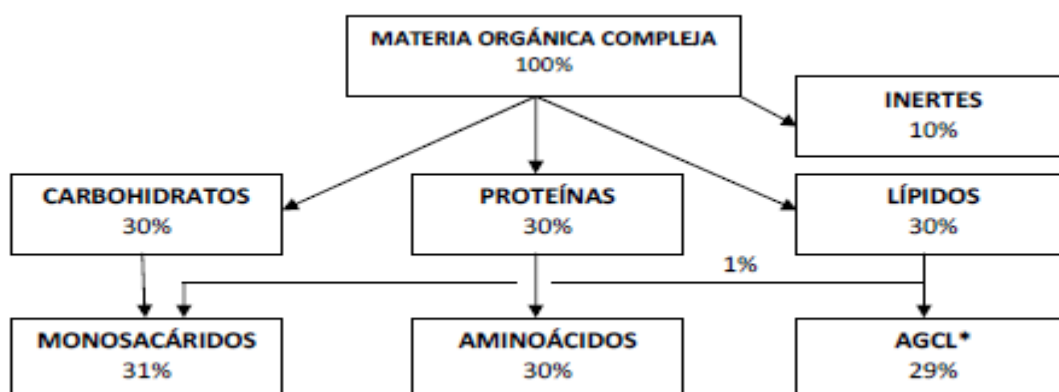


Figura 3. Transformaciones de la materia orgánica compleja durante la etapa hidrolítica de la digestión anaerobia (AGCL: Ácidos Grasos de Cadena Larga).

6.3.2. Etapa Fermentativa o Acidogénica.

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles, en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂), y compuestos orgánicos más reducidos, que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso.

La fermentación de azúcares se utiliza por diversos tipos de microorganismo. En función de cada organismo, la ruta metabólica y los productos finales son diferentes.

Los principales productos de la fermentación de aminoácidos y de otras moléculas hidrogenadas son ácidos grasos de cadena corta, succínico, aminovalerico y H₂. La fermentación de aminoácidos es un proceso rápido y en general, no limita la velocidad de degradación de compuestos proteicos. (Rosa Yaya, 2012)

6.3.3. Etapa Acetogénica.

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H₂ y acetato), otros (etanol, ácidos grasos volátiles como valeriato, butirato, propionato, etc. Y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, acetato y H₂, a través de las bacterias acetogénicas.

Desde el punto de vista termodinámico, estas reacciones no son posibles porque en condiciones estándar presentan energías libres de reacción positivas. Sin embargo, a presiones parciales de H₂ bajas, estas reacciones pasan a ser termodinámicamente favorables y la variación de energía libre es suficiente para permitir la síntesis de ATP y el crecimiento bacteriano.

Por tanto, el principal inhibidor de la acetogénesis, es la acumulación de hidrogeno molecular. El enriquecimiento en H₂ Y CO₂ en general favorece el desarrollo de metanógenos en lugar de acetógenos; por lo que es un

reto deducir como coexisten en la naturaleza estas dos estrategias metabólicas sin que los metanógenos terminen por eliminar a los acetógenos. (Rosa Yaya, 2012)

6.3.4. Etapa Metanogénica.

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono, como son: acetato, H_2/CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. Los microorganismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que las diferencian del resto de procariontas. (Rosa Yaya, 2012)

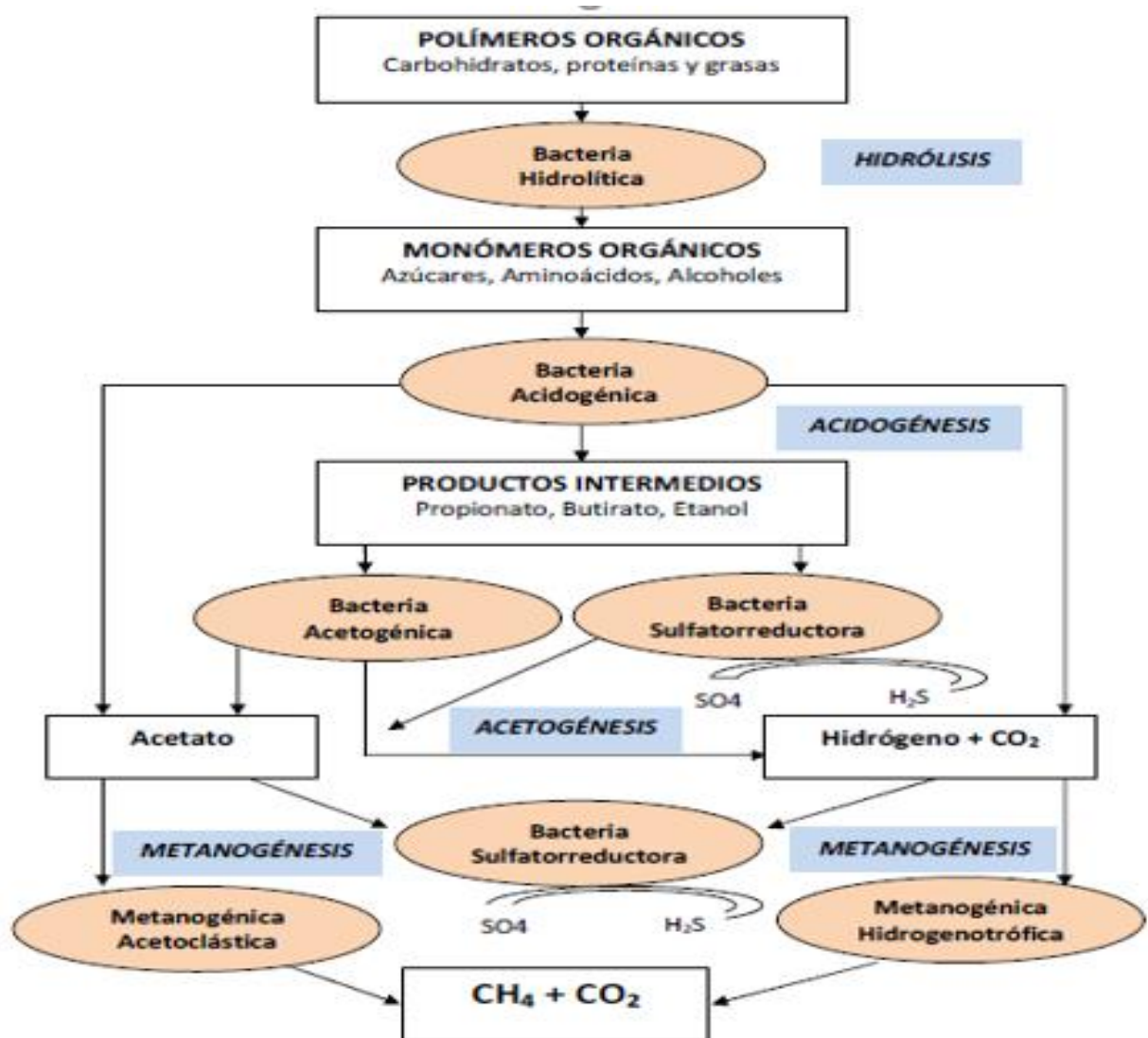


Figura 4. Proceso de digestión anaerobia.

