

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo
ascendente en la PTAR Mollepata**

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero Químico

Presentado por:
Bach. Beltran Eliasar Quispe Jayo

Asesor:
Mg. Abrahán Fernando Trejo Espinoza

Ayacucho - Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre presente en mi vida.
A mi familia por ayudarme. A mi esposa por otorgarme el tiempo necesario para seguir los estudios en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme formado y conducido con dedicación y compromiso durante toda mi formación profesional y humanística; a la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia y a la Escuela Profesional de Ingeniería Química como una organización con verdadera vocación por la formación profesional y personal con mística y alto nivel de compromiso; al personal docente y administrativo que conforma.

A todos los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, desde lo más profundo, quienes compartieron sus conocimientos, brindaron atención y seguimiento, buen trato y respaldo para crecer como persona de bien; al asesor del presente trabajo de investigación, Mg. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA, al personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y al personal de la PTAR Mollepata, por haberme brindado sus instalaciones y apoyo técnico en la realización de los diversos ensayos.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Delimitación del problema	2
1.3. Formulación del problema	2
1.3.1. Problema general	2
1.3.2. Problemas secundarios	3
1.4. Importancia y justificación.....	3
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. Internacional.....	5
2.1.2. Nacional	9
2.1.3. Local.....	11
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. Procesos anaerobios.....	12
2.2.2. Tiempo de retención de sólidos en procesos anaerobios	13
2.2.3. Reactores de flujo ascendente	14
2.2.4. Balance de DQO en reactores anaeróbicos de flujo ascendente	18
2.2.5. Ventajas y desventajas de un RAFA.....	20
2.2.6. Parámetros de control del proceso	21
2.2.6.1 Temperatura.....	22
2.2.6.2 Potencial de Hidrógeno	23
2.2.6.3 Sólidos totales y volátiles.....	23

2.2.6.4	Alcalinidad	24
2.2.6.5	Nutrientes	25
2.2.6.6	Ácidos grasos volátiles	26
2.2.6.7	Sulfuros	26
2.2.6.8	Nitrógeno amoniacal.....	26
2.2.7.	Consideraciones de diseño para un R.A.F.A.	27
2.2.7.1	Tiempo de residencia hidráulica	27
2.2.7.2	Carga orgánica volumétrica.....	28
2.2.7.3	Velocidad ascensional y altura del reactor.....	28
2.2.7.4	Distribución del afluente	29
2.2.7.5	Sedimentador	30
2.2.7.6	Materiales de construcción	32
2.2.7.7	Sistema de recolección de biogás	32
2.2.7.8	Muestreo y descarga de lodos.....	34
2.2.7.9	Producción de lodo y tratamiento	34
III.	DISEÑO METODOLÓGICO	35
3.1.	Tipo de Investigación y nivel de investigación	35
3.2.	Diseño de la investigación	35
3.3.	Población, muestra y muestreo	35
3.4.	Variables e indicadores	35
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5.1.	Técnicas.....	36
3.5.2.	Instrumentos.....	36
3.6.	Procedimientos y métodos	36
3.6.1.	Canal Parshall.....	36
3.6.2.	Parámetros físicos en el reactor anaerobio de flujo ascendente	37
3.6.2.1	Procedimiento de la toma de muestra de afluente y efluente.....	37
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1.	Resultados	44
4.1.1.	Caudal de ingreso a los reactores anaerobios de flujos ascendentes.....	44
4.1.2.	Parámetros físicos en el reactor anaerobio de flujo ascendente	46
4.1.3.	Parámetros físicos en los mantos de lodos.....	51
4.1.4.	Sólidos sedimentados en el reactor anaerobio de flujo ascendente.....	53
4.1.5.	Parámetros químicos en el reactor anaerobio de flujo ascendente	55
4.1.6.	Relación AGVs/ALC	60

4.1.7. Relación DQO/DBO ₅	61
4.1.8. Cálculo del tiempo de residencia hidráulico (TRH)	61
4.1.9. Determinación esperada de metano	61
4.1.10. Determinación de producción de lodos en el reactor	63
4.1.11. Determinación de edad de lodos	63
4.1.12. Determinación de la carga hidráulica.....	64
4.1.13. Velocidad ascensional	65
4.1.14. Aceites y grasas	65
4.1.15. Remoción de parámetros químicos en el reactor	65
4.2. Discusión.....	66
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un RAFA de una altura de 4 metros para el tratamiento de aguas residuales domésticas.	28
Tabla 2 Velocidades de flujo ascendente recomendados para el diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente que tratan aguas residuales domésticas.	29
Tabla 3 Caudal que ingresa a la planta de tratamiento	44
Tabla 4 Parámetros físicos del afluente de RAFA 01	47
Tabla 5 Parámetros físicos del efluente de RAFA 01.	48
Tabla 6 Control de parámetros en manto de lodos del RAFA 01.....	51
Tabla 7 Sólidos sedimentados y cálculo de índice volumétrico de lodos (IVL) en la RAFA 01	54
Tabla 8 Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del RAFA 1	55
Tabla 9 Comparación de los resultados con los parámetros de diseño del reactor	57
Tabla 10 Comparación resultados con datos diseño	58
Tabla 11 Ventajas y desventajas de parámetros en los reactores anaerobios de flujos ascendentes.....	59
Tabla 12 Resultado de la relación AGVs/ALC	60
Tabla 13 Relación de DQO/DBO ₅	61
Tabla 14 Resultado de metano volumétrico en el reactor.....	63
Tabla 15 Resultado del metano en energía.....	63
Tabla 16 Resultados de carga hidráulica volumétrica	64
Tabla 17 Resultado de remoción de aceites y grasas	65
Tabla 18 Resultados de los valores de los parámetros químicos en el reactor.....	66
Tabla 19 Valores de diseño del proceso anaerobio.....	72
Tabla 20 Unidades métricas e inglesas del canal Parshall	82
Tabla 21 Medidor canal Parshall	84
Tabla 22 Lecho de secado	89
Tabla 23 Criterios de diseño RAFA	90
Tabla 24 Dimensión del reactor anaerobio de flujo ascendente	91
Tabla 25 Diseño del reactor anaeróbico de flujo ascendente	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Etapas de degradación de compuestos complejos en el proceso anaerobio	14
Figura 2 Esquema interno de un reactor anaeróbico de flujo ascendente	16
Figura 3 Esquema de la entrada de alimentación del agua residual en el RAFA..	17
Figura 4 Reactor anaeróbico de flujo ascendente rectangular	18
Figura 5 Rutas de conversión de DQO y flujo de metano en un RAFA.....	19
Figura 6 Puntos de muestreo de lodo en un RAFA	21
Figura 7 Efecto de la temperatura sobre la tasa de crecimiento de clases de bacterias a diferentes temperaturas	22
Figura 8 Ejemplos de extremos de tubos de distribución.....	30
Figura 9 Una alternativa de diseño de separación Gas-Líquido-Sólido	31
Figura 10 Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	33
Figura 11 Diagrama del sistema de gas en un RAFA	33
Figura 12 Ejemplo de dispositivo de muestreo de lodos en descarga de un reactor	34
Figura 13 Medidor de Parshall	37
Figura 14 Toma de muestra al ingreso del Reactor	38
Figura 15 Punto de muestreo a la salida del reactor.....	42
Figura 16 Punto de muestreo 4 de manto de lodos	42
Figura 17 Punto de muestreo 1, 2 y 3 del manto de lodos.....	43
Figura 18 Medidor de Parshall	45
Figura 19 El comportamiento del caudal promedio durante la evaluación	45
Figura 20 Conductividad eléctrica en el afluente y efluente en el RAFA 01	49
Figura 21 Potencial de hidrógeno (pH) en el afluente y efluente en el RAFA 01.....	49
Figura 22 Temperatura (°C) en el afluente y efluente en el RAFA 01	50
Figura 23 Turbidez (NTU) en el afluente y efluente en el RAFA 01	50
Figura 24 Sólidos Totales Disueltos (STD), mg/L en el afluente y efluente en el RAFA 01	51
Figura 25 Control del pH en el manto de lodos RAFA 01	52
Figura 26 Control de temperatura en el manto de lodos RAFA 01.....	52

Figura 27 Comportamiento del índice volumétrico de lodos con respecto al tiempo en la RAFA 01	55
Figura 28 Evaluación de parámetros químicos en el RAFA 01	56
Figura 29 Coliformes fecales de afluente y efluente en el RAFA 01	60
Figura 30 Dimensiones del medidor del canal Parshall de la PTAR Mollepata	83
Figura 31 Cálculo del volumen	84

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1.1. Parámetros del reactor RAFA	77
Anexo 1.2. Vista general de la PTAR	89
Anexo 1.3. Etiquetado y rotulado de muestras en el tratamiento y en el efluente de RAFA	90
Anexo 1.4. Toma de muestras del ingreso de aguas servidas a la planta	90
Anexo 1.5. Controles físicos en la cámara de distribución	91
Anexo 1.6. Muestreo para analizar parámetros químicos, cámara de distribución	91
Anexo 1.7. Muestreo de afluente del RAFA para controles físicos	92
Anexo 1.8. Toma de muestras en el manto de lodos en el RAFA	92
Anexo 1.9. Toma de muestra del efluente del RAFA	93
Anexo 1.10. Verificación del sistema de la tubería de recolección del biogás	93
Anexo 1.11. Lagunas de maduración 1, 2 y 3	94
Anexo 2. Calibración de equipos de campo	95
Anexo 3. Resultados analíticos	99
Anexo 4. Matriz de consistencia	106

ABREVIATURAS

RAFA	Reactor anaerobio de flujo ascendente	
TRAR	Tratamiento de agua residual	
FAFA	Filtro anaerobio de flujo ascendente	
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual	
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket	
TRT	Tiempo de retención teórica	Tiempo
TRS	Tiempo de retención de sólidos	Tiempo
TRH	Tiempo de retención hidráulica	Tiempo
DQO	Demanda química de oxígeno	mg/L
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L
SST	Sólidos totales en suspensión	mg/L
STD	Sólidos totales disueltos	mg/L
ST	Sólidos totales	mg/L
SVT	Sólidos totales volátiles	mg/L
IVL	Índice volumétrico de lodos	mg/L
AGV_s	Ácidos grasos volátiles	mg/L

RESUMEN

La evaluación del funcionamiento adecuado del tratamiento de aguas residuales es muy importante a nivel mundial, por ello es necesario una evaluación del reactor anaerobio de flujo ascendente en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Mollepata. El objetivo principal de la investigación es evaluar la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Mollepata, con la finalidad de adoptar las medidas o acciones correctivas del buen funcionamiento. El tipo de investigación es básica y de nivel descriptivo. La población de la presente investigación estuvo conformada por el agua residual del afluente y efluente del reactor. La muestra fue alícuotas representativas de agua residual, bajo un diseño de muestreo no probabilístico. La determinación de los parámetros de operación para la evaluación del funcionamiento que consistió en caracterización del agua residual, caudal de agua residual, temperatura y pH en el manto de lodos, tiempo de residencia hidráulico, velocidad ascensional, índice volumétrico de lodos y relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad; cuyo resultado de tratamiento en el reactor se realizó la caracterización fisicoquímica, porcentaje de remoción, DBO, DQO, SST, coliformes termotolerantes. De acuerdo a los resultados; se concluye que la eficiencia de remoción de los parámetros más representativos es: DBO₅, 44,49 %, DQO, 11,54 %, coliformes fecales, 66,32 %, sólidos totales en suspensión, 67,77% ; la relación DQO/DBO₅ durante la evaluación en el RAFA es 2,17; el tiempo de retención hidráulico (TRH) es 2,31 días aproximadamente; durante la evaluación en los mantos de lodos el pH promedio es de 7,0; la temperatura promedio es de 20,2°C; el índice volumétrico de lodos (IVL) en el punto 01 es 395,05 siendo de malas condiciones de sedimentación, IVL punto 02 es 19,57 es de excelente sedimentación, IVL punto 03 es 11,67 es de excelente sedimentación y IVL punto 04 es 23,79 es de excelente sedimentación; la relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC) durante la evaluación del RAFA es 0,41; la producción de metano del RAFA es 0,189 m³/día; La estabilización de la estructura hidráulica del RAFA es variable de acuerdo a las estaciones y la variación de las temperaturas del año. Los periodos de retención hidráulica son extendidos (mayor duración) debido al poco caudal (2 L/s aprox.) a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Palabra clave: tratamiento de aguas residuales, aguas residuales domésticas, reactor anaeróbico de flujo ascendente.

ABSTRACT

The evaluation of the proper functioning of wastewater treatment is very important worldwide, which is why an evaluation of the upflow anaerobic reactor at the Mollepata Wastewater Treatment Plant is necessary. The main objective of the research is to evaluate the start-up of the upflow anaerobic reactor at the Mollepata Wastewater Treatment Plant, with the purpose of adopting corrective measures or actions for proper functioning. The type of research is basic and descriptive level. The population of this investigation was made up of the residual water from the influent and effluent of the reactor. The sample was representative aliquots of wastewater, under a non-probabilistic sampling design. The determination of the operating parameters for the evaluation of the operation that consisted of characterization of the wastewater, wastewater flow, temperature and pH in the sludge blanket, hydraulic residence time, ascension velocity, sludge volumetric index and acid ratio volatile fatty acids with alkalinity; whose treatment result in the reactor was carried out physicochemical characterization, removal percentage, DBO₅, DQO, SST, thermotolerant coliforms. According to the results; It is concluded that the removal efficiency of the most representative parameters is: DBO₅, 44,49 %, DQO, 11,54 %, fecal coliforms, 66,32 %, total suspended solids, 67,77 %; the DQO/DBO₅ ratio during the RAFA evaluation is 2,17; the hydraulic retention time (HRT) is approximately 2,31 days; During the evaluation in the sludge layers the average pH is 7,0; the average temperature is 20, 2 °C; The sludge volumetric index (IVL) at point 01 is 395,05, being poor sedimentation conditions, IVL point 02 is 19,57, which is excellent sedimentation, IVL point 03 is 11,67, which is excellent sedimentation, and IVL point 04. It is 23,79 and has excellent sedimentation; the ratio of volatile fatty acids to alkalinity (VFAs/LAC) during the RAFA evaluation is 0,41; RAFA's methane production is 0,189 m³/day; The stabilization of the hydraulic structure of the RAFA is variable according to the seasons and the variation in temperatures of the year. The hydraulic retention periods are extended (longer duration) due to the low flow (2 L/s approx.) to the Wastewater Treatment Plant.

Keyword: wastewater treatment, domestic wastewater, upflow anaerobic reactor.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Según López (2011), respecto a la problemática de generación de aguas residuales en el mundo, señala:

La generación de aguas residuales es inevitable de toda actividad humana. Los parámetros característicos de estas aguas como la elevada concentración de partículas en suspensión, materia orgánica, nutrientes, compuestos antropogénicos y patógenos, son la razón por la cual la descarga de aguas residuales en lagos o corrientes convencionales afecta gravemente a la salud pública y el medioambiente.

En presente estudio contribuye en el manejo adecuado del proceso biológico para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con altas concentraciones de materia orgánica, como parte de la evaluación periódica del sistema de tratamiento de aguas residuales, se evaluó la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.

La población involucrada en el área de influencia tiene la necesidad de contar con el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, sabemos que el control y la funcionabilidad adecuada del tratamiento de aguas residuales es un problema a nivel mundial, problema que se está agravando desde hace varios años por la falta de evaluaciones rutinarias desde la puesta en marcha del proceso, en este caso en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.

En nuestro país existe una preocupación sobre el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, aún es plausible este problema debido a la limitada evaluación de la funcionabilidad de las PTAR, por la gran variación de las características de las aguas residuales, el crecimiento poblacional y a su vez por la gran diversidad de actividad antropogénica.

Por otro lado, es frecuente que sectores importantes de la población tienen riesgo de consumir agua cuyas fuentes son cuerpos receptores de efluentes de PTAR con tratamientos limitados. Ante este escenario, la población está expuesta a contraer enfermedades que podrían tornarse graves (Briceño, 2013).

Según la Organización Mundial de la Salud (2018) respecto a la calidad del agua y la salud pública indica:

La mala calidad del agua entraña riesgos para la salud pública, la seguridad alimentaria y otros servicios y funciones de los ecosistemas. Las aguas residuales domésticas no tratadas contienen patógenos, productos orgánicos y nutrientes, mientras que las aguas residuales de fábricas y otros establecimientos, además de la carga orgánica, también pueden contener una variedad de sustancias peligrosas, incluidos metales pesados.

En este sentido, con el fin de garantizar la buena funcionabilidad de la PTAR Mollepata del reactor anaerobio de flujo ascendente, así como evitar la contaminación de los cuerpos receptores de los efluentes de proceso se realizó el presente estudio “Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata”, de manera que contribuya en la calidad de vida a los pobladores,

1.2. Delimitación del problema

Espacial: Planta de Tratamiento de Agua Residual Mollepata, distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga-Ayacucho.

Temporal: se realizó el estudio durante 6 meses.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo evaluar la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la

Planta de Tratamiento de Agua Residual Mollepata?

1.3.2. Problemas secundarios

- a) ¿Cuáles son las características de los afluentes y los efluentes del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata?
- b) ¿Cuáles son los parámetros de operación de funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata?
- c) ¿Cuál es el porcentaje de remoción de DBO, DQO, SST y coliformes fecales en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata?
- d) ¿Cómo determinar el índice volumétrico de lodos (IVL), la relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC), la formación de lodos y la producción de metano en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata?

1.4. Importancia y justificación

La presente investigación, es importante porque desarrolla la evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Mollepata, para garantizar el buen tratamiento de las aguas residuales en relación a la contaminación de los cuerpos receptores de los efluentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual y su perjuicio de la población y sobre todo de los infantes, propósito perseguido por la municipalidad provincial de Huamanga; de manera que consecuentemente promueva estilos de vida más saludables y empoderar las capacidades de los pobladores e instituciones para la vigilancia sanitaria, también permitirá tomar conciencia del uso y mantenimiento adecuado de los sistemas de tratamiento.

Con la evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente, se conoce el funcionamiento; de manera que con el funcionamiento adecuado obtendremos agua menos contaminada, beneficiando la salubridad de la población, así mismo existirá la posibilidad de reutilización en el riego de plantas.

El agua tratada por el buen funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente disminuye la contaminación de ríos y cuencas de la localidad, mejorando la ecología de la zona de influencia.

Desde el punto de vista tecnológico se justifica la investigación, porque permite conocer el estado de funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente y las

características del agua residual tratada que son vertidas en la zona de influencia, los cuales deben ser significativamente eficientes en la remoción de SST, DBO₅, DQO; ya que este tipo procesos en el reactor anaerobio de flujo ascendente representa un avance tecnológico en la depuración de aguas residuales, con mejor rendimiento en el campo de biorremediación de aguas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Mollepata.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar los afluentes y los efluentes del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.
- b) Determinar los parámetros de operación de funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.
- c) Determinar el porcentaje de remoción de DBO, DQO, SST y coliformes fecales en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.
- d) Determinar el índice volumétrico de lodos (IVL), la relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC), la formación de lodos y la producción de metano en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

- Tesis: "Evaluación del modelo de dispersión axial de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) a escala de laboratorio", desarrollado por Jhonny Pérez, Gerardo Aldana, Mariana Useche, Nancy Rincón, Nibis Bracho y Johan Mesa, en la Universidad del Zulia, Venezuela, el año 2010 (Pérez y otros, 2010).

Según Pérez y otros (2010) en la investigación publicada indican respecto a la evaluación del modelo de dispersión axial de un reactor RAFA:

La presente tesis ha tenido en cuenta que la remoción de carga orgánica en RAFA puede verse afectada por variables hidráulicas tales como: velocidad ascendente, altura, tiempo de retención y número de dispersión los cuales se ajustan al coeficiente de dispersión del reactor. En esta investigación se evaluó el comportamiento hidráulico de un RAFA de 4,14 L utilizando [Li.sup.+] (LiCl) y RodaminaWT (RWT) como trazador con la finalidad de comparar el comportamiento hidráulico del reactor y la eficiencia del tratamiento, variando el tiempo de retención y por tanto la velocidad ascendente. Se extrajo glucosa como sustrato para la alimentación del reactor (500 mg/L) y como inóculo lodo granular (20 % v/v) procedente de una cervecería local. La evaluación hidráulica se realizó utilizando ambos trazadores de forma simultánea, para tiempos de retención teóricos (TRT) de

10 y 5 horas. La velocidad ascensional y el coeficiente de dispersión fue mayor para el menor TRT ($D=1,52E-2$ [m.sup.2]/h $D = 5,62E-3$ [m.sup.2]/h), para una eficiencia hidráulica ($[\beta]$) de 1,23 y 1,22 respectivamente. La remoción de la DQO fue menor (89,29 %) para TRT=5 h en comparación al TRT=10 h (93,85 %). El porcentaje de recuperación de los trazadores fueron 77,03 y 99,34 para el [Li.sup.+], y 23,90 y 52,66 para RWT en los TRT de 10 h y 5 h respectivamente, por lo cual se recomienda usar [Li.sup.+]. La eficiencia hidráulica fue mayor a la unidad, debido a la presencia de recirculaciones, y posible retención temporal del trazador en el lodo. Palabras clave: RAFA, coeficiente de dispersión, tiempo de retención hidráulica, eficiencia hidráulica, remoción de carga orgánica. La remoción de carga orgánica en el reactor UASB de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente puede verse afectada por sus variables hidráulicas: debido a las velocidades de flujo ascendente del líquido, la altura, el tiempo de retención hidráulica y el número de dispersión afectan el coeficiente de dispersión en las condiciones del reactor. Esta investigación evaluó el comportamiento hidráulico para una báscula de laboratorio UASB de 4,14 L utilizando [Li.sup.+], [LiCl] y Rhodamine WT (RWT) como trazador para comparar el comportamiento hidráulico del reactor y la eficiencia del tratamiento, variando el tiempo de retención y el aumento de las velocidades de flujo ascendente del líquido. Se usó glucosa como sustrato para el reactor de alimentos (500 mg/L) y lodo granular como inóculo (20 % v/v) de una cervecería local. Se accedió al desempeño hidráulico utilizando dos trazadores simultáneamente con un tiempo de retención teórico (TRT que varía de 5 a 10 horas). Las velocidades de flujo ascendente del líquido y el coeficiente de dispersión fueron grandes para el HRT inferior ($D = 1,52 E-2$ [m.sup.2]/h $D = 5,62 E-3$ [m.sup.2]/h) para una eficiencia hidráulica ($[\beta]$) de 1,23 y 1,22 respectivamente. La eliminación de DQO fue menor para TRH = 5 horas (89,29 %) TRH = 10 h (93,85 %) en cambio. La masa de recuperación del trazador fue 77,03 % y 99,34 % para el [Li.sup.+], y 23,90 y 52,66 % para RWT para un TRT de 10 h y 5 h respectivamente, [Li.sup.+], fue muy recomendado. Los resultados de eficiencia hidráulica fueron superiores a uno, tal vez debido al cortocircuito y la vía de recirculación, tal retención del retraso del trazador en la capa de lodo. Palabras clave: Coeficiente de dispersión, UASB, eficiencia hidráulica y eficiencia de remoción de DQO 22% respectivamente.

La eliminación de DQO fue menor para TRH = 5 horas (89,29 %) TRH = 10 h (93,85 %) en cambio. La masa de recuperación del trazador fue 77,03 % y 99,34 % para el [Li.sup.+], y 23,90 y 52,66 % para RWT para un TRT de 10 h y 5 h respectivamente, [Li.sup.+], fue muy recomendado. Los resultados de eficiencia hidráulica fueron superiores a uno, tal vez debido al cortocircuito y la vía de recirculación, tal retención del retraso del trazador en la capa de lodo. Palabras clave: Coeficiente de dispersión, UASB, eficiencia hidráulica y eficiencia de remoción de DQO 22% respectivamente. La eliminación de DQO fue menor para TRH = 5 horas (89,29 %) TRH = 10 h (93,85 %) en cambio. La masa de recuperación del trazador fue 77,03 % y 99,34 % para el [Li.sup.+], y 23,90 y 52,66 % para RWT para un TRT de 10 h y 5 h respectivamente, [Li.sup.+], fue muy recomendado. Los resultados de eficiencia hidráulica fueron superiores a uno, tal vez debido al cortocircuito y la vía de recirculación, tal retención del retraso del trazador en la capa de lodo. Palabras clave: Coeficiente de dispersión, UASB, eficiencia hidráulica y eficiencia de remoción de DQO tal vez debido al cortocircuito y la vía de recirculación, tal retención del retraso del trazador en la capa de lodo. Palabras clave: Coeficiente de dispersión, UASB, eficiencia hidráulica y eficiencia de remoción de DQO tal vez debido al cortocircuito y la vía de recirculación, tal retención del retraso del trazador en la capa de lodo. Palabras clave: Coeficiente de dispersión, UASB, eficiencia hidráulica y eficiencia de remoción de DQO.

- Tesis: "Evaluación de la eficiencia de un reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales - escala laboratorio", desarrollado por Valeria Ochoa, Jessica López en la Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, el año 2011 (Ochoa y López, 2011).

Según Ochoa y López (2021) en el estudio publicado respecto a la eficiencia de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales indican que:

El presente trabajo resume que la generación de aguas residuales es un producto inevitable de toda actividad humana. Los componentes característicos de estas aguas, elevada concentración de partículas en suspensión, materia orgánica, nutrientes, compuestos antropogénicos y patógenos, son la razón por la cual la descarga de aguas residuales en lagos

o corrientes convencionales previo a un tratamiento adecuado afecta gravemente a la salud pública y el medioambiente. Este trabajo de investigación busca establecer un proceso biológico adecuado para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con altas concentraciones de materia orgánica. Mediante experimentos batch se determinó la actividad máxima específica de varios lodos y sedimentos, así estableciendo los parámetros necesarios para la posterior aplicación de uno de estos inóculos microbianos en un proceso continuo. Bioensayos de cultivo enriquecido y degradación de glucosa determinaron la actividad máxima específica de los lodos anaerobios. Mientras la actividad de los lodos anaerobios se estableció mediante un estudio de actividad metanogénica. Los sedimentos acuáticos de la laguna sintética de la USFQ se empaquetaron en un reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodos UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor), a escala de laboratorio, el cual se alimentó con una muestra de agua residual sintética. Por medio del monitoreo periódico del porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos y la producción de metano se determinó la eficiencia del reactor UASB a través del tiempo. En 110 días de estudio se estableció una eficiencia del reactor UASB del 48,28 % en la remoción de la materia orgánica.

- Tesis: "Evaluación del comportamiento hidráulico de un reactor aerobio y un reactor anaerobio, en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeña escala", desarrollado por Joany Sánchez Molina, Santiago Cardona Gallo en la Universidad Nacional de Colombia, el año 2009 (Sánchez y Cardona, 2009).

Según Sánchez y Cardona (2009) respecto a la evaluación del comportamiento hidráulico de un reactor aerobio y un reactor anaerobio, en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, manifiestan que:

En este trabajo, se han realizado pruebas estímulo respuesta usando rodamina WT, como trazador, con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico de un reactor aerobio y otro anaerobio en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeña escala. La metodología de evaluación consistió en un análisis de las curvas de distribución temporal y acumulada de concentración de trazador en cada reactor para posteriormente

hacer ajustes con 3 modelos no ideales: 1) Dispersión, 2) Tanques en serie y 3) Modelo simplificado de Wolf- Resnick. Los resultados muestran que de estos tres el que mejor representa ambos reactores es el modelo de tanques en serie.

2.1.2. Nacional

- Tesis: "Evaluación de la eficiencia de un reactor combinado RAFA-FAFA en el tratamiento de aguas residuales municipales en la localidad de Espinar - Cusco", desarrollado por Achircana Mamani, Pepe Junior; Mestas Castro, Alan Mayers (Achircana y Mestas, 2019).

Según Achircana y Mestas (2019) respecto a la evaluación de la eficiencia de un reactor combinado RAFA-FAFA en el tratamiento de aguas residuales manifiestan que:

La presente investigación, se basa en la problemática de la contaminación de aguas residuales domesticas generadas en zonas andinas de Perú, se plantea la depuración de las aguas residuales a través de un tratamiento con reactores biológicos combinados, para este caso se instaló un calentador de agua, un reactor anaerobio de flujo ascendente y un filtro anaerobio de flujo ascendente, como variables de operación se toma la temperatura, tiempo de residencia hidráulico y altura de lecho de filtro; para evaluar la eficiencia del reactor combinado se toma como variables respuesta los porcentajes de remoción en demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST). En los resultados se obtiene que, maximizando las variables en Planta piloto, hasta valores de 20 °C de temperatura, 34 horas de tiempo de residencia hidráulico y trabajando con el lecho de filtro completamente lleno hasta sus 4 metros, obtuvieron valores de 53 mg/L de DBO_5 , 56 mg/L de DQO, y 53 mg/L de SST, representando remociones en porcentajes de 83 % en DBO_5 , 82 % en DQO y 85 % en SST, logrando valores muy por debajo de los límites máximos permisibles.

- Tesis: "Evaluación del proceso de tratamiento de aguas residuales en la planta UNI-TRAR", desarrollado por Canales Grande, Geraldine Anelhi, en la Universidad Nacional de Ingeniería, el año 1998 (Canales, 1998).

Según Canales (1998), respecto a la evaluación del proceso de tratamiento de aguas residuales en la planta UNI - TRAR mencionan que:

La presente investigación describe y presenta los resultados del programa de monitoreo realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales UNI - TRAR, durante el periodo 1996 - 1997. El objetivo final fue proveer las bases para la evaluación y control del sistema de tratamiento. También se determinarán los niveles de calidad del afluente y efluente del sistema, tasas de degradación de materia orgánica y remoción de organismos patógenos. El sistema de tratamiento está conformado por un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) y dos lagunas facultativas en serie. El efluente tratado es aprovechado para la crianza de peces en tres estanques que trabajan en paralelo y para el riego de áreas verdes. Durante la Ira etapa del programa, fue evidente la disminución del volumen de agua residual que ingresa a la planta debido al racionamiento del servicio de agua. Los valores de pH en el RAFA se mantienen en un rango neutro y estable, comprobándose la capacidad buffer del agua residual doméstica, el pH tiende a incrementarse en las lagunas debido a la actividad fotosintética. De los resultados de la 2da etapa puede concluirse que el volumen promedio de aguas residuales que ingresa a la planta es de 380 m³/d, la mayor parte del cual ingresa durante la noche. La carga orgánica promedio como DQO total es de 157 kg/d para el afluente y 44 kg/d para el efluente del reactor. En el RAFA se alcanzó una alta eficiencia remocional de DQO (72 %), DBO (65 %), SST (70 %), pero es necesario un post-tratamiento para la remoción de patógenos. La tasa de producción de biogás fue de 0,2 m³ por kilogramo de DQO removida. Debido a la alta degradación de materia orgánica en el RAFA, sólo una pequeña fracción de la remoción total de DBO ocurre en las lagunas. La remoción de N y P fue de 35 y 28 % respectivamente. La concentración de coliformes fecales en el efluente de la segunda laguna es de 2,3 x 10⁵ NMP/100 mL. La toma de muestras horarias mostró las grandes variaciones del volumen y composición del agua residual que ingresa al reactor. Durante el día el caudal es de 1 L/s conteniendo altas concentraciones de DQO (3 g/L), en las noches el caudal es de 7 - 9 L/s con concentraciones de DQO muy bajas. Esto último indicaría grandes volúmenes de pérdidas de agua. La concentración de DQO

en el efluente es constante (menos de 150 mg/L). La mayor parte de la DQO es suministrada en dos períodos pico; uno en la noche (7 pm -11 pm) y el otro en la mañana (5 am - 9 am).

2.1.3. Local

- Tesis: “Implementación de un reactor anaerobio de flujo, UASB, a escala piloto para evaluar parámetros de operación en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” - Ayacucho”, desarrollado por Tony Jhon Talavera Gasga; en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el año 2018 (Talavera, 2018).

Según Talavera (2018) respecto a la implementación de un reactor UASB, a escala piloto para evaluar parámetros de operación en la PTAR manifiestan que:

La investigación está orientado al diseño, construcción, instalación y puesta en funcionamiento de un reactor UASB a escala piloto en la PTAR “La Totorá”, para determinar los parámetros de operación del proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de la sección de desarenado de la planta. Las características del reactor UASB que se ha construido son las siguientes: tiene forma cilíndrica, la altura es de 1,80 metros, el diámetro es de 15,24 cm y un volumen aproximado de 33 litros, con una alimentación a través de tubería de 16 mm, cuenta con dos sistemas de descarga una para el agua depurada y otra para el biogás producido, en la parte lateral del reactor están dispuestos 9 válvulas para la toma de muestras. El reactor está anclado en un pedestal ubicado a 50 cm del nivel del suelo. Para garantizar el flujo de alimentación se instaló un tanque de polietileno de 600 litros ubicado a una altura de 2,50 metros con referencia a la base del reactor instalado. Para el arranque del reactor, se ha inoculado con 10 litros de lodo, proveniente de la PTAR del centro de investigación de tratamiento de aguas residuales (CITRAR) de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), sobre un lecho de anillos raschig de ½ pulgada de diámetro, con la finalidad de incrementar el área de contacto y una distribución uniforme de la mezcla reaccionante a fin de acelerar la estabilización del proceso. Durante el funcionamiento del reactor se determinaron la temperatura, pH, turbiedad, sólidos totales (ST), sólidos volátiles totales (SVT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de

oxígeno (DQO), coliformes fecales (CF) o termotolerantes (CT), alcalinidad, acidez, conductividad entre otros a la entrada y salida del reactor. Mediante las válvulas laterales se visualizaron la presencia del lodo a diferentes alturas del reactor. La producción del biogás se ha cuantificado por el desplazamiento del nivel del agua en una columna, siendo su producción máxima en razón de 3,5 litros de biogás/día, para un TRH de 9 horas a condiciones ambientales del lugar. El monitoreo ha realizado mediante muestreos en los puntos: P1, que corresponde al afluente del reactor; P10, que corresponde al efluente del reactor; y la captación en la cámara de distribución de la PTAR. La mayor eficiencia alcanzada del reactor fue para un TRH de 9 horas, con un caudal de 61 mL/min, donde se ha logrado remover 71 % de DBO₅, 62 % de DQO, 49 % de turbiedad, 74 % de coliformes fecales. Estos resultados demuestran que empleando un reactor UASB se obtiene resultados satisfactorios, comparado con otras tecnologías de tratamiento primario de aguas residuales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Procesos anaerobios

Según Grady et al. (2011) respecto a los procesos anaerobios plantean que:

Las aguas residuales se generan como consecuencia de diferentes actividades socioeconómicas (industriales, domésticas, agrícolas). Estas aguas residuales requieren de un tratamiento. El proceso de tratamiento depende de los contaminantes presentes, así como de los requerimientos específicos para la descarga o reúso. El tratamiento de las aguas residuales se puede llevar a cabo mediante procesos físicos, químicos, bioquímicos y/o la combinación de estos. A continuación, se describe brevemente las características principales.

- Las operaciones físicas son aquellas que aprovechan las diferencias de tamaño o la fuerza de la gravedad, para la separación de sólidos, principalmente suspendidos. Como por ejemplo el cribado o la sedimentación.

- Las operaciones químicas son aquellas en las cuales ocurren estrictamente reacciones químicas, tal como la eliminación de fósforo y sólidos en suspensión.
- Las operaciones bioquímicas son aquellas que utilizan microorganismos para estabilizar los contaminantes a través de reacciones químicas catalizadas enzimáticamente.

2.2.2. Tiempo de retención de sólidos en procesos anaerobios

Según Metcalf y Eddy (2014) respecto al tiempo de retención de sólidos en procesos anaerobios plantean que:

El tiempo de retención de sólidos (TRS) es un parámetro fundamental en el diseño y operación de los procesos anaerobios. El TRS está definido como el periodo de tiempo promedio durante el cual el lodo (sólidos) se mantiene dentro del sistema.

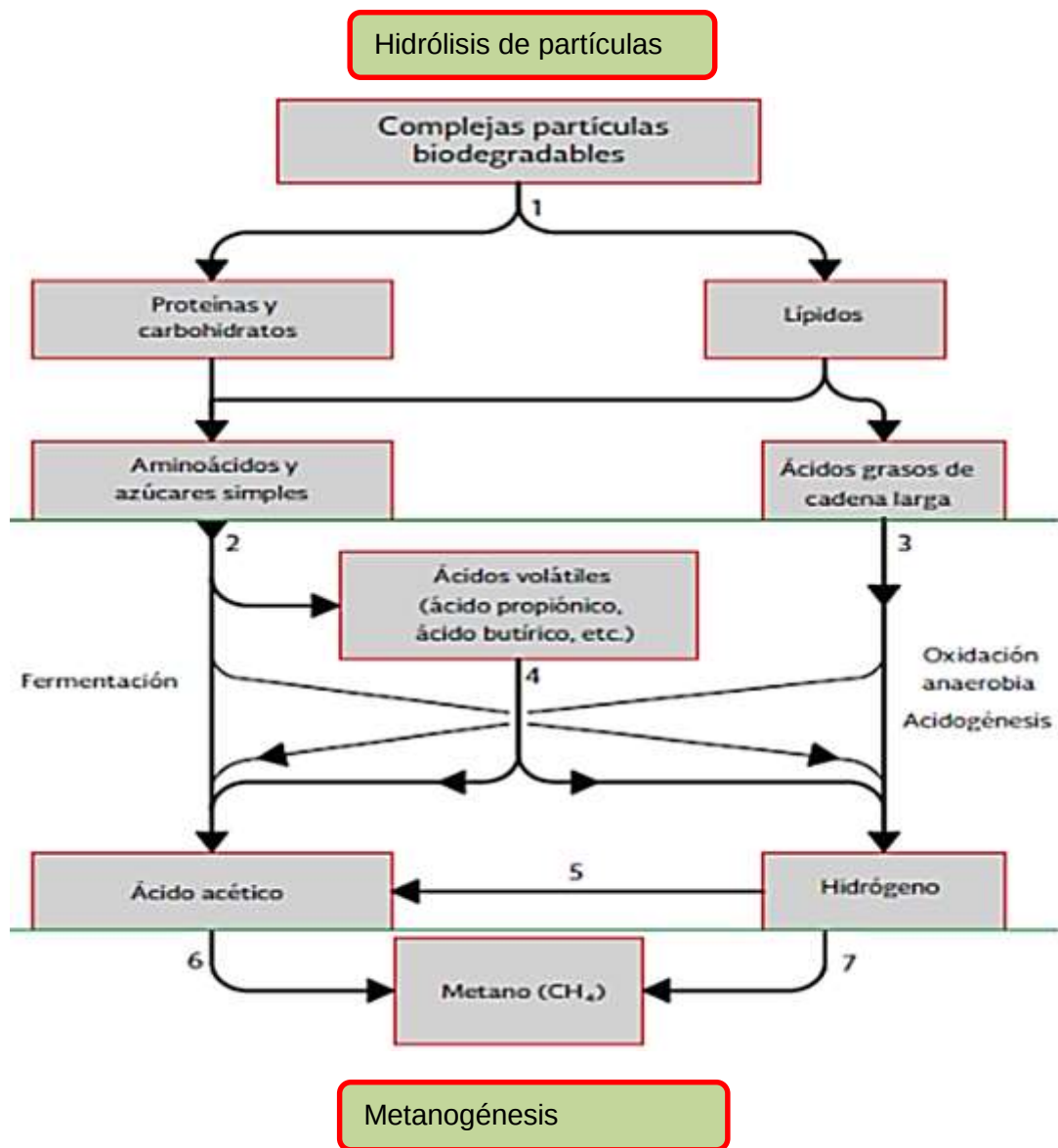
Para sustratos solubles el TRS puede estar determinado dividiendo la masa de sólidos en el reactor (M) por la masa de sólidos removidos diariamente (M/d). En general, se necesitan valores de TRS mayores 20 días para los procesos anaerobios a 30 °C para obtener un tratamiento eficaz.

Según Grady et al. (2011) respecto a las reacciones durante el proceso de degradación anaeróbica plantean que:

Las reacciones que ocurren durante el proceso de degradación anaerobia, es decir, hidrólisis, fermentación y metanogénesis, están relacionadas directamente con el tiempo de retención de sólidos. Un incremento o disminución en el TRS resulta en un incremento o disminución en el tiempo de cada reacción, ya que cada reacción requiere un TRS mínimo. Si el TRS es menor al TRS mínimo, las bacterias no pueden crecer rápidamente y el proceso anaerobio puede fallar.

Figura1

Etapas de degradación de compuestos complejos en el proceso anaerobio



Nota. En la figura se observa las etapas de degradación de los compuestos complejos en el proceso anaerobio. Tomado de Grady, Daigger, Love y Filipe, 2011.

2.2.3. Reactores de flujo ascendente

Según Chernicharo de Lemos (2007) respecto a reactores de flujo ascendente presentan algunos antecedentes relevantes del reactor anaerobio de flujo ascendente:

A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes del reactor anaerobio de flujo ascendente:

- Fue desarrollado en la década de los setentas por el Dr. Gatze Lettinga y su grupo de la Universidad de Wageningen en Holanda.
- Es el sistema anaerobio de alta tasa más utilizado para el tratamiento de agua residual.

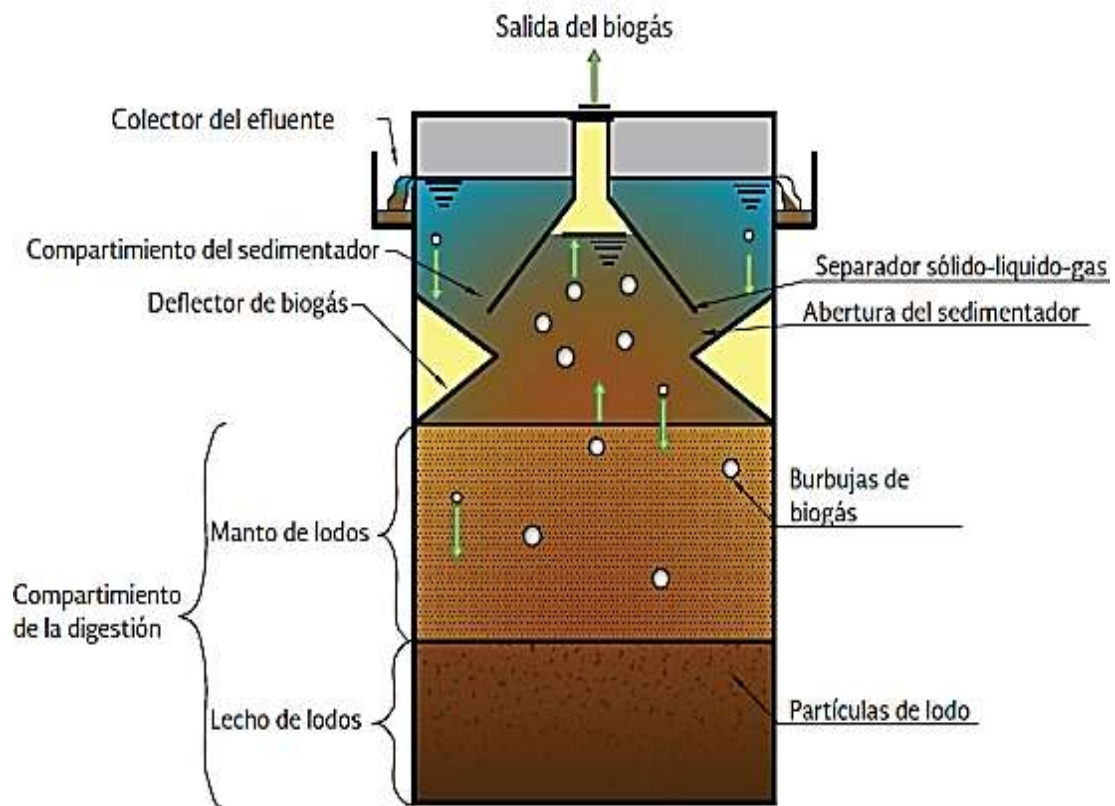
Todas las plantas de tratamiento de agua residual municipal con un RAFA a escala real operan en condiciones tropicales o subtropicales, mientras que las que tratan agua residual industrial (con mayor carga) también operan en climas de moderados a fríos.

Un reactor anaerobio de flujo ascendente es un reactor biológico anaerobio con una sección de sedimentación. La operación de un RAFA como un dispositivo de sedimentación es igualmente importante que, como un reactor biológico, especialmente en el tratamiento de agua residual doméstica.

En un RAFA, la alimentación del agua residual se lleva a cabo en la parte superior del reactor (tanque) ver figura 2 en donde se encuentran una serie de orificios por donde el afluente entra y desciende hacia el fondo del tanque por un sistema de tuberías. El afluente asciende entrando en contacto con un manto de lodos (microorganismos anaerobios), que llevan a cabo la degradación de compuestos complejos mediante una serie de etapas (hidrolisis, acidogénesis y metanogénesis). El biogás, el lodo y el líquido tratado ascienden a la parte superior del reactor, en donde entran en contacto con deflectores que permiten la separación del biogás y la sedimentación del lodo.

Figura 2

Esquema interno de un reactor anaeróbico de flujo ascendente



Nota. Partes del reactor anaerobio de flujo ascendente. Tomado de Chernicharo, 2007.

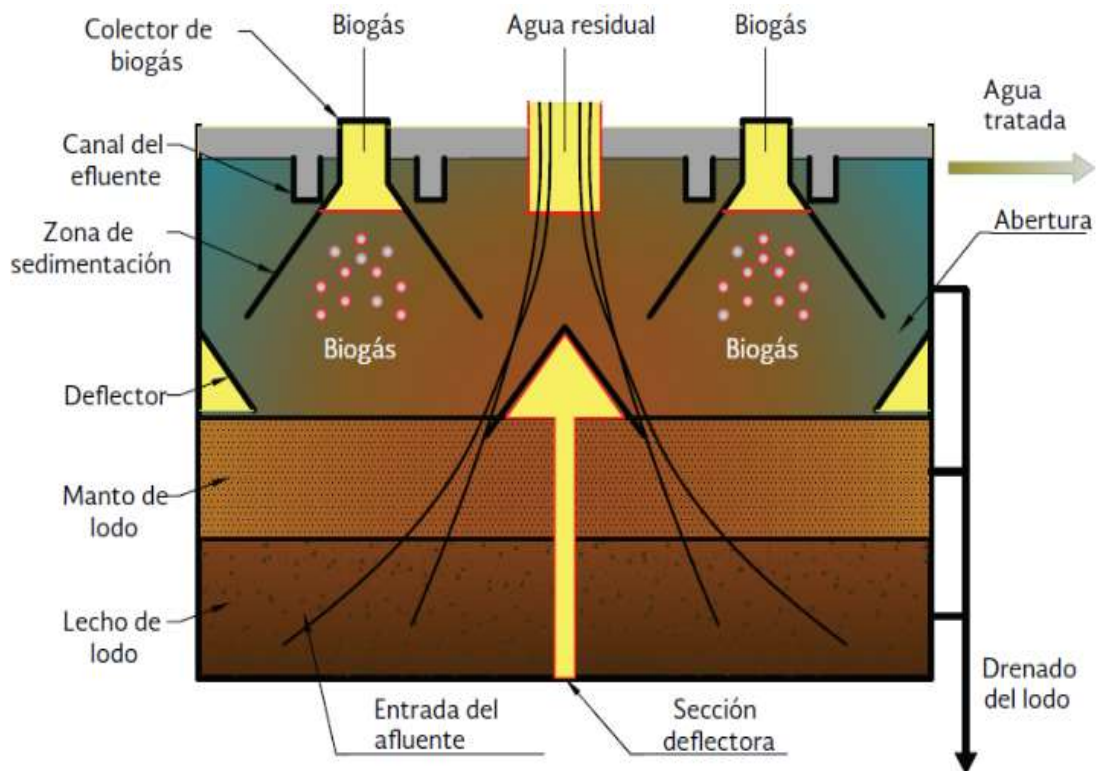
El biogás es capturado en la campaña de recolección que se encuentra en la parte superior del reactor. El líquido tratado (efluente) sale por la parte superior.

Los procesos físicos que ocurren en el RAFA son complicados. Sin la producción de biogás, el reactor funcionaría como un tanque de sedimentación de flujo ascendente. Sin embargo, existen varias diferencias entre un RAFA y un tanque de sedimentación, ya que en el primero existe un consorcio microbiano (bacterias) que altera las características de los sólidos. Las partículas (materia orgánica) se hidrolizan y las bacterias crecen utilizando los subproductos producidos, por lo tanto, las características de sedimentación de los sólidos se modifican. Durante la conversión bacteriana se lleva a cabo la producción de biogás, lo que incrementa la turbulencia en el compartimento del reactor. Por otra parte, las burbujas de biogás tienden a

adherirse a las partículas de lodo, lo que provoca que estas asciendan. La separación del biogás de las partículas de lodo puede darse en el ascenso de las burbujas o en la interfase entre el biogás y el líquido en el colector de gas. Si el biogás no se libera a tiempo de las partículas de lodo, o si las burbujas son demasiado pequeñas para soportar la velocidad de flujo ascendente, las burbujas de biogás entraran al compartimento de sedimentación.

Figura 3

Esquema de la entrada de alimentación del agua residual en el RAFA



Nota. Esquema del tratamiento del agua residual en el reactor. Tomado de Van Haandel y Van der Lubbe, 2007.

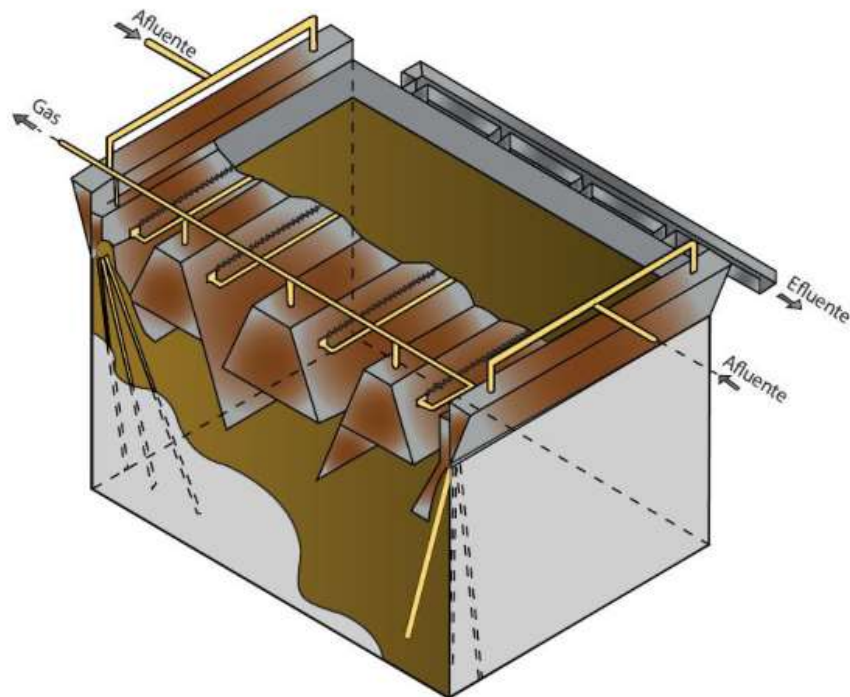
Según Van Lier et al. (2010) respecto a la geometría de un RAFA indican que:

La geometría de un RAFA, puede corresponder a un tanque circular o a un tanque rectangular (ver la figura 3) que puede estar completamente tapado y por lo que en este caso solo se podrá observar los tubos de recolección de biogás. En otros casos se podrá observar en la zona superior del reactor, el sedimentador, los vertedores y el sistema de recolección de gas.

El recolector de biogás puede encontrarse, ya sea entre dos unidades de sedimentación o sobre el borde del sedimentador. En la figura 4 se puede observar los tubos de alimentación hacia el fondo del reactor, las campanas de recolección del biogás, la tubería de conducción del biogás, los sedimentadores, la estructura de salida del reactor anaerobio de flujo ascendente.

Figura 4

Reactor anaeróbico de flujo ascendente rectangular



Nota. Representación del reactor anaerobio de flujo ascendente de forma rectangular. Tomado de Van Haandel & Van der Lubbe, 2007.

2.2.4. Balance de DQO en reactores anaeróbicos de flujo ascendente

Según Lobato et al., (2012) respecto al balance de DQO en RAFA mencionan que:

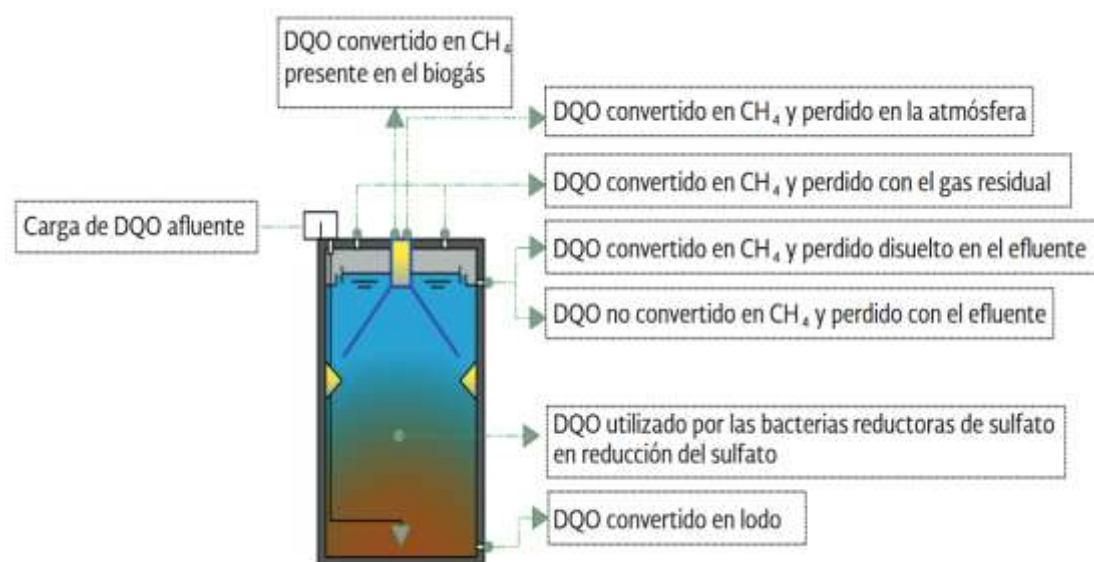
- El balance de masa con base en la DQO para estimar la recuperación de metano y energía en reactores anaerobios usualmente no considera la fracción de DQO utilizada en la reducción de sulfatos ni la fracción perdida como metano disuelto en el efluente o emitido a la atmosfera.

- La fracción de DQO utilizada en la reducción de sulfatos es pequeña debido a la baja concentración de sulfatos que comúnmente se encuentra en el rango de 20 a 100 mg (SO₄)₂-/L en el agua residual doméstica.
- En relación a la DQO convertida a metano, una fracción significativa puede estar disuelta en la fase líquida y ser perdida en el efluente final.

Las pérdidas de metano pueden ocurrir debido a emisiones en la superficie de la zona de sedimentación del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

Figura 5

Rutas de conversión de DQO y flujo de metano en un RAFA



Nota. Obtención del metano a partir de la carga orgánica del agua residual. Tomado de Lobato, Chernicharo y Souza, 2012.

Un modelo de balance de masas de DQO debe incorporar todas las rutas principales de conversión y pérdida, las cuales son: la fracción utilizada en la reducción de sulfatos; la fracción convertida en lodo, la cual puede ser subdividida en la fracción remanente en el reactor y la fracción que se pierde en el efluente; la fracción disuelta no convertida en metano y descargada con el efluente; la fracción convertida en metano que es recuperada en el biogás (la cual puede ser usada como fuente de energía); así como también la fracción convertida en metano que escapa disuelta en el efluente o como gas residual (pérdidas).

2.2.5. Ventajas y desventajas de un RAFA

Según Chuquitarqui & Velásquez (2017) respecto a las ventajas y desventajas de un RAFA mencionan que:

Cuando un reactor RAFA ya está funcionando a plena capacidad y el lodo es activo, se establecen dos partes definidas: El lecho donde se encuentran las altas concentraciones de sólidos y el manto de lodos producido por el flujo ascensional del afluente a través del lecho por la mezcla que establece el gas producido en el lodo. El manto de lodos es la zona de mayor turbulencia en la que se encuentran partículas que sedimentan y otras que ascienden hasta que se liberan del gas y sedimentan.

Ventajas del RAFA

- Menor producción de lodos.
- Produce gas metano, que puede ser utilizado como fuente de energía para el alumbrado e incluso para calentar el propio reactor y favorece la eficiencia del proceso de digestión anaerobia.
- Menores costos de operación.
- Convierte el 95 % del Carbono en biogás, 5 % es transformado en biomasa microbiana.
- El 90 % de la energía es retenida como CH₄, del 5 – 7 % es almacenada en la biomasa.
- No requiere energía.
- Acepta altas cargas orgánicas, degrada compuestos poli clorados, requerimiento bajo de nutrientes, requiere pequeña área superficial.
- El lodo anaerobio puede ser preservado (inactivo) por muchos meses sin serios deterioros.
- Una efectiva separación del biogás, desagüe y el lodo.
- El lodo anaerobio presenta una buena capacidad de sedimentación y principalmente, se desarrolla como un lodo granular.

Desventajas del RAFA

- Requiere largos periodos de arranque, si no se cuenta con lodo adaptado.

- No se recomienda para aguas con baja concentración de materia orgánica o aguas diluidas por lluvias.
- Por ser recientemente establecidos, tienen bajo desarrollo para aplicaciones específicas y existe poca experiencia práctica, sin embargo, la situación respecto a esto está cambiando rápidamente.
- La digestión anaerobia normalmente requiere de un adecuado postratamiento para la remoción de DBO5 remanente, amonio y compuestos de mal olor.

2.2.6. Parámetros de control del proceso

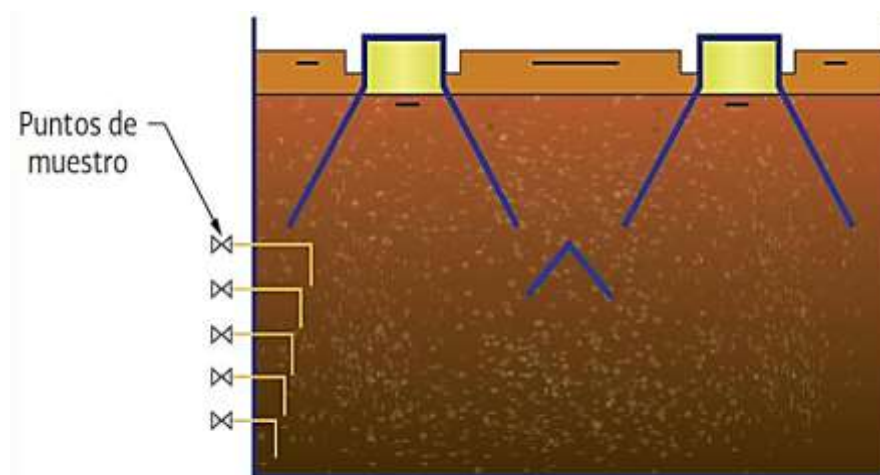
Según la Comisión Nacional del Agua (2013) respecto a los parámetros de control del proceso mencionan que:

Para realizar una operación adecuada de un sistema de tratamiento anaerobio, es necesario efectuar un monitoreo apropiado del proceso. Para el control de la operación, se especifican los siguientes parámetros:

- Físicos: Temperatura, mezclado, pH y ST y SVT
- Químicos: Alcalinidad, AGV, producción de biogás, nitrógeno amoniacal, sulfuros, DBO, DQO.

Figura 6

Puntos de muestreo de lodo en un RAFA



Nota. Se observa en la figura los puntos de muestreo en el manto de lodos del reactor.
Tomado de Lobato et al., 2012.

El pH, la alcalinidad, la concentración de AGV, la DQO y la producción de biogás son considerados parámetros de respuesta primarios, ya que con ellos es posible evaluar el funcionamiento del proceso anaerobio.

2.2.6.1 Temperatura

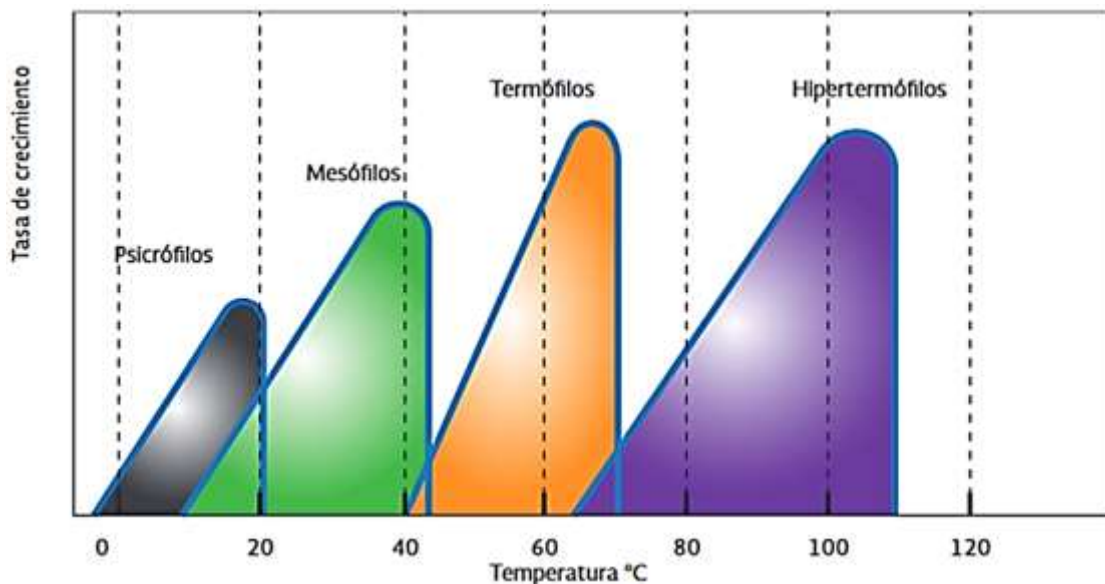
Según Márquez & Martínez (2011) respecto a la temperatura en el control del proceso mencionan que:

La temperatura influye en el tipo de microorganismos que se presentan en un proceso biológico. Pueden dividirse en tres categorías: psicrófilos (0 - 20 °C), mesófilos (20 - 40 °C) y termófilos (45 - 65 °C). Las bacterias que crecen en cada uno de estos intervalos de temperatura son organismos diferentes.

La siguiente figura presenta el efecto de la temperatura sobre la tasa de crecimiento de varias clases de bacterias para diferentes intervalos de temperaturas.

Figura 7

Efecto de la temperatura sobre la tasa de crecimiento de clases de bacterias a diferentes temperaturas



Nota. El crecimiento de los microorganismos a efecto del aumento de la temperatura. Tomado de Rittman y McCarty, 2011.

El rango más utilizado en procesos anaerobios es el mesofílico, en este rango, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye en un 50 por ciento por cada 10 °C de descenso por debajo de 35 grados centígrados. Cambios de temperatura en el intervalo mesofílico pueden ser normalmente tolerados, pero cuando la temperatura desciende, la carga también debe ser disminuida de acuerdo con el descenso de la actividad esperada.

2.2.6.2 Potencial de Hidrógeno

Según Chen, Cheng, & Creamer (2008) respecto al pH en el control del proceso mencionan que:

El efecto del pH sobre el sistema se manifiesta de dos formas: en forma directa afectando la actividad de las enzimas, esto ocurre por variaciones drásticas del potencial de hidrógeno. Las bacterias productoras de metano en el rango de pH entre 6,6 y 7,4 presentan un crecimiento óptimo. Sin embargo, en un rango de pH más amplio (entre 6,0 y 8,0) se puede conseguir estabilidad en la formación de metano. El objetivo principal en el control del pH, es eliminar los riesgos por la inhibición de las bacterias metanogénicas, debido a los bajos valores de pH, evitando así una desestabilización en el proceso. Para realizar el ajuste de pH puede utilizarse cal, bicarbonato de sodio (NaHCO_3) o soda caustica (NaOH). Debe tenerse cuidado para evitar la precipitación excesiva de los carbonatos de calcio que se forman.

2.2.6.3 Sólidos totales y volátiles

Según Márquez & Martínez (2011) respecto a los sólidos totales y volátiles en el control del proceso mencionan que:

El realizar un balance de sólidos en el reactor anaerobio, permite determinar la eficiencia de operación del proceso. Una deficiencia en la operación puede deberse a varias razones, una de ellas es el tiempo en que los sólidos permanecen dentro del reactor. Un tiempo reducido afectara el proceso teniendo sólidos deficientemente digeridos.

2.2.6.4 Alcalinidad

Según la Comisión Nacional del Agua (2013) respecto a la alcalinidad en el control del proceso mencionan que:

La alcalinidad del agua residual resulta de la presencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio y amonio. De estos, los bicarbonatos de calcio y magnesio son los más comunes. Los boratos, silicatos, fosfatos y compuestos similares también pueden contribuir a la alcalinidad. La alcalinidad en el agua residual ayuda a resistir los cambios en el pH causado por la adición de ácidos. La concentración de alcalinidad en el agua residual es importante cuando se utilizan tratamientos biológicos y químicos.

Durante el tratamiento anaerobio las burbujas de gas que contienen un alto porcentaje de CO_2 (25 - 35 %) y que son producidas por las reacciones de fermentación en el líquido dan como resultado una concentración elevada de CO_2 en el agua residual en tratamiento. Valores altos de alcalinidad (2 000 a 4 000 mg/L CaCO_3) son necesarios para desplazar el ácido carbónico disuelto y mantener el pH cerca de valores neutros. Para aguas residuales bajas en alcalinidad, las proteínas o aminoácidos pueden ser metabolizados y desaminados durante el tratamiento anaerobio para producir alcalinidad como $\text{NH}_4(\text{HCO}_3)$. La alcalinidad es un parámetro importante para el control del proceso. Debe estar presente en suficiente cantidad, para que se logre reducir el efecto de la producción excesiva de acidez en el reactor, provocada por la elevada concentración de ácidos grasos volátiles o por alto contenido de dióxido de carbono.

Para el monitoreo de estos sistemas, la revisión sistemática de la alcalinidad se torna de gran importancia. Ya que una pequeña variación en los niveles de pH implica un consumo elevado en la cantidad de alcalinidad, como resultado de la reacción de la alcalinidad con los ácidos grasos volátiles.

Según Rittman & McCarty (2011) respecto a la alcalinidad en el control del proceso mencionan que:

Desde el punto de vista operacional, es deseable mantener elevados niveles de alcalinidad en el sistema, esto es porque se podrían amortiguar elevadas concentraciones de AGV sin variar sustancialmente el pH del sistema. La alcalinidad es útil tanto en el agua natural como en las aguas residuales, porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios en el pH.

Generalmente a la alcalinidad por encima del pH 8,2 se refiere a la alcalinidad caustica, y por encima del pH 4,5 se refiere a la alcalinidad total. La alcalinidad puede existir hasta un pH de 4,5 debido a que el $[\text{HCO}_3^-]$ no se neutraliza completamente sino hasta que se alcanza este pH. La cantidad de alcalinidad presente se expresa en términos de carbonato de calcio.

La alcalinidad es la capacidad amortiguadora de un sistema para mantener un determinado pH, por lo que, para mantener un nivel óptimo de pH es necesario tener una buena capacidad amortiguadora. Esta alcalinidad amortigua los cambios bruscos del pH mediante los sistemas ácido - base, carbónico, orto fosfórico y del amonio (NH_4^+).

Es importante señalar el cuidado que se debe tener con el uso de agentes químicos en reactores anaerobios. Por ejemplo, la cal es uno de los álcalis más baratos, pero su precipitación como carbonato de calcio (CaCO_3) causa serios problemas de acumulación de sólidos no deseables.

2.2.6.5 Nutrientes

Según Crites & Tchbanoglous (2000) respecto a los nutrientes en el control del proceso mencionan que:

Los nutrientes (nitrógeno y fósforo), también llamados bioestimulantes, son esenciales para el crecimiento biológico; también son necesarias cantidades traza de otros elementos, como el hierro.

Según la comisión Nacional del Agua (2013) respecto a los nutrientes en el control del proceso mencionan que:

El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. El nitrógeno amoniacal existe en

solución acuosa, tanto en forma de ion amonio como en forma de amoniaco, dependiendo del pH de la solución.

2.2.6.6 Ácidos grasos volátiles

Según Padilla (2011) respecto a los ácidos grasos volátiles en el control del proceso mencionan que:

Los ácidos grasos volátiles (AGV) son producidos por la etapa de hidrólisis acetogénica de sustancias orgánicas complejas. Un incremento en la producción de estos puede ocasionar desequilibrio de los reactores anaerobios ya que el pH se reduce a valores muy ácidos. Lo anterior tiene efecto directo sobre la actividad metanogénica, por lo que es necesario controlar su concentración durante la operación. Un intervalo aceptable de AGV es de 50 a 300 mg/L; valores por debajo de 500 mg/L suelen indicar buena digestión.

2.2.6.7 Sulfuros

Según Márquez & Martínez (2011) respecto a los sulfuros en el control del proceso mencionan que:

Compuestos de azufre oxidado, semejantes a sulfato, sulfito y tiosulfato, pueden estar presentes en concentraciones significativas en varias aguas residuales industriales y en algún grado en aguas residuales municipales. Estos compuestos pueden servir como aceptadores de electrones para las bacterias sulfatoreductoras, que consumen compuestos orgánicos en el reactor anaerobio y producen sulfuro de hidrógeno. El sulfuro se puede formar en el proceso por la ocurrencia de la reducción del sulfato.

2.2.6.8 Nitrógeno amoniacal

Según Metcalf y Eddy, Inc. (2003) respecto al nitrógeno amoniacal en el control del proceso mencionan que:

El nitrógeno amoniacal en concentraciones mayores de 1 500 mg/L inhibe el proceso anaerobio. Cuando la concentración de nitrógeno amoniacal se encuentra entre 1 500 y 3 000 mg/L, se considera moderadamente inhibitoria

para el proceso anaerobio; con concentraciones mayores a 3 000 mg/L se presenta una inhibición muy alta.

2.2.7. Consideraciones de diseño para un RAFA

Según la Comisión Nacional del Agua (2013) respecto a las consideraciones del diseño en el control del proceso mencionan que:

El reactor presenta en el fondo una cama de lodo más densa, seguida de un volumen de lodo expandido. La mayor remoción se lleva a cabo en la primera capa de lodo, y se presenta una remoción adicional en el lodo expandido. El lodo es expandido por el gas generado y por el flujo ascensional de la alimentación del agua residual.

Se requiere un separador de la mezcla de lodo, líquido y gas en la parte superior del reactor que retorne el lodo hacia el fondo del mismo, permita el paso del líquido tratado y conduzca el gas generado hacia la campana de recolección del reactor. La edad del lodo generalmente es mayor de 30 días.

2.2.7.1 *Tiempo de residencia hidráulica*

Según Metcalf y Eddy (2003) respecto al tiempo de residencia hidráulico en el diseño de proceso mencionan que:

El tiempo de residencia hidráulica se define como el tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor.

Según Van Lier (2010) respecto al tiempo de residencia hidráulico en el desempeño en RAFA menciona que:

El desempeño de los primeros reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) a escala completa tratando desechos municipales que se han construido en Colombia (dos reactores), Brasil (tres reactores) e India (un reactor). Por ejemplo, en Colombia, para un volumen del reactor de 6 600 m³, operando a una temperatura de operación de 25 °C, un TRH de 5,2 horas y un afluente por tratar de 380 mg/L, la remoción reportada cae en el intervalo de 60 a 80 por ciento de DQO;

Por otro lado, Chernicharo de Lemos (2007) reporta que:

Las remociones de entre 40 y 70 por ciento de DQO, en aguas residuales con concentraciones de entre 300 y 1 400 mg/L de DQO, operando a temperaturas de 20 a 27 °C.

En la tabla 1 presenta, para diferentes temperaturas de operación, recomendaciones para la selección del TRH en un RAFA que trate aguas residuales domésticas.

Tabla 1

Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un RAFA de una altura de 4 metros para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Temperatura del agua residual (°C)	Tiempo de residencia hidráulica	
	Promedio diario	Mínimo (durante 4 - 6 h)
16 - 19	10 - 14	7 - 9
22 - 26	7 - 9	5 - 7
> 26	6 - 8	4 - 5

Nota. En la tabla se observa el tiempo de residencia hidráulica en función a la temperatura. Tomado de Metcalf y Eddy, 2003.

2.2.7.2 Carga orgánica volumétrica

Según la Comisión Nacional del Agua (2013) respecto a la carga orgánica volumétrica en el desempeño en RAFA menciona que:

La carga orgánica volumétrica es un factor de diseño en los RAFA y es el producto del gasto por la concentración de la materia orgánica (DQO) del agua residual alimentada diariamente al reactor, dividido entre el volumen efectivo del reactor.

2.2.7.3 Velocidad ascensional y altura del reactor

Según la Chernicharo de Lemos (2007) respecto a la velocidad ascensional y altura del RAFA menciona que:

La velocidad ascensional del agua residual es un parámetro importante en el diseño y operación de un RAFA, y es la relación del gasto entre el área del reactor. La máxima velocidad ascensional del reactor depende del tipo de lodo en el lecho del reactor y de la COV. Para el tratamiento de aguas residuales domésticas con concentración de materia orgánica < 1 000 mg de DQO/L y carga orgánica volumétrica de entre 2,5 y 3,5 kg de DQO/(m³d), la velocidad ascensional promedio recomendada está en el intervalo de 0,5 a 0,7 m/h.

Tabla 2

Velocidades de flujo ascendente recomendados para el diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente que tratan aguas residuales domésticas.

Gasto del afluente	Velocidad de flujo ascendente (m/h)
Flujo promedio	0,5 - 0,7
Flujo máximo	< 0,9 - 1,1
Flujos picos temporales (*)	< 1,5

Nota. Velocidades de flujos promedio del efluente en el reactor. Tomado de Chernicharo de Lemos, 2007.

2.2.7.4 Distribución del afluente

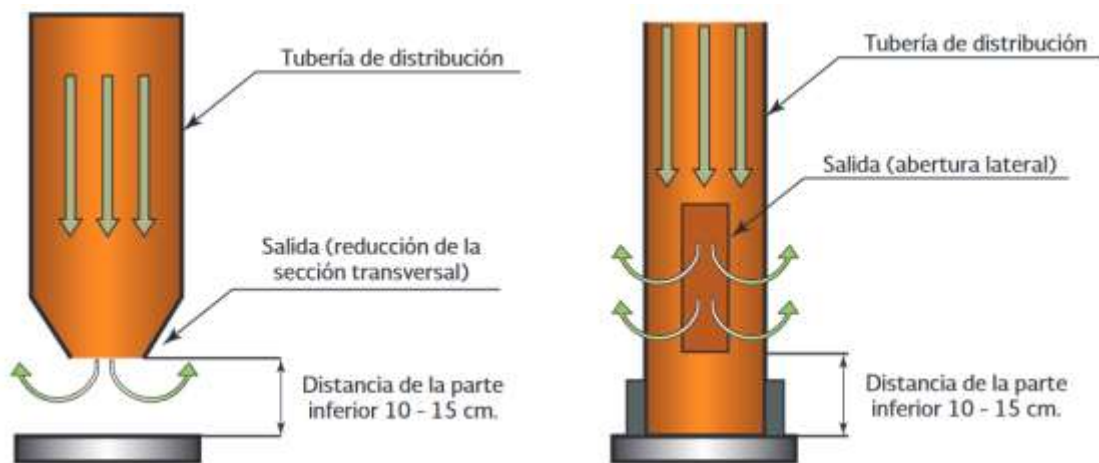
Según la Chernicharo de Lemos (2007) respecto a la distribución del afluente del RAFA menciona que:

En el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), el afluente se distribuye en el fondo del reactor para tener un mayor tiempo de contacto del mismo con el lecho del lodo que contiene los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica.

El agua residual debe estar distribuida de manera uniforme, cerca del fondo del reactor (10 - 20 cm), mediante una serie de tubos y donde cada uno cubre un área de 1 a 2 m² del fondo del tanque.

Figura 8

Ejemplos de extremos de tubos de distribución



Nota. Se observa la distribución del agua residual (afluente) dentro del reactor. Tomado de Chernicharo de Lemos, 2007.

Según Van Lier et al. (2010) respecto a la distribución del afluente del RAFA menciona que:

Principalmente para agua residual doméstica, es importante garantizar una distribución uniforme con un control individual en cada punto (tubo) de distribución del agua, por ejemplo, inyectando el agua residual en el canal principal, localizado en la parte superior del reactor, desde el cual los tubos pueden tomar el agua residual doméstica para cada punto de distribución, hay casos que se ha utilizado un tubo de distribución para cubrir un área de 2 a 4 metros cuadrados.

2.2.7.5 Sedimentador

Según Van Lier et al. (2010) respecto al sedimentador del RAFA menciona que:

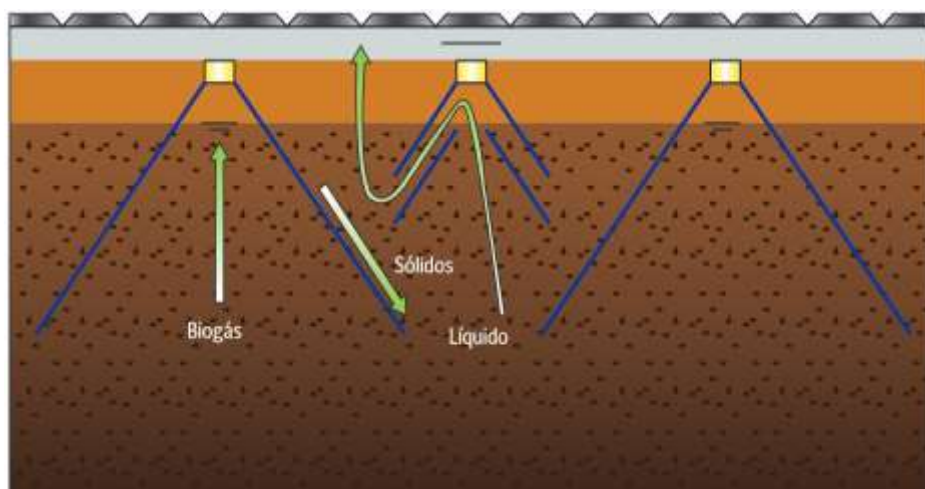
Va referido al Sedimentador (Separador gas - líquido - sólido), Las recomendaciones para el diseño de un separador gas-líquido-sólido son las siguientes:

- Un separador debe lograr la separación del lodo, agua y el biogás producido.
- La pendiente del sedimentador deberá tener una inclinación de 45° a 60°.

- El área superficial de la apertura entre los colectores del gas no deberá ser menor a 15 - 20 % del área superficial del reactor.
- La altura del colector del gas deberá ser de 1,5 a 2 m para un reactor con una altura de 5 a 6 m.
- Una interfase líquido-gas deberá ser mantenida en el colector de gas para facilitar la liberación y recolección de burbuja de gas y para controlar la formación de la capa de espuma.
- La superposición de los deflectores instalados debajo de las aberturas debe ser de 100 a 200 mm para evitar las burbujas de gas que fluyen hacia arriba y que entran en el compartimento del colector.
- Los deflectores de la capa de espuma deberán ser instalados frente a los vertederos del efluente.
- El diámetro de los tubos de escape de biogás debe ser suficiente para garantizar la fácil extracción del biogás de la campana de biogás, particularmente si se forma espuma.
- En la parte superior de la campana de biogás, deberán instalarse boquillas de pulverización antiespumantes, cuando el tratamiento del agua residual implique formación de espuma pesada.
- La profundidad del compartimento del sedimentador debe ser de 1,5 a 2 m.

Figura 9

Una alternativa de diseño de separación Gas-Líquido-Sólido



Nota. Una de los diseños de separación gas-líquido- sólido en el reactor. Tomado de Van Lier et al., 2010.

2.2.7.6 Materiales de construcción

Según la Chernicharo de Lemos (2007) respecto a los materiales de construcción del RAFA menciona que:

El material utilizado en la construcción de reactores anaerobios deberá ser resistente a la corrosión. Por razones de construcción y de costos, el hormigón y el acero han sido los materiales más comúnmente utilizados en los RAFA, por lo general con un revestimiento interior de base epóxica. Sin embargo, el separador de sólidos y gas localizado en la parte superior del reactor está más expuesto a la corrosión por lo que debe estar fabricado de un material más resistente o más fuertemente recubierto.

El concreto es el material más frecuentemente usado, pero las experiencias con este material no siempre han sido satisfactorias debido a problemas de escapes de gases, corrosión y a la construcción de una estructura voluminosa y pesada. Opciones más atractivas de materiales no corrosivos y menos voluminosos son el PVC, la fibra de vidrio y el acero inoxidable.

Van Lier (2010) menciona que se han utilizado varios materiales de construcción en los separadores GLS:

Con frecuencia, cada componente que forma parte del separador de GLS está construido de diferente material respecto del resto.

Por ejemplo, la caja de gas superior y el deflector se pueden construir de hormigón con revestimiento epóxico para evitar la corrosión y las fugas de gas, mientras que las placas de recolección de gas se construyen de materiales como el hormigón, la lona, el hierro corrugado, PVC rígido y GRP.

