

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN REMOCION DE CARGA ORGANICA EN UN
REACTOR UASB Y UN FILTRO ANAEROBIO DURANTE LA APLICACIÓN DE
CALCIO**

MARLEN GARCIA ARIAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA.
BUCARAMANGA
2008**

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN REMOCION DE CARGA ORGANICA EN UN
REACTOR UASB Y UN FILTRO ANAEROBIO DURANTE LA APLICACIÓN DE
CALCIO**

MARLEN GARCIA ARIAS

**Trabajo presentado como requisito para
Optar el título de Ingeniero Químico**

**Director
LEONARDO ACEVEDO DUARTE
Ph. D Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA.
BUCARAMANGA
2008**

**A mis padres, Jorge y Marlen
por todo su amor, esfuerzo y apoyo
para alcanzar esta meta.**

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Gonzalo Peña Ortiz y A la Ingeniera Gloria Castellanos, Gerente y Subgerente de la Empresa Sistemas Hidráulicos y Sanitarios LTDA, por la oportunidad de realizar esta practica empresarial.

A todo el personal del Laboratorio Ambiental de Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda: A Jorge Novoa, Javier Moreno, Jhon Jairo Florez, José Luís Pabón, Carolina Torres, Maria Helena, Yorley, Jorge Montaña quienes me han permitido conocer y compartir experiencias sobre química ambiental. Gracias por su colaboración y apoyo.

A mis amigos Luisa Fernanda, Leydy, Faride, Javier, Paalo, Angela, Giovanni, Ingrid.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Estudiar el efecto del Calcio en la remoción de carga orgánica de un reactor UASB y un Filtro Anaerobio

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Poner en marcha un sistema de adición de calcio sobre el reactor UASB y el filtro anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del centro recreativo Comfenalco (Vía Piedecuesta).
- Evaluar las eficiencias de remoción de carga orgánica en el reactor UASB y el Filtro anaerobio en términos de DQO, DBO₅, Sólidos Suspendidos Totales, Grasas y Aceites.
- Analizar los resultados obtenidos, como base de conocimiento para el diseño y operación de futuros sistemas anaerobios para el tratamiento de aguas residuales.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. DESARROLLO EXPERIMENTAL	6
1.1. METODOLOGIA	7
1.1.1. Etapa 1. Caracterización inicial	7
1.1.2. Etapa 2. Calculo de la cantidad de Calcio a aplicar	8
1.1.3. Etapa 3.Monitoreos	9
1.1.4. Etapa 4-5. Análisis de laboratorio por Métodos Estandarizados y Calculo de la eficiencia del sistema	11
1.1.4.1 Demanda Química de Oxigeno	12
1.1.4.2 Demanda Bioquímica de Oxigeno	12
1.1.4.3 Sólidos Suspendidos Totales	13
1.1.4.4 Grasas y Aceites	13
1.1.4.5 Alcalinidad	14
1.1.4.6 Cloruros	14
1.1.4.7 PH	14
2. RESULTADOS Y ANALISIS	16
2.1 Dosis de Calcio	16
2.2 Remoción de carga orgánica	16
2.3 Comportamiento del pH y Alcalinidad	20
2.4 Comportamiento Calcio y Cloruros	21
CONCLUSIONES	23
BIBLIOGRAFIA	24

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Efectos de los cationes sobre la actividad biológica	2
Tabla 2. Efectos de la concentración de amoniaco sobre la actividad biológica	2
Tabla 3. Efectos de la concentración de sulfuros sobre la actividad biológica	2
Tabla 4. Condiciones iniciales del sistema	8
Tabla 5. Propiedades del CaCl_2	8
Tabla 6. Ejemplo de una muestra compuesta en un monitoreo	10
Tabla 7. Resultados y calculo de la eficiencia de un monitoreo	15
Tabla 8. Concentraciones y dosis de Calcio	16

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Representación esquemática de un Reactor UASB	4
Figura 2. PTAR Sede Recreacional Comfenalco	6
Figura 3. Metodología para el desarrollo del trabajo	7
Figura 4. Sistema de aplicación CaCl_2	9
Figura 5. Muestras Compuestas	10
Figura 6. Muestras para Grasas y Aceites	10
Figura 7. Eficiencia en remoción de DQO	17
Figura 8. Eficiencia en remoción de DBO_5	18
Figura 9. Eficiencia en remoción Sólidos Suspendedos Totales	19
Figura 10. Eficiencia en remoción Grasas y Aceites	19
Figura 11. Comportamiento del pH	20
Figura 12. Alcalinidad	20
Figura 13. Calcio	21
Figura 14. Cloruros	22

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CENTRO RECREACIONAL COMFENALCO	25
ANEXO B. REGISTRO FOTOGRAFICO	30

RESUMEN

TITULO

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN REMOCION DE CARGA ORGANICA EN UN REACTOR UASB Y UN FILTRO ANAEROBIO DURANTE LA APLICACIÓN DE CALCIO.¹

AUTOR

MARLEN GARCIA ARIAS²

PALABRAS CLAVES

Reactor UASB, Filtro anaerobio, Granulación, Calcio

El tratamiento de las aguas residuales domesticas, tiene como objeto la remoción de la carga orgánica contenida en esta, produciendo vertimientos que no causen perjuicios a las fuentes receptoras y que cumplan con los requisitos de descarga, exigidos por la autoridad ambiental. Esta investigación muestra que la aplicación de Calcio a un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas compuesto por un reactor UASB y un filtro anaerobio, permite mejorar el proceso de granulación y en consecuencia aumentar la remoción de carga orgánica.

La metodología consiste en una serie de monitoreos y caracterización de los afluentes y efluentes del sistema UASB – Filtro Anaerobio (FA) y a partir de los resultados calcular la eficiencia del sistema y seleccionar las condiciones de operación más favorables. Los parámetros analizados por métodos estandarizados fueron: Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Sólidos suspendidos totales (SST), Grasas y aceites (G y A), pH, Alcalinidad, Concentración de Calcio y concentración de cloruros.

Sin aplicar calcio el sistema no supera el 60% en remoción de carga orgánica, medida como DQO y DBO₅ durante el tiempo de aplicación de Calcio, se observa el aumento gradual de la eficiencia hasta alcanzar un porcentaje de remoción promedio del 82% en términos de DQO y del 87 % en DBO₅ y con evidente mejora del proceso de granulación, esto indica que la aplicación de Calcio constituye una buena alternativa para mejorar la eficiencia en remoción de carga orgánica, en reactores UASB y Filtros anaerobios, en condiciones reales de operación.

¹ Practica Empresarial

² Facultad Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director Ingeniero Químico, Ph, D Leonardo Acevedo

SUMMARY

TITLE

STUDY OF THE EFFICIENCY IN REMOVAL OF ORGANIC LOAD IN A REACTOR UASB AND A FILTER ANAEROBIC DURING THE APPLICATION OF CALCIUM.³

AUTHOR

MARLEN GARCIA ARIAS⁴

KEYWORDS

UASB reactor, anaerobic filter, Calcium, Granulation

The wastewater treatment is aimed at removing the organic load on this, producing dumping as not to cause damage to the sources reception who meet the requirements of unloading, required by the environmental authority. This investigation shows that the application of Calcium to a system of treatment of wastewater composed by an UASB reactor and a filter anaerobic, enhances the process of granulation and thus increases the removal of organic load.

The methodology consists on a sampling series and characterization of the influent and effluent of the system UASB – Anaerobic Filter (FA) and from the results to calculate the efficiency of the system and to select the most favourable operating conditions. The parameters were analyzed by standard methods: Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical oxygen demand (BOD₅), Total Suspended Solids (SST), Oils and Grease, pH, Alkalinity, Concentration of Calcium and Concentration of Chlorides.

Without calcium implement the system does not exceed 60% in removing organic load, measured as COD and BOD₅ during the time of application of Calcium, we see the gradual increase in efficiency to achieve a clearance rate of 82% in terms of COD and 87% in BOD₅ and obvious improvement of the process of granulation. This indicates that implementation of Calcium is a good alternative to improve efficiency in removing organic load, UASB reactor and anaerobic filters in real conditions of operation.

³ Business Practice

⁴ Faculty Physical-chemistry Engineerings, School of Engineering Chemical, Chemical Engineer Ph. D Leonardo Acevedo

INTRODUCCION

Una de las alternativas más eficaces y económicas para tratamiento de aguas residuales es la digestión anaerobia, proceso biológico complejo en ausencia de oxígeno disuelto que transforma la materia orgánica en metano, dióxido de carbono, agua, ácido sulfhídrico y lodo⁵. Esta transformación es llevada a cabo por una variedad de microorganismos, los cuales utilizan como alimento la materia orgánica contaminante, de esta forma pueden obtener la energía necesaria para reproducirse y llevar a cabo sus funciones vitales. De manera general, a la digestión anaerobia se le atribuyen las siguientes ventajas⁶:

- Lograr una protección efectiva del medio ambiente a bajo costo .y sin requerimiento de energía eléctrica
- Bajo requerimientos de áreas
- Permite recuperar y utilizar productos del tratamiento (biogás)
- Baja producción y manejo de lodos
- Buena eficiencia en la remoción de materia orgánica y con bajos tiempos de retención.

Para que la digestión anaerobia se cumpla es necesario tener en cuenta ciertos factores ambientales que garanticen un buen crecimiento de bacterias generadoras de metano que es unos de los principales productos de este proceso

⁵ BERMUDES, Rosa; RODRIGUEZ, Suyén y Otros. Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás. Tecnología Química Vol. XXIII, No. 2, 2003

⁶ RAMÓN, Jacipt. A.; MALDONADO, Julio. I.; BOHÓRQUEZ, Edgardo. A.; SUÁREZ, Ricardo. A. Evaluación de la operación del reactor UASB de la Universidad de Pamplona. IX Seminario Internacional de Medio Ambiente y desarrollo Sostenible. Bucaramanga, 2006

biológico⁷. Entre los factores que afectan la digestión anaerobia están la temperatura, alcalinidad, pH, Ácidos grasos volátiles y la toxicidad de metales pesados, nitrógeno amoniacal, cationes, sulfatos y en algunos casos detergentes o surfactantes, entre otros.

Como ejemplos se pueden ver las tablas 1, 2 y 3 con datos de concentraciones convenientes o inconvenientes.

Tabla 1. Efectos de los cationes sobre la actividad biológica.

Catión	Concentración estimulante (mg/L)	Concentración inhibitoria (mg/L)	Concentración toxica (mg/L)
Calcio	100-200	2500-4500	8000
Magnesio	75-150	1000-1500	3000
Potasio	200-400	2500-4500	12000
Sodio	100-200	3500-5500	8000

Fuente: Tratamientos Anaerobios. Una perspectiva de saneamiento para países tropicales. Conferencia, Bogota, 1984.

Tabla 2. Efectos de la concentración de amoniaco sobre la actividad biológica.

Concentración de Amoniaco (mg/L)	Efectos sobre la digestión
50-200	Benéfico
200-1000	Ningún efecto adverso
1500-3000	Inhibitorio a pH alto
>3000	Tóxico

Fuente: Tratamientos Anaerobios. Una perspectiva de saneamiento para países tropicales. Conferencia, Bogota, 1984.

Tabla 3. Efectos de la concentración de sulfuros sobre la actividad biológica.

Concentración de Sulfuros (mg/L)	Efectos sobre la digestión
50-100	Nulo, no se requiere aclimatación
Hasta 200	Tolerable con aclimatación
>200	Tóxico

Fuente: Tratamientos Anaerobios. Una perspectiva de saneamiento para países tropicales. Conferencia, Bogota, 1984.

⁷ Collazos, Carlos; Tratamiento anaerobio de aguas residuales, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil.

Las aplicaciones de la digestión anaerobia están representadas en los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanked) y los Filtros anaerobios. Estas tecnologías del tratamiento anaerobio están siendo rápidamente aceptados para tratamiento de aguas residuales industriales alcanzando eficiencias del 90%, en el caso de aguas residuales domesticas las eficiencias no sobrepasan el 80%⁸.

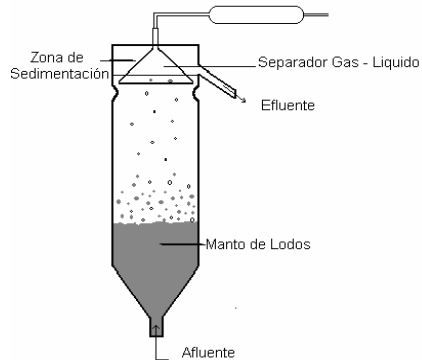
El reactor UASB es un sistema desarrollado por Lettinga en Holanda en 1970, El proceso consiste en un flujo ascendente a través de un manto de lodos anaeróbico que puede ser o no granular, con buena capacidad de sedimentación en donde se realiza la actividad biológica⁹. La figura 1 muestra el esquema de un UASB.

El Filtro Anaerobio fue desarrollado por Young y McCarty en 1969. Es un reactor en el cual la materia orgánica es estabilizada por la acción de microorganismos que se encuentran retenidos en los intersticios o adheridos en el medio de soporte o biopelícula. Este material de soporte constituye el medio a través del cual el agua residual fluye.

⁸ Rodríguez, Jenny; Arranque y operación de reactores anaerobios. Universidad del Valle, Colombia.

⁹ Rodríguez, Guillermo; Tratamientos Anaerobios. Una perspectiva de saneamiento para países tropicales. Conferencia, Bogota, 1984.

Figura 1. Representación esquemática de un Reactor UASB



Estos filtros son operados con flujo (ascendente o descendente) con lechos que pueden ser de piedra, material sintético u otro material inerte¹⁰.

Para un buen desempeño de este tipo de reactores es necesario que exista una biopelícula estable en el caso de los filtros anaerobios y la formación de gránulos, en el caso de los reactores UASB. La granulación es el fenómeno en el cual la biomasa se aglutina en forma de gránulos bien definidos y con buenas características de sedimentación. Este es un proceso complejo y depende de diferentes procesos fisicoquímicos y microbiológicos¹¹.

Los principales factores que influyen en el proceso de granulación son: el tipo y concentración del inoculo, las concentraciones de iones bivalentes; la producción de sustancias poliméricas extracelulares y la concentración del sustrato.(Hulshoff-1989).

Se ha comprobado que algunos iones de metales divalentes, como el Ca^{++2} y Fe^{++2} , refuerzan la granulación. El calcio es probablemente un constituyente de

¹⁰ Cubillos,A; Espinosa, C; Riviera, G; Sanabria, J; Memorias. Reactores anaerobios para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Junio de 1999.

¹¹ YUH. Q.,TAY J.H y FANG, Herbert.The roles of calcium in sludge granulation during UASB reactor start-up. Elsevier Science. Vol 35, Nº 4, 1052- 1060, 2001

polisacáridos y/o de las proteínas extracelulares los cuales se usan para unir los materiales. Por esta razón, el objeto de este estudio era la aplicación de Calcio a un sistema UASB- Filtro anaerobio, para aumentar la remoción de carga orgánica.

1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

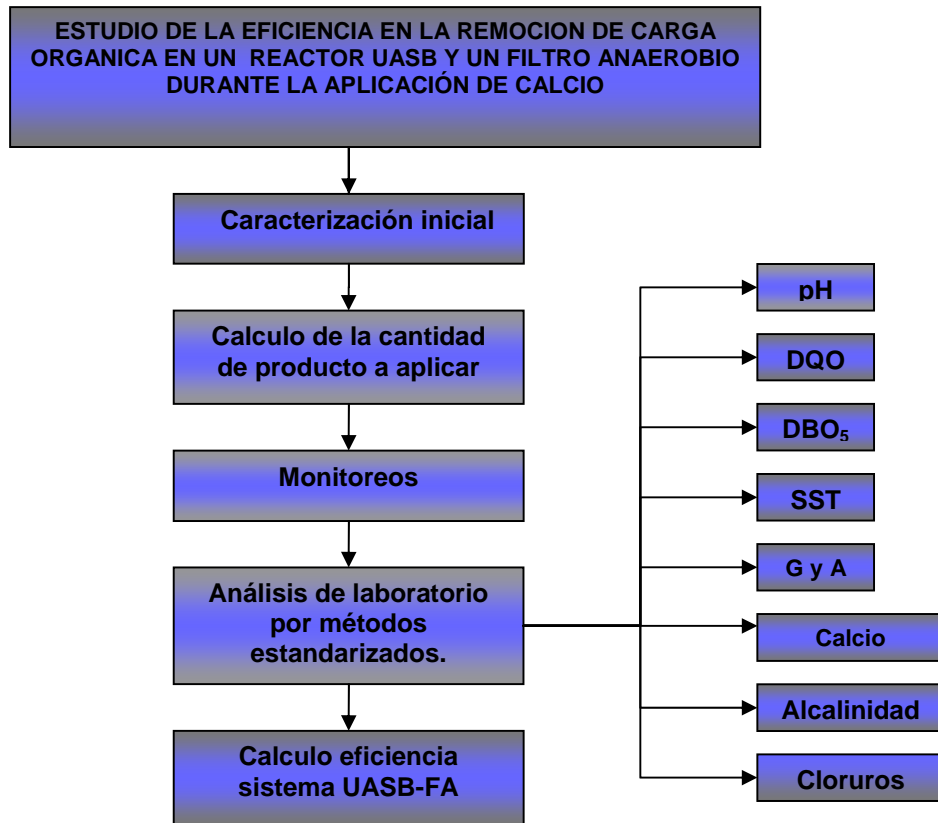
Este trabajo se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Centro Recreacional COMFENALCO. Esta planta trata las cargas contaminantes generadas por los usuarios del centro recreacional, las cuales son descargadas a la Quebrada Menzulí. En la figura 2 se muestra el sistema UASB –FA.

Figura 2. PTAR Sede Recreacional Comfenalco



El desarrollo del trabajo consta de cinco etapas. La primera de ellas comprende, una caracterización inicial del sistema. La segunda etapa consiste en calcular la cantidad de Calcio a aplicar, teniendo en cuenta los resultados de la primera etapa. Luego se realizaron monitoreos que consistían en recolección de muestras, las cuales fueron analizadas en el laboratorio, esto corresponde a la tercera y cuarta etapa de la metodología. Por ultimo, con base en los resultados obtenidos en el análisis de las muestras se evaluó la eficiencia del sistema UASB-FA. La figura 3 muestra la metodología a desarrollar.

Figura 3. Metodología para el desarrollo del trabajo



1.1 METODOLOGIA

1.1.1 Etapa 1. Caracterización inicial del Sistema.

Se realiza un muestreo para conocer las condiciones iniciales del sistema. Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Condiciones iniciales del Sistema

Parámetro	UNIDADES	AGUA CRUDA	SALIDA UASB	SALIDA FILTRO	Eficiencia UASB	Eficiencia Filtro	Eficiencia Total
pH		7,69	7,39	6,78			
Temperatura	°C	17,6	16,9	18,3			
Calcio	mg/l Ca	24	21,7	20			
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	212	183	174			
DQO	mg/l O ₂	259,2	158,4	115,2	38,89	16,67	55,56
DBO ₅	mg/l O ₂	136,5	100,1	69,3	26,67	22,56	49,23
SST	mg/l	34	-	22	-	-	35,29
G y A	mg/l	10,8	-	5,8	-	-	46,30

Fuente: El autor

1.1.2 Etapa 2. Calculo de la cantidad de Calcio a aplicar.

El Calcio se aplica al sistema durante cinco meses consecutivos en forma de Cloruro de Calcio (CaCl₂), el cual es producido por la Empresa Brinsa S.A. En la tabla 5 se muestran las propiedades fisicoquímicas:

Tabla 5. Propiedades del CaCl₂.

PROPIEDAD	
Concentración CaCl ₂	38 % en peso mín
pH	7.0 mín.
Densidad a 20 °C	1.38 g/ml mín.
Apariencia	Cristalino

Fuente: BRINSA. A

La aplicación de calcio se realiza en el afluente del reactor UASB, por medio de una bomba dosificadora marca EMEC, modelo HCO, a 110 V. Figura 4.

Para determinar la dosis de CaCl₂ a aplicar, se tiene en cuenta la concentración de Calcio en el afluente, el caudal de la planta que es de 86,4 m³/día y se utiliza la ecuación 1:

$$V\left(\frac{cm^3}{min}\right) = dosis\left(\frac{grCa^{+2}}{m^3}\right) * Q\left(\frac{m^3}{dia}\right) * \left(\frac{111grCaCl_2}{40grCa^{+2}}\right) * \left(\frac{grproducto}{0.38grCaCl_2}\right) * \left(\frac{cm^3 producto}{1.38grproducto}\right) * \left(\frac{dia}{1440min}\right) \quad [1]$$

Figura 4. Sistema de aplicación de CaCl₂



1.1.3 Etapa 3. Monitoreos

Para la caracterización del afluente y efluente de la planta se realizan muestreos compuestos para aguas residuales cada semana.

Se toman muestras compuestas las cuales son una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos.

El procedimiento para hallar este tipo de muestras es el siguiente.

- Medir el caudal cada vez que se tome una alícuota, Q_i (L/s)
- Determinar el caudal promedio Q_p correspondiente a cada frecuencia de composición a partir de los caudales parciales Q_i .
- Determinar el volumen a tomar de cada una de las alícuotas para obtener cada muestra compuesta, utilizando la ecuación 2:

$$V_a = \frac{(Q_i * V)}{Q_p * n} \quad [2]$$

Donde:

V_a = Volumen de cada alícuota

V = Volumen total a componer

Q_p = Caudal promedio

Q_i = Caudal instantáneo

n = numero de muestras

Figura 5. Muestras Compuestas



Figura 6. Muestras para Grasas y Aceites



En la tabla 6, se muestra el cálculo de las alícuotas para obtener una muestra compuesta.

Tabla 6. Ejemplo de una muestra compuesta en un monitoreo.

Fecha 26/10/2007	Q_i (L/s)	Volumen Alícuota (ml)	$T_{muestra/Tamb}$ (°C)
12.15 p.m	1,25	293	25/32
12:50 p.m	1,19	279	26/30
2:00 p.m	1,35	316	26/28
3:30 p.m	1,42	333	25/28
Q_{prom} (L/s)	1.28		
Volumen a Componer (ml)		1200	
Número de alícuotas		4	

Fuente: El autor

La toma de muestras se realizó en los siguientes puntos:

- Entrada de la planta (Agua cruda)
- Efluente UASB
- Efluente del filtro (agua tratada)

Las muestras para SST y G y A se toman en el afluente del reactor UASB y en el efluente del Filtro. Las muestras para DQO se preservan con Acido Sulfúrico concentrado (95 - 97%) y las de Grasas y Aceites son preservadas con Acido Clorhídrico 1:1

1.1.4 Etapa 4 y 5. Análisis de laboratorio por Métodos Estandarizados y Cálculo de la Eficiencia del sistema.

A cada muestra compuesta se le analizan los siguientes parámetros de control:

- **pH**
- **Alcalinidad**
- **Concentración de Calcio**
- **Cloruros**
- **DBO5:** Demanda Bioquímica de Oxígeno
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno
- **SST:** Sólidos Suspendidos Totales
- **G y A:** Grasas y aceites

Los análisis de las muestras fueron realizados en el Laboratorio Ambiental de Sistemas Hidráulicos y Sanitarios SIHSA LTDA.

1.1.4.1 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general Dicromato de Potasio, en un medio ácido y alta temperatura. Después de la digestión, el remanente de $K_2Cr_2O_7$ sin reducir se titula con sulfato ferroso de amonio; usando como indicador del punto final el complejo ferroso de ortofenantrolina (ferroína)¹².

Este método se conoce como reflujo cerrado, es un método económico, debido a que se reducen los reactivos de sales metálicas y los residuos peligrosos se generan en menores cantidades, siendo más fácil su almacenamiento y eliminación. Este procedimiento se hizo con base en el STANDARD METHODS 5220 C/ Reflujo cerrado-Titulométrico

1.1.4.2 DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido durante un período de incubación específico, para la degradación bioquímica de la materia orgánica. Su determinación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Este procedimiento se realizó con base en el método STANDARD METHODS 5210 B/Incubación 5 días

¹² STANDARD METHODS for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition 1995. American Public Health Association, Washington, D.C .pp 5-3

1.1.4.3 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos suspendidos son aquellos que se retienen en un filtro de tamaño de poro de 2,0µm (micrómetros o micras).

Este procedimiento esta basado en el método STANDARD METHODS 2540 D/ Gravimétrico. Consiste en filtrar una muestra muy bien homogenizada a través de una membrana de fibra de vidrio estándar previamente pesada. El residuo retenido por la membrana se seca a 103 - 105°C hasta peso constante. El incremento en el peso de la membrana de filtro representa el contenido total de sólidos suspendidos en la muestra. La diferencia entre sólidos totales y sólidos disueltos puede proporcionar un estimativo de los sólidos suspendidos.

1.1.4.4 GRASAS Y ACEITES

Se entiende por "Grasas y Aceites" cualquier sustancia o grupo de sustancias recuperadas por solubilidad con solventes como Freón, Hexano, Éter Metil-Tert-Butil o Éter de Petróleo, las cuales no se volatilizan durante la prueba. Los resultados se obtienen con base en el peso del extracto seco. Por este método no se mide la cantidad absoluta de una sustancia específica, sino grupos de sustancias con características físicas similares.

Las grasas y aceites disueltas o emulsificadas son extraídas del agua, por contacto íntimo con un solvente. Algunas grasas y ácidos grasos se oxidan fácilmente por lo que se debe tener precaución con la temperatura y los vapores del solvente. Algunos solventes orgánicos forman emulsiones difíciles de romper.

Este Procedimiento se realiza según el método STANDARD METHODS 5520-B/
Gravimétrico

1.1.4.5 ALCALINIDAD

La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, su capacidad de reaccionar con iones hidrógeno, su capacidad para aceptar protones o como medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH^-).

Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH, la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes y en tratamientos anaerobios. Procedimiento basado en el método STANDARD METHODS 2320 B / Titulométrico.

1.1.4.6 CLORUROS

El ión cloruro es una de las especies de cloro de importancia en las aguas. En aguas residuales domesticas son comunes pues la contribución diaria por persona es de 6 gramos, por esta razón, su determinación en aguas residuales es importante porque pueden interferir en el ensayo de la DQO. Método realizado con base en STANDARD METHODS 4500 Cl^- -B / Argentométrico.

1.1.4.7 pH

Medida de la concentración de ión hidrogeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ión Hidrogeno. El valor adecuado para diferentes procesos de tratamiento biológico generalmente es de 6,5 a 8,5¹². Procedimiento realizado según el método STANDARD METHODS AWWA 4500- H^+ B/95

Después de determinar los parámetros de interés en cada punto del sistema, se calcula la eficiencia Total, la eficiencia en el reactor UASB y la eficiencia en el Filtro anaerobio. En la tabla 7 se muestra los resultados de un monitoreo con el respectivo cálculo de la eficiencia.

Tabla 7. Resultados y calculo de la eficiencia de un monitoreo.

RESULTADOS MUESTREO N° 10							
FECHA: 2/10/2007							
Parámetro	UNIDAD	AGUA CRUDA	SALIDA UASB	SALIDA FILTRO	Eficiencia UASB	Eficiencia Filtro	Eficiencia Total
pH		7,2	7,08	7,19			
Temperatura	°C	24	24.1	24.5			
Calcio	mg/l Ca	25,6	171,2	120			
Alcalinidad	mg/l CaCO ₃	228	280	372			
DQO	mg/l O ₂	571,52	203	120,3	64,48	14,47	78,95
DBO ₅	mg/l O ₂	300,8	143,6	59,55	52,26	27,94	80,20
Cloruros	mg/l Cl ⁻	101,23	414,86	379,1			
SST	mg/l	72,5	-	18,6			74,34
G y A	mg/l	71,9	-	8,2			88,60

Fuente: El autor

2 RESULTADOS Y ANALISIS

Con la caracterización de los afluentes del reactor UASB y el Filtro anaerobio se obtuvieron los siguientes resultados:

2.1 Dosis de Calcio

Aplicando la ecuación 1, para cada una de las concentraciones de Calcio, se llega a los resultados presentados en la Tabla 8.

Tabla 8. Concentraciones y dosificación del CaCl₂

Concentración de Calcio (ppm)	Dosis de CaCl ₂ (cm ³ /min)
200	58.16
300	85
22	3,5

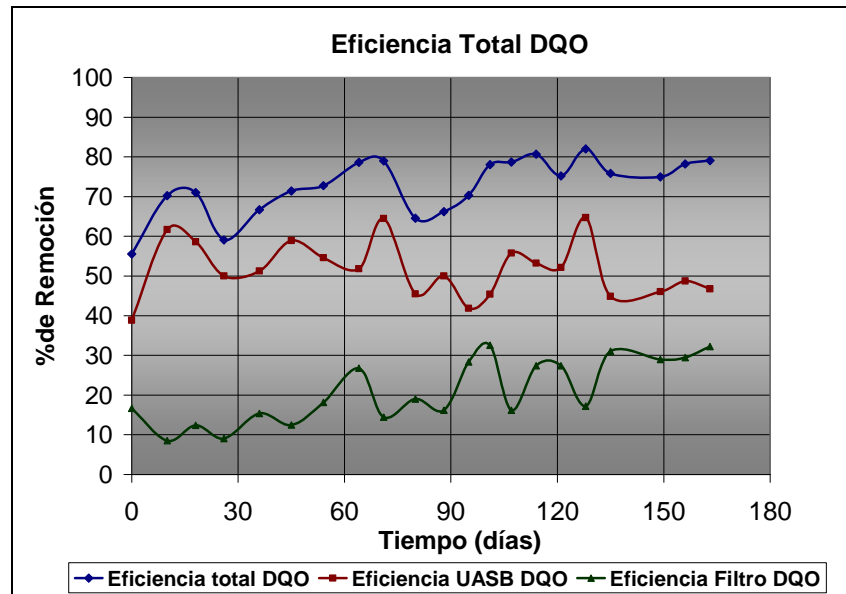
Fuente: El autor

2.2 Remoción de Carga Orgánica

En las Figuras 7 y 8, se muestran las eficiencias obtenidas en remoción de carga orgánica durante el tiempo de la aplicación de Calcio. De la caracterización inicial (tiempo cero en las graficas) se obtuvo que la eficiencia total era de 55,6%, en DQO y 49,23% en DBO₅.

La baja eficiencia en remoción de carga orgánica encontrada en la caracterización inicial se debe, en parte, al mal mantenimiento realizado a la planta, ya que el lodo se purgaba de manera incorrecta, permitiendo así que se perdiera parte de la biomasa, durante el tiempo de ejecución del trabajo, el lodo no se ha purgado.

Figura 7. Eficiencia en remoción de DQO



Fuente: El autor

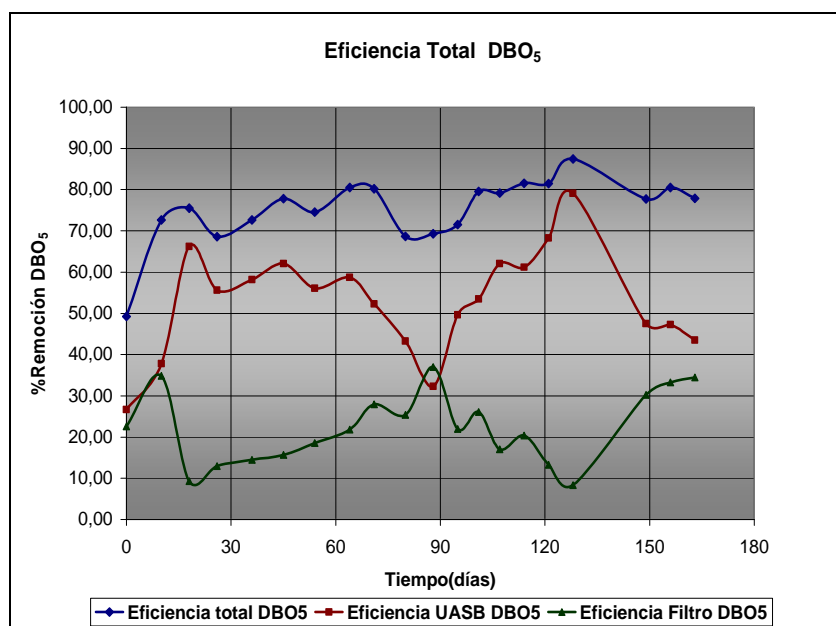
La eficiencia total del sistema (UASB - FA) aumentó de manera gradual durante el tiempo de aplicación de Calcio, sin embargo, en dos oportunidades el porcentaje de remoción, estuvo por debajo del 70%, en DQO y DBO₅.

La primera situación se presentó por la aplicación de Cloruro de calcio en exceso, producto de una falla en la bomba de alimentación del reactor UASB, después de solucionado el problema, se dejó de aplicar CaCl₂ por unos días, con el fin de permitir que el sistema se recuperara. El segundo caso, se presenta por el aumento en la dosis de CaCl₂ a 85 cm³/min, que corresponde a una concentración de Calcio de 300 ppm, después de esto también se suspende la aplicación CaCl₂ por unos días.

Cuando se aumenta la concentración de calcio de 200 a 300 mg/L, el sistema disminuye su eficiencia en un 15% aproximadamente, pero pasados unos días de

aplicación el sistema empieza a recuperarse y alcanza su nuevamente su eficiencia promedio. Este comportamiento obedece al proceso de adaptación del sistema, a una concentración de Calcio mayor. Para que el sistema se adapte más fácilmente y evitar fluctuaciones grandes en la eficiencia, la concentración de calcio, se debe ir aumentando gradualmente.

Figura 8. Eficiencia en remoción DBO₅

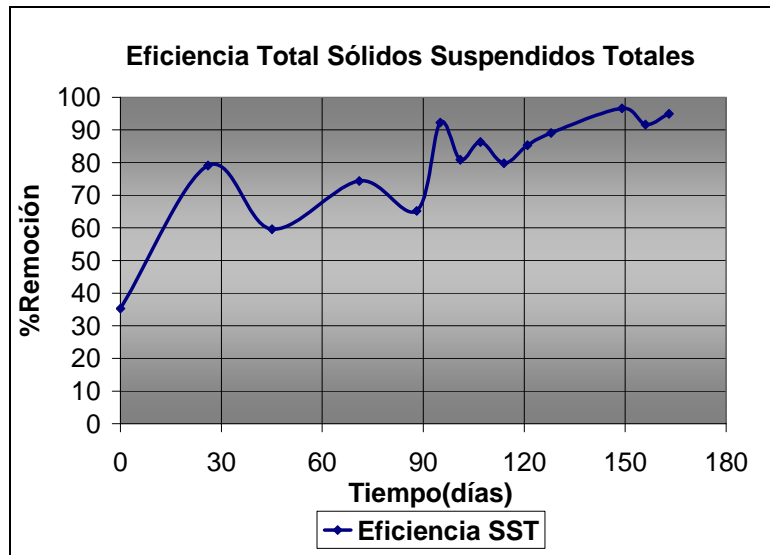


Fuente: El autor

Al realizar la evaluación del lodo, se determino que era un lodo disperso, pues tardó más de 10 minutos en clarificarse (Método JIM FIELD 1992⁴)

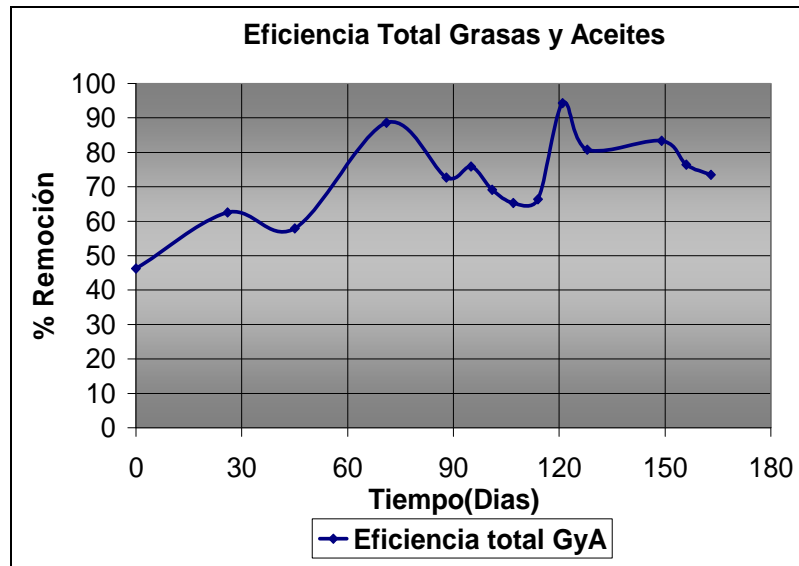
Las figuras 9 y 10, muestran las eficiencias alcanzadas en la remoción de Sólidos Suspendidos totales y Grasas y aceites. La eficiencia en remoción de Grasas y Aceites y SST también aumenta considerablemente durante el tiempo de aplicación de Calcio, aunque, la tendencia es a aumentar, pero de manera variable.

Figura 9 .Eficiencia en remoción Sólidos Suspendidos Totales



Fuente: El autor

Figura 10. Eficiencia en remoción Grasas y Aceites

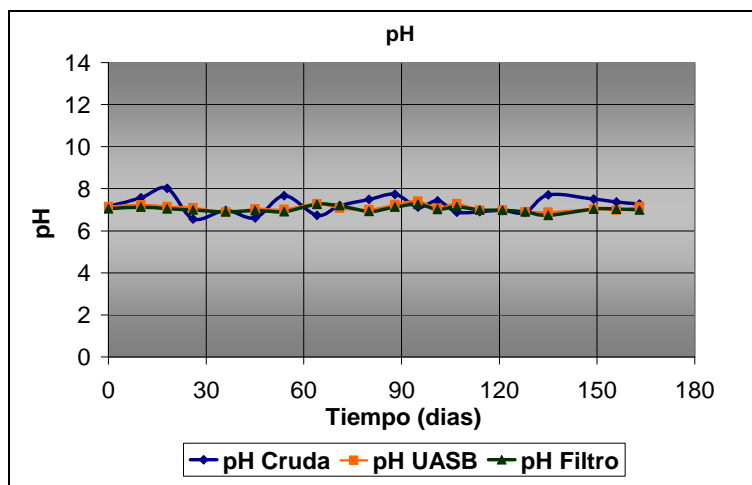


Fuente: El autor

2.3 Comportamiento pH y Alcalinidad

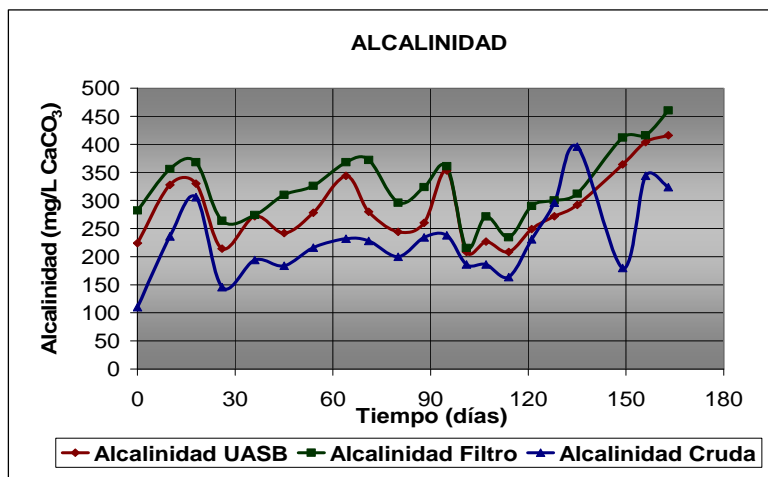
En la figura 11, se observa que el pH está dentro del rango reportado por la literatura para procesos de tratamiento biológico¹² y no fue afectado por la aplicación de CaCl_2 , al igual que la Alcalinidad, .Figura 12.

Figura 11. Comportamiento del pH



Fuente: El autor

Figura 12. Alcalinidad

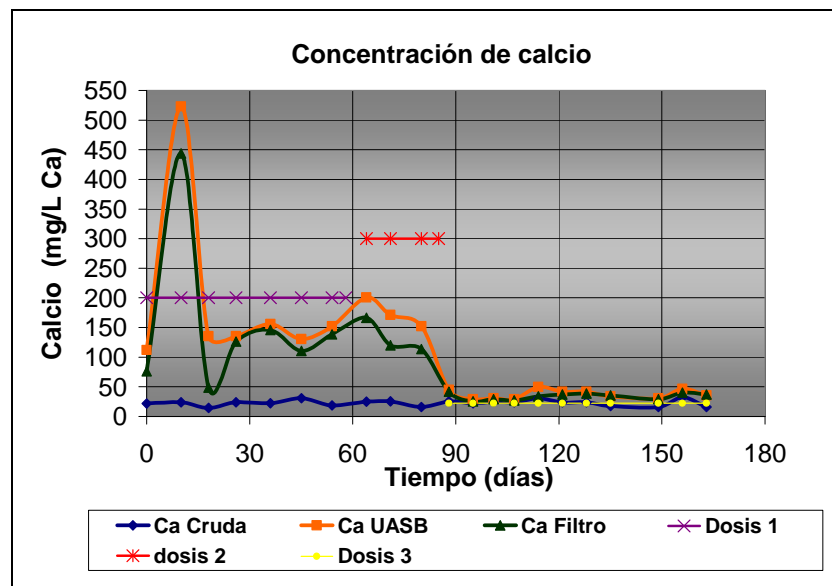


Fuente: El autor

2.4 Comportamiento Concentración de Calcio y de Cloruros

En la aplicación de las dosis 1 y 2, hay un consumo de calcio por parte de la población bacteriana de las dos unidades (UASB-FA), como se muestra en la figura 13. La concentración de cloruros no alcanza valores que fueran perjudiciales para el proceso, esto demuestra que es posible la aplicación de Calcio en forma de CaCl_2 , sin poner en riesgo la actividad biológica. Ver Figura 14.

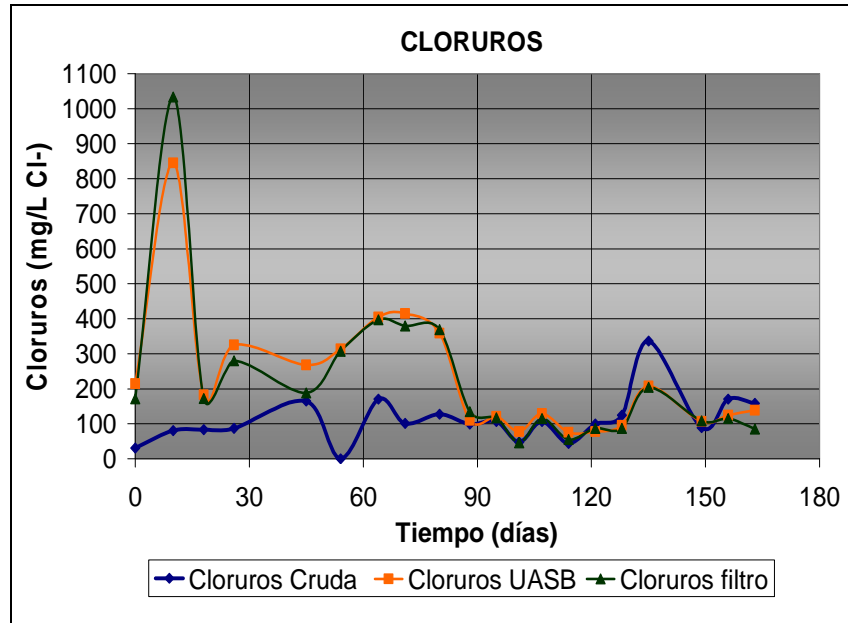
Figura 13. Calcio



Fuente: El autor

Otro factor que influye sobre el buen funcionamiento de la PTAR, es el sistema de recolección de aguas lluvias, el cual está conectado con el afluente del reactor UASB, lo que hace que en época de invierno, se presente una dilución del afluente, disminuyendo la carga orgánica y como resultado de esto se afecta la remoción de carga orgánica.

Figura 14. Cloruros



Fuente: El autor

CONCLUSIONES

- La eficiencia total de la PTAR en remoción de materia orgánica medida como DQO aumentó de 55.5% a 82% y en DBO5 de 49.2% a 87%; de igual forma la eficiencia total en remoción de Sólidos Suspendidos totales y Grasas y Aceites también aumentó, de 35.2% y 46.3% a 96% y 94%, respectivamente.
- La aplicación de Calcio, constituye una buena alternativa para mejorar la eficiencia en remoción de carga orgánica, en reactores UASB y Filtros anaerobios, en condiciones reales de operación, lo cual indica que este procedimiento puede ser utilizado en sistemas ya existentes.
- El pH y la concentración de cloruros no alcanzan valores perjudiciales para el proceso, esto demuestra que es posible la aplicación de Calcio en forma de CaCl_2 , sin poner en riesgo la actividad biológica.
- La eficiencia de la sola unidad UASB se encontró que es similar a la reportada por la literatura, razón por la cual se amerita el uso del filtro como tratamiento complementario.
- Se requiere un control muy preciso en la evacuación de lodos del reactor UASB, para evitar perder el inóculo estabilizado; y en lo posible, evitar que las aguas lluvias lleguen a la planta de tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

- YUH. Q., TAY J.H y FANG, Herbert. "The roles of calcium in sludge granulation during UASB reactor start-up". Environmental Engineering Research Centre, Department of Civil Engineering, Hong Kong University. 20 de junio de 2000
- RAMÓN, Jacipt. A.; MALDONADO, Julio. I.; BOHÓRQUEZ, Edgardo. A.; SUÁREZ, Ricardo. A. Evaluación de la operación del reactor UASB de la Universidad de Pamplona. IX Seminario Internacional de Medio Ambiente y desarrollo Sostenible. Bucaramanga, 2006
- Romero, Jairo A; Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño, tercera edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Febrero de 2004.
- Collazos, Carlos; Tratamiento anaerobio de aguas residuales, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil.
- Cubillos, A; Espinosa, C; Riviera, G; Sanabria, J; Factores anaerobios para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Noviembre 2000.
- Díaz, Maria; Espitia, Sandra; Molina, Francisco; Digestión Anaerobia: Una aproximación a la tecnología, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biotecnología, Bogota, Junio de 2002.
- STANDARD METHODS for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition 1995. American Public Health Association 1015 Fifteenth Street, NW. Washington, D.C 20005.
- Manual de Operación y Mantenimiento PTAR Centro Recreacional Comfenalco.

ANEXO A

**DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
CENTRO RECREACIONAL COMFENALCO**

El agua residual proveniente de las tuberías o emisarios finales es recibida en la caja primaria y es conducida hasta la caja secundaria, donde se conecta con otro emisario, el cual tiene contenido de aguas mixto (residual y lluvia). En la caja secundaria se garantiza el paso de caudal máximo de operación y la evacuación de excesos producto de las aguas lluvias.



Figura A1. Caja secundaria

Pretratamiento

De la caja secundaria, el desecho es conducido hasta las rejillas donde se realiza la separación física de sólidos, luego pasa a los desarenadores. La regulación del flujo de la zona de rejillas a los desarenadores se hace a través de dos compuertas (una para cada desarenador).



Figura A2. Rejillas y desarenadores

Después del desarenador el desecho pasa al pozo de succión, de donde es bombeado de forma automática a la caja de reparto ubicada en la parte superior del UASB.



Figura A3. Pozo de succión.



Figura A4. Caja de Reparto.

Tratamiento primario

El agua residual llega a la unidad UASB la cual es un tanque de 2.55 x 2.55 metros en planta y una altura útil de 4.5 metros. En la parte superior del reactor se encuentra la caja de reparto la cual dispone de cuatro vertederos rectangulares, cada uno de los cuales entrega 0,25 litros por segundo. El desecho se conduce hasta el fondo del reactor. El tiempo de retención hidráulico es de 6 horas.



Figura A5. Reactor UASB

Los gases generados en la transformación de la materia orgánica salen por las campanas y son conducidos al sistema de limpieza y posterior quemado. Los

lodos que se producen en el reactor son evacuados hidráulicamente y descargados en los lechos de secado.



Figura A6. Sistema de limpieza y quemado del gas.



Figura A7. Lechos de Secado.

Tratamiento secundario

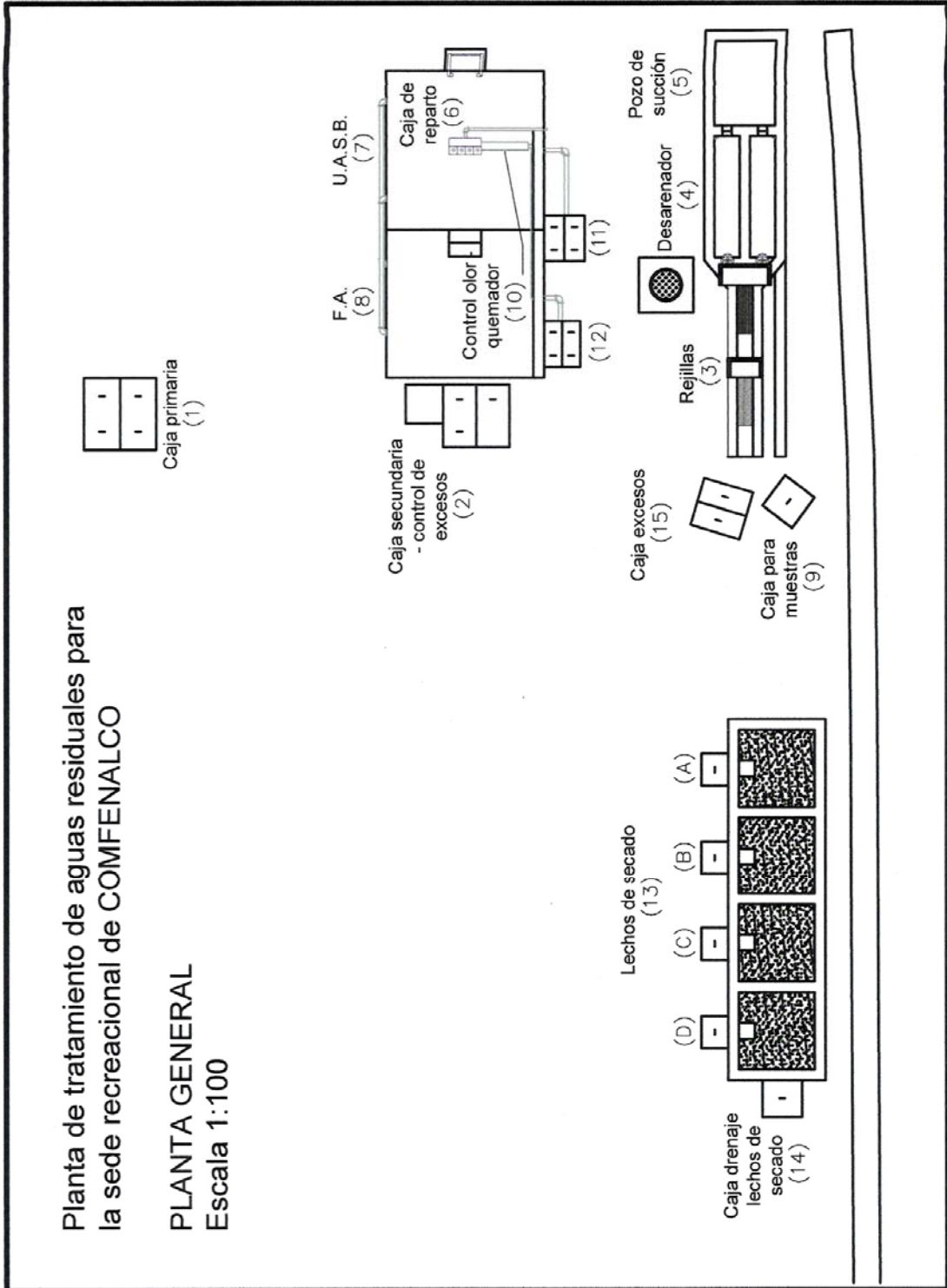
De la unidad UASB el agua tratada pasa al filtro anaeróbico. Esta unidad tiene 2.55 x 2.55 metros en planta y una altura útil de 2.5 metros. El medio filtrante es tubería de polietileno en pedazos de 2 x 2.

El agua tratada se recoge en la parte superior y se pasa por un sistema sifón, para controlar los olores, después el agua pasa a la caja de aforo, la cual sirve para la recolección de muestras y después es descargada a la quebrada. En la figura A9, se muestra un esquema general de la PTAR Comfenalco



Figura A8. Caja de Aforo

Figura A9. Esquema general de la PTAR Comfenalco



ANEXO B
REGISTRO FOTOGRAFICO

Figura B1. Análisis DQO.
Muestras antes de la digestión.

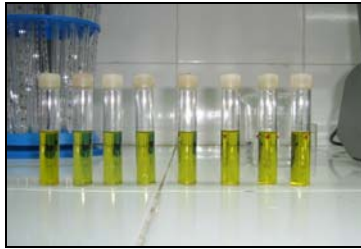


Figura B2. Análisis DQO.
Muestras después de la digestión

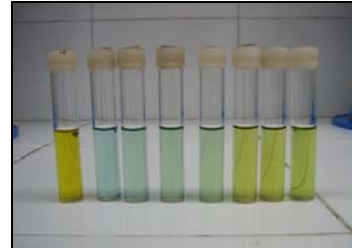


Figura B3. Análisis DQO. Titulación con FAS

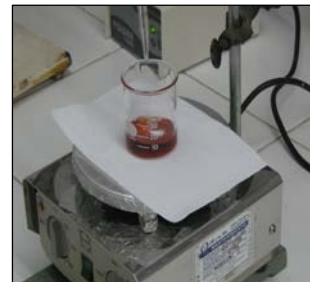


Figura B4. Preparación de la muestra para DBO₅



Figura B5. Determinación del Oxígeno Disuelto



**Figura B6. Análisis SST.
Equipo de Filtración**



**Figura B7. Análisis SST.
Toma de volumen de muestra a filtrar**



**Figura B8. Análisis SST.
Secado de las membranas**



**Figura B9. Análisis SST
Membranas secas más residuo.**



**Figura B10. Análisis G y A.
Extracción de las grasas con el solvente**



**Figura B11. Análisis G y A.
Recuperación del Solvente**



Figura B10. Determinación de la Alcalinidad



Figura B11. Determinación del Calcio



Figura B12. Determinación de Cloruros

