

**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL PROCESO ANAEROBIO DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) CERVECERÍA DEL  
VALLE – BAVARIA**

**MARIO SEBASTIÁN MORÁN RUBIANO  
CÓDIGO: 2082361**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL PROCESO ANAEROBIO DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) CERVECERÍA DEL  
VALLE – BAVARIA.**

**MARIO SEBASTIÁN MORÁN RUBIANO  
CÓDIGO: 2082361**

**DIRECTORA:**

**Liliana Del Pilar Castro Molano  
Ingeniera Química Ph.D.**

**CALIFICADORES:**

**Humberto Escalante Hernández  
Ingeniero Químico Ph.D.**

**Debora Alcida Nabarlatz  
Ingeniera Química Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

*Primero a Dios por guiarme en cada paso que daba, por siempre estar ahí en los momentos difíciles y nunca desampararme a pesar de mis errores y falencias, siempre extendiste tu manto sobre mí, me llenaste de amor y sabiduría para sobrepasar cada obstáculo que se avecinaba en el camino, hoy me siento más fuerte y confiado porque hemos sabido sortear todos aquellos altibajos que se presentaron a lo largo de este viaje.*

*A mis Padres por brindarme todas las herramientas y facilidades, por medio de las cuales pude cumplir este sueño, con su ejemplo y amor siempre tuve la respuesta a todos los problemas que se cruzaron en mí caminar.*

*A mi hermano Álvaro por compartir conmigo en todo momento, por su amor, respaldo, apoyo y comprensión.*

*A mi hermana Luciana por llenar de luz y felicidad cada espacio de mi ser, por obligarme a ser una mejor persona.*

*A mis tías por su amor incondicional, por apoyarme en los momentos difíciles y ayudarme a encontrar solución a cada problema.*

*A mis abuelas por su cariño, por sus oraciones y su incondicionalidad.*

*A mi amigo Carlos por estar ahí a pesar de conocer mis defectos, por aceptarme como soy y apoyarme en mis decisiones.*

**Mario Sebastián Morán Rubiano**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Cervecería del Valle - Bavaria. Por permitirme desarrollar el proyecto de grado en la planta de tratamiento de aguas residuales.

A la ingeniera Adriana García por su colaboración, disponibilidad y compartir toda su experiencia conmigo.

A la profesora Liliana por abrirme las puertas, por guiarme, por la paciencia, por sus orientaciones, grandes enseñanzas y buena disposición durante la realización de este proyecto.

A los operarios de la planta don Héctor, don Andrés, don Luis, don Cristian y en especial a don Lumar Osorio por compartir su sabiduría, porque sin su ayuda no hubiese podido aprender y desarrollar todos los conocimientos adquiridos en la práctica, por brindarme un ambiente de trabajo agradable, por toda la alegría y consejos compartidos.

Al doctor Carlos Ángulo por su colaboración y disposición.

A Psycho y One to One por permitirme practicar el deporte que más me gusta.

A La Flota por abrirme las puertas de su equipo y hacerme sentir uno más de su familia.

## LISTA DE ABREVIATURAS

### Abreviatura

AGV	Ácidos Grasos Volátiles.
ALC	Alcalinidad.
AME	Actividad Metanogénica Específica.
B100	Tanque Receptor.
B101	Tanque Homogeneizador.
B102	Tanque Neutralizador.
D101	Reactor Anaerobio
D102	Reactor Aerobio
DA	Digestión Anaerobia.
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
SABMiller	South African Breweries - Miller.
SST	Sólidos Suspendidos Totales.
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles
ST	Sólidos Totales.
SV	Sólidos Volátiles.
RAFA	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	15
1. METODOLOGÍA .....	18
1.1 PRIMERA ETAPA: EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO ANAEROBIO.....	18
1.2 SEGUNDA ETAPA: CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS EFLUENTES PRODUCIDOS POR LAS ÁREAS DE LA CERVECERÍA DEL VALLE.....	19
2. DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA ANAEROBIO.....	20
2.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO ANAEROBIO .....	20
2.1.1 Operación de recepción .....	20
2.1.2 Operación de homogenización .....	22
2.1.3 Operación de neutralización .....	25
2.2 REACTOR ANAEROBIO O D101 .....	27
2.2.1 Digestión anaerobia de las aguas residuales de la cervecería: Aspectos bioquímicos.....	27
2.2.2 Digestión anaerobia de las aguas residuales de la cervecería: Aspectos microbiológicos .....	31
3. ANÁLISIS DE EQUIPOS Y PROBLEMAS .....	33
4. CONCLUSIONES .....	37
5. RECOMENDACIONES .....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXOS .....	41

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los problemas encontrados en cada uno de los equipos evaluados.....	33
Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de las diferentes áreas de la Cervecería del Valle.....	34

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama del proceso PTAR Cervecería del Valle A. Proceso anaerobio, B. Proceso aerobio.....	16
Figura 2.	Registro fotográfico vista superior rejilla tanque receptor .....	22
Figura 3.	Seguimiento y análisis del enjuague de la olla filtro.....	35
Figura 4.	Seguimiento y análisis del sobrenadante del tanque y cabeza y cola. ....	35
Figura 5.	Evidencia de tierra diatomácea en el proceso. ....	36
Figura 6.	Montaje actividad metanogénica.....	56

## LISTA DE GRÁFICOS

Grafica 1.	Variación del DQO y el pH en el tanque receptor B100.....	20
Gráfica 2.	Variación del pH y DQO.....	23
Gráfica 3.	Variación del pH y AGV/ALC. ....	24
Gráfica 4.	Variación del pH tanque neutralizador B102.....	26
Gráfica 5.	Variación del biogás y la DQO del reactor anaerobio D101.....	28
Gráfica 6.	Variación del pH y AGV/ALC. ....	30
Gráfica 7.	AME del lodo del reactor anaerobio D101 y muestra maltería tropical Cartagena. ....	32

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. DETERMINACIÓN DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	41
ANEXO B. DETERMINACIÓN ALCALINIDAD .....	46
ANEXO C. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES (EN AGUAY AGUA RESIDUAL) POR CONO IMHOFF .....	49
ANEXO D. DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES (AGV).....	51
ANEXO E. DETERMINACIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) .....	53
ANEXO F. ACTIVIDAD METANOGENICA ESPECÍFICA (AME) .....	55
ANEXO G. CARACTERIZACIÓN DEL TANQUE RECEPTOR (B100).....	58
ANEXO H. CARACTERIZACIÓN TANQUE HOMOGENIZADOR (B101).....	59
ANEXO I. CARACTERÍSTICAS TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN (B102).....	60
ANEXO J. CARACTERÍSTICAS DEL REACTOR ANAEROBIO (D101).....	61
ANEXO K. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ELABORACIÓN .....	62
ANEXO L. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ENVASE.....	62
ANEXO M. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE SERVICIOS.....	63
ANEXO N. CARACTERIZACIÓN PRODUCTO NO CONFORME (BAJAS) .....	64
ANEXO O. CARACTERIZACIÓN OTRAS DESCARGAS .....	65
ANEXO P. VARIACIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA A LA PLANTA .....	66
ANEXO Q. VARIACIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA AL TANQUE HOMOGENEIZADOR O B101 .....	67

## RESUMEN

### **TÍTULO:**

Evaluación del proceso anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Cervecería del Valle – Bavaria.

### **AUTOR:**

MARIO SEBASTIÁN MORÁN RUBIANO

### **PALABRAS CLAVES:**

Alcalinidad, ácidos grasos volátiles, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno.

### **DESCRIPCIÓN:**

Los vertimientos realizados por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Cervecería del Valle – Bavaria, deben cumplir con los decretos establecidos por el ministerio de medio ambiente, mediante los cuales se reglamenta el uso del agua y los residuos líquidos. Debido a esto se deben controlar distintos parámetros no solo con la finalidad de cumplir las normas ambientales, si no con el hecho de llevar a cabo el proceso en óptimas condiciones.

La PTAR de la Cervecería Bavaria está conformada por dos secciones, la primera corresponde al proceso anaerobio (incluye tanques donde se realizan procesos fisicoquímicos que llevan a cabo de forma aerobia) y la segunda al proceso biológico y fisicoquímico aerobio. Este trabajo centra su análisis en el proceso anaerobio, durante un periodo de 59 días se evaluó el estado del proceso anaerobio, monitoreando los parámetros que tienen mayor relevancia y los valores en los cuales se deben mantener para llevar a cabo el proceso en óptimas condiciones, estos parámetros son pH, AGV, SSV, SST, DBO, ALC, biogás, entre otros, también se realizó una caracterización fisicoquímica de los efluentes producidos por las áreas de la Cervecería del Valle, en la cual se identificaron específicamente de que procesos provienen las descargas que alteran y generan afectaciones significativas en la planta, evitando que se opere dentro de los rangos determinados para cada equipo y etapa, provocando disminuciones en la eficiencia del proceso.

Mediante este trabajo se pudo concluir que las descargas provenientes de las áreas de elaboración y envase son las que generan una mayor afectación sobre el proceso anaerobio llevado a cabo en la planta, dado que los efluentes producidos por estas alteran de forma significativa los parámetros mencionados anteriormente, por otro lado el estado actual del lodo en el reactor anaerobio no es el ideal, por lo cual no se alcanza la máxima remoción de la carga orgánica del agua residual. Por último cabe resaltar que las paradas de planta por aseos semanales que se realizan en el reactor, entorpecen, descompensan y alteran el óptimo funcionamiento del proceso, dado que imposibilitan que el reactor alcance y mantenga una operación eficiente a lo largo del tratamiento de los efluentes recibidos por la planta de tratamiento de aguas residuales.

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora Liliana Castro Ing. Química Ph.D.

## ABSTRACT

**TITLE:**

Evaluation of the anaerobic process wastewater treatment plant (WWTP) Brewery of Valle - Bavaria.

**AUTHOR:**

MARIO SEBASTIÁN MORÁN RUBIANO

**KEYWORDS:**

Alkalinity, volatile fatty acids, volatile suspended solids, total suspended solids, chemical oxygen demand.

**DESCRIPTION:**

Dumping made by the wastewater treatment plant (WWTP) Brewery of Valle - Bavaria, they must comply with the decrees established by the ministry of environment, whereby the use of water and liquid waste is regulated. Because of this, they must not only control different parameters in order to meet environmental standards, if not the fact of conducting the process under optimal conditions.

The WWTP Brewery Bavaria consists of two sections, the first is the anaerobic process (includes tanks which are carried out physicochemical processes carried out aerobically) and the second aerobic biological and physico-chemical process. This paper focuses its analysis on the anaerobic process for a period of 59 days the status of the anaerobic process was evaluated by monitoring the parameters that are most relevant and values which must be maintained to carry out the process under optimal conditions, these parameters are pH, VFA, SSV, TSS, BOD, ALC, biogas, among others, a physicochemical characterization of the effluents produced by the areas of the Brewery of Valle, where are specifically identified in this process was also carried out the analysis of discharges that alter and create significant effects on the plant, avoiding operating within the range specified for each stage, causing decreased on the efficiency of the process.

Through this work it was concluded that the discharges from the areas of processing and packaging are generating greater involvement on the anaerobic process carried out on the plant, since the effluents produced by these significantly alter the parameters mentioned above on the other hand the current state of the sludge in the anaerobic reactor is not ideal, so the maximum removal of the organic load of waste water is not reached. Finally it should be noted that plant shutdowns for weekly cleaning that take place in the reactor, hinder, decompensate and alter the optimum operation of the process, since it disables that the reactor reaches and maintains an efficient operation during the whole treatment of effluent received for the plant of treatment of wastes water.

Degree Work

Physicochemical Engineering Faculty. School of Chemical Engineering, Liliana Castro Director, Chemical Engineering Ph.D

## INTRODUCCIÓN

La Cervecería del Valle, inaugurada en 2008 en Yumbo, Valle del Cauca, es la planta más moderna de SABMiller en Latinoamérica, cuenta con 350 empleados directos. Esta industria produce bebidas alcohólicas (Cerveza y Cola & Pola) y bebidas no alcohólicas (Maltiz y Ponymalta).<sup>1</sup>

La planta cervecera tiene un área de 291631 [m<sup>2</sup>] donde se llevan a cabo labores administrativas, procesos de elaboración, envasado y distribución. Durante los procesos de producción de bebidas y descargas sanitarias, se generan aproximadamente 2200 [m<sup>3</sup>/día] de efluentes líquidos, con alto grado de contaminación (DQO de 3000 a 7000 [mg/L])<sup>2</sup>. Estas descargas deben ser tratadas antes de ser depositadas en el río Cauca, cumpliendo las normas ambientales vigentes establecidas por el ministerio del medio ambiente, mediante las cuales se reglamenta el uso del agua y los residuos líquidos. Por lo anterior, la empresa construyó una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la cual reduce las concentraciones de compuestos contaminantes, dando cumplimiento a la legislación ambiental.

### **Tratamiento de aguas residuales en la Cervecería del Valle**

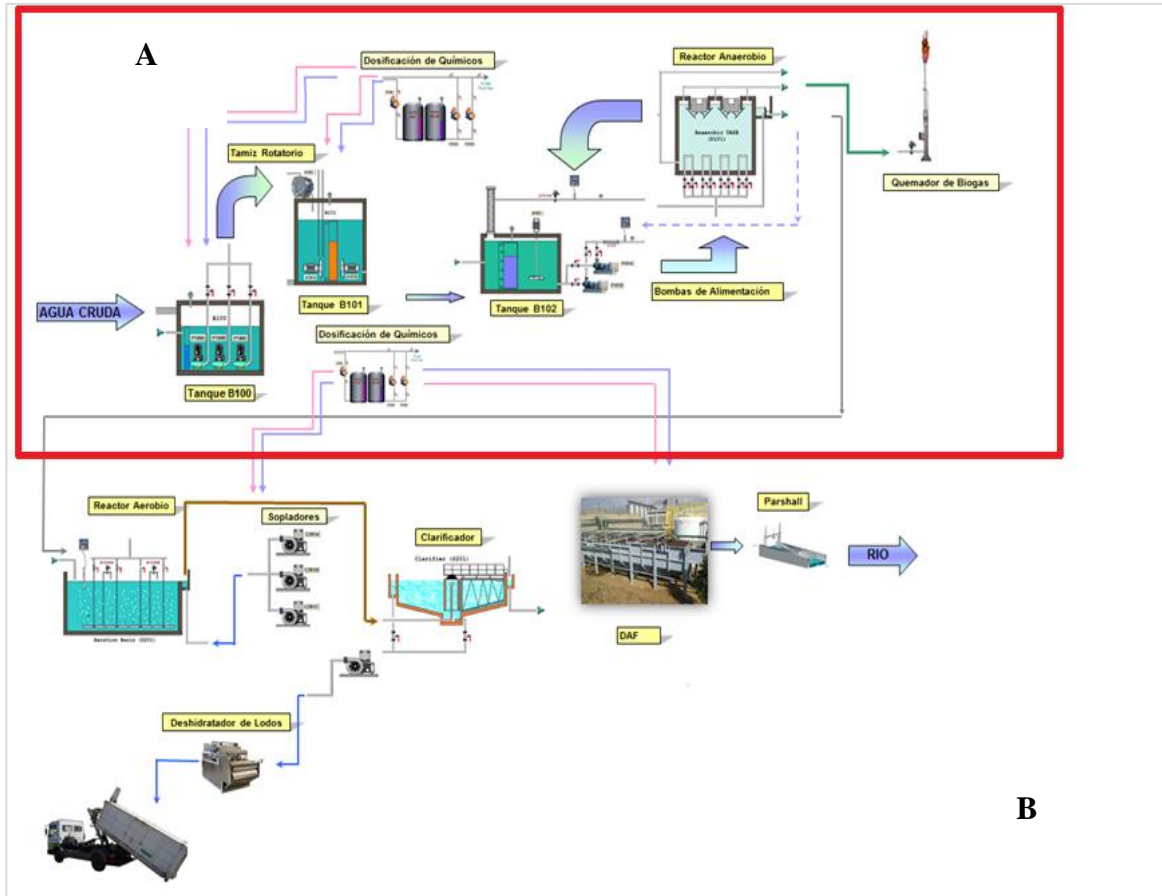
La PTAR de la Cervecería Bavaria está compuesta por dos secciones, la primera corresponde al proceso anaerobio (que incluye procesos fisicoquímicos que llevan a cabo de forma aerobia) y la segunda al proceso biológico y fisicoquímico aerobio (Figura 1).

---

<sup>1</sup> Cervecería Bavaria S.A. Acerca de nosotros [en línea]. <[http://www.bavaria.co/11-2/cerveceria\\_del\\_valle\\_an/](http://www.bavaria.co/11-2/cerveceria_del_valle_an/)> [8 de agosto del 2015].  
Control proceso diario PTAR F-15. Análisis de parámetros [base de datos]. [hoja diario, Microsoft Excel, 8 de agosto del 2015].

<sup>2</sup> PTAR. Manual de operaciones planta de tratamiento de aguas residuales de Cervecería del Valle Bavaria.

**Figura 1.** Diagrama del proceso PTAR Cervecería del Valle, **A.** Proceso anaerobio, **B.** Proceso aerobio.



Particularmente, el desarrollo de este trabajo, se enfocó en la evaluación del proceso anaerobio.

Las operaciones que se llevan a cabo en la sección anaerobia son las siguientes:

**RECEPCIÓN:** Proceso que se realiza en el tanque B100, el cual es el encargado de recibir todas las aguas residuales y descargas de la cervecería, cuenta con una criba que retira sólidos mayores a 50 [mm].

**TAMIZADO:** Esta operación se realiza en un tamiz rotatorio en el cual se extraen los sólidos con tamaño menor a 50 [mm].

**HOMOGENEIZACIÓN:** Este proceso se lleva a cabo en un tanque equalizador denominado B101, en el cual se homogeneiza el efluente y se permite la

fermentación parcial para convertir parte de la materia compleja orgánica presente en el agua residual a ácidos grasos volátiles (AGV).

**NEUTRALIZACIÓN:** Se realiza en el tanque B102 en el cual se estabiliza el pH a un intervalo 7.0 - 7.5, con adición de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico o solución de hidróxido de sodio según corresponda. Adicionalmente, hay una recirculación del efluente del reactor anaerobio UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, por sus siglas en inglés) o RAFA (Reactor anaerobio de flujo ascendente, por sus siglas en español).

**DIGESTIÓN ANAEROBIA:** Este proceso se lleva a cabo en el reactor RAFA D101, en este se lleva a cabo la fermentación acidogénica, la materia orgánica compleja, se convierte en gas metano y dióxido de carbono a través de una reacción en cadena a través de la participación de varios grupos diferentes de bacterias. En este reactor se recolecta biogás, el cual es dirigido al área de calderas para ser utilizado como combustible; cuando se presenta un exceso de biogás se quema a través de la TEA.

Actualmente, el funcionamiento de la sección anaerobia de la planta es deficiente debido a que las cargas orgánicas y caudales de los efluentes que se generan en los procesos de elaboración y envasado, son mayores a la capacidad de recepción de la planta y además no son separados previamente de las aguas residuales provenientes de otras áreas, ocasionando incrementos en el uso de químicos y por consiguiente inhibiciones en los procesos biológicos anaerobios.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo de grado (modalidad práctica empresarial) fue evaluar el proceso anaerobio que se lleva a cabo en la PTAR de la Cervecería del Valle, para analizar su estado actual, identificar las descargas que causan inestabilidades y disminuciones considerables en la eficiencia del proceso, generando recomendaciones y acciones correctivas mediante las cuales se pueda mejorar la remoción de carga y la generación de lodo en la PTAR.

## 1. METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en dos etapas: la primera consistió en una evaluación del estado actual del proceso anaerobio y durante la segunda etapa se realizó una caracterización fisicoquímica de los efluentes producidos por las diferentes áreas de la Cervecería del Valle y se identificaron los efluentes que disminuyen la eficiencia del proceso.

A continuación se hace una descripción de las etapas metodológicas:

### 1.1 PRIMERA ETAPA: EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO ANAEROBIO.

Durante un periodo de 59 días (a partir del 1<sup>ero</sup> de Marzo del 2014) se realizó una caracterización física y una evaluación analítica de los afluentes y efluentes del proceso de recepción, tamizado, homogeneización, neutralización y digestión anaerobia de la PTAR (Cervecería del Valle), teniendo como variables de operación caudal, temperatura y volumen. Las variaciones de los parámetros (demanda química de oxígeno) DQO, ácidos grasos volátiles (AGV), pH, alcalinidad y volumen de biogás (para el caso del reactor anaerobio), fueron tenidos en cuenta como variables de respuesta del proceso. Las mediciones se realizaron de acuerdo a los protocolos establecidos en el *Standard Methods*<sup>3</sup>. En los anexos A, B, C, D y E, se presentan los protocolos con los cuales fueron determinados los parámetros mencionados anteriormente.

---

<sup>3</sup> APHA - American Public Health Association. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 20th. Washington, USA.

## **1.2 SEGUNDA ETAPA: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS EFLUENTES PRODUCIDOS POR LAS ÁREAS DE LA CERVECERÍA DEL VALLE.**

Se llevó a cabo la caracterización físicoquímica de las aguas residuales (AR) provenientes de las áreas de mayor caudal (elaboración, envase y servicios), con el objeto de evaluar la influencia de la composición del efluente de cada área sobre las operaciones de recepción, tamizado, homogeneización, neutralización y digestión anaerobia que se lleva a cabo en la PTAR.

La caracterización físicoquímica de los efluentes provenientes de cada área consistió en la determinación de DQO, pH, SS (sólidos sedimentables) y SST (sólidos suspendidos totales).

Adicionalmente, en el reactor anaerobio se evaluó la actividad metanogénica específica (AME) del lodo anaerobio. En el anexo F, se presenta el protocolo de cálculo de AME.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las etapas 1 y 2, se identificaron los problemas operacionales de cada unidad evaluada.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA ANAEROBIA

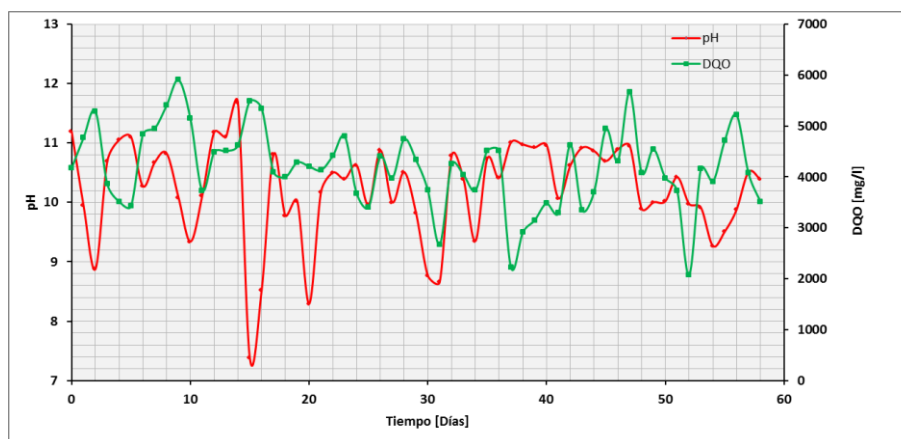
### 2.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO ANAEROBIO

#### 2.1.1 Operación de recepción

En la tabla 1, se presentan las características del tanque receptor (B100), donde se lleva a cabo la recepción de las descargas de la planta. El registro fotográfico evidencia el estado actual del tanque, anexo G.

La variación de DQO y pH durante el tiempo de monitoreo se presenta en la gráfica 1, se aprecia que el pH oscila entre 7.3 y 11.7, este amplio rango de variación se debe a que las descargas que llegan al tanque receptor no son controladas previamente. Por lo anterior, se debe inferir que cuando el pH es cercano a la neutralidad las descargas provienen de labores administrativas, servicios y distribución. En el caso de pH básicos se asume que el mayor flujo de agua residual proviene de la sección de envases, donde se realiza el lavado de botellas con solución de NaOH.

**Gráfica 1.** Variación del DQO y el pH en el Tanque receptor B100.



Con respecto a la variación de DQO, se observa que el día 6 ocurre un incremento del 72% en la carga orgánica; esto se explica dado que el proceso de elaboración hizo una descarga descontrolada de 1000 [L] de Ponymalta, la cual tiene un valor de DQO de 50802 [mg/L]. Esta descarga se realizó debido a que el producto no cumplió con las especificaciones de calidad para salir al mercado. En el mismo sentido el flujo de malta en el tanque receptor provocó un descenso en el pH de 11.1 a 10.27 debido a que la malta tiene un pH de 3.99.

En la gráfica 1, a partir del día 14 se aprecia una drástica caída de pH desde 11.68 hasta 7.39, dado que hubo una descarga de agua residual de la sección de envase la cual presentaba una concentración del 20% de NaOH, por lo cual se decidió realizar parada de planta y adicionar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), para neutralizar el pH, condición requerida para los procesos posteriores.

Durante la evaluación del tanque receptor, se resalta un incremento del DQO de 21% entre los días 34 y 35 de monitoreo. Esta variación ocurrió porque al tanque receptor llegaron incrustaciones provenientes del lavado de la olla filtro del proceso de elaboración.

Finalizando el monitoreo realizado, se aprecia que a partir del día 50 ocurre una disminución de pH de 10.43 hasta 9.27 el día 54. Este fenómeno se presenta porque se realizó limpieza con ácido muriático (ácido clorhídrico diluido al 28%) en la sección de servicios y las descargas de esta área fueron recibidas en el tanque de recepción (B100). Observar anexo O. Para mayor información sobre las descargas.

Por otra parte, durante la evaluación de la operación de recepción se observaron incrustaciones con un grosor aproximado de 10 cm en las rejillas y paredes del tanque, como se evidencia en el registro fotográfico figura 2. Estas incrustaciones se deben a que en la sección de elaboración se realiza la operación de filtración

usando tierra diatomácea como medio filtrante, este medio es arrastrado por las corrientes de agua residual llegando al tanque y causando problemas de disminución de capacidad de almacenamiento y aumento de sólidos.

**Figura 2.** Registro fotográfico vista superior rejilla tanque receptor



De acuerdo con la evaluación realizada a los afluentes y efluentes del tanque receptor, se puede deducir que las descargas al tanque receptor provenientes de las zonas de elaboración, envase y servicios, tienen gran afectación sobre las variables del proceso.

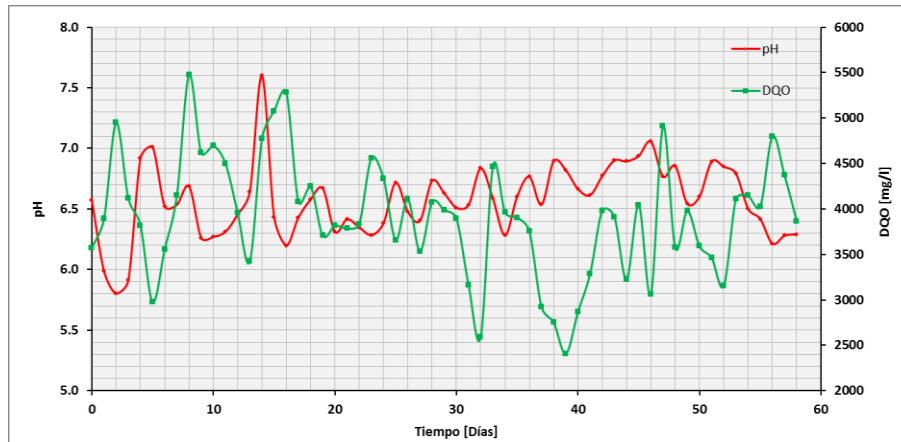
### **2.1.2 Operación de homogeneización**

En el anexo H, se muestra la caracterización del tanque homogeneizador denominado (B101). En este tanque ocurre una pre-acidificación parcial (fermentaciones acidogénicas) del agua residual, donde se neutralizan valores altos de pH. Fuera del rango establecido la bacteria de acidificación se morirá, lo cual generaría consecuencias catastróficas en el reactor de metano D101.

La variación de DQO y pH durante el tiempo de monitoreo se presenta en la gráfica 2, se aprecia que el pH oscila entre 5.8 y 7.6, este rango de variación se debe a que las descargas provenientes del tanque receptor B100 varían con facilidad, debido a la imposibilidad de controlar los efluentes provenientes de las

diferentes áreas de la cervecería. Como consecuencia de lo anterior, el tanque opera a un pH fuera del rango requerido para los procesos biológicos, el cual está fijado entre 6.5 y 7.5<sup>4</sup>.

**Gráfica 2.** Variación del pH y DQO.



En la gráfica 2, a partir del día 9 se aprecia un drástico aumento del pH desde 6.26 hasta 7.60, dado que hubo una descarga no controlada de soda proveniente del dique de la sección de envase.

En cuanto a las variaciones de DQO se puede observar que el día 5, después de una disminución significativa del DQO, esta tiene un incremento del 84% en la carga orgánica; influenciada por la descarga de Ponymalta realizada el día posterior. Estos resultados se corroboran con los presentados en el tanque receptor.

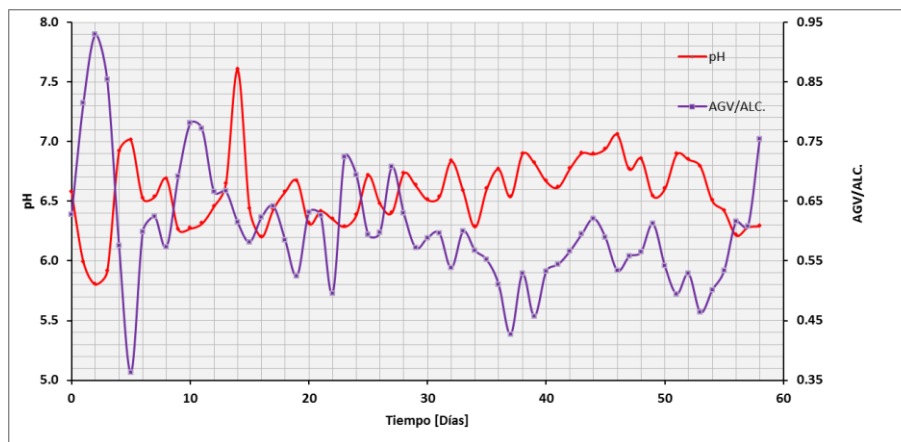
A partir del día 30 se aprecia una drástica caída del DQO, este se redujo hasta un 53% el día 33, debido a que disminuyó el caudal de entrada a causa de una parada de planta que tenía como finalidad estabilizar el proceso en la planta.

<sup>4</sup> Raposo F; Borja R; Martín M.A., Martín A., De La Rubia M.A., Rincón B., "Influence of inoculum-substrate ratio on the anaerobic digestion of sunflower oil cake in batch mode: Process stability and kinetic evaluation". Chemical Engineering Journal, 149, 2009, 70-77.

Durante el tratamiento del agua residual, la cervecería realiza procesos de limpieza en el reactor anaerobio, lo que implica acumular las descargas de agua en el tanque receptor. Este proceso de limpieza se llevó a cabo el día 44 de monitoreo y paralelamente se presentó una descarga de 3000 [L] de soda al 1.2 % proveniente de la zona de envase (línea PET). Observar el anexo Q. Para mayor información acerca de las descargas.

Debido a que en el tanque homogeneizador ocurre una fermentación parcial de la materia orgánica compleja, en la gráfica 3, se presenta la variación de la relación AGV/ALC y pH como variables de respuesta de este proceso.

**Gráfica 3.** Variación del pH y AGV/ALC.



En la gráfica 3, debido a una reducción considerable en los AGV, el día 6 se presenta una baja relación AGV/ALC, esto se debe a que se descargan 1000 [L] de Ponymalta el día anterior.

La alcalinidad alcanza un valor alto de 1983 mgCaCO<sub>3</sub>/L el día 19, debido a que la planta se encuentra en proceso de arranque y estabilización.

Se presentó una reducción del 28% en la relación de AGV/ ALC. a partir del día 33 hasta el 37, debido a disminuciones en el caudal de entrada (75 [m<sup>3</sup>/h]), además de una desincrustación de 150 [Kg] de la olla filtro en el área de elaboración.

La relación de AGV/ ALC. alcanza valores bajos 0.46, debido a que se obtienen valores de alcalinidad de hasta 2131 [mgCaCO<sub>3</sub>/L] el día 51 y 2076 [mgCaCO<sub>3</sub>/L] el día 53, esto influenciado por las incrustaciones (aproximadamente 180 [kg]) que son arrastradas del área de elaboración.

El pH desde el día 51 disminuye de 6.89 a 6.21 debido a que el día anterior se realizaron en elaboración tres aseos con ácido muriático al mismo tiempo.

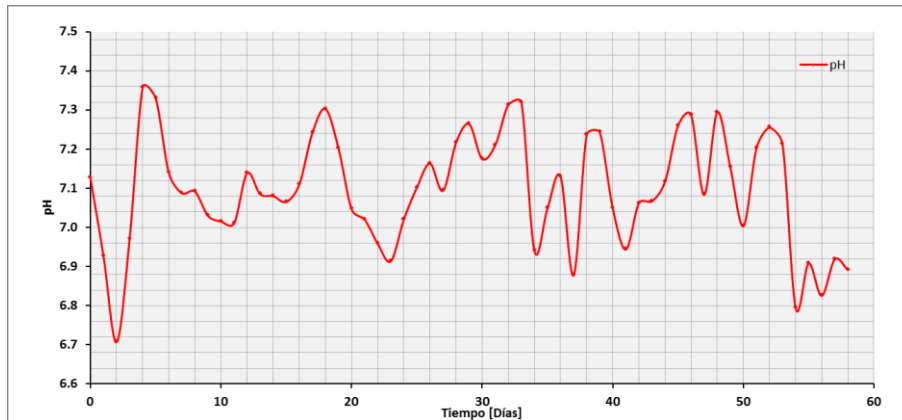
Se presenta un aumento del 63% en la relación de AGV/ ALC. entre los días 53 y 58, dado que la planta se presentó un aumento en los AGV del 35% y una disminución en la alcalinidad del 36%, como consecuencia de las perturbaciones del proceso ocasionadas los días anteriores.

### **2.1.3 Operación de neutralización**

En el anexo I, se muestran las características correspondientes al tanque neutralizador B102, donde ocurre la operación de neutralización en la cual, la recirculación del reactor anaerobio D101 se mezcla con un influente bajo en pH, reduciendo la adición de químicos para neutralizar pH ácidos.

Durante la operación de neutralización, el pH es un parámetro fundamental del proceso, dado que se requiere garantizar el pH adecuado para el posterior proceso biológico. En la gráfica 4, se presenta la variación de pH durante el tiempo de muestreo.

**Gráfica 4.** Variación del pH Tanque Neutralizador B102.



En la gráfica 4, a partir del día 20 se observa un pH por debajo de 7, lo que representa riesgo de acidez, dado que el rango de operación de este tanque debe ser de 7.0 a 7.5 para el posterior proceso biológico. Estos descensos de pH se produjeron por una descarga de 20 hectolitros de incrustaciones provenientes de elaboración.

Durante la evaluación del tanque neutralizador B102, cabe resaltar un aumento en el pH debido a una descarga no controlada de soda cáustica realizada por el área de envase el día 28; esto generó la necesidad de dosificar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) en el tanque B100, lo cual a su vez propicio una disminución en el pH del tanque B102, la cual se hizo notoria a partir del día 33, el pH descendió 7.3 a 6.9, esto se suma al hecho de que se puso en recirculación la planta el día 29 durante parte de la jornada.

Las desincrustaciones realizadas por el área de elaboración, más exactamente 150 [Kg] de la olla filtro (donde se separa el mosto del afrecho que genera la cascarilla de malta) y una descarga de un tanque de almacenamiento IBC que acumula Ponymalta de baja calidad, provocaron en los días 34 y 35 una

fluctuación de pH entre 6.8 y 7.2. Sin embargo, estas variaciones no son significativas y no afectan el proceso anaerobio.<sup>5</sup>

Dado que se recibieron desincrustación del área de elaboración el día 47, se adicione HCL y  $\text{HNO}_3$  (250 [Kg]), para neutralizar pH en el tanque B102, esto genero una disminución en el pH 7.3 a 7.0 el día 48. La adición de estos ácidos fue necesaria dado que la recirculación del efluente anaerobio en este tanque no fue suficiente para neutralizar dicha descarga.

Tres aseos realizados en elaboración con ácido muriático el día 50 generaron una notoria disminución del pH hasta alcanzar un valor de 6.8 el día 54.

## **2.2 REACTOR ANAEROBIO O D101**

En el anexo J, se describen las características del reactor donde se lleva a cabo la digestión anaerobia. Después de ascensión de la mezcla de agua residual/lodos a través de una cama extendida de lodo anaerobio activo (manto de lodos), ésta pasa por el separador de tres fases en la parte superior del reactor. El resultado es la separación de licor mezclado en agua clarificada, biogás y lodo.

### **2.2.1 Digestión anaerobia de las aguas residuales de la cervecería: Aspectos bioquímicos**

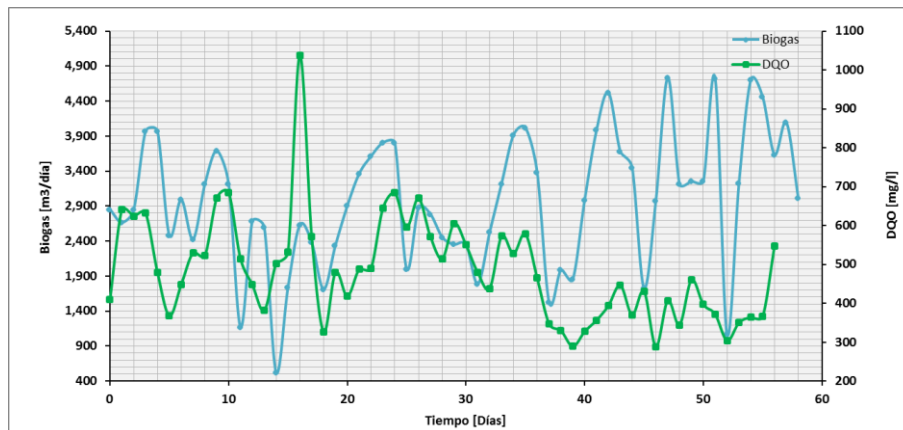
Durante la operación llevada a cabo en el reactor anaerobio (D101), la variación de la DQO y el biogás son parámetros de vital importancia en el desarrollo del proceso, ya que estos nos dan una idea clara de la variación en el porcentaje de remoción de la carga orgánica presente en el proceso. Este se registró en la gráfica 5.

---

<sup>5</sup> Kumar Khanal Samir. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Principles and Applications*. Editorial Blackwell Publishing, Estados Unidos, 2008, 29-63.

Durante el proceso anaerobio, la producción de biogás, es uno de los caminos estratégicos, elegido por la Cervecería del Valle mediante el cual se busca reducir de la emisión de gases tóxicos producidos por los combustibles, proteger el medio ambiente, aumentar la eficiencia energética de la planta y anticipar posibles desviaciones en los parámetros del proceso, dado que se requiere garantizar que las descargas de la planta cumplan con los parámetros exigidos por la ley. La producción de biogás depende de dos factores primordialmente, el primero es la carga orgánica (DQO) y el segundo es el flujo al cual se esté tratando, dado que los microorganismos utilizan el sustrato como fuente de nutrientes y energía, lo descomponen y el producto principal de dicha descomposición es metano y dióxido de carbono.<sup>6</sup>

**Gráfica 5.** Variación del biogás y la DQO del Reactor anaerobio D101.



En la gráfica 5, a partir del día 14 hasta el 17 se aprecia que el reactor D101 se encuentra en bypass, lo cual quiere decir que el tanque neutralizador B102 y el reactor anaerobio D101 se encuentran recirculando, se puede observar una disminución en la producción de biogás dado que al disminuir la carga orgánica

<sup>6</sup> Barrera, S. (1993). Fundamentos del tratamiento anaeróbico. En: Seminario sobre tecnología de tratamiento anaerobio de residuos orgánicos. Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.

que ingresa al reactor D101, se reduce la transformación de la misma a metano. Ya que el efluente producido en el tanque homogeneizador B101 pasa directamente al reactor aerobio D201, esto a causa de un drástico aumento del pH hasta 9.5 en el tanque homogeneizador B101, debido a unas descargas de soda provenientes del área de envase, lo cual generó un elevado DQO y una considerable disminución en la producción de biogás, como resultado del bypass.

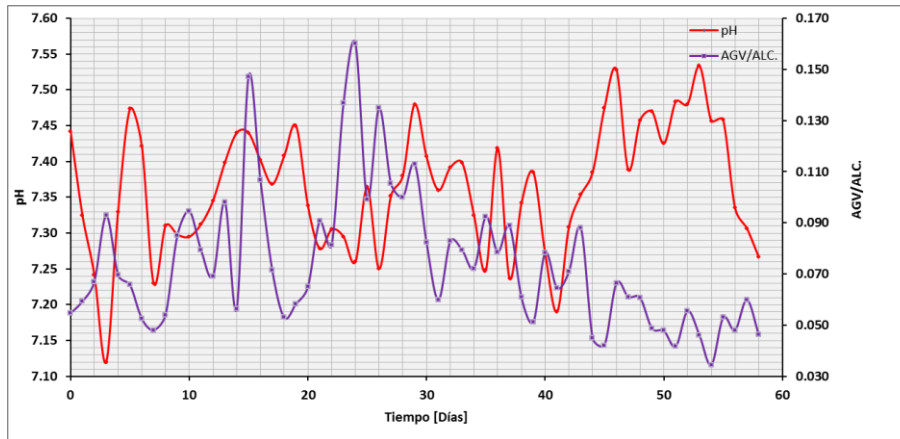
Se presenta una disminución en la producción de biogás del 77% el día 52, debido a que la planta se encuentra fuera de servicio por aseo en las lamelas del reactor D101, esto disminuyó considerablemente el flujo de entrada al reactor generando una baja producción de biogás, sumado al hecho de que el día 50 se realizaron 3 descargas de ácido muriático, provenientes del área de elaboración.

La estabilidad del proceso de digestión anaerobio se evaluó con la variación de la relación AGV/ALC (alcalinidad) y el pH (gráfica 6). La relación AGV/Alcalinidad debe estar sujeta a dos condiciones, la primera es que los AGV sean inferiores a 600 [mg/L] y la segunda, que la alcalinidad debe poseer un valor aprox. a 2000 [mg/L], cabe resaltar que una alcalinidad muy baja puede generar que el pH sea muy ácido generando problemas de disponibilidad de nutrientes y un nivel elevado puede originar grandes cantidades de sarro y lodo, lo cual puede llegar a generar obstrucciones en las tuberías, creando unas condiciones poco favorables para el desarrollo del proceso anaerobio en el reactor D101.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Díaz, M., Espitia, S. y Molina, F. (2002). Digestión anaerobia. Una aproximación a la tecnología. Universidad Nacional de Colombia.

**Gráfica 6.** Variación del pH y AGV/ALC.



En la gráfica 6, a partir del día 45 se observa un aumento significativo en el pH dado que el día el día 44 se generó una descarga de 3000L de soda al 1.2% proveniente del área de envase, lo cual dio como resultado un aumento significativo del pH ( $>7.5$ ), el día 48 se adiciono HCL y ácido nítrico para neutralizar pH en el tanque neutralizador B102 y de esta forma normalizar la operación del reactor, aunque el hecho de que el día 52 la planta esté en proceso de recirculación debido a limpiezas en el reactor genera demoras en la estabilización del pH. Lo anterior, corrobora los resultados obtenidos en la evaluación de las operaciones anteriores.

El día 16 los AGV presentaron valores mayores a 300 [mg/L] y la alcalinidad alcanzó un valor de 2513 [mg/L], lo cual genero una leve disminución en la producción de biogás, esto se debió a que el reactor se encontraba en recirculación, dado a unas descargas de soda generadas por el área de envase el día 13 (concentración  $> 20\%$ ), las cuales generaron un aumento significativo en el pH.

Durante el día 24 de monitoreo se presentó un aumento significativo en la relación AGV/ALC. Esto debido a que los valores de AGV estaban elevados alcanzando un

valor de 325 [mg/L] (valor promedio es de 149 [mg/L]), lo cual puede llegar a causar estrés microbiano, afectando el funcionamiento del reactor, debido a esto se baja caudal a 70 [ $m^3/h$ ], luego se para la planta y se encienden las bombas para vaciar el anaerobio.

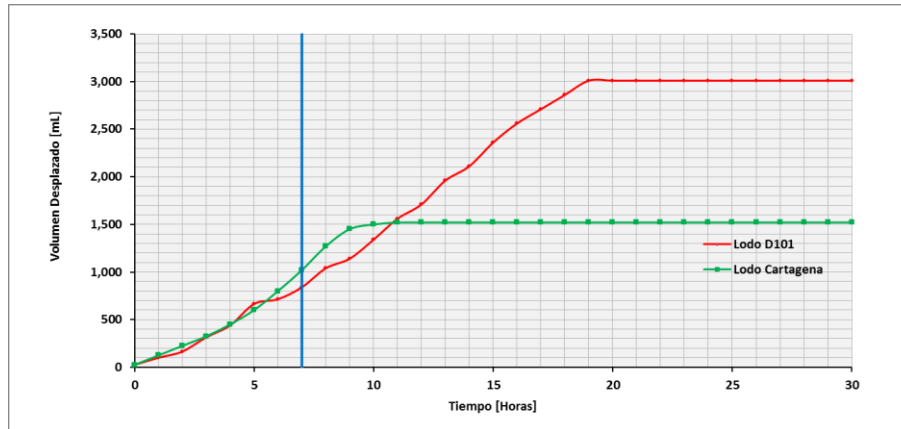
Del día 26 al 30 los AGV oscilaron entre 230 – 330 [mg/L] y la alcalinidad 2060 – 2441 [mg/L], lo cual genero una disminución en la producción de biogás hasta el día 32, esto debido a que se realizó una descarga no controlada de 180 [HL] de mosto proveniente del área de elaboración el día 25, por lo cual se vio la necesidad de colocar en recirculación al reactor anaerobio, dado que tanto los AGV como la alcalinidad aumentaron significativamente.

Se puede ver en la gráfica que del día 49 al 54 el valor de la alcalinidad fluctuó entre 2372 – 2623 [mg/L], esto generó un aumento significativo en el pH y disminución en la producción de biogás afectando el funcionamiento del reactor, esto sumado a los aseos realizados en las lamelas del reactor anaerobio y la recirculación del mismo los días 52, 53 y 56 afectaron el proceso.

### **2.2.2 Digestión anaerobia de las aguas residuales de la cervecería: Aspectos microbiológicos**

La capacidad del consorcio microbiano presente en el reactor anaerobio para producir metano fue evaluada mediante la actividad metanogénica específica. En la gráfica 7, se presenta una comparación entre el volumen desplazado por el lodo de la Cervecería del Valle con el lodo traído de la Maltería Tropical ubicada en Cartagena de Indias, luego de realizar el cálculo de la AME, se pudo cuantificar la máxima capacidad de producción de metano por el grupo de microorganismos presente en los lodos anaerobios, evaluando el comportamiento de la biomasa contaminada y determinando la carga orgánica máxima que puede aplicarse al sistema.

**Gráfica 7.** Volumen desplazado por el lodo del reactor anaerobio D101 y muestra Maltería Tropical Cartagena.



Se demostró que la Actividad Metanogénