

NOTA DE ACLARACIÓN:

El documento que presento a continuación, fue realizado después de haberse evaluado un sistema a escala real durante un periodo de aproximadamente 11 meses, el sistema fue construido dentro del complejo de las Lagunas de San Juan (Lima- Perú).

A pesar de la antigüedad del documento y a lo preliminar de la investigación creo que es conveniente su publicación y difusión, debido a que coincide con algunas investigaciones efectuadas posteriormente lo cual valida y/o confirma dicho documento.

Cabe indicar que los trabajos efectuados fueron realizados dentro del marco de un convenio global entre SEDAPAL (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima) y el CEPIS.

INFORME SOBRE PUESTA EN MARCHA Y EVALUACIÓN DE LA ETAPA INICIAL DE OPERACIÓN DEL UASB (RAFA)

Autor : Ing. Julio César de los Ríos Zorrilla

1.- INTRODUCCIÓN

A fines del mes de setiembre de 1986, siguiendo un cronograma de actividades predeterminadas, el CEPIS puso en marcha la operación del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA), también denominado UASB.

El objetivo principal fue el de estudiar el procedimiento de arranque de operación para desagües domésticos; esto debido a la poca información disponible en esa oportunidad. Se tuvo en cuenta además que la mayor experimentación se basa en desagües de tipo industrial con alta carga orgánica, siendo reducidas las experiencias a baja carga orgánica, tales como las realizadas en CETESB, Brasil y en Bucaramanga, Colombia (1).

La unidad del reactor operó bajo condiciones reales con variaciones semejantes a las que se pueden encontrar en un sistema de alcantarillado. Sólo se reguló el gasto promedio de ingreso.

2. DESCRIPCIÓN

2.1 De la Planta

La Planta del reactor anaeróbico consta de los siguientes elementos:

- Estructura de entrada y de toma, donde se encuentran localizadas las rejas, y el regulador de caudal con un vertedero de orificio.
- Estructura de alimentación compuesta de una batería de vertederos triangulares (de repartición), destinados a distribuir uniformemente el gasto de ingreso, en el fondo del reactor.

- Reactor compuesto de un tanque o depósito donde realiza el proceso anaeróbico bajo flujo ascendente, y
- Sedimentador con canal vertedero en forma de diente de sierra para la recolección del efluente clarificado.

2.2 De la duración de la investigación

El proceso de la investigación se inicio a fines del mes de agosto de 1986, después de haberse efectuado las correcciones de algunos defectos detectados con posterioridad a la puesta en marcha o arranque realizada 37 días antes.

Considerándola en función del flujo y la carga orgánica, la investigación puede dividirse en dos etapas: la primera, donde desde un inicio se realizaron determinaciones físico químicas y la segunda, a partir de febrero de 1987, cuando además se realizaron determinaciones bacteriológicas y análisis cualitativo y cuantitativo de Helmintos y Protozoos, con la finalidad de determinar el grado de remoción de los mismos en el sistema.

2.3 De las características del agua cruda

Las aguas residuales provienen del alcantarillado de San Juan de Miraflores, distrito ubicado al sur de Lima. Son de origen doméstico. La captación hacia el RAFA se hace en los canales de crudo que conducen estas aguas hacia las lagunas de San Juan.

La variación de la DQO (de muestras puntuales) en el período estudiado tuvo como máximo 983 mg/L y como mínimo 480 mg/L. Las muestras rutinarias puntuales fueron tomadas entre las 9:30 y 10:00 de la mañana, tres veces por semana. En las muestras compuestas de 24 horas se obtuvo un promedio de 396 mg/L.

Con el objeto de encontrar una relación confiable entre DQO/DBO, se efectuaron determinaciones de estos parámetros, encontrándose la relación promedio aproximada de DQO/DBO = 2.00. El pH varió entre 6.0 y 7.5.

3. **OPERACIÓN DEL SISTEMA**

Las condiciones de carga y volumen iniciales de arranque o puesta en marcha del reactor y los posteriores cambios son mostrados en el cuadro 1.

Cuadro 1

RELACIÓN DE GASTO, CARGA ORGÁNICA (DQO) Y CARGA ESPACIAL

Fecha	Gasto (L/s)	Carga orgánica mg/L DQO	Carga orgánica espacial Kg.DBO/m ³ xdía	Período de retención (hrs)
22/Nov/86	0.6	396	0.42	22.7
21/Ene/87	1.6	396	1.12	8.5
23/Feb/87	2.4	396	1.68	5.7
10/Abr/87	2.6 (a)	396	1.82	5.3
11/Jun/87	3.0 (a)	396	2.08	4.5

(a) Evaluación no considerada en este informe. Sólo se indica como referencia.

En el gráfico 1 se muestra la variación de la eficiencia de remoción de DQO con respecto al tiempo. Se puede apreciar que en la primera etapa de arranque (caudal de 0.6 L/s) existen dos fases claramente marcadas: fase inestable con un

comportamiento disperso de la eficiencia de remoción de DQO y una fase estable o de adaptación, con una tendencia a incrementarse la eficiencia, que ocurre aproximadamente a partir del día 40 de iniciado el proceso de análisis y determinaciones físico químicas. Al día 84 se modificó el régimen hidráulico (con un caudal de 1.6 L/s, variándose después a 2.4 L/s), notándose a partir de ese momento una fase inestable con tendencia a crecimiento o incremento de eficiencia para luego estabilizarse manteniendo una eficiencia de depuración de DQO en un rango entre 70 y 80%.

En el gráfico 2 se muestran la relación eficiencia en remoción de DQO vs. tiempo, los gastos, tiempo de retención, remoción DQO afluente-efluente en porcentaje, remoción Kg DQO/día y remoción afluente-efluente de Kg. DQO/m³ de reactor/día en cada periodo correspondiente a un cambio de flujo.

La remoción de DBO afluente-efluente es aproximadamente un 2% adicional a la remoción DQO; esto de acuerdo a determinaciones efectuadas con fines comparativos. Por razones de orden práctico, de esta relación obtenida, se sugiere que la determinación de DQO se continúe realizando en lugar de determinaciones de DBO.

Otros parámetros determinados con sólidos totales, sólidos suspendidos volátiles y sólidos sedimentables, IVL, ácidos volátiles, temperatura, alcalinidad, NH₃, colimetría, análisis y cualitativo y cualitativo de Helmintos y protozoos para el afluente, efluente y dentro del reactor.

4. CONCLUSIONES

- Una vez que la eficiencia en remoción de DQO se estabiliza en la primera etapa, el incremento escalonado de la carga orgánica por unidad de volumen y tiempo, tiene un efecto favorable aumentando la remoción de la DQO conforme se incrementa la carga.
- Durante el proceso de investigación, no se detectó la presencia de lodo granular, que sí se presenta en reactores con residuos industriales (2), confirmando lo indicado por Novaes y Rech (3).
- Al iniciar el arranque de la planta de tratamiento, sólo se utilizó aguas residuales domésticas sin semilla, agregándose esboña en una cantidad aproximadamente de 200 L el día 84. Siendo esta cantidad pequeña, es difícil determinar si repercutió favorablemente en el funcionamiento del sistema.
- La remoción de DQO considerando como promedio los cinco últimos muestreos de cada etapa o fase, relacionándolos con el periodo de retención fue: 22.7 hrs. - 66%, 8.4 hrs. - 68%, 5.66 hrs. - 75%. Durante la primera fase o etapa de la experimentación, cuando la tendencia de eficiencia de remoción de DQO se estabilizó, el promedio de eficiencia de remoción fue el orden del 66%.
- La remoción de bacterias coliformes, coliformes totales y coliformes fecales en el reactor anaeróbico es prácticamente nula, obteniéndose a lo más un decaimiento bacteriano no mayor de un orden logarítmico, con una remoción que varía entre 0 y 86.4%.
- No existe diferencia notable entre la cantidad y el tipo de helmintos y protozoos que ingresan con el afluente y salen en el efluente del reactor, dándose el caso que en los muestreos tomados exista mayor cantidad de organismos salientes que ingresantes.
- La baja remoción de coliformes, de helmintos y protozoos es consecuencia del bajo periodo de retención del reactor.

- Un buen índice de la eficiencia en la remoción de DQO es el bajo valor del índice volumétrico de lodos IVL (menor a 30), llegando a cero (0) aun cuando los sólidos suspendidos volátiles y totales tienen altas concentraciones (orden de 50,000 mg/lit o más). Otro indicio es la cantidad pequeña de sólidos sedimentables formando algunas veces sólidos flotantes presentando varias capas definidas de lodos.

En esta investigación no se ha considerado ni estudiado el gas generado en el reactor anaeróbico. Por razones de orden técnico-económico, este aspecto se ha dejado para una etapa posterior. Hay una producción apreciable de gas, que logra mantener encendido en forma permanente un mechero de bunsen.

5. **RECOMENDACIONES FINALES**

De construcción

- Las estructuras recolectoras de gas y los sedimentadores deben construirse en lo posible con elementos estructurales continuos, evitando la utilización de planchas ensamblables, cualquiera sea el material constitutivo para evitar fugas de gas.
- Debe evitarse la utilización de codos de 90° en las tuberías de ingreso al reactor para evitar obstrucciones.
- Debe instalarse siempre pantallas frente al vertedero recolector de aguas clarificadas para evitar la salida de sólidos flotantes.
- Los elementos de control y medición deben ser accesibles y fáciles de operar.

De mantenimiento y operación

- Resulta importante la limpieza y recolección de sólidos atrapados por rejillas y vertederos.
- Aun cuando no se ha llegado a estudiar la eliminación de lodos en exceso, estos podrían ser evacuados a depósitos para que en ellos se realice la digestión y mineralización de los mismos.
- Continuar con el estudio con periodos de retención menores a los ya estudiados para determinar el valor óptimo de remoción de Kg DQO/día y remoción de Kg DQO/m³.
- Dado que los datos obtenidos de NH₃ y alcalinidad son escasos, continuar con éstos para estudiar su correlación con otros parámetros.
- Iniciar el estudio cualitativo y cuantitativo del gas generado, correlacionándola con el funcionamiento del sistema, así como su relación con otros parámetros (ácidos volátiles, eficiencia de remoción de DQO, etc.).

Se adjunta cuadros de colimetría y de análisis cualitativo y cuantitativo de protozoos y helmintos, así como datos del UASB.

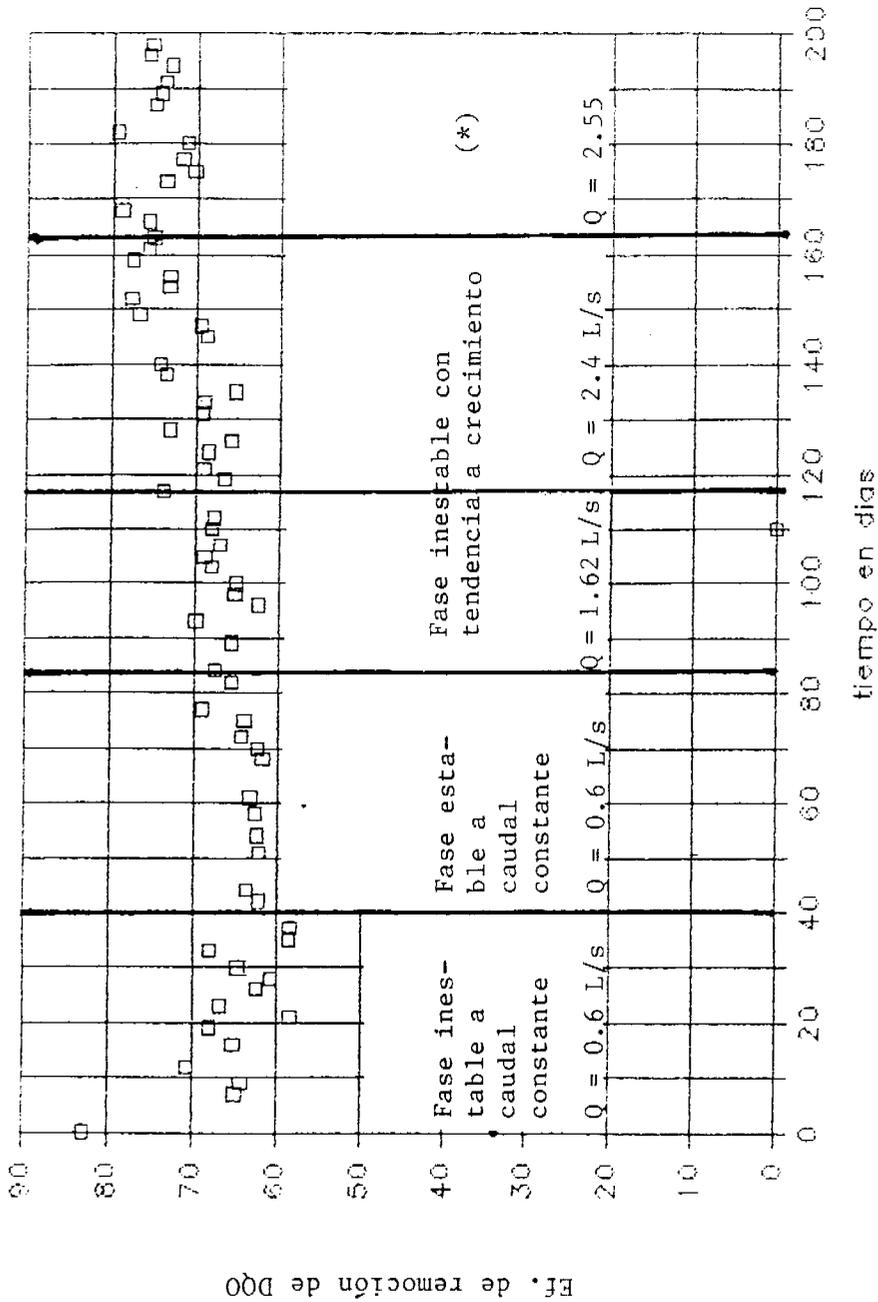
Referencias bibliográficas

- (1) COLLAZOS, Julio; JAKMA, Fritz. Tratamiento de aguas residuales en Bucaramanga a través de procesos anaeróbicos.
- (2) LETTINGA & COLABORADORES, Use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor. Concept for biological wastewater treatment special for anaerobic

treatment. Department of Water Pollution Control. Agricultural University. The Netherlands.

- (3) NOVAES, Rosana & RECH, Celia. Estudos sobre granulação bacteriana em reatores anaeróbicos de fluxo ascendente com esgotos domésticos. Revista DAE. Vol. 46, N° 145.

grafico eficiencia vs. dias



(*) Fase no evaluada al no tenerse datos completos del comportamiento de remoción DQO; posteriormente en el día 225 se cambió a caudal de 3 L/s.

Gráfico 1

FASES DE COMPORTAMIENTO NOTADAS DURANTE EL PROCESO DE INVESTIGACION

grafico eficiencia vs. dias

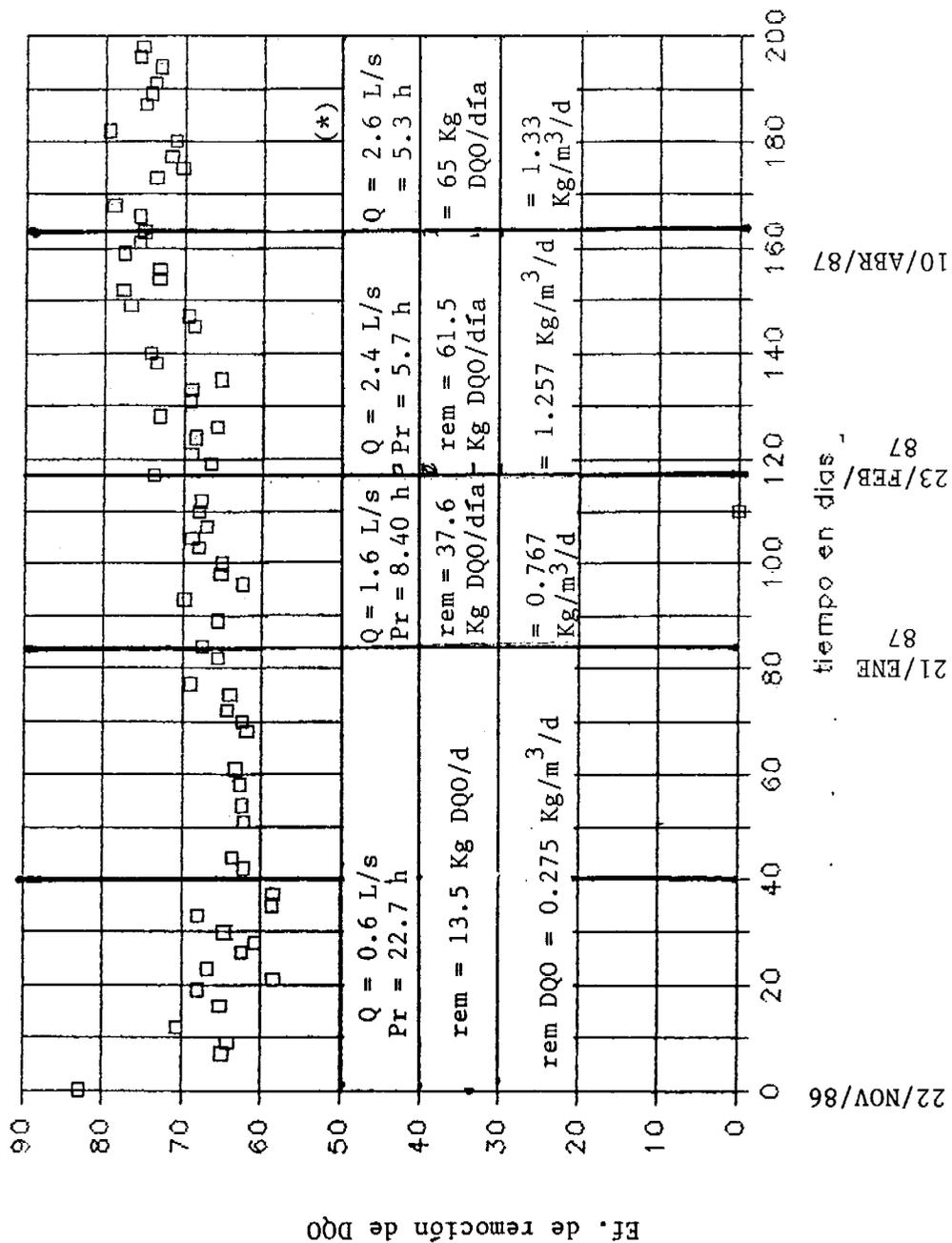


Gráfico 2

RELACIONES DE EFICIENCIA EN CADA PERIODO ESTUDIADO

ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE HELMINTOS Y
 PROTOZOOS DEL REACTOR ANAEROBICO

PROCEDECENCIA	MUESTRA	FECHA	N:DE PARASITOS POR ML.	ENTAMOEBA COLI	ENTAMOEBA HISTOLYTICA	ENDOLIMAX NANA	GIARDIA LAMBLLIA	ASCARIS LUMBRICOIDE	TRICHURIS TRICHURA	STRONGBGYLOIDES STERCORALIS	TOXOCCIRA SP	HYMENOLEPIS NANA	TAENIA SP	HYMENOLEPIS DIMINUTA
ENTRADA	1	23/3/87	0.022	X			X	X						
SALIDA	1	23/3/87	0.022	X			X	X			X	X		
ENTRADA	2	30/3/87	0.030	X		X	X	X			X	X	X	
SALIDA	2	30/3/87	0.015	X			X							
ENTRADA	3	6/4/87	0.015	X	X		X	X						
SALIDA	3	6/4/87	0.022	X			X	X			X	X		
ENTRADA	4	20/4/87	0.030	X			X		X			X		X
SALIDA	4	20/4/87	0.007	X										
ENTRADA	5	27/4/87	0.030	X		X	X						X	
SALIDA	5	27/4/87	0.007	X										
ENTRADA	6	4/5/87	0.007	X			X	X						
SALIDA	6	4/5/87	0.007	X				X						
ENTRADA	7	12/5/87	0.007	X			X	X						
SALIDA	7	12/5/87	0.007	X				X				X		
ENTRADA	8	20/5/87	0.007	X										X
SALIDA	8	20/5/87	0.007	X			X					X		
ENTRADA	9	25/5/87	0.007	X						X				
SALIDA	9	25/5/87	0.007	X				X						

**NUMERACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES- COLIFORMES FECALES
NMP / 100 ML.**

REACTOR ANAEROBICO

FECHA	MUESTRA	NMP/100 TOTAL	FECAL	PH
2/2/87	SALIDA	5.0E+07	5.0E+07	
23/3/87	ENTRADA	1.7E+08	1.7E+08	6.9
23/3/87	SALIDA	2.3E+07	2.3E+07	6.2
30/3/87	ENTRADA	1.3E+08	5.0E+07	
30/3/87	SALIDA	5.0E+07	5.0E+07	
6/4/87	ENTRADA	8.0E+07	8.0E+07	
6/4/87	SALIDA	2.8E+07	2.8E+07	
23/3/87	ENTRADA	1.7E+08	1.7E+08	
23/3/87	SALIDA	2.3E+07	2.3E+07	
30/3/87	ENTRADA	1.3E+08	5.0E+07	
30/3/87	SALIDA	5.0E+07	5.0E+07	
6/4/87	ENTRADA	8.0E+07	8.0E+07	
6/4/87	SALIDA	2.8E+07	2.8E+07	
20/4/87	ENTRADA	8.0E+07	8.0E+07	
20/4/87	SALIDA	9.0E+07	5.0E+07	
27/4/87	ENTRADA	1.7E+08	1.1E+08	
27/4/87	SALIDA	2.2E+07	2.2E+07	
4/5/87	ENTRADA	1.4E+07	1.1E+07	
4/5/87	SALIDA	9.0E+07	2.8E+07	
12/5/87	ENTRADA	7.0E+07	7.0E+07	
12/5/87	SALIDA	1.3E+07	1.3E+07	
20/5/87	ENTRADA	1.7E+08	1.7E+08	
20/5/87	SALIDA	3.0E+07	3.0E+07	

PLAN DE OPERACIONES PARA LA SEGUNDA ETAPA DE EVALUACIÓN DEL UASB

Autor : Ing. Julio César de los Ríos Zorrilla

Habiéndose concluido la etapa de evaluación de arranque del UASB, se hace necesaria la continuación de la investigación para determinar el punto óptimo de carga/remoción (carga en Kg DQO/m³ vs. eficiencia de remoción de DQO), asimismo determinar la cantidad de lodo en exceso que se ha de eliminar, observando el deterioro de la eficiencia de remoción contra la cantidad de sólidos totales y sólidos suspendidos volátiles bajo una misma condición de flujo y carga orgánica.

Para la continuación del proceso de investigación se considerará:

1. Incremento de gastos

Para el incremento de gastos se tendrá en cuenta lo siguiente:

FLUJO L/s	CARGA ESPACIAL kgDQO/m ³ x día	PERIODO DE RETENCION
3.0	2.08	4.5
3.5	2.40	4.0
4.0	2.74	3.45
4.5	3.08	3

2. Manejo de operación

De acuerdo a la experiencia obtenida en la primera etapa de evaluación del UASB, se debe tomar en cuenta antes de un cambio o incremento del gasto, lo siguiente:

- Después de estabilizarse la eficiencia de remoción de DQO afluente-efluente para un gasto determinado y se mantenga o se incremente durante 5 muestreos consecutivos, la remoción de DQO afluente-efluente y ésta se encuentre por encima de 66%.
- Cuando se observe que los sólidos sedimentables del efluente son apreciablemente menores que los del afluente. (En los primeros días de un cambio de flujo serán arrastrados flóculos o partículas de poca densidad hasta que el proceso se normalice).

Para determinar el control y eliminación de lodos en exceso, los factores que se manejarán son:

- Edad de lodos.
- Índice volumétrico de lodos
- Concentración de sólidos suspendidos, volátiles y totales

3. Análisis

Los análisis y mediciones a realizar son los siguientes:

- a. DQO, DBO y sólidos sedimentables afluente-efluente.
- b. Índice volumétrico de lodos (a diferentes niveles).
- c. Sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos totales (en cinco puntos ya definidos en la primera etapa).
- d. Ácidos volátiles afluente-efluente.
- e. Colimetría fecal y total afluente-efluente.
- f. Recuento de parásitos afluente-efluente.
- g. Alcalinidad afluente-efluente.
- h. NH₃
- i. Opcional, condicionado a la obtención de equipo; determinación de gas, análisis cuantitativos y cualitativos. Se recomienda hacer algunas determinaciones con muestras integradas, tanto del afluente como del efluente.

4. Cronograma

MEDICIÓN Y/O ANÁLISIS	TIEMPO EN MESES							FRECUENCIA
	1	2	3	4	5	6	7	
Medición de gasto (tiempo, pH, CE)	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
IVL	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
DQO A/E*	X	X	X	X	X	X		1 vez semana
DBO A/E*	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
Sólido sedimentado	X	X	X	X	X	X		1 vez cada 15 días
Ácidos volátiles A/E	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
S.S.V.	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
S.S.T.	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
Alcalinidad A/E	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
NH ₃ A/E	X	X	X	X	X	X		3 veces semana
Colimetría F/T - A/E	X	X	X	X	X	X		1 vez cada 15 días
Opcional gas	X	X	X	X	X	X		3 veces semana

* A/E = afluente-efluente

5. Diagrama de operaciones

MEDICION Y/O ANALISIS	TIEMPO EN MESES							FRECUENCIA
	1	2	3	4	5	6	7	
Análisis de datos	X	X	X	X	X	X	X	Continuo
Reporte técnico		X		X		X	X	Cada mes y medio
Reporte financiero			X			X	X	Trimestral

6. Diagrama de barras

ACTIVIDAD**	MES						
	1	2	3	4	5	6	7
Fase: gasto 3 1/s	█						
gasto 3.5 1/s			█				
gasto 4 1/s				█			
gasto 4.5 1/s						█	
Medición y análisis	█						
Análisis de datos	█						
Reporte técnico		█	█	█	█	█	█
Reporte financiero				█			█
** Restricciones:El tiempo considerado para realizar el estudio puede ser recortado en función de los resultados de cada etapa estudiada.							

En caso que en alguno de los incrementos de gastos programados, la remoción de kgDQO/m³ baje con relación a la anterior prueba y/o la eficiencia de remoción de DQO llegue por debajo de 65%, se volverá al régimen hidráulico anterior.