2.2.7.7 Sistema de recolección de biogás

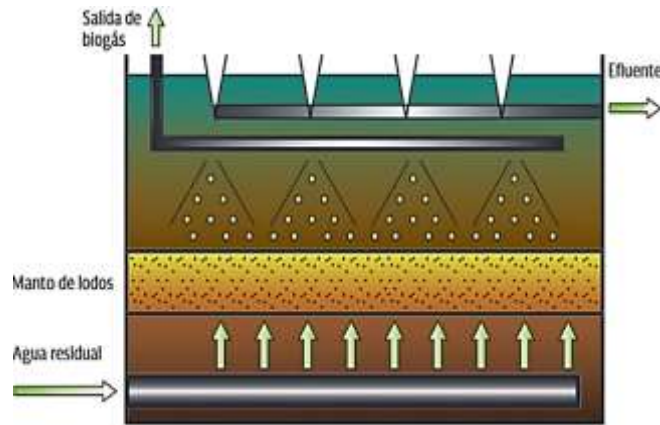
Según la CONAGUA (2013) respecto al sistema de recolección de biogás en el RAFA menciona que:

El sistema de recolección de biogás comprende: campanas de recolección, tubería de recolección, compartimento con sello hidráulico, purga de biogás, medidor de biogás y depósito de biogás. Cuando el biogás no es utilizado, el

depósito es reemplazado por una válvula de seguridad y un quemador de biogás, preferentemente localizado a una distancia segura del reactor.

Figura 10

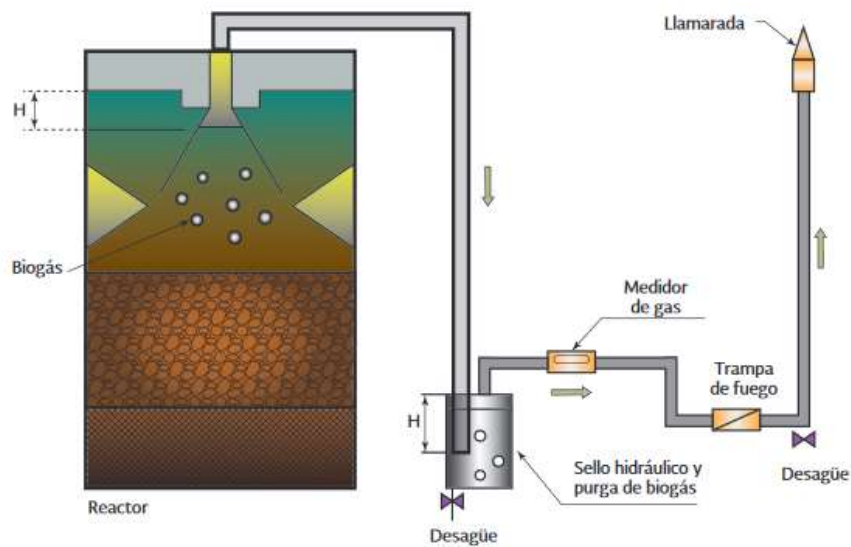
Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)



Nota. Esquema del funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente. Tomado de Conagua, 2013.

Figura 11

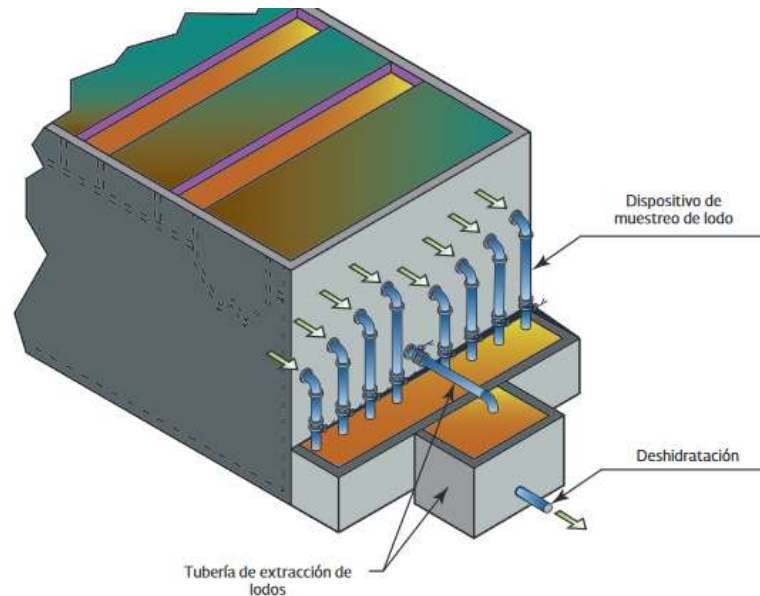
Diagrama del sistema de gas en un RAFA



Nota. Diagrama de conversión del biogás a metano. Tomado de Chernicharo, 2007.

Figura 12

Ejemplo de dispositivo de muestreo de lodos en descarga de un reactor



Nota. Descarga de lodos del reactor. tomado de Chernicharo, 2007.

2.2.7.8 Muestreo y descarga de lodos

Según la CONAGUA (2013) respecto al muestreo y descarga de lodos en el RAFA menciona que:

El diseño de un reactor comprende válvulas y tuberías que permitan el muestreo y descarga de los sólidos. El sistema de muestreo y descarga de lodos tiene una serie de válvulas instaladas a lo largo de la altura del compartimento de digestión, para monitorear el crecimiento y calidad de la biomasa en el reactor.

2.2.7.9 Producción de lodo y tratamiento

Según la CONAGUA (2013) respecto a la producción de lodo y tratamiento en el RAFA menciona que:

La producción de lodos en un proceso anaerobio es pequeña en comparación con la generada en los procesos aerobios. La tasa de acumulación de lodos en el proceso anaerobio depende del tipo de agua residual que será tratado y es más grande cuando el agua residual presenta una alta concentración de sólidos suspendidos, especialmente cuando estos sólidos no son biodegradables.

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación y nivel de investigación

El tipo de investigación es básica y el nivel descriptivo.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental. El enfoque es cuantitativo, ya que se realizará la caracterización de las aguas residuales para evaluar el funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Agua residual de la Planta de Tratamiento de Agua Residual Mollepata, distrito Ayacucho, provincia Huamanga de la región Ayacucho

Muestra: Alícuota de agua residual.

Muestreo: no probabilístico intencional de acuerdo a protocolo.

3.4. Variables e indicadores

Variable de caracterización 1: Parámetros de operación del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.

Indicadores

- Caudal del agua residual
- Caracterización del agua residual afluente

- Temperatura
- Tiempo de residencia hidráulico
- Altura del lecho

Variable de caracterización 2: Agua residual tratada en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.

Indicadores

- Parámetros fisicoquímicos en el agua residual tratada
- Coliformes termotolerantes
- Parámetros físicos en los mantos de lodos
- % de remoción

Variable de interés: Evaluación del funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

- Observación
- Métodos de ensayos de campo y laboratorio

3.5.2. Instrumentos

- Ficha de recolección de datos
- Equipos para ensayos de campo y laboratorio
- Normas técnicas

3.6. Procedimientos y métodos

3.6.1. Canal Parshall

El canal Parshall está Instalado en el ingreso a la planta de tratamiento para medir el caudal de ingreso. La planta de tratamiento cuenta con tres reactores anaerobios de flujo ascendente. Se debe verificar el caudal óptimo para trabajar con los tres reactores, en caso de que el caudal de ingreso es inferior al dato del caudal de diseño se toma la decisión de trabajar con uno o dos reactores.

En la figura 13 se observa el medidor Parshall, utilizado para medir el caudal.

Figura 13

Medidor de Parshall



3.6.2. Parámetros físicos en el reactor anaerobio de flujo ascendente

3.6.2.1 Procedimiento de la toma de muestra de afluente y efluente

La toma de muestra del afluente se realiza en la cámara de distribución, que se encuentra antes del ingreso al reactor. Los parámetros a medir son la conductividad eléctrica, pH, T, STD y turbidez. Las tomas de muestra se realizan en las mañanas y en las tardes todos los días, para ver el comportamiento del funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente.

En el reactor tal como se muestra en la figura 14, se encuentran los puntos de muestreo realizado.

Figura 14

Toma de muestra al ingreso del Reactor



Materiales, equipos y reactivos

Materiales

- 4 vasos de precipitado de 100 mL
- 2 vasos de precipitado de 250 mL
- Piseta
- Papel toalla
- Cooler para muestras
- Insumos para preservación de muestras
- Balde de 5 L
- Envase de polietileno de 1 L para muestras

Equipos

- Turbidímetro
- Multiparámetro con electrodos de T, pH, C.e, STD

Reactivos

- Agua destilada

- Soluciones buffer para calibrar pH metro
- Soluciones de KCl para calibrar conductímetro
- Soluciones de formazina para calibrar turbidímetro

Equipos de protección

- Casco de seguridad
- Zapato punta acero
- Guantes de nitrilo
- Guardapolvo
- Lentes de seguridad
- Mameluco

Medición de la temperatura

Se ha utilizado el equipo de multiparámetro con electrodo de temperatura, se procede a trabajar de la siguiente manera:

- a) Verificar el estado del multiparámetro encender y luego calibrar con las soluciones buffer.
- b) En un vaso de 250 mL tomar muestra e inmediatamente colocar el electrodo de temperatura hasta la parte media del vaso.
- c) Esperar hasta que termómetro se estabilice (aproximadamente de 30 s a 1 min).
- d) Tomar lectura y anotar. Este valor será la temperatura de la muestra.
- e) Repetir los mismos pasos para otra muestra y anotar la temperatura obtenida.

Medición de pH

Se ha utilizado el equipo de multiparámetro con electrodo de pH, se procede a trabajar de la siguiente manera:

- a) Lavar el electrodo con agua destilada y secar con papel toalla muy suavemente.
- b) En vasos de precipitado de 100 mL colocar la solución amortiguadora estándar de calibración de 1, 2 y 3 de pH conocido.
- c) Con la solución amortiguadora de pH conocida calibrar el equipo, enjuagando el electrodo con agua destilada para cada pH conocido y secando cuidadosamente con papel toalla.

- d) Una vez calibrado el pH metro, enjuagar nuevamente electrodo con agua destilada y secar cuidadosamente con papel toalla.
- e) Introducir el electrodo en la muestra más o menos 3 cm.
- f) Tomar nota del valor de pH obtenido.
- g) Lavar y enjuagar con agua destilada, secar con papel toalla cuidadosamente para leer siguiente muestra.

Medición de conductividad eléctrica

Se ha utilizado el equipo de multiparámetro, se procediendo a trabajar de la siguiente manera:

- a) Encender el equipo.
- b) Esperar de 5 min para encienda y estabilice.
- c) Lavar el electrodo con agua destilada y secar con papel toalla suavemente.
- d) En un vaso de precipitado colocar solución de calibración de conductividad eléctrica conocida e introducir el electrodo del conductímetro agitando suavemente en vaso.
- e) Pulsar el botón para que el conductímetro se calibre con la solución estándar.
- f) Una vez calibra el equipo, enjuagar el electrodo con agua destilada, secar suavemente con papel toalla.
- g) En un vaso de precipitado de 250 mL recolectar la muestra e introducir el electrodo hasta la zona media del vaso, agitando suavemente en forma circular, espera que estabilice y tomar la lectura. Este valor es la conductividad eléctrica de la muestra.
- h) Enjuagar con abundante agua destilada el electrodo y secar suavemente para posterior lectura.

Medición de sólidos totales disueltos

Se ha utilizado el equipo de multiparámetro, se procediendo a trabajar de la siguiente manera:

- a) Encender el equipo.
- b) Lavar el electrodo con agua destilada y secar suavemente con papel toalla
- c) En un vaso de 250 mL tomar la muestra, luego introducir el electrodo hasta a la mitad del vaso.

- d) Agitar suavemente en forma circular y esperar a que se estabilice la lectura para anotar. Este es el valor de sólidos totales disueltos.
- e) Enjuagar con bastante agua el electrodo y secar suavemente con papel toalla para posterior lectura.

Medición de la turbidez

- a) Encender el equipo.
- b) Esperar de 10 a 15 min para que se encienda y estabilice.
- c) Lavar la celda del turbidímetro con agua destilada y secar con papel toalla muy suavemente.
- d) Previamente recolectada la muestra. Agite el recipiente vigorosamente para uniformizar las partículas en suspensión y dejar reposar por espacio de 10 s para dar tiempo a que las partículas grandes se sedimenten rápidamente. Inmediatamente trasvasar a la celda del turbidímetro y realizar la lectura. Este valor es la lectura de la muestra en NTU.
- e) Repetir los mismos pasos para las muestras posteriores y anotar la turbidez obtenida.

Toma de muestras para análisis de parámetros químicos

- a) Organizar las botellas rotuladas, los reactivos, formatos e insumos.
- b) En el punto de muestreo identificar un lugar donde sacar la muestra representativa con un balde
- c) Homogenizar la muestra del balde y proceder a llenado a los recipientes de 1L.
- d) Escribir con letras legibles y con esfero el nombre responsable de muestreo.
- e) Repetir las veces necesarias hasta lograr una muestra representativa para su posterior análisis.
- f) Enjuagar con agua destilada el balde y todos los elementos utilizados en el muestreo
- g) Colocar las botellas de un mismo sitio de maestro dentro del cooler en posición vertical y agregar hielo suficiente para refrigerar.
- h) Enviar las muestras en cooler en mismo día de muestreo para su análisis a un laboratorio acreditado por la INACAL.

Los puntos de muestro a la salida del reactor, se detalla en la figura 15.

Figura 15

Punto de muestreo a la salida del reactor



Medición de temperatura y pH en el manto de lodos del reactor

Siguiendo los procedimientos de medición de temperatura y pH se toma las muestras en los cuatro puntos del reactor que se muestra en la siguiente figura 16.

Figura 16

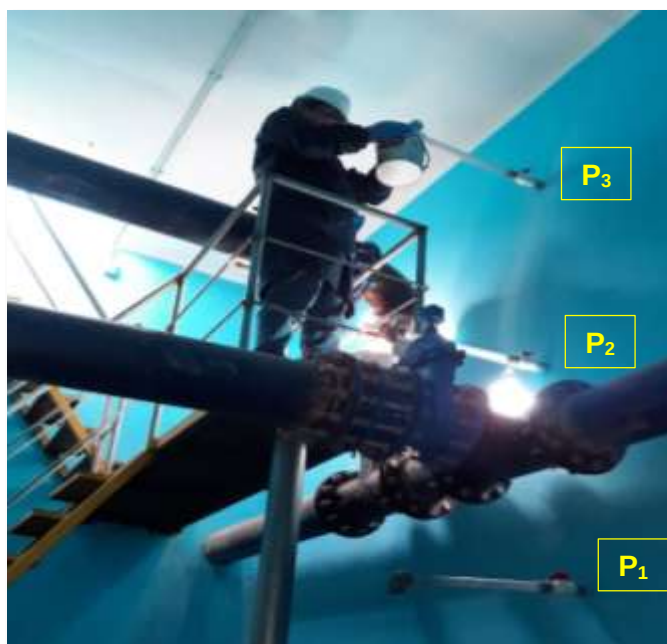
Punto de muestreo 4 de manto de lodos



Nota. P₄, zona superior del reactor.

Figura 17

Punto de muestreo 1, 2 y 3 del manto de lodos



Nota. P₁, zona inferior; P₂, zona intermedia inferior y P₃, zona intermedia superior del reactor respectivamente.

Toma de muestras para análisis químico

- Organizar las botellas rotuladas, los reactivos, formatos e insumos.
- En el punto de muestreo identificar un lugar donde sacar la muestra representativa con un balde
- Homogenizar la muestra del balde y proceder a llenado a los recipientes de 1 L.
- Escribir con letras legibles y con esfero el nombre responsable de muestreo.
- Repetir las veces necesarias hasta lograr una muestra representativa para su posterior análisis.
- Enjuagar con agua destilada el balde y todos los elementos utilizados en el muestreo
- Colocar las botellas de un mismo sitio de maestro dentro del cooler en posición vertical y agregar hielo suficiente para refrigerar.
- Enviar las muestras en cooler en mismo día de muestreo para su análisis a un laboratorio acreditado por la INACAL.

Los parámetros físico químicos fueron determinados en el laboratorio acreditado INACAL Inspection & Testing Services del Perú, con Registro N° – 120.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Caudal de ingreso a los reactores anaerobios de flujos ascendentes

Los resultados de las mediciones durante el periodo de estudio se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3

Caudal que ingresa a la planta de tratamiento

Fecha	Q _{promedio} (L/s)	Q m ³ /día
04/07/2021	1,45	125,19
06/07/2021	1,32	113,88
07/07/2021	1,56	134,87
09/07/2021	2,28	196,82
11/07/2021	1,43	123,90
13/07/2021	1,20	103,68
15/07/2021	1,90	164,16
17/07/2021	1,89	163,12
21/07/2021	1,19	103,16
23/07/2021	1,64	141,52
25/07/2021	1,74	150,16
28/07/2021	1,48	127,70
30/07/2021	1,65	142,65
01/08/2021	1,49	129,00
03/08/2021	1,55	133,66
05/08/2021	1,03	88,82
Media armónica	1,50	129,60

En la figura 18 se puede observar el medidor Parshall, así como, en la figura 19 el comportamiento del caudal promedio durante la evaluación.

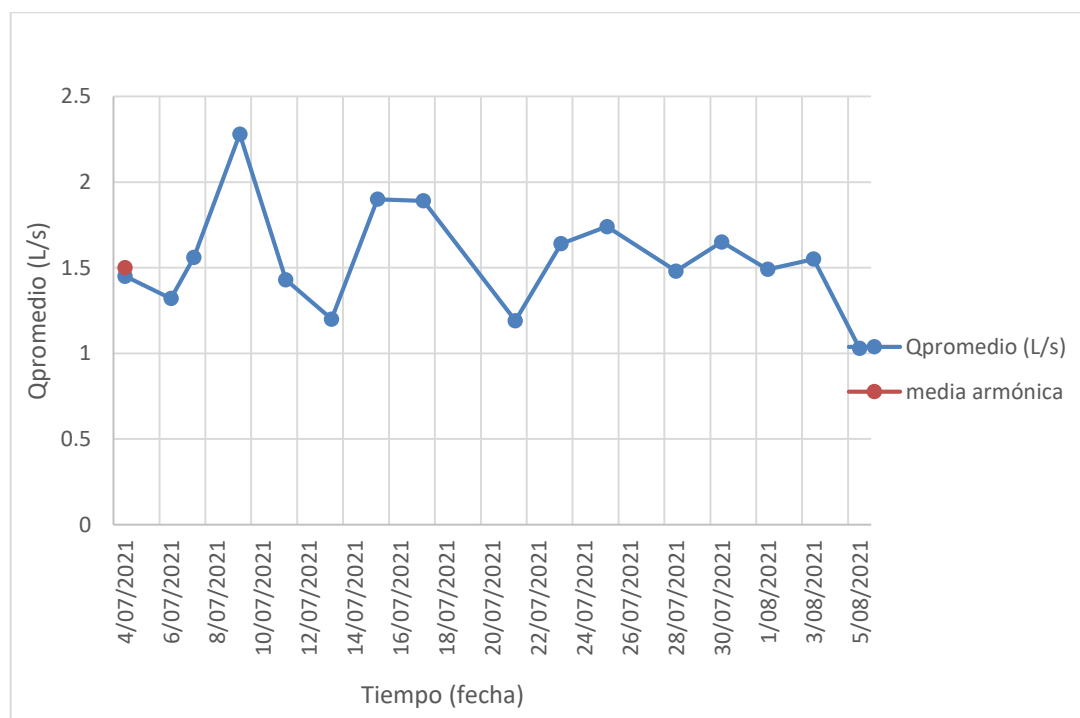
Figura 18

Medidor de Parshall



Figura 19

El comportamiento del caudal promedio durante la evaluación



4.1.2. Parámetros físicos en el reactor anaerobio de flujo ascendente

En la tabla 4, se presenta los parámetros físicos del afluente y en la tabla 5 del efluente de RAFA 01.

En las figuras del 20 al 24 se representa el comportamiento de los parámetros físicos del afluente y efluente.

Tabla 4*Parámetros físicos del afluente de RAFA 01*

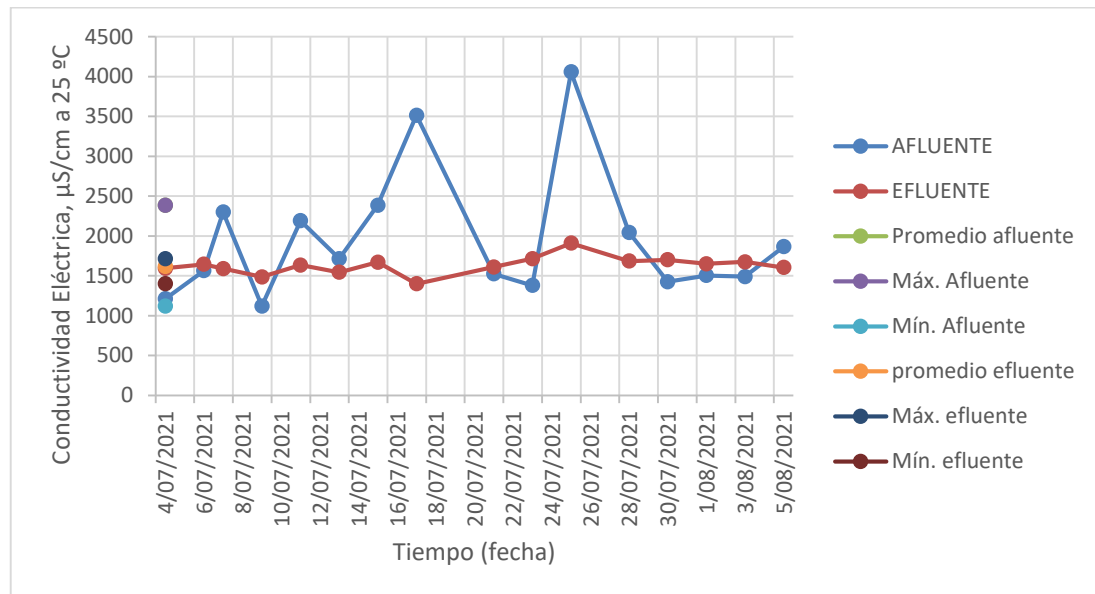
Fecha	Conductividad Eléctrica	pH	Temperatura (agua residual)	Turbidez	Sólidos Totales Disueltos (TDS)
	μS/cm a 25°C	Unidades de pH	°C	NTU	mg/L
04/07/2021	1210,0	7,3	20,3	595,0	600,0
06/07/2021	1565,0	7,7	19,3	506,0	765,0
07/07/2021	2300,0	7,4	19,3	771,5	1135,0
09/07/2021	1120,0	6,7	19,0	431,0	545,0
11/07/2021	2190,0	7,0	19,7	712,0	1065,0
13/07/2021	1715,0	7,0	18,2	410,5	847,5
15/07/2021	2385,0	7,5	18,7	940,0	1085,0
17/07/2021	3515,0	7,1	19,7	573,5	1760,0
21/07/2021	1525,0	7,6	19,4	533,3	755,0
23/07/2021	1380,0	8,2	19,3	429,5	665,0
25/07/2021	4058,3	7,9	18,1	801,8	1003,3
28/07/2021	2045,0	7,9	19,8	679,0	1015,0
30/07/2021	1425,0	7,5	19,8	611,5	710,0
01/08/2021	1505,0	7,9	20,3	528,0	700,0
03/08/2021	1490,0	7,9	20,1	641,0	735,0
05/08/2021	1865,0	8,0	19,1	824,5	930,0
Promedio afluente	1955,8	7,5	19,4	624,3	894,7
Máx. Afluente	4058,3	8,2	20,3	940,0	1760,0
Mín. Afluente	1120,0	6,7	18,1	410,5	545,0

Tabla 5*Parámetros físicos del efluente de RAFA 01.*

Fecha	Conductividad Eléctrica, $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C	pH	Temperatura (agua residual), °C	Turbidez, NTU	Sólidos Totales Disueltos (TDS), mg/L
04/07/2021	1595,0	6,9	20,2	39,8	790,0
06/07/2021	1645,0	7,0	19,2	41,0	810,0
07/07/2021	1590,0	6,9	20,0	39,0	785,0
09/07/2021	1485,0	6,8	19,2	39,3	730,0
11/07/2021	1635,0	6,9	19,8	35,1	790,0
13/07/2021	1545,0	6,9	20,0	36,5	765,0
15/07/2021	1670,0	7,0	19,1	82,3	825,0
17/07/2021	1400,0	7,1	20,0	51,3	755,0
21/07/2021	1610,0	7,2	19,5	48,1	800,0
23/07/2021	1715,0	7,1	19,8	64,3	845,0
25/07/2021	1910,0	7,0	18,8	69,4	940,0
28/07/2021	1685,0	7,1	20,2	56,9	830,0
30/07/2021	1700,0	7,0	19,9	56,8	845,0
01/08/2021	1650,0	7,1	19,9	68,8	815,0
03/08/2021	1675,0	7,1	20,2	53,7	855,0
05/08/2021	1605,0	7,2	19,9	54,8	795,0
Promedio efluente	1618,1	7,0	19,8	51,7	803,7
Máx. Efluente	1715,0	7,2	20,2	82,3	855,0
Mín. efluente	1400,0	6,8	19,1	35,1	730,0

Figura 20

Conductividad eléctrica en el afluente y efluente en el RAFA 01

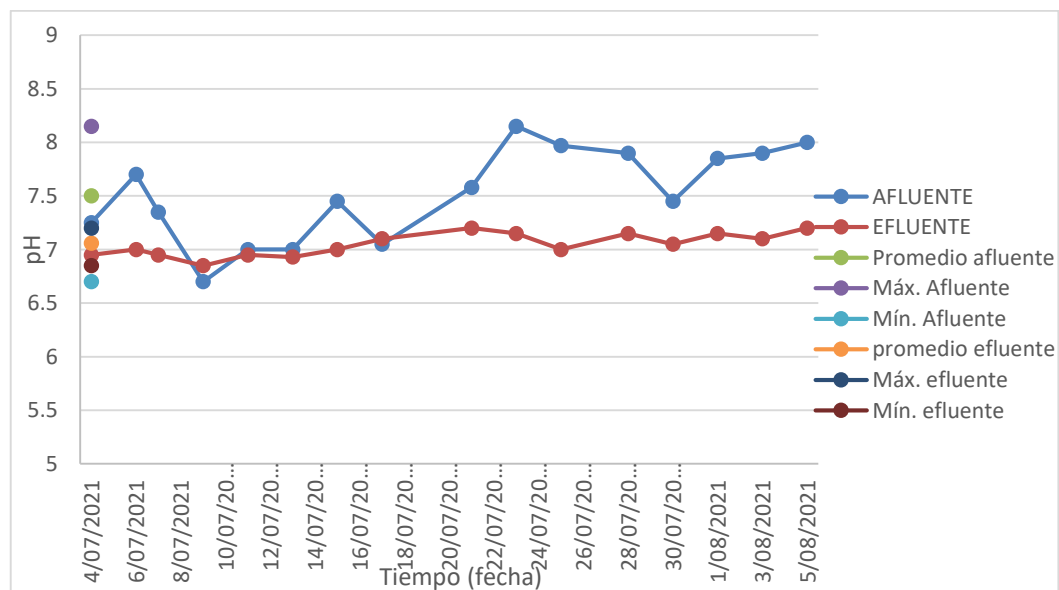


En la tabla 4, se presenta los resultados del parámetro pH del afluente y en la tabla 5 del efluente de RAFA 01.

En la figura 21 se representa el comportamiento del pH en el afluente y efluente.

Figura 21

Potencial de hidrógeno (pH) en el afluente y efluente en el RAFA 01



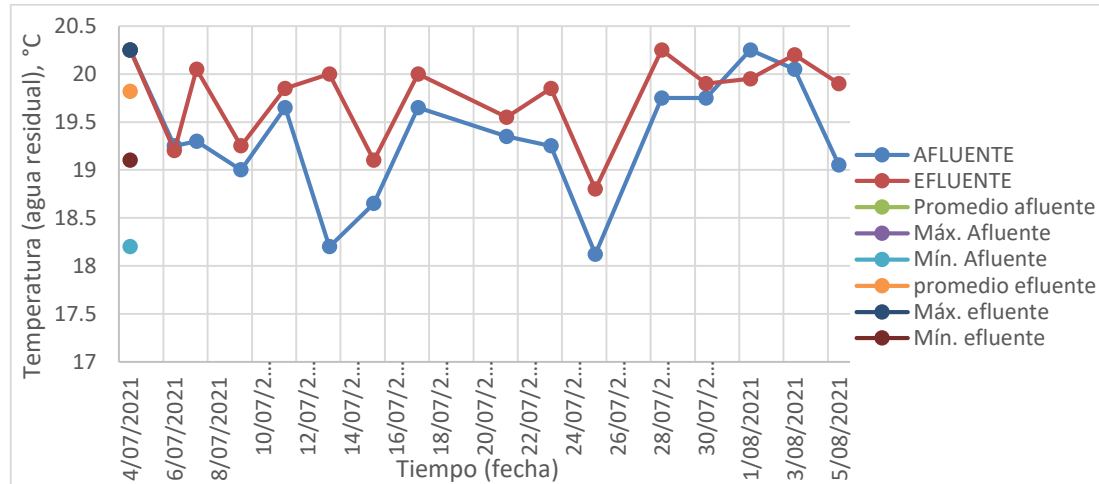
En la tabla 4, se presenta los resultados del parámetro temperatura del afluente y en

la tabla 5 del efluente de RAFA 01.

En la figura 22 se representa el comportamiento de la temperatura en el afluente y efluente.

Figura 22

Temperatura (°C) en el afluente y efluente en el RAFA 01

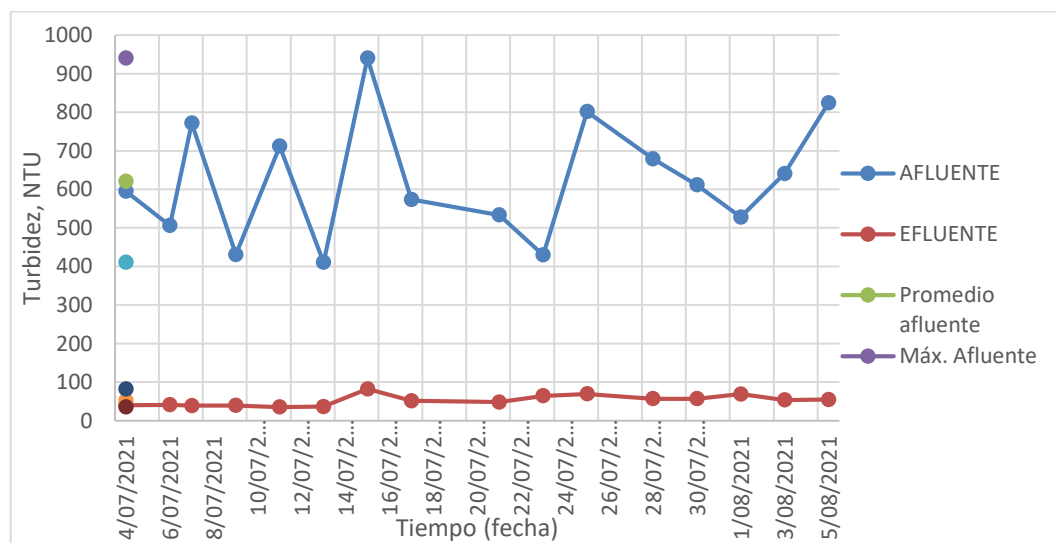


En la tabla 4, se presenta los resultados del parámetro turbidez del afluente y en la tabla 5 del efluente de RAFA 01.

En la figura 23 se representa el comportamiento de la turbidez en el afluente y efluente.

Figura 23

Turbidez (NTU) en el afluente y efluente en el RAFA 01



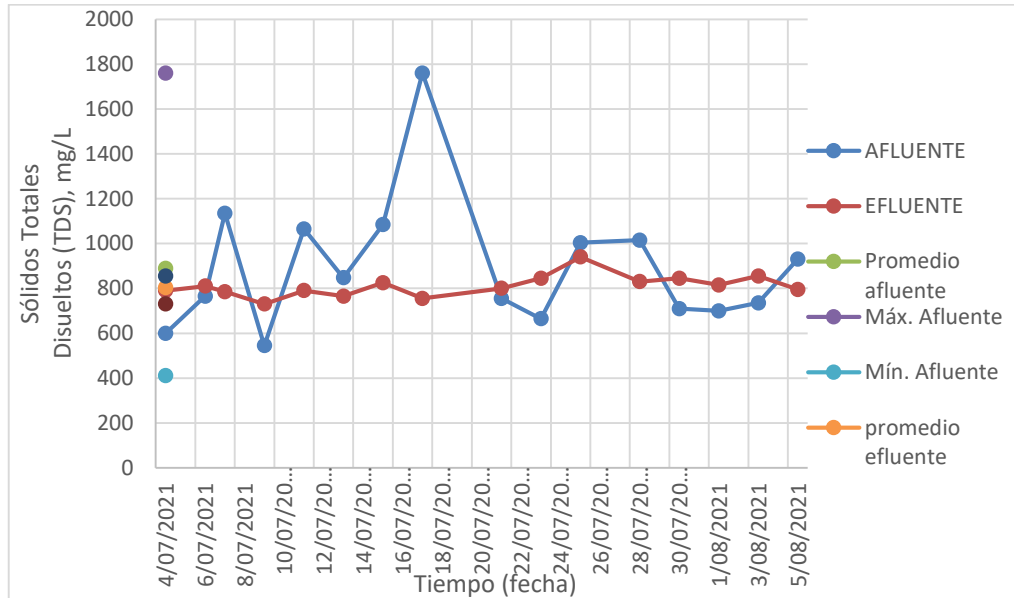
En la tabla 4, se presenta los resultados del parámetro sólidos totales disueltos (STD

del afluente y en la tabla 5 del efluente de RAFA 01.

En la figura 24 se representa el comportamiento de los sólidos totales disueltos (STD) en el afluente y efluente.

Figura 24

Sólidos Totales Disueltos (STD), mg/L en el afluente y efluente en el RAFA 01



4.1.3. Parámetros físicos en los mantos de lodos

Se ha realizado la lectura del pH y temperatura en cuatro puntos de muestreo P₁, P₂, P₃ y P₄; los resultados se pueden observar en la tabla 6, figuras 25 y 26.

Tabla 6

Control de parámetros en manto de lodos del RAFA 01

Fecha	Manto de lodos RAFA 1							
	pH				Temperatura °C			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
4/07/2021	6,8	6,8	6,7	6,8	19,8	19,5	19,4	20,3
6/07/2021	7,0	6,9	7,0	6,9	20,3	20,6	21,5	20,9
7/07/2021	7,2	6,9	6,8	6,7	20,4	20,0	20,5	20,4
9/07/2021	7,1	6,9	7,0	6,9	20,8	20,1	20,5	21,6
11/07/2021	7,0	7,0	6,9	6,9	20,7	20,0	20,1	20,6
13/07/2021	7,0	6,95	6,95	6,9	20,0	20,0	20,4	21,0
15/07/2021	7,0	6,9	6,9	6,9	18,8	18,4	18,7	19,6
17/07/2021	7,0	6,9	6,8	6,8	20,8	20,4	21,2	21,3
21/07/2021	7,1	7,2	7,1	7,2	19,2	19,3	19,2	19,8
23/07/2021	7,4	7,2	7,2	7,2	20,3	20,8	21,2	21,4
25/07/2021	7,4	7,2	7,1	7,1	19,5	19,1	19,4	19,9

28/07/2021	7,2	7,1	7,1	7,1	20,1	22,1	23,1	22,0
30/07/2021	7,0	7,0	6,9	6,9	19,5	19,4	19,3	19,6
1/08/2021	7,1	6,9	7,1	7,1	20,1	19,8	20,1	20,2
3/08/2021	7,2	7,2	7,2	7,0	20,0	18,8	20,5	20,9
5/08/2021	7,2	7,2	7,1	7,1	19,2	19,8	20,1	22,0
Promedio	7,1	7,0	7,0	7,0	20,0	19,9	20,3	20,7
Máximo	7,4	7,2	7,2	7,2	20,8	22,1	23,1	22,0
Mínimo	6,8	6,8	6,7	6,8	18,2	18,4	18,7	19,6

Figura 25

Control del pH en el manto de lodos RAFA 01

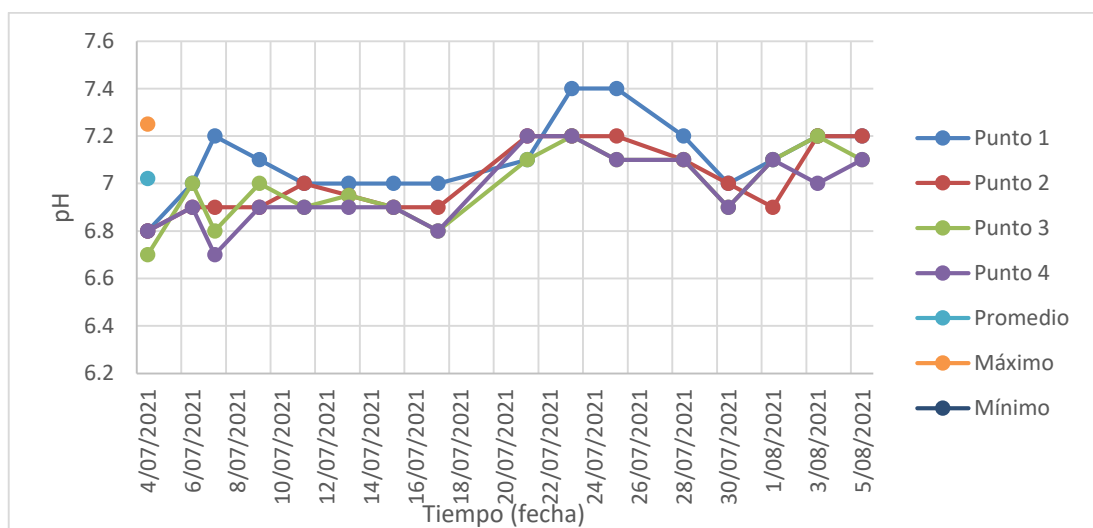
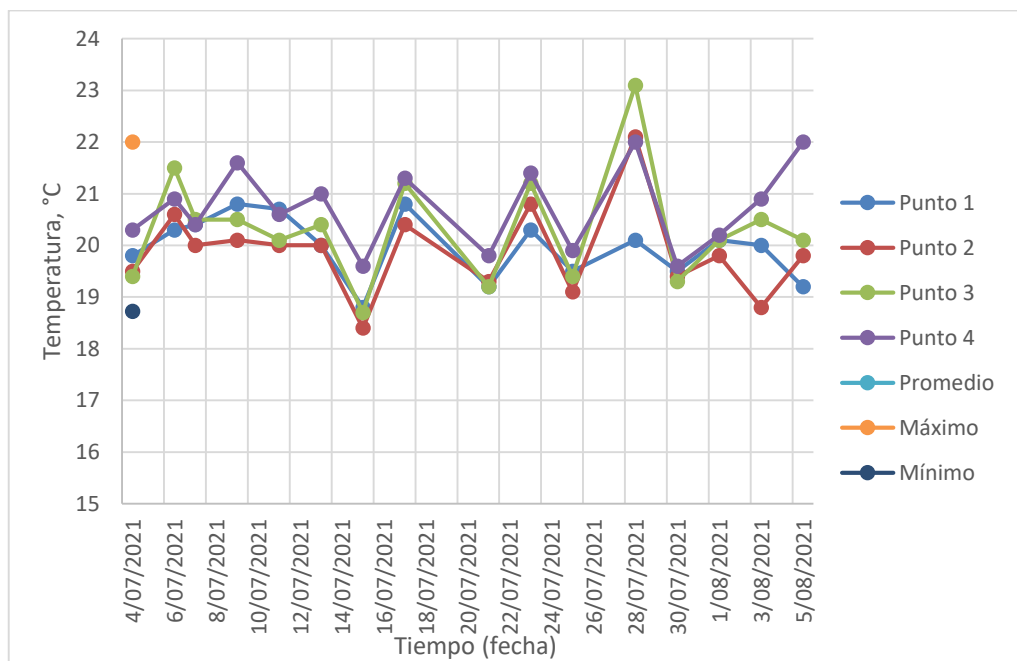


Figura 26

Control de temperatura en el manto de lodos RAFA 01



4.1.4. Sólidos sedimentados en el reactor anaerobio de flujo ascendente

Sólidos sedimentables es la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un período de tiempo. Se determinaron y son expresados en función de un volumen (mL/L) o de una masa (mg/L), mediante volumetría y gravimetría respectivamente; los resultados se presentan en la tabla 7.

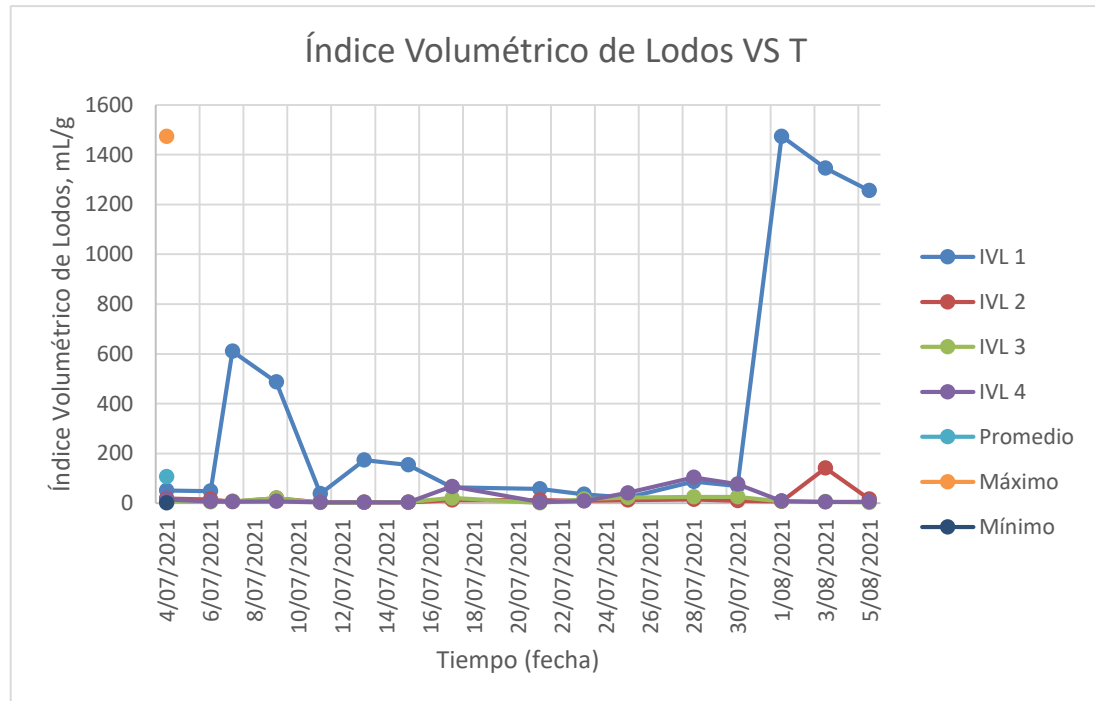
En la figura 27 se muestra el comportamiento del índice volumétrico de lodos con respecto al tiempo en la RAFA1.

Tabla 7*Sólidos sedimentados y cálculo de índice volumétrico de lodos (IVL) en la RAFA 01*

RAFA 1		Lodos Sedimentados (mL/h,L)							
Fecha	SST 1 mg/L	P 1 mL/h,L	P 2 mL/h,L	P 3 mL/h,L	P 4 mL/h,L	IVL 1 mL/g	IVL 2 mL/g	IVL 3 mL/g	IVL 4 mL/g
04/07/2021	78	4,0	1,5	0,5	1,2	51,3	19,2	6,7	15,4
06/07/2021	78	3,8	1,2	0,4	0,6	48,7	15,4	5,1	7,7
07/07/2021	78	47,6	0,5	0,6	0,5	610,3	6,4	7,7	6,4
09/07/2021	78	38,0	1,6	1,6	0,6	487,2	20,5	20,5	7,7
11/07/2021	78	3,0	0,3	0,2	0,3	38,5	3,8	2,6	3,8
13/07/2021	78	13,5	0,3	0,3	0,3	173,1	3,8	3,8	3,8
15/07/2021	78	12,0	0,3	0,4	0,3	153,8	3,8	4,5	3,8
17/07/2021	78	5,0	1,0	1,7	5,3	64,1	12,8	21,2	67,3
21/07/2021	78	4,5	1,0	0,1	0,4	57,7	12,8	1,3	4,5
23/07/2021	78	2,8	0,8	1,3	0,7	35,9	10,3	16,7	9,0
25/07/2021	78	1,8	1,0	1,8	3,3	23,1	12,8	23,1	41,7
28/07/2021	78	6,8	1,2	2,0	8,1	87,2	15,4	25,6	103,8
30/07/2021	78	5,4	0,8	2,0	6,0	69,2	10,3	25,6	76,9
01/08/2021	78	115,0	0,6	0,6	0,7	1474,4	7,7	7,7	9,0
03/08/2021	78	105,0	11,0	0,5	0,4	1346,2	141,0	6,4	5,1
05/08/2021	78	98,0	1,3	0,3	0,5	1256,4	16,7	3,2	6,4
Promedio	78,0	29,1	1,5	0,9	1,8	373,6	19,5	11,4	23,3
Máximo	78,0	115,0	11,0	2,0	8,1	1474,4	141,0	25,6	103,8
Mínimo	78,0	1,8	0,3	0,1	0,3	23,1	3,8	1,3	3,8

Figura 27

Comportamiento del índice volumétrico de lodos con respecto al tiempo en la RAFA 01



4.1.5. Parámetros químicos en el reactor anaerobio de flujo ascendente

Los resultados de los parámetros químicos del afluente y efluente se presentan en la tabla 8.

En la figura 28 se muestra la evaluación de parámetros químicos en el RAFA 1.

Tabla 8

Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del RAFA 01

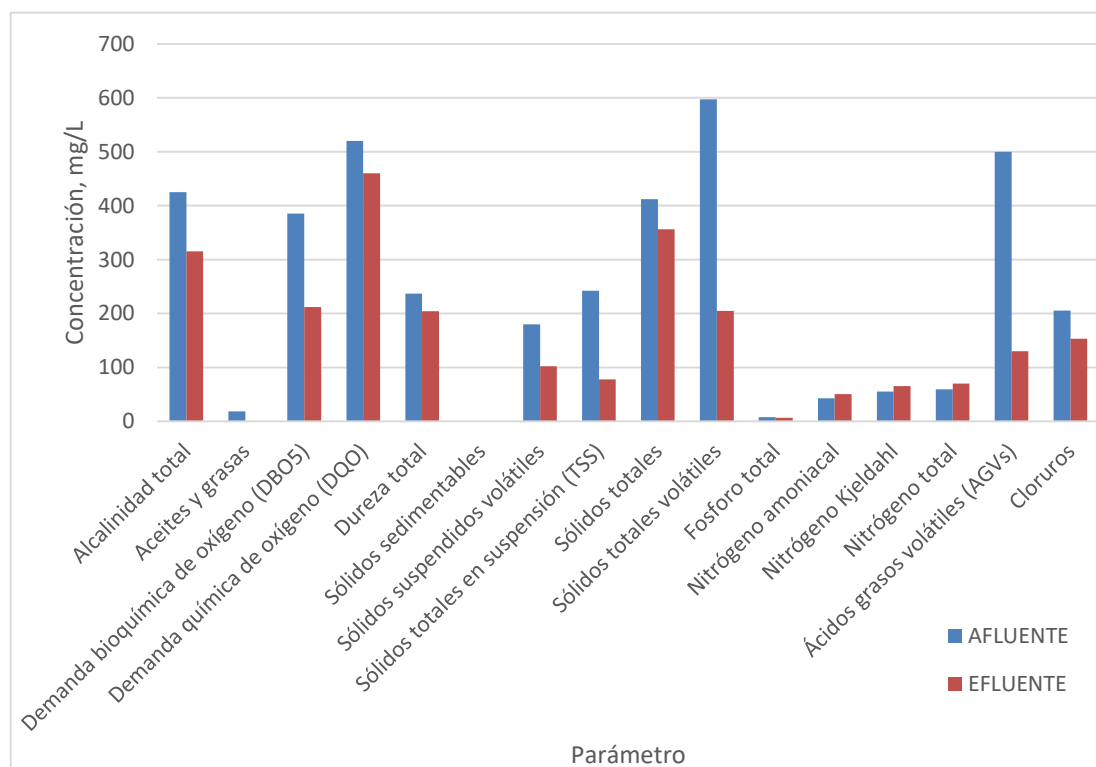
Parámetros	Unidad	Ingreso N°01 (tratamiento preliminar)	Salida N° 01 (RAFA 1)
Alcalinidad total	mg/L	425	315
Nitritos	mg NO ₂ ·N/L	< 0,05	< 0,05
Nitratos	mg NO ₃ ·N/L	< 0,03	< 0,03
Aceites y grasas	mg/L	18,20	0,45
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	385	211,8
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	520	460
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	237	204

Sólidos fijos	mg/L	5,0	< 2,0
Sólidos sedimentables	mg/L	0,9	0,7
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	180	102
Sólidos totales en suspensión (TSS)	mg/L	242	78
Sólidos totales	mg/L	412	356
Sólidos totales volátiles	mg/L	597	205
Fosforo total	mg/L	7,5	6,5
Nitrógeno amoniacal	mg/L	42,50	50,24
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	55,25	65,26
Nitrógeno total	mg/L	59,26	70,24
Ácidos grasos volátiles (AGVs)	mg/L	500	130
Surfactantes aniónicos (SAAM)	mg/L	< 0,003	< 0,003
Cianuro total	mg/L	< 0,004	< 0,004
Cloruros	mg/L	205,23	153,021
Cadmio	mg/L	< 0,0006	< 0,0006
Níquel	mg/L	0,0092	< 0,0063
Coliformes fecales por NMP	NMP	9,5x10 ⁷	3,2 x 10 ⁷

Nota. Laboratorio con certificación INACAL (Inspection & Testing Services del Peru S.A.C.)

Figura 28

Evaluación de parámetros químicos en el RAFA 01



En la tabla 9 se presenta la comparación de los resultados con los parámetros de diseño en el reactor anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 9

Comparación de los resultados con los parámetros de diseño del reactor

Reactor Anaerobio de Flujos Ascendente				
Resultados de laboratorio ITS entrada	Diseño de entrada RAFA	Resultados de laboratorio ITS salida	Diseño de salida RAFA	Comparación
DBO ₅ = 385 mg/L	DBO ₅ = 391,66 mg/L	DBO ₅ = 211,8 mg/L	DBO ₅ = 97,92 mg/L	En la entrada del RAFA el dato del laboratorio es inferior al dato de diseño en 6.66mg/L y en salida del RAFA el dato laboratorio es superior al dato de diseño en 113,88mg/L, por tanto, indica que el reactor no está alcanzado su estabilidad para alcanzar su máxima eficiencia de remoción por reciente inoculación.
DQO = 520 mg/L	DQO = 861,75 mg/L	DQO = 460 mg/L	DQO = 215,41 mg/L	En la entrada del RAFA el dato del laboratorio es inferior al dato de diseño en 341,75mg/L y en salida del RAFA el dato laboratorio es superior al dato de diseño en 244,59mg/L, por tanto, indica que el reactor no está alcanzado su estabilidad para alcanzar su máxima eficiencia de remoción por reciente inoculación.

En la tabla 10 se presenta la comparación de los resultados con datos diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 10*Comparación resultados con datos diseño*

Resultados de laboratorio afluente	Resultados de laboratorio efluente	Diseño entrada a RAFA	Comparación
Qp = 1,5 L/S	-	Qp = 34,51 L/s	La planta está recibiendo en el año cero un 4,35% de caudal de su capacidad de diseño de agua residual.
TSS = 242 mg/L	TSS = 78 mg/L	TSS = 705,03 mg/L	Sólidos en suspensión, existe un 34,32 % en el afluente y el efluente del RAFA un 30,03 % en disminución de sólidos suspendidos en el agua residual.
Nitrógeno amoniacal = 42,50 mg/L	0.1 mg/L	Nitrógeno amoniacal = 62,67 mg/L	En el afluente existe 67,82 % de nitrógeno amoniacal, lo cual en los reactores ocurre el incremento de nitrógeno por la degradación de compuestos con un alto contenido en nitrógeno en 86,61 % en el efluente.
Nitrógeno Kjeldahl = 55,25 mg/L	0.1 mg/L	Nitrógeno Kjeldahl = 62,67 mg/L	En el afluente existe 88,16 % de nitrógeno Kjeldahl, lo cual en los reactores ocurre el incremento de nitrógeno por la degradación de compuestos con un alto contenido en nitrógeno.
Fosforo total = 7,5 mg/L	0.1 mg/L	Fosforo total = 23,5 mg/L	Fósforo total en el afluente de 31,91 % disponible en forma orgánica e inorgánica, disuelta y particulada en el efluente.
9,5 x 10 ⁷ coliformes/100 mL	3,2 x 10 ⁷ coliformes/100 mL	2,4 x 10 ⁷ coliformes/100mL	Los elevados resultados de coliformes varían en función al tiempo porque va existir diferentes usos y costumbres de los beneficiarios, también implementaciones de camales, pollerías, etc.

Nota. Los resultados del laboratorio son acreditados por la INACAL se hace la comparación con los datos de diseño, por la falta de normas técnicas correspondientes sobre el efluente de los reactores anaerobios de flujos ascendentes. Desde el año 2011 donde se diseñó del PTAR ya pasaron 10 años, donde en este lapso de tiempo hubo variación al dato de diseño con el afluente a los RAFAS.

En la tabla 11 se presenta las ventajas y desventajas de parámetros en los reactores anaerobios de flujos ascendentes.

Tabla 11

Ventajas y desventajas de parámetros en los reactores anaerobios de flujos ascendentes

Parámetros	Ventajas	Desventajas
Alcalinidad total	Debe estar presente mayor a 1000 mg/L, para que se logre reducir el efecto de la producción excesiva de acidez en el reactor, provocada por la elevada concentración de ácidos grasos volátiles o por alto contenido de dióxido de carbono	La alcalinidad menor a 1000 mg/L en un reactor anaerobio representa una mínima capacidad de respuesta frente a rápidos aumentos del AGVs.
Nitritos	Los nitritos y nitratos se convierten en nitrógeno gaseoso, lo cual estos parámetros son un factor muy influyente en la actividad de los microorganismos	Es un compuesto tóxico e inhibidor para la desnitrificación
Aceites y grasas	Tienen facilidad en su eliminación por varias técnicas como floculación, decantación, precipitación, etc.	son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos.
Nitrógeno amoniacal	Es un nutriente requerido y estimulante del crecimiento bacteriano en el proceso anaerobio	Genera eutroficación, toxicidad y pérdida de oxígeno en las aguas.
Temperatura	A temperaturas de diseño va existir el crecimiento de los macroorganismos.	Cuando la temperatura asciende o desciende del rango de diseño va a existir la quema o despoblación de los microorganismos
Potencial de hidrógeno	En el rango de 6.6 – 7,4 los microorganismos hacen su digestión anaerobia adecuada en función de la producción de ácidos grasos volátiles	Cuando no se encuentra en el rango, no ayuda al crecimiento y a la degradación de la materia orgánica en los reactores

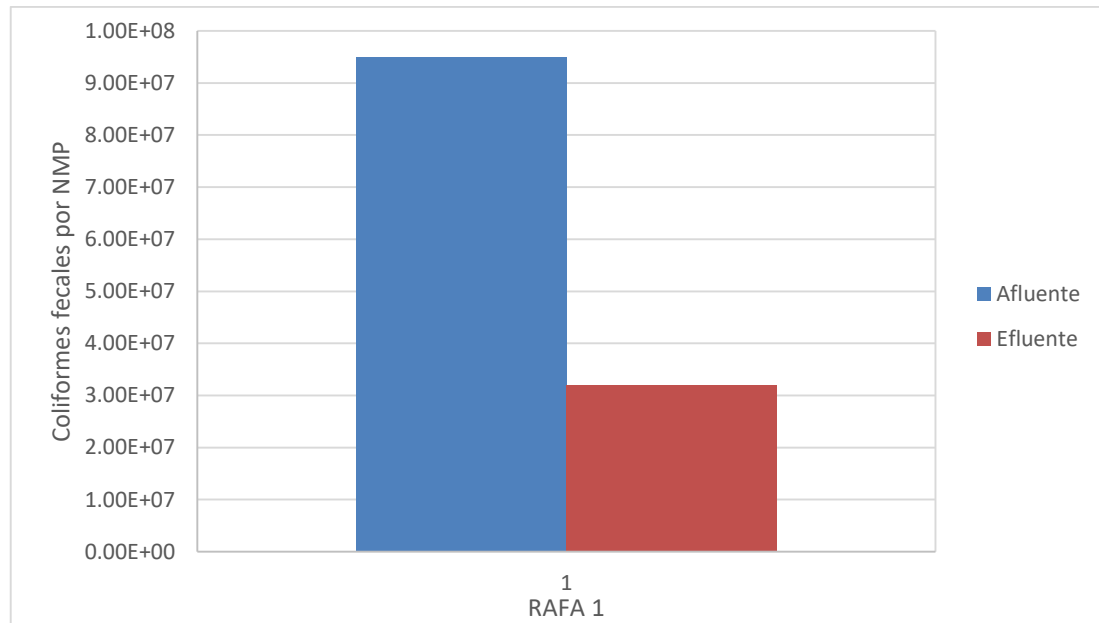
Nota. Los parámetros sustentados son de mayor incidencia que intervienen en los procesos

biológicos de los reactores anaerobios de flujos ascendentes.

En la figura 29 se muestra la remoción de los coliformes fecales respecto al afluente y efluente en el reactor anaerobio de flujo ascendente.

Figura 29

Coliformes fecales de afluente y efluente en el RAFA 01



4.1.6. Relación AGVs/ALC

La estabilidad de un proceso anaerobio puede ser evaluada mediante la relación de AGVs/ALC, esta relación es para evitar la acidificación del proceso, el rango es de 0,1 a 0,3, en lo consiguiente un valor superior a 0,4 es un indicador de equilibrio. En la tabla 12 se presenta el resultado de la relación AGVs/ALC.

Tabla 12

Resultado de la relación AGVs/ALC

Parámetros	RAFA (mg/L)
AGVs	130
Alcalinidad	315
AGVs/ALC	0,41

4.1.7. Relación DQO/DBO₅

En la tabla 13 se presenta el resultado de la relación de DQO/DBO₅.

Tabla 13

Relación de DQO/DBO₅

Reactores	DQO mg/L	DBO ₅ mg/L	DQO/DBO ₅
RAFA 1	460	211,8	2,17

Nota. La relación de DQO/DBO₅ en el RAFA es menor a 2,5 como se aprecia en la Tabla 13, que ello indica que el material orgánico es biodegradable.

4.1.8. Cálculo del tiempo de residencia hidráulico (TRH)

El TRH con las dimensiones obtenidas hasta ahora. Si el reactor está limitado hidráulicamente, el TRH tiene que coincidir con el valor seleccionado para calcular el volumen, como se vio en el punto de partida del diseño. Sin embargo, si el reactor está limitado por la carga orgánica, este TRH calculado será más alto que el supuesto inicialmente.

Volumen de reactor contenida con agua residual = 350 m³

$$TRH = \frac{V}{Q} = \frac{350 \text{ m}^3}{129,6 \text{ m}^3/\text{día}} = 2,7 \text{ días} \approx 3 \text{ días}$$

4.1.9. Determinación esperada de metano

El biogás es un gas combustible que se genera en medio de los reactores anaerobios de flujos ascendentes, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico).

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

Donde:

Q_{CH_4} = producción de metano volumétrico m³/d

$K(t)$ = Factor de corrección dependiendo de la temperatura de operación del

reactor (kgDQO/ m³)

$$K(t) = \frac{P \times K_{DQO}}{[R \times (273,15 + T)]}$$

Donde:

P = Presión atmosférica (1 atm)
 K_{DQO} = DQO correspondiendo a un mol de CH₄ (64 g DQO/mol)
 R = Constante del gas (0,08206 atm. L/mol. °K)
 T = Temperatura de operación del reactor (°C)

Datos:

P	547,96 mmHg	0,721 atm
R	0,08206 atm.L/mol.K	0,00008206 atm.m ³ /mol.K
KDQO	64 g DQO/mol	0,064 kg DQO/mol
Yabs	0,11 – 0,23	

Hallando K(t) en la RAFA 1

$$K(t) = \frac{P \times K_{DQO}}{[R \times (273,15 + T)]}$$

$$K(t) = \frac{0,721atm \times 0,064 kg DQO/mol}{\left[0,00008206 \frac{atm * m^3}{mol * K} \times (273,15 + 20,2)K\right]} = 1,92 \frac{kgDQO}{m^3}$$

Hallando DQO CH₄ en RAFA 1

$$DQO_{CH_4} = Q \times (DQO_{afluente} - DQO_{efluente}) - Y_{abs} \times Q \times DQO_{afluente}$$

$$DQO_{CH_4} = 129,6 \frac{m^3}{día} \times \left(0,52 \frac{kg}{m^3} - 0,46 \frac{kg}{m^3}\right) - 0,11 \times 129,6 \frac{m^3}{día} \times 0,52 \frac{kg}{m^3}$$

$$DQO_{CH_4} = 0,36 \frac{kg}{día}$$

Hallando metano volumétrico en la RAFA 1

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

$$Q_{CH_4} = \frac{0,36 \frac{kg}{día}}{1,92 \frac{kgDQO}{m^3}} = 0,189 \frac{m^3}{día}$$

En la tabla 14 se presenta el resultado de la producción de metano volumétrico del reactor anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 14

Resultado de metano volumétrico en el reactor

Reactores	DQO Afluente kg/m ³	DQO Efluente kg/m ³	Caudal m ³ /día	T promedio (°C)	K(t) kg DQO/m ³	DQO CH ₄ kg/día	QCH ₄ m ³ /día
RAFA 1	0,52	0,46	129,6	20,2	1,92	0,36	0,189

Nota. la temperatura es tomada un valor promedio de manto de lodos de cada RAFA y caudal es un valor promedio tomada durante la fecha del estudio.

En la tabla 15 se presenta el resultado del metano en términos de energía.

Tabla 15

Resultado del metano en energía

Reactores	QCH ₄ m ³ /día	Energía KWh
RAFA 1	0,189	0,0921

4.1.10. Determinación de producción de lodos en el reactor

La estimación de la producción de masa de lodo en un reactor UASB se puede observar según la siguiente ecuación:

Determinación de producción diaria de lodos en los RAFAS

$$PDL = Q_{prom} \times DQO_{afuente}$$

$$PDL = 129,6 \frac{m^3}{día} \times 0,52 \frac{kg}{m^3}$$

4.1.11. Determinación de edad de lodos

Para determinar la edad de lodo, se lleva a cabo la purga de los lodos en exceso producidos en el reactor. La relación para estimar la edad de los lodos se emplea la

siguiente relación.

$$\theta = \frac{V \times C}{Q_e \times C_e + Q_p \times C_p}$$

Donde:

θ : Edad de lodo, días

V : volumen del reactor, m³

C, C_e y C_p : concentraciones de SS en el reactor, en el afluente y en la purga g/m³

Q_e, Q_p : caudales del efluente final y de purgado, m³/día

La edad de los lodos es,

$$Q_p = \frac{V}{\theta} \rightarrow \theta = \frac{350 \text{ m}^3}{18,61 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 18,88 \text{ días} \approx 19 \text{ días}$$

4.1.12. Determinación de la carga hidráulica

La carga hidráulica volumétrica es el gasto del agua residual alimentada diariamente al reactor, dividido entre el volumen efectivo del reactor.

$$CHV = \frac{Q}{V} = \frac{\text{m}^3/\text{día}}{\text{m}^3}$$

En la tabla 16 se presenta los resultados de carga hidráulica volumétrica.

Tabla 16

Resultados de carga hidráulica volumétrica

Fecha	Q promedio (L/s)	Q m ³ /día	Volumen de los	
			RAFAS m ³	CHV m ³ /m ³ . día
04/07/2021	1,45	125,19	350	0,3580
06/07/2021	1,32	113,88		0,3254
07/07/2021	1,56	134,87		0,3853
09/07/2021	2,28	196,82		0,5623
11/07/2021	1,43	123,90		0,3540
13/07/2021	1,20	103,68		0,2962
15/07/2021	1,90	164,16		0,4690
17/07/2021	1,89	163,12		0,4660

21/07/2021	1,19	103,16	0,2947
23/07/2021	1,64	141,52	0,4044
25/07/2021	1,74	150,16	0,4290
28/07/2021	1,48	127,70	0,3649
30/07/2021	1,65	142,65	0,4076
01/08/2021	1,49	129,00	0,3686
03/08/2021	1,55	133,66	0,3819
05/08/2021	1,03	88,82	0,2538

4.1.13. Velocidad ascensional

Una vez que se calculó el área, la velocidad ascensional del líquido dentro del reactor se calcula de la manera siguiente:

$$V_{asc} = \frac{Q}{A} = \frac{h}{TRH} = \frac{129,6 \frac{m^3}{día}}{39,86 m^2} = \frac{3,25m}{día} = \frac{0,135m}{h}$$

Resultando igual 0,135 m/h en el reactor anaerobio de flujo ascendente.

4.1.14. Aceites y grasas

Son sustancias de naturaleza lípido que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento de un agua residual.

En la tabla 17 se presenta el resultado de remoción de aceites y grasas.

Tabla 17

Resultado de remoción de aceites y grasas

Reactores	Afluente mg/L	Efluente mg/L	Eficiencia de remoción
Trat. Preliminar	18,2		
RAFA 1	18,2	0,45	97,5

4.1.15. Remoción de parámetros químicos en el reactor

La fórmula que se aplicó para determinar la remoción de parámetros químicos fue:

$$\% \text{ remoción} = \frac{[\text{valor inicial parámetro } Q_{co} - \text{valor final parámetro } Q_{co}]}{\text{valor inicial parámetro } Q_{co}} \times 100$$

En la Tabla 18, se presenta los resultados de los valores de los parámetros químicos y la remoción en el RAFA 01.

Tabla 18

Resultados de los valores de los parámetros químicos en el reactor

Parámetros	Unidad	Tratamiento preliminar	Salida N°01 (RAFA 1)	Remoción, % RAFA 1
Alcalinidad total	mg/L	425	315	25,88
Aceites y grasas	mg/L	18.2	0,45	97,53
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	385	211,8	44,99
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	520	460	11,54
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	237	204	13,92
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	180	102	43,33
Sólidos totales en suspensión (SST)	mg/L	242	78	67,77
Sólidos totales	mg/L	412	356	13,59
Sólidos totales volátiles	mg/L	597	205	65,66
Fosforo total	mg/L	7,5	6,5	13,33
Ácidos grasos volátiles (AGVs)	mg/L	500	130	74,00
Cloruros	mg/L	205,23	153,021	25,44
Coliformes fecales por NMP	NMP	9,5 x 10 ⁷	3,2 x 10 ⁷	66,32
Parámetros	Unidad	Tratamiento preliminar	Salida N°01 (RAFA 1)	Producción % RAFA 1
Nitrógeno amoniacal	mg/L	42,5	50,24	18,21
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	55,25	65,26	18,12
Nitrógeno total	mg/L	59,26	70,24	18,53

4.2. Discusión

El caudal que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales es controlado con el medidor Parshall, el agua residual que proviene de las localidades cercanas como Mollepata, etc., tiene una variación mínima en las mañanas y en las tardes

durante el día.

El caudal de ingreso al reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), se realizó la medición diaria obteniendo un caudal promedio 1,5 L/s de todos los días.

Los valores normales de conductividad en aguas residuales urbanas oscilan en el rango de 500 a 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los picos elevados demuestran que existen aguas residuales industriales que llegan hasta 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a más.

Respecto a los análisis de la conductividad del afluente y efluente del reactor anaeróbico de flujo ascendente RAFA 01, a partir de los valores promedio que figura en las tablas 4 y 5 se determinó el porcentaje de remoción que fue de 17,3 % respecto a la conductividad.

Según Fragoso-Castilla (2021) los valores elevados de conductividad $> 3\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$, afectan al proceso biológico de depuración, los valores de conductividad de afluente (Tabla 4) no superan este valor, por lo que no afectan al proceso biológico de depuración en el RAFA 01.

El objetivo principal del control del pH, es eliminar los riesgos por la inhibición de las bacterias metanogénicas, por ello, se hace los controles diarios para verificar que no descienda el pH, para evitar una desestabilización en el proceso. Cuando el pH desciende se puede hacer ajuste utilizando cal, bicarbonato de sodio (NaHCO_3) o soda caustica (NaOH). Según la Figura 21 se demuestra que el pH de agua afluente al reactor se encuentra en promedio de 7,52 encontrándose dentro del rango óptimo para la degradación de la materia orgánica, del mismo modo se evidencia el pH del efluente promedio es de 7,05 evidenciando también que existe una remoción de la materia orgánica en el reactor.

Los valores de temperatura en el agua dependerán de la zona y época del año en la que se realice la medición, manteniéndose en un rango de 15 °C a 30 °C, la temperatura es un parámetro de seguimiento ya que define la población de microorganismos en el reactor y su velocidad de crecimiento.

El promedio de la temperatura aguas residuales domésticas (afluente) es de 19,35 °C, la temperatura tiene una variación en las mañanas y en las tardes por el cambio climático como se aprecia en la Figura 22 el comportamiento de la temperatura. El rango aceptable de la temperatura para el buen funcionamiento de los reactores es de 19 °C a 23 °C, que permite la obtención de los lodos granulares y garantiza una

reacción biológica óptima según (Tchobanoglous y otros, 2003).

La temperatura de efluente tiende a ser superiores a las temperaturas del afluente, esto indica que la población bacteriana está reteniendo la materia orgánica y produciendo metano, por ello existe el aumento del comportamiento de la temperatura efluente superior a afluente, también tenemos la temperatura promedio del afluente de 19,35 °C y la temperatura promedio del efluente de 19,76 °C como se aprecia en la figura 22. De la figura la temperatura del efluente tiene una temperatura máxima de 20,25 °C y una temperatura mínima de 18,80 °C, esto demuestra que existe un metabolismo por parte de la población bacteriana degradando la materia orgánica.

El grado de turbidez promedio de las aguas residuales del afluente es de 624,25 NTU y del efluente del RAFA 01 es de 52,34 NTU, esto indica que el RAFA 01 está degradando la materia orgánica, existiendo una remoción de materia orgánica de 91,32 %. También se observa en la figura 23 que la turbidez en el efluente es casi constante con variaciones mínimas con valor máximo de 82,35 NTU y el valor mínimo de 35,15 NTU.

Es un parámetro físico de gran importancia en los procesos de depuración de las estaciones de tratamiento de aguas residuales, se considera como un indicador de la contaminación del vertido.

En la Figura 24 se observa que existe una remoción de sólidos totales disueltos de 21,43 % el promedio, teniendo como resultado el promedio del afluente de 894,74 mg/L y el efluente con 810,94 mg/L evidenciando que existe la degradación de la materia orgánica por las bacterias anaeróbicas y la condición favorable.

En el RAFA 01 el potencial de hidrógeno máximo es de 7,4, mínimo de 6,7 de los cuatro puntos del manto de lodo. El pH óptimo es de 7 - 7,2, donde los microorganismos hacen su digestión anaerobia adecuada en función de la producción de ácidos grasos volátiles, en la figura 25 se muestra que el pH promedio es de 7,0 y ello indica que el reactor está trabajando dentro del rango en las óptimas condiciones.

Según Cano (2012), la velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez dependen de la temperatura. En la 'figura 26 se tiene una temperatura máxima de

23,1 °C, temperatura mínima de 18,4 °C, a mayor temperatura la actividad enzimática se acelera y por tanto el crecimiento microbiano se ve favorecido, por tanto, la temperatura promedio es de 20,2 °C y ello indica que el reactor está trabajando dentro del rango de diseño (18 – 26°C).

Según Mancilla-Duarte (2021) el índice volumétrico de lodos (*IVL*) es un indicador de las características de sedimentabilidad del lodo producido en el tratamiento. La calidad del lodo se evalúa de acuerdo a la siguiente escala:

$IVL < 90 \text{ ml/g} \rightarrow \text{excelente sedimentabilidad}$

$90 < IVL < 150 \text{ mL/g} \rightarrow \text{buena sedimentabilidad}$

$IVL > 150 \text{ mL/g} \rightarrow \text{malas condiciones de sedimentabilidad}$

Haciendo las comparaciones en los rangos del RAFA 1 se encuentra un *IVL* promedio en el punto 1 de 373,6, lo cual indica que el RAFA 1 en el punto 1 tiene una mala condición de sedimentabilidad, también en el punto 1 existe un valor máximo de 1474,4 en la fecha 01/08/21 y un valor mínimo de 23,1 en la 25/07/21, las variaciones de los datos indica que existe mala sedimentabilidad por los cambios en el ingreso de los caudales a la RAFA

Los puntos 2, 3 y 4 del RAFA 1 tiene casi constante los índices volumétricos de lodos activados, con un valor promedio dentro de los tres puntos de 18,1 mL/g, excelente y buena sedimentabilidad.

La alcalinidad total en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un de 425 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 315 mg/L y con una eficiencia de remoción de 25,88 %.

Los aceites y grasas en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 18,2 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 0,45 mg/L y con una eficiencia de remoción de 97,53 %, ello indica que existe una buena remoción de aceites y grasa en la planta de tratamiento.

La demanda bioquímica de oxígeno en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 385 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 211,8 mg/L y con una eficiencia de remoción de 44,99 %, existe una mayor producción del biogás y menor producción de lodos, la planta está diseñado para recibir una carga orgánica de $DBO_5 = 391,68$

mg/L, haciendo una comparación de entrada de la materia orgánica al RAFA 1 se encuentra debajo del dato de diseño.

La demanda química de oxígeno en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 520 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 460 mg/L y con una eficiencia de remoción de 11,54 % de la actividad biológica de los microorganismos a la materia orgánica, la planta está diseñado para recibir una carga orgánica de DQO igual a 861,70 mg/L, haciendo las comparaciones la entrada el resultado esta inferior al dato de diseño.

Los sólidos sedimentables en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 0,9 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 0,7 mg/L y con una eficiencia de remoción de 22,22 %.

Los sólidos totales en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 412 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 356 mg/L y con una eficiencia de remoción de 13,59 %.

El fosforo total en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 7,5 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 6,5 mg/L y con una eficiencia de remoción de 13,33 %, la planta está diseñado para recibir fosforo total de 23,50 mg/L, el resultado de entrada está inferior al dato de diseño.

El nitrógeno amoniacal en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 42,5 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 50,24 mg/L con un porcentaje de producción de 18,21 %. La planta está diseñada para recibir nitrógeno amoniacal de 62,67 mg/L, el resultado de entrada está inferior al dato de diseño.

El nitrógeno Kjeldahl en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 55,25 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 65,26 mg/L con un porcentaje de producción de 18,12 %. La planta está diseñada para recibir nitrógeno Kjeldahl de 62,67 mg/L, el resultado de entrada está dentro de los datos de diseño.

Los nitrógenos totales en el afluente (tratamiento preliminar) tiene un valor de 59,26 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 70,24 mg/L con un porcentaje de producción de 18,53 %.

Los ácidos grasos volátiles en el afluente tienen un valor de 500 mg/L, en el efluente (RAFA 1) de 130 mg/L y con una eficiencia de remoción de 74%.

Por lo tanto, de casi todos los datos el afluente es mayor que el efluente como se aprecia en la figura 32, salvo los nitrógenos amoniacales, Kjeldahl y total es menor el afluente que el efluente.

En aguas residuales las grandes cantidades de coliformes fecales, pueden ser un riesgo para la salud pública y la contaminación ambiental. En la figura 29 se muestra que los coliformes fecales del afluente (tratamiento preliminar) tiene valor muy alto de $9,5 \times 10^7$, en RAFA 1 el efluente tiene valor de $3,2 \times 10^7$, esto indica que el reactor anaerobio de flujo ascendente está removiendo los coliformes fecales en 66,32 %.

Los resultados muestran en la tabla 12 que la relación AGVs/ALC en el reactor anaerobio de flujo ascendente 1, está superior al límite óptimo, a pesar de dicha situación en el reactor no se presentó descenso de pH durante el periodo de evaluación, en el RAFA 1, la AGVs/ALC está superior al límite máximo, este reactor recién está en un proceso estabilización, cuando la relación está por debajo del límite inferior, esta manifiesta que el reactor está ligado con materia biodisponible y a la producción de metano.

La relación DQO/DBO₅ es un indicador de que tan biodegradable es el agua residual para el funcionamiento del reactor, relación aproximadamente igual a 2,5, indica que se trata de un agua muy biodegradable, pudiendo utilizarse sistemas biológicos o RAFA. La relación DQO/DBO₅ mayor de 5. Indica que hay una fuerte presencia de materia oxidable que no es degradable. Los sistemas biológicos no son efectivos. Es más común en vertidos industriales. Para el caso de la PTAR de Mollepata la relación esta < a 2,5 que es biodegradable.

La velocidad de acumulación de sólidos depende esencialmente del tipo de efluente a tratar y es mayor cuando las aguas residuales tienen una concentración elevada de sólidos en suspensión, especialmente de sólidos no biodegradables. En el caso de tratar efluentes solubles, la producción de un exceso de lodo es muy baja y generalmente pocos problemas se encuentran en el manejo, almacenamiento y vertido del lodo; la producción diaria de lodos es 67,39 kg/día, en el RAFA va existir una acumulación diaria de 67,39 kg/día de sólidos.

En el reactor anaerobio de flujo ascendente, la edad de lodos es aproximadamente de 19 días, también en los reactores la temperatura promedio en el manto de lodos es de 20 °C, con ello haciendo una interpolación con los valores de edad mínima de

lodos en la tabla 19 se presenta que la edad de lodos es 10 días aproximadamente.

En la tabla 19 se presenta los valores de diseño del proceso anaerobio.

Tabla 19

Valores de diseño del proceso anaerobio

Temperatura de operación, °C	Mínima, días	Diseño, días
18	11	28
24	8	20
29	6	14
35	4	10
41	4	10

Nota. Fuente (Droste, 1997)

La edad de fango (θ) es un parámetro clave en la determinación de la tendencia al ensuciamiento debido a su repercusión sobre la concentración de los sólidos en suspensión y de las sustancias poliméricas extracelulares (EPS – Extracellular Polymeric Substances). Por lo tanto, es importante determinar una óptima edad de fango, en la cual la concentración de EPS solubles (fundamentalmente) sea mínima y exista una eficiencia de transferencia de oxígeno suficientemente alta para que el ensuciamiento pueda ser controlado (Judd & Judd, 2006).

La edad de fango se define como la cantidad de biomasa en el reactor entre la masa de fangos eliminada diariamente, por lo que si aumenta el tiempo de retención de sólidos disminuye la producción de fangos. Ajustando correctamente la edad del fango en sistemas biológicos se controla la velocidad de degradación del sustrato, la concentración de SS y la producción de lodo.

La carga hidráulica volumétrica produce al menos tres diferentes efectos sobre la biomasa del reactor durante el arranque del sistema, la carga hidráulica elimina toda la biomasa con características pobres de sedimentación, creando así espacio para la nueva biomasa que está creciendo, con la creación de la nueva biomasa la cual no tiene buena sedimentabilidad, se realiza una selección de la biomasa activa y la tasa hidráulica tiene una fuerte influencia sobre las características del mezclado del reactor, principalmente durante el arranque del proceso.

Se aprecia en la tabla 18 la remoción de aceites y grasas, esto se debe a que las grasas y aceites presentes en el agua residual son desdobladas con mayor facilidad

por las bacterias acidogénicas. Facilitando la disponibilidad de ácidos orgánicos de bajo peso molecular. Estos últimos son el sustrato para las bacterias metanogénicas.

CONCLUSIONES

- El reactor anaerobio de flujo ascendente RAFA 01 tiene buen funcionamiento, presenta buena remoción de DBO_5 , coliformes fecales y SST en valores que superan el 50% de remoción, en el caso de DQO de 11,54%, los cuales se determinaron a partir de los parámetros físicos y químicos del afluente y efluente.
- Las características del afluente fueron: conductividad eléctrica 1955,83 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C; pH, 7,52; temperatura (agua residual) °C, 19,35; turbidez NTU, 624,25; sólidos totales disueltos (TDS) mg/L, 894,74. Las características del efluente son: conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C, 1618,13; pH, 7,06; temperatura (agua residual) °C, 19,82; turbidez NTU, 51,77; sólidos totales disueltos (TDS) mg/L, 803,75. Los análisis de estos parámetros (físico, químico y microbiológico) fueron realizados en el laboratorio Inspection & Testing Services del Perú S.A.C acreditado por la INACAL.
- Los parámetros de operación de funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata fueron: caudal del agua residual 1,5 L/s; temperatura en el manto de lodos P_1 20,0, P_2 19,9, P_3 20,3 y P_4 20,7; pH en el manto de lodos P_1 7,1, P_2 7,0, P_3 7,0 y P_4 7,0; tiempo de residencia hidráulico 3 días; velocidad ascensional 0,135m/h; carga hidráulica /CHV) 0,38.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación del RAFA 1; el porcentaje de remoción de los parámetros más representativos fueron: DBO_5 , 44,49 %, DQO, 11,54 %, Coliformes Fecales, 66,32 %; la relación DQO/ DBO_5 durante la evaluación es RAFA 1 DQO/ DBO_5 2,17; Sólidos totales en suspensión (SST) 67,77 %.
- Índice volumétrico de lodos (IVL) P_1 373,6 mL/g indica una mala condición de sedimentabilidad, P_2 , P_3 y P_4 valor promedio de los tres puntos es 18,1 mL/g, indica excelente y buena sedimentabilidad; relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC) es 0,41 indica que el reactor está ligado con materia biodisponible y producción de metano.
- El índice volumétrico de lodos (IVL) en el punto 01 es 395,05 siendo de malas condiciones de sedimentación, IVL punto 02 es 19,57 es de excelente sedimentación, IVL punto 03 es 11,67 es de excelente sedimentación y IVL punto 04 es 23,79 es de excelente sedimentación; la relación de ácidos

grasos volátiles con alcalinidad durante la evaluación es RAFA 1 (AGVs/ALC) es 0,41; la producción de metano es RAFA 1 es 0,189 m³/día; el flujo masico que ingresa al RAFA es 0,193 kg DQO/m³ y la formación de lodos en el RAFA es aproximadamente de 67,39 kg/día; la edad promedio de lodos en el reactor aeróbico de flujos ascendentes es de 19 días aproximadamente. La estabilización de la estructura hidráulica (RAFA) es variable de acuerdo a las estaciones y la variación de las temperaturas del año. Los periodos de retención hidráulica son extendidos (mayor duración) debido al poco caudal (2 L/s aprox.) a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR. Actualmente la estructura hidráulica cuenta con una capacidad ociosa, debido a que la RAFA no trabaja al 100 % de su capacidad de diseño.

RECOMENDACIONES

- Monitorear y evaluar los parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos de la estructura hidráulica (RAFA) de manera quincenal, mensual, trimestral, semestral y anual de acuerdo al manual de operación y mantenimiento.
- Implementar la recolección y uso del biogás (principalmente el metano) como fuente de energía.
- Controlar los cambios bruscos de pH durante la operación del sistema; porque inhibe el crecimiento de bacterias, provocando una caída de la eficiencia; realizar mediciones de pH a la entrada y salida, si presenta una disminución adicionar cal para recuperar el rango óptimo.
- Prevenir la acumulación de sólidos en el sistema, especialmente en el reactor; cuando hay exceso de sólidos parte del material se desprende y sale con el agua tratada, contaminando el efluente; si se observa exceso de sólidos sedimentables en la salida, especialmente partículas negras, es un indicador de que se debe purgar el reactor.
- Implementar un separador de grasas y aceites con la finalidad de mejorar la eficiencia de remoción de reactor.
- Capacitar de manera mensual al personal de planta sobre el manejo y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achircana, P. J., & Mestas, A. M. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un reactor combinado RAFA-FAFA en el tratamiento de aguas residuales municipales en la localidad de Espinar – Cusco*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Briceño. (2013). *Diagnóstico del Sistema de Agua Potable del caserío de Bella Unión, Cajamarca 2013 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca*.
- Canales, G. A. (1998). *Evaluación del proceso de tratamiento de aguas residuales en la planta UNI-TRAR*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cano, E. (2015). *Optimización del proceso de tratamiento de aguas residuales de los rastros y casas de matanza*. Mexico: Repositorio Institucional CIDETEQ.
- Chen, Y., Cheng, J., & Creamer, K. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99, 4044–4064.
- Chernicharo de Lemos, C. A. (2007). *Anaerobic Reactors en Biological Wastewater Treatment Series*. Londres: IWA Publishing.
- Chuquitarqui, Y. F., & Velásquez, M. E. (2017). *Diseño y construcción de un reactor anaerobico de flujo ascendente (RAFA) para el tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio Institucional. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4499/Chuquitarqui_De_la_Cruz_Yuri_Fredy_Velasquez_Huanca_Marco_Eduardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Comisión Nacional del Agua. (2013). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Reactores%20anaerobios%20de%20flujo%20asce.pdf
- Crites, R., & Tchbanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. McGraw-Hill.

- D., E., & R., V. (2015). *Estudio de biorreactor de membrana para el tratamiento de aguas residuales urbanas*. Alicante-España: Universidad de Alicante .
- Fragoso-Castilla, P. J., Rubiano, L. A., & Kerguelen, J. J. (2021). Análisis de variables físico-químicas en el proceso de remoción de coliformes en el sistema de lagunas de oxidación, Salguero, Valledupar (Colombia). *Información tecnológica*, 32(1), 113-122.
- Grady, L., Daigger, G., Love, N., & Filipe, C. (2011). *Biological Wastewater Treatment* (Tercera ed.). IWA Publishing.
- Grady, L., Daigger, G., Love, N., & Filipe, C. (2011). *Biological Wastewater Treatment* (Tercera ed.). Taylor and Francis Group. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=stjLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Biological+Wastewater+Treatment+Grady,+L.+D.&ots=r_bWHCbpBa&sig=M8keRCVt7HxYggsgghn2Jp7KboM8#v=onepage&q=Biological%20Wastewater%20Treatment%20Grady%2C%20L.%20D.&f=false
- Lobato, L., Chernicharo, C., & Souza, C. (2012). Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 66(12), 2475-2753.
- Mancilla-Duarte, N., & Molina-Rodríguez, K. L. (2021). *Modelado del proceso de lodos activados para la remoción de materia orgánica, de la planta de tratamiento de aguas residuales Salitre, mediante el uso del software Lynx ASM1*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Márquez, M., & Martínez, S. A. (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB)*. Centro Tecnológico Aragón. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/M%C3%81RQUEZ%20y%20MART%C3%8DNEZ%202011%20Reactores%20Anaerobios.pdf
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse* (Cuarta ed.). McGraw-Hill.
- Ochoa, V., & López, J. (2011). *Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales - escala laboratorio*. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito, Colegio Politécnico, .

- OMS. (2010). *Estadísticas Sanitarias Mundiales*. Suiza: Beusenbergh Michel. Obtenido de <http://www.who.int/>
- OMS. (2014). *Progress on Drinking Water and Sanitation*. Nueva York: Programa Conjunto OMS/UNICEF.
- Padilla, E. (2011). *Evaluación de un filtro anaerobio de flujo ascendente para tratar agua residual de rastro [Tesis de maestría, Centro de Investigación y Asistencia de Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/59/1/Edith%20Padilla%20Gasca.pdf>
- Pérez, J., Aldana, G., Useche, M., Rincón, N., Bracho, N., & Mesa, J. (2010). *Evaluación del modelo de dispersión axial de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) a escala de laboratorio*. Maracaibo, Venezuela: Universidad del Zulia - Facultad de Ingeniería.
- Rittman, B. E., & McCarty, P. L. (2011). *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill.
- Sánchez, J., & Cardona, S. (2009). *Evaluación del comportamiento hidráulico de un reactor aerobio y un reactor anaerobio, en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de pequeña escala*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Talavera, T. (2018). *Implementación de un reactor anaeróbico de flujo ascendente, UASB, a escala piloto para evaluar parámetros de operación en la planta de tratamiento de aguas residuales "La Totora" - Ayacucho*. Ayacucho-Perú: UNSCH.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). *Wastewater engineering : treatment and resource recovery* (Quinta ed.). New York: McGraw-Hill.
- Van Haandel, A., & Van der Lubbe, J. (2007). *Handbook biological waste water treatment. Design and optimisation of activated sludge systems*. Países Bajos: Uitgeverij Quist.
- Van Lier, J. B., Vashi, A., Van der Lubbe, J., & Heffernan, B. (2010). *Anaerobic*

sewage treatment using UASB reactors: Engineering and operational aspects.
Imperial College Press.

ANEXOS

ANEXO 1

ANEXO 1.1.

Parámetros del reactor RAFA

Cálculos de caudales de canal Parshall

El cálculo de los caudales del canal Parshall se presenta en la siguiente tabla, teniendo en cuenta las dimensiones de la Figura 30.

Tabla 20

Unidades métricas e inglesas del canal Parshall

Ancho de garganta, W			Coeficiente K	
Unidades inglesas	Unidades Métricas, m	Exponente n	Unidades métricas	Unidades inglesas
3"	0,076	1,547	0,176	0,99
6"	0,152	1,580	0,381	2,06
9"	0,229	1,530	0,535	3,07
1'	0,305	1,522	0,690	4,00
1,5'	0,457	1,538	1,054	6,00
2'	0,610	1,550	1,426	8,00
3'	0,915	1,566	2,182	12,00
4'	1,220	1,578	2,935	16,00
5'	1,525	1,587	3,728	20,00
6'	1,830	1,595	4,515	24,00
7'	2,135	1,601	5,306	28,00
8'	2,440	1,606	6,101	32,00

$$Q = K x H a^n$$

Figura 30

Dimensiones del medidor del canal Parshall de la PTAR Mollepata

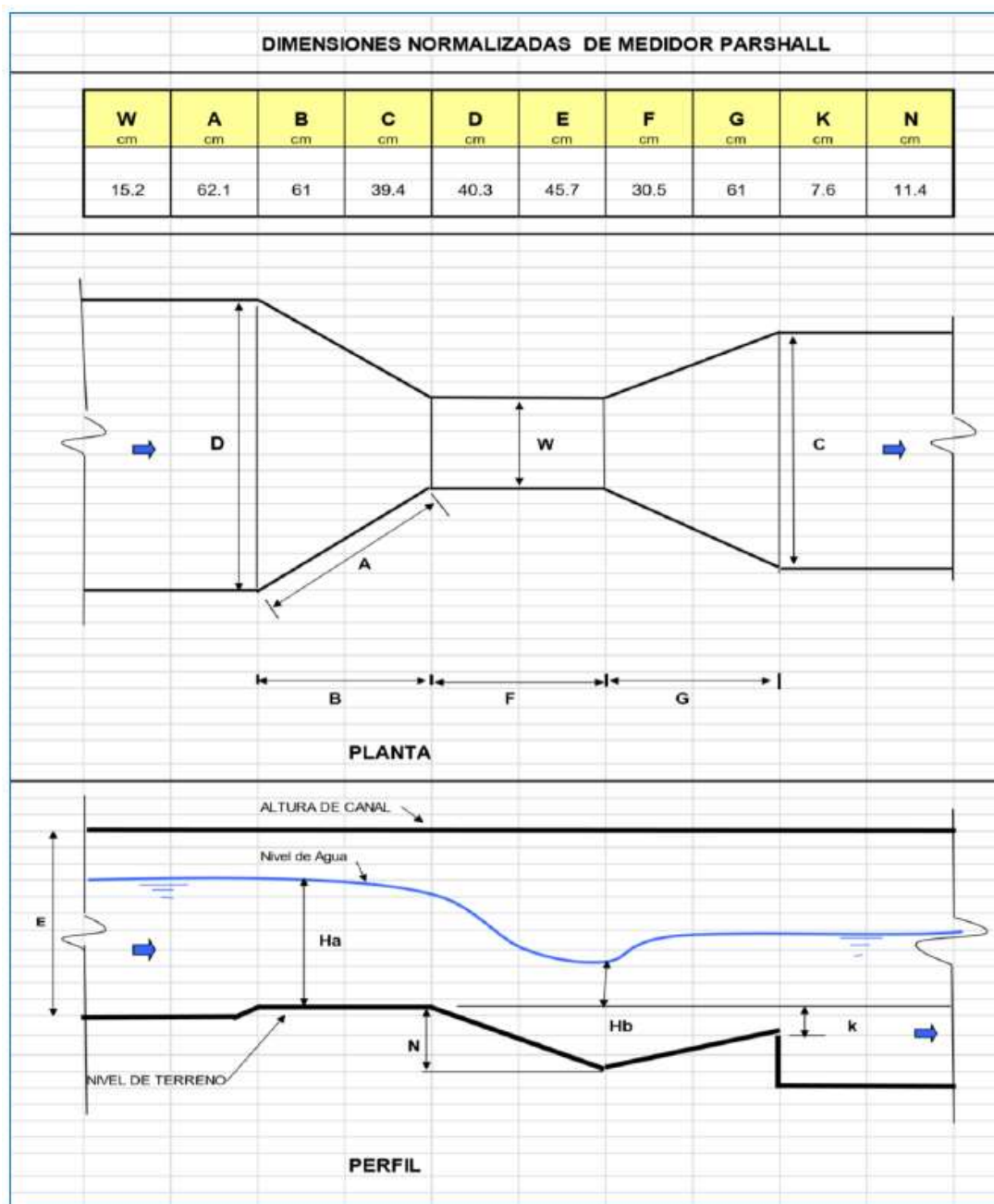


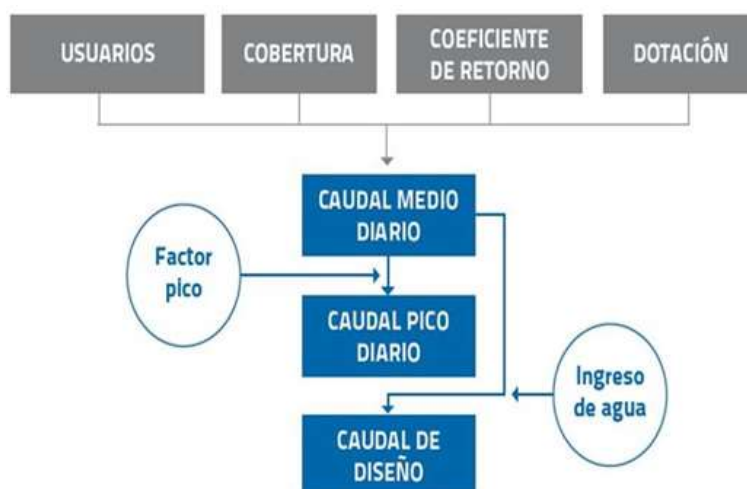
Tabla 21*Medidor canal Parshall*

H (cm)	Q (L/s)	H (cm)	Q (L/s)	H (cm)	Q (L/s)	H (cm)	Q (L/s)	H (cm)	Q (L/s)
0,0	0,00	7,5	6,36	14,5	18,03	21,5	33,60	28,5	52,40
1,0	0,26	8,0	7,04	15,0	19,02	22,0	34,80	29,0	53,90
1,5	0,50	8,5	7,75	15,5	20,03	22,5	36,10	29,5	55,40
2,0	0,79	9,0	8,48	16,0	21,06	23,0	37,40	30,0	56,90
2,5	1,12	9,5	9,24	16,5	22,11	23,5	38,70	30,5	58,40
3,0	1,50	10,0	10,02	17,0	23,18	24,0	40,00	31,0	59,90
3,5	1,91	10,5	10,82	17,5	24,26	24,5	41,30	31,5	61,40
4,0	2,36	11,0	11,65	18,0	25,37	25,0	42,60		
4,5	2,84	11,5	12,50	18,5	26,49	25,5	44,00		
5,0	3,35	12,0	13,37	19,0	27,63	26,0	45,40		
5,5	3,90	12,5	14,26	19,5	28,79	26,5	46,70		
6,0	4,47	13,0	15,17	20,0	29,96	27,0	48,10		
6,5	5,07	13,5	16,10	20,5	31,20	27,5	49,60		
7,0	5,70	14,0	17,05	21,0	32,40	28,0	51,00		

Nota. Caudal máximo: 2,3 L/s. Caudal medio: 1,55 L/s.

Cálculo del volumen

Se debe establecer si el reactor está limitado por la carga hidráulica o la orgánica comparando el volumen del reactor calculado de las dos maneras siguientes:

Figura 31*Cálculo del volumen*

$$V = Q \times TRH$$

$$V = \frac{Q \times C}{COV}$$

$$V = 129,6 \frac{m^3}{día} \times 2,70 \text{ días} = 349,92 m^3$$

El volumen más alto indicará el tipo de limitación existente. En nuestro caso de estudio, la limitación es claramente hidráulica. Se utilizó el caudal de diseño calculado.

Proceso de diseño

En esta sección se explica detalladamente el proceso de diseño conceptual, siguiendo el caso seleccionado. Muestra esquemáticamente todas las dimensiones que serán calculadas durante este proceso.

El reactor

El reactor biológico consta de 3 módulos cada módulo independiente del otro, con un volumen de diseño de 350 m³.

Área del reactor

$$A = \frac{V}{h} = \frac{350 m^3}{8,78 m} = 39,86 m^2$$

Donde:

A = Área del reactor (m²)

h = Altura reactor (m)

Donde

V_{asc} = Velocidad ascensional (m/h)

Forma del reactor

Hay dos opciones: cúbico (rectangular) o cilíndrico. La opción de la forma depende de factores como costo, tamaño, disponibilidad local del inóculo y de materiales, experiencias anteriores, espacio físico disponible, etc. Los reactores pequeños, de hasta aproximadamente 300 m³, pueden ser cilíndricos. Para volúmenes que

exceden este valor, los reactores cilíndricos son menos atractivos económicamente. Los reactores más grandes son generalmente rectangulares por razones de facilidad de construcción. Los colectores de gas son también más simples y más fáciles de estandarizar para reactores rectangulares. Nuestro caso es del tipo rectangular del reactor UASB.

Lados del reactor (reactores cúbicos)

Los lados de un reactor cúbico son calculados de la siguiente manera:

$$L = \sqrt{A} = \sqrt{39,8} = 6,31 \text{ m}$$

Donde

L = lados del reactor, tanto ancho como largo (m)

Diámetro del reactor (reactores cilíndricos)

El diámetro de un reactor cilíndrico puede calcularse de la siguiente manera:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 39,86 \text{ m}^2}{3,1416}} = 7,15 \text{ m}$$

Donde

d = diámetro del reactor (m)

π = número Pi (3,1416)

De acuerdo a este cálculo es para un solo RAFA.

Cálculo de la velocidad de carga orgánica (COV)

El Cálculo de COV que se aplicará al reactor. Si el reactor está limitado hidráulicamente, que es el caso en nuestro, este valor debe ser más bajo que la COV máxima aplicable según la partida. Sin embargo, si el reactor está limitado por la carga orgánica, este valor debe coincidir con la COV de partida.

$$COV = \frac{Q \times DQO_{Afluente}}{V}$$

Donde:

COV : velocidad de carga orgánica

Q : caudal m³/día

DQO_{Afluente} : kg DQO/m³

V : volumen del reactor m³

$$COV = \frac{129,6 \frac{m^3}{día} \times 0,52 \frac{kgDQO}{m^3}}{350 m^3} = 0,193 \frac{kgDQO}{m^3 \cdot día}$$

Es un flujo másico que ingresa a los reactores anaerobios de flujos ascendentes.

Redondeo de dimensiones

Probablemente, las dimensiones calculadas no sean convenientes para la construcción y deben ser redondeadas a números más realistas. Se decidió que la forma del reactor será rectangular.

Exceso de lodos

En función de las características de las aguas residuales y suponiendo valores razonables de conversión biológico. El cálculo del volumen de lodos a purgar se realiza fijando la edad del lodo, o también tiempo de retención celular, que es el tiempo de residencia medio de las bacterias en el sistema. Este valor viene dado por la siguiente expresión:

$$q_c = \frac{V \times SST_{Reac}}{Q_p \times SST_{Sed}}$$

En donde:

q_c : Tiempo medio de retención celular

V : Volumen del sistema, igual a m³ de manto de lodos, del manual de operación y mantenimiento.

SST_{Reac} : Sólidos Suspendidos Totales en los reactores, en mg/L

SST_{Sed} : Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador, en mg/L)

Q_p : Caudal diario de purga de lodos

Hallando caudal diario de purga RAFA 1

Volumen para cada RAFA = 43,2 m³/día

$$VR = Q \times TRH$$

$$TRH = \frac{1000 \text{ m}^3}{43,2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 2,31 \cong 2 \text{ días y medio de TRH}$$

$$Q_P = \frac{43 \text{ m}^3}{2,31 \text{ día}} = 18,61 \text{ m}^3/\text{día}$$

Puntos de descarga del lodo

El lodo que se produce en el reactor UASB debe ser descartado de manera periódica una vez que el nivel del manto de lodo alcanzó el nivel óptimo. Los tubos de descarga también permiten la toma de muestras para evaluar la actividad del lodo a distintas alturas. El primer tubo (empezando desde abajo) se debe colocar alrededor de 0,20 m sobre el sistema de inyección de influente y el último a unos 0,05 m por debajo de los deflectores de gases. El resto de los tubos (al menos uno más), se deberán distribuir uniformemente entre estos dos puntos. En nuestro caso, se decidió instalar 5 tubos de descarga para poder caracterizar el lodo a diversas alturas.

Los puntos adicionales del muestreo son opcionales y pueden servir para supervisar más de cerca la evolución del manto de lodo. Los tubos de descarga deben penetrar por lo menos 1 m dentro del reactor para tomar el lodo del centro del manto del lodo y evitar los efectos de borde que pueden afectar la toma de muestras representativas. En el extremo de los tubos de descarga dentro del reactor, es conveniente instalar un resguardo en forma de T para facilitar el muestreo del lodo y evitar obstrucciones. Los tubos de descarga deben ser equipados con válvulas y el lodo se debe descargar lentamente por gravedad para prevenir la formación de vórtices. Las instalaciones de descarga de lodo deben también permitir el muestreo del contenido del reactor. Para una purga completa del reactor, también puede ser de utilidad la instalación de tubería de descarga en el mismo fondo.

Considerando que, bajo buenas condiciones climáticas, se necesitan alrededor de 3 días para secar una capa delgada de lodo (0,20 m), se puede estimar que los lodos producidos en el reactor UASB se pueden secar en un lecho de secado de 90 m² (3 módulos de 30 m²). Si el tiempo de secado es más largo, el área de los lechos será más grande. El secado de lodos se puede optimizar cubriendo los lechos en un invernadero o forzando el secado mediante un sistema de recirculación de aire

propulsado con energía solar.

Lechos de secado de lodos

$$T = \frac{30 \times H \times S_o}{aE - bR} \left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2} \right) + t_d$$

Tabla 22

Lecho de secado

Tiempo de secado	
H =	profundidad a la cual se aplica el lodo in
S ₀ =	sólidos iniciales %
a =	corrección de la tasa de evaporación para lodo
E =	tasa de evaporación, in/mes
b=	fracción de agua absorbida por el lodo
R =	lluvia durante el mes húmedo, in/mes
S ₁ =	sólidos después de td días, %
S ₂ =	contenido final de sólidos, %
td =	tiempo en el cual el drenado es significativo, días

Reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA)

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con manto de lodos (conocido como RAFA o UASB por las siglas en inglés) en el cual el agua residual fluye en forma ascendente a través de una zona de granular de lodos. Para lograr una distribución uniforme del agua residual en el fondo del reactor. Se ha considerado un área de 2 m² /punto de alimentación, Asimismo se ha considerado un sistema de Colectores de gas, En la parte superior del sistema se ha proyectado un área para liberar el gas producido. La velocidad de salida del gas se encontrará entre el siguiente valor de 1 m³ de gas/ (m².h). Las dimensiones del RAFA se muestran en las siguientes tablas.

- Sistema de ingreso a través de 03 vertederos circular, por donde se distribuye equitativamente los caudales a los 36 puntos de alimentación del Reactor.
- Tubería de ingreso del punto de alimentación de 110 mm de diámetro que conecta a un tubo vertical de 160 mm de diámetro por donde ingresa el agua servida a la parte inferior del reactor.
- Tiene 16 tolvas de lodos por donde cada punto de alimentación ingresa el agua

- servida al reactor.
- Tiene la zona donde se forma el manto granular que permite realizar la remoción de carga orgánica.
- Tiene la zona de sedimentadores a ambos lados del reactor por donde el agua es recolectada a través de vertederos del tipo sumergido.
- En la parte central tiene un área para la recolección de los gases que se generen en el reactor.
- Luego el agua recolectada en los vertederos pasa a los Filtros Biológicos.
- La estructura de concreto armado donde se ubican los tres reactores anaerobios, ocupa un área cuyas dimensiones se señalan a continuación.

Tabla 23

Criterios de diseño RAFA

Descripción	Criterio adoptado
Cargas de diseño	2,57 kg DQO/(m ³ -día)
El caudal máximo de contribución de desagüe	0,0690 m ³ /s
El caudal mínimo de contribución de desagüe	0,0173 m ³ /s
El caudal promedio de contribución de desagüe	0,03451 m ³ /s
Carga superficial	1,23 m ³ / (m ² -h)
Velocidad de paso por las aberturas al sedimentador	4,60 m ³ /m ² /h
Velocidad ascensional	0,56 m ³ / (m ² -h)
Altura del reactor	3,50 m
Números de unidades de RAFA	3,0 unidades
DBO al ingreso al RAFA	391,66 mg/L
% de remoción	70
DQO Al ingreso al RAFA	861,65 mg/L

Tabla 24*Dimensión del reactor anaerobio de flujo ascendente*

Ítem	Descripción	Dimensiones
1	Número de reactores	3 und
2	Caudal promedio/reactor	0,0086 m ³ /s
3	Caudal máximo/reactor	0,0155 m ³ /s
4	Largo	20 m
4	Ancho	5 m
5	Altura del reactor	3,5 m

Tabla 25*Diseño del reactor anaeróbico de flujo ascendente*

RAFA			OBSERVACIÓN	
Número de reactores	3	unid.		
Caudal por reactor				
Coef. de variación max. horaria	1,8000			
Coef. de variación mínima	0,5000			
Caudal promedio/reactor	0,0086	m ³ /s		
Caudal máximo Horario/reactor	0,0155	m ³ /s		
Caudal mínimo/reactor	0,00	m ³ /s		
Ancho	5,00	m		
Largo	20,00	m		
Altura	3,50	m		
Área	100,00	m ²		
Volumen	350,00	m ³	Menor a 400 m ³	cumple
Caudal max. de desagüe a tratar por hora	55,91	m ³ /hora		
Velocidad ascensional	0,56	m ³ /m ² - h	Menor a 1,00 0,1666667	cumple
Sistema de Alimentación				
Área del reactor	100	m ²		
Número de sistemas de alimentación	36	unid.		
Área por cada alimentación	2,78	m ²	menor a 3 m ²	cumple

Caudal por cada alimentador	0,24	L/s
Caudal Promedio/por alimentador		
Caudal Máximo Horario/por alimentador	0,43	L/s
Caudal Mínimo/por alimentador	0,12	L/s

a) Velocidad en tubo de alimentación

Diámetro	0,05	m
Área	0,00	m ²
Velocidad	0,25	m/s
Pendiente	0,01	

b) Velocidad en tubo de ingreso de alimentación

Diámetro	0,16	m
Área	0.02	m ²
Velocidad	0.02	m/s

Colectores de gas

Velocidad de salida del gas	1,00	m ³ de gas/(m ² - h)	Para aguas residuales
-----------------------------	------	--	-----------------------

Sedimentadores

Caudal max. de desagüe a tratar por hora	55,91	m ³ /h		
Altura de abertura	0,32	m		
Ancho	19,00	m		
Área de aberturas	6,08	m ²		
Área de aberturas total	12,16	m ²		
Velocidad de paso por abertura	4,60	m ³ /(m ² - h)	Menor a 5 m ³ /(m ² -h)	cumple
Caudal de paso por abertura	0,02	L/s		
Velocidad de paso por abertura	0,00	m/s		
Ancho del sedimentador	1,20	m		
Altura del sedimentador	2,08	m		
Ancho del ingreso abertura	0,45	m		
Altura de ingreso abertura a sedimentador	0,78	m		
Número de sedimentadores	2,00	unid.		
Área superficial	45,60	m ²		
Carga superficial	1,23	m ³ /(m ² - h)	Entre 1,2 a 1,5 m ³ /(m ² -h)	cumple

Tolva de lodos

Número de sistemas de alimentación	36	unid.
------------------------------------	----	-------

Número de módulos	4	unid.
Número de alimentación por módulos	9	unid.
Longitud	20,00	m
Ancho de tolva	5,00	m
Número de sistemas de alimentación	3	unid.
Ancho de tolva	1,47	m
Altura de tolva	1,27	m
Altura de reactor anaerobio	8,78	m
Altura de reactor	3,50	m
Altura de sedimentador	2,08	m
Altura de vertedero de sedimentador	0,40	m
Altura del ingreso abertura a sedimentador	0,78	m
Altura de tolva de lodos	1,52	m
Borde libre	0,50	m
Ancho del reactor + sedimentador	9,70	m
Ancho interior de reactor	5,00	m
Ancho de sedimentador	1,20	m
Número de sedimentadores	2	unid.
Ancho transversal para ingresar a sedimentador	0,25	m
Número se ancho transversal de ingreso a sedimentador	2,00	unid.
Pared divisoria	0,20	m
Número de pared divisorio	2	unid.
Ancho del vertedero	0,35	m
Número de vertedero	2,00	unid.
Pared del reactor	0,35	m
Número de pared del reactor	2,00	unid.
Largo del reactor	20,60	m
Largo interior de reactor	20,00	m
Pared reactor izquierdo	0,30	m
Número de pared	2	unid.

Anexo 1.2.
Vista general de la PTAR



ANEXO 1.3.

Etiquetado y rotulado de muestras en el tratamiento y en el efluente de RAFA



ANEXO 1.4.

Toma de muestras del ingreso de aguas servidas a la planta



ANEXO 1.5.
Controles físicos en la cámara de distribución



ANEXO 1.6.
Muestreo para analizar parámetros químicos, cámara de distribución



ANEXO 1.7.

Muestreo de afluente del RAFA para controles físicos

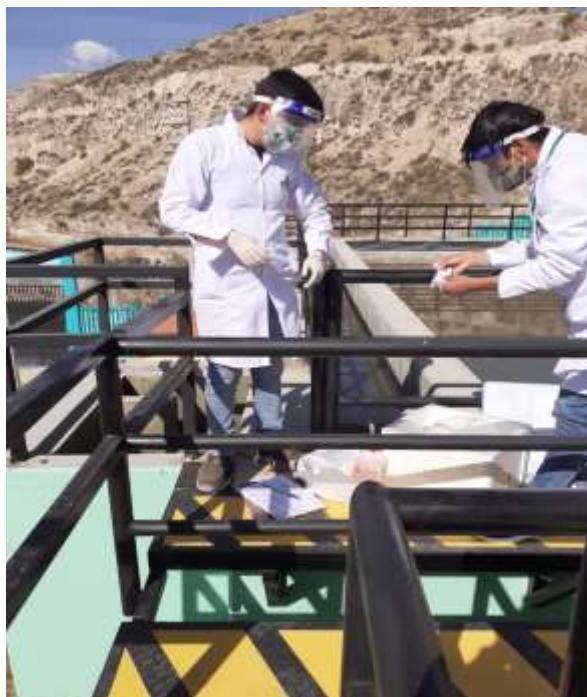


ANEXO 1.8.

Toma de muestras en el manto de lodos en el RAFA



ANEXO 1.9.
Toma de muestra del efluente del RAFA



ANEXO 1.10.
Verificación del sistema de la tubería de recolección del biogás



ANEXO 1.11.
Lagunas de maduración 1, 2 y 3



ANEXO 2
Calibración de equipos de campo

Equipo multiparámetro de conductividad, pH, temperatura y STD



Equipo de turbidímetro con respectiva calibración



EQUIPO	MULTIPARAMETRO	FECHA DE CALIBRACIÓN	14 de Febrero del 2021
PERTENECIENTE A	RAULOAN & INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C.	LUGAR DE CALIBRACIÓN	Laboratorio ECOSISTEM
METODO DE CALIBRACIÓN:			
FABRICANTE	Hach	Determinación del error de indicación del medidor de pH y CE, por el método de comparación directa, utilizando buffer de calibración certificados para el OD por saturación al 100% y para 0%	
MODELO	Hq 40d	CONDICIONES AMBIENTALES:	
TIPO	VARIOS	TEMPERATURA:	20°C
SERIE N°	140200099837	HUMEDAD RELATIVA:	
CODIGO INTERNO	----	74%	
SERIE DE SENSOR N°	PH 173522567060 CO140442587004 OD140342597014 REDOX173633029002		
ALCANCE DE INDICACIÓN: Conductivity 0-9999µS/cm TDS 0-9999ppm Resistivity 10KΩ-30MΩ pH 0-14pH OD 0.1 - 20 mg/L temp 0-30°C			
RESOLUCIÓN: Conductivity 0.01 TDS 0.01 Resistivity 0.01 pH ±0.01pH OD ±0.00 Temp 0,01			
CLASE DE EXACTITUD: Conductivity±1% of reading TDS ±1% of reading Resistivity ±1% of reading PH ±0.01 pH* OD ±0.1 from 0 to 8 mg/L Temp ±1%			

TRAZABILIDAD:

Buffer de Calibración de PH 4.01 @ 25°C precisión ± 0,002 pH (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 5435 EXP 10/2019
 Buffer de Calibración de PH 7.00 @ 25°C precisión ± 0,002 pH (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 7657 EXP 10/2019
 Buffer de Calibración de PH 10.01 @ 25°C precisión ± 0,002 pH (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 4566 EXP 11/2019
 Buffer de Calibración de CE 1413 µS/cm @ 25°C precisión ± 0,01 CE (25°C) ISO 3696/BS 3978 LOTE 0257 EXP 06/2021
 Buffer de Calibración de OD 0% @ 25°C precisión ± 0,01 SPEC1275 LOTE 42108 EXP 12/2019
 Buffer de calibración de ORP 124mV @ 25°C precisión ± 0,01LOTE 21145 EXP 12/2019

MEDICIÓN ANTES

DE CALIBRACIÓN PH	PATRON PH TEMP °C	DESPUES DE LA CALIBRACIÓN PH	ERROR RECALIBRACIÓN:
4.02	4.01 25.00	4.01	0.00
7.00	7.00 25.00	7.01	-0.01
10.05	10.01 25.00	10.02	-0.01

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

MEDICIÓN ANTES DE CALIBRACIÓN CE µS/cm	PATRON CE µS/cm	TEMP °C	DESPUES DE LA CALIBRACIÓN CE µS/cm	ERROR	PATRON ORP mV	ORP mV	ERROR
1395.00	1413	25.00	1410	3.00	124	122	2

MEDICIÓN ANTES DE CALIBRACIÓN OD %	PATRON OD % TEMP °C	DESPUES DE LA CALIBRACIÓN OD %	ERROR
3.00	0.00 25.00	0.03	-0.03
110.00	100.00 25.00	103.01	-3.01

OBSERVACIONES:

El equipo esta dentro de los rangos aceptables

ECOSISTEM S.A.C.

VoBo

MARCELINO HUARCAYA TAPIE
JEFE DE LABORATORIO

Urb. El Rosal Mz B9 Lt01- Lima 03
 Cel: 971231941 Rpm: *014957
 info@ecosistemsac.com
 www.ecosistemsac.com

TEMPERATURA

PH

PATRON °C	T pH °C	ERROR
5.00	4.99	0.01
15.00	14.98	0.02
25.00	24.90	0.10

CONDUCTIVIDAD

PATRON °C	T Con °C	ERROR
5.00	5.01	-0.01
15.00	15.00	0.00
25.00	25.01	-0.01

OXIGENO DISUELTO

PATRON °C	TOD °C	ERROR
5.00	5.00	0.00
15.00	14.99	0.01
25.00	25.02	-0.02

La temperatura fue verificada usando un patron con trazabilidad en Inacal con certificado numero T-0209-2020 calibrado el 20/02/2021

ANEXO 3
Resultados analíticos

INFORME DE ENSAYO IN SITU

FR-044

N° de Orden de Servicio : O.S. 200717.01 DA
N° de Protocolo : 02207.37
Cliente : **CONSTRUCTORES Y CONSULTORES ITAR&R E.I.R.L.**
Dirección legal del cliente : Asoc. La Victoria N° 7 "G" Lote 12
Muestra(s) declarada(s) : Agua residual (Preliminar; Efluente RAFA1,2,3; Ingreso FAFA 1,2,3; Efluente FAFA 1,2,3)
Procedencia de la Muestra : Proporcionado por el cliente
Nombre del Proyecto: Implementación del sistema de agua potable, sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las localidades de Huascouro, Mollepata y anexos
Lugar del Proyecto: PTAR - Ccasaccato- Mollepata
Cantidad de Muestra(s) para ensayo : 04 muestras
Forma de Presentación : 01 frascos de plástico de primer uso de 250mL
04 frascos de plástico de primer uso de 250mL por muestra
Identificación de la Muestra : Código de laboratorio del 07-25037.01 al 07-25037.04
Fecha de recepción de muestra(s) : 2021-07-25
Fecha de Inicio del Análisis : 2021-07-25
Fecha de Emisión de Informe : 2021-07-31



PARÁMETROS	UNIDADES	FECHA	CAUDAL (L/s)	TRATAMIENTO PRELIMINAR	Efluente RAFA 01	Efluente RAFA 02	Efluente RAFA 03	Ingreso FAFA 01	Ingreso FAFA 02	Ingreso FAFA 03
Conductividad Eléctrica	µS/cm a 25°C	JULIO 25	1.180	4058.33	1910	1883.33	1980	1910	1883.33	1980
pH	Unidades de pH			7.97	7	7.10	7	7	7.10	7
Temperatura (agua residual)	°C			18.12	18.8	19.25	20.5	18.8	19.25	20.5
Turbidez	NTU			801.67	69.4	55.32	63.2	69.4	55.32	63.2
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L			1003.33	940	931.67	980	940	931.67	980
Temperatura (medio ambiente)	°C			22.20	22.6	23.03	28.2	22.6	23.03	28.2
Oxígeno(O2)	%			3.67	0.7	0.82	1.2	0.7	0.82	1.2
Demanda de Oxígeno	mg/L			0.33	0.06	0.07	0.09	0.06	0.07	0.09




Mbg. A. Rupay Falcon
C.B.P. 8505
Jefe de Laboratorio

CITECAS S.R.L.
U.C. 2030118723

Jorge Durán Araujo
GERENTE GENERAL


Lic. Víctor A. Huamani León
C.Q.P. 1165
Jefe de Laboratorio de Físicoquímica

FIN DE DOCUMENTO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Rev.03
Fecha de revisión : 2020-08-08

Pág 1 de 2

INFORME DE ENSAYO 02207.36

FR-044

N° de Orden de Servicio : O.S. 200717.01 DA
N° de Protocolo : 02207.36
Cliente : **CONSTRUCTORES Y CONSULTORES ITAR&R E.I.R.L.**
Dirección legal del cliente : Asoc. La Victoria Mz "G" Lote 12
Muestra(s) declarada(s) : Agua residual (Muestra Preliminar - Efluente RAFA)
Procedencia de la Muestra : Proporcionado por el cliente
Nombre del Proyecto: "Implementación del sistema de agua potable, sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en las localidades de Huascaura, Mollepata y anexos"
Lugar del Proyecto: PTAR Ccasaccato - Mollepata
Cantidad de Muestra(s) para ensayo : 03 muestras
Forma de Presentación : 01 frasco de plástico estéril de 250mL
04 frascos de plástico de primer uso de 500mL
14 frascos de plástico de primer uso de 1000mL
01 frasco de vidrio ámbar de boca ancha de 1000mL
01 frasco de vidrio ámbar de 1000mL por muestra
Identificación de la Muestra : Código del laboratorio del 07-25036.01 al 07-25036.04
Fecha de recepción de muestra(s) : 2021-07-25
Fecha de Inicio del Análisis : 2021-07-25
Fecha de Emisión de Informe : 2021-07-31



CITECAS S.R.L.
R.U.C. 20601187073

Jorge Durán Araujo
GERENTE GENERAL

Código de Laboratorio		07-25036.01	07-25036.02	07-25036.03	07-25036.04	
Código de Punto de Muestreo		P-01	P-02	P-03	P-04	
Descripción del Punto de Muestreo		Muestra Preliminar	SALIDA RAFA 01	SALIDA RAFA 02	SALIDA RAFA 03	
Fecha Inicial / Hora de Muestreo		24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021	
Fecha Final / Hora de Muestreo		24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021	
Tipo de Muestra		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual	
Coordenadas del Punto de Muestreo		E 0583394	E 0583381	E 0583367	E 0583367	
		N 8550602	N 8550603	N 8550608	N 8550608	
		2745 m.s.n.m.	2746 m.s.n.m.	2745 m.s.n.m.	2745 m.s.n.m.	
Parametros microbiológicos						
Parámetro de Ensayo	Unidades	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	
Coliformes Fecales**	NMP/100mL	9.5x10 ⁷	3.2x10 ⁷	2.2x10 ⁷	2.8x10 ⁷	
Parametros fisicoquímicos						
Parámetro de Ensayo	Unidades	Límite de Cuantificación de Método	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Aceites y Grasas	mg/L	2.0	18.20	0.45	0.28	0.35
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.0	385	211.8	139.50	175.8
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	6.0	520	460	250	330
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	0.9	0.7	<0.1	0.4
Sólidos Totales	mg/L	1.0	412	356	188	312
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	1.0	242	78	65	75
Ácido de grasa volátil*	mg/L	1.0	500	130	65	128
Cloruros Cl*	mg/L	0.072	205.23	153.021	101.085	122.933

Mblgo. Grover A. Rupay Falcón
C.B.P. 8505
Jefe de Laboratorio



Dr. Víctor A. Huamán León
C.Q.P. 1165
Jefe de Laboratorio de Fisicoquímica

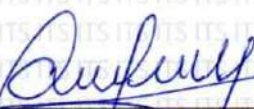
FIN DE DOCUMENTO

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Rev.03
Fecha de revisión : 2020-07-30

PARÁMETROS	UNIDADES	Efluente FAFA 01	Efluente FAFA 02	Efluente FAFA 03
Conductividad Eléctrica	µS/cm a 25°C	1980	1950	1950
pH	Unidades de pH	7	7.2	7.1
Temperatura (agua residual)	°C	19.2	18.4	18.1
Turbidez	NTU	32.5	24.3	29.8
Sólidos Totales Disueltos (TDS)	mg/L	980	970	970
Temperatura (medio ambiente)	°C	28.7	22.6	23.3
Oxígeno(O ₂)	%	1.2	1.1	0.7
Demanda de Oxígeno	mg/L	0.09	0.09	0.06

INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU S.A.C.
LABORATORIO


Mblgo. Grover A. Ruyoy Falcón
C.B.P. 8505
Jefe de Laboratorio


Lic. Víctor A. Huamani León
C.Q.P. 1165
Jefe de Laboratorio de Físicoquímica

FIN DE DOCUMENTO



CITECAS S.R.L.
R.O.C. 20601187273

Jorge Durán Araujo
GERENTE GENERAL

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Rev.03

Fecha de revisión :2020-08-08

Pág 2 de 2

Continuación...

Nitratos (Como NO ₃)*	mg NO ₃ -N/L	0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Nitritos (Como NO ₂)*	mg NO ₂ -N/L	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Alcalinidad total*	mg/L	5.0	425	315	205	255
Cianuro Total *	mg/L	0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Dureza Total*	mg CaCO ₃ /L	0.67	237	204	123	180
Fosforo Total *	mg/L	0.10	7.5	6.5	6.7	6.6
Nitrógeno Amoniacal*	mg N-NH ₃ /L	0.1	42.50	50.24	60.40	52.20
Nitrogeno kjeldahl	mg/L	0.10	55.25	65.26	75.36	68.23
Nitrogeno Total *	mg/L	0.10	59.26	70.24	80.21	72.56
Sólidos Fijos*	mg/L	1.0	5.0	<2.0	<1.0	<2.0
Sólidos Volátiles*	mg/L	1.0	597	205	152	190
Sólidos Volátiles Suspendidos*	mg/L	1.0	180	102	80	95
Surfactantes Aniónicos (SAAM)*	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Metales (ICP-AES)						
Parámetro de Ensayo	Unidades	Límite de Cuantificación de Método	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Cd Cadmio*	mg/L	0.0006	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006	< 0.0006
Ni Níquel*	mg/L	0.0007	0.0092	<0.0063	<0.0063	<0.0063

Observaciones:

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos subcontratados acreditados por el INACAL - DA.

(**) Equivale a Coliformes termotolerantes.

Metodologías

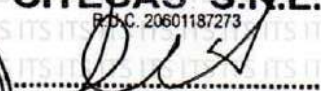
Parámetro	Método de Referencia
COLIFORMES FECALES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E 1, 23 rd Ed.
ACEITES Y GRASAS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23rd Ed.
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed.
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 F, 23rd Ed.
SÓLIDOS TOTALES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed.
SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed.
ÁCIDO GRASO VOLÁTIL	Cromatografía - GC
ANIONES (CLORURO, NITRATO Y NITRITO)	EPA Method 300.0. Determination of inorganic anions by ion chromatography
ALCALINIDAD TOTAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017. Alkalinity. Titration Method
CIANURO TOTAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN ⁻ C, F, 23rd Ed. 2017. Cyanide. Total Cyanide after Distillation. Cyanide-Selective Electrode Method
DUREZA TOTAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340 C, 23rd Ed. 2017. Hardness. EDTA Titrimetric Method
FÓSFORO TOTAL	Phosphorus. Ascorbic Acid Method. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017
NITRÓGENO AMONIAAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method.
NITRÓGENO TOTAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- N C, 23 rd Ed. 2017. Nitrogen. Persulfate Method
SÓLIDOS FIJOS	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 E, 23rd Ed.


Mblgo. Grover A. Rupay Falcon
C.B.P. 8505
Jefe de Laboratorio




Lic. Victor A. Huamani León
C.Q.P. 1165
Jefe de Laboratorio de Físicoquímica



CITECAS S.R.L.
R.D.C. 20601187273

Jorge Durán Araujo
GERENTE GENERAL

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo ser utilizados los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público. Su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Rev.03

Fecha de revisión : 2020-07-30

Continuación...

SÓLIDOS VOLÁTILES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 E, 23rd Ed
SÓLIDOS VOLÁTILES SUSPENDIDOS	EMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 E, 23rd Ed
SURFACTANTES ANIONICOS (SAAM)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23rd Ed, 2017
METALES TOTALES POR ICP	EPA Method 200.8, Revision 5.4, 1994. Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma - mass spectrometry

Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.



Mblgo. Graver A. Rupay Falcón
C.B.P. 8505
Jefe de Laboratorio




Lic. Víctor A. Huamani León
C.Q.P. 1165
Jefe de Laboratorio de Fisicoquímica



CITECAS S.R.L.
R.U.C. 20601187273
Jorge Durán Araujo
GERENTE GENERAL

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Rev.03
Fecha de revisión: 2020-07-30

Pág 3 de 3

INFORME DE ENSAYO 02207.37

N° de Orden de Servicio : O.S. 200717.01 DA
N° de Protocolo : 02207.37
Cliente : CONSTRUCTORES Y CONSULTORES ITAR&R E.I.R.L.
Dirección legal del cliente : Asoc. La Victoria N° 7 "G" Lote 12
Muestra(s) declarada(s) : Agua residual-manto de lodos
Procedencia de la Muestra : Proporcionado por el cliente
Nombre del Proyecto: Implementación del sistema de agua potable, sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de las localidades de Huascouro, Mollepatá y anexos
Lugar del Proyecto: PTAR - Ccasaccato- Mollepatá
Cantidad de Muestra(s) para ensayo : 04 muestras
Forma de Presentación : 02 frascos de plástico de primer uso de 500mL
02 frascos de plástico de primer uso de 1000mL por muestra
Identificación de la Muestra : Código de laboratorio del 07-25037.01 al 07-25037.04
Fecha de recepción de muestra(s) : 2021-07-25
Fecha de Inicio del Análisis : 2021-07-25
Fecha de Emisión de Informe : 2021-07-31



CITECAS S.R.L.
R.U.C. 20571187273
Jorge Durán Araujo
GERENTE GENERAL

Código de Laboratorio	07-25037.01	07-25037.02	07-25037.03	07-25037.04		
Código de Punto de Muestreo	P-01	P-02	P-03	P-04		
Descripción del Punto de Muestreo	Manto lodo 01	Manto lodo 02	Manto lodo 03	Manto lodo 04		
Fecha Inicial / Hora de Muestreo	24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021		
Fecha Final / Hora de Muestreo	24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021	24/07/2021		
Tipo de Muestra	Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual		
Coordenadas del Punto de Muestreo	E 0583389	E 0583581	E 0583376	E 0583380		
	N 8550587	N 8550584	N 8550577	N 8550583		
	2744 m.s.n.m.	2744 m.s.n.m.	2742 m.s.n.m.	2742 m.s.n.m.		
Parametros fisicoquímicos						
Parámetro de Ensayo	Unidades	Límite de Cuantificación de Método	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Sólidos Totales	mg/L	1.0	204.0	188.0	180.0	166.0
Alcalinidad Total*	mg/L	5.0	168.9	190	175	181
Alcalinidad por Bicarbonato*	mg/L	5.0	128.8	137.5	117.5	123.8
Sólidos Volátiles*	mg/L	1.0	135.0	128.0	111.0	124.0

Observaciones:

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos subcontratados acreditados por el INACAL - DA

Metodologías

Parámetro	Método de Referencia
SÓLIDOS TOTALES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed.
ALCALINIDAD TOTAL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017. Alkalinity. Titration Method
ALCALINIDAD POR BICARBONATO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017. Alkalinity. Titration Method
SÓLIDOS VOLÁTILES	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 E, 23rd Ed.

Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

Mblgo. Grover A. Rupay Falcón
C.B.P. 8505
Jefe de Laboratorio



Lic. Víctor A. Huamán León
C.Q.P. 1165
Jefe de Laboratorio de Físicoquímica

El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERÚ S.A.C.

Rev.03

Fecha de revisión : 2020-07-30

ANEXO 4 Matriz de consistencia

TITULO: Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.			AUTOR: Bachiller Beltrán Elíasar QUISPE JAYO		
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Diseño metodológico	
1) Problema Principal ¿Cómo evaluar la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata? 2) Problemas Secundarios a. ¿Cuáles son las características de los afluentes y los efluentes del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata? b. ¿Cuáles son los parámetros de operación de funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata? c. ¿Cuál es el porcentaje de remoción de DBO, DQO, SST y coliformes fecales en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata? d. ¿Cómo determinar el índice volumétrico de lodos (IVL), la relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC), la formación de lodos y la producción de metano en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata?	1) Objetivo General Evaluar la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata. 2) Objetivos Específicos a. Caracterizar los afluentes y los efluentes del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata. b. Determinar los parámetros de operación de funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata. c. Determinar el porcentaje de remoción de DBO, DQO, SST y coliformes fecales en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata. d. Determinar el índice volumétrico de lodos (IVL), la relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC), la formación de lodos y la producción de metano en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.	1) Hipótesis General La evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata permitirá observar el funcionamiento adecuado, de manera que se cumpla con la normatividad vigente referida al tratamiento de aguas residuales. 2) Hipótesis específicas a. La caracterización de los afluentes y los efluentes del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata, permitirá realizar una adecuada evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales. b. La evaluación de la operación de funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata nos permitirá determinar los parámetros de operación referidos a temperatura, tiempo de residencia hidráulico y altura del lecho. c. El porcentaje de remoción de DBO, DQO y SST se determinará analizando las concentraciones del afluente y efluente en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata que permitirá realizar una evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales. d. El índice volumétrico de lodos (IVL), la relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC), la formación de lodos y la producción de metano en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata, permitirá definir el buen funcionamiento del sistema de tratamiento.	1) Variable de caracterización 1 Parámetros de operación del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata. Indicadores • Caudal del agua residual • Caracterización del agua residual afluente • Temperatura en el manto de lodos • pH en el manto de lodos • Tiempo de residencia hidráulico. • Carga hidráulica • Velocidad ascensional • Índice volumétrico de lodos (IVL) • Relación de ácidos grasos volátiles con alcalinidad (AGVs/ALC) 2) Variable de caracterización 2 Agua residual tratada en el reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata. Indicadores • Parámetros fisicoquímicos en el agua residual tratada • Coliformes termotolerantes. • Parámetros físicos en los mantos de lodos • % de remoción Variable de interés Evaluación del funcionamiento del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata.	1) Tipo de Investigación ▪ Básica. 2) Nivel de Investigación ▪ Descriptivo. 3) Método ▪ Deductivo. ▪ Analítico. 4) Diseño ▪ No experimental. 5) Población ▪ Agua residual. 6) Muestra ▪ Alícuota de agua residual. 7) Técnicas ▪ Observación. ▪ Métodos de ensayos de campo y laboratorio. 8) Instrumentos ▪ Ficha de recolección de datos. ▪ Equipos para ensayos de campo y laboratorio. ▪ Normas técnicas.	



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:

Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata

Expositor: Beltran Eliasar Quispe Jayo
Bachiller en Ingeniería Química

Expediente N° 2423100 Resolución Decanal N° 115-2024-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 17-06-20224

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las ocho de la mañana con cinco minutos del día miércoles diecinueve de junio del año dos mil veinticuatro, se reunieron el Bachiller en Ingeniería Química **Beltran Eliasar Quispe Jayo**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Mg. Edgar Gregorio ARONES MEDINA, Mg. Hernán Pedro QUISPE MISAICO y Mg. Gloria Inés BARBOZA PALOMINO, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la Facultad), Mg. Abraham Fernando TREJO ESPINOZA (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente).

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata**, presentado por el Bachiller **Beltran Eliasar Quispe Jayo**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 115-2024-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Beltran Eliasar Quispe Jayo**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treintaicinco minutos.

Finalizado la exposición del Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Gloria Inés BARBOZA PALOMINO, Mg. Hernán Pedro QUISPE MISAICO y Mg. Edgar Gregorio ARONES MEDINA. Luego el Presidente invitó al Mg. Abraham Fernando TREJO ESPINOZA para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

A continuación, el presidente del jurado invito al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16)**.

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:
Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo
ascendente en la PTAR Mollepata

Expositor: Beltran Eliasar Quispe Jayo
Bachiller en Ingeniería Química

Expediente N° 2423100 Resolución Decanal N° 115-2024-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 17-06-20224

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, el Bachiller **Beltran Eliasar Quispe Jayo**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO QUIMICO** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las nueve de la mañana con cincuenta minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:



.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente



.....
Mg. Edgar Gregorio ARONES MEDINA
Miembro



.....
Mg. Hernán Pedro QUISPE MISAICO
Miembro



.....
Mg. Gloria Inés BARBOZA PALOMINO
Miembro



.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 031-2024-UNSCH-FIQM/EPIQ

El que suscribe, Director de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad por parte del Bach. **Beltran Eliasar Quispe Jayo**, se procedió a la evaluación y regularización de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

TESIS: Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata

Autor : Bach.: Beltran Eliasar Quispe Jayo
Identificado : 2424867108
Fecha : 30 de julio de 2024
Nombre del Archivo : BELTRAN_QUISPE_TESIS_FINAL_2024_TURNITIN_IN.pdf(1.54M)

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del **17 (diecisiete) % de ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 30 de julio de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA
Mtro. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA
DIRECTOR

Adjunto **Reporte de Índice de Similitud**
cc. archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
QUÍMICA Av. Independencia S/N –
Ayacucho Telf. 066-312510 Anexo. 152 Correo:
ep.quimica@unsch.edu.pe

Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata

por Beltran Eliasar Quispe Jayo

Fecha de entrega: 30-jul-2024 10:12a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2424867108

Nombre del archivo: BELTRAN_QUISPE_TESIS_FINAL_2024_TURNITIN_IN.pdf (1.54M)

Total de palabras: 19785

Total de caracteres: 93078

Evaluación de la puesta en marcha del reactor anaerobio de flujo ascendente en la PTAR Mollepata

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	files.conagua.gob.mx Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	sswm.info Fuente de Internet	1%
6	iuaca.ua.es Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%

9	a21-granada.org Fuente de Internet	<1 %
10	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
11	app.inti.gob.ar Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1 %
13	doi.org Fuente de Internet	<1 %
14	1library.co Fuente de Internet	<1 %
15	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
19	ucontinental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	idoc.pub	

Fuente de Internet

<1 %

21

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

repositorio.ulvr.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

23

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

rcta.unah.edu.cu

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

26

cideteq.repositorioinstitucional.mx

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo