

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UBICADA EN EL MUNICIPIO DE LA
TEBAIDA.**

ANGELA VIVIANA CADENA CARDONA

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE QUÍMICA
ARMENIA
2006**

**EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UBICADA EN EL MUNICIPIO DE LA
TEBAIDA.**

ANGELA VIVIANA CADENA CARDONA – 61110

**Informe de Pasantía Presentado Como Requisito Para Optar al Título de
Químico**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS Y TECNOLOGÍAS
PROGRAMA DE QUÍMICA
ARMENIA
2006**

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Armenia, Agosto de 2006

FICHA RESUMEN

RESUMEN

Se realizó la evaluación fisicoquímica de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de La Tebaida empleando parámetros de control como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables, pH, Temperatura y Alcalinidad. Con los resultados obtenidos se demostró una eficiencia de remoción de materia orgánica y de sólidos por encima del 60% y los otros análisis presentaron valores que se encuentran dentro del rango establecido para un buen funcionamiento en plantas que operan con un sistema anaerobio de reactores UASB.

ABSTRACT

The physicochemical evaluation of waste water treatment plant located in La Tebaida Quindío was carried out, using control parameters such as Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand, Total Suspended Solids, Sedimentable Solids, pH, Temperature, alkalinity. With the results obtained an efficiency of organic matter removal above 60% was found (along with Solids) and the other analysis showed results of efficiency within the average established by regulations for a UASB system.

Palabras claves: Reactores UASB, Alcalinidad, Temperatura, pH, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Sedimentables, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales.

DEDICATORIA

A mis padres Maria del Pilar Cardona y Eduardo Cadena, a quienes admiro y amo, por su esfuerzo, dedicación y por estar siempre a mi lado cuando más lo necesitaba, por que este logro también es de ellos.

A mi hermano David Eduardo Cadena por su gran paciencia y colaboración ya que ha sido una compañía incansable en este ardua camino.

A toda mi familia por que cada una a puesto su granito de arena para que hoy pueda ver mi logro culminado.

A Julián Andrés Cadavid por todo el amor que me ha demostrado y por ser más que un novio un amigo incondicional con el que siempre se puede contar.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	1
1.0 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.0 JUSTIFICACIÓN.....	3
3.0 OBJETIVOS.....	4
3.1 Objetivo General.....	4
3.2 Objetivos Específicos.....	4
4.0 MARCO TEÓRICO.....	5
4.1 Clases de Aguas Residuales.....	5
4.2 Agua Residual Urbana de Origen Domestico.....	5
4.3 Tratamiento Anaerobio.....	8
4.4 Mecanismo de la Digestión Anaerobia.....	9
4.5 Reactor UASB.....	10
4.6 Parámetros de Evaluación de un Reactor UASB.....	12
5.0 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA.....	14
5.1 Estructura de Entrada.....	14
5.2 Rejillas de Cribado.....	14
5.3 Desarenador.....	15
5.4 Reactor UASB.....	16
5.5 Lechos de Secado.....	17
5.6 Manejo de Gases.....	18
6.0 METODOLOGÍA.....	20
6.1 Recolección y Preservación de Muestras.....	20
6.2 Determinación del Caudal.....	22
6.3 Demanda Química de Oxígeno.....	23
6.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	27
6.5 Sólidos Suspendidos Totales.....	30
6.6 Sólidos Sedimentables.....	32
6.7 Alcalinidad.....	34
6.8 Temperatura y pH.....	36
7.0 DESARROLLO DE LA PASANTÍA.....	39
8.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
9.0 CONCLUSIONES.....	55
10. RECOMENDACIONES.....	56
11. BIBLIOGRAFÍA.....	57
12. ANEXOS.....	61
GLOSARIO.....	58

LISTA DE TABLAS

TABLA # 1 COMPOSICION TIPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA BRUTA.....	7
TABLA # 2 VARIACIONES EN LOS VOLUMENES DE LOS REACTIVOS PARA LA DETERMINACION DE LA DQO.....	26
TABLA # 3 SEGUIMIENTO DEL CAUDAL.....	41
TABLA # 4 SEGUIMIENTO DE LA TEMPERATURA.....	43
TABLA # 5 SEGUIMIENTO DEL pH.....	46
TABLA # 6 SEGUIMIENTO ALCALINIDAD.....	47
TABLA # 7 SEGUIMIENTO SOLIDOS SEDIMENTABLES.....	50
TABLA # 8 SEGUIMIENTO DE LA DQO.....	52
TABLA # 9 SEGUIMIENTO SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	54
TABLA # 10 SEGUIMIENTO DE LA DBO.....	54

LISTA DE FIGURAS

FIG 1 SECUENCIA DE PROCESOS EN LA DIGESTION ANAEROBIA DE MACROMOLECULAS COMPLEJAS.....	10
FIG 2 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN SISTEMA UASB.....	11

LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA # 1 SEGUIMIENTO CAUDALES AFLUENTE – EFLUENTE.....	42
GRAFICA # 2 SEGUIMIENTO TEMPERATURAS.....	44
GRAFICA # 3 COMPORTAMIENTO DEL pH.....	47
GRAFICA # 4 EFICIENCIA DE REMOCION SOLIDOS SEDIMENTABLES.....	50
GRAFICA # 5 EFICIENCIA DE REMOCION DQO.....	52
GRAFICA # 6 COMPORTAMIENTO DE LA ALCALINIDAD.....	48

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A PREPARACION DE REACTIVOS.....	62
ANEXO B FOTOGRAFÍAS.....	64
ANEXO C ESTANDARIZACION DE SOLUCIONES.....	66
ANEXO D RESULTADOS OBTENIDOS.....	68
ANEXO E DECRETO 1594 DE 1984.....	91

LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA 1.....	15
FOTOGRAFIA 2.....	16
FOTOGRAFIA 3.....	17
FOTOGRAFIA 4.....	18
FOTOGRAFIA 5.....	19
FOTOGRAFIA 6.....	21
FOTOGRAFIA 7.....	64
FOTOGRAFIA 8.....	64
FOTOGRAFIA 9.....	64
FOTOGRAFIA 10.....	64
FOTOGRAFIA 11.....	64
FOTOGRAFIA 12.....	64
FOTOGRAFIA 13.....	64
FOTOGRAFIA 14.....	65
FOTOGRAFIA 15.....	65
FOTOGRAFIA 16.....	65
FOTOGRAFIA 17.....	65
FOTOGRAFIA 18.....	65
FOTOGRAFIA 19.....	65

INTRODUCCIÓN

Debido al alto crecimiento de la población, ligado directamente al crecimiento de las áreas urbanas y rurales, la disposición de las aguas residuales domésticas e industriales se ha convertido en los últimos años en un problema serio, que ha repercutido directamente en el medio ambiente, ocasionando problemas graves de contaminación, especialmente en países como el nuestro en vías de desarrollo.

Las aguas residuales son normalmente vertidas a cuerpos de agua, sin recibir un adecuado tratamiento. En la actualidad dichos cuerpos de agua, principalmente ríos han reducido notablemente su capacidad de dilución debido a muchos factores, relacionados con la carencia del recurso hídrico “agua”.

Hoy en día la tecnología aplicada al tratamiento de residuos líquidos ha evolucionado considerablemente planteando alternativas innovadoras cada vez más económicas y reducidas en espacio. Tal es el caso de la biotecnología anaerobia UASB (Uplow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) que ha sido ampliamente demostrada por investigaciones realizadas a escala piloto y real en Brasil, India e Indonesia entre otros, a sí mismo en Colombia con muy buenos resultados casos PTAR “Río Frío” – Bucaramanga y “El Vivero” - Calí.

El curso de este sistema es afectado fuertemente por un número de factores. La comprensión de estos parámetros y el saber manejar adecuadamente situaciones imprevistas contribuye a aumentar la eficiencia del proceso. Por consiguiente en este proyecto se pretende realizar la evaluación fisicoquímica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR “La Tebaida”; que al funcionar adecuadamente se espera se convierta en una obra de gran utilidad en la región.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del municipio de La Tebaida, la cual es manejada por la empresa ESAQUIN.SA.ESP, emplea un sistema anaerobio con reactores UASB (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y manto de lodos), cuyo fin es el de corregir las características indeseables del agua residual doméstica proveniente de este municipio. El curso del proceso puede verse afectado por diversos factores y para que su aplicación sea óptima se requiere la determinación de parámetros fisicoquímicos como Temperatura, pH, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Alcalinidad, Sólidos Sedimentables (SS) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), con la finalidad de determinar el desempeño de la planta y obtener un proceso eficaz.

2. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales producidas por el municipio de La Tebaida requieren tratamiento antes de su vertimiento o su reutilización. Dicho tratamiento deberá permitir de acuerdo a las exigencias del Decreto 1594 de 1984, una remoción de la carga orgánica y de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales a su llegada a la PTAR y una calidad compatible con el uso previsto del efluente aguas abajo del sitio de disposición, para ello cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales construida en el año 1997 por la Gobernación del Quindío; esa planta es del tipo anaerobio y cuenta con los procesos de tratamiento preliminar compuesto por cribado, desarenación y medición de caudales; el tratamiento primario lo ejecutan dos unidades en paralelo de flujo ascendente (UASB). Tiene además un sistema de manejo de lodos conformado por estación de bombeo y lechos de secado.

La evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales que emplea reactores UASB requiere la determinación de parámetros considerados de control, en función de los cuales se puede determinar las eficiencias de remoción. Los considerados principales son la DBO₅, DQO, pH, Alcalinidad, Temperatura, Sólidos Sedimentables y Sólidos Suspendidos Totales.

En vista a lo anterior se requiere estudiar el desempeño de la PTAR del municipio de La Tebaida empleando los parámetros de control con el fin de garantizar que el funcionamiento del proceso sea el adecuado y así lograr una protección efectiva del medio ambiente.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en el municipio de La Tebaida mediante los parámetros fisicoquímicos de control.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar la forma de muestreo y las técnicas de aplicación para los ensayos de laboratorio.
- Realizar los análisis de DQO, DBO, Temperatura, pH, Alcalinidad, Sólidos Sedimentables y Sólidos Suspendidos Totales.
- Analizar los resultados de las pruebas Fisicoquímicas y determinar la eficiencia de la PTAR.

4. MARCO TEÓRICO

El hombre ha utilizado el agua, no sólo para su consumo sino, con el paso del tiempo, para su actividad y para su confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos. De aquí surge la denominación de aguas residuales.

Contaminación a los efectos de la ley de aguas, es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua, que de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

4.1 CLASES DE AGUAS RESIDUALES

AGUAS BLANCAS O DE LLUVIA: Son aguas procedentes de drenajes o de escorrentía superficial, caracterizándose por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación. Las cargas contaminantes se incorporan al agua al atravesar la lluvia la atmósfera, o por el lavado de superficies y terrenos.

AGUAS NEGRAS O URBANAS: Son aguas procedentes de los vertidos de la actividad humana, doméstica, agrícola, industrial, etc. Sus volúmenes son menores, sus caudales mas continuos y su contaminación mucho mayor.

Estas aguas pueden conducirse por un solo conducto (sistema unitario), o por conductos separados (sistema separativo).

4.2 AGUA RESIDUAL URBANA DE ORIGEN DOMÉSTICO

Los compuestos químicos que se hallan presentes son muchos. A título ilustrativo, se pueden citar: urea, albúminas, proteínas, ácido acético y láctico; bases

jabonosas y almidones; aceites: animales, vegetales y minerales; hidrocarburos; gases: sulfhídrico, metano, etc; sales: bicarbonatos, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, etc.

La composición del agua residual considerando el tipo de sustancia incorporada es:

- a) Materia líquida con elementos disueltos.
- b) Materia sólida.
- c) Materia viva.

El contenido total de materia sólida contenida en el agua se define como sólidos totales (ST), comprendiendo los sólidos tanto orgánicos como inorgánicos. Estos pueden encontrarse como:

- Sólidos disueltos (SD) que no sedimentan encontrándose en el agua en estado iónico o molecular.
- Sólidos en suspensión (SS), que pueden ser:
 - ↪ Sedimentables (Ss), que por su peso pueden sedimentar fácilmente en un periodo de tiempo.
 - ↪ No sedimentables (Sc), que no sedimentan tan fácilmente por su peso específico próximo al del líquido o por encontrarse en estado coloidal.

Los sólidos orgánicos proceden de la actividad humana, siendo de origen animal y/o vegetal. Contienen principalmente C, H, O, así como N, P, S y K.

Es el caso de las proteínas, de los hidratos de carbono, de las grasas, etc. Su característica es la posibilidad de degradación y descomposición por reacciones químicas o acciones enzimáticas de los microorganismos. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no degradables, tales como minerales, arenas, tierras, etc.

Entre la materia viva incorporada a las aguas, contemplada bajo la denominación de microorganismos, pueden citarse: virus, algas, protozoos, bacterias, hongos, insectos, rotíferos, etc.

A continuación se presenta una tabla que describe la composición típica del agua residual doméstica.

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACIÓN		
		DEBIL	MEDIA	FUERTE
Sólidos Totales (ST)	mg/L	350	720	1200
Disueltos Totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos Suspendidos (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos Sedimentables	mg/L	5	10	50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ , 20 °C)	mg/L	110	220	400
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno (Total en la forma N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (Total en la forma P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfato	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes Totales	n.º/100 mL	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁸ -10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	µg/L	<100	100-400	>400

Tabla # 1 Composición típica del agua residual doméstica bruta

4.3 TRATAMIENTO ANAEROBIO

Según Lettinga et. al. (1989), el tratamiento anaerobio es una tecnología relativamente nueva, que ofrece muchas posibilidades:

Lograr una protección efectiva del medio ambiente a bajo costo.

Para países en desarrollo se hace accesible (importación no costosa de equipos).

Para recuperar/preservar recursos y estimular la producción agrícola.

Un sistema de tratamiento anaerobio tenderá a desarrollar una población bacteriana compatible con la naturaleza de la materia orgánica y de las cargas hidráulicas. En un sistema de tratamiento “maduro” (que tiene una población compatible con el material orgánico del efluente) son importantes para la eficiencia de remoción del material orgánico biodegradable los siguientes factores:

- La naturaleza del material orgánico a ser digerido.
- La existencia de factores ambientales adecuados para la digestión anaerobia.
- Tamaño de la población bacteriana (eficiencia de retención de lodo en el sistema).
- Intensidad de contacto entra la materia orgánica del afluente y la población bacteriana.
- Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema.

4.4 MECANISMO DE LA DIGESTION ANAEROBIA

Para la digestión anaerobia de proteínas, carbohidratos y lípidos, se distinguen cuatro etapas diferentes:

HIDRÓLISIS: El proceso requiere la participación de las llamadas exoenzimas que son excretadas por las bacterias fermentativas y permiten el desdoblamiento de la materia orgánica.

ACIDOGÉNESIS: Los compuestos disueltos, generados en el proceso de hidrólisis, son absorbidos en las células de las bacterias fermentativas y después por las acidogénicas, excretados como sustancias orgánicas simples como ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácido láctico y compuestos minerales como CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S , etc.

ACETOGÉNESIS: En esta etapa, dependiendo del estado de oxidación del material orgánico a ser digerido, la formación del ácido acético puede ser acompañada por el surgimiento de CO_2 o H_2 .

METANOGÉNEISIS: En general es el paso que limita la velocidad del proceso de digestión. El metano es producido por las bacterias acetotróficas a partir de la reducción del ácido acético o por las bacterias hidrogenotróficas a partir de la reducción del CO_2 .

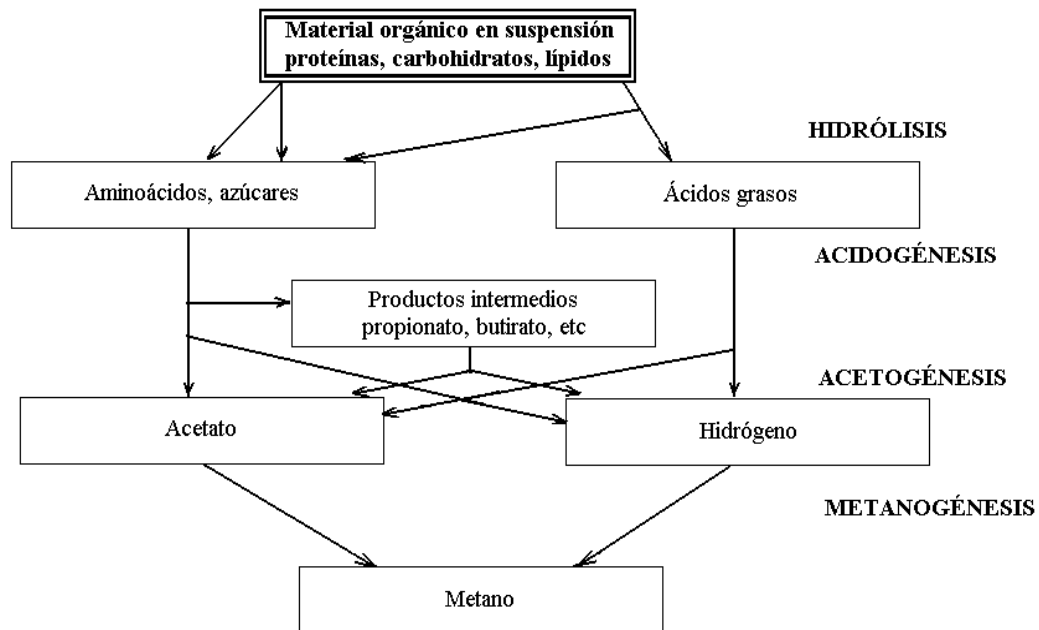


Fig. 1 Secuencia de procesos en la digestión anaerobia de macromoléculas complejas

4.5 REACTOR UASB

Una representación esquemática de un sistema UASB se ilustra en la figura 2. El UASB (manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente) es un tanque que tiene un lodo anaeróbico, el cual tiene buenas propiedades de sedimentación. La fuente de agua residual “afluente” es alimentada dentro del fondo del tanque donde se pone en contacto con el lodo (“contacto lodo-agua residual”). La degradación anaeróbica de los sustratos orgánicos ocurre en el lecho del lodo, donde se produce el biogás. El flujo combinado del agua residual y el biogás, puede expandir algunos de los sólidos del lodo a la parte superior del reactor. Un “separador de tres fases” esta situado en la parte superior del reactor para separar el biogás, agua y lodo.

El biogás es captado bajo una campana y conducido hacia la superficie del reactor. Algunos de los sólidos son arrastrados con el agua, hacia el sedimentador, situado encima de la campana de gas donde los sólidos sedimentan, y retornan al manto de lodos. El agua residual tratada “efluente” cae dentro de un canal situado en la parte superior del reactor, donde es descargado.

El propósito del tratamiento anaeróbico es eliminar los componentes de la DQO_{BD} (DQO biodegradable) del agua residual.

El evento mas importante durante la degradación anaeróbica, que contribuye al efecto del tratamiento es la conversión de la DQO del agua residual a gas metano, el cual escapa del agua residual.

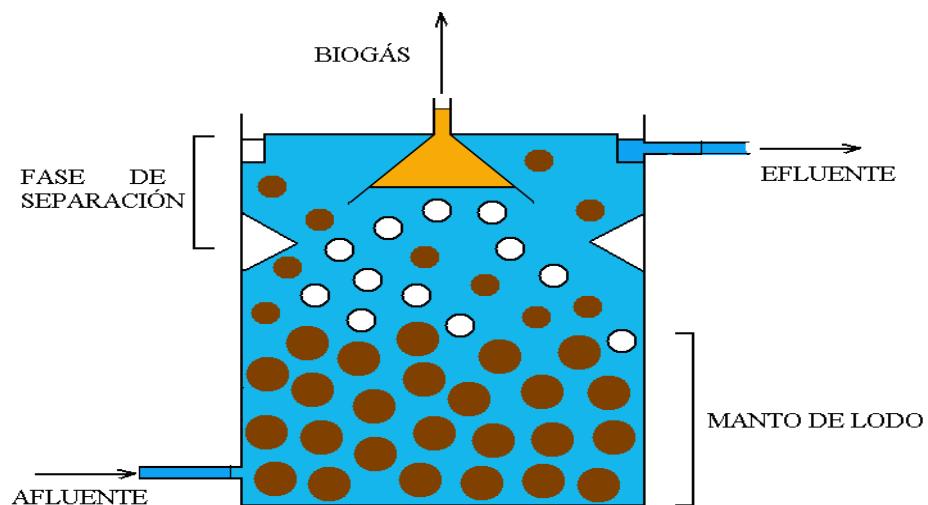


Fig. 2 Representación esquemática de un sistema UASB. Los círculos cafés representan gránulos de lodo en el lecho del lodo, el manto de lodos y el sedimentador. Los círculos blancos representan el biogás.

4.6 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE UN REACTOR UASB

La evaluación de un reactor UASB requiere la determinación de parámetros considerados de control, en función de los cuales se puede determinar las eficiencias de remoción de los mismos, con la finalidad de determinar el desempeño del reactor.

Los parámetros utilizados en la evaluación del funcionamiento de reactores UASB, se pueden dividir, en dos tipos: Principales y auxiliares. Los considerados principales son la DQO, DBO, pH, alcalinidad y los sólidos sedimentables. Los parámetros auxiliares pueden ser: Parámetros de cuantificación de microorganismos (Coliformes fecales, colífagos), parámetros que indican la presencia y cantidad de los nutrientes (Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, fósforo).

La DQO y los ST son considerados como parámetros importantes para la evaluación del desempeño de los reactores UASB. La determinación de los sólidos suspendidos es de gran valor en el análisis de aguas contaminadas; siendo considerado como uno de los mejores parámetros usados para evaluar la contaminación de las aguas residuales domésticas y determinar la eficiencia de las plantas de tratamiento.

A continuación se describirán más detalladamente algunos de los principales parámetros de evaluación:

TEMPERATURA: Un importante aspecto dentro del proceso anaerobio es la Temperatura, según Lettinga la temperatura óptima que favorece este tipo de tratamiento se encuentra en el rango de 30 a 40 °C, por debajo de este rango la eficiencia se puede mantener pero a temperaturas menores a 15 °C el decaimiento de la bacteria anaerobia es muy alto.

PH: La producción de metano se desarrolla óptimamente a un valor de pH entre 6.5 a 7.5.

CAPACIDAD BUFFER: El contenido del reactor debe tener suficiente capacidad buffer para neutralizar una eventual acumulación de ácidos grasos volátiles evitando zonas ácidas dentro del reactor.

La DQO, DBO y los Sólidos son parámetros que sirven para evaluar los porcentajes de remoción tanto de Materia Orgánica como de Sólidos que presenta un sistema de tratamiento de Agua Residual.

5. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA

La PTAR de La Tebaida se construyó en predios rurales, en un lote localizado al occidente del casco urbano, entre la vía a la vereda el cinco y la margen izquierda de la quebrada La Jaramilla, dentro de la ronda de protección ambiental de la misma.

La planta se halla a una distancia de 1.200 m del perímetro urbano, lo cual permite en el futuro la ampliación del mismo hacia el occidente en predios de la hacienda Tequendama, que por su topografía son aptos para el desarrollo urbanístico, frenando la tendencia actual de expansión hacia otras cuencas hidrográficas al sur del casco urbano.

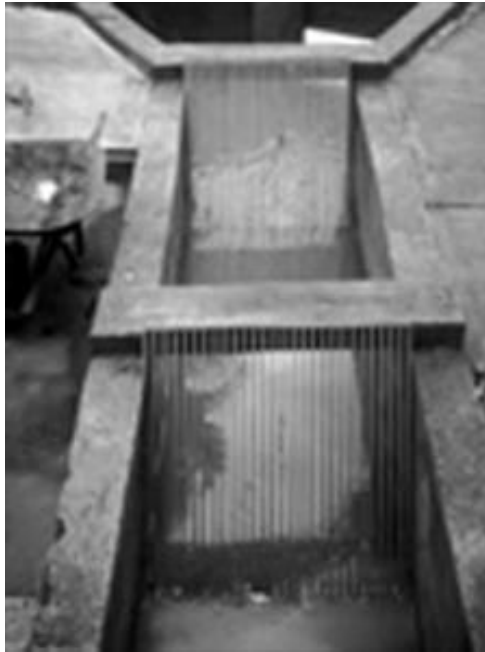
La PTAR cuenta con tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento de lodos, caseta de operación, vía de acceso, cerramiento y manejo de gases. En los siguientes acápite se hace la descripción de los componentes esenciales.

5.1 ESTRUCTURA DE ENTRADA

Consiste en una cámara rectangular de concreto reforzado a donde llegan el interceptor de la quebrada La Jaramilla, desde esta cámara el agua es conducida a un canal donde se inicia el tratamiento preliminar.

5.2 REJILLAS DE CRIBADO

Están localizadas en un canal rectangular de 0.60 m de ancho y 0.80 m de altura que da acceso hacia el desarenador. Las rejas de cribado son para limpieza manual tienen una inclinación de 45° con la horizontal y por la separación de las barras se puede considerar que la primera efectúa un cribado grueso para retener tamaños superiores a 50 mm y la segunda es de cribado medio para retener tamaños superiores a 30 mm.



Fotografía 1 Rejillas

5.3 DESARENADOR

Consiste en una estructura de flujo horizontal de sección trapezoidal de 0.30 m en la base menor, 0.60 m en la base mayor, 0.78 m de lámina máxima del agua y superficie rectangular compuesta por dos módulos en paralelo de 0.60 m de ancho, 9.00 m de largo y 1.15 m de profundidad; tienen compuertas de control al inicio.

Las normas RAS-2000 exigen un tiempo mínimo de retención de 20 segundos. La capacidad máxima del desarenador debe ser de 379.46 l/s para la cuenca de La Jaramilla.

Luego del desarenador, el agua pasa por un canal de aforo, que finaliza en un vertedero tipo Sutto.



Fotografía 2 Desarenadores

5.4 REACTOR UASB

Esta conformado por dos módulos en paralelo de 16.50 m de longitud, 9.40 m de ancho, 5.50 m de altura total y 5.00 m de lámina de agua para un volumen total de 1151.00 m³. La alimentación se realiza a través de dos tuberías de 6" por módulo que alimentan un número de 30 mangueras cada una, la salida del efluente de la planta se realiza a través de una canaleta longitudinal provista de un vertedero triangular. Cada módulo esta provisto de tres domos rectangulares construidos en concreto reforzado para la captura y evacuación de los gases generados en el proceso. La zona de sedimentación está cubierta con cúpulas de lona, cuatro por cada módulo.

Tiempo de Retencion Hidráulica = 10.5 – 7 horas

Este tiempo es teórico.



Fotografía 3 Reactores UASB

5.5 LECHOS DE SECADO

El sistema previsto para la deshidratación de los lodos digeridos provenientes del reactor UASB son los lechos de secado conformados por dos unidades en paralelo de sección cuadrada de 6.60 m de lado para un área total de 130.50 m². Los lechos consisten en medios filtrantes compuestos de grava y arena recubiertos con una capa de ladrillo de arcilla cocida colocados a junta perdida. Los lodos se evacuan de los reactores UASB mediante la apertura de válvulas de compuerta colocadas a nivel del fondo de los mismos, se recolectan en una cámara de succión y con un sistema de bombeo son transportados hasta los lechos de secado.

Los lechos están cubiertos para evitar que las altas precipitaciones de la zona interfieran con la deshidratación de los lodos.

Este componente de la PTAR aún no ha sido puesto en operación.



Fotografía 4 Lechos de Secado

5.6 MANEJO DE GASES

Los domos que cubren los reactores UASB están conectados por un sistema de tuberías cuyo objeto es conducir los gases producto de la digestión de los lodos, hasta un quemador con el fin de que estos se esparzan por la atmósfera creando problemas de malos olores en la población vecina.

El sistema cuenta con un medidor de gases y un filtro, pero estos elementos no se encuentran en funcionamiento al parecer por la poca cantidad de gases generados.

A continuación se presenta un cálculo para estimar la producción de biogás de acuerdo con las condiciones determinadas en la PTAR lo cual permite sustentar que existe un diseño inapropiado del reactor el cual permite el escape del biogás, ya que este se está generando pero no se ha podido medir. El problema del diseño radica en un mal acoplamiento entre las fibras de vidrio colocadas en el reactor para evitar el escape del gas.

Presión = 671 mmHg = 894.59 mb
 T° Afluente = 22.7 °C
 DQO removida \bar{x} = 186.90 gr/L = 1.869×10^{-4} Kg/L
 CO = 154.37 Kg/día

$$\text{Volumen Biogás Producido} = \left(\frac{1000 \text{ mb}}{894.59 \text{ mb}} \right) \left(\frac{350 \text{ mL CH}_4}{\text{gr DQO}} \right) \left(\frac{(273 + 22.7^\circ\text{C})^\circ\text{K}}{273^\circ\text{K}} \right)$$

Volumen Biogás Producido = 423.77 mL CH₄/gr DQO = 0.42337 m³ CH₄ /Kg DQO

$$\frac{1 \text{ Kg DQO}}{154.37 \text{ Kg DQO/día}} \quad \frac{0.42337 \text{ m}^3 \text{ CH}_4}{\text{X}}$$

$$\left(\frac{154.37 \text{ Kg DQO}}{\text{día}} \right) \left(\frac{0.42377 \text{ m}^3 \text{ CH}_4}{1 \text{ Kg DQO}} \right) = \boxed{65.42 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{día}}$$



Fotografía 5 Manejo de Gases.

6. METODOLOGÍA

6.1 RECOLECCIÓN Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

El éxito de un análisis de aguas depende en gran parte de las precauciones que se tengan en la toma de la misma y su forma de conservación para cada uno de los parámetros que se quieran determinar. Se debe tener una muestra que represente con exactitud el material de donde procede y evitar que se produzcan alteraciones en su composición antes que se realicen las pruebas correspondientes. Se emplearon los siguientes tipos de muestra:

MUESTRA PUNTUAL: Es una muestra recogida en un lugar y un momento determinado. Este tipo de muestra se recolecta cuando se sabe que la fuente de la que proviene es bastante constante en su composición durante un periodo considerable.

MUESTRA COMPUESTA: Son aquellas formadas por muestras individuales tomadas en diferentes momentos. La cantidad de cada muestra individual que se le añade a la mezcla compuesta debe ser proporcional al flujo de caudal en el momento en que la muestra fue tomada. Para la formación de la muestra compuesta se usa la siguiente relación:

$$\frac{V}{nQ_m} = \frac{V_i}{Q_i}$$

V = Volumen total de la muestra que se va a preparar.

n = Número de muestras que deben ser mezcladas.

Q_m = Caudal medio.

V_i = Volumen de cada muestra individual.

Q_i = Caudal instantáneo en el momento que la muestra i fue tomada.

Para determinar características o componentes especiales sujetos a cambios importantes e inevitables durante la conservación, no se deben utilizar muestras compuestas. Los análisis de este tipo se hacen en muestras individuales lo más rápidamente posible después de la recolección. Ejemplo: Los Gases Disueltos, Cloro Residual, Sulfuros Solubles, Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto.

El muestreo de afluente y efluente es la única forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Más adelante se enunciarán los tiempos de muestreo y la forma de preservar y recolectar las muestras para cada parámetro.

El volumen mínimo de muestra debe estar entre 1 y 2 Lt. Antes de llenar el envase con la muestra, se debe lavar 2 o 3 veces el recipiente con el agua que se va a recolectar.



Fotografía 6 Toma de muestra Afluente

6.2 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

Este es el parámetro más importante para la caracterización de las aguas, ya sea la composición de la muestra en concentración depende del volumen de muestra que este circulando. La cantidad de una muestra parcial a analizar debe ser proporcional al caudal que se tiene en el momento de la colección.

El aforo es un gran auxiliar en las técnicas de muestreo, el cual no es muy fácil de medir en forma real por la serie de inconvenientes que lleva cada método de medición. Las fallas que se presentan son de toda índole de equipos, del sitio, en los intervalos, en los cálculos.... etc.

PROCEDIMIENTO

A. Para determinar el caudal a la entrada (afuente) de la planta se emplea el vertedero suttro, realizando lectura directa en el y aplicando la siguiente formula:

$$Q = 0.554 \times (H - 0.0216)$$

Q = Caudal L/s

H = Altura del agua leída en el vertedero en mm.

B. La determinación a la salida de la planta (efluente) se realiza empleando el aforo volumétrico, el cual se realiza calculando la cantidad de agua que se recolecta en un recipiente en un determinado tiempo y se aplica la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = Caudal L/s

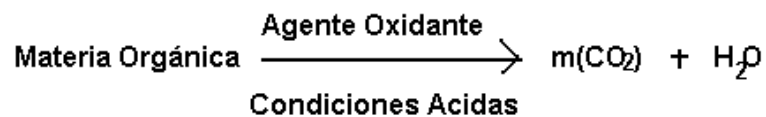
V = Volumen en litros

t= Tiempo en segundos.

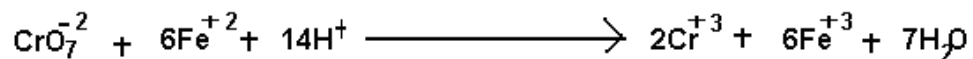
6.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO

La demanda química de oxígeno (DQO) se define como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar todos los agentes reductores presentes en un agua residual, tales como la materia orgánica, sean ellos o no biológicamente asimilables. En otras palabras, la DQO es la cantidad de oxígeno que sustancias reductoras, como la materia orgánica, presentes en el agua, necesitan para descomponer la materia sin intervención de los microorganismos.

La oxidación bajo ciertas condiciones ácidas, temperatura y tiempo, transforma la materia orgánica en bióxido de carbono y agua.



El método está basado en una oxidación de la materia orgánica con un exceso de dicromato de potasio en un medio fuertemente ácido. Al final de la reacción se determina el exceso de dicromato por titulación con FAS (Sulfato Ferroso Amoniacal) en presencia de un indicador.



MUESTREO Y PRESERVACIÓN

- Las muestras deben recogerse preferiblemente en recipientes de vidrio, si esto no es posible pueden usarse recipientes de plástico estrictamente libres de materiales orgánicos contaminantes.

- Para este caso en particular se tomaran muestras integradas con periodos de composición de 1 a 2 horas una vez por semana.
- Las aguas residuales con materiales sedimentables deben ser homogenizados, para estar seguros de tener una muestra representativa.
- Las muestras pueden ser preservadas, agregándoles 2 mL de H_2SO_4 concentrado por litro de muestra.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Matraz fondo Redondo con junta esmerilada 300 mL
- Placa o manta de calentamiento
- Condensadores
- Soporte, pinzas para refrigerante , nueces
- Pipetas, buretas, probetas, Erlenmeyer, frasco lavador

REACTIVOS

- Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0.25 Normal
- Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Sulfato de Mercurio ($HgSO_4$), cristales tipo analítico
- Agua Destilada
- Sulfato de Plata (Ag_2SO_4)
- Sulfato Ferroso Amoniacal $Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
- Ferroina Solución indicadora

PROCEDIMIENTO

- A.** Colocar 0.2g, una pizquita en la punta del cuchillo, de sulfato de mercurio, en el frasco de reflujo.
- B.** Añadir 20 mL de muestra o una alícuota diluida a 20 mL con agua destilada y mezclar rotando el balón. Si se trabaja con FAS 0.05N tomar 10 mL de muestra o alícuota.
- C.** Añadir 10 mL de solución estándar de dicromato de potasio para FAS 0.10N o 5 mL si el FAS es 0.05N.
- D.** Adicionar 20 mL de ácido sulfúrico (mezclado con sulfato de plata) para FAS 0.1N o 15 mL para FAS 0.05N
- E.** Reflujar por 2 horas, esperar a que se enfríe naturalmente un poco y lavar el condensador por dentro con agua destilada.
- F.** Diluir la mezcla con agua destilada a cerca del doble de su volumen y titular con solución de sulfato ferroso amoniacal, en presencia de 2 gotas de ferrioina como indicador. Se toma como punto final el viraje de color azul-gris a rojo marrón. El color azul gris puede reaparecer en algunos minutos y esto no debe tenerse en cuenta
- G.** Un blanco que contenga 20 mL de agua destilada, se somete al mismo procedimiento paralelamente.
- h.** Calcular la concentración de DQO.

Puede usarse un volumen diferente de muestra, pero ajustando a esta nueva medida los demás volúmenes, pesos y normalidades, lo cual puede hacerse con los valores reportados en la tabla 1.

TABLA # 2. Variaciones en los volúmenes de los reactivos para la determinación de la DQO según el volumen de muestra utilizado.

Tamaño de la muestra (mL)	mL de Dicromato 0.25N	mL de Acido Sulfúrico	g de Sulfato de mercurio	Normalidad del Sulfato Ferroso Amoniacal	Volumen antes de titulación (mL)
10	5	15	0.1	0.05	70
20	10	30	0.2	0.10	140
30	15	45	0.3	0.15	210
40	20	60	0.4	0.20	280
50	25	75	0.5	0.25	350

CÁLCULOS

$$DQO = \frac{(B - M) \times N \times 8000}{\text{mL de muestra}}$$

B = mililitros de la solución de sulfato ferroso amoniacal necesarios para titular el blanco.

M = mililitros de la solución de sulfato ferroso amoniacal gastados en la titulación de la muestra.

N = Normalidad del $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

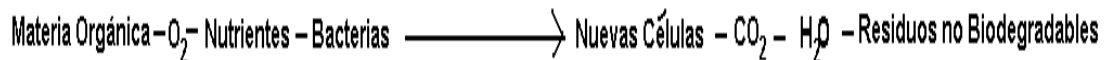
$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{DQO_A - DQO_E}{DQO_A} \times 100$$

6.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se usa como medida de la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia.

La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: Materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos. Nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas. Compuestos químicos reductores (iones ferroso, sulfitos, sulfuros) que se oxidan por oxígeno disuelto.

Reacción Bioquímica



Se ha encontrado por experiencia que un porcentaje razonablemente grande de la DBO total se logra en cinco días, aproximadamente 70-80% en aguas residuales domésticas y muchas industriales, por consiguiente el periodo de cinco días se ha aceptado como patrón de incubación.

El método consiste en la incubación de las muestras en botellas herméticamente cerradas, para evitar la entrada de aire, bajo condiciones específicas y en un tiempo determinado. Se mide el Oxígeno Disuelto (OD) inicial y después de la incubación. La DBO_5 se calcula como la diferencia entre el OD final e inicial.

Muchas aguas residuales contienen mas material demandante de oxigeno que el OD disponible, es necesario diluir la muestra antes de la incubación para conducir la demanda y suministrar un balance apropiado.

MUESTREO Y PRESERVACIÓN

- Las muestras deben recogerse preferiblemente en recipientes de vidrio o plástico.
- Las muestras pueden ser preservadas al refrigerarse por un periodo de 6 horas.
- Para este parámetro se tomaran muestras puntuales una vez en el mes.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Botellas Winkler de 250-300 mL de capacidad
- Incubadora
- Equipo para determinar OD.

PROCEDIMIENTO

A. Se debe realizar una dilución de la muestra empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de Dilución} = \frac{1440}{\text{DQO} \times 0,5}$$

B. Determinar el OD inicial a la muestra sin diluir. Esta determinación se omite generalmente en muestras de las que se conoce tienen un OD prácticamente de cero.

- C.** Incubar el blanco del agua de dilución y las muestras por cinco días en el oscuro a 20 °C. Los frascos de incubación se deben llenar completamente y ser tapados de manera que no queden burbujas de aire aprisionadas.
- D.** Determinar el OD en las muestras incubadas y en el blanco.

CÁLCULOS

$$DBO_5 = (\text{OD Blanco} - \text{OD Muestra}) \times \frac{300 \text{ mL}}{\text{mL incubados}}$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{DBO_A - DBO_E}{DBO_A} \times 100$$

6.5 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los Sólidos Suspendidos están constituidos por la materia suspendida que es retenida sobre un filtro de fibra de vidrio, cuando se ha pasado una muestra de agua residual previamente agitada. Por esto la determinación de los sólidos suspendidos es de gran valor en el análisis de aguas contaminadas, siendo considerado como uno de los parámetros mejor usados para evaluar la contaminación de las aguas residuales domésticas y determinar la eficiencia de las plantas de tratamiento.

En los trabajos de control de polución de las corrientes todos los sólidos suspendidos se consideran tienden a ser sólidos estables. La deposición ocurre a través de la floculación biológica o química. La medición de los sólidos suspendidos se considera una variable tan significativa como la DBO.

MUESTREO Y PRESERVACIÓN

- Las muestras deben recogerse preferiblemente en recipientes de vidrio o plástico.
- Las muestras pueden ser preservadas al refrigerarse por un periodo de 24 horas.
- Para este parámetro se tomaran muestras puntuales una vez en el mes.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Capsulas de porcelana de 100 mL
- Mufla.
- Filtro de fibra de vidrio
- Bomba de vacío

- Campana de extracción.
- Desecador
- Balanza Analítica
- Pinzas.

PROCEDIMIENTO

- A. Se debe realizar una dilución de la muestra con agua destilada en una proporción 50:50.
- B. Llevar la fibra de vidrio a la mufla a 100 °C por 10 minutos
- C. Llevar la fibra al desecador por 10 minutos y tomar el peso inicial.
- D. Montar la fibra en la unidad de filtro, agregar 100 mL de la muestra previamente agitada y realizar la filtración.
- E. Llevar de nuevo la fibra de vidrio a la mufla a 103 °C por 15 minutos.
- F. Llevar la fibra al desecador por 15 minutos y luego tomar el peso final.

CÁLCULOS

$$\text{mg/Lt} = \frac{(\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) \times (1.000.000)}{100 \text{ mL}}$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{SS_A - SS_E}{SS_A} \times 100$$

6.6 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Las partículas sólidas presentes en un agua pueden sedimentarse debido a su densidad o pueden permanecer flotando en ella. Muchos procesos industriales arrojan en sus afluentes cantidades apreciables de estos materiales influyendo adversamente en los cuerpos de aguas receptoras obstruyendo el paso de la luz solar, por lo tanto disminuye la actividad fotosintética de las planta acuáticas trayendo como consecuencia la disminución de la concentración de OD en el agua, lo que induce a la creación de un estado anaerobio indeseable.

Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un período de una hora y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple.

MUESTREO Y PRESERVACIÓN

- Las muestras deben recogerse preferiblemente en recipientes de vidrio o plástico.
- Este parámetro se determinara dos veces por semana en el afluente y en el efluente.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Cono Imhoff.
- Cronometro

PROCEDIMIENTO

- a. Tome una muestra de 1L de agua residual a monitorear.
- b. Coloque la muestra en un cono Imhoff.
- c. Someta a sedimentación por gravedad la muestra, durante una hora, hasta que se estabilice la medida de sólidos depositados en el fondo del cono.
- d. Lea y registre el volumen de los sólidos en mL/L.

CÁLCULOS

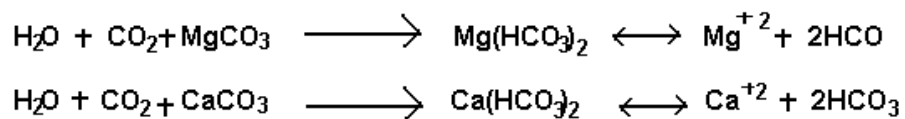
$$\text{SST (mL/L)} = \frac{\text{Volúmen en mL sólidos sedimentados}}{1\text{L de agua}}$$

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{SS}_A - \text{SS}_E}{\text{SS}_A} \times 100$$

6.7 .ALCALINIDAD

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos.

La alcalinidad en la mayor parte de los recursos acuíferos naturales es causada por las sales de bicarbonato disueltos, que se forman por la acción del CO₂ sobre los materiales básicos.



Otras sales débiles como silicatos, fosfatos, boratos, también pueden contribuir en pequeñas cantidades a la alcalinidad.

Algunos ácidos orgánicos poco resistentes a la oxidación biológica forman sales que aumentan la alcalinidad en las aguas contaminadas y en estado anaerobio, se pueden producir sales de ácidos débiles, tales como propiónico, acético e hidrosulfúrico que pueden contribuir a la alcalinidad total.

El método de análisis consiste en titular la muestra hasta un pH de 3.7 (cambio del metil naranja); en esta titulación se determina la alcalinidad total correspondiente; causada por carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos o las combinaciones de estos en la muestra.

MUESTREO Y PRESERVACIÓN

- Las muestras deben recogerse preferiblemente en recipientes de vidrio o plástico.
- Las muestras pueden ser preservadas al refrigerarse por un periodo de 24 horas.

- Para este parámetro se tomaran muestras puntuales dos veces por semana.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Potenciómetro.
- Bureta de 25 ó 50 mL.
- Soporte para bureta
- Pipetas volumétricas de 50 ó 100 mL.
- Erlenmeyer de 250 mL.

REACTIVOS

- Agua destilada
- Ácido sulfúrico 0,1 N.
- Ácido sulfúrico 0,020 N. .
- Solución patrón de carbonato de sodio 0,020 N.

PROCEDIMIENTO

- Se toman 50 mL de muestra con una pipeta volumétrica y se vierten a un frasco erlenmeyer de 250 mL.
- Se introduce el electrodo previamente calibrado para medición de pH.
- Se mide el pH inicial con el potenciómetro y se titula con H₂SO₄ 0.02 N sobre una superficie blanca hasta que la lectura del aparato marque pH= 4.3. Se anota el gasto de ácido usado hasta pH= 4.3.

CÁLCULOS

$$\text{mg/L CaCO}_3 = \frac{(\text{mL H}_2\text{SO}_4) \times (0.02\text{N}) \times (50000)}{\text{mL de muestra}}$$

6.8 TEMPERATURA Y pH

El término pH es usado para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución e indica la actividad del ión hidrógeno más que su concentración. Este parámetro es de gran importancia en casi todas las fases de la Ingeniería Sanitaria. En el campo de los suministros de agua, en la coagulación química, en la desinfección, en el ablandamiento y en el control de la corrosión. En el tratamiento de aguas servidas y de los desechos industriales por medio de procesos biológicos se requiere un control del pH dentro de una zona favorable a los microorganismos comprometidos en el tratamiento. Por las relaciones existentes entre el valor del pH, la alcalinidad y la acidez es importante tener en cuenta los aspectos teóricos y prácticos del valor del pH.

El concepto de temperatura se deriva de la idea de medir el calor o frialdad relativos y de la observación de que el suministro de calor a un cuerpo conlleva un aumento de su temperatura mientras no se produzca la fusión o ebullición. En el caso de dos cuerpos con temperaturas diferentes, el calor fluye del más caliente al más frío hasta que sus temperaturas sean idénticas y se alcance el equilibrio térmico. Por tanto, los términos de temperatura y calor, aunque relacionados entre sí, se refieren a conceptos diferentes: la temperatura es una propiedad de un cuerpo y el calor es un flujo de energía entre dos cuerpos a diferentes temperaturas.

MUESTREO Y PRESERVACIÓN

- Las muestras deben recogerse preferiblemente en recipientes de vidrio o plástico.
- Se debe analizar inmediatamente

▪ **MATERIALES Y EQUIPOS**

- Ph-metro electrónico.
- Termómetro
- Gasa.
- Recipiente en vidrio.
- Frasco lavador

REACTIVOS

- Agua Destilada

CALIBRACIÓN

Se debe calibrar el potenciómetro empleando las soluciones buffer a pH 7 y 4 respectivamente.

PROCEDIMIENTO

- a. En el sitio de captación de la muestra, introduzca el termómetro y lea cuidadosamente el valor de la temperatura. Regístrelo en la cartera de campo, junto con la hora y fecha de toma.
- b. Limpie con agua destilada y gasa el termómetro como medida de mantenimiento preventivo del elemento.
- c. Tome una muestra del agua residual recolectada y en el laboratorio lea su valor de pH, teniendo en cuenta que debe introducir el electrodo en la muestra antes de encender el lector de pH. Registre la lectura en la cartera de campo junto con la hora y fecha de la toma.

- d. Una vez halla concluido el paso anterior, apague el lector de pH y en un recipiente de vidrio o plástico de boca ancha y que contenga agua destilada, lave el electrodo y séquelo, con el frasco lavador y la gasa respectivamente. Recuerde mantener siempre el electrodo apagado cuando no este en uso y sumergido en agua destilada para procurarle una mayor vida útil. Sumado a lo anterior, lea las instrucciones del equipo y aplíquelas según sea el caso.

7. DESARROLLO DE LA PASANTÍA

La pasantía se inicio en el mes de Agosto y continuó durante los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre del año 2005, periodo durante el cual no se pudieron llevar a cabo los análisis debido a que apenas se estaban consiguiendo los materiales requeridos y adecuando las instalaciones destinadas para tal fin, se cumplió labores en el laboratorio de agua potable y se realizaron visitas de control y reconocimiento a la planta de aguas residuales de la Tebaida, a la vez que se recolectaba información sobre el proceso de tratamiento y la forma de llevar a cabo los análisis en la PTAR. En los meses de Enero, Febrero, Marzo. Abril y Mayo del año 2006 se debió continuar con el desarrollo de la pasantía ya que se contaba con el material requerido para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en el anteproyecto de la siguiente manera:

Durante el mes de Enero se continuó con la recolección de información sobre el funcionamiento y la evaluación de los sistemas de tratamiento UASB, lo cual se siguió realizando durante todo el periodo de la pasantía. También se establecieron las técnicas a emplear en la determinación de los parámetros fisicoquímicos (metodología), se adecuo el laboratorio donde se realizarían los análisis y se implementaron los formatos para la recolección de los datos que se obtenían durante cada análisis realizado.

En Febrero se inicio la toma de muestras y la evaluación fisicoquímica de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Tebaida, este proceso se continuó durante los meses posteriores hasta su finalización en el mes de Mayo.

Diariamente se visitaba la planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de llevar a cabo los muestreos y los análisis fisicoquímicos que se implementaron en el laboratorio ubicado en las mismas instalaciones de la PTAR (pH, Alcalinidad,

DQO, Temperatura, Caudal), pero a la vez estas visitas tenían como función mantener un control sobre las condiciones en las cuales se encontraba operando la planta.

Las pruebas de DBO y Sólidos Suspendidos Totales solo se realizaron en el periodo Abril – Mayo, una vez por mes, ya que la empresa no contaba con los materiales requeridos para su implementación. Debido a lo anterior se llegó a un acuerdo con el laboratorio de Aguas de La Universidad del Quindío y se autorizó que se llevara a cabo la prueba de esta manera.

En horas de la mañana se daba inicio a la toma de muestras en los puntos elegidos para la evaluación (Afluente, reactores y efluente), inmediatamente se leían aquellos parámetros cuya determinación debía realizarse in situ. Luego de obtenida la muestra se efectuaban las pruebas fisicoquímicas para las cuales solo se requería una muestra puntual y paralelamente se continuaba recolectando muestras para formar la muestra compuesta (Periodo de composición 1 hora) y realizar el análisis de la DQO. Todos los datos conseguidos se consignaban en los formatos de registro creados para este fin y se realizaban los cálculos pertinentes para adquirir los resultados de los parámetros efectuados.

Todos los análisis se efectuaron de acuerdo con AWWA.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Periodo de evaluación de Febrero a Mayo del 2006

- Caudal (L/s)

Dato N°	Afluente	Efluente	Dato N°	Afluente	Efluente
1	39,33	3	21	13,68	6,1
2	22,23	5,18	22	16,53	8,08
3	30,78	4,53	23	25,5	9,4
4	16,33	7,15	24	12,14	7,5
5	30,78	7,13	25	12,14	10,16
6	18,35	9,21	26	18,22	7,6
7	27,93	5,53	27	18,22	14,41
8	16,33	6,91	28	45,51	8,52
9	25,08	7,8	29	36,43	10
10	27,93	6,6	30	18,21	8,23
11	16,53	6,96	31	18,21	12,2
12	10,83	8,1	32	16,2	13,37
13	16,53	10,43	33	19,43	9,78
14	16,53	13,23	34	24,29	17,38
15	10,83	11,93	35	18,21	15
16	22,23	9,76	36	18,21	17,14
17	27,93	7,2	37	24,29	13,37
18	15,53	5,75	38	12,14	15,71
19	10,83	7,9	39	18,21	12,31
20	16,53	7,91	40	18,21	13,83
PROMEDIO				20,58	9,56

Tabla # 3 Seguimiento del Caudal

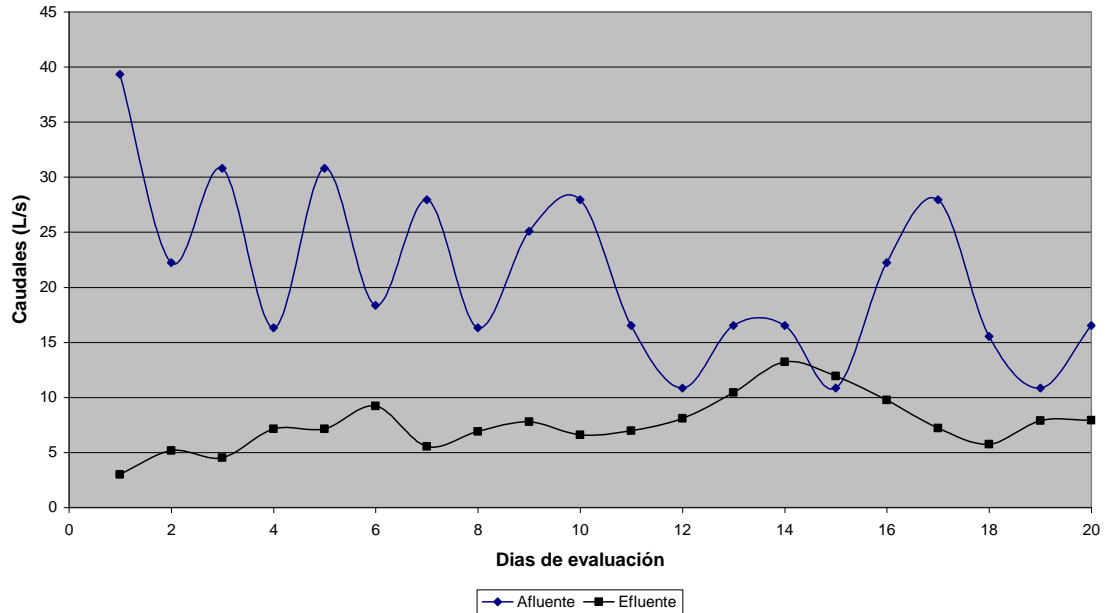
$$THR = \frac{\text{Volumen Reactor}}{Q \times \text{efluente}} = \frac{m^3}{m^3/h}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen Reactor} &= 1151m^3 \\ Q \times \text{efluente} &= 9.56L/s = 34,416m^3/h \end{aligned}$$

$$THR = \frac{1151m^3}{34,416m^3/h}$$

THR = 33.44 h

Gráfica # 1 Seguimiento Caudales Afluente-Efluente de Febrero a Mayo



La determinación de este parámetro se encuentra directamente relacionado con el Tiempo de Retención Hidráulico (THR), el cual indica el tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor UASB y por lo tanto en contacto con el lodo.

Según los cálculos realizados la planta ha estado trabajando con un THR considerablemente mayor al de diseño (10.5-7 horas), y fue diseñada para un caudal promedio de 157L/s, analizando los datos de caudal obtenidos se observa que en ningún momento se alcanza este valor.

Ante el hecho de tener un THR tan alto se podría esperar mejores eficiencias; sin embargo es de resaltar que la planta se encuentra en periodo de arranque y según la teoría la puesta en marcha de una planta de tratamiento anaeróbica consume tiempo y puede ser difícil puesto que la masa de microorganismos adaptada para las características particulares del agua residual tiene que desarrollarse.

La grafica nos muestra una gran diferencia de caudal a la entrada de la planta (afluente) en relación con el caudal de salida (Efluente) lo cual también influye para que la planta aún no alcance remociones superiores al 70% en carga orgánica.

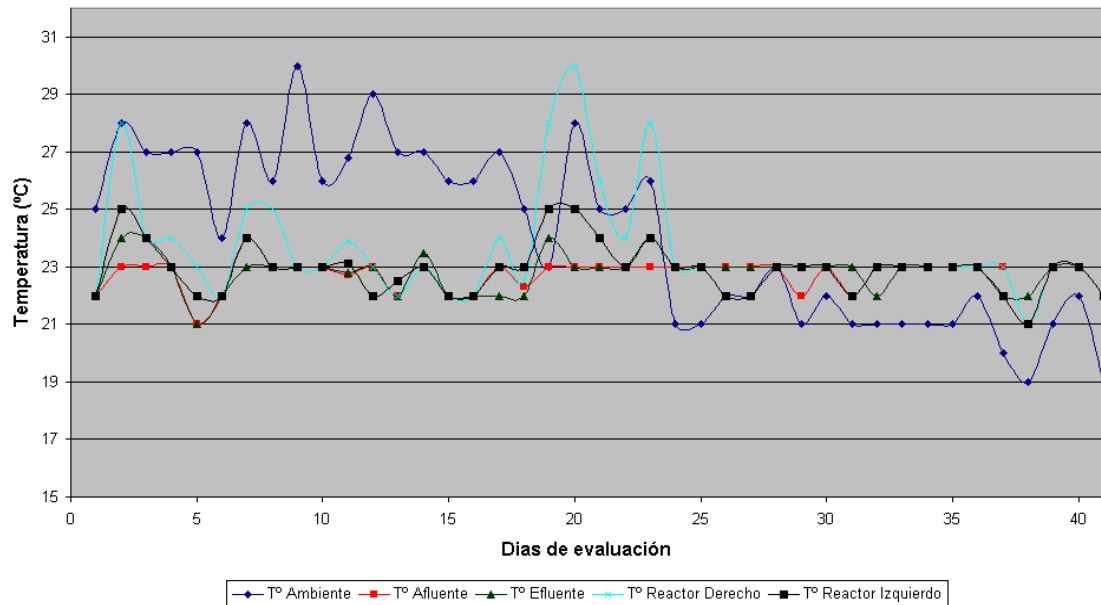
El agua que no entra a los reactores es desviada por un by-pass que se encuentra a la salida de los desarenadores, esto se realiza con el fin de evitar que haya un arrastra de lodos dentro del reactor y las eficiencias de remoción obtenidas puedan disminuir ya que el lodo apenas se esta adaptando a los condiciones de la planta.

▪ **Temperatura**

Dato N°	T Ambiente (°C)	T Afluente (°C)	T Efluente (°C)	T Reactor Derecho (°C)	T Reactor Izquierdo (°C)
1	25	22	22	22	22
2	26	23	24	26	25
3	27	23	24	24	24
4	27	23	23	24	23
5	27	21	21	23	22
6	24	22	22	22	22
7	28	24	23	25	24
8	26	23	23	25	23
9	30	23	23	23	23
10	26	23	23	23	23
11	26,8	22,7	22,8	23,9	23,1
12	29	23	23	23	22
13	27	22	22	22	22,5
14	27	23	23,5	23	23
15	26	22	22	22	22
16	26	22	22	22	22
17	27	23	22	24	23
18	25	22,3	22	22,5	23
19	23	23	24	28	25
20	28	23	23	30	25
21	25	23	23	26	24
22	25	23	23	24	23
23	26	23	24	28	24
24	21	23	23	23	23
25	21	23	23	23	23
26	22	23	23	22	22
27	22	23	23	22	22
28	23	23	23	23	23
29	21	22	23	23	23
30	22	23	23	23	23
31	21	22	23	22	22
32	21	23	22	23	23
33	21	23	23	23	23
34	21	23	23	23	23
35	21	23	23	23	23
36	22	23	23	23	23
37	20	23	22	23	22
38	19	21	22	21	21
39	21	23	23	23	23
40	22	23	23	23	23
41	19	22	22	22	22
PROMEDIO	24,11	22,7	22,79	23,54	22,91

Tabla # 4 Seguimiento de la Temperatura

Gráfica # 2 Seguimiento Temperaturas de Febrero a Mayo



Según Van Haandel y Lettinga la temperatura es el factor ambiental de mayor importancia en la digestión anaerobia de aguas residuales, dependiendo esta del clima de la región; sin embargo, siempre tendrá un valor por debajo de la temperatura óptima para la digestión anaerobia (30 a 35°C)

Las reacciones que ocurren en los procesos son reacciones químicas que se ciñen a las leyes que rigen cualquier reacción química. La temperatura es uno de los parámetros que más influyen en la velocidad de reacción.

Como se puede ver en la gráfica # 2 las temperaturas promedio en el municipio de la tebaida, corresponden a un clima de tipo subtropical donde la temperatura no esta por debajo de los 18 °C y en algunas ocasiones hasta se alcanza los 30 °C, de este modo el proceso es atractivo para la región.

Las temperaturas encontradas para el afluente, efluente y en los reactores indican que este es un proceso anaerobio de tipo mesofílico (20 a 40°C). Los datos obtenidos en el transcurso de la evaluación en los diferentes puntos de estudio presentan variaciones muy pequeñas en la temperatura lo cual indica que las

bacterias desarrolladas se encuentran en un ambiente apto para su desarrollo ya que a temperaturas por encima del rango se presenta un descenso en la tasa de crecimiento de las bacterias ocasionado por la desnaturalización de las proteínas y posiblemente de las membranas. De igual manera las bajas temperaturas afectan adversamente el proceso de producción metanogénica ya que se puede predecir que disminuyen su crecimiento. Generalmente cesan de crecer a una temperatura por encima de la congelación del agua.

El reactor derecho en ocasiones presenta variaciones más pronunciadas lo cual se debe a que este es el reactor que aún se encuentra en proceso de adaptación y por lo tanto el flujo de agua que recibe no es constante y como estos reactores se construyen bajo tierra con el fin de mantener temperaturas altas para los casos en los cuales las aguas ingresen al tratamiento con temperaturas inferiores a las requeridas, entonces al disminuir el flujo de agua residual se produce un calentamiento dentro de la unidad de UASB.

El afluente proveniente del municipio de la Tebaida ingresa a la planta con una temperatura adecuada para el proceso de tratamiento lo cual ayuda a evitar sobrecostos en el proceso y a permitir que la eficiencia de la planta no se vea afectada por este parámetro de control.

Según el Artículo 72 del Decreto 1594 del 84 la temperatura de todo vertimiento a un cuerpo de agua debe estar por debajo de los 40 °C y según las temperaturas obtenidas para el agua que sale de la PTAR (efluente), la cual en promedio se encuentra en 22 °C, este vertimiento cumple con el decreto

▪ pH y Alcalinidad (mg/L CaCO₃)

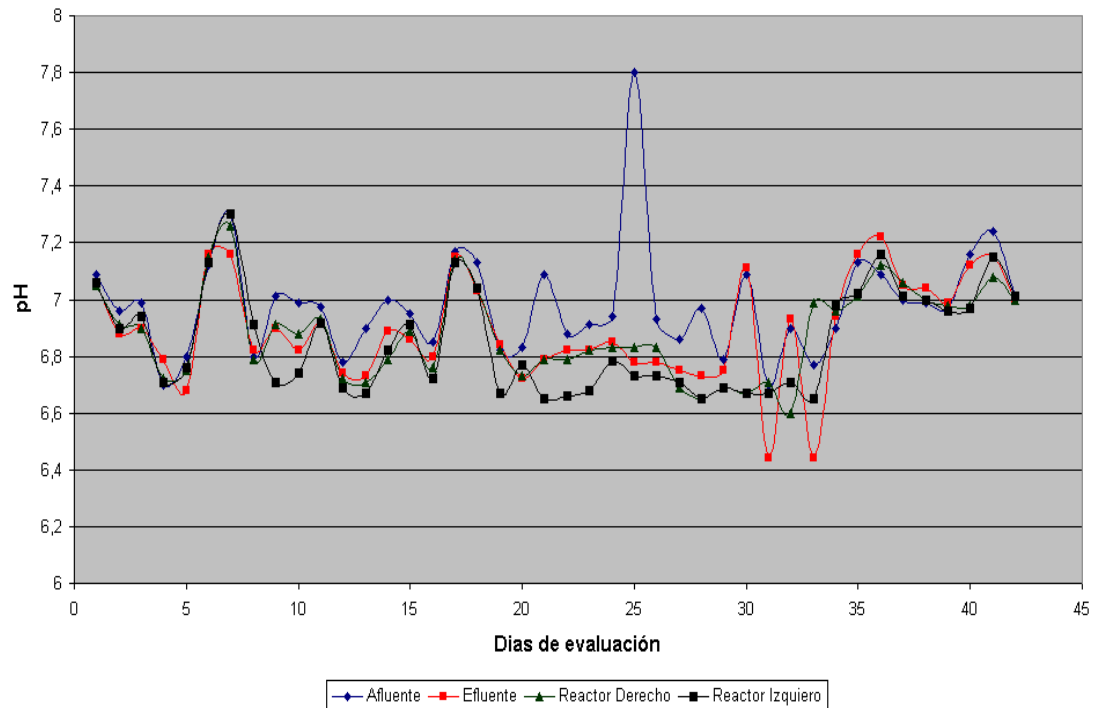
Dato N°	pH Afluente	pH Efluente	pH Reactor Derecho	pH Reactor Izquierdo
1	7,09	7,06	7,05	7,06
2	6,96	6,88	6,91	6,9
3	6,99	6,9	6,9	6,94
4	6,7	6,79	6,72	6,71
5	6,8	6,68	6,75	6,76
6	7,12	7,16	7,15	7,13
7	7,3	7,16	7,26	7,3
8	6,8	6,82	6,79	6,91
9	7,01	6,9	6,91	6,71
10	6,99	6,82	6,88	6,74
11	6,976	6,917	6,932	6,916
12	6,78	6,74	6,72	6,69
13	6,9	6,73	6,71	6,67
14	7	6,89	6,79	6,82
15	6,95	6,86	6,89	6,91
16	6,85	6,8	6,76	6,72
17	7,17	7,15	7,14	7,13
18	7,13	7,03	7,04	7,04
19	6,82	6,84	6,82	6,67
20	6,83	6,72	6,73	6,77
21	7,09	6,79	6,79	6,65
22	6,88	6,82	6,79	6,66
23	6,91	6,82	6,82	6,68
24	6,942	6,849	6,833	6,784
25	7,8	6,78	6,83	6,73
26	6,93	6,78	6,83	6,73
27	6,86	6,75	6,69	6,71
28	6,97	6,73	6,65	6,65
29	6,79	6,75	6,69	6,69
30	7,09	7,11	6,67	6,67
31	6,7	6,44	6,71	6,67
32	6,9	6,93	6,6	6,71
33	6,77	6,44	6,99	6,65
34	6,9	6,94	6,96	6,98
35	7,13	7,16	7,01	7,02
36	7,09	7,22	7,12	7,16
37	7	7,05	7,06	7,01
38	6,99	7,04	7	7
39	6,97	6,99	6,98	6,96
40	7,16	7,12	6,98	6,97
41	7,24	7,15	7,08	7,15
42	7,01	7	7	7,01
PROMEDIO	6,98	6,89	6,87	6,85

Tabla # 5 Seguimiento del pH

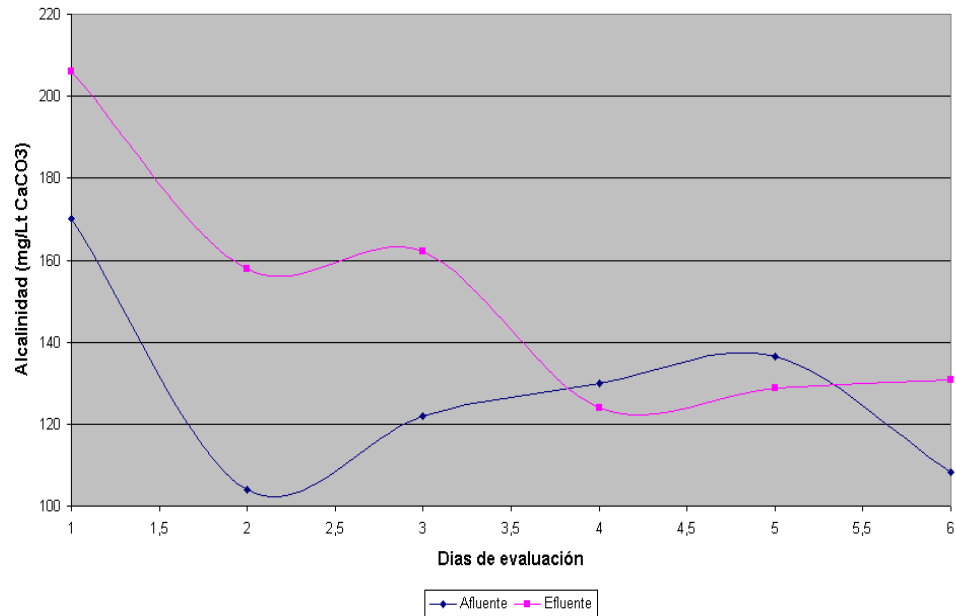
Dato N°	Afluente	Efluente
1	170	206
2	104	158
3	122	162
4	130	124
5	136,5	128,7
6	108,22	130,65
PROMEDIO	128,45	151,55

Tabla # 6 Seguimiento Alcalinidad

Gráfica # 3 Comportamiento del pH de Febrero a Mayo



Gráfica # 6 Comportamiento de la Alcalinidad



La influencia del pH sobre la producción de metano, está relacionada con la concentración de ácidos grasos volátiles ya que el ácido acético y los demás AGV provenientes del proceso de acidificación, son tóxicos en su forma no ionizada, esto significa que a medida que el pH baja, la fracción de ácido acético como tal, aumenta y por lo tanto cuando el valor del pH en el digestor desciende se presenta la forma más indeseable de los ácidos grasos volátiles. La recuperación de un reactor a choques de pH ácidos, es muy lenta.

En el caso de pH altos, la situación parece no ser tan crítica, una vez que el choque de pH se controla, la producción de metano se normaliza. Sin embargo se debe evitar cualquier pH extremo por su efecto adverso sobre el lodo.

Respecto al parámetro del pH se observó un valor comprendido entre un rango de 6.5 a 7.5 Unidades en las diferentes etapas evaluadas, rango similar al recomendado por la literatura (6.5 a 7.5 Unidades). Estos valores permiten predecir que durante el lapso de tiempo objeto del análisis, las bacterias metanogénicas permanecieron en un ambiente propicio para su desarrollo vital, y

a su vez el de reconocer que ellas estuvieron libres de condiciones inhibitorias de su actividad.

También es de adicionar a lo anterior que se mantuvo un estricto control de equilibrio entre las poblaciones bacterianas formadoras de metano y formadoras de ácido (producción y consumo de ácidos) con el objeto de obtener un buen desarrollo del proceso de digestión.

Aun así en la gráfica de seguimiento de pH se presentan dos picos para el efluente que muestran un pH bajo lo cual puede deberse a un proceso de acidificación pero que se normalizo en los días posteriores. Para el afluente también se observa un aumento en el pH el día 25 lo cual depende de el uso dado al agua por las personas que la utilizan ya que pueden estarle adicionando sustancias alcalinas.

El pH del agua que va a ser vertida a una quebrada según la norma de vertimiento 1594 del 84 debe de estar en un rango entre 5 y 9 unidades y para este caso el efluente proveniente de la PTAR se encuentra dentro del rango establecido con un pH promedio de 6.89.

El sistema reacciona ante estas caídas de pH, por medio de la alcalinidad que es su sistema amortiguador, el cual permite mantener el pH en un rango adecuado. La digestión anaerobia tiene una etapa en la cual se producen una gran cantidad de ácidos grasos volátiles, de allí la necesidad de que el reactor tenga una buena capacidad buffer, para resistir esta acumulación de AGV sin un excesivo descenso en el pH.

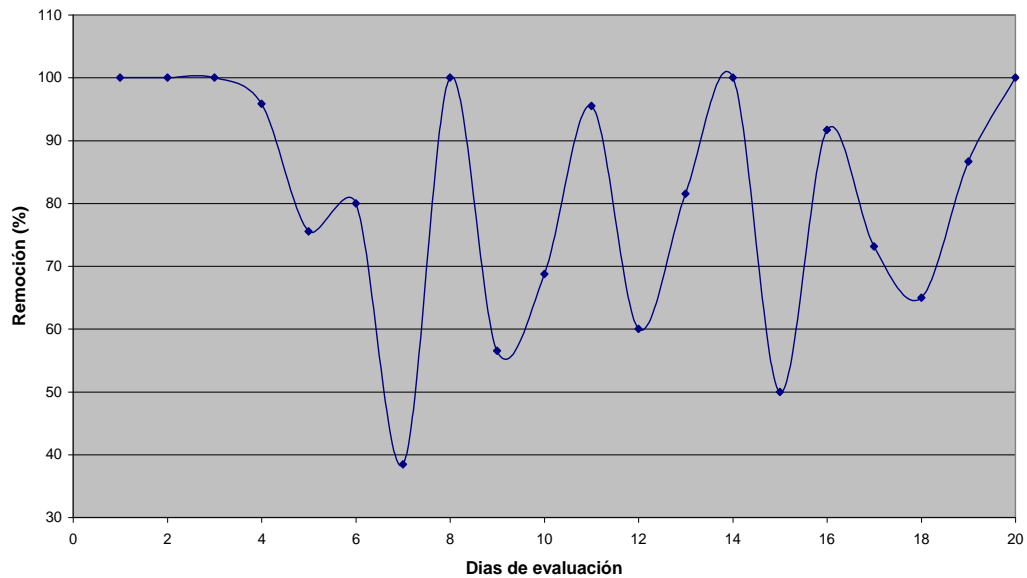
Los valores de alcalinidad que presenta el afluente lo clasifican como una ARD de concentración media según lo indica la tabla # 1. Por los resultados obtenidos tanto para afluente como efluente, se observa un comportamiento estable durante todo el período de evaluación, encontrándose además que tiende a aumentar en el efluente. Los valores encontrados (128.45 mg/L afluente y 151.5 mg/L efluente en promedio) pueden ser considerados como altos y suficientes ya que evita que ocurran descensos en el pH del sistema.

▪ Sólidos Sedimentables

Dato N°	Afluente (mL/L)	Efluente (mL/L)	% Remoción	Dato N°	Afluente (mL/L)	Efluente (mL/L)	% Remoción
1	0,7	0	100	21	8	3,5	56,25
2	2	0	100	22	1,1	0,7	36,36
3	6	0	100	23	11	0	100
4	2,4	0,1	95,83	24	4,5	0	100
5	4,5	1,1	75,55	25	4	0	100
6	2,5	0,5	80	26	5	0,2	96
7	6,5	4	38,46	27	0,6	0,1	83,33
8	2	0	100	28	6	0,3	95
9	2,3	1	56,52	29	2	0,2	90
10	8	2,5	68,75	30	6,5	1,5	76,92
11	4,5	0,2	95,5	31	3,5	1	71,42
12	3	1,2	60	32	2,5	0	100
13	6,5	1,2	81,53	33	8	0	100
14	1,5	0	100	34	4,5	0,1	97,7
15	4	2	50	35	3	0	100
16	1,2	0,1	91,66	36	7	0	100
17	1,6	0,43	73,12	37	1,4	0	100
18	2	0,7	65	38	4,5	0	100
19	1,5	0,2	86,66	39	1,3	0	100
20	0,7	0	100	PROMEDIO	3,79	0,58	85,16

Tabla # 7 Seguimiento Sólidos Sedimentables

Gráfica # 4 Eficiencia de Remoción Sólidos Sedimentables de Febrero a Mayo



El promedio de remoción obtenido durante el periodo de evaluación fue alto, lo cual indica que la planta se encuentra operando correctamente y que el separador GSL esta sedimentando el lodo presente en el ARD antes de salir de los reactores.

Sin embargo en los datos registrados diariamente se puede observar que los porcentajes de remoción son muy variables lo cual es un indicio más de que la planta todavía se encuentra en proceso de arranque y por ello los reactores en ocasiones permiten una remoción adecuada como cuando se alcanzan remociones del cien por ciento, mientras que otros días puede llegar a caer hasta casi al 30%.

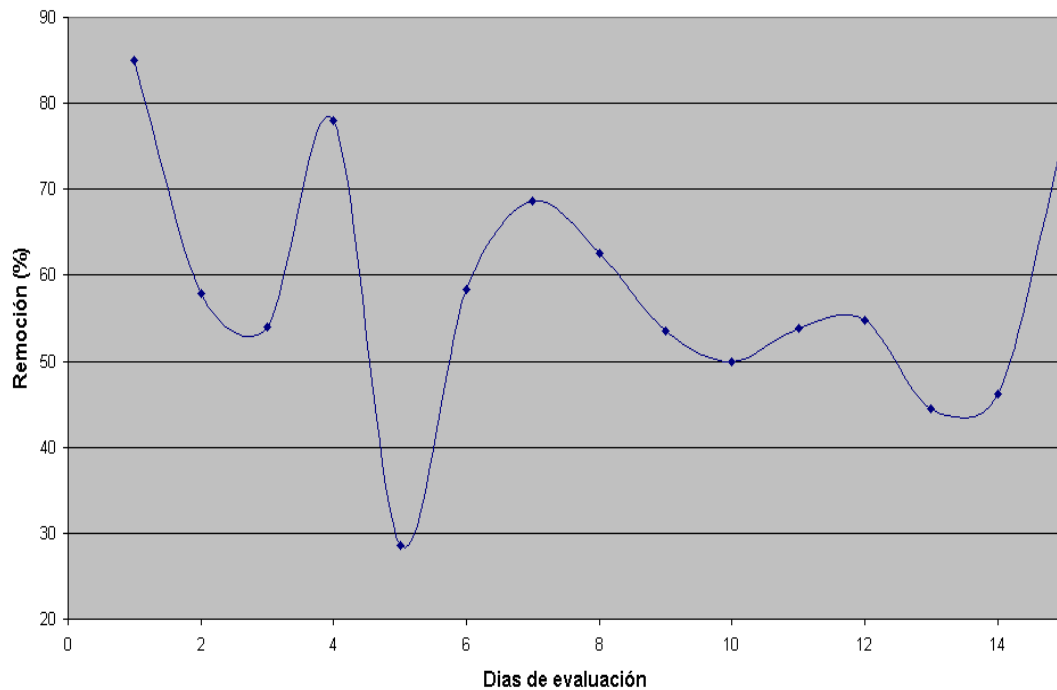
También se debe tener en cuenta que las menores remociones se presentan cuando el agua residual, que presenta una concentración media de Sólidos Sedimentables, ingresa a la planta con una cantidad mayor de estos sólidos lo cual puede deberse a un incremento en su uso en el municipio con su respectivo aumento de caudal lo cual provoca turbulencias en la PTAR y hace más dificultosa su remoción.

- **DQO**

Dato N°	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	% Remoción	Dato N°	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	% Remoción
1	496	74	85	16	260	27,4	89,46
2	392	165	57,9	17	82	27,36	66,63
3	148	68	54	18	301,76	26,24	91,3
4	338	74	78	19	275,5	52,5	80,94
5	315	225	28,5	20	315	91,84	70,84
6	277	115	58,4	21	152	25	83,55
7	255	80	68,6	22	240,8	154,8	35,71
8	320	120	62,5	23	210,24	52,56	75
9	280	130	53,57	24	262,8	34,04	86,67
10	240	120	50	25	152,64	67,84	55,6
11	260	120	53,84	26	186,56	33,92	81,8
12	310	140	54,84	27	51,72	34,48	33,3
13	180	100	44,44	28	258,6	34,48	86,67
14	183,04	98,56	46,15	29	112,9	16,13	85,7
15	296	70,4	76,21	PROMEDIO	286	113,33	65,35

Tabla # 8 Seguimiento de la DQO

Gráfica # 5 Eficiencia de Remoción DQO de Febrero a Mayo



La eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno alcanzó un valor promedio de 65.35 %, que se traduce como un adecuado funcionamiento del sistema de tratamiento. La concentración de DQO estuvo por debajo del límite considerado para aguas residuales domésticas normales (500 mg / L DQO para afluente); concerniente a las concentraciones del afluente. Los días en los que el afluente ingreso con mayor DQO tienen como causas posibles el aumento de las concentraciones de materia orgánica en el agua residual, ó de la misma forma de la presencia de materia orgánica resistente a la acción oxidativa. Igualmente se debe mencionar la situación de que se haya presentado un aumento de las actividades domésticas generadoras de la demanda; otro factor obedece a la variación en los contenidos orgánicos e inorgánicos del vertimiento, de su volumen y de su variación en el transcurso del día.

Esta particularidad de presentarse una baja eficiencia en la DQO como en los días 5, 27 y 22, puede ser debido a que en las muestras de agua residual doméstica no se encontraban en su composición sustancias inorgánicas, tales como, sulfitos, tiosulfatos, compuestos ferrosos, entre otros, las cuales al encontrarse presentes en el agua residual y ser degradados aumenta el valor de la remoción de DQO.

La inestabilidad en la remoción de los reactores vuelve a mostrarnos como la planta todavía se encuentra en un proceso de arranque.

- Sólidos Suspendidos Totales (SST) y DBO

Dato N°	SS Afluente (mg/L)	SS Efluente (mg/L)	% Remoción
1	228	92	59
2	300	50	83,33
Promedio	264	71	71,16

Dato N°	DBO Afluente (mg/L)	DBO Efluente (mg/L)	% Remoción
1	209,4	61,15	70,8
2	347,17	100	71,19
Promedio	278,28	80,57	70,99

Los valores de las concentraciones de sólidos suspendidos Totales, tanto para el efluente, como para el afluente, hacen posible establecer un porcentaje de eficiencia de remoción equivalente al 71.16 %. Las concentraciones para dicho parámetro hacen posible reconocer que parte de los sólidos son orgánicos y digeribles. También es de destacar que durante el estudio las determinaciones efectuadas para el efluente, se mantuvieron bajo un rango de 50 - 92 mg / L SSV, mostrándonos de esta forma que el proceso biológico se mantuvo bajo niveles de funcionamiento muy satisfactorios.

El decreto menciona una remoción de Sólidos Suspendidos por encima del 80 % la cual todavía no ha sido alcanzada por la planta en este parámetro.

En lo correspondiente al parámetro de DBO₅, la eficiencia obtenida en promedio alrededor del 70.99 % de remoción de DBO, valor que se encuentra por debajo de lo establecido en el decreto 1594 ya que en el se habla de una remoción por encima del 80%, pero teniendo en cuenta que la planta se encuentra en proceso de puesta en marcha se puede considerar que las eficiencias que presenta son altas. También es de mencionar que en las determinaciones de DBO₅ total para el afluente, se obtienen valores de concentración dentro de un rango de 60 - 100 mg / L, lo cual coloca al agua residual proveniente de la Tebaida como un ARD débil en cuanto a este parámetro.

9. CONCLUSIONES

- Al evaluar los parámetros fisicoquímicos de control se puede concluir que la planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada en el municipio de La Tebaida, se encuentra operando eficientemente teniendo en cuenta que todavía esta en el proceso de puesta en marcha.
- Se comprobó la estabilidad del sistema mediante monitoreo de la Temperatura, el pH y de la Alcalinidad, cuyos valores se encontraron en un rango entre 22-30 °C para la Temperatura, 6.5-7.5 para el pH y 100-200 mg/L CaCO₃ para la alcalinidad, valores que se encuentran dentro de lo establecido teóricamente para el buen funcionamiento de las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas que emplean reactores UASB.
- Las remociones obtenidas para la DQO, DBO, SST y Sólidos Sedimentables son buenas considerando que la Planta aún se encuentra en proceso de arranque y no esta trabajando a su máxima capacidad.
- Según el Decreto 1594 de 1984 la PTAR cumple para parámetros como la Temperatura y el pH ya que el efluente es vertido a la Quebrada La Jaramilla luego del tratamiento con valores que están dentro del rango establecido por el Decreto, mientras que las eficiencias de remoción obtenidas para Sólidos Suspendedos Totales y DBO todavía no alcanzan en promedio a superar el 80% exigido por el Decreto.

10. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis empleando más parámetros como Ácidos Grasos Volátiles ó Nitrógeno y llevarlos a cabo en diferentes temporadas del año con el fin de observar el comportamiento de la planta tanto en épocas secas como lluviosas.
- Estudiar las características de los lodos producidos con el fin de mejorar la eficiencia global de remoción en los reactores UASB.
- Efectuar estudios variando el TRH para encontrar un óptimo en función de la calidad del efluente.
- Continuar con la evaluación de la PTAR empleando los análisis ya implementados para garantizar su adecuado funcionamiento y poder controlar cualquier situación irregular que pueda presentarse.

11. BIBLIOGRAFÍA

APHA-AWWA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition (2003).

MUÑOZ. H. AURELIO. Vertidos de Aguas Residuales. Quinta Edición. España.1997

METCALF &EDDY, Inc. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento Vertido y Reutilización. Mc Graw Hill. 1996

UNIVERSIDAD DEL VALLE. CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA. Arranque y Operación de Sistema de Flujo Ascendente con Manto de Lodo –UASB-. Cali. 1987

WAGENINGEN AGRICULTURAL UNIVERSITY. Curso – Taller Internacional Sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Cali. 1995

GOMEZ. G. GLORIA. Manual de Análisis de Agua. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. 1995

MEJIA. H. JORGE. Diseño, Construcción y Puesta en marcha de un Reactor UASB para el tratamiento de Aguas Residuales. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba-Bolivia. 1999

GLOSARIO

Símbolos

A: Afluente

C: Símbolo Químico del elemento Carbono

Ca: Símbolo Químico del elemento Calcio

Cr: Símbolo Químico del elemento Cromo

°C: Grados Centígrados

E: Efluente

Fe: Símbolo Químico del elemento Hierro

g: Unidad de medida de masa (gramo)

H: Símbolo Químico del elemento Hidrogeno

H: Altura

H⁺: Medio Ácido

K: Símbolo Químico del elemento Potasio

Kg: Unidad de medida de masa (Kilogramo)

L: Unidad de medida de volumen (Litro)

m: Unidad de medida de longitud (metro)

m²: Unidad de medida de longitud (metro cuadrado)

m³: Unidad de medida de longitud (metro cúbico)

mg: Unidad de medida de masa (miligramo)

Mg: Símbolo Químico del elemento Magnesio

mL: Unidad de medida de volumen (mililitro)

mmHg: Unidad de medida de presión (milímetro de mercurio)

N: Símbolo Químico del elemento Nitrógeno

n: Número de muestras

O: Símbolo Químico del elemento Oxígeno

P: Símbolo Químico del elemento Fósforo

Q: Caudal

S: Símbolo Químico del elemento Azufre

s: Unidad de medida de tiempo (segundo)

t: Tiempo

µg: Unidad de medida de masa (microgramo)

V: Volumen

°: Grados

ABREVIACIONES

AGV: Ácidos Grasos Volátiles

CO: Carga Orgánica

COT: Carbono Orgánico Total

COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

FAS: Sulfato Ferroso Amoniacal

GSL: Separador Gas-Sólido-Líquido del reactor UASB

OD: Oxígeno Disuelto

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

UASB: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente y Manto de Lodos.

SS: Sólidos Sedimentables

Sc: Sólidos no sedimentables

SD: Sólidos Disueltos

SDT: Sólidos Disueltos Totales

ST: Sólidos Totales

SST: Sólidos Suspendidos Totales

THR: Tiempo de Retención Hidráulico

12. ANEXOS

ANEXO A

PREPARACIÓN DE REACTIVOS

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO

ESTÁNDAR DE DICROMATO DE POTASIO 0.25N:

Disolver 12,259 g. de dicromato de potasio grado reactivo estándar (secado previamente en estufa a 103 grados centígrados por dos horas) en agua destilada y diluir a un litro.

REACTIVO DE ACIDO SULFÚRICO:

Acido sulfúrico concentrado conteniendo 22.5 g. de sulfato de plata por botella de 4.5 litros, la dilución requiere de 1 a 2 días.

ESTANDAR DE SULFATO FERROSO AMONICAL PARA TITULACIÓN 0.10N:

Disolver 39 g. de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada. Añadir 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, enfriar y diluir a un litro. Esta solución puede estandarizarse contra el estándar de dicromato de potasio frecuentemente.

INDICADOR FERROÍNA:

Se disuelven 1.485g de 1.10 fenantrolina monohidratada, junto con 695 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y se diluye a 100 mL.

↗ ALCALINIDAD**ÁCIDO SULFÚRICO 0,1 N:**

Se diluyen 3 mL de ácido sulfúrico concentrado en un litro de agua destilada.

ÁCIDO SULFÚRICO 0,020 N:

Se diluyen 200 mL de la solución de ácido sulfúrico 0,1N a un litro. Esta solución debe ser estandarizada con solución de carbonato de sodio 0,020 N, de tal manera que la solución 0,020 N de ácido sea equivalente a 1,00 mg $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{mL}$.

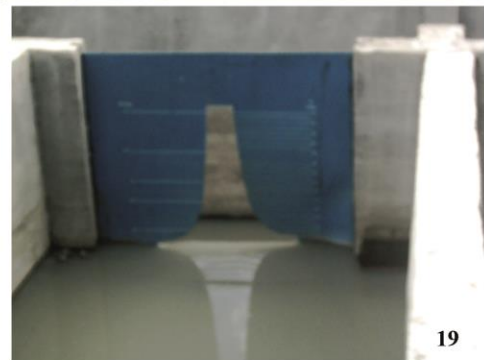
SOLUCIÓN PATRÓN DE CARBONATO DE SODIO 0,020 N:

Pesar 1,060 g de Na_2CO_3 anhidro, previamente secado en la estufa a 150°C durante cuatro horas y enfriado en un desecador y se enrasa a un litro con agua destilada en un frasco volumétrico.

ANEXO B
FOTOGRAFÍAS



7- Quemador del Biogas 8- Afluyente 9- Conos Imhoff 10- Equipo de Titulación y Reflujo
11- Valvulas de Entrada Reactores UASB 12- pH-metro 13- Caseta de Laboratorio



14- Filtros de Biogas 15- Efluente
16- Compuerta Desarenadores 17- Medidor de Biogas
18- Caja de Salida Efluente 19- Vertedero Suttro

19

ANEXO C

ESTANDARIZACIÓN DE SOLUCIONES

La estandarización se implementó desde el mes de Febrero y se realizó una vez por mes.

Estandarización del FAS

Transfiera 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0.25N en un erlenmeyer de 250 mL y complete con 50 mL de agua destilada. Adicione 2.5 mL de $H_2SO_4-AgSO_4$ y de 3 a 4 gotas de ferroina (indicador). Titular con el FAS, hasta que la mezcla tome color café-rojizo. Anotar el volumen gastado y calcular la concentración empleando la siguiente formula:

$$N_{FAS} = \frac{V_{Dicromato} \times N_{Dicromato}}{V_{FAS \text{ Gastado}}}$$

Ejemplo

Volumen $K_2Cr_2O_7$	5 mL
Normalidad $K_2Cr_2O_7$	0.25N
Volumen FAS Gastado	12.40 mL

$$N_{FAS} = \frac{5 \text{ mL} \times 0.25N}{12.40 \text{ mL}}$$

$$N_{FAS} = 0.1008N$$

Estandarización de Ácido Sulfúrico

Transfiera 5 mL de solución de Carbonato de Sodio 1g/L en un erlenmeyer de 250 mL y complete a 100 mL con agua destilada. Adicione 3 gotas de indicador mixto. Titule con el ácido dispensándolo gota a gota desde una bureta; agite suave y constantemente el erlenmeyer hasta observar que el color vire de azul a rosa. Calcule la Normalidad del ácido.

$$N = \frac{A \times B}{53 \times C}$$

A = concentración (g/L) de Na₂CO₃ pesados por litro de solución.

B = mL de solución de Na₂CO₃ titulados.

C = mL de ácido gastados en la titulación.

53 = Peso equivalente del Na₂CO₃.

Ejemplo

A	2.5 g
B	5 mL
C	12.25 mL

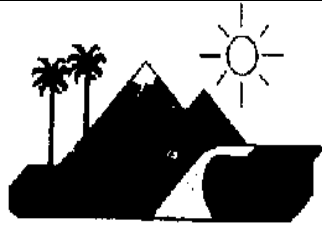
$$N = \frac{2.5 \times 5}{53 \times 12.25}$$

$$N = 0.0195 \text{ eq-g/L}$$

ANEXO D

**RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE EL PERIODO DE EVALUACION DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA TEBAIDA**

 ESAQUIN S.A (E.SP.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL FEBRERO/06				
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
01/02/06	Afluente	7:00 am	22	7.09	39.33	25
01/02/06	R. Derecho	7:00 am	22	7.05		
01/02/06	R. Izquierdo	7:00 am	22	7.06		
01/02/06	Efluente	7:00 am	22	7.06	3.00	
03/02/06	Afluente	7:30 am	23	6.96	22.23	28
03/02/06	R. Derecho	7:30 am	28	6.91		
03/02/06	R. Izquierdo	7:30 am	25	6.90		
03/02/06	Efluente	7:30 am	24	6.88	5.18	
07/02/06	Afluente	8:00 am	23	6.99	30.78	27
07/02/06	R. Derecho	8:00 am	24	6.91		
07/02/06	R. Izquierdo	8:00 am	24	6.94		
07/02/06	Efluente	8:00 am	24	6.90	4.53	
08/02/06	Afluente	7:00 am	23	6.70	16.33	27
08/02/06	R. Derecho	7:00 am	24	6.72		
08/02/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.71		



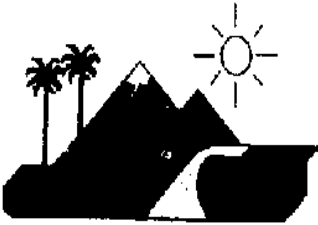
ESAQUIN S.A (E.S.P.)
Nit. 800.063.823-7

DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

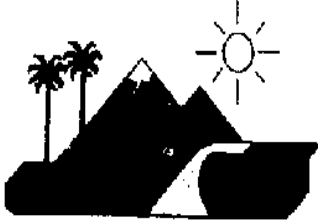
EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

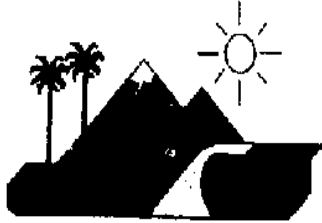
RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL FEBRERO/06

FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
08/02/06	Efluente	7:00 am	23	6.79	7.15	
09/02/06	Afluente	7:00 am	21	6.80	30.78	27
09/02/06	R. Derecho	7:00 am	23	6.75		
09/02/06	R. Izquierdo	7:00 am	22	6.76		
09/02/06	Efluente	7:00 am	21	6.68	7.13	
13/02/06	Afluente	7:00 am	22	7.12	18.35	24
13/02/06	R. Derecho	7:00 am	22	7.15		
13/02/06	R. Izquierdo	7:00 am	22	7.13		
13/02/06	Efluente	7:00 am	22	7.16	9.21	
14/02/06	Afluente	8:00 am	24	7.30	27.93	28
14/02/06	R. Derecho	8:00 am	25	7.26		
14/02/06	R. Izquierdo	8:00 am	24	7.30		
14/02/06	Efluente	8:00 am	23	7.16	5.53	
20/02/06	Afluente	7:00 am	23	6.80	16.33	26
20/02/06	R. Derecho	7:00 am	25	6.79		

 ESAQUIN S.A. (E.S.P.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL FEBRERO/06				
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
20/02/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.91		
20/02/06	Efluente	7:00 am	23	6.82	6.91	
23/02/06	Afluente	7:00 am	23	7.01	25.08	30
23/02/06	R. Derecho	7:00 am	23	6.91		
23/02/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.71		
23/02/06	Efluente	7:00 am	23	6.90	7.80	
28/02/06	Afluente	7:00 am	23	6.99	27.93	26
28/02/06	R. Derecho	7:00 am	23	6.88		
28/02/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.74		
28/02/06	Efluente	7:00 am	23	6.82	6.60	

 ESAQUIN S.A (E.SP.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL MARZO/06				
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
01/03/06	Afluente	8:00 am	23	6.78	16.53	29
01/03/06	R. Derecho	8:00 am	23	6.72		
01/03/06	R. Izquierdo	8:00 am	22	6.69		
01/03/06	Efluente	8:00 am	23	6.74	6.96	
02/03/06	Afluente	8:00 am	22	6.90	10.83	27
02/03/06	R. Derecho	8:00 am	22	6.71		
02/03/06	R. Izquierdo	8:00 am	22.5	6.67		
02/03/06	Efluente	8:00 am	22	6.73	8.10	
03/03/06	Afluente	7:00 am	23	7.00	16.53	27
03/03/06	R. Derecho	7:00 am	23	6.79		
03/03/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.82		
03/03/06	Efluente	7:00 am	23.5	6.89	10.43	
06/03/06	Afluente	7:00 am	22	6.95	16.53	26
06/03/06	R. Derecho	7:00 am	22	6.89		
06/03/06	R. Izquierdo	7:00 am	22	6.91		

 ESAQUIN S.A (E.SP.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL MARZO/06				
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
06/03/06	Efluente	7:00 am	22	6.86	13.23	
09/03/06	Afluente	7:00 am	22	6.85	10.83	26
09/03/06	R. Derecho	7:00 am	22	6.76		
09/03/06	R. Izquierdo	7:00 am	22	6.72		
09/03/06	Efluente	7:00 am	22	6.80	11.93	
13/03/06	Afluente	8:00 am	23	7.17	22.23	27
13/03/06	R. Derecho	8:00 am	24	7.14		
13/03/06	R. Izquierdo	8:00 am	23	7.13		
13/03/06	Efluente	8:00 am	22	7.15	9.76	
16/03/06	Afluente	7:00 am	22.3	7.13	27.93	25
16/03/06	R. Derecho	7:00 am	22.5	7.04		
16/03/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	7.04		
16/03/06	Efluente	7:00 am	22	7.03	7.20	
22/03/06	Afluente	8:00 am	23	6.82	15.53	23
22/03/06	R. Derecho	8:00 am	28	6.82		



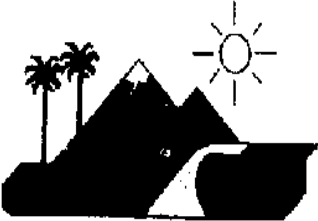
ESAQUIN S.A (E.SP.)
Nit. 800.063.823-7

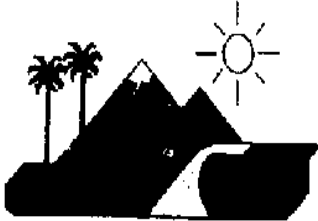
DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

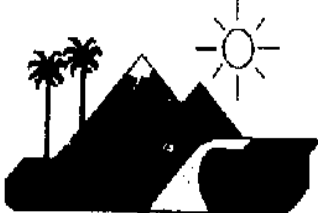
EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

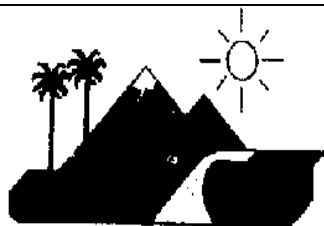
RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL MARZO/06

FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
22/03/06	R. Izquierdo	8:00 am	25	6.67		
22/03/06	Efluente	8:00 am	24	6.84	5.75	
23/03/06	Afluente	8:00 am	23	6.83	10.83	28
23/03/06	R. Derecho	8:00 am	30	6.73		
23/03/06	R. Izquierdo	8:00 am	25	6.77		
23/03/06	Efluente	8:00 am	23	6.72	7.90	
27/03/06	Afluente	8:00 am	23	7.09	16.53	25
27/03/06	R. Derecho	8:00 am	26	6.79		
27/03/06	R. Izquierdo	8:00 am	24	6.65		
27/03/06	Efluente	8:00 am	23	6.79	7.91	
29/03/06	Afluente	8:00 am	23	6.88	13.68	25
29/03/06	R. Derecho	8:00 am	24	6.79		
29/03/06	R. Izquierdo	8:00 am	23	6.66		
29/03/06	Efluente	8:00 am	23	6.82	6.10	
31/03/06	Afluente	8:00 am	23	6.91	16.53	26

						
DEPARTAMENTO DEL QUINDIO						
EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)						
RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL ABRIL/06						
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
03/04/06	Afluente	8:00 am	23	7.80	25.50	21
03/04/06	R. Derecho	8:00 am	23	6.83		
03/04/06	R. Izquierdo	8:00 am	23	6.73		
03/04/06	Efluente	8:00 am	23	6.78	9.40	
05/04/06	Afluente	8:00 am	23	6.93	12.14	21
05/04/06	R. Derecho	8:00 am	23	6.83		
05/04/06	R. Izquierdo	8:00 am	23	6.73		
05/04/06	Efluente	8:00 am	23	6.78	7.50	
06/04/06	Afluente	8:00 am	23	6.86	12.14	22
06/04/06	R. Derecho	8:00 am	22	6.69		
06/04/06	R. Izquierdo	8:00 am	22	6.71		
06/04/06	Efluente	8:00 am	23	6.75	10.16	
10/04/06	Afluente	8:00 am	23	6.97	18.22	22
10/04/06	R. Derecho	8:00 am	22	6.65		
10/04/06	R. Izquierdo	8:00 am	22	6.65		

 ESAQUIN S.A (E.S.P.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL ABRIL/06				
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
10/04/06	Efluente	8:00 am	23	6.73	7.60	
11/04/06	Afluente	8:00 am	23	6.79	18.22	23
11/04/06	R. Derecho	8:00 am	23	6.69		
11/04/06	R. Izquierdo	8:00 am	23	6.69		
11/04/06	Efluente	8:00 am	23	6.75	14.41	
12/04/06	Afluente	8:00 am	22	7.09	45.51	21
12/04/06	R. Derecho	8:00 am	23	6.67		
12/04/06	R. Izquierdo	8:00 am	23	6.67		
12/04/06	Efluente	8:00 am	23	6.44	8.52	
17/04/06	Afluente	8:00 am	23	6.70	36.43	22
17/04/06	R. Derecho	8:00 am	23	6.71		
17/04/06	R. Izquierdo	8:00 am	23	6.67		
17/04/06	Efluente	8:00 am	23	6.44	10.00	
19/04/06	Afluente	7:00 am	22	6.90	18.21	21
19/04/06	R. Derecho	7:00 am	22	6.60		

 ESAQUIN S.A (E.SP.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL ABRIL/06				
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
19/04/06	R. Izquierdo	7:00 am	22	6.71		
19/04/06	Efluente	7:00 am	22	6.93	8.23	
20/04/06	Afluente	7:00 am	23	6.77	18.21	21
20/04/06	R. Derecho	7:00 am	23	6.99		
20/04/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.65		
20/04/06	Efluente	7:00 am	23	6.44	12.20	
24/04/06	Afluente	7:00 am	23	6.90	16.20	21
24/04/06	R. Derecho	7:00 am	23	6.96		
24/04/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.98		
24/04/06	Efluente	7:00 am	23	6.94	13.37	
27/04/06	Afluente	7:00 am	23	7.13	19.43	21
27/04/06	R. Derecho	7:00 am	23	7.01		
27/04/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	7.02		
27/04/06	Efluente	7:00 am	23	7.16	9.78	



ESAQUIN S.A (E.SP.)
Nit. 800.063.823-7

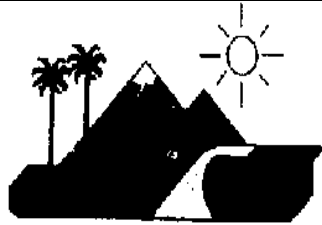
DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL MAYO/06

FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
03/05/06	Afluente	7:00 am	23	7.14	24.29	21
03/05/06	R. Derecho	7:00 am	23	7.18		
03/05/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	7.16		
03/05/06	Efluente	7:00 am	23	7.22	17.38	
04/05/06	Afluente	7:00 am	23	7.00	18.21	22
04/05/06	R. Derecho	7:00 am	23	7.06		
04/05/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	7.01		
04/05/06	Efluente	7:00 am	23	7.05	15.00	
08/05/06	Afluente	7:15 am	23	6.99	18.21	20
08/05/06	R. Derecho	7:15 am	23	7.00		
08/05/06	R. Izquierdo	7:15 am	22	7.00		
08/05/06	Efluente	7:15 am	22	7.04	17.14	
10/05/06	Afluente	7:00 am	21	6.97	24.29	19
10/05/06	R. Derecho	7:00 am	21	6.98		
10/05/06	R. Izquierdo	7:00 am	21	6.96		

 ESAQUIN S.A (E.SP.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		RESULTADOS pH, TEMPERATURA Y CAUDAL MAYO/06				
FECHA	MUESTRA	HORA	TEMPERATURA (°C)	pH	CAUDAL (L/s)	TA (°C)
10/05/06	Efluente	7:00 am	22	6.99	13.37	
15/05/06	Afluente	7:00 am	23	7.16	12.14	21
15/05/06	R. Derecho	7:00 am	23	6.98		
15/05/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	6.97		
15/05/06	Efluente	7:00 am	23	7.12	15.71	
18/05/06	Afluente	7:00 am	23	7.24	18.21	22
18/05/06	R. Derecho	7:00 am	23	7.08		
18/05/06	R. Izquierdo	7:00 am	23	7.15		
18/05/06	Efluente	7:00 am	23	7.15	12.31	
22/05/06	Afluente	7:00 am	22	7.01	18.21	19
22/05/06	R. Derecho	7:00 am	22	7.00		
22/05/06	R. Izquierdo	7:00 am	22	7.01		
22/05/06	Efluente	7:00 am	22	7.00	13.83	



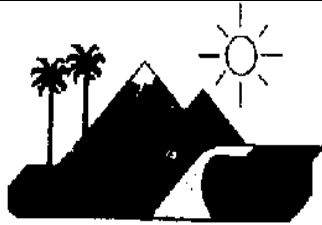
ESAQUIN S.A (E.SP.)
Nit. 800.063.823-7

DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

RESULTADOS ALCALINIDAD

FECHA	MUESTRA	HORA	ALCALINIDAD (mg/Lt CaCO₃)
08/02/06	Afluente	7:00 am	170
08/02/06	Efluente	7:00 am	206
20/02/06	Afluente	7:00 am	104
20/02/06	Efluente	7:00 am	158
02/03/06	Afluente	8:00 am	122
02/03/06	Efluente	8:00 am	162
16/03/06	Afluente	7:00 am	130
16/03/06	Efluente	7:00 am	124
27/04/06	Afluente	7:00 am	136.5
27/04/06	Efluente	7:00 am	128.7
18/05/06	Afluente	7:00 am	108.22
18/05/06	Efluente	7:00 am	130.65



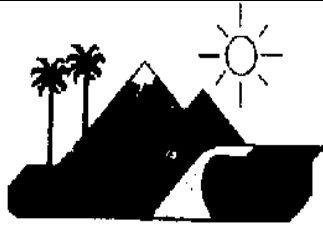
ESAQUIN S.A (E.SP.)
Nit. 800.063.823-7

DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

RESULTADOS DQO Y SÓLIDOS SEDIMENTABLES FEBRERO/06

FECHA	MUESTRA	HORA	DQO (mg/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)	SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)
01/02/06	Afluente	7:00 am	496	85	0.70	100
01/02/06	Efluente	7:00 am	74		0.00	
03/02/06	Afluente	7:00 am			2.00	100
03/02/06	Efluente	7:00 am			0.00	
07/02/06	Afluente	8:00 am	392	57.90	6.00	100
07/02/06	Efluente	8:00 am	165		0.00	
08/02/06	Afluente	7:00 am	148	54	2.40	95.83
08/02/06	Efluente	7:00 am	68		0.10	
09/02/06	Afluente	7:00 am			4.50	75.55
09/02/06	Efluente	7:00 am			1.10	
13/02/06	Afluente	7:00 am	338	78	2.50	80
13/02/06	Efluente	7:00 am	74		0.50	
14/02/06	Afluente	7:00 am			6.50	38.46
14/02/06	Efluente	7:00 am			4.00	



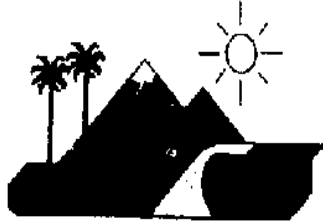
ESAQUIN S.A (E.SP.)
Nit. 800.063.823-7

DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

RESULTADOS DQO Y SÓLIDOS SEDIMENTABLES MARZO/06

FECHA	MUESTRA	HORA	DQO (mg/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)	SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)
01/03/06	Afluente	8:00 am	320	62.50	11.0	100
01/03/06	Efluente	8:00 am	120		0.0	
02/03/06	Afluente	8:00 am	280	53.57	4.5	100
02/03/06	Efluente	8:00 am	130		0.0	
03/03/06	Afluente	8:00 am			4.0	100
03/03/06	Efluente	8:00 am			0.0	
06/03/06	Afluente	7:00 am	240	50.00	2.40	95.83
06/03/06	Efluente	7:00 am	120		0.1	
09/03/06	Afluente	7:00 am			4.5	75.55
09/03/06	Efluente	7:00 am			1.1	
13/03/06	Afluente	7:00 am			2.5	
13/03/06	Efluente	7:00 am			0.5	80
16/03/06	Afluente	7:00 am	260	53.84	6.5	
16/03/06	Efluente	7:00 am	120		4.00	38.46



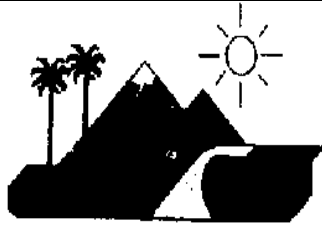
ESAQUIN S.A (E.SP.)
Nit. 800.063.823-7

DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

RESULTADOS DQO Y SÓLIDOS SEDIMENTABLES MARZO/06

FECHA	MUESTRA	HORA	DQO (mg/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)	SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)
22/03/06	Afluente	8:00 am	310	54.84	2.0	100
22/03/06	Efluente	8:00 am	140		0.0	
23/03/06	Afluente	7:00 am			2.30	56.25
23/03/06	Efluente	7:00 am			1.0	
27/03/06	Afluente	7:00 am			8.0	68.75
27/03/06	Efluente	7:00 am			2.5	
29/03/06	Afluente	8:00 am	180	44.44		
29/03/06	Efluente	8:00 am	100			
31/03/06	Afluente	7:00 am				
31/03/06	Efluente	7:00 am				



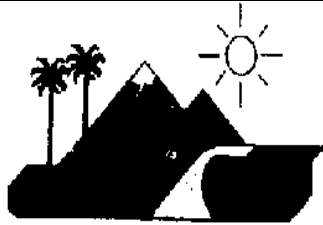
ESAQUIN S.A (E.S.P.)
Nit. 800.063.823-7

DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

RESULTADOS DQO Y SÓLIDOS SEDIMENTABLES ABRIL/06

FECHA	MUESTRA	HORA	DQO (mg/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)	SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)
03/04/06	Afluente	8:00 am	183.04	46.15	11.0	100
03/04/06	Efluente	8:00 am	98.56		0.0	
06/04/06	Afluente	8:00 am	296	76.21	4.5	100
06/04/06	Efluente	8:00 am	27.4		0.0	
11/04/06	Afluente	8:00 am	260	89.46	4.0	100
11/04/06	Efluente	8:00 am	27.46		0.0	
12/04/06	Afluente	8:00 am	82	66.63	5.0	96
12/04/06	Efluente	8:00 am	27.36		0.2	
17/04/06	Afluente	8:00 am	301.76	91.30	0.6	83.33
17/04/06	Efluente	8:00 am	26.24		0.1	
19/04/06	Afluente	7:00 am	27.55	80.94	6.0	95
19/04/06	Efluente	7:00 am	52.50		0.3	
20/04/06	Afluente	7:00 am	315	70.84	2.0	90
20/04/06	Efluente	7:00 am	91.84		0.2	



ESAQUIN S.A (E.SP.)
Nit. 800.063.823-7

DEPARTAMENTO DEL QUINDIO

EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)

RESULTADOS DQO Y SÓLIDOS SEDIMENTABLES MAYO/06

FECHA	MUESTRA	HORA	DQO (mg/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)	SÓLIDOS SEDIMENTABLES (mL/Lt)	EFICIENCIA REMOCION (%)
03/05/06	Afluente	7:00 am	210.24	75	8.0	100
03/05/06	Efluente	7:00 am	52.56		0.0	
04/05/06	Afluente	7:00 am	262.8	86.67	4.5	97.77
04/05/06	Efluente	7:00 am	35.04		0.1	
08/05/06	Afluente	7:15 am	152.64	55.6	3.0	100
08/05/06	Efluente	7:15 am	67.84		0.0	
10/05/06	Afluente	7:00 am	186.56	81.8	7.0	100
10/05/06	Efluente	7:00 am	33.92		0.0	
15/05/06	Afluente	7:00 am	51.72	33.3	1.4	100
15/05/06	Efluente	7:00 am	34.48		0.0	
18/05/06	Afluente	7:00 am	258.6	86.67	4.5	100
18/05/06	Efluente	7:00 am	34.48		0.0	
22/05/06	Afluente	7:00 am	112.9	85.7	1.3	100
22/05/06	Efluente	7:00 am	16.13		0.0	

 ESAQUIN S.A (E.SP.) Nit. 800.063.823-7		DEPARTAMENTO DEL QUINDIO				
		EMPRESA SANITARIA DEL QUINDIO S.A. (E.S.P)				
		INTEGRACION MUESTRA				
FECHA	MUESTRA	HORA	CAUDAL (Lt/s)	CAUDAL PROMEDIO (Lt/s)	VOLUMEN A TOMAR (mL)	VOLUMEN TOTAL MUESTRA(mL)
02/04/06	Afluente	9:50 am	41.54	41.54	100	300
02/04/06	Afluente	10:05 am	41.54		100	
02/04/06	Afluente	10:20 am	41.54		100	
02/04/06	Efluente	9:50 am	7.20	6.95	103.6	300
02/04/06	Efluente	10:05 am	5.75		82.7	
02/04/06	Efluente	10:20 am	7.90		113.7	
16/04/06	Afluente	10:00 am	41.53	41.53	166.7	500.1
16/04/06	Afluente	10:15 am	41.53		166.7	
16/04/06	Afluente	10:30 am	41.53		166.7	
16/04/06	Efluente	10:00 am	7.90	7.36	178.9	500
16/04/06	Efluente	10:15 am	6.10		138.1	
16/04/06	Efluente	10:30 am	8.08		183	

ANEXO E

**ARTÍCULO 72
DECRETO 1594 DE 1984**