6.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO

En la siguiente tabla se resumen tanto las ventajas como las desventajas del tratamiento anaerobio.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tratamientos anaerobios. **(Metcalf & Eddy. 2003)**

| | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ventajas | <ul style="list-style-type: none">• Se requiere menor energía.• Menor producción de lodos.• Menor cantidad de nutrientes requeridos.• Producción de metano, fuente potencial de energía.• Menor volumen de los reactores.• Con aclimatación, se pueden transformar una mayor cantidad de compuestos.• Rápida respuesta a la adición de sustrato después de largos períodos sin alimentarse. |
| Desventajas | <ul style="list-style-type: none">• Largos períodos de arranque.• Puede requerir la adición de algún ión específico o de alcalinidad.• Puede requerir tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad.• No es posible la remoción de fósforo y nitrógeno.• Son más sensibles a los efectos adversos de las bajas temperaturas en las tasas de reacción.• Son susceptibles de perturbarse debido a sustancias tóxicas.• Potencial producción de olores y gases corrosivos. |

6.5. ASPECTOS ECONÓMICOS

La digestión anaerobia constituye, principalmente, un método de pretratamiento de gran interés. En algunos casos, incluso, puede ser un tratamiento completo cuando no es preciso conseguir un efluente de alta calidad, y no se requiere la eliminación de nutrientes. Así, el proceso anaerobio, basado en un digester UASB que funcione con TRH entre 10 y 14 horas, con un decantador adecuado a la salida, puede alcanzar los objetivos de depuración fijados por la UE para el vertido en zonas normales, esto es, conseguir una eliminación de DQO del 75 % y de SS del 90 %, o bien un efluente con una calidad determinada por una concentración máxima de 25 mg/l de DBO5, 125 mg/l de DQO y 35 mg/l de SS. (Yaniris Lorenzo y Ma. Cristina Obaya)

6.6. TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICA

Trh es el acrónimo de *tiempo de residencia hidráulico* que se define como la relación entre el volumen de un depósito de agua (lago, embalse, pozo, piscina, tanque) y el caudal de entrada. Es decir, es el tiempo promedio que una parcela de agua que ingresa al depósito se demora en salir. (Juan Sainz, 2007)

A partir del volumen obtenido para el reactor, puede determinarse el tiempo de residencia hidráulico, de acuerdo con:

$$T_r (h) = \frac{V (m^3)}{Q (m^3/h)}$$

Donde:

T_r = Tiempo de residencia hidráulica

V = Volumen del reactor

Q = Caudal

6.7. TRATAMIENTO COMBINADO (ANAEROBIO-AEROBIO) PARA LA DECOLORACIÓN DE LA VINAZA DE DESTILERIA.

Tratamiento anaerobio para el tratamiento de la vinaza se utilizó un reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos UASB de 1,5 L de volumen útil y con recirculación de 1/3 de su volumen, el cual fue operado con TRH de 72 h. Dicho reactor fue inoculado con un lodo granular (cultivo mixto) proveniente de una planta industrial, con 12 gSSV/L y actividad metanogénica de $0.71 \text{ gDQO-CH}_4 \cdot \text{gSSV}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. El reactor fue mantenido en un cuarto con temperatura controlada de 28-30 °C. Se determinó la remoción de DQO, color y la producción de metano durante la experimentación. Se siguió el pH de salida del reactor y se calculó la relación de alcalinidad (R.A) como parámetros de control del proceso.

(Suyén Rodríguez, 2005)

6.7.1. Métodos analíticos

La determinación del peso seco para la evaluación de la biomasa, la DQO, el pH. y la luminancia (L) como medida del color, se realizaron según describe el Standard Method. La remoción del color se determinó según las ecuaciones:

$$R = (A_i - A_f) / A_i$$

$$A = 2 - \log L$$

La concentración de fenoles fue cuantificada usando una modificación del método de Folin-Denis. La relación de alcalinidad calculada consiste en una doble valoración de 20 mL de muestra en agitación, hasta pH 5.75 y luego pH 4.3, con una solución de H₂SO₄ 0.02 N. Para el cálculo de la relación de R.A se emplearon los volúmenes de ácido consumidos en cada caso según refiere la siguiente ecuación:

$$R.A = V_{5.75} / V_{4.5}$$

(Suyén Rodríguez, 2005)

7. PROCEDIMIENTOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

7.1. PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE H₂SO₄ A 0.02 N

Materiales

- Matraz volumétrico de 1000 ml
- Pipeta graduada de 1 ml
- Solución concentrada de H₂SO₄
- Jeringa / Pera*
- Agua destilada

Procedimiento

- a) Extraer con ayuda de la pipeta y la jeringa 0.53 ml de solución concentrada de H₂SO₄ y verterla en matraz volumétrico.
- b) Aforar a 1 L con agua destilada.
- c) Asegurarse de mezclar bien las soluciones.

Toma y conservación de muestras

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción de material cuyo volumen sea lo suficiente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad sin que por ello deje de representar con exactitud al material de donde procede.

La obtención de una muestra que cumpla con las condiciones necesarias para un análisis determinado implica que esta no debe deteriorarse o contaminarse antes de llegar al laboratorio. Para asegurar la calidad de la muestra se deben considerar las siguientes precauciones generales.

- a) Seleccionar adecuadamente el envase en el cual se va a tomar la muestra de acuerdo al análisis a realizar.

- b) Antes de tomar la muestra en el envase de muestreo es necesario lavar este dos o tres veces con el agua que se va a analizar, a menos que el envase contenga un conservador declorante.
- c) En el caso de que las muestras se tengan que transportar, es conveniente dejar un espacio de alrededor del 1% de la capacidad del envase a fin de permitir la expansión térmica.
- d) Para reducir al máximo la posible volatilización o biodegradación, la muestra se debe mantener a la menor temperatura posible sin que llegue a congelarse.
- e) En el caso de muestras compuestas mientras se hace la mezcla, las muestras deben mantenerse a una temperatura de 4°C.
- f) Realizar un registro de todas las muestras, identificar cada envase colocando una etiqueta con la información necesaria para poder identificar posteriormente las muestras.

Por otra parte, no existe n método de preservación generalizado ya que de acuerdo al tipo de análisis a realizar se tendrá un procedimiento de preservación de la muestra. En la tabla 1 se puede observar el procedimiento de preservación con base en el análisis a realizar así como el tipo de envase a ser utilizado.

7.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

7.2.1. PH y alcalinidad.

- PH

Material

- Potenciometro
- Soluciones tampón (buffer) de pH 4 a 7
- Vaso de precipitados de 50 ml

Procedimiento

- a) Calibrar el potenciómetro con solución buffer
- b) Introducir el electrodo en la muestra problema y medir el pH

- Alcalinidad

Material

- Pipeta volumétrica de 25 ml
- Vaso de precipitados de 100 ml
- Propipeta de hule
- Bureta de 50 ml
- Soporte universal
- Potenciometro
- Soluciones buffer de pH 7.0 y 4.0
- Solucion de H₂SO₄ a 0.02 N
- Pinzas para bureta
- Piceta

Procedimiento

- a) Calibrar el potenciómetro con las soluciones buffer
- b) Tomar 25 m de la muestra problema y medir pH inicial
- c) Titular con H₂SO₄ 0.02 N hasta alcanzar valores de Ph 5.75 y 4.30
- d) Calcular la alcalinidad

7.3. TOMA DE TEMPERATURA

Introducción.

La temperatura es uno de los parámetros que más influye en la velocidad de una reacción, el súbito descenso en la tasa de crecimiento a altas temperaturas es ocasionado por desnaturalización de las proteínas y posiblemente de las membranas. De igual manera, las bajas temperaturas afectan adversamente el proceso de degradación. Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura sobre la tasa de una reacción química, se puede predecir que las bacterias disminuyen su crecimiento a medida que la temperatura se reduce. Generalmente las bacterias cesan de crecer a una temperatura por encima de la congelación del agua; así mismo cada microorganismo tiene una temperatura mínima de crecimiento.

Manejo de muestras

Las características que se deben cuidar en el manejo de las muestras problema se describen a continuación:

- a) Las muestras se pueden colocar en recipientes de plásticos o de vidrio.
- b) Analizar inmediatamente.
- c) No se deben almacenar las muestras.

Material

- Termómetro de vidrio o potenciómetro con sensor de temperatura.
- Vasos de precipitados.

Procedimiento

La parte sensible del termómetro de vidrio o del sensor de temperatura del potenciómetro se debe sumergir directamente en el agua, a tal

profundidad en donde se obtenga la máxima temperatura, a fin de asegurarse la máxima transferencia de calor del agua al elemento sensible.

Se espera un periodo de tiempo suficiente a manera de obtenerse lecturas constantes.

7.4. DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO α

Durante el arranque de reactores anaerobios el parámetro de control que indica el momento en el cual se debe incrementar o suspender la carga orgánica es la relación de alcalinidades, conocida como parámetro alfa. La relación α se define como el cociente de la alcalinidad a 5.75 entre la alcalinidad a 4.30.

La alcalinidad útil para fines de amortiguamiento del pH es la debida a los bicarbonatos, medida a pH=5.75; la alcalinidad debida a lo AGV. Medida a pH=4.30, es una forma indirecta de medir su concentración, la cual se debe mantener lo más baja posible.

MATERIALES

- 4 vasos de precipitado de 100 ml.
- Probeta de 25 ml
- Bureta de 100 ml
- PH-metro
- Solución de H₂SO₄ a 0.02 N

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE ALFAS

- a) Se estableció un horario determinado para el muestreo del agua tratada en los RAN's, el horario establecido consistió en tomar muestras diarias de la caja primaria y de los canales de desfogue de cada uno de los reactores en horarios de 8:00 a.m. y 12 p.m.

