

**ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA**

MAYRA LILIANA OSORIO DUARTE

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2010**

**ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA**

MAYRA LILIANA OSORIO DUARTE

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**ALVARO CAJIGAS CERÓN
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2010

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Octubre de 2010

DEDICATORIA

Este proyecto de grado es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas por esto y más, la dedico A Dios por ser el motor de mi vida, quien ilumina mi camino y fortalece mi espíritu.

A Papá Checho y Mamá Lucita quienes en vida me brindaron Todo su amor, apoyo y ejemplo. Ahora desde el cielo me acompañan.

AGRADECIMIENTOS

Son tantas personas a las cuales debo parte de este triunfo, de lograr alcanzar mi culminación académica, la cual es el anhelo de todos los que así lo deseamos. A la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme formar como una profesional integral.

Mis papás, hermanos, cuñada y sobrina por darme la estabilidad emocional, económica, sentimental; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes.

A Pacho, por ser la persona que ha compartido el mayor tiempo a mi lado, porque en su compañía las cosas malas se convierten en buenas, la tristeza se transforma en alegría y la soledad no existe.

A la Ingeniera Alexandra Cerón por su amistad, por motivarme a iniciar esta investigación y por su acompañamiento desde la distancia

Al Ingeniero Álvaro Andrés Cajigas Cerón por su constante e incondicional asesoría y dirección en el trabajo de investigación.

A los Ingenieros Consuelo Castillo, María Irene Kopytko, Claudia Quintero, Nolva Camargo y Guillermo Iván Castro, docentes de la facultad de Ingeniería Ambiental, los cuales me proporcionaron las bases para iniciar esta nueva etapa de mi vida, gracias por su amistad.

A Naydú, Alirio y Alonso por su apoyo incondicional, sus aportes en el desarrollo de la investigación y sobre todo por su bonita amistad.

A mis amigos de la Universidad Chanchito, George y Karito con quienes pase momentos angustia y felicidad en los años de mi vida universitaria.

Así también a todo el personal de la UPB, tanto de la Facultad de Ingeniería Ambiental, como Biblioteca, Mantenimiento, Limpieza, seguridad, Fotocopias, etc. Ya que dentro de los ámbitos que a cada uno le competen me han colaborado sin ponerme ningún impedimento, al contrario, me han brindado siempre una sonrisa.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	2
ANTECEDENTES	4
1. OBJETIVO GENERAL	6
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
2. MARCO TEÓRICO	¡Error! Marcador no definido.
2.1 PROCESO MICORBIOLÓGICO	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1. Descripción del proceso	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2 Factores que afectan el proceso de digestión anaerobia	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2.1 Tipo de sustrato:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2.2 Temperatura:	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2.3. Nutrientes:	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO):	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2 Demanda química de oxígeno:	¡Error! Marcador no definido.
2.3 REACTOR DE FLUJO PISTÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.4 RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL PROCESO DE LA DEGESTION ANEROBIA	¡Error! Marcador no definido.
2.4.1 Relación entre pH, Alcalinidad y Ácidos Grasos Volátiles:	¡Error! Marcador no definido.
2.4.2 Relación entre alcalinidad y efecto BUFFER:	¡Error! Marcador no definido.
2.4.3 Relación entre alcalinidad y ácidos grasos volátiles:	¡Error! Marcador no definido.
2.4.4 Alcalinidad de los asidos grasos:	¡Error! Marcador no definido.
3. METODOLOGÍA	26
3.1 GENERALIDADES	26
3.2 ETAPA I	27
3.3 ETAPA II	28
3.4 ETAPA III	29
4. DATOS Y ANÁLISIS	31

4.1 ETAPA I	31
4.1.2 Monitoreo Caudales de Afluente.	39
Grafica 1. Caudal 24 febrero de 2009	410
Grafica 2. Caudal Junio 23 de 2009	411
Grafica 3. Caudal Agosto 12 de 2009	422
Grafica 4. Caudal Septiembre 3 de 2009	433
4.2 ETAPA II	44
Grafica 5. Relación pH - Tiempo	¡Error! Marcador no definido. 4
Gráfica 6. Relación Efecto Buffer y pH	445
Gráfica 7. Relación Alcalinidad y pH	¡Error! Marcador no definido. 7
Gráfica 8. Relación Efecto Buffer y Ácidos Grasos Volátiles	50
Gráfica 9. Relación Efecto Buffer y Porcentaje de Remoción	¡Error! Marcador no definido. 1
Grafica 10. Relación Porcentaje de Remoción y pH	52
Imagen 1. Muestra de agua Afluente y Efluente del día 13 del mes de julio del año 2009	533
Imagen 2. Sólidos Sedimentables de la Muestra de Agua del Día 26 del Mes de Agosto del Año 2009	544
Gráfica 11. Relación Efecto Buffer Afluente y Efluente	555
Gráfica 12. Relación Ácidos Grasos Volátiles Afluente y Efluente	566
Gráfica 13. Relación pH Afluente y Efluente	577
Gráfica 14. Porcentaje de Remoción	588
CONCLUSIONES	600
RECOMENDACIONES	621
BIBLIOGRAFÍA	632
ANEXO A.	68

LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICAS

	Pág.
Figura. 1 Proceso de Digestión Anaerobia	8
Figura. 2 Esquema Reactor Anaerobio a Flujo Pistón.	¡Error! Marcador no definido.
Figura. 3 Esquema PTAR UPB	27
Grafica 1. Caudal 24 febrero de 2009	410
Grafica 2. Caudal Junio 23 de 2009	411
Grafica 3. Caudal Agosto 12 de 2009	422
Grafica 4. Caudal Septiembre 3 de 2009	433
Grafica 5. Relación pH - Tiempo	¡Error! Marcador no definido.4
Gráfica 6. Relación Efecto Buffer y pH	445
Gráfica 7. Relación Alcalinidad y pH	¡Error! Marcador no definido.7
Gráfica 8. Relación Efecto Buffer y Ácidos Grasos Volátiles	50
Gráfica 9. Relación Efecto Buffer y Porcentaje de Remoción	¡Error! Marcador no definido.1
Grafica 10. Relación Porcentaje de Remoción y pH	52
Gráfica 11. Relación Efecto Buffer Afluente y Efluente	555
Gráfica 12. Relación Ácidos Grasos Volátiles Afluente y Efluente	566
Gráfica 13. Relación pH Afluente y Efluente	577
Gráfica 14. Porcentaje de Remoción	588

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resume las principales ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio comparados con el aerobio convencional.	11
Tabla 2. Caracterización del sustrato.	28
Tabla 3. Relación variable y frecuencia de los parámetros de la investigación	30
Tabla 4. Ilustra la caracterización del sustrato en afluente en los meses de febrero y abril, antes de iniciar el arranque del reactor en estudio.	32
Tabla 5. Composición Química de los microorganismos metanogénicos.	33
Tabla 6. Análisis mayo de 2009.	36

GLOSARIO¹

- **Afluente** Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.
- **Aguas residuales** Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.
- **Ambiente anaerobio** Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.
- **Ambiente anóxico** Ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno molecular pero existe oxígeno en forma combinada como nitratos y nitritos.
- **Bacteria** Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.
- **Carga orgánica** Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ó Demanda de oxígeno** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.
- **Desarenadores** Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

¹ República de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras – 2000. Sección II, Título E, Tratamiento De Aguas Residuales.

- **Descomposición anaerobia** Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.
- **Digestión** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.
- **Digestión anaerobia** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.
- **Efluente** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- **Hidrólisis** Proceso químico en el cual la materia orgánica se desdobla en partículas más pequeñas por la acción del agua.
- **Metales pesados** Son elementos tóxicos que tiene un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm³ por ejemplo, plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel, zinc.
- **Metanogénesis** Etapa del proceso anaerobio en la cual se genera gas metano y gas carbónico.
- **Mortalidad de bacterias** Medida de descomposición de la población bacteriana. Normalmente se expresa por un coeficiente cinético de primer orden.
- **Oxígeno disuelto** Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación. Normalmente se expresa en mg/L.
- **pH** Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.
- **Planta de tratamiento (de agua residual)** Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.
- **Pre tratamiento** Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.
- **Proceso biológico** Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e

incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

- **Sedimentación** Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.
- **Tiempo de retención hidráulica** Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.
- **Tratamiento primario** Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.
- **Tratamiento secundario** Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

ABREVIATURAS

- **RAP:** Reactor Anaerobia a flujo Pistón.
- **SST:** Sólidos suspendidos Totales
- **ST:** Sólidos Totales
- **SS:** Sólidos suspendidos
- **SSV:** Sólidos suspendidos volátiles
- **STV:** Sólidos totales volátiles
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno
- **DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno
- **TRH:** Tiempo de Retención Hidráulico
- **A.R:** Agua Residual
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- **UPB:** Universidad Pontificia Bolivariana
- **OD:** oxígeno disuelto
- **pH:** Potencial de Hidrogeno
- **A.G.V's:** Ácidos Grasoso Volátiles

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

AUTOR(ES): MAYRA LILIANA OSORIO DUARTE

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): ALVARO CAJIGAS CERÓN

RESUMEN

Desde el inicio del funcionamiento de la PTAR (1998), entró en ejecución el reactor No. 1 de lunes a viernes, es decir, durante la jornada académica, en cuanto al manejo de las aguas de lavado producidas en los fines de semana, eran desviadas hacia el reactor No.2, para no afectar el tratamiento. Éste proyecto coloca en marcha el RAP No 2 de manera simultánea para así aumentar la capacidad del tratamiento y obtener mejores resultados, en términos de remoción de materia orgánica (MO), sólidos totales (ST), estabilización de efecto Buffer y control de pH, en el efluente del tratamiento secundario. Como objetivo general se planteo: Llevar a cabo el arranque del Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón número dos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga; determinando eficiencias para diferentes cargas hidráulicas. El desarrollo de este proyecto se dividió en tres etapas, caracterización del sustrato, adaptación del lodo existente y arranque del RAP. Finalmente Los resultados obtenidos en el estudio, muestran que el reactor número dos se encuentra apto para tratar aguas residuales de la universidad siempre y cuando se mantenga estable el caudal de entrada de las aguas residuales con un TRH de 14 horas, para obtener remociones superiores al 70%. La última prueba en el laboratorio se realizó el día 98, y se ha cumplido con el cronograma de actividades obteniendo resultados óptimos en términos de remoción de MO, control de pH, producción de A.G.V's y estabilidad general del reactor. Esto demuestra que un tratamiento de aguas residuales de tipo anaeróbico se empieza a estabilizar en el rango de 80 a 180 días desde el arranque del mismo tal cual como está definido en las diferentes literaturas que hacen referencia al tema en estudio.

PALABRAS

CLAVES:

PTAR, INOCULO, RAP, BUFFER, TRH, MO, AGV's

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TITLE: ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

AUTHOR: MAYRA LILIANA OSORIO DUARTE

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: ALVARO CAJIGAS CERÓN

ABSTRACT

Since the start of operation of the PTAR (1998), entered into execution the No 1 reactor that operates from Monday to Friday, during academy day, regarding the handling of wash water produced in the weekends, were diverted into reactor No.2, not to affect treatment. This project puts in place the RAP No 2 simultaneously in order to increase treatment capacity and better results, in terms of organic matter removal (MO), total solids (TS), stabilization buffer effect and pH control in the secondary effluent. The main objective was posing: Carry out the start of the anaerobic reactor number Two Piston Plant Wastewater Treatment of the Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga; determining efficiencies different hydraulic loadings. The development of this project was divided into three stages, Substrate characterization, adaptation of existing sludge and boot RAP. Finally The results of the study show that the reactor number two is suitable for treating wastewater University as long as it remains stable inflow of sewage of the university TRH of hours, removals for over 70%. The last test in the laboratory took place the day 98, and has complied with the schedule of activities obtaining optimal results in terms of removal MO, PH control, A.G.V's production and stability of the reactor. This shows that a wastewater treatment anaerobic rate begins to stabilize in the range of 80 to 180 days from the start of it as is as defined in the various literatures that relate to the topic under study.

Keywords: PTAR, INOCULUM, RAP, BUFFER, MO, AGV's

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



INTRODUCCIÓN

En 1998 la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga, ubicada en el Km. 7 vía a Piedecuesta, construyó y puso en marcha la planta de tratamiento de aguas residuales – PTAR- con una capacidad para tratar 1.68 l/s.

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra dentro del campus universitario con una temperatura promedio de 19°C y a una altitud de 1.005MSNM; la cual cuenta con una trampa de grasas, un desarenador, dos Reactores Anaerobios de Flujo a Pistón y un tratamiento biológico con macrófitas. Cada reactor contiene cuatro cámaras, de tal forma que exige al agua realizar un movimiento ascendente y descendente; en el fondo posee cajas plásticas de gaseosa como medio de soporte para el crecimiento de las bacterias. Los lodos del RAP se evacuan por medio de válvulas de purga y se conducen por gravedad hacia un pozo de succión de lodos y finalmente son evacuados hacia las eras de secado.

Desde el inicio del funcionamiento de la PTAR, entró en ejecución el reactor No. 1 de lunes a viernes, es decir, durante la jornada académica, En cuanto al manejo de las aguas de lavado producidas en los fines de semana después de las jornadas de mantenimiento y limpieza, se determinó como medida provisional, desviarlas hacia el reactor No.2, para no afectar el tratamiento. Finalmente el efluente del RAP es descargado a la quebrada Menzulí.

Los monitoreos realizados en el año 2008 registraron una disminución en la eficiencia del RAP1, es por eso que se inicia este proyecto que tiene como fin llevar a cabo el arranque del Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón número dos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga; determinando eficiencias para diferentes cargas hidráulicas.



DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga ubicada en el Km. 7 vía Piedecuesta, cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales la cual consta de un tratamiento primario, secundario y terciario. El tratamiento secundario está compuesto por dos Reactores Anaerobios de Flujo Pistón (RAP), de los cuales hasta el inicio de este proyecto, el número uno era empleado de manera constante y el número dos solo es utilizado ocasionalmente los fines de semana cuando se realiza lavado general de la planta física de la universidad.

La UPB ha ampliado su oferta académica y planta física, por ende aumentó la comunidad, trayendo consigo el incremento del caudal de aguas residuales, provocando así disminución de los tiempos de retención y en consecuencia la disminución de las eficiencias del RAP No 1. Es por eso que se ve la necesidad de poner en funcionamiento los dos reactores simultáneamente, con el fin de aumentar la capacidad del tratamiento de la planta y por consiguiente la eficiencia del tratamiento secundario.

Por tal razón este proyecto pretende aumentar la capacidad del tratamiento, colocando en marcha el RAP número 2, para obtener mejores resultados, en términos de remoción de materia orgánica (MO), sólidos totales (ST), estabilización de efecto Buffer y control de pH, en el efluente del tratamiento secundario.

Con el funcionamiento simultáneo de los dos reactores se espera dividir el caudal de entrada y de esta forma aumentar los tiempos de retención en cada uno, con el fin de brindarles el período necesario a los microorganismos para que realicen la digestión completa. El control del proceso se realizó mediante un monitoreo diario en el afluente y efluente del reactor en estudio (Número dos), practicándole



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

ensayos en términos de DBO_5 , DQO, Alcalinidad Bicarbonata, Alcalinidad producida por los A.G.V's, Ácidos Grasos Volátiles, pH; con el fin de analizar el comportamiento dentro del reactor. A medida que varié la eficiencia del mismo se aumentará o disminuirá el caudal de entrada, según sea el caso, hasta encontrar la Carga Hidráulica óptima.



ANTECEDENTES

Los primeros estudios desarrollados evaluaron el periodo comprendido entre marzo y diciembre de 1999, en el cual se trataba un caudal promedio de 0.22 l/s. En dicho año, se presentaron concentraciones de DBO en el afluente que van desde 15 hasta 1296 mg/l y en el efluente de 13.2 hasta 554 mg/l, alcanzándose remociones hasta del 96.1% con un valor promedio del 60%. En cuanto a los sólidos suspendidos, se presentaron concentraciones en el afluente de 210.9 mg/l y en el efluente de 73.8 mg/l, alcanzándose remociones hasta del 98% con un valor promedio del 60%.

En 1999 se desarrollo un trabajo de grado de ingeniería civil por parte del ahora ingeniero Mauricio Andrés Ramírez Martínez denominado “Evaluación del Arranque y Operación del Reactor anaerobio a Flujo Pistón” en el cual se concluyo que: El PH y temperatura cumplen con la normatividad de vertimientos, los sólidos suspendidos totales cumplen con la normatividad en su remoción, DB05 alcanza un 70% de remoción, el fósforo y el nitrógeno no obtienen altas remociones, la concentración del fósforo en el efluente es débil, la concentración del Nitrógeno en el efluente es fuerte. Se ve la Necesidad de implementar un tanque de homogenización y Control ó desvío de las aguas generadas por el lavado de las instalaciones de la UPB.

Con el pasar del tiempo tanto estudiantes de ingeniería ambiental como de otras facultades de la universidad han desarrollado distintos proyectos, nombrados a continuación, con el fin de mejorar el proceso de la PTAR – UPB.

La facultad de ingeniería Civil ha realizado varios proyectos en la PTAR-UPB, uno de ellos fue “Evaluación del sistema de tratamiento de gases de la PTAR-UPB” desarrollado en el año 2000 por el actual ingeniero Jacinto Orozco Rincón; en el



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

cual se concluyo que la caída de agua que se presenta en la caja de salida genera una liberación de gas diluido en agua, lo cual hace necesario el mejoramiento de la hermeticidad de la misma y la conducción de este gas a un sistema de tratamiento de olores.

Por otro lado la facultad de ingeniería electrónica se ha vinculado en dos proyectos; el primero denominado “Regulación electrónica del flujo de entrada al reactor anaerobio a flujo pistón de la PTAR-UB, S.E.F 1.0” realizado en el 2001 por los ahora ingenieros Ingrith González y Diego Martínez; el cual permitió monitorear las variables físicas involucradas (nivel, volumen y flujos), generando registros y regular el flujo de entrada al RAP. El segundo proyecto es nombrado “Actualización del sistema SCADA y monitoreo remoto de la PTAR – UPB” culminado en el año 2007 por los ahora ingenieros Juan Díaz y Nelson Jerez.

Finalmente la Facultad de Ingeniería Ambiental constantemente realiza proyectos de investigación en la PTAR con el fin de mejorar continuamente el proceso y aumentar remociones. Entre los últimos proyectos realizados se encuentra: “Aprovechamiento de lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UPB” desarrollado por el actual ingeniero John Cáceres en el año 2007. Ya para el año 2008 se realizaron dos proyectos uno de estos fue “Evaluación de la eficiencia de aros de guadua como medio de soporte para un filtro anaerobio de flujo ascendente a escala piloto en la PTAR-UPB” Realizado por las ingenieras Diana Ibáñez y Silvia Celis, el segundo fue “Evaluación de la eficiencia de un filtro de grava a escala piloto, análisis comparativo con un filtro de guadua PTAR-UPB” Desarrollado por los ingenieros Astrid Gómez y Gabriel Alvares.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

1. OBJETIVO GENERAL

Llevar a cabo el arranque del Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón número dos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga; determinando eficiencias para diferentes cargas hidráulicas.

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones de tratabilidad del agua residual de la UPB mediante una caracterización del sustrato afluente.
- Seleccionar el inculo apropiado para el arranque del Reactor Anaerobio a Flujo Pistón número dos
- Determinar las eficiencias obtenidas en el arranque del RAP número dos para diferentes cargas hidráulicas.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO MICORBIOLÓGICO²

2.1.1. Descripción del proceso. El proceso bioquímico que se desarrolla dentro del reactor es denominado digestión anaerobia donde en ausencia de oxígeno una asociación de microorganismos por medio de reacciones en sucesión, transforman los compuestos orgánicos complejos (carbohidratos, proteínas y lípidos) en productos más simples como metano, gas carbónico, gas sulfhídrico y amonio. (Foresti et al, 1999).

El tratamiento anaerobio por metanogénesis se utiliza mucho en la estabilización de lodos de aguas residuales municipales, se emplea también en la fermentación con metano de aguas residuales industriales de alta resistencia.³

El proceso complejo de la digestión anaerobia implica un considerable número de reacciones y tres principales grupos de organismos, este proceso está dado en cuatro fases principales: hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis, y metanogénesis. La Figura No 1 ilustra el proceso.

²Adaptado de: JURADO C, ORTIZ N. Selección de Inoculos para el Tratamiento anaerobio de las Aguas Residuales Generadas en el Proceso de Extracción del Almidón de Yuca. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2006.16, 17, 18, p.

ROMERO Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 233-239p.

PÉREZ A, TORRES P, Pizarro C; Revista Ingeniería y Competitividad Volumen 8 No 1, Arranque de un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca: influencia del inóculo.

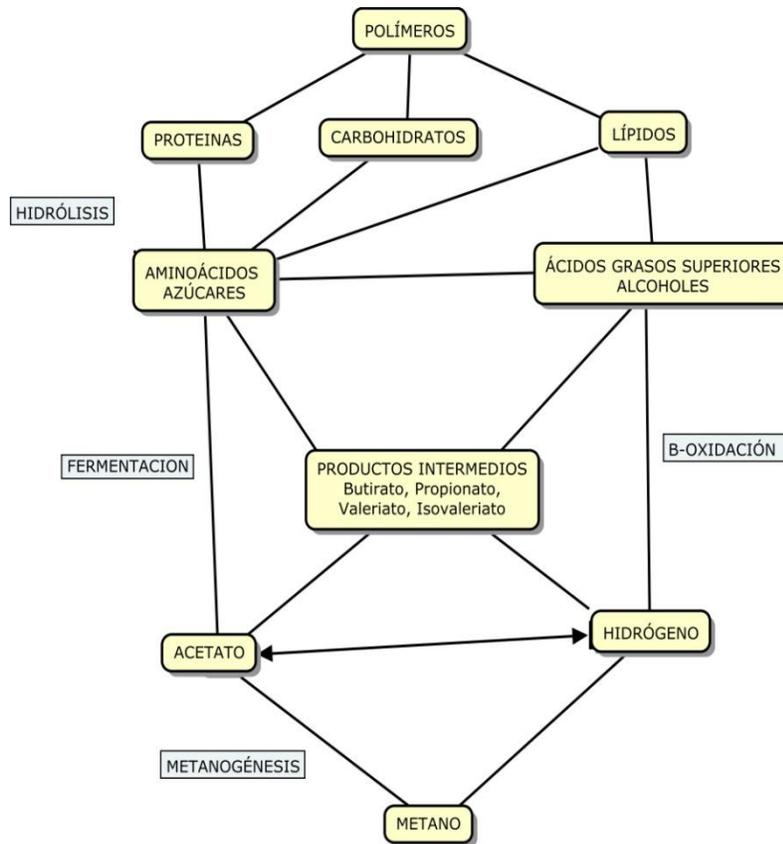
SCRAGG Alan. Biotecnología Medioambiental. Zaragoza, España: Editorial Acirbia S.A; 2001. 89, 90, 91 p.

³ BRUCE E., PERRY L. Biotecnología del medio ambiente. Principios y aplicación. España: editorial McGraw – Hill; 2001. 560p.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Figura. 1 Proceso de Digestión Anaerobia



Fuente: Adaptado Paviostathis. Citado por: Pérez A, Torres P, Pizarro C; Revista Ingeniería y Competitividad Volumen 8 No 1, Arranque de un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca: influencia del inóculo.



Hidrólisis: Es la primera fase de la descomposición anaerobia en la cual los compuestos orgánicos complejos sufren una hidrólisis inicial para ser convertidos en compuestos orgánicos más simples como lo son: Azúcares, aminoácidos, ácidos grasos volátiles de bajo peso molecular y alcoholes. Las bacterias que intervienen en este proceso son El material particulado, los polímeros y en general los compuestos orgánicos complejos, principales componentes de las AR deben sufrir una Hidrólisis inicial, que los convierta en sustratos orgánicos simples, igual que en la descomposición aerobia. Los productos de la hidrólisis son azúcares, aminoácidos, ácidos grasos volátiles de bajo peso y alcoholes. Esta transformación es desarrollada por microorganismos hidrolíticos como Clostridium, eubacterium y bacteriodes. Generalmente este proceso suele ser muy rápido, sin embargo existen excepciones con algunos sustratos complejos, donde la hidrólisis suele ser demasiado lenta.

Acidogénesis o fermentación: Según Metcalf y hedí, 2003, en ocasiones para algunos tipos de agua industriales, puede ser la primera fase de la digestión anaerobia. Durante esta etapa los ácidos grasos producto de la hidrólisis son convertidos en acetato, dióxido de carbono e hidrógeno y los aminoácidos y azúcares son convertidos en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Además se producen otros Ácidos grasos como propiónico, butírico, etc. Se debe tener un control estricto del pH pues valores bajos inhibe la reacción y procede solo a la producción de A.G.V's distintos al ácido acético.

Acetogénesis: En esta tercera fase las bacterias conocidas como Syntrophobacter, Desulfovibrio y Syntrophomonas, son las responsables de la oxidación de los productos generados en la anterior etapa para transformarlo en un sustrato apropiado para las bacterias metanogénicas. Esta fase está fraccionada en dos la acidoclásica en la que los A.G.V se convierten en ácido acético, pues este es el único ácido graso que se puede metanizar. Por otro lado se encuentra la acetogénesis hidrogeno clásica, donde se produce ácido acético y mantiene los



valores de pH por debajo de los límites necesarios.

Metanogénesis: Es la etapa final de la digestión anaerobia donde se efectúa la formación de metano por parte de las bacterias metanogénicas, se conocen alrededor de 20 especies, entre las más sencibles al oxígeno conocidas se encuentran *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *methanococcus* y *methanosarcina*. Estas bacterias son las encargadas de convertir el hidrógeno, dióxido de carbono y acetato en metano.

En función de la afinidad por el sustrato y la magnitud del metano las bacterias metanogénicas son clasificadas en dos grupos principalmente:

- 1) Las bacterias metanotrix y metanosarcina son productoras de metano a partir de ácido acético o metanol (acetoclásticas).
- 2) Archeobacterias productoras de metano a partir de hidrógeno o gas carbónico (hidrogenotróficas). Según van Haandel y Lettinga, 1994 estas bacterias tienen una tasa de crecimiento mayor a las acetoclásticas.

A continuación La tabla No 1 presenta un resumen de las ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio al compararlo con el tratamiento aerobio convencional.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Tabla 1. Resume las principales ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio comparados con el aerobio convencional.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tasa baja de síntesis celular y por consiguiente poca producción de lodo; pues emplea solo el 5 – 15% en la conversión de biomasa.	Desprendimiento de olores desagradables, causados por H ₂ S, Ácidos Grasos y Amidas, y desprendimiento de gases corrosivos.
Tiene requerimientos nutricionales bajos.	Prolongados periodos de arranque por el lento crecimiento de los microorganismos.
Producción de metano que puede ser usado como fuente de energía. El metano tiene un valor calorífico de aproximadamente 36.500 KJ/m ³	Exige un intervalo de operación de pH bastante restringido, por lo que puede requerir la adición de alcalinidad.
Bajo requerimiento de volumen de reactor.	No es posible la remoción de nitrógeno y fósforo.
Capacidad de transformar compuestos orgánicos con previa aclimatación de la biomasa.	Tiene riesgos a la salud por H ₂ S
Es posible operar con cargas orgánicas elevadas.	Es sensible a la contaminación con O ₂
Rápida respuesta de la biomasa después de periodos largos sin alimentación.	Para obtener grados altos de tratamiento requiere temperaturas altas, pues bajas temperaturas afectan la tasa de reacción.

Fuente: Adaptado de Romero Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 246p.

Rittmann y McCarthy, 2001; Metcalf y Hedí, 2003.

Traducido y adaptado: Sperling M, Lemos C. Biological Wastewater Treatment in warm climate Regions. London UK. IWA Publishing; 2005. 660p.

Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 17,18p.

Pérez A, Torres P, Pizarro C; Revista Ingeniería y Competitividad Volumen 8 No 1, Arranque de un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca: influencia del inóculo.



2.1.2 Factores que afectan el proceso de digestión anaerobia. Factores tanto físicos como ambientales pueden afectar directamente la digestión anaerobia, por tal razón deben controlarse especialmente. Los principales factores son:

2.1.2.1 Tipo de sustrato:⁴ Determina la comunidad trófica que se desarrollará en ecosistemas complejos como el de un digestor anaerobio, el tamaño de cada grupo de organismo de este deberá ser proporcional al flujo de su correspondiente sustrato en el sistema y la prevalencia de una u otra ruta metabólica, estará determinada por el acoplamiento entre la velocidad de producción y la capacidad de asimilación del mismo.⁵

Los detergentes disminuyen la tensión superficial del agua mientras ayudan a la formación de espumas, al acumularse entre el aire y el agua, gracias a la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales disueltas. Sin mencionar que inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del oxígeno. Al igual que los detergentes tanto grasas como aceites, son compuestos orgánicos que flotan en el agua recubriendo las superficies de contacto, causando tanto problemas de mantenimiento como opalescencia. Además su difícil degradación es una barrera con la actividad biológica.⁶

2.1.2.2 Temperatura: El cambio de temperatura en un cuerpo de agua afecta en forma directa la solubilidad de los gases (como el oxígeno), la solubilidad de las sales y por lo tanto la conductividad eléctrica, determinación del pH.

⁴ Romero Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 57p

⁵ Citado por: Gonzales M, Otero A. Influencia de la Alcalinidad en el Tratamiento Anaerobio de De Aguas Residuales Del Proceso De Extracción De Almidón De Yuca. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2005. 34p.

⁶ Romero Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 57p



La temperatura es un parámetro importante por su efecto en la vida acuática, en el crecimiento bacteriano, en las reacciones químicas, y velocidades de reacción. La rata de sedimentación de sólidos es mayor en aguas cálidas que en las frías debido al cambio de viscosidad de esta.

Las bacterias metanogénicas y las acetogénicas se diferencian en la resistencia a la temperatura, estas primeras son más sensibles a los cambios de temperatura que cualquier otra especie en el reactor, mientras las bacterias acetogénicas por ejemplo alcanzan el catabolismo sustancial aun en muy bajas temperaturas.⁷ La temperatura adecuada para la actividad bacteriana es de 25°C a 35°C, la digestión aerobia y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C, pero cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es demasiado lenta, y a temperaturas de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar.⁸

2.1.2.3. Nutrientes: Los nutrientes son sustancias necesarias a los microorganismos para la construcción de su protoplasma; todos los microorganismos exigen para su desarrollo elementos fundamentales como el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y además requieren de otros elementos como el calcio, potasio, zinc, hierro, manganeso, cobre, cobalto, etc.

La digestión anaerobia es un proceso biológico, por tanto requerirá nutrientes inorgánicos fundamentales para un óptimo desarrollo de las bacterias al igual que para sintetizar sus constituyentes celulares y degradar la materia orgánica presente en el agua.⁹

⁷ Adaptado de URL: <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpp6199/roppart1.htm> 1995. Citada por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 25,26p.

⁸ Adaptado: Romero Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 70p

⁹ Citada por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Los sólidos suspendidos en aguas residuales pueden contener hasta un 75% de materia orgánica, en cambio en los sólidos disueltos suelen tener un 40% de esta.¹⁰ Los hidratos de carbón corresponden al 25/50% de las sustancias orgánicas presentes en el agua doméstica, mientras que las proteínas corresponden al 40/60% y finalmente 10% representado en aceites y grasas.

El fósforo se encuentra en las aguas residuales bajo la forma de ortofosfatos (PO_4^{-3}) en porcentajes entre el 40 y 50% ; los aportes tienden a aumentar, por el hecho de que el fósforo es uno de los componentes principales de los detergentes

El nitrógeno, se encuentra en las aguas residuales bajo la forma de amoníaco, nitrógeno orgánico, nitritos y nitratos; ¹¹en las aguas residuales domésticas la concentración de nitrógeno total puede variar de 30 mg/L a 100 mg/L y de 5 g/c.d a 15 g/c.d; mientras la concentración de nitrógeno amoniacal varía entre 5 mg/L a 20 mg/L y entre 13g/c.d a 3g/c.d; y la de nitritos y nitratos es aún menor ya que oscila entre 1 mg/L y menor de 1g/c.d. Los porcentajes son variables, principalmente la porción relativa de nitrógeno orgánico y amoníaco, ya que el nitrógeno orgánico (bajo formas de proteínas y amoníacos), se transforma rápidamente en amoníaco y compuestos amoniacales. En general un agua de residual es proporcionalmente más rica en amoníaco, cuanto mayor sea el tiempo que haya permanecido en el alcantarillado, habiéndose desarrollado en ese tiempo las reacciones biológicas de degradación.

En general se recomienda para el tratamiento biológico una relación de DBO / N / P=400:7:1 y 1000:7:1 para cargas orgánicas tanto bajas como altas. ¹²

Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 26,27p.

¹⁰ Romero Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 60p

¹² Citada por Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 26,27p.



En base a varios estudios realizados es posible indicar que el hierro es parte importante de la conversión de ácido acético a metano, el molibdeno es inhibitorio de la actividad de las bacterias sulfato reductoras pero a bajas concentraciones, el cobalto en bacterias metanogénicas es esencial para la formación de la coenzima que activa la producción de metano es decir la metil cobalamina, y por último que el níquel es constituyente del citocromo de la coenzima F₄₃₀

2.1.2.4 Compuestos Tóxicos: ¹³ Aun en muy bajas concentraciones estos compuestos disminuyen los niveles de metabolismo afectando así la digestión anaerobia. Todos los microorganismos anaerobios pueden verse afectados, pero generalmente las bacterias metanogénicas son las más sensibles debido a que los tóxicos presentes ejercen sobre ellas un efecto bacterio - estático reversible. Algunos elementos o compuestos clasificados como tóxicos o inhibidores de la digestión anaerobia presentes en aguas residuales están:

- Los compuestos con toxicidad relacionada con el pH como por ejemplo los AGV, el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno. La forma tóxica de dichos compuestos es la no ionizada debido a que estas moléculas son capaces de penetrar la pared celular de las bacterias metanogénicas alterando el pH interno de la célula.
- Las altas concentraciones de metales muy pesados como lo son el níquel, el plomo, el mercurio, el cromo, el zinc entre otros, pueden causar además de toxicidad para las bacterias, la inhibición del normal desarrollo de la degradación anaerobia.
- El contacto del oxígeno con el lodo metanogénico puede cohibir la actividad de este. Las bacterias acidogénicas son capaces de eliminar la presencia del oxígeno siempre y cuando la cantidad de este sea poca.

¹³ Citada por Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 27,28,29p.



- Los inhibidores del proceso de metanogénesis son concentraciones de sulfuros no ionizados y compuestos organoclorados con estructura similar al metano como el cloruro de carbono, el clorometano y formaldehído por nitrógeno amoniacal.
- La inhibición por nitrógeno amoniacal disminuye la producción de metano al tiempo que incrementa los AGV. Los efectos inhibitorios solo influyen en la fase metanogénica. Cuando las concentraciones de nitrógeno amoniacal oscilan entre 1500 y 3000 mg/L son causantes de la inhibición de microorganismos metanogénicos pero a pH alcalino.

2.1.2.5. pH: Esta es una de las medidas más importantes y frecuentemente utilizadas en la química del agua. Prácticamente cada fase del suministro y tratamiento de las aguas residuales con neutralización, suavizamiento, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, entre otros, dependen del pH.

Para que la digestión anaerobia se desarrolle de manera eficiente debe estar en el rango de pH comprendido entre 6,2 y 7,8, con un óptimo de 7,0 a 7,2. ¹⁴

En las aguas residuales cuando el pH es menor de seis favorecerá el crecimiento de hongos sobre las bacterias. En pH alto predomina el nitrógeno amoniacal en forma gaseosa no iónica la cual es tóxica y removible mediante arrastre con aire en especial cuando el pH es de 10,5 a 11,5. Mientras en pH bajo el poder bactericida del cloro es mucho mayor, ya que predomina el HOCL. ¹⁵

¹⁴ Citada por Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 24p.

¹⁵ Romero Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 66p



En un proceso anaerobio, las variaciones en el pH pueden ser causa de la alimentación con un afluente ácido o básico, o por la producción y acumulación de AGV. La producción del metano está limitada cuando predomina el proceso de acidogenesis pues las bacterias metanogénicas son menos tolerantes a pH bajos que las bacterias acidogénicas.¹⁶

2.1.2.6. Alcalinidad: La alcalinidad es una medida de la capacidad que tiene el agua de neutralizar un ácido fuerte a un pH determinado. Por tal motivo lo hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales en los procesos de remoción biológica de nutrientes, en la remoción de amoníaco y en tratamiento anaerobios. La alcalinidad disminuye a causa de una alta acidez cuando esto sucede las condiciones son dañinas para la vida acuática.

La alcalinidad del agua es la suma de las concentraciones de los iones carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y e hidróxidos (OH^-) siendo estos últimos despreciables frente al resto.¹⁷

2.1.2.7. Tiempo de Retención Hidráulico (TRH): El tiempo de retención representa el tiempo teórico durante el cual el sustrato permanece en el reactor para ser degradado. Este parámetro es muy útil para reactores anaerobios con alta tasa ya que ellos han alcanzado un control independiente del tiempo de retención celular (TRS) y del tiempo de retención hidráulico a través de la retención de la biomasa. El tiempo de retención hidráulico se calcula dividiendo el volumen útil del tanque o reactor en L o m^3 (V) entre el caudal de AR en L/s ó M^3/s (Q)¹⁸

¹⁶ Citada por Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 24p.

¹⁷ Citada por Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 24,25p.

¹⁸ Citada por Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 29p.



El TRH se calcula: $THR = \frac{V}{Q}$

V: Volumen útil del tanque o reactor, en L o m³

Q: Caudal de AR, en L/s ó M³/s

2.2 METODOS PARA LA MEDIDA DE LA REMOCION DE MATERIA ORGANICA

2.2.1 Demanda biológica de oxígeno (DBO): La Demanda Biológica de Oxígeno fue creada en 1912 por la Comisión Real sobre el vertido de aguas residuales como un parámetro importante de la calidad de aguas¹⁹. La demanda biológica de oxígeno es una medida del consumo de oxígeno requerido para la oxidación microbiana de materia orgánica y amonio, fácilmente degradables, en las aguas residuales. La DBO de 5 días expresa el oxígeno consumido por una muestra de aguas residuales, diluida adecuadamente, durante 5 días de incubación a 20°C.²⁰

La Demanda Bioquímica de oxígeno, DBO, es causada por materia orgánica arrojada a las masas y corrientes de agua, la cual se constituye en el alimento para las bacterias que se reproducirán rápidamente. La DBO se define como la cantidad de Oxígeno necesaria para descomponer la MO presente en el Agua Residual mediante la acción de bacterias en condiciones aeróbicas. La DBO es causada por la respiración de las bacterias y cesará al agotarse totalmente la MO. El ensayo de la DBO se efectúa midiendo el OD antes y después de los cinco días. El ensayo de DBO es de tipo biológico, razón por la cual se debe simular en

¹⁹ SCRAGG Alan. Biotecnología Medioambiental. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A; 2001. 37p.

²⁰ Atlas R, Bartha R. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4 Edición. Madrid: Pearson Education; 2002. 474p.



forma aproximada las condiciones en que la demanda ocurre en los medios naturales.²¹

2.2.2 Demanda química de oxígeno: Surgió como una necesidad de medir la demanda de oxígeno de manera rápida y confiable. Esta es otra manera de medir la MO indirectamente, a través de la demanda de oxígeno de los compuestos orgánicos. En lugar de descomponer la materia orgánica mediante el metabolismo bacteriano, que utiliza la respiración como medio de obtener oxígeno, la DQO utiliza un fuerte agente oxidante en un medio ácido.²² La muestra se somete a reflujo durante dos horas y el dicromato de potasio que queda se determina por titulación con sulfuro ferroso amónico. Esto dará una medida del oxígeno requerido para la oxidación del contenido de la muestra.²³ El agente oxidante más utilizado es el dicromato de potasio, en presencia del sulfato de plata como catalizador a alta temperatura. La DQO de un compuesto es generalmente mayor que la DBO debido a que muchos compuestos que pueden ser oxidados químicamente no pueden serlo biológicamente, a través de la biodegradación bacteriana. Los compuestos no biodegradables son a menudo sustancias moleculares artificiales de gran peso molecular. Con frecuencia para un AR determinada se puede correlacionar muy bien la DBO con la DQO lo que es un gran beneficio debido a que la DQO toma solo dos o tres horas para hacerlo mientras la DBO requiere cinco días. La relación DQO/DBO determina también la cantidad de materia orgánica no-biodegradable presente en el agua residual.

²¹ APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Madrid: Díaz Santos; 1992. 5210B.

²² APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Madrid: Díaz Santos, 1992. 5220 - B

²³ SCRAGG Alan. Biotecnología Medioambiental. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A; 2001. 34p.



2.3 REACTOR DE FLUJO PISTÓN ²⁴

El reactor a flujo pistón (RAP) o flujo tubular, es un reactor ideal, en el cual las partículas de flujo viajaban a lo largo del reactor sin mezclarse y, por tanto, se descargan en la misma secuencia u orden en que entran al reactor. No existen difusión longitudinal ni mezcla, la dispersión es nula, todos los elementos del sistema viajan a la misma velocidad, las partículas tienen su identidad y permanecen en el tanque durante un tiempo igual al tiempo teórico de retención. En la práctica, este tipo de reactor se obtiene, aproximadamente, con tanques largos, de una relación longitud/ ancho grande, para mantener la dispersión longitudinal en un valor mínimo.

Entre los usos característicos esta el uso de lodo activo de aguas residuales industriales y municipales, tratamiento de balsas aireadas de residuos industriales, estabilización de tanques para residuos industriales y municipales, nitrificación, eliminación altamente eficaz de componentes municipales de aguas residuales.²⁵

Si se visualiza al reactor, el concepto de flujo en pistón como un flujo en el cual el fluido, al llegar al reactor, es encerrado en paquetes herméticos que luego viajan a lo largo del tanque, sin transferir ninguna sustancia de un paquete a otro, aunque exista mezcla completa dentro de cada paquete, se puede considerar que cada paquete es un mini reactor de cocheda en mezcla completa.

²⁴ Romero Rojas J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999. 266p

²⁵ BRUCE E., PERRY L. Biotecnología del medio ambiente. Principios y aplicación. España: editorial McGraw – Hill; 2001. 560p.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

El análisis de modelación de un reactor a flujo pistón es más complicado matemáticamente que el reactor completamente mezclado, por lo que se emplea una ecuación más simplificada, por ejemplo la de Eckenfelder.

El RAP es una variedad de reactores por baffles, que utiliza un Separador Gas-Sólido- Líquido en la cámara final para mejorar el atrapamiento de los lodos lo más alta posible.

El RAP fue desarrollado por Orozco (1997) para temperaturas inferiores a 20°C, tomando ventaja de la mayor eficiencia de remoción de sustrato que se obtiene con el flujo pistón causado por los baffles. De este reactor se han construido plantas a escala real, que han operado con eficiencias de 70% de remoción de DQO, a temperaturas entre 13 y 17°C, que pueden ser mejoradas a medida que la retención de sólidos sea mas efectiva, pues el alto contenido de SS en el efluente representa la mayor parte de DQO del mismo.



2.4 RELACIÓN ENTRE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL PROCESO DE LA DEGESTION ANEROBIA

2.4.1 Relación entre pH, Alcalinidad y Ácidos Grasos Volátiles: Estos tres factores están estrechamente relacionados el uno con el otro, al ser igualmente importantes en el control y operación procesos anaeróbicos.

El pH afecta el proceso en dos modos.

- Directamente: Por ejemplo afecta la actividad de enzimas cambiando la estructura proteica que puede ocurrir como consecuencia de un cambio drástico de pH.
- Indirectamente: Afecta la toxicidad de un numero de compuestos.²⁶

El pH requerido para el tratamiento anaerobio debe estar entre 6.6 y 7.6, aunque la estabilidad de producción de metano puede ser alcanzado en un rango más amplio, entre 6.0 y 8.0, los valores por fuera de este intervalo pueden resultar bastante perjudiciales para la metanogénesis. El arranque después de una caída del pH puede ser muy lento. El pH óptimo depende del tipo de microorganismos implicados en el proceso de digestión como también en el tipo de sustrato.²⁷

Con respecto a la estabilidad del proceso la producción de acido por las bacterias es mucho más sensible al pH los microorganismos metanogénicos. En particular las bacterias acidogénicas pueden ser muy activas aun para potenciales de hidrogeno tan bajos como 4.5. En la práctica esto quiere decir que la producción de ácidos en un reactor puede seguir libremente aunque la producción de metano

²⁶ Traducido y adaptado: Sperling M, Lemos C. Biological Wastewater Treatment in warm climate Regions. London UK IWA Publishing; 2005. 688p.

²⁷ BRUCE E., PERRY L. Biotecnología del medio ambiente. Principios y aplicación. España: editorial McGraw – Hill; 2001. 578p.



haya sido interrumpida debido a los potenciales de hidrogeno bajos. Por consiguiente el contenido del reactor se hará ácido.

La producción de ácido de las bacterias tiene un índice de pH óptimo en la gama entre 5.0 y 6.0; por tanto el objetivo principal es la eliminación del riesgo de inhibición de los microorganismos causado por los potenciales bajo de hidrogeno, y así evitar el fracaso del proceso.

La operación de un reactor con un rango de pH por debajo de 6.5 encima de 8.0 puede causar un significativo decremento en la producción de metano. Además los cambios repentinos de pH puede afectar desfavorablemente el proceso, y la recuperación dependerá de una serie de factores relacionados con el tipo de daño causado a los microorganismos (permanentemente o temporal) (Lettinga et al)

2.4.2 Relación entre alcalinidad y efecto BUFFER: ²⁸El efecto buffer puede ser entendido como la capacidad de una solución para evitar cambios de pH. Una solución buffer consiste una mezcla de ácido débil y su sal correspondiente. Así permitiendo la agrupación de iones H^+ y OH^- y el impedimento de tanto aumento como la disminución del pH.

Los factores que afectan el proceso anaeróbico son los ácidos carbónicos y los ácidos volátiles. En la gama de pH entre 6,0 y 7,5 la capacidad buffer del sistema anaeróbico depende casi completamente del dióxido de carbono y la alcalinidad.

La cantidad de ácido carbónico presente en la solución está relacionada directamente con la suma de CO_2 de la fase gaseosa una vez el equilibrio este establecido entre la fase líquida y la fase gaseosa; la parte de dióxido de carbono disuelto de la fase líquida puede ser establecida mediante ley de Henry.

²⁸ Traducido y adaptado: Sperling M, Lemos C. Biological Wastewater Treatment in warm climate Regions. London UK IWA Publishing: 2005. 689p.



$$[\text{CO}_2] = K_H \cdot P_{\text{CO}_2}$$

2.4.3 Relación entre alcalinidad y ácidos grasos volátiles: ²⁹La interrelación entre Ácidos grasos volátiles y alcalinidad está basada en si la alcalinidad del sistema es capaz de neutralizar los ácidos formados en el proceso y protege el pH en caso de la acumulación de ácidos volátiles. Tanto la alcalinidad como ácidos volátiles provienen principalmente de la descomposición de compuestos orgánicos durante la digestión, así:

- Conversión de Ácidos Grasos Volátiles intermedios: La digestión de acetato de sodio, puede conducir a la formación de bicarbonato de sodio.
- Conversión de proteínas y aminoácidos, formación de amoníaco: La combinación entre amoníaco y ácido carbónico en solución conduce a la formación de bicarbonato de amoníaco.

2.4.4 Alcalinidad de los ácidos grasos:³⁰ Como consecuencia de la alcalinidad de los ácidos grasos volátiles producidos en el sistema, la alcalinidad bicarbonata son producidos por alcalinidad de ácidos volátiles debido a que estos últimos son más fuertes que los bicarbonatos; sin embargo la alcalinidad es protegida de la capacidad de los ácidos volátiles en un rango de 3.75 y 5.75, por tanto de poca importancia de la digestión anaerobia.

En la supervisión de reactores anaeróbicos, la verificación sistemática de la alcalinidad se hace más importante que la evaluación del pH. Esto es debido a la escala logarítmica de pH, queriendo decir que pequeñas disminuciones de pH implican el consumo de una cantidad grande de alcalinidad, reduciendo así la

²⁹ Traducido y adaptado: Sperling M, Lemos C. Biological Wastewater Treatment in warm climate Regions. London UK IWA Publishing; 2005. 690p.

³⁰ Traducido y adaptado: Sperling M, Lemos C. Biological Wastewater Treatment in warm climate Regions. London UK IWA Publishing; 2005. 690,691p.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

capacidad de protección del medio para determinar separadamente las partes de alcalinidad bicarbonata y alcalinidad de los ácidos volátiles, la titulación de la muestra puede ser realizada en dos etapas según la metodología propuesta por Ripley et al. (1986)

- La titulación hasta pH 5.75: la primera etapa de titulación proporciona una alcalinidad parcial (PA), prácticamente el equivalente con la alcalinidad bicarbonata
- La titulación a pH 4.3: La segunda etapa de titulación proporciona una alcalinidad intermedio (IA), prácticamente equivalente con la alcalinidad producida de los ácidos volátiles.

Un aspecto importante en la determinación de la alcalinidad en las dos etapas de alcalinidad se refiere a la importancia de la proporción IA/PA. Según Ripley et Al- (1986), IA/PA valores más altos que 0.3 indican, la presencia de perturbaciones en el proceso de digestión anaerobio. La estabilidad del proceso es posible para valores de IA/PA diferentes de 0.3, y recomiendan al verificación de cada caso particular (Foresti, 1994)



3. METODOLOGÍA

3.1 GENERALIDADES

Este proyecto se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Universidad Pontificia Bolivariana, específicamente en el RAP número dos.

La UPB cuenta con 4.000 estudiantes aproximadamente, los cuales tiene un periodo de estudio de cuatro meses y una semana de parciales, donde los estudiantes solo viene a presentar los exámenes programados.

El periodo vacacional es diferente para la comunidad universitaria. Los estudiantes de pregrado tienen 6 semanas de receso en el primer periodo del año y 9 semanas en el segundo periodo del año, para los trabajadores el periodo vacacional es diferente pues ellos cuentan con 1 semana de receso en el primer periodo del año y 4 semanas en el segundo periodo. Los anteriores espacios influyen directamente sobre el tratamiento de la PTAR, pues realizan cambios en el caudal y carga orgánica en el afluente.

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra dentro del campus universitario con una temperatura promedio de 19⁰C y a una altitud de 1.005MSNM, la cual cuenta con una trampa de grasas, un desarenador, dos Reactores Anaerobios de Flujo a Pistón y un tratamiento biológico con macrófitas.

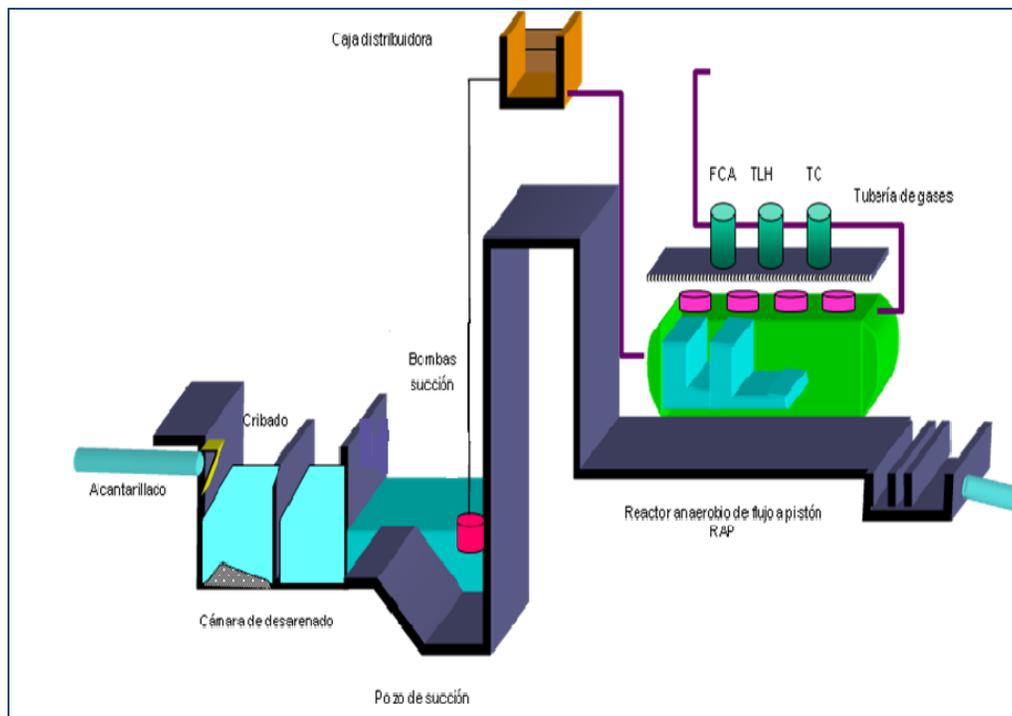
Cada reactor contiene cuatro cámaras, de tal forma que exige al agua realizar un movimiento ascendente y descendente; en el fondo posee cajas plásticas de gaseosa como medio de soporte para el crecimiento de las bacterias.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Los lodos del RAP se evacuan por medio de válvulas de purga y se conducen por gravedad hacia un pozo de succión de lodos y finalmente son evacuados hacia las eras de secado. La **Figura 2** ilustra el tratamiento preliminar y primario.

Figura 1. Esquema PTAR UPB³¹



El estudio se realizó en tres etapas:

3.2 ETAPA I *Caracterización del sustrato.*

En la **tabla No 2** relaciona el análisis, las unidades y el respectivo método normalizado que se realizó al sustrato para su caracterización.

³¹ Fuente: Archivos Administración PTAR UPB. Ingeniera Alexandra Ceron.



Tabla 1. Caracterización del sustrato.

ANALISIS	UNIDADES	METODO
DQO	mg O ₂ / L	5220 - B
DQO filtrada	mg O ₂ / L	5220 - B
DBO	mg O ₂ / L	5210 - B
DBO filtrada	mg O ₂ / L	5210 - B
SS	mg SST/ L	2540 - D
SSV	mg SSTV/ L	2540 - C
ST	mg ST/ L	2540 - B
STV	mg STV/ L	2540 - C
NT	mg Norg / L	4500Norg - D
NITROGENO AMONICAL	mg NH ₃ / L	4500NH ₃ -D
FOSFORO TOTAL	mg PO ₄ /L	4500 P - E

3.3 ETAPA II *Adaptación del lodo existente.*

Inicialmente para el arranque y puesta en marcha del RAP número dos se propuso el estudio de dos muestras de lodo, el primero provenientes de los lodos del RAP número uno de la PTAR UPB y el segundo proveniente del reactor UASB de la PTAR de Río Frío. Los inóculos se caracterizarían en términos de los siguientes parámetros: Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles Totales (SVT) y Actividad Metanogénica. Finalmente se seleccionaría el inóculo que presente mejor desempeño desde el punto de vista de la actividad biológica anaerobia.

Después de realizar esta gestión y no obtener el volumen ni la característica específica del lodo para el arranque del reactor No 2. Se tomo como medida de respuesta realizar un plan de contingencia, que consistía en realizar una adaptación o aclimatación al lodo presente.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Como se conoce el reactor en estudio operaba solo los fines de semana para tratar agua producto del lavado de la institución y una mínima parte del uso de los baños por la poca población presente en estos días. Con esta información y después de extraer una muestra del reactor en estudio, se determinó por medio de sus características físicas, como lo son el color negro brillante, el olor poco perturbante, y su alta consistencia, la existencia de un lodo activo. Los factores que determinaron que este proceso de adaptación se había concluido favorablemente, fue la ausencia de material flotante negro en la muestra de efluente del RAP, la producción de Ácidos Grasos Volátiles y la estabilización del pH y efecto Buffer.

3.4 ETAPA III *Evaluación del arranque del RAP número dos*

El criterio definido para el arranque fue la Carga Hidráulica la cual una vez el reactor alcancen condiciones estables en términos de remoción de DQO serán cambiadas con el fin de aumentar la capacidad volumétrica de tratabilidad del agua, La **Tabla No 3** muestra las variables y las frecuencias de medición desarrolladas para el afluente y efluente del reactor durante su operación.



Tabla 2. Relación variable y frecuencia de los parámetros de la investigación

VARIABLE	FRECUENCIA	AFLUENTE / EFLUENTE	METODO
pH	Cinco veces por semana	Afluente y Efluente	4500 H ⁺ B
Alcalinidad total (mg/L Caco ₃)	Cinco veces por semana	Afluente y Efluente	2330 - B
Alcalinidad bicarbonática (mg/L Caco ₃)	Cinco veces por semana	Afluente y Efluente	2330 - B
Ácidos grasos Volátiles (meq/L)	Dos veces por semana	Afluente y Efluente	5560 - C
DQO (mg/L)	Dos veces por semana	Afluente y Efluente	5520 - D

En el Anexo B se presentan los métodos utilizados para la realización de estos ensayos en el laboratorio.



4. DATOS Y ANÁLISIS

4.1 ETAPA I *Caracterización Del Sustrato.*

El sustrato que alimenta el reactor es de tipo básico, residual domestico, y con un previo tratamiento de remoción de sólidos.

Para realizar el monitoreo de la planta se toma por medio de un monitoreo compuesto que consiste en tomar muestras de agua cada hora, al mismo tiempo que se mide el caudal finalmente se calcula una alícuota de cada muestra con la siguiente fórmula:

Ecuación 4.1 Calculo de alícuota.

$$V_{\text{alícuota}} = \left(\frac{V_1 * Q_p}{\text{No}_{\text{muestras}}} \right) * Q_h$$

Donde:

V_1 = corresponde al volumen que se desea preparar. Ejemplo: 1000ml

Q_p = Corresponde al caudal promedio.

Q_h = Corresponde a el caudal medido en el momento que se tomo la muestra.

$\text{No}_{\text{muestras}}$ = Corresponde al total de muestras tomadas.

Así pues, con la anterior ecuación se puede realizar una muestra compuesta y proporcional al volumen del caudal presentado en las diferentes horas del día.



Tabla 3. Ilustra la caracterización del sustrato en afluente en los meses de febrero y abril, antes de iniciar el arranque del reactor en estudio³².

ANALISIS	UNIDADES	AFLUENTE 24/02/09	AFLUENTE 02/04/09	AFLUENTE 26/04/09	METODO
DQO	mg O ₂ / L	768.0	676.8	610.6	5220 – B
DQO filtrada	mg O ₂ / L	496.0	458.8	476.0	5220 – B
DBO	mg O ₂ / L	502.0	395.4	354.0	5210 – B
DBO filtrada	mg O ₂ / L	336.0	212.0	262.0	5210 – B
SS	mg SST/ L	292.0	144.8	193.2	2540 – D
SSV	mg SSTV/ L	178.5	98.6	174.0	2540 – C
ST	mg ST/ L	418.0	366.0	436.0	2540 – B
STV	mg STV/ L	204.0	242.0	244.0	2540 – C
NT	mg Norg / L	81.2	175.0	194.6	4500Norg - D
NITROGENO AMONICAL	mg NH ₃ / L	42.0	155.1	136.1	4500NH ₃ -D
FOSFORO TOTAL	mg PO ₄ /L	4.49	5.26	5.56	4500 P - E

Con los anteriores datos se calcula el requerimiento nutricional del sustrato estudiado; mediante la ecuación de Lettinga et al (1996). La cual expresa:

Ecuación No 4.2: Calculo del requerimiento nutricional.

$$N_r = S_o * Y * N_{bac} * \frac{TSS}{VSS}$$

³² Fuente: Adaptado Ingeniera Claudia Sofía Quintero Duque Coordinadora del Laboratorio De Análisis Químico De Aguas Residuales de la UPB.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Dónde:

N_r = Nutriente requerido (g/L).

S_o = DQO (g/L).

Y = coeficiente de producción (g VSS /g DQO) (0.15 para concentraciones de Biomasa alta y 0.05 para concentraciones bajas de biomasa).

N_{bac} = Concentración de sustancia nutritiva en la célula bacteriana (g /g VSS).

Basado en la **Tabla No 5**.

TSS/VSS = Sólidos suspendidos totales / sólidos suspendidos volátiles para la Célula bacteriana. (Usualmente es 1.14).

DQO: N: P = 350:5:1 para biomasa de concentración alta y 1000:5:1 para Biomasa con concentración baja.

Tabla 4. Composición Química de los microorganismos metanogénicos³³.

MACRONUTRIENTES	
Elemento	Concentración (g/Kg TSS)
Nitrógeno	65
Fósforo	15
Potasio	10
Azufre	10
Calcio	4
Magnesio	3

Ahora bien en base a la ecuación 4.2 y la tabla No 5 se calcula el requerimiento de nitrógeno y fósforo con el fin de determinar el exceso o ausencia de estos

³³ Fuente: Biological Wastewater Treatment in warm Climate Regions. Marcos Von Sperling, CA de Lemos Chernicharo. Volumen one. Pág. 682



nutrientes y su relación con DQO, en los diferentes días de la caracterización.

Sustituyendo valores en la ecuación No 4.2 se calcula:

$$N_r = S_o * Y * N_{bac} * \frac{TSS}{VSS}$$

1. Para el día 24 de febrero se reporta una DQO = 768mg O₂/L = 0.768 g O₂/L

- Nitrógeno requerido:

$$N_r = (0.768 \text{ g O}_{2\text{DQO}} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{g}_{\text{DQO}}) * (0.065 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$N_r = 0.00854 \text{ gN} / \text{L}.$$

- Fósforo requerido:

$$P_r = (0.768 \text{ g O}_{2\text{DQO}} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{g}_{\text{O}_{2\text{DQO}}}) * (0.015 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$P_r = 0.00197 \text{ gP} / \text{L}$$

$$\text{Relación DQO: N: P} = 768:8.54:1.97$$

La relación quiere decir que para DQO del sustrato en estudio que tiene un valor de 768mg O₂ / L, se necesita 8.54 mg de nitrógeno por litro y 1.97 mg de fosforo por litro.

Al comparar el valor del nitrógeno requerido con el dato de la caracterización se comprueba que se tiene en exceso 72.66mgN/L de nitrógeno y 2.52 mgP/L de Fósforo.

2. Para el día 02 de Abril se reporta una DQO = 676.8mgO₂/L = 0.67608 g O₂/L

- Nitrógeno requerido:

$$N_r = (0.67608 \text{ gO}_{2\text{DQO}} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{g}_{\text{O}_{2\text{DQO}}}) * (0.065 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$N_r = 0.007514 \text{ gN} / \text{L}.$$



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

- Fósforo requerido:

$$Pr = (0.67608 \text{ gO}_{2\text{DQO}}/\text{L}) * (0.15 \text{ gVSS}/\text{gO}_{2\text{DQO}}) * (0.015 \text{ gN}/\text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS}/\text{gVSS})$$

$$Pr = 0.001734 \text{ gP} / \text{L}$$

$$\text{Relación DQO: N: P} = 676.8: 7.514: 1.734$$

La interpretación de la anterior relación es que para una DQO 676.8 mgO₂/L demanda 7.514 mg de nitrógeno por litro y 1.734 mg de fósforo por litro.

Confrontando estos valores con los datos reportados en la caracterización se demuestra que continúa existiendo una abundancia en el nitrógeno y fósforo, con 173.386 mg N / L y 3.526 mg P / L de mas.

3. Para el día 26 de Abril se reporta una DQO = 610.6mg/L = 0.61006 g/L

- Nitrógeno requerido:

$$Nr = (0.61006 \text{ gDQO} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{gDQO}) * (0.065 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$Nr = 0.006781 \text{ gN} / \text{L}.$$

- Fósforo requerido:

$$Pr = (0.61006 \text{ gDQO} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{gDQO}) * (0.015 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$Pr = 0.00156 \text{ gP} / \text{L}$$

$$\text{Relación DQO: N: P} = 610.6: 6.78: 1.56$$

Esta relación significa que para una DQO 610.6 mgO₂/L requiere 6.78 mg de nitrógeno por litro y 1.56 mg de fósforo por litro.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Confrontando estos valores con los datos reportados en la caracterización se demuestra que continúa existiendo una abundancia en el nitrógeno y fósforo, con 187.82 mg N / L y 4mg P / L de exceso.

La tabla No 6 expone los resultados de la caracterización del afluente y efluente del RAP 2 el día 18 de mayo de 2009, treinta y cuatro (34) días después de iniciar la entrada de agua al RAP. Esta caracterización fue efectuada por la Ingeniera Claudia Sofía Quintero Duque Coordinadora del Laboratorio De Análisis Químico De Aguas Residuales de la UPB.

Tabla 5. Análisis mayo de 2009³⁴.

ANÁLISIS	UNIDADES	AFLUENTE	EFLUENTE	MÉTODO
DQO	mg O ₂ / L	573.4	440.0	5220 – B
DQO filtrada	mg O ₂ / L	462.5	347.8	5220 – B
DBO	mg O ₂ / L	326.0	232.2	5210 – B
DBO filtrada	mg O ₂ / L	198.8	96.0	5210 – B
SS	mg SST/ L	151.2	160.4	2540 – D
SSV	mg SSTV/ L	147.0	149.0	2540 – C
ST	mg ST/ L	980.0	1008.0	2540 – B
STV	mg STV/ L	760.0	840.0	2540 – C
NT	mg Norg / L	140.0	176.4	4500Norg – D
NITROGENO AMONICAL	mg NH ₃ / L	120.0	152.0	4500 NH ₃ – D
FOSFORO TOTAL	mg PO ₄ /L	5.12	4.90	4500 P – E

³⁴ Fuente: Adaptado Ingeniera Claudia Sofía Quintero Duque Coordinadora del Laboratorio De Análisis Químico De Aguas Residuales de la UPB.



4. Para el mes de mayo se reporta una DQO = 573.4 mg/L = 0.57304 g/L en Afluente

- Nitrógeno requerido Afluente:

$$Nr = (0.57304 \text{ gDQO} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{gDQO}) * (0.065 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$Nr = 0.00636 \text{ gN} / \text{L}.$$

- Fósforo requerido Afluente:

$$Pr = (0.57304 \text{ gDQO} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{gDQO}) * (0.015 \text{ gP} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$Pr = 0.00147 \text{ gP} / \text{L}$$

Relación DQO: N: P = 573.4: 6.36: 1.47

Durante el mes de mayo el reactor se encuentra en medio de la etapa de adaptación del lodo existente, con un TRH = 24 horas, donde las condiciones del RAP son muy inestables; sin embargo durante este mes se caracterizó afluente y efluente con el fin de conocer las condiciones de entrada y salida del RAP mientras se permitía la ingreso constante de agua.

Durante este tiempo continúa existiendo un exceso de nitrógeno de 133.64 g/L. Es necesario controlar estos altos niveles en el tratamiento secundario, pues estos pueden llevar a sobrepasar la capacidad máxima de remoción de nutrientes del tratamiento terciario. En teoría muy poco se encuentra sobre métodos neutralización de nutrientes en tratamientos anaerobios, sin embargo se sugiere aumentar la concentración de carbono en el afluente

En el caso del exceso de nitrógeno corresponde a 3.65 g P/L, esta abundancia se ve como un factor favorable en el proceso, pues como bien se conoce el fosforo es



un elemento limitante, sin embargo deben controlarse las concentraciones.

5. Para el mes de mayo se reporta una DQO = 440 mg/L = 0.440 g/L en Afluente

- Nitrógeno requerido Afluente:

$$N_r = (0.440 \text{ gDQO} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{gDQO}) * (0.065 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$N_r = 0.00489 \text{ gN} / \text{L}.$$

- Fósforo requerido Afluente:

$$P_r = (0.440 \text{ gDQO} / \text{L}) * (0.15 \text{ gVSS} / \text{gDQO}) * (0.015 \text{ gN} / \text{gTSS}) * (1.14 \text{ gTSS} / \text{gVSS})$$

$$P_r = 0.00113 \text{ gP} / \text{L}$$

Relación DQO: N: P = 440: 4.89: 1.13

Los valores de la relación de DQO: N:P efluente no son muy favorables al compararlos con los valores de la relación en afluente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en el momento que se realizó esta caracterización, el reactor estaba pasando por el proceso de adaptación, razón por la cual se presenta arrastre de sólidos y material flotante. (Ver tabla.5.).

El nitrógeno presente en la muestra de efluente presenta un exceso de 171.51 g/L y en relación con la muestra de afluente un exceso de 37.87 g/L. Esto quiere decir que el tratamiento secundario no tiene remoción de nutrientes inorgánicos. De igual manera el Fósforo también se encuentra sobre pasado con los valores requeridos en un 3.77 g/L.

Es necesario controlar estos excesivos valores de nutrientes ya que pueden colapsar el tratamiento terciario y causar un incumplimiento de los valores sugeridos de vertimientos a fuentes hídricas por la normatividad vigente. (DECRETO 1594 DE 1984)



4.1.2 Monitoreo Caudales de Afluente. Las graficas 4 a la 15 muestran el comportamiento del caudal en diferentes horas del día a lo largo del año 2009.

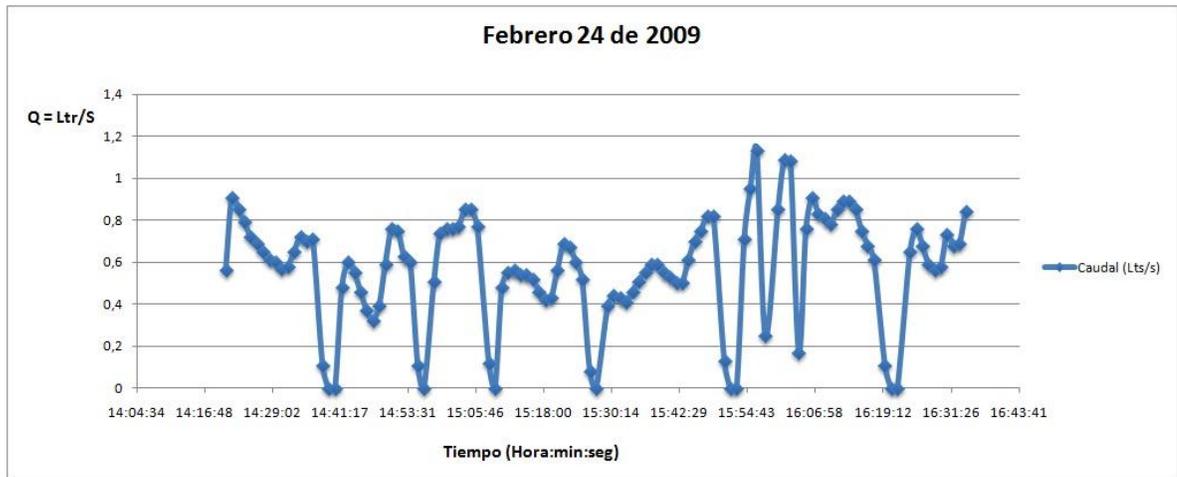
Las clases en la UPB tienen un tiempo de de 40 minutos y generalmente son bloques de dos clases seguidas, las graficas exponen diferentes horas del día donde se registra el caudal de entrada, indicando que las horas picos donde se encuentra el máximo caudal es entre las 10:00 a 10:15 am y de 11:45 a 11:55 am en la primera jornada del día, para la jornada de la tarde se presentan caudales máximos entre las 3:35 y 4:00 pm; pues estos son los momentos donde los estudiantes realizan el cambio de clase y habitualmente utilizan los baños.

Los caudales son independientes al día de la semana que se realice el monitoreo; pues la universidad intenta tener el mismo número de estudiantes todos los días con el fin de no sobre pasar la capacidad de las áreas comunes. La graficas que a continuación se presentan son basadas en los datos reportados en el Anexo C, las tablas 6 a la 10 ilustran los datos adquiridos en las jornadas de muestreo que se realizan periódicamente a la PTAR correspondiente a la Hora, Nivel del agua en el momento que se activa la bomba de succión, Volumen, Caudal y Temperatura del agua en el pozo, respectivamente.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Gráfica 1. Caudal Febrero 24 de 2009



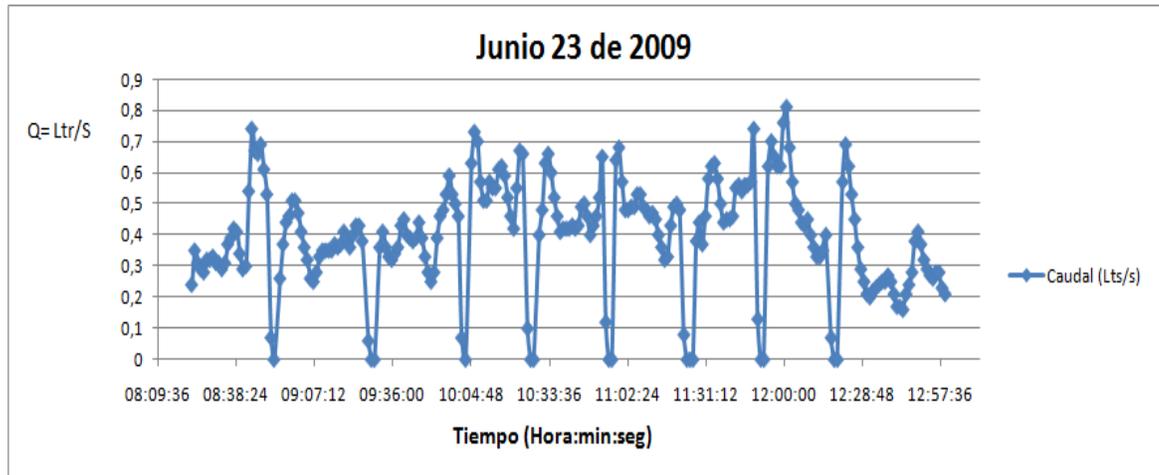
La anterior grafica corresponde al caudal registrado entre las 14:20:34 y 16:30:41 horas del día martes 24 de febrero de 2009 con un $Q_{prom} = 0.57$ l/s, un $Q_{max} = 1.13$ l/s registrado a las 15:56:20 horas indicando así la variación de la población que utiliza los baños debido al cambio de clase de los estudiantes y un $Q_{min} = 0$ l/s a las 14:39:09 horas.

El registro del caudal se toma en el momento que la motobomba se activa y conduce el agua a la caja de distribución; es por eso que se encuentran registros de caudal iguales a 0 l/s, indicando que el nivel de agua no es suficiente para la activación de la motobomba.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Gráfica 2. Caudal Junio 23 de 2009

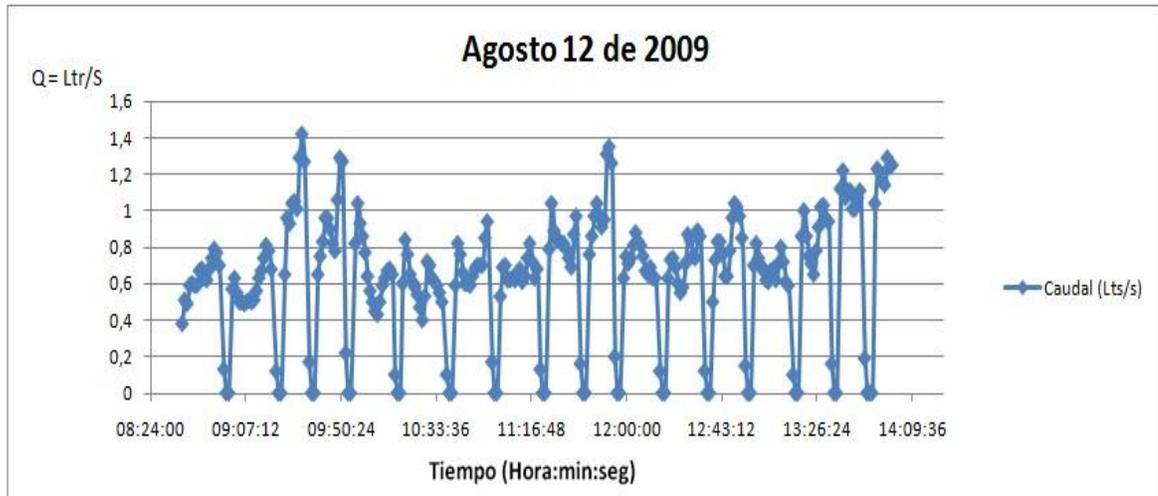


La anterior gráfica indica el caudal registrado el viernes 23 de junio desde las 8:21:57 hasta las 16:23:42 horas. Con un $Q_{prom} = 0.357$ l/s, $Q_{max} = 0.77$ l/s registrado a las 14:44:55 horas, y un $Q_{min} = 0$ l/s.

Generalmente la toma de la muestra se realizaba en la primera jornada del día, para intentar tener muestras de población similar a lo largo de la semana.



Gráfica 3. Caudal Agosto 12 de 2009

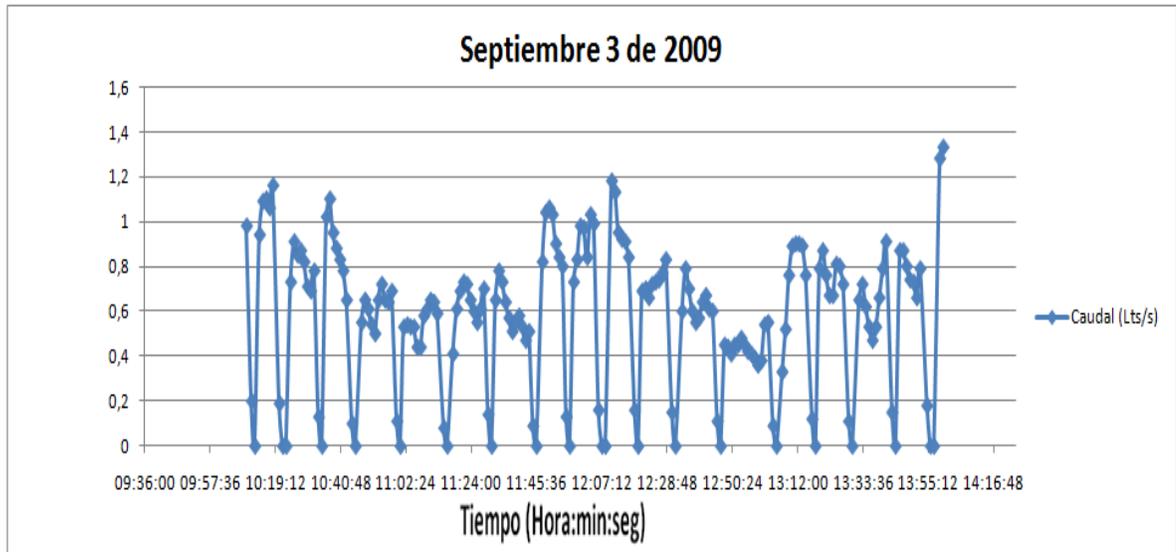


La grafica anterior ilustra los caudales registrados el miércoles 12 de agosto en el cual se obtuvieron datos de $Q_{prom} = 0.626$ l/s, $Q_{max} = 1.42$ l/s registrado a las 9:32:42 horas, y un $Q_{min} = 0$ l/s repetidas veces a lo largo del día.

Las graficas fueron basadas en los datos suministrados por la administración de la PTAR, que se encuentran reportados en su totalidad en el Anexo C.



Gráfica 4. Caudal Septiembre 3 de 2009



La grafica anterior expone los caudales registrados el jueves 3 de septiembre donde se consiguieron $Q_{prom} = 0.60$ l/s, $Q_{max} = 1.49$ l/s registrado a las 14:10:55 horas, y un $Q_{min} = 0$ l/s en diferentes instantes del día.

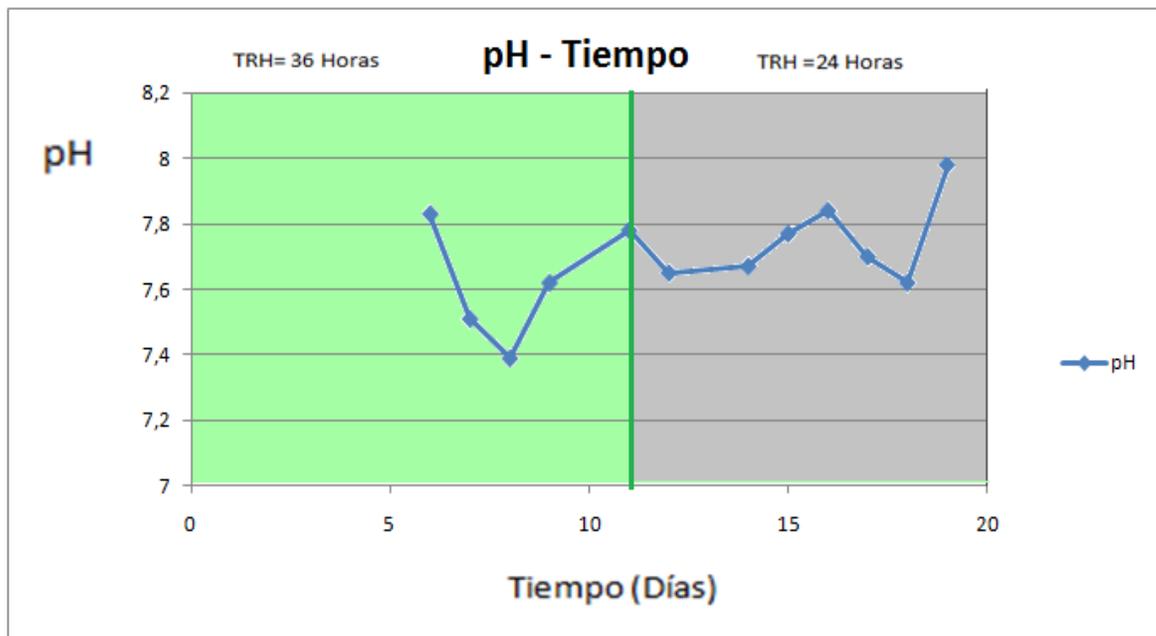


4.2 ETAPA II *Adaptación del lodo existente.*

El proceso de adaptación del lodo se concluyó aproximadamente a los 40 días, momento en el cual se observó en la muestra de agua la total ausencia de material flotante. Adicional esto, los análisis realizados en el laboratorio indicaron la estabilidad del pH y efecto buffer y la producción de AGV's. Este proceso se dividió en dos TRH 36 horas y 24 horas, que fueron modificados después de la estabilización del efecto buffer.

A continuación las **Gráficas 5 y 6** presentan el comportamiento del reactor en términos de alcalinidad, pH, A.G.V, y efecto buffer, con los dos TRH.

Gráfica 5. Relación pH - Tiempo



La anterior gráfica indica que durante esta etapa de adaptación el pH del efluente continua siendo de tipo alcalino; en diferentes condiciones de agua y tratamiento,

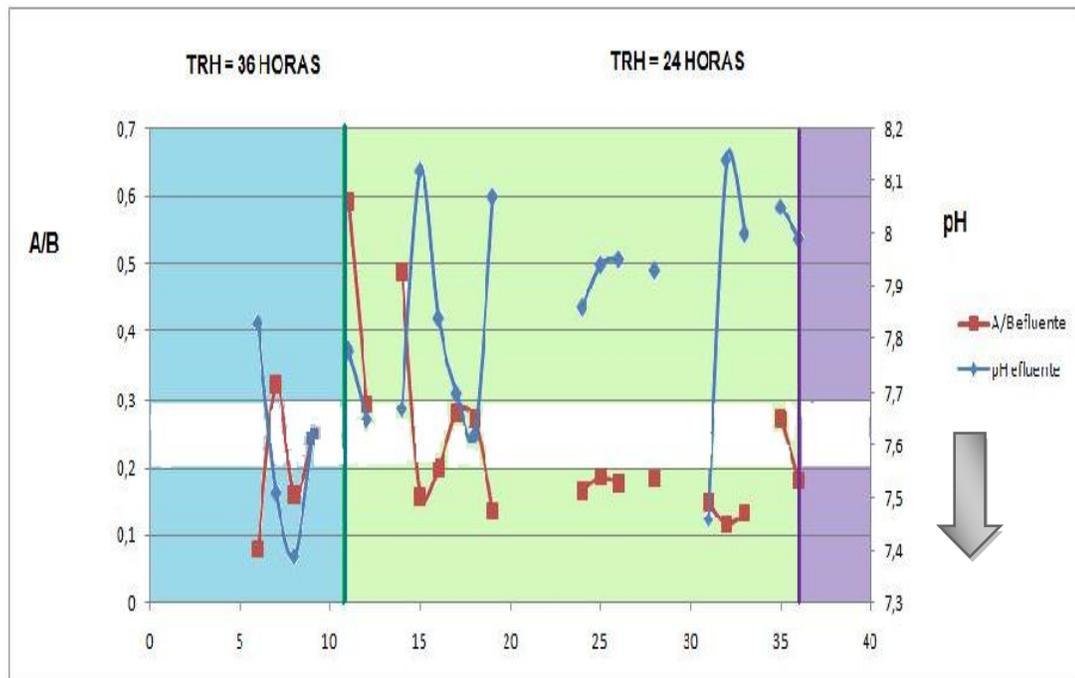


ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

estos datos de pH básico se tomaría como desfavorable, sin embargo hay que tener en cuenta que el afluente que alimenta el reactor es de tipo alcalino con valor superiores a 8,0 en términos de potencial de hidrógeno. (Como lo indica la gráfica No 14). Este comportamiento revelo que dentro del reactor existían microorganismos que estaban desarrollando este control de aproximadamente 0,9 unidades de pH. Lo cual permitió continuar con el estudio del RAP.

La línea de color verde indica un cambio en el TRH de 36 a 24, decisión tomada al observar que al cabo de diez días de mantener la carga orgánica estable y las condiciones del afluente constante y suficiente para mantener vivos los microorganismos, se inicia un progresivo aumento del pH, como consecuencia de la condición de subalimentación del reactor

Gráfica 6. Relación Efecto Buffer y pH



Durante los primeros 20 días de estudio se nota una inestabilidad en los datos de pH y Buffer, esto debido a que durante este tiempo el reactor se encontraba en un



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

periodo de adaptación al sustrato. En tanto los días 25 al 35 se inician una constancia en los datos reportados de estos dos factores, demostrando la relación que tiene entre ellos la cual es inversamente proporcional.

El color verde indica un cambio en el TRH de 36 a 24 horas, decisión que se tomo al observar que los datos de efecto buffer reportados, se encuentran alrededor de 0,3 que es valor teórico que representa estabilidad, representando que el RAP puede tratar una mayor carga hidráulica. Al aumentar el caudal el reactor sufrió una alteración en su comportamiento, y al cabo de diez días de mantener el caudal estable y las condiciones del afluente constante y suficiente para mantener vivos los microorganismos, se estabilizó el efecto buffer y el pH. Demostrando lo dicho en la teoría (Ver **Tabla 1**); "los reactores anaerobios tienen una rápida respuesta a mayores concentración de carga orgánica".

El color morado indica un cambio de TRH de 24 a 20 horas, se decidió este cambio porque alrededor de los 35 días de operación el reactor no estaba estabilizando el pH y este comenzó a incrementarse progresivamente; por tanto se consideró que éste estaba subalimentado, pues no realizaba la fase de producción de A.G.V's.

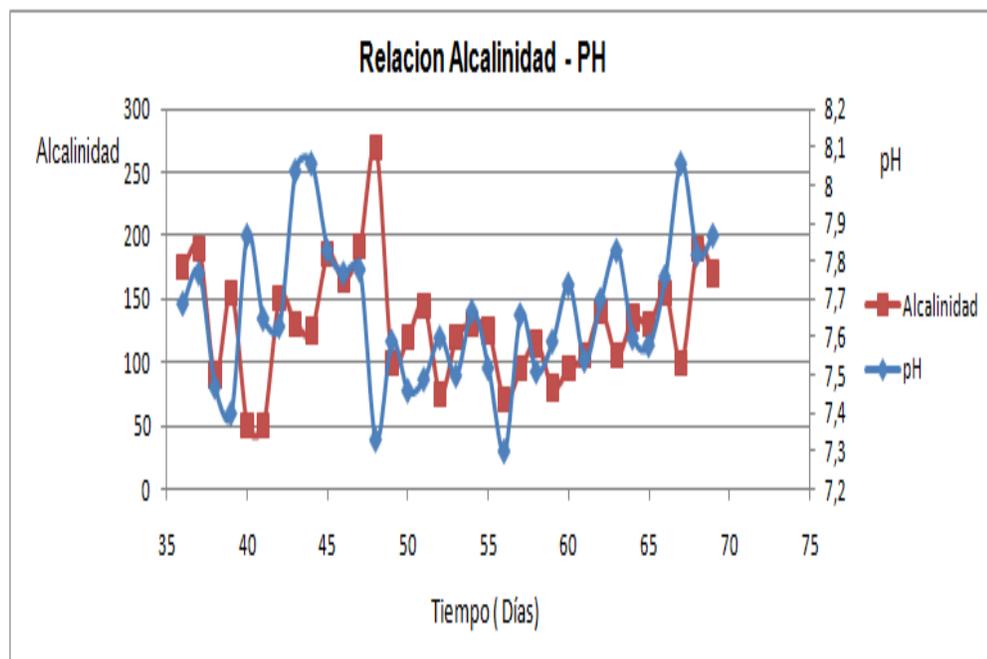


4.3 ETAPA III Evaluación del arranque del RAP número dos

Después de cumplirse el periodo de adaptación del lodo, se inicia con la tercera y última etapa del proyecto, para el desarrollo de este objetivo se diseñó una metodología, que consiste en realizarle pruebas al afluente y efluente, con el fin de monitorear de manera continua el comportamiento del reactor.

A continuación en las **Gráfica 7, 8, 9, 10 y 11** se ilustran los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio y su respectivo análisis.

Gráfica 7. Relación Alcalinidad y pH



En la grafica anterior se expone la relación que existe entre alcalinidad y pH, pues este último es la consecuencia de una alteración drástica de la alcalinidad. Como se observa, las variaciones de los valores de la alcalinidad afectan directamente el pH; pues mientras la alcalinidad es relativamente estable el pH tiende a neutralizarse. De lo contrario tiende a ser cada vez más alcalino debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos.

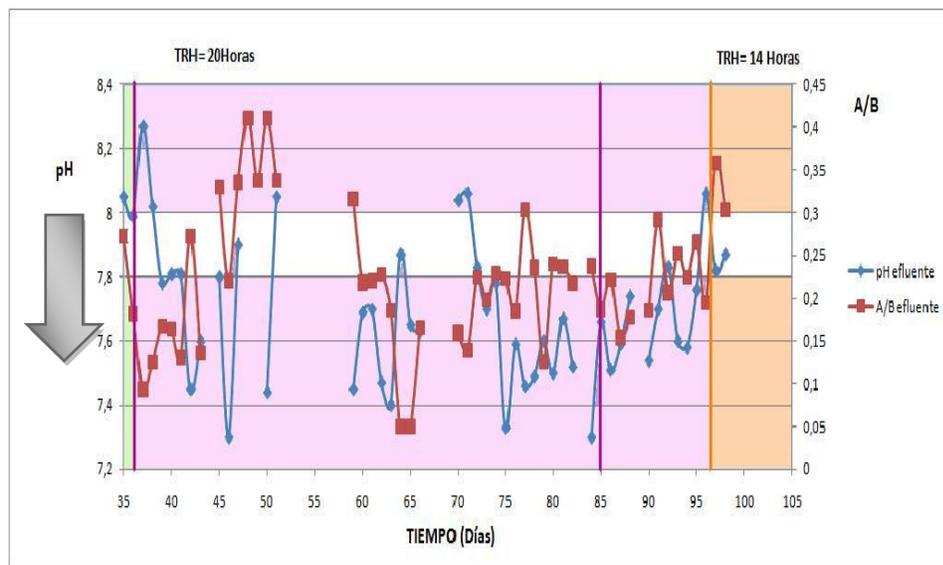


ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Por tanto es de vital importancia monitorear continuamente la alcalinidad para no alterar las condiciones de vida de los microorganismos dentro del reactor,

Luego del proceso de adaptación (citado en la etapa anterior) se observa que el agua del reactor pasa a la fase de estabilización de pH y alcalinidad que es lo que realmente se busca obtener con el tratamiento anaerobio.

Gráfica 8. Relación pH y Efecto Buffer



En la grafica anterior podemos ver que a medida que pasa el tiempo el efecto Buffer apunta valores iguales o menores que 0.35 y si analizamos desde el día 77 al día 95 el pH se empieza a estabilizar con datos menores a 7.8 favoreciendo las condiciones de vida de los microorganismos presentes en el reactor y por tanto el proceso de remoción del reactor.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

El día 73 en la tarde se adicionó los desechos producto de las pruebas de DQO, DBO, N, P, alcalinidad, A.G.V's, entre otras que se realizan en el laboratorio de Análisis Aguas Residuales afectando los datos del día 74 y 75 manifestando así que los compuestos tóxicos aun en bajas concentraciones afectan la digestión anaerobia disminuyendo los niveles de remoción y perturbando la estabilidad del metabolismo.

Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, ya que las sustancias tóxicas presentes en aguas residuales aún en bajas concentraciones, ejercen un efecto bacterio – estático reversible. Esta afectación no implica a todos los microorganismos anaerobios y su recuperación obedece al tipo de microorganismo y su daño.³⁵

El día 90 se observó presencia de carbón, arena y astillas de madera en el afluente sin embargo la muestra de efluente estaba libre de cualquier sólido, demostrando que el RAP tiene la capacidad de realizar un proceso de separación que en este caso se define como decantación o precipitación y está ligado al tiempo y a la capacidad o volumen de almacenamiento del mismo.

Debido a que los compuestos de los residuos hallados no generan ningún riesgo toxicológico o biológico o de cualquier tipo que pueda afectar el normal comportamiento de la digestión dentro del reactor no ocasionó ninguna alteración en los datos reportados en los siguientes días.