- b) Separar 25 ml de la muestra con ayuda de una probeta y depositarlo en un vaso de precipitado.
- c) Determinar pH inicial, Temperatura según los procedimientos ya establecidos.
- d) Titular la muestra con H₂SO₄ a 0.02 N hasta obtener un pH de 5.75 y anotar la cantidad de asido consumido, seguir con la titulación hasta obtener un pH de 4.30 y anotar el asido consumido.
- e) Repetir a partir del paso b) con cada una de las muestras de las salidas de los reactores restantes.
- f) Determinar las alfas

FORMULA:

$$\alpha = \frac{\text{ml gastado a pH 5.75}}{\text{ml gastado totales a pH 4.30}}$$

7.5. DETERMINACIÓN DE COLOR

Materiales

- Espectrofotómetro
- Probeta de 25 ml

Procedimiento

- a) Tomar 10 ml de cada una de las muestras (incluyendo la muestra de la caja primaria) y determinar la concentración de color con apoyo del espectrofotómetro.

8. RESULTADOS

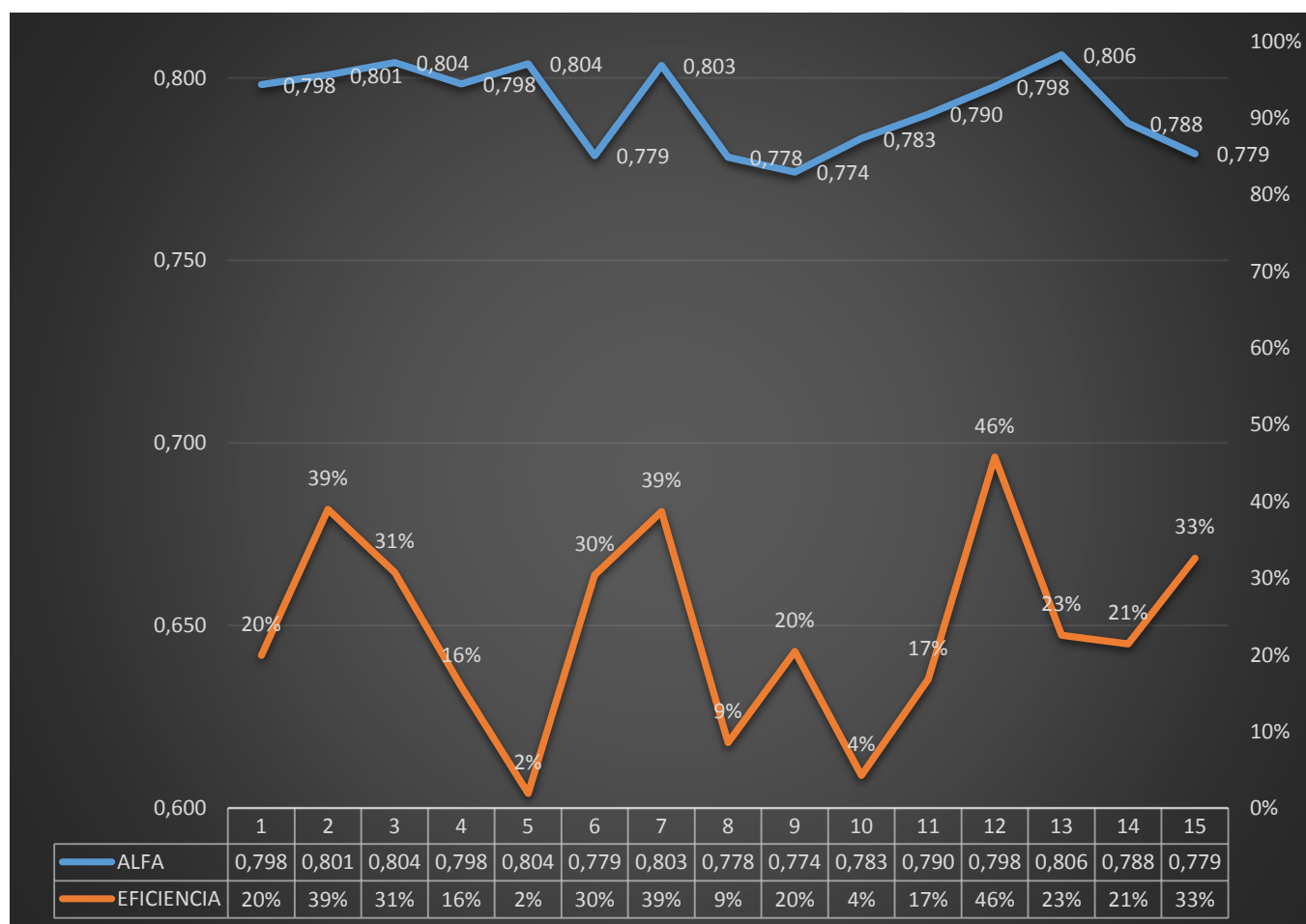
A continuación se presentan los resultados obtenidos durante el periodo de muestreo de las alfas y la remoción de color (en unidades de PtCo) que presentaron cada uno de los RAN's, donde se establecen tablas con los datos recopilados y graficas del comportamiento de las alfas con respecto a la eficiencia calculada.

8.1. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-1

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 14 | 15 |
| pH inicial | 7.43 | 7.37 | 7.33 | 7.31 | 7.49 | 7.54 | 7.67 | 7.66 | 7.82 | 7.71 | 7.7 | 7.88 | 7.89 | 7.76 | 8.09 |
| T°C | 24.2 | 24.6 | 25.2 | 25 | 25.7 | 25.4 | 24.5 | 24.7 | 25.9 | 25.1 | 25.1 | 24.1 | 25.4 | 26.5 | 25.2 |
| ml pH a 5.75 | 17.8 | 20.1 | 19.3 | 19.8 | 16.8 | 18.3 | 18.8 | 17.9 | 16.8 | 17 | 14.3 | 13.8 | 15.4 | 15.2 | 18 |
| ml pH a 4.30 | 22.3 | 25.1 | 24 | 24.8 | 20.9 | 23.5 | 23.4 | 23 | 21.7 | 21.7 | 18.1 | 17.3 | 19.1 | 19.3 | 23.1 |
| α | 0.798 | 0.801 | 0.804 | 0.798 | 0.804 | 0.779 | 0.803 | 0.778 | 0.774 | 0.783 | 0.790 | 0.798 | 0.806 | 0.788 | 0.779 |
| Color PtCo ENTRADA | 2605 | 4690 | 5298 | 4147 | 2336 | 3256 | 3990 | 3408 | 3768 | 2994 | 4731 | 3771 | 3827 | 3658 | 3860 |
| Color PtCo SALIDA | 2086 | 2862 | 3669 | 3489 | 2291 | 2266 | 2447 | 3116 | 2997 | 2866 | 3936 | 2044 | 2964 | 2874 | 2601 |
| Remoción de color | 519 | 1828 | 1629 | 658 | 45 | 990 | 1543 | 292 | 771 | 128 | 795 | 1727 | 863 | 784 | 1259 |
| Eficiencia | 20% | 39% | 31% | 16% | 2% | 30% | 39% | 9% | 20% | 4% | 17% | 46% | 23% | 21% | 33% |

Tabla 2. Tabla de parámetros alfa y eficiencia del reactor anaerobio 1 (RAN-1)

Grafica 1. Grafica de la eficiencia con respecto a alfas determinados del REACTOR ANAEROBIO-1.

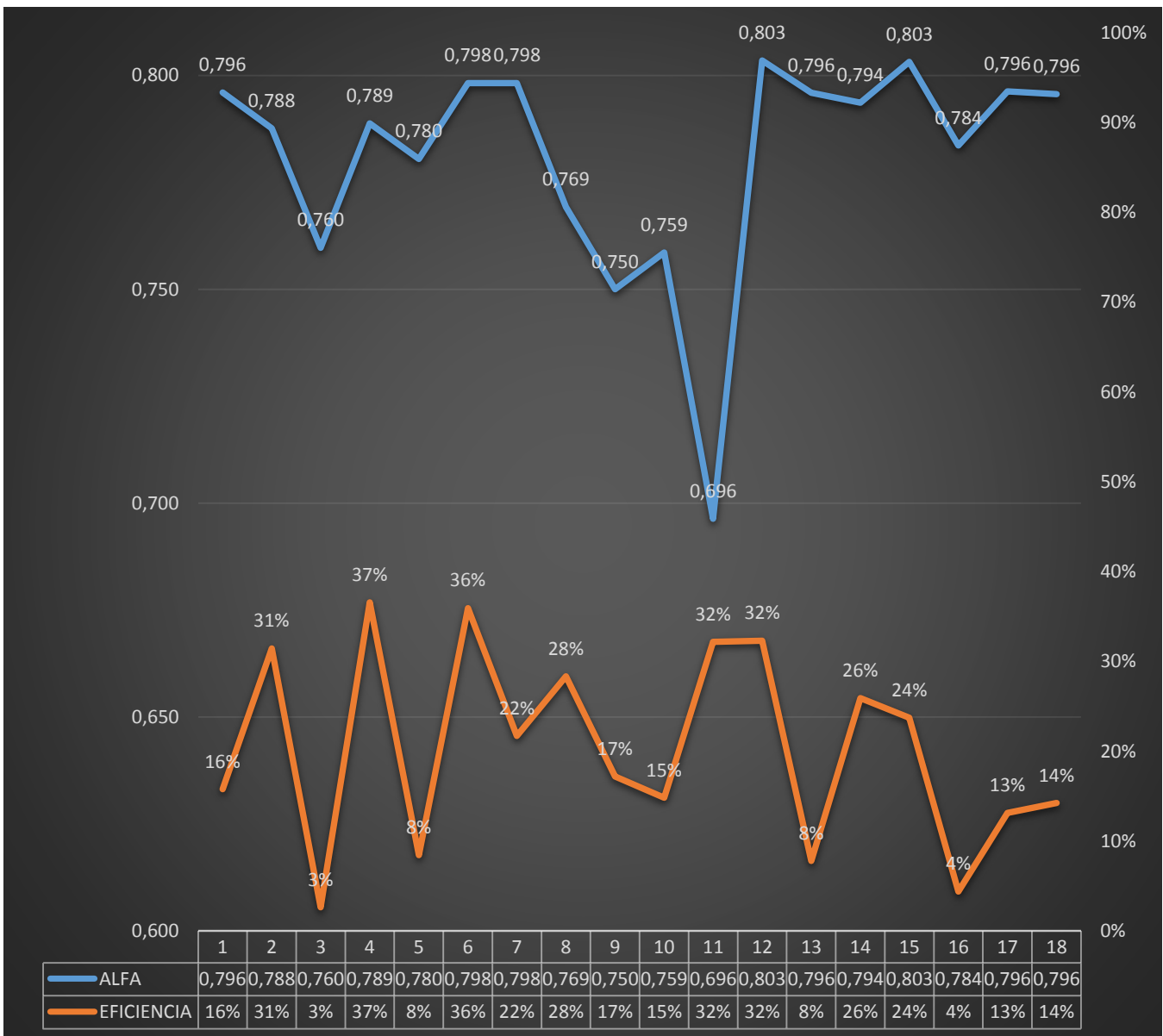


8.2. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-2

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| pH inicial | 7.35 | 7.27 | 7.37 | 7.48 | 7.54 | 7.75 | 7.67 | 7.73 | 7.46 | 7.62 | 7.63 | 7.61 | 7.96 | 7.92 | 7.83 | 7.82 | 7.93 | 8 |
| T°C | 24.9 | 25.1 | 24 | 25.5 | 24.9 | 24.7 | 24.7 | 25.5 | 25 | 24.6 | 26.8 | 25.3 | 24.9 | 25.8 | 25.4 | 25.1 | 25.2 | 25.2 |
| ml pH a 5.75 | 19.9 | 17.8 | 19.6 | 18.3 | 19.2 | 17.8 | 17.8 | 16 | 16.2 | 13.2 | 13.3 | 13.9 | 15.6 | 15 | 15.1 | 16.3 | 17.2 | 18.3 |
| ml pH a 4.30 | 25 | 22.6 | 25.8 | 23.2 | 24.6 | 22.3 | 22.3 | 20.8 | 21.6 | 17.4 | 19.1 | 17.3 | 19.6 | 18.9 | 18.8 | 20.8 | 21.6 | 23 |
| α | 0.796 | 0.788 | 0.760 | 0.789 | 0.780 | 0.798 | 0.798 | 0.769 | 0.750 | 0.759 | 0.696 | 0.803 | 0.796 | 0.794 | 0.803 | 0.784 | 0.796 | 0.796 |
| Color PtCo ENTRADA | 3208 | 5298 | 4082 | 3276 | 3256 | 3990 | 3408 | 3768 | 2994 | 3961 | 3557 | 4731 | 3138 | 3827 | 3658 | 2901 | 3260 | 3318 |
| Color PtCo SALIDA | 2702 | 3632 | 3974 | 2078 | 2981 | 2556 | 2668 | 2700 | 2479 | 3374 | 2412 | 3202 | 2893 | 2835 | 2790 | 2774 | 2832 | 2845 |
| Remoción de color | 506 | 1666 | 108 | 1198 | 275 | 1434 | 740 | 1068 | 515 | 587 | 1145 | 1529 | 245 | 992 | 868 | 127 | 428 | 473 |
| Eficiencia | 16% | 31% | 3% | 37% | 8% | 36% | 22% | 28% | 17% | 15% | 32% | 32% | 8% | 26% | 24% | 4% | 13% | 14% |

Tabla 3. Tabla de parámetros alfa y eficiencia del reactor anaerobio 2 (RAN-2)

Grafica 2. Grafica de la eficiencia con respecto a alfas determinados del REACTOR ANAEROBIO-2.

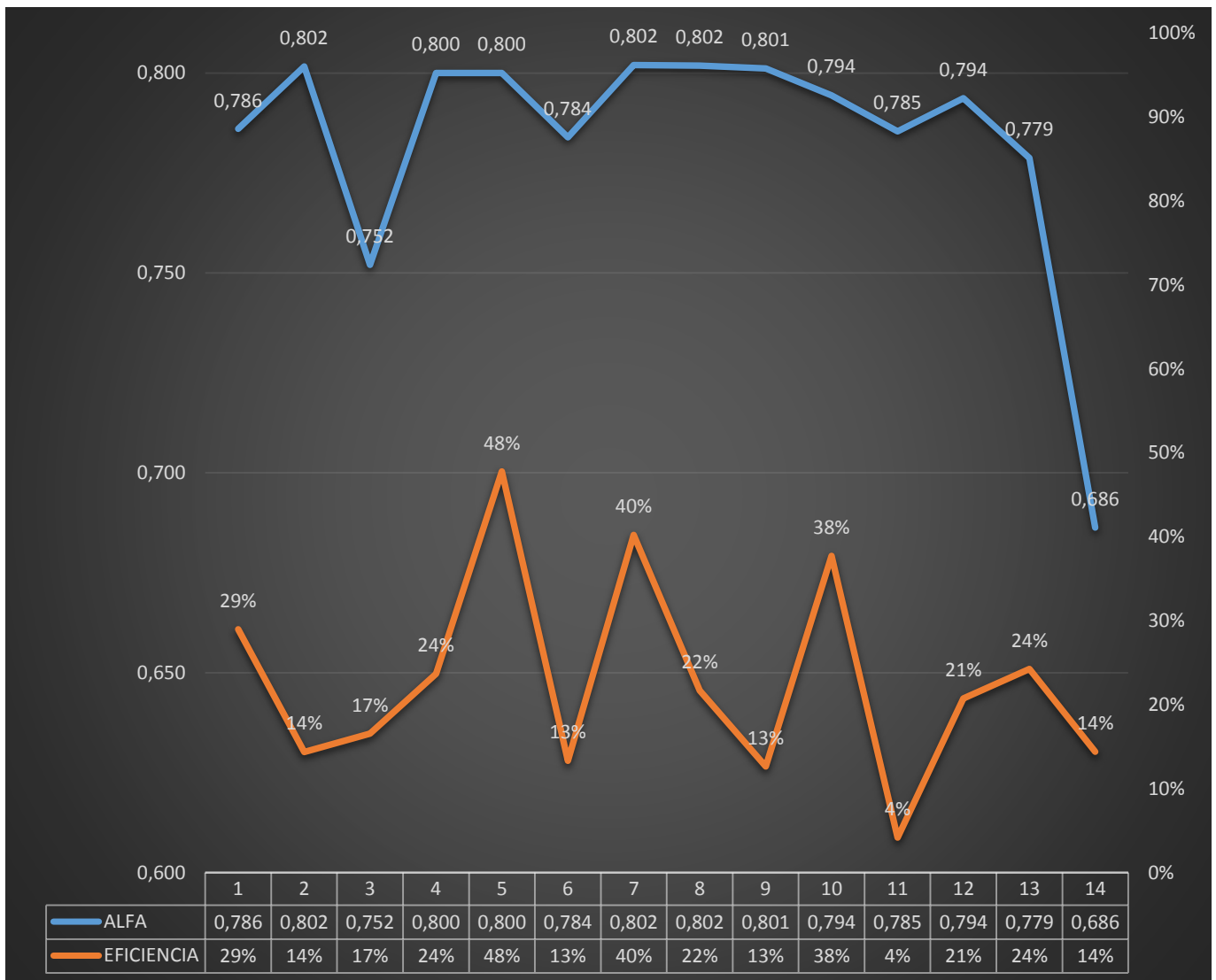


8.3. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-3

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 14 |
| pH inicial | 7.35 | 7.26 | 7.82 | 7.61 | 7.69 | 7.63 | 7.76 | 7.52 | 7.64 | 8.04 | 7.99 | 8.13 | 8.01 | 7.87 |
| T° C | 25.2 | 24 | 23.5 | 24.7 | 25.3 | 24.9 | 24.7 | 24.5 | 26.5 | 23.9 | 25.4 | 24 | 25.5 | 26.3 |
| ml pH a 5.75 | 18 | 19.8 | 18.8 | 18 | 18 | 18.5 | 15.8 | 17 | 13.7 | 14.3 | 17.2 | 17.7 | 18.3 | 7 |
| ml pH a 4.30 | 22.9 | 24.7 | 25 | 22.5 | 22.5 | 23.6 | 19.7 | 21.2 | 17.1 | 18 | 21.9 | 22.3 | 23.5 | 10.2 |
| α | 0.786 | 0.802 | 0.752 | 0.800 | 0.800 | 0.784 | 0.802 | 0.802 | 0.801 | 0.794 | 0.785 | 0.794 | 0.779 | 0.686 |
| Color PtCo ENTRADA | 5298 | 4082 | 2709 | 3256 | 3990 | 3408 | 3768 | 2994 | 3557 | 2726 | 3260 | 3816 | 3860 | 3388 |
| Color PtCo SALIDA | 3763 | 3496 | 2261 | 2485 | 2084 | 2954 | 2253 | 2345 | 3107 | 1698 | 3124 | 3025 | 2924 | 2901 |
| Remocion de color | 1535 | 586 | 448 | 771 | 1906 | 454 | 1515 | 649 | 450 | 1028 | 136 | 791 | 936 | 487 |
| Eficiencia | 29% | 14% | 17% | 24% | 48% | 13% | 40% | 22% | 13% | 38% | 4% | 21% | 24% | 14% |

Tabla 4. Tabla de parámetros alfa y eficiencia del reactor anaerobio 3 (RAN-3)

Grafica 3. Grafica de la eficiencia con respecto a alfas determinados del REACTOR ANAEROBIO-3

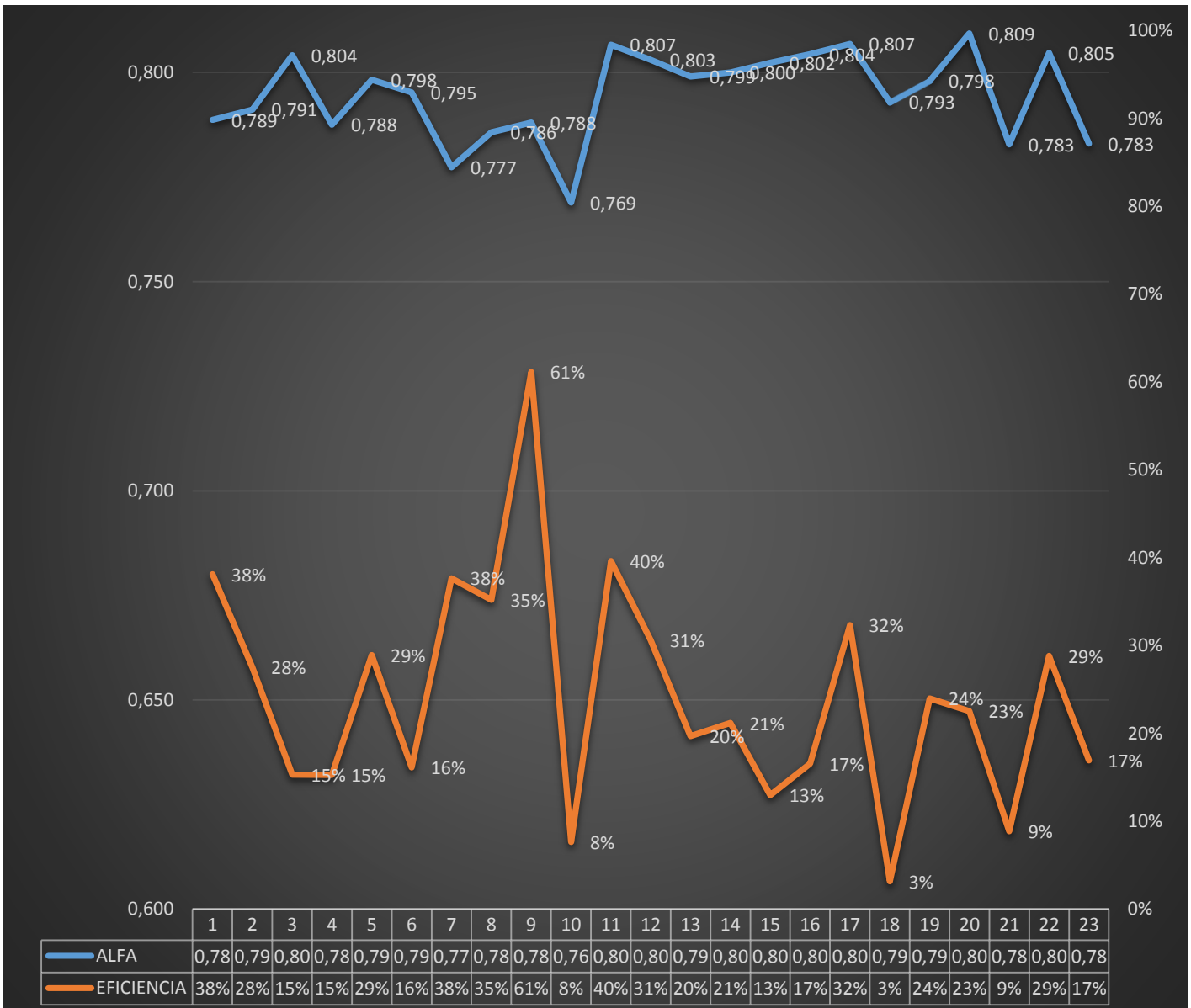


8.4. TABLA DE PARAMETROS ALFA DEL REACTOR ANAEROBIO-4

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| pH inicial | 7.43 | 7.29 | 7.45 | 7.48 | 7.58 | 7.5 | 7.86 | 7.69 | 7.7 | 7.69 | 7.71 | 7.87 | 7.89 | 7.74 | 7.85 | 7.98 | 7.67 | 7.98 | 7.85 | 7.96 | 8.07 | 8.17 | 8.05 |
| T°C | 24.8 | 24.7 | 24.3 | 24.7 | 25.4 | 25.8 | 25.1 | 24.1 | 25.5 | 25.4 | 25.2 | 25 | 24.1 | 24.7 | 26.2 | 23.3 | 25.6 | 24.4 | 24.3 | 25.5 | 24.9 | 23.8 | 25.2 |
| mlpH a 5.75 | 19.4 | 17.8 | 19.7 | 18.9 | 18.2 | 16.7 | 17.8 | 18.7 | 17.1 | 17.3 | 17.1 | 15.9 | 16.3 | 13.2 | 13.8 | 14.8 | 14.2 | 15.7 | 15.8 | 17.4 | 17.3 | 17.3 | 18.4 |
| mlpH a 4.30 | 24.6 | 22.5 | 24.5 | 24 | 22.8 | 21 | 22.9 | 23.8 | 21.7 | 22.5 | 21.2 | 19.8 | 20.4 | 16.5 | 17.2 | 18.4 | 17.6 | 19.8 | 19.8 | 21.5 | 22.1 | 21.5 | 23.5 |
| α | 0.789 | 0.791 | 0.804 | 0.788 | 0.798 | 0.795 | 0.777 | 0.786 | 0.788 | 0.769 | 0.807 | 0.803 | 0.799 | 0.800 | 0.802 | 0.804 | 0.807 | 0.793 | 0.798 | 0.809 | 0.783 | 0.805 | 0.783 |
| Color PtCo ENTRADA | 4690 | 5298 | 4082 | 4147 | 3030 | 2336 | 3276 | 3256 | 3990 | 3408 | 2186 | 3768 | 2894 | 3961 | 3557 | 2960 | 4441 | 3138 | 3138 | 3260 | 3318 | 3816 | 3860 |
| Color PtCo SALIDA | 2903 | 3840 | 3457 | 3514 | 2154 | 1959 | 2042 | 2110 | 1551 | 3147 | 1320 | 2614 | 2404 | 3122 | 3095 | 2470 | 3006 | 3039 | 2385 | 2525 | 3024 | 2716 | 3206 |
| Remoción de color | 1787 | 1458 | 625 | 633 | 876 | 377 | 1234 | 1146 | 2439 | 261 | 866 | 1154 | 590 | 839 | 462 | 490 | 1435 | 99 | 753 | 735 | 294 | 1100 | 654 |
| Eficiencia | 38% | 28% | 15% | 15% | 29% | 16% | 38% | 35% | 61% | 8% | 40% | 31% | 20% | 21% | 13% | 17% | 32% | 3% | 24% | 23% | 9% | 29% | 17% |

Tabla 5. Tabla de parámetros alfa y eficiencia del reactor anaerobio 4 (RAN-4)

Grafica 4. Grafica de la eficiencia con respecto a alfas determinados del REACTOR ANAEROBIO-4



8.5. EVALUACION PROMEDIO DE LOS REACTORES

Dado los resultados obtenidos a lo largo de la residencia profesional en el área de PTAR de la PPA BUENAVENTURA se calcula un promedio para tener una mayor exactitud sobre el comportamiento de los reactores anaerobios (RAN'S) tipo UASB y evaluar el comportamiento de estos con alfas en un rango de 0 - 0.8 y emitir una conclusión.

| | ALFA | EFICIENCIA | LODOS | TRH |
|--------|-------|------------|-------|-------|
| RAN-01 | 0,792 | 23% | 3,89 | 14,33 |
| RAN-02 | 0,781 | 20% | 3,69 | 10,33 |
| RAN-03 | 0,783 | 24% | 4,56 | 14,24 |
| RAN-04 | 0,795 | 24% | 2,55 | 15,86 |

Tabla 6. Resultados promedio de reactores anaerobios 1-4 (RAN's 1/4)

9. ACTIVIDADES SOCIALES REALIZADAS EN LA EMPRESA

Como una actividad adicional durante la estancia en la PPA BUENAVENTURA GRUPO PECUARIO S.A. DE C.V. se asignó la actividad de “EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL” correspondiente a la ISO 14000 y “EVALUACION DE SEGURIDAD Y SALUD DEL TRABAJADOR” correspondiente a la ISO 45000; abarcando determinadas áreas en la PPA, tales como:

- PTAR
- Almacén de productos químicos PTAR
- Planta Sanitaria Wetland
- Calderas
- Laboratorio de análisis fisicoquímicos
- Laboratorio de análisis de calidad
- Almacén de residuos sólidos urbanos
- TIF
- Control de plagas

- ISO 14000

Los **SGA** están basados en normas de referencia. La más extendida de éstas es la **norma internacional ISO 14001**, que forma parte de la **familia de normas ISO 14000** y que especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental que le permita a una organización formular una política y objetivos, teniendo en cuenta los requisitos legales y la información sobre impactos ambientales significativos.

ISO 14001 se aplica a aquellos aspectos ambientales que la organización puede controlar y sobre los cuales se supone que tiene influencia, aunque no establece en sí criterios específicos de desempeño ambiental.

El método de evaluación consiste en una matriz que tiene como objetivo cumplir con las siguientes parámetros y especificaciones para aplicar las acciones correspondientes.

| Evaluación de condiciones Normales y Anormales | | Evaluación de Condiciones de Riesgo | |
|------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ACCIONES | VALOR | VALOR | ACCIONES |
| Aplicación de los Controles Establecidos. | NO SIGNIFICATIVO ($\leq 12^*$) | ≤ 12 | Aplicación de los controles establecidos |
| | | | |
| Control Operacional(CO) u Objetivo y Además | SIGNIFICATIVO (>12) | >12 | Capacitación a Planes de emergencia |
| | *Siempre y cuando no este Regulado. | | Nota: Se aplican recorridos a todas las áreas con condiciones de riesgo. |

A continuación, se muestra un ejemplo de la evaluación que corresponde a la PTAR.

- ISO 45000

ISO 45001 es la nueva norma de Sistemas de Gestión de la Seguridad y la Salud en el Trabajo, que sustituirá a la actual OHSAS 18001. Disponer de un Sistema de Gestión de la Seguridad y la Salud en el Trabajo robusto y eficiente le aporta un enfoque más holístico en la gestión de sus riesgos de seguridad y salud y le permite una mayor previsión tanto de sus trabajadores como de su empresa.

La matriz consiste en la evaluación de la salud y seguridad del trabajador según las actividades, las condiciones y actos inseguros que el trabajador pueda realizar en determinadas áreas del proceso, de igual manera se centra en identificar riesgos con respecto al factor que esté presente y proponer oportunidades de mejora para la salud y seguridad del trabajador.

| FECHA: OCTUBRE DEL 2016 | | MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SEGURIDAD | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|
| 45000-1.2.R0 | | CALCULO DE LA PROBABILIDAD BASE | | | | | CALCULO DE LA SEVERIDAD | | | | | CALC | |
| ACTIVIDAD | RIESGO | HISTORIAL DE ACCIDENTE | CONDICIONES DE INSERIAS | ACTOS INSEGUROS | EDM DE LOS EQUIPOS Y/O INSTALACIONE PERSONAL | PREVENCION ADE EXPOSICION | PROBABILIDAD DEL FACTOR | PELIGROS CONSECUENCIA DEL DAÑO | ALCANCE DEL DAÑO | SEVERIDAD PROMEDIO | RIESGO EN MEDIDAS DE SEGUR | HISTORIAL DE ACCIDENTE | CONDICIONES DE INSERIAS |
| Recurtidos de inspección. | Golpes y lesiones a diferentes partes del cuerpo. | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 15 | 2 | 1 | 13 | 20 ESTABLECIDOS | APLICACIONALES PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS | |
| | Exposición a instalaciones eléctricas sin guarda | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 15 | 2 | 1 | 17 | 20 ESTABLECIDOS | APLICACIONALES PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS | |
| | Exposición a equipos en movimiento | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 15 | 1 | 1 | 10 | 20 ESTABLECIDOS | APLICACIONALES PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS | |
| Apuntamiento de Funa | Exposición a mordedura de animales. | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 10 | 2 | 1 | 17 | 20 ESTABLECIDOS | APLICACIONALES PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS | |
| Monitoreo de estaciones de cebado de trampa arcénica, cebadores de mesa y equipo de dióscoro. | Golpes y lesiones en diferentes partes del cuerpo. | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 15 | 2 | 1 | 13 | 20 ESTABLECIDOS | APLICACIONALES PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS | |

| | |
|---------|-----------|
| ELABORÓ | SUPERVISÓ |
| Nombre: | Nombre: |
| Puesto: | Puesto: |
| Firma: | Firma: |

| | |
|--------------------|--------------------------------------------|
| MEJORAS ACEPTABLES | APLICACIONALES PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS |
| Mejora 1.27 | |
| Mejora 1.27 | ACCIONES INMEDIATAS Y PLAN DE EJECUCION |
| Mejora 1.27 | |

10. CONCLUSION

Se observa que la eficiencia de remoción de color en los reactores anaerobios tipo UASB es menor cuando los alfas se encuentran en los valores de 0.58 a 0.8, existen variables que alteran la eficiencia de estos, como lo son la carga orgánica disuelta que presenta el agua residual, flujo volumétrico, pH y el exceso de biomasa en los reactores RAN's.

De acuerdo a los resultados obtenidos a lo largo de la residencia profesional, se pudo observar que los RAN's que presentan exceso de biomasa y un flujo volumétrico alto la eficiencia es menor del 20% debido al tiempo de residencia hidráulica sea menor y como consecuencia el proceso de digestión de la biomasa no sea el óptimo para remover la carga orgánica soluble presente en el agua que pasa a través del reactor, el tiempo no es suficiente para reducir los niveles de color que esta puede llegar a presentar.

Caso contrario, en los RAN's que presentan menor flujo volumétrico y niveles de biomasa óptimos, la eficiencia es mayor del 24% de remoción de color debido que el tiempo de residencia en los RAN's es el adecuado para el proceso de digestión de las bacterias anaerobias.

También se puede concluir que la eficiencia promedio de remoción de color en los reactores RAN's contribuyen del 22% y 60 es los siguientes procesos, de la cual la PTAR tiene una eficacia de remoción de color del 98%, este valor es siempre y cuando los valores de las alfas se encuentran en 0.58 a 0.8.

Por ultimo se concluye que se cumple con los objetivos planteados ya que se logra obtener una eficiencia a través de los datos obtenidos a lo largo de la residencia profesional, consiguiendo así un resultado que debe servir como base para plantear soluciones al problema presente en la industria.

11. RECOMENDACIONES Y EXPERIENCIA PERSONAL

Se sugiere:

1. Implementar sensores de flujo en cada uno de los RAN y mantener un flujo constante de entre 8 a 10 L/s con la finalidad de que el tiempo de residencia hidráulica sea el suficiente para una mejor eficiencia de los reactores anaerobios.
2. Mantener los niveles de biomasa en los reactores RAN en un rango de 2.5 a 3.5 metros de altura para un mejor rendimiento del proceso de digestión de la biomasa.
3. Hacer dosificaciones diarias de FeSO_3 y Cal hidratada en los reactores anaerobios, con el fin de maximizar la eficiencia en la remoción de color de los reactores.
4. Establecer un itinerario de limpieza y mantenimiento del área del DAF ya que este no filtra la suficiente cantidad de lodos para evitar que estos pasen a los reactores anaerobios.
5. Estableces un itinerario de limpieza de los RAN ya que en ocasiones estos permanecen gran cantidad de tiempo con sólidos suspendidos en la parte superior de los reactores obstruyendo el flujo en las canaletas de desfogue.

12. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.

- ✓ Desarrollo de un pensamiento y razonamiento lógico y expresarlo de manera clara y efectiva.
- ✓ Aplicación de conocimientos relevantes de las ciencias básicas (matemáticas y química), que permitan identificar, comprender y solucionar problemas que se presenten en el ámbito laboral de un ingeniero químico.
- ✓ Capacidad de trabajar en equipo, asumiendo y respetando el rol de los diversos miembros del equipo, así como los distintos niveles de dependencia de este.
- ✓ Toma de muestra y preparación de reactivos para el proceso de determinación.
- ✓ Desarrollo de estrategias de aprendizaje autónomo.
- ✓ Aplicación de conocimientos y competencias adquiridas para la elaboración del proyecto.

13. BIBLIOGRAFIA

- ING. Jorge Edgardo López Hernández, 2005. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MANUAL DE OPERACIÓN, INTEGRACION BIOTECNOLOGICA S.A. DE C.V.
- Juan Bravo, 1992. MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES. EDICIONES DIAS DE SANTOS S.A.
- Rosa Elena Yaya Baes, agosto 2012. Tratamiento Anaerobio De Aguas Residuales. Universidad Nacional De Ingeniería. Facultad De Ingeniería Ambiental.
- M. en C. Marjorie Márquez Vázquez y M. en C. Sergio A. Martínez González. 2011. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. Centro Tecnológico Aragón. Laboratorio de Ingeniería Ambiental.
- Vanessa Gandarillas R, Oliver Saavedra, Ramiro Escalera y Renato Montoya. Mayo 2017. REVISIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE REACTORES UASB EN COCHABAMBA-BOLIVIA COMPARADAS CON LAS DE LATINOAMÉRICA, INDIA Y EUROPA. Centro de Investigación en Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Privada Boliviana.
- Yaniris Lorenzo y Ma. Cristina Obaya. La digestión anaerobia y los reactores UASB, Generalidades. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- Juan Antonio Sainz Sastre, 2007. Tecnologías Para la Sostenibilidad. Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales. Colección EOI Medio Ambiente.
- R.S. Ramalho, 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. EDITORIAL REVERTÉ S.A.
- Suyén Rodríguez Pérez, Rosa Catalina Bermúdez Savón, Paola Giardina, Maikel Fernández Boizán, 2005. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 36, No. Especial, 2005.

14. ANEXOS

- ❖ Preparación de H₂SO₄ a 0.02 N.

$$gr\ soluto = \frac{N\ Eq\ V}{V}$$

Donde:

N = Normalidad

Eq = Equivalentes Químicos

V = Volumen

$$Eq = \frac{\text{Peso molecular soluto}}{\# \text{ de Hidrogenos}}$$

$$Eq = \frac{98.079\ gr/mol}{2}$$

$$Eq = 49.03\ gr/mol$$

$$gr\ soluto = \frac{(0.02)(49.03\ \frac{gr}{mol})(1\ L)}{1\ L}$$

$$gr\ soluto = 0.9806\ gr$$

$$V = \frac{m}{d}$$

$$d\ H_2SO_4 = 1.84\ gr/ml$$

$$V = \frac{0.9806\ gr}{1.84\ gr/ml} = 0.5329\ ml\ H_2SO_4$$

❖ Caracterización de lodos

- Índice volumétrico de lodos y velocidad de sedimentación
 - inventario de lodos

Introducción

El inventario de lodos sirve para determinar la cantidad de lodos dentro del reactor.

Material

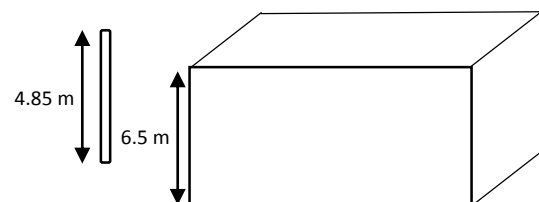
- nucleador (tubo flexible transparente de al menos 6 metros de largo).
- Manguera flexible para extensión del nucleador.
- Flexómetro.

Procedimiento

- Colocar la extensión al nucleador
- Introducir el nucleador hasta la entrada del reactor por la entrada colocada sobre la cubierta.
- Sacar el nucleador y medir la cantidad de lodo a lo largo del nucleador.

| | | |
|-----------------------|------|---|
| muestra del nucleador | 4.85 | m |
| altura del Ran | 6.5 | m |
| altura restante | 1.65 | m |

Tabla 7. Medidas de los RAN's



Altura restante = muestra del nucleador – altura del Ran

Figura 5. Modelo de RAN y nucleador

Altura Total = muestra del nucleador + altura restante

Tablas 8. Inventario de lodos

| | RAN-01 | | |
|---------------------|--------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| MUESTRA | 2.1 | 2.3 | 2.33 |
| ALTURA TOTAL (m) | 3.75 | 3.95 | 3.98 |

| | RAN-02 | | |
|---------------------|--------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| MUESTRA | 1.15 | 1.09 | 3.87 |
| ALTURA TOTAL (m) | 2.8 | 2.74 | 5.52 |

| | RAN-03 | | |
|---------------------|--------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| MUESTRA | 2.17 | 3.1 | 3.45 |
| ALTURA TOTAL (m) | 3.82 | 4.75 | 5.1 |

| | RAN-03 | | |
|---------------------|--------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| MUESTRA | 0.75 | 0.98 | 0.96 |
| ALTURA TOTAL (m) | 2.4 | 2.63 | 2.61 |

❖ Flujo volumétrico

| MEDIDAS DEL RAN (m) | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|-------|-------|---|------|-----|---------|--------|----------------|
| | LONGITUD | 11.29 | ANCHO | 6 | ALTO | 6.5 | VOLUMEN | 440.31 | m ³ |

| | |
|-----------------------|---------|
| MUESTRAS TOMADAS POR: | 1 s |
| ml a l: | 0.001 l |
| l a m ³ | 1000 |
| s a h | 3600 |

Tabla 9. Flujo volumetrico

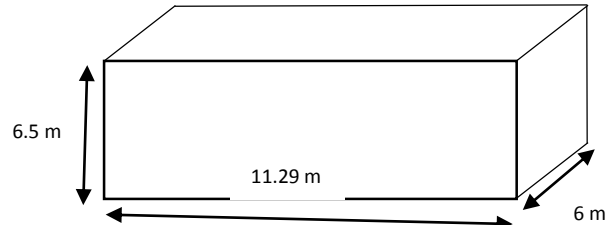


Figura 6. Moledo de RAN para medir flujo vol.

$$Trh = \frac{\text{Volumen del reactor}}{\text{Caudal}}$$

TABLA 10. INVENTARIO Trh

| RAN-01 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| MUESTRA 1 | ml | 500 | 400 | 400 | 200 | 450 | 350 | 360 | 465 | 515 | 1000 | 475 | 1000 | 1000 | 170 | 155 |
| MUESTRA 2 | ml | 450 | 350 | 430 | 245 | 450 | 350 | 365 | 450 | 525 | 1000 | 415 | 1000 | 1000 | 170 | 140 |
| MUESTRA 3 | ml | 550 | 300 | 445 | 260 | 440 | 375 | 375 | 465 | 515 | 1000 | 475 | 1000 | 1000 | 170 | 155 |
| PROMEDIO | ml/s | 500 | 350 | 425 | 235 | 447 | 358 | 367 | 460 | 518 | 1000 | 455 | 1000 | 1000 | 170 | 150 |
| | l/s | 0.50 | 0.35 | 0.43 | 0.24 | 0.45 | 0.36 | 0.37 | 0.46 | 0.52 | 1.00 | 0.46 | 1.00 | 1.00 | 0.17 | 0.15 |
| No. Vertiente | | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 14 | 20 | 14 | 14 | 14 | 14 | 28 | 28 |
| | l/s | 14.00 | 9.80 | 11.90 | 6.58 | 12.51 | 10.03 | 10.27 | 6.44 | 10.37 | 14.00 | 6.37 | 14.00 | 14.00 | 4.76 | 4.20 |
| | m/s | 0.0140 | 0.0098 | 0.0119 | 0.0066 | 0.0125 | 0.0100 | 0.0103 | 0.0064 | 0.0104 | 0.0140 | 0.0064 | 0.0140 | 0.0140 | 0.0048 | 0.0042 |
| Trh | s | 31451 | 44930 | 37001 | 66916 | 35206 | 43885 | 42887 | 68371 | 42474 | 31451 | 69122 | 31451 | 31451 | 92502 | 104836 |
| | h | 8.7 | 12.5 | 10.3 | 18.6 | 9.8 | 12.2 | 11.9 | 19 | 11.8 | 8.7 | 19.2 | 8.7 | 8.7 | 25.7 | 29.1 |

| RAN-02 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MUESTRA 1 | ml | 600 | 650 | 405 | 500 | 420 | 425 | 300 | 560 | 400 | 580 | 610 | 385 | 400 | 210 | 475 |
| MUESTRA 2 | ml | 700 | 600 | 415 | 540 | 425 | 425 | 300 | 590 | 370 | 520 | 580 | 380 | 370 | 210 | 490 |
| MUESTRA 3 | ml | 600 | 600 | 410 | 490 | 390 | 410 | 310 | 600 | 385 | 580 | 625 | 380 | 385 | 210 | 510 |
| PROMEDIO | ml/s | 633 | 617 | 410 | 510 | 412 | 420 | 303 | 583 | 385 | 560 | 605 | 382 | 385 | 210 | 492 |
| | l/s | 0.63 | 0.62 | 0.41 | 0.51 | 0.41 | 0.42 | 0.30 | 0.58 | 0.39 | 0.56 | 0.61 | 0.38 | 0.39 | 0.21 | 0.49 |
| No. Vertiente | | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| | l/s | 17.73 | 17.27 | 11.48 | 14.28 | 11.53 | 11.76 | 8.49 | 16.33 | 10.78 | 15.68 | 16.94 | 10.69 | 10.78 | 5.88 | 13.77 |
| | m/s | 0.018 | 0.017 | 0.011 | 0.014 | 0.012 | 0.012 | 0.008 | 0.016 | 0.011 | 0.016 | 0.017 | 0.011 | 0.011 | 0.006 | 0.014 |
| Trh | s | 24830 | 25501 | 38355 | 30834 | 38199 | 37441 | 51842 | 26958 | 40845 | 28081 | 25992 | 41202 | 40845 | 74883 | 31984 |
| | h | 6.9 | 7.1 | 10.7 | 8.6 | 10.6 | 10.4 | 14.4 | 7.5 | 11.3 | 7.8 | 7.2 | 11.4 | 11.3 | 20.8 | 8.9 |

| RAN-03 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MUESTRA 1 | ml | 400 | 800 | 155 | 580 | 580 | 375 | 375 | 275 | 440 | 480 | 580 | 245 | 440 | 185 | 440 |
| MUESTRA 2 | ml | 500 | 900 | 155 | 600 | 540 | 385 | 360 | 275 | 465 | 475 | 615 | 250 | 465 | 195 | 410 |
| MUESTRA 3 | ml | 500 | 850 | 160 | 600 | 560 | 380 | 380 | 290 | 450 | 470 | 615 | 245 | 450 | 185 | 410 |
| PROMEDIO | ml/s | 467 | 850 | 157 | 593 | 560 | 380 | 372 | 280 | 452 | 475 | 603 | 247 | 452 | 188 | 420 |
| | l/s | 0.47 | 0.85 | 0.16 | 0.59 | 0.56 | 0.38 | 0.37 | 0.28 | 0.45 | 0.48 | 0.60 | 0.25 | 0.45 | 0.19 | 0.42 |
| No. Vertiente | | 28 | 28 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 28 | 28 | 28 | 28 | 22 | 21 | 28 | 28 |
| | l/s | 13.07 | 23.80 | 3.29 | 12.46 | 11.76 | 7.98 | 7.81 | 7.84 | 12.65 | 13.30 | 16.89 | 5.43 | 9.49 | 5.27 | 11.76 |
| | m/s | 0.013 | 0.024 | 0.003 | 0.012 | 0.012 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.013 | 0.013 | 0.017 | 0.005 | 0.009 | 0.005 | 0.012 |
| Trh | s | 33697 | 18500 | 133833 | 35338 | 37441 | 55177 | 56414 | 56162 | 34816 | 33106 | 26064 | 81138 | 46422 | 83497 | 37441 |
| | h | 9.4 | 5.1 | 37.2 | 9.8 | 10.4 | 15.3 | 15.7 | 15.6 | 9.7 | 9.2 | 7.2 | 22.5 | 12.9 | 23.2 | 10.4 |

| RAN-04 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| MUESTRA 1 | ml | 400 | 200 | 498 | 505 | 405 | 400 | 385 | 490 | 600 | 605 | 580 | 335 | 400 | 180 | 165 |
| MUESTRA 2 | ml | 450 | 200 | 475 | 455 | 420 | 435 | 390 | 470 | 630 | 610 | 590 | 345 | 435 | 175 | 175 |
| MUESTRA 3 | ml | 450 | 200 | 500 | 500 | 425 | 425 | 410 | 490 | 600 | 605 | 580 | 330 | 425 | 180 | 165 |
| PROMEDIO | ml/s | 433 | 200 | 491 | 487 | 417 | 420 | 395 | 483 | 610 | 607 | 583 | 337 | 420 | 178 | 168 |
| | l/s | 0.43 | 0.20 | 0.49 | 0.49 | 0.42 | 0.42 | 0.40 | 0.48 | 0.61 | 0.61 | 0.58 | 0.34 | 0.42 | 0.18 | 0.17 |
| No. Vertiente | | 28 | 28 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| | l/s | 12.13 | 5.60 | 10.31 | 10.22 | 8.75 | 8.82 | 8.30 | 10.15 | 12.81 | 12.74 | 12.25 | 7.07 | 8.82 | 3.75 | 3.54 |
| | m/s | 0.012 | 0.006 | 0.010 | 0.010 | 0.009 | 0.009 | 0.008 | 0.010 | 0.013 | 0.013 | 0.012 | 0.007 | 0.009 | 0.004 | 0.004 |
| Trh | s | 36289 | 78627 | 42703 | 43083 | 50321 | 49922 | 53081 | 43380 | 34372 | 34561 | 35944 | 62279 | 49922 | 117573 | 124557 |
| | h | 10.1 | 21.8 | 11.9 | 12.0 | 14.0 | 13.9 | 14.7 | 12.1 | 9.5 | 9.6 | 10.0 | 17.3 | 13.9 | 32.7 | 34.6 |