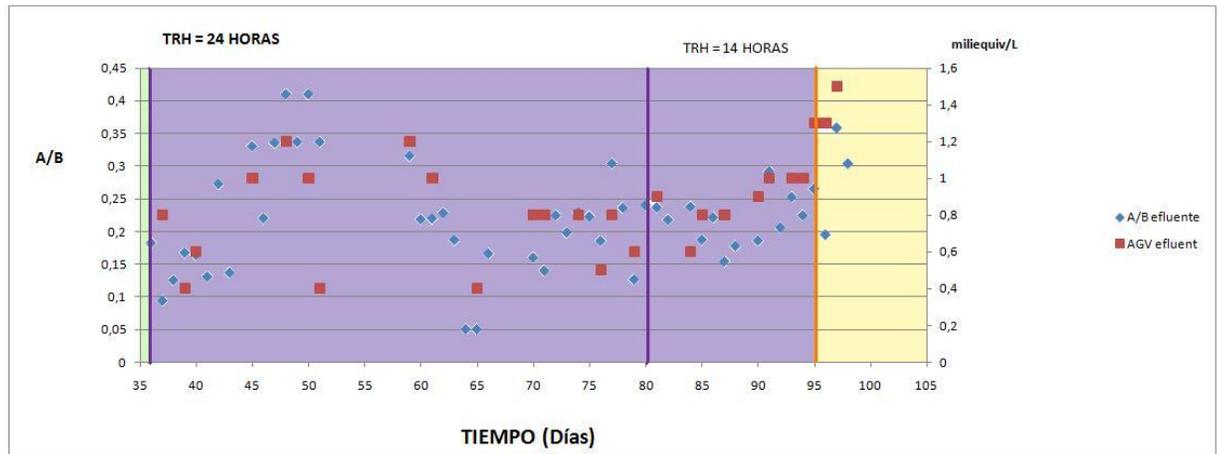
La presencia de materiales extraños en el afluente de la planta demuestra que la población universitaria necesita una campaña para educar y concientizar en el tema de disposición de residuos.

³⁵ Citada por Citado por Caicedo J. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio de Flujo Horizontal. Universidad del Valle; Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali; 2004. 27,28,29p.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Gráfica 9. Relación Efecto Buffer y Ácidos Grasos Volátiles

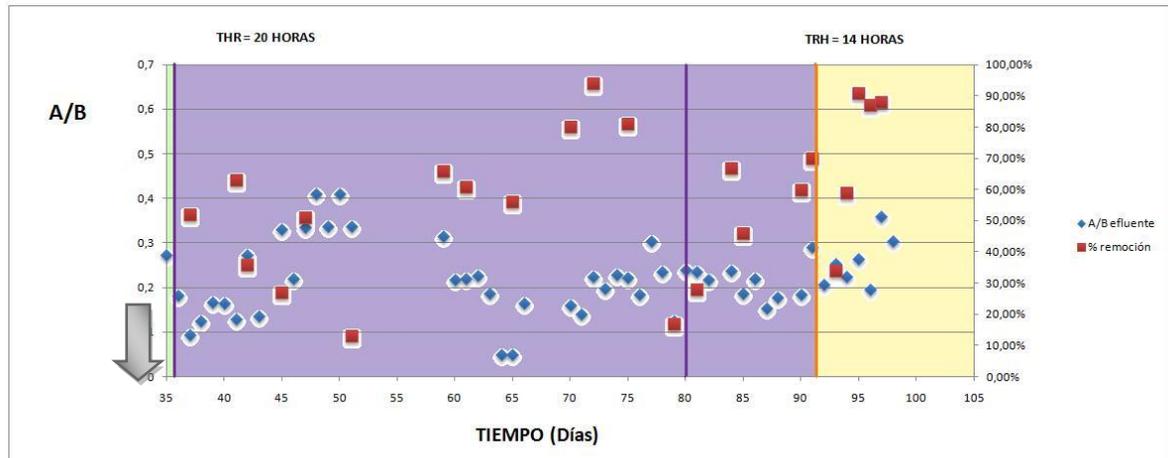


En la anterior grafica expone que durante los primeros 70 días existe un periodo de inestabilidad en la producción de los A.G.V's. sin embargo en los siguientes días se puede llegar al resultado que, en el momento que el buffer se encuentra con valores igual o inferiores a 0,35; los valores de los AGV en el efluente se incrementan. Esto indica que mientras se mantengan una estabilidad del reactor, favorece la producción de Ácidos Grasos Volátiles, como parte del proceso de digestión anaerobia que se realiza dentro del reactor.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Gráfica 60. Relación Efecto Buffer y Porcentaje de Remoción

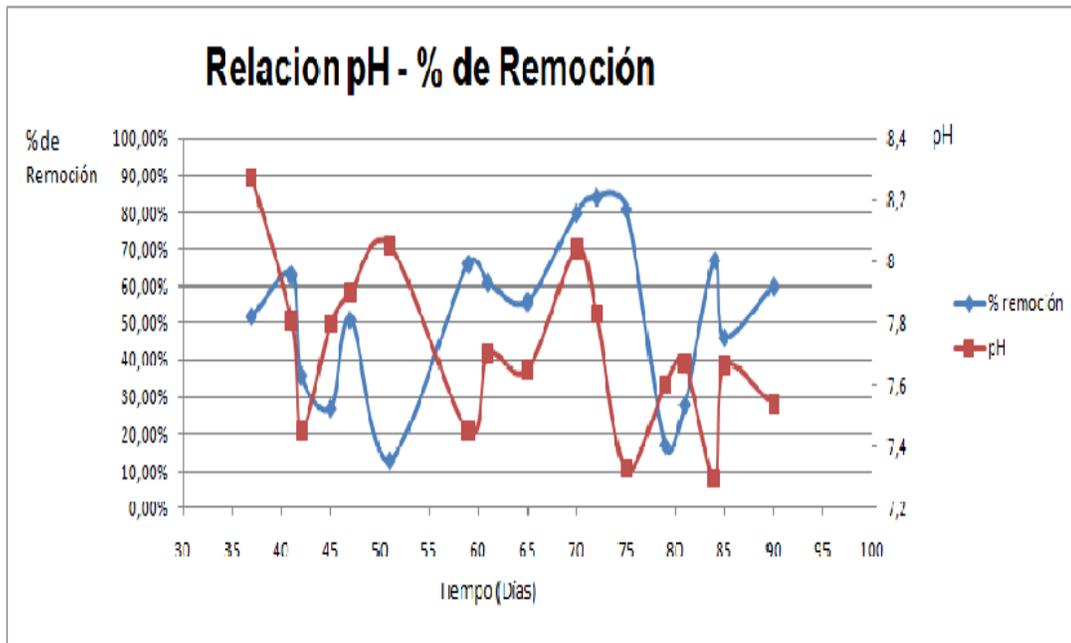


En la grafica anterior podemos observar que teniendo una relación A/B en un rango entre 0.2 y 0.35 obtenemos porcentajes de remoción altos como se puede puntualizar en los días que van del 60 al 68, del 73 al 75, y del 94 al 97 que es donde se presenta la mayor remoción de la orgánica.

Este proceso se presenta debido a los tiempos de retención y las cargas orgánicas que contenga el agua del afluente, mientras transcurre el periodo de estabilización del reactor para aumentar su eficiencia.



Gráfica 71. Relación Porcentaje de Remoción y pH Efluente



Cuando el pH se mantiene con valores entre 6,0 y 8,0 el porcentaje de remoción es mayor, pues este es el rango óptimo para la digestión anaerobia. Esta situación indica que hay una relación directa entre las dos variables, pH y Remoción, sin embargo la gráfica permite afirmar que a pesar del tiempo transcurrido en el arranque del reactor, este remueve parte de la concentración orgánica, pero no es la máxima que puede llegar a obtener.

La remoción de la materia orgánica depende de los microorganismos que realizan la digestión anaerobia, a los cuales se les debe proporcionar unas condiciones específicas de vida, entre esas una de las más importantes es el pH, ya que las bacterias metanogénicas, son muy sensibles a los cambios de pH y pueden inhibir la producción de metano pues ellas realizan la última fase de la digestión anaerobia donde son las encargadas de transformar el hidrógeno, dióxido de carbono y acetato en metano.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Es preciso destacar que un sistema de tratamiento de aguas residuales aerobico ya sea convencional o compacto tarda en estabilizarse aproximadamente 21 días, como en este caso el tratamiento es anaerobio tarda más tiempo en estabilizarse para lograr alcanzar remociones que se aproximen al 70%; adicionalmente depende directamente del tipo de colonias bacterianas que componen el sistema y de la constante alimentación de las mismas es decir la garantía de un afluente permanente que mantenga el sistema activo.

Imagen 1. Muestra de agua Afluente y Efluente del día 13 del mes de julio del año 2009

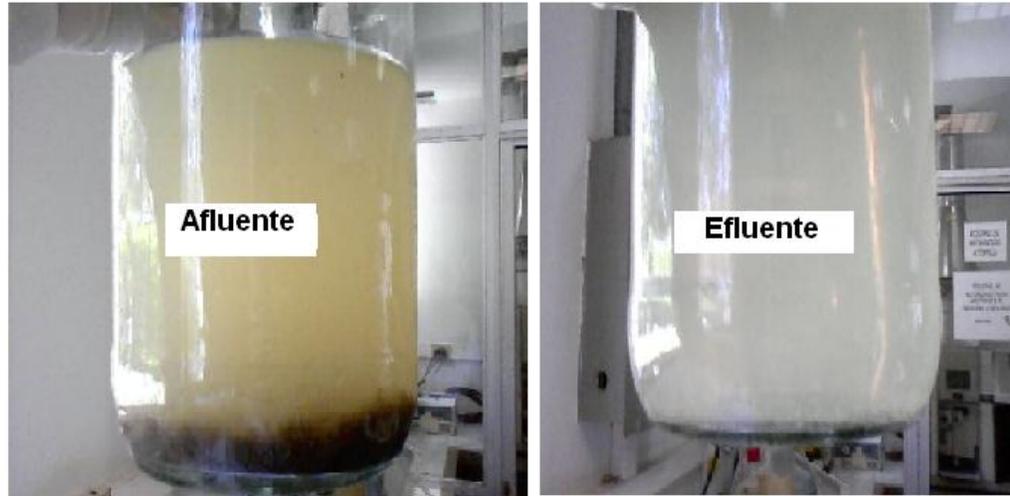


En la anterior imagen se observa la muestra de agua del afluente y del efluente respectivamente, tomada el día 13 de julio de 2009, aproximadamente 20 días después de concluir el periodo de adaptación del lodo.

La imagen evidencia a simple vista la remoción de sólidos pero no es la claridad esperada.



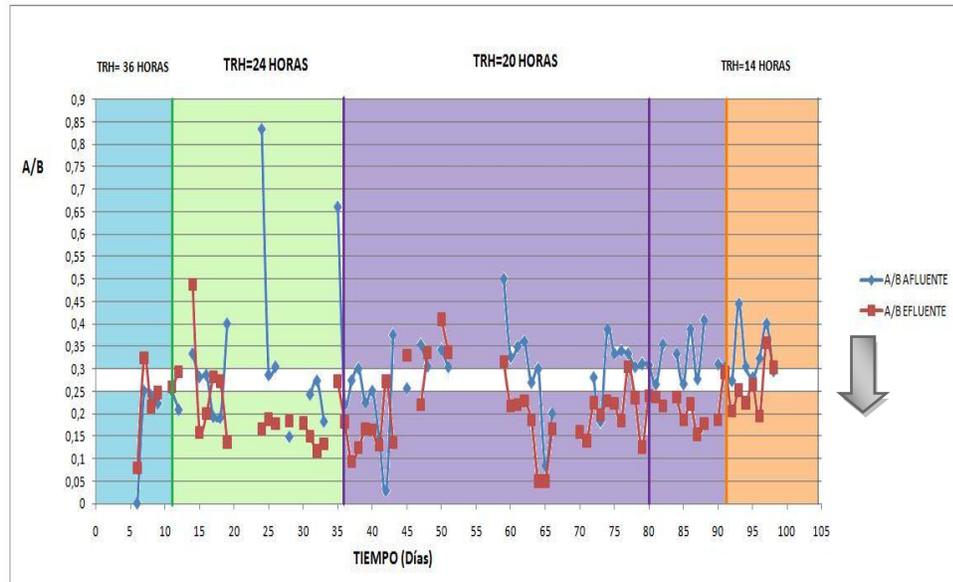
Imagen 2. Sólidos Sedimentables de la Muestra de Agua del Día 26 del Mes de Agosto del Año 2009



En la imagen se pueden observar los sólidos sedimentables de la muestra de agua, afluente y efluente respectivamente, del día 26 del mes de agosto del año 2009 que corresponde a los últimos días de muestreo de esta investigación; demostrando la constante remoción de sólidos en el reactor en estudio, aquí el agua se ve más clara con respecto a la muestra del 13 de julio (**Imagen1**), esta situación indica que el reactor presenta aumento de la remoción de la materia orgánica.



Gráfica 82. Relación Efecto Buffer Afluyente y Efluente



Durante el primer periodo del estudio se observa una inestabilidad en los valores del Buffer debido a que el reactor se encuentra en la etapa de adaptación. Sin embargo durante la etapa que se mantiene con un TRH de 20 y 14 horas se presenta en general un control de las interferencias que manifiesta el reactor ya que en su gran mayoría las muestras de efluente tienen valores de efecto buffer igual o inferior a 0.35 que es la medida teórica de estabilidad de este. No obstante, durante el periodo de vacaciones, se prepara una solución de melaza diluida para alimentar del reactor, con el fin de proporcionar las condiciones de vida suficiente para el normal crecimiento y actividad metabólica de los microorganismos presentes. Sin embargo, después del primer receso de los trabajadores de la UPB, que inicia el día 60, se presenta una inestabilidad del reactor revelando que esta solución no es la indicada o no contiene las concentraciones adecuadas para el sustento los microorganismos.

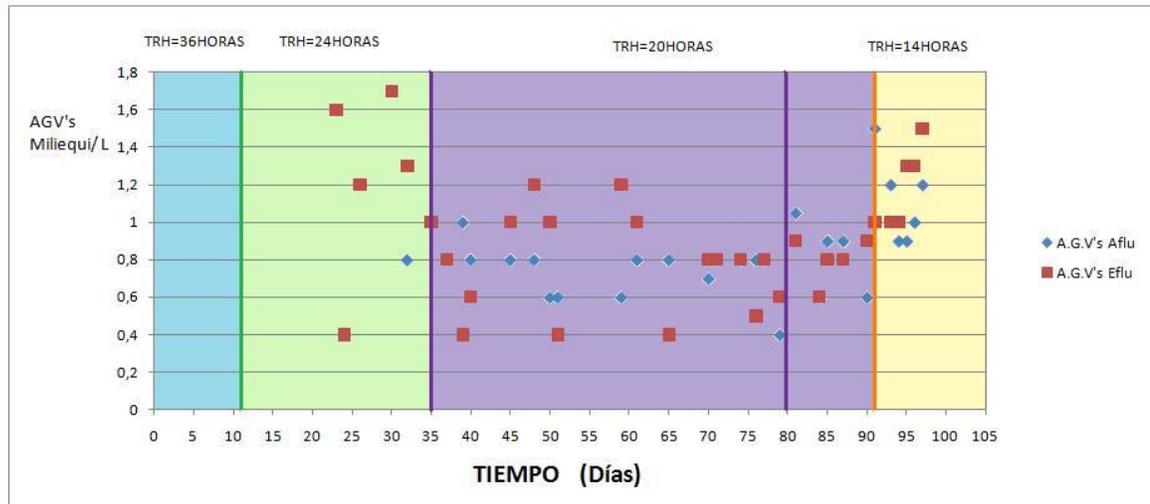
Al regreso de la mayoría de la comunidad bolivariana se controlan las interferencias en el reactor rápidamente. Gracias a estos datos se comprueba una



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

de las ventajas de la digestión anaerobia (Ver tabla.1) la cual dice que los reactores tienen una rápida respuesta de la biomasa después de periodos sin alimentación.

Gráfica 93. Relación Ácidos Grasos Volátiles Afluente y Efluente

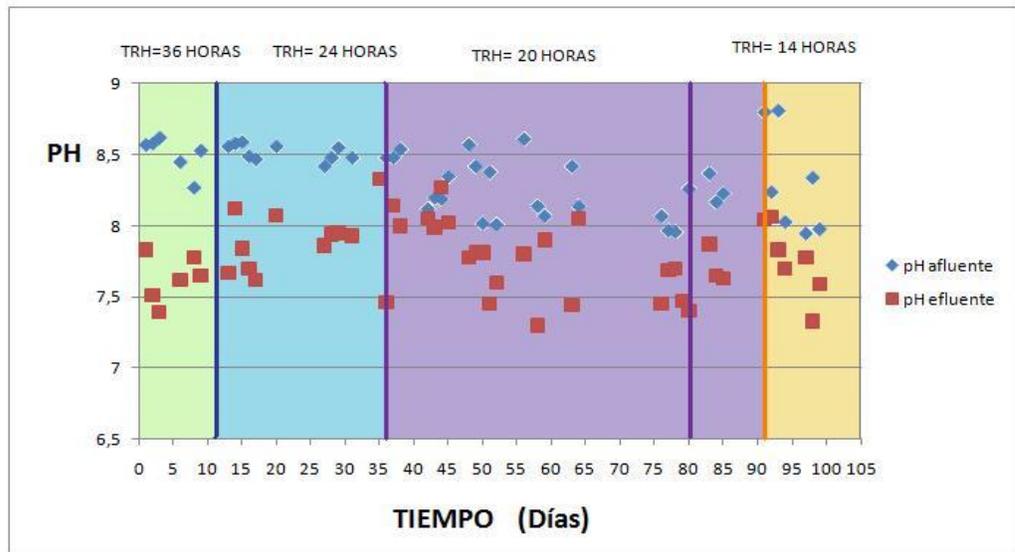


Durante el periodo de adaptación del inóculo solo se realizó análisis de AGV's al afluente pues únicamente era necesario comprobar la existencia de estos, a la entrada del RAP. Con el arranque también se inicia los pruebas del efluente con el fin de cuantificar la producción de A.G.V's dentro del reactor en estudio.

Los datos de la Grafica 16 indican que durante el periodo vacacional de los estudiantes comprendido entre los días 50 a 80 la producción de A.G.V's presentaba muchas variaciones producto de la baja carga orgánica presente en el afluente, indicando que a pesar que durante el periodo vacacional se sostiene el reactor con una solución de melaza diluida esta no es suficiente pues los datos reportar una subalimentación del reactor.



Gráfica 104. Relación pH Afluente y Efluente



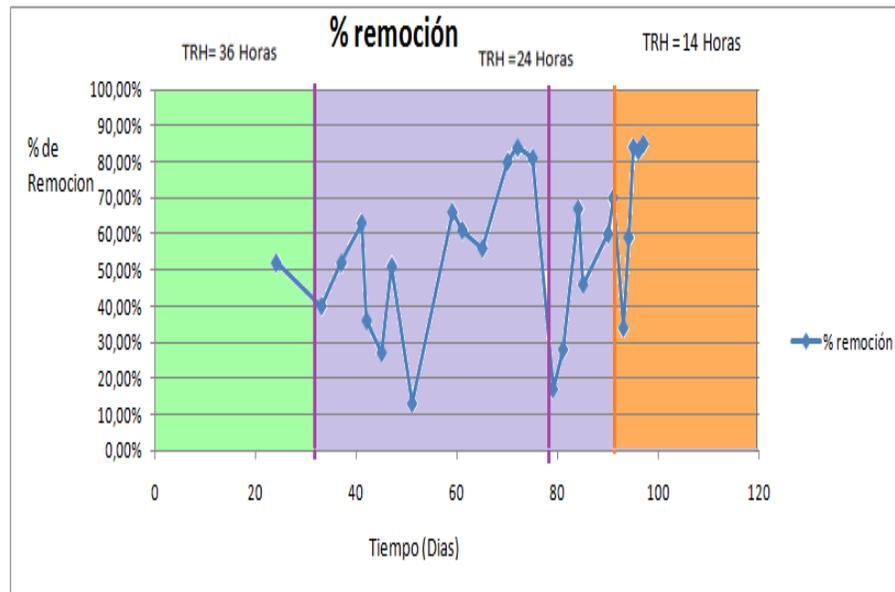
En la **Grafica 14** vemos que el pH de afluente tiene valores entre 8,0 y 9,0, mientras que los valores de efluente presentan un pH con valores que oscilan entre 7,2 – 8,4 estando en los rangos óptimos para la colonia bacteriana y así demostrando que el reactor realiza una estabilización de pH en aproximadamente 0,9 unidades de potencial de hidrógeno.

Posteriormente de finalizar el periodo de vacaciones estudiantil, a los 80 días de monitoreo se realiza una estabilización del caudal la cual se observa que los valores de pH continúan siendo alcalinos pero existiendo un control del pH de efluente.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Gráfica 115. Porcentaje de Remoción



En la grafica 15 se observa que el reactor inicia con buenos porcentajes de remoción que no eran esperados por el corto tiempo de operación con ese tipo de sustrato, no obstante del día 40 al 60 presento pico bajo que al compararlo con la gráfica No 14 coincide con el descenso del pH; demostrando de nuevo la directa relación que existe entre ellos.

Al ingresar los estudiantes a clase se aumentan en un 20% las remociones por tres días, manifestando así que el reactor estaba subalimentado, sin embargo se decide estabilizarlo de nuevo con un TRH igual a 24 horas, para comprobar la confiabilidad de los datos. Se evidenció que estos días donde se presenta remociones muy altas es producto de un mecanismo de respuesta a las altas concentraciones de CO.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

La inestabilidad en las remociones depende de muchos factores, tanto físicos como lo es la temperatura, la altitud, el tiempo de retención, el tratamiento preliminar que se le realice al tratamiento, entre otros. Como químicos y biológicos como lo es la adición de desechos tóxicos, el cambio de sustrato el pH, la alcalinidad. Que dependen de múltiples factores que pueden ser incontrolables por el operador de la PTAR.



CONCLUSIONES

- Se comprueba lo dicho en la teoría (**ver tabla 1**) “Los reactores anaerobios tienen una rápida respuesta ante altas concentraciones de carga orgánica”; ya que en los días de inicio de clases del semestre del 2009, 70 - 75, se presentaron picos altos en los porcentajes de remoción, con valores superiores al 80%.
- Los caudales de afluente son inferiores a 2l/s y relativamente constantes e independientes del día de la semana, ya que se mantiene sus proporciones de asistencia de la población universitaria. Estas condiciones favorecen las condiciones internas del reactor porque siempre estará entrando alimento a la masa bacteriana por lo tanto este se mantendrá estable y con buenos porcentajes de remoción.
- La mayor eficiencia se obtuvo con un TRH de 14 horas por que en el día número 100 el reactor se encuentra más estable en su proceso anaeróbico por lo tanto al bajar el TRH a 14 horas se logra obtener una mayor remoción teniendo un afluente que maneje un caudal bajo.
- El arranque del reactor requiere un periodo muy extenso y de constante monitoreo para obtener suficientes datos que indique el comportamiento de la digestión anaerobia dentro del reactor.
- Los resultados obtenidos en el estudio, muestran que el reactor número dos se encuentra apto para tratar aguas residuales de la universidad siempre y cuando se mantenga estable el caudal de entrada de las aguas residuales con en equilibrio manejando TRH de 14 horas



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

- La última prueba en el laboratorio se realizó el día 98, y se ha cumplido con el cronograma de actividades obteniendo resultados óptimos en términos de remoción de MO, control de pH, producción de A.G.V's y estabilidad general del reactor. Esto demuestra que un tratamiento de aguas residuales de tipo anaeróbico se empieza a estabilizar en el rango del día 80 hasta el día 180 del arranque del mismo tal cual como está definido en las diferentes literaturas que hacen referencia al tema en estudio.



RECOMENDACIONES

- Se incita a realizar una investigación de la probabilidad de combinar el lodo presente en los reactores con excremento de animales para acelerar el proceso de estabilización del reactor y así obtener mejor remociones de materia orgánica.
- Se propone investigar sobre microorganismos eficientes y su influencia en los tratamientos anaerobios para aguas residuales domesticas con el objetivo de encontrar colonias bacterianas óptimas para este tipo de tratamiento.
- La metodología de adaptación de un lodo solo es apropiada en el caso que se tenga la certeza que existe lodo activo dentro del reactor. Ya que de no ser así esta metodología tomaría extensos periodos de inoculación.



BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA y WPC. Standard methods for the examination of water and wastewater. (1998)
- APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Atlas R, Bartha R. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4 Edición. Madrid: Pearson Education; 2002. 474p.
- Biological Wastewater Treatment in warm Climate Regions. Marcos Von Sperling, CA de Lemos Chernicharo. Volumen one capitulo 4, page 662, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 722
- BRUCE E., PERRY L. Biotecnología del medio ambiente. Principios y aplicación. España: editorial McGraw – Hill; 2001. 560p.
- CÁCERES SANTOS J. (2007). Aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR UPB. Aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR UPB. Facultad de ingeniería. Bucaramanga Colombia.
- CRITES, Ron y Tchobanoglous, George Tratamiento de Aguas Residuales para Pequeñas poblaciones, Santafé de Bogotá : McGraw-Hill, c2000
- DÍAZ J, Jerez N (2007). Actualización del sistema SCADA y monitoreo remoto de la PTAR- UPB. Facultad de ingeniería. Bucaramanga Colombia.
- GÓMEZ A, Álvarez G (2008). Evaluación de la eficiencia de un filtro de grava a escala piloto, análisis comparativo con un filtro anaerobio guadua, PTAR UPB. Facultad de ingeniería. Bucaramanga Colombia.
- GONZALES M, Otero A. (2005). Influencia de la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. Universidad del valle, facultad de ingeniería. Santiago de Cali, Colombia



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

- GUENDICA, J. (2004). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio de flujo horizontal. Universidad del valle, facultad de ingeniería. Santiago de Cali, Colombia
- IBÁÑEZ D, Celis S (2008). Evaluación de la eficiencia de aros de Guadua como medio de soporte para un filtro anaerobio de flujo ascendente a escala piloto en la PTAR UPB. Facultad de ingeniería. Bucaramanga Colombia.
- Ingeniería de aguas residuales. -- 3a.ed -- Madrid: McGraw-Hill, c1995. V.1 -- Tratamiento, vertido y reutilización. pág. 786-789, 792, 794,795, 800-813, 816-822, 828-849.
- JURADO C, Ortiz N, (2006). Selección de inóculo para el tratamiento anaerobio de de las aguas residuales generadas en el proceso de extracción de almidón de yuca. Universidad del valle, facultad de ingeniería. Santiago de Cali, Colombia
- JURADO C, Ortiz N. (2006). Selección de inóculo para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales generadas en el proceso de extracción de almidón de yuca. Universidad del valle, facultad de ingeniería. Santiago de Cali, Colombia.
- KOPYTKO María, Manual de prácticas de laboratorio de Química ambiental I y II Universidad Pontificia Bolivariana
- KOPYTKO María, Quintero Claudia. Manual de prácticas de laboratorio de aguas residuales. Universidad Pontificia Bolivariana.
- LÓPEZ E, Morgan J, Loyola A. Arranque de reactores anaerobios industriales: dos casos de estudio.
- MADIGAN, Michael T. Martinko, John M. Parker, Jack. Brock: Biología de los microorganismos. -- 8a.ed -- Madrid : Prentice Hall, 1997
- MARTÍNEZ D, Santamaría J (2001). Regulación electrónica del flujo de entrada al reactor anaerobio a flujo pistón de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería. Bucaramanga Colombia.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

- OROZCO J, Soto J. (2000). Evaluación del sistema de tratamiento de gases de la planta de tratamientos de la Universidad Pontificia Bolivariana. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de ingeniería. Bucaramanga Colombia.
- OROZCO JARAMILLO, Álvaro; Bioingeniería de Aguas Residuales. Primera edición septiembre de 2005. ACODAL.pag. 10-19, 56-72,118-120.379-382,
- PACHECO, José, MAGAÑA, Aldo; Ingeniería Revista Académica, Volumen 7, Numero 001; Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.
- PÉREZ A, Torres P, Pizarro C; Revista Ingeniería y Competitividad Volumen 8 No 1, Arranque de un filtro anaerobio para el tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca: influencia del inóculo.
- República de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras – 2000. Sección II, Título E, Tratamiento De Aguas Residuales.
- Rheinheimer, Gerhard. Microbiología de las aguas. Barcelona : Acribia, 1987
- RIVERA A, Guerrero B, Nieves G. Tratamiento de efluentes para la producción de leche de soya en un filtro anaerobio a flujo pistón. Revista internacional de contaminación ambiental. Volumen 20 número 003. Universidad Nacional Autónoma de México.
- ROMERO ROJAS J. Tratamiento de Aguas Residuales: Tratamiento y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1999.
- SCRAGG Alan. Biotecnología Medioambiental. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A; 2001. 37p.
- URL: www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/mexicona/R-0059.pdf. Visitada noviembre de 2008
- URL: <http://members.tripod.com/Arturobola/carbo.htm> . Visitado Febrero de 2008
- URL: <http://revistaingenieria.univalle.edu.co/paquetes/busqueda/index.php?>



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Accion=DetalleArticulo&art_codigo...-17k. visitada noviembre de 2008

- URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/000866/000866d.pdf>. visitada diciembre de 2009.
- URL: <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html>. Visitado Abril de 2008
- URL: <http://www.lenntech.com/espanol/glosario-agua.htm>. Visitado Abril de 2008
- URL: <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpp6199/rcppart1.htm>, 1995). Visitado Enero de 2008
- URL: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/146.pdf>. visitado abril de 2010



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

ANEXOS

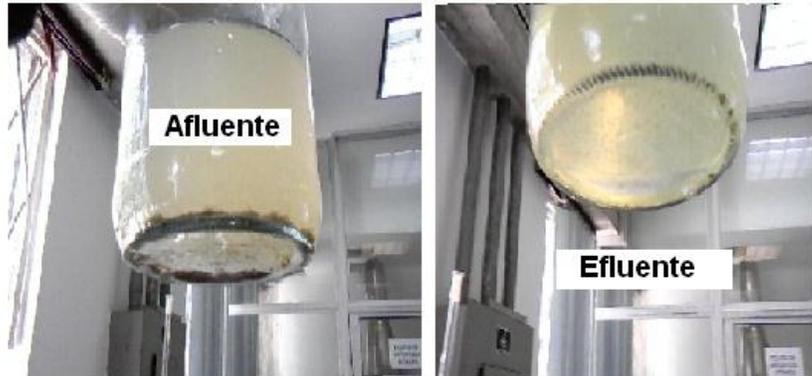


ANEXO A.

Fotografía 1. Afluente y Efluente 2009-07-07

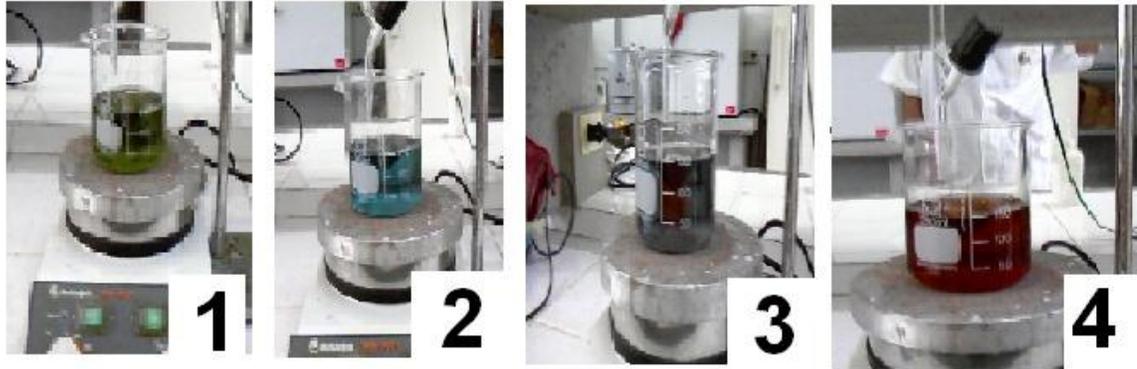


Fotografía 2. Afluente – Efluente 21-08-2009





Fotografía 3. Viraje estandarización del FAS



- Las anteriores fotografías indican el viraje de la estandarización del FAS. Debido a la inestabilidad de este reactivo era necesario hacer la estandarización, minutos antes de realizarse la prueba de DQO. Para la estandarización del FAS se siguieron los protocolos del Standards Methods.



Fotografía 4. Tratamiento primario y secundario.



- La fotografía muestra la distribución del tratamiento preliminar (1), la caja de acumulación definida generalmente como tanque amortiguador de caudal, éste el sitio específico a donde llega el agua después del tratamiento preliminar el cual cumple la función de almacenar un volumen determinado del fluido para distribuirlo a los dos reactores (2), es decir el tanque amortiguador de caudal garantiza una afluente constante al sistema para su funcionamiento.



Fotografía 5. Tratamiento preliminar



- La anterior fotografía muestra la cámara que cubre el tratamiento preliminar tiene la función de minimizar olores emitidos por el tratamiento anaerobio además cuenta con un sistema de recolección de gases.



Fotografía 6. Trampa de grasas y desarenador



- En la fotografía anterior se observa el tratamiento preliminar del sistema de instalado en la UPB; el cual cuenta con una conexión de tubería con diámetro de 4" que conduce la llegada del afluente con la trampa de grasas esta última impide el paso de los sólidos al sistema, su diseño está basado en la utilización de una rejilla de tamizado con diferentes numeraciones continuas que van de mayor a menor; por tanto el proceso de retención inicia con el paso del flujo del agua por la rejilla de mayor tamaño hasta terminar en la rejilla de menor tamaño con el fin de atrapar los sólidos de diferentes tamaños e impedir que estos mismos afecten la eficiencia del RAP o en el peor de los casos generen un colapso en el mismo. Después del anterior proceso el flujo pasa a un desarenador donde los sólidos que no lograron quedar en la trampa de grasas se precipitan al fondo por gravedad esta etapa requiere de un tiempo determinado para que el efecto físico de óptimos resultados, finalmente el agua es conducida a un pozo de succión.



Fotografía 7. Pozo de succión



- La fotografía muestra desde un mejor ángulo el pozo de succión, el cual cuenta con una motobomba, que por medio de un sistema electromecánico succiona el agua y la conduce a la caja de acumulación o tanque amortiguador de caudal.



Fotografía 8. Entrada al RAP No2 antes, durante y después de la modificación para toma de muestra.



- La fotografía indica el lugar donde se toma la muestra de afluente del reactor número dos (2). Para realizar monitoreo del reactor se debió realizar una modificación de la tubería de entrada al reactor con el fin de facilitar la toma de muestra. Para esto fue necesario comprar dos válvulas de esfera, una T, dos codos, seis adaptadores hembras, 8 metros de tubería de PVC para alta presión entre otros materiales. La totalidad de los recursos para la adquisición de estos materiales fueron donados por la Universidad Pontificia Bolivariana.



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Fotografía 9. RAP No 1 PTAR UPB



- La anterior fotografía muestra el reactor No 1 el cual tiene un diseño y proporciones iguales a reactor No 2.

Fotografía 10. Bypass donde se toman las muestras efluente.



- La Fotografía indica el lugar donde se toma la muestra de efluente del RAP en estudio. Para esto se debió cerrar la entrada y salida del RAP 1 y activar la motobomba.



Fotografía 11. Tanques De Homogenización



- La fotografía muestra los tanques de homogenización e inicio de tratamiento terciario.

Fotografía 12. Tratamiento terciario.



- La fotografía muestra el tratamiento terciario conformado por macrófitas quienes cumplen la función de reducir los niveles de nitrógeno y fosforo que no remueve el tratamiento anaerobio.



ANEXO B

2.1 METODO ESTANDAR REQUERIMIENTO DE OXIGENO QUIMICO (5220)

Reflujo cerrado, método colorimétrico.

1. MATERIALES Y REACTIVOS:

- Pipeta volumétrica
- Solución de dicromato de potasio 0,25N
- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución de sulfato ferroso amoniacal previamente estandarizado.
- Ferroín
- Hielo
- Tubos de ensayo con tapa rosca
- Vaso de precipitado de 100ml
- Bureta de 25ml
- Pipeteador
- Mezclador magnético o magneto
- Plancha de agitación.

2. PROCEDIMIENTO:

- Tomar un tubo de ensayo con tapa rosca y agregar 2,5ml de la muestra con 1,5 ml de dicromato de potasio y 3,8ml de ácido sulfúrico concentrado (en hielo).
- Realizar este procedimiento para muestras de agua destilada, afluyente y efluente, con repeticiones de cada uno.
- Introducir los 6 tubos en el termo reactor, cerrar y esperar dos horas hasta terminar la digestión.
- Al finalizar, enfriar la muestra agregar tres gotas de Ferroín. y proceder a la titulación con FAS.



3. CALCULOS:

El número de mili-equivalentes de dicromato de potasio los cuales no se gastaron en el proceso de oxidación de la muestra orgánica, se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Meg de dicromato de exceso} = (V_i \times N_i) - (V_{FAS} \times N_{FAS})$$

Donde: V_i : volumen inicial de dicromato potasio (valor de blanco)

V_{FAS} : volumen de FAS en la titulación.

N_i : Normalidad inicial de dicromato de potasio

N_{FAS} : Normalidad de FAS

V_m : Volumen de la muestra

$$\text{Mg de O}_2/\text{L} = 8000 \times \text{meg de dicromato en exceso} / V_m$$



2.2 METODO PARA LA ESTADARIZACION DEL FAS

1. MATERIALES Y REACTIVOS:

- Vaso de precipitado de 250ml
- Agitador magnético
- Bureta de 25ml
- 10 ml (5 ml) de dicromato de potasio 0,25N
- 90ml (100ml) de agua destilada
- 30 ml (15 ml) de ácido sulfúrico concentrado
- 0,5ml (4gotas) de Ferroín.

2. PROCEDIMIENTO:

- Agregar a un vaso de precipitado 10ml de dicromato de potasio y 90ml de agua destilada.
- En hielo y con mucho cuidado agregar 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y 0,5 ml de Ferroín.
- Dejar enfriar
- Proceder a titular con FAS

3. CÁLCULOS:

$$[\text{FAS}] = (\text{Nd} \times V_{\text{FAS}}) / V_{\text{d}}$$

Nd= normalidad del $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Vd.= volumen del dicromato

V_{FAS} = Volumen de Solución de sulfato ferroso amoniacal



2.3 METODO PARA EL CÁLCULO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS Y VOLÁTILES

METODO DE DESTILACION 5560

1. MATERIALES Y REACTIVOS:

- Centrífuga, con cabeza en la que quepan tubos de 50ml o botellas de 250ml
- Matraz de destilación, capacidad de 500ml
- Condensador de unos 76cm de largo
- pHmetro
- Conjunto de destilación: usar un aparato de destilación convencional. Para minimizar las fluctuaciones en la tasa de destilación, suministrar calor con un calor eléctrico de voltaje variable.
- Balón de 250ml
- Vaso de precipitado de 250ml
- Agua destilada
- Probeta
- Bureta
- Mezclador magnético o magneto
- Solución de HCl 0,1 N
- Solución de NaOH 0,1N

2. PROCEDIMIENTO:

- Colocar en la centrífuga 50 ml de muestra durante 3 - 5 min. Teniendo en cuenta colocar en cada tubo (preferiblemente de pasta pues los de vidrio se parten muy fácilmente) la misma cantidad de muestra para evitar descalibrar el equipo.
- Llevar a 100ml con agua destilada
- Titular con HCl 0,1N hasta un pH 3,00



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

- Montar el equipo de destilación
- Dejar la muestra en destilación hasta 3 minutos después del punto de ebullición
- Bajar la muestra y tapar con un vidrio reloj para evitar perder parte de la muestra. Dejar enfriar
- Titular con NaOH 0,1N hasta obtener un pH igual a 6,5

3. CALCULOS:

$$\text{MI equivalentes A.G.V's} = (V_B \times N_B \times 1000) / V_m * 1000$$

V_B : volumen de NaOH

N_B : Normalidad del NaOH

V_m : Volumen de la muestra.



2.4 METODO PARA EL CÁLCULO DE ALCALINIDAD

1. MATERIALES Y REACTIVOS:

- pH metro
- HCl 0,1 N
- Vaso de precipitado
- Magneto

2. PROCEDIMIENTO:

- Tomar 50ml de la muestra en un vaso de precipitado
- Titular con HCl 0,1 N hasta un pH de 5,75 anotar volumen
- Continuar la titulación hasta 4,00 y anotar volumen

3. CÁLCULOS:

Alcalinidad por los A.G.V's. = $(VI_A * N_{HCl} * 50000) / VI_{muestra}$

Alcalinidad por Bicarbonatos.= $(VI_B * N_{HCl} * 50000) / VI_{muestra}$

VI_A = volumen de titulación hasta pH 5,75.

VI_B = Volumen de titulación hasta pH 4,00.

$VI_{muestra}$ = Volumen de la muestra.



ANEXO C

TABLA 6. Caudales de Septiembre de 2009³⁶

Dato	Hora	Nivel(cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
1	10:09:46	67,62	607,13	0,98	27,77
2	10:11:23	55,15	450,12	0,2	27
3	10:12:29	37,49	262,64	IND	26,91
4	10:14:02	38,41	271,38	0,94	26,85
5	10:15:08	45,61	343,8	1,09	27
6	10:16:14	52,19	415,87	1,1	27,05
7	10:17:21	58,1	485,46	1,06	27
8	10:18:27	64,45	565,3	1,16	27,02
9	10:20:36	59,51	502,77	0,19	26,82
10	10:21:43	47,96	368,91	IND	26,85
11	10:22:49	35	239,5	IND	26,69
12	10:24:21	36,71	255,28	0,73	26,9
13	10:25:28	42,77	314,44	0,91	26,71
14	10:26:34	48,11	370,46	0,85	26,81
15	10:27:40	53,21	427,61	0,87	26,82
16	10:28:46	57,68	480,42	0,82	26,92
17	10:29:53	61,41	526,48	0,71	26,65
18	10:30:59	65,08	573,57	0,69	26,93
19	10:32:05	68,98	625,54	0,78	26,77
20	10:33:34	53,51	430,98	0,13	26,73
21	10:34:39	36,21	250,67	IND	26,8
22	10:36:10	39,08	277,82	1,02	26,2
23	10:37:16	45,94	347,25	1,1	26,76
24	10:38:22	51,53	408,4	0,95	26,55
25	10:39:28	56,46	465,71	0,88	26,74

³⁶ Fuente: Alonso Cárdenas. Administración de la PTAR UPB



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Dato	Hora	Nivel(cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
26	10:40:35	61,01	521,34	0,83	26,56
27	10:41:41	64,93	571,59	0,78	26,58
28	10:42:48	68,09	613,51	0,65	26,58
29	10:44:39	57,02	472,37	0,1	26,54
30	10:45:45	42,47	311,4	IND	26,77
31	10:47:47	34,99	239,4	0,55	26,58
32	10:48:53	39,56	282,49	0,65	26,59
33	10:50:00	43,57	322,53	0,61	26,59
34	10:51:06	46,95	358,05	0,54	26,69
35	10:52:12	49,98	391,06	0,5	26,69
36	10:53:19	54,01	436,82	0,65	26,71
37	10:54:25	57,97	483,91	0,72	26,72
38	10:55:31	61,44	526,77	0,65	26,76
39	10:56:37	64,76	569,35	0,64	26,81
40	10:57:44	68,27	615,91	0,69	26,63
41	10:59:27	52,91	424,12	0,11	26,62
42	11:00:33	31,45	207,89	IND	26,61
43	11:01:44	34,65	236,26	0,53	26,64
44	11:02:51	38,44	271,67	0,54	26,63
45	11:03:57	42,02	306,89	0,53	26,57
46	11:05:03	45,3	340,48	0,53	26,55
47	11:06:09	48,02	369,49	0,44	26,57
48	11:07:15	50,74	399,46	0,44	26,64
49	11:08:22	54,15	438,41	0,58	26,62
50	11:09:28	57,56	478,93	0,61	26,63



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Tabla 7. Caudales muestreo febrero 24³⁷

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
1	14:20:34	36,2	250,56	0,56	32,87
2	14:21:41	42,28	309,51	0,91	31,32
3	14:22:49	47,64	365,47	0,85	30,51
4	14:23:56	52,31	417,2	0,79	29,8
5	14:25:03	56,36	464,49	0,72	29,15
6	14:26:11	60,01	508,86	0,69	28,91
7	14:27:18	63,37	551,31	0,65	28,67
8	14:28:25	66,46	591,74	0,61	28,28
9	14:29:32	69,42	631,48	0,6	28,26
10	14:30:40	72,14	669,3	0,57	28,27
11	14:31:47	75,02	709,1	0,58	27,91
12	14:32:54	78,18	752,7	0,65	27,74
13	14:34:02	81,64	800,43	0,72	28,39
14	14:35:09	84,98	846,57	0,7	27,71
15	14:36:16	88,32	892,62	0,71	27,74
16	14:38:02	72,69	676,85	0,11	27,7
17	14:39:09	54,45	441,96	IND	27,67
18	14:40:17	32,26	214,96	IND	27,29
19	14:41:31	34,4	234,02	0,48	27,43
20	14:42:38	38,55	272,73	0,6	27,47
21	14:43:46	42,15	308,12	0,55	27,26
22	14:44:53	45	337,38	0,46	27,25
23	14:46:00	47,2	360,69	0,37	27,19
24	14:47:07	49,1	381,34	0,32	27,16
25	14:48:14	51,66	409,83	0,39	27,08
26	14:49:21	55,29	451,76	0,59	27,02

³⁷ Fuente: Alonso Cárdenas. Administración de la PTAR UPB



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
27	14:50:29	59,51	502,77	0,76	27,03
28	14:51:36	63,33	550,82	0,75	26,95
29	14:52:43	66,43	591,26	0,63	26,83
30	14:53:50	69,49	632,45	0,6	26,9
31	14:55:13	56,18	462,31	0,11	26,92
32	14:56:20	40,42	290,9	IND	26,69
33	14:58:08	34,71	236,84	0,51	26,34
34	14:59:14	39,98	286,65	0,74	26,68
35	15:00:21	44,99	337,24	0,76	26,59
36	15:01:28	49,69	387,76	0,76	26,57
37	15:02:35	54,31	440,31	0,77	26,46
38	15:03:42	58,89	495,08	0,85	26,51
39	15:04:49	63,34	551,01	0,85	26,53
40	15:05:56	67,06	599,68	0,77	26,57
41	15:08:02	52,38	418,09	0,12	26,65
42	15:09:09	30,4	198,88	IND	26,65
43	15:10:22	34,31	233,21	0,48	26,51
44	15:11:28	38,23	269,65	0,55	26,46
45	15:12:35	42,02	306,87	0,56	26,59
46	15:13:42	45,48	342,42	0,54	26,66
47	15:14:48	48,74	377,35	0,54	26,7
48	15:15:55	51,86	412,15	0,52	26,45
49	15:17:02	54,55	443,06	0,46	26,46
50	15:18:09	56,88	470,69	0,42	26,58
51	15:19:16	59,27	499,78	0,43	26,5
52	15:20:23	62,32	537,93	0,56	26,51



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Tabla 8: Caudales muestreo Junio 23³⁸

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
1	8:21:57	32,81	219,77	0,24	25,98
2	8:23:04	35,35	242,73	0,35	26,01
3	8:24:11	37,56	263,35	0,31	26,01
4	8:25:18	39,53	282,26	0,29	25,76
5	8:26:25	41,46	301,19	0,28	25,82
6	8:27:32	43,51	321,98	0,32	25,65
7	8:28:38	45,59	343,58	0,32	25,6
8	8:29:45	47,56	364,59	0,33	25,65
9	8:30:51	49,45	385,18	0,31	25,78
10	8:31:58	51,23	405,03	0,31	25,61
11	8:33:04	52,89	423,91	0,29	25,64
12	8:34:10	54,62	443,93	0,31	25,73
13	8:35:16	56,73	468,91	0,37	25,73
14	8:36:23	58,88	495,04	0,39	25,85
15	8:37:29	61,14	522,98	0,42	25,78
16	8:38:35	63,24	549,66	0,41	25,82
17	8:39:41	64,87	570,77	0,34	25,8
18	8:40:47	66,34	590,17	0,29	25,63
19	8:41:54	67,92	611,25	0,3	25,64
20	8:43:00	70,86	651,36	0,54	25,63
21	8:44:06	74,3	699,12	0,74	25,66
22	8:45:12	77,44	742,43	0,67	25,69
23	8:46:19	80,6	786,03	0,66	25,74
24	8:47:25	83,9	831,56	0,69	25,76
25	8:48:31	86,78	871,32	0,61	25,79
26	8:49:37	89,27	905,7	0,53	25,84

³⁸ Fuente: Alonso Cárdenas. Administración de la PTAR UPB



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
27	8:51:10	71,99	667,29	0,07	25,88
28	8:52:17	52,63	420,85	IND	25,93
29	8:54:29	32,25	214,87	0,26	25,72
30	8:55:36	35,09	240,33	0,37	25,72
31	8:56:43	38,23	269,68	0,44	25,79
32	8:57:50	41,4	300,59	0,46	25,78
33	8:58:57	44,71	334,37	0,51	25,73
34	9:00:03	47,83	367,45	0,51	25,73
35	9:01:10	50,58	397,66	0,47	25,63
36	9:02:18	52,92	424,26	0,41	25,66
37	9:03:26	54,9	447,22	0,36	25,72
38	9:04:33	56,63	467,7	0,32	25,72
39	9:05:40	58,11	485,63	0,26	25,74
40	9:06:47	59,54	503,11	0,25	25,74
41	9:07:54	61,1	522,53	0,28	25,72
42	9:09:01	62,87	545,01	0,33	25,63
43	9:10:09	64,72	568,78	0,35	25,72
44	9:11:16	66,46	591,72	0,35	25,56
45	9:12:23	68,22	615,17	0,35	25,56
46	9:13:30	69,9	638,07	0,35	25,57
47	9:14:38	71,65	662,5	0,37	25,57
48	9:15:45	73,36	686,2	0,36	25,57
49	9:16:52	75,11	710,35	0,37	25,57
50	9:18:00	77,06	737,28	0,41	25,64
51	9:19:07	78,89	762,41	0,39	25,58
52	9:20:14	80,61	786,28	0,36	25,66
53	9:21:22	82,58	813,37	0,4	25,73



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Tabla 9: Caudales muestreo 12 de agosto.³⁹

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal Lts/s	Temp Pozo (°C)
1.	11:00:05	57,88	482,81	IND	25,74
2.	11:01:12	38,11	268,55	IND	25,56
3.	11:02:43	34,84	237,99	0,53	25,77
4.	11:03:50	39,88	285,58	0,69	25,73
5.	11:04:57	44,32	330,3	0,7	25,72
6.	11:06:04	48,19	371,33	0,62	25,66
7.	11:07:11	51,85	412,01	0,62	25,73
8.	11:08:18	55,46	453,75	0,63	25,69
9.	11:09:25	58,88	494,97	0,62	25,53
10.	11:10:32	62,49	540,11	0,66	25,7
11.	11:11:39	65,9	584,34	0,68	25,56
12.	11:12:46	68,95	625,07	0,61	25,56
13.	11:13:53	72,09	668,7	0,64	25,57
14.	11:15:00	75,77	719,46	0,74	25,57
15.	11:16:07	79,67	773,22	0,82	25,65
16.	11:17:14	83	819,18	0,72	25,59
17.	11:18:21	86,03	861,06	0,63	25,59
18.	11:19:28	89,44	908,05	0,68	25,59
19.	11:20:49	74,34	699,66	0,13	25,76
20.	11:21:56	58,68	492,59	IND	25,59
21.	11:23:03	41,96	306,23	IND	25,78
22.	11:24:52	37,36	261,42	0,79	25,78
23.	11:25:59	44,3	330,11	1,04	25,68
24.	11:27:06	49,72	388,12	0,89	25,71
25.	11:28:13	54,53	442,85	0,84	25,7
26.	11:29:20	59,25	499,56	0,84	25,69
27.	11:30:28	63,51	553,21	0,82	25,66
28.	11:31:35	67,66	607,72	0,82	25,55

³⁹ Fuente: Alonso Cárdenas. Administración de la PTAR UPB



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal Lts/s)	Temp Pozo (°C)
29.	11:32:42	71,48	660,24	0,79	25,57
30.	11:33:49	74,95	708,05	0,74	25,6
31.	11:34:57	78,32	754,58	0,69	25,58
32.	11:36:04	82,64	814,28	0,87	25,58
33.	11:37:11	87,34	879,11	0,97	25,59
34.	11:39:03	74,82	706,27	0,16	25,61
35.	11:40:10	59,87	507,15	IND	25,61
36.	11:41:18	43,26	319,45	IND	25,57
37.	11:43:10	36,68	255,01	0,76	25,49
38.	11:44:17	42,72	313,96	0,86	25,49
39.	11:45:24	48,99	380,09	0,97	25,49
40.	11:46:32	55,07	449,15	1,04	25,5
41.	11:47:39	60,31	512,63	0,97	25,51
42.	11:48:46	64,96	571,97	0,91	25,51
43.	11:49:53	69,95	638,71	0,95	25,65
44.	11:51:01	76,43	728,58	1,31	25,63
45.	11:52:08	82,91	817,91	1,35	25,62
46.	11:53:14	88,83	899,66	1,26	25,47
47.	11:54:40	75,28	712,64	0,2	25,49
48.	11:55:46	59,89	507,43	IND	25,5
49.	11:56:53	42,09	307,59	IND	25,49
50.	11:58:40	35,76	246,44	0,63	25,39
51.	11:59:47	40,95	296,12	0,75	25,47
52.	12:00:54	45,55	343,14	0,71	25,42



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Tabla 10: Caudales muestreo Agosto 20⁴⁰

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
1.	15:00:45	79,46	770,32	0,76	25,13
2.	15:01:52	82,79	816,29	0,71	25,24
3.	15:02:59	85,76	857,33	0,63	25,07
4.	15:04:06	88,61	896,65	0,59	25,12
5.	15:05:47	76,75	732,96	0,09	25,29
6.	15:06:53	63,84	557,45	IND	25,2
7.	15:07:59	49,91	390,29	IND	25,28
8.	15:09:06	34,28	232,92	IND	25,29
9.	15:10:33	34,21	232,28	0,45	25,3
10.	15:11:40	38,35	270,86	0,6	25,35
11.	15:12:46	42,42	310,92	0,61	25,35
12.	15:13:52	46,01	347,98	0,56	25,36
13.	15:14:58	49,22	382,66	0,53	25,43
14.	15:16:05	52,31	417,19	0,51	25,36
15.	15:17:12	55,38	452,91	0,53	25,36
16.	15:18:17	58,65	492,13	0,58	25,37
17.	15:19:24	62,12	535,39	0,65	25,37
18.	15:20:30	65,42	578,03	0,65	25,47
19.	15:21:37	68,68	621,5	0,64	25,44
20.	15:22:43	71,85	665,34	0,67	25,38
21.	15:23:50	74,75	705,31	0,6	25,37
22.	15:24:56	77,29	740,34	0,54	25,38
23.	15:26:02	79,79	774,87	0,5	25,36
24.	15:27:09	82,85	817,17	0,61	25,34
25.	15:28:15	86,34	865,32	0,73	25,34
26.	15:29:21	89,74	912,2	0,72	25,34
27.	15:30:36	73,29	685,26	0,12	25,34

⁴⁰ Fuente: Alonso Cárdenas. Administración de la PTAR UPB



ARRANQUE DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTÓN NÚMERO DOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA.

Dato	Hora	Nivel (cm)	Volumen (Lts)	Caudal (Lts/s)	Temp Pozo (°C)
28.	15:31:43	56,29	463,62	IND	25,46
29.	15:32:51	37,4	261,82	IND	25,53
30.	15:34:22	38,31	270,43	0,97	25,51
31.	15:35:29	45,41	341,71	1,04	25,34
32.	15:36:36	51,08	403,35	0,9	25,35
33.	15:37:43	58,81	494,14	1,1	25,35
34.	15:38:50	63,52	553,28	0,91	25,52
35.	15:39:58	68,19	614,85	0,91	25,48
36.	15:41:05	72,61	675,8	0,92	25,48
37.	15:42:12	76,94	735,63	0,88	25,52
38.	15:43:19	81,65	800,56	0,98	25,53
39.	15:44:26	86,45	866,79	1,02	25,54
40.	15:46:34	78,33	754,73	0,14	25,52
41.	15:47:40	68,11	613,7	IND	25,34
42.	15:48:46	57,42	477,19	IND	25,58
43.	15:49:53	46,78	356,23	IND	25,57
44.	15:50:59	35,02	239,66	IND	25,59
45.	15:52:35	39,01	277,19	0,99	25,35
46.	15:53:41	46,53	353,52	1,19	25,36
47.	15:54:47	53,48	430,67	1,17	25,36
48.	15:55:54	58,95	495,83	1,01	25,36
49.	15:57:00	63,24	549,73	0,82	25,36
50.	15:58:07	66,77	595,83	0,7	25,37
51.	15:59:13	70,9	651,91	0,81	25,34
52.	16:00:19	75,5	715,73	0,98	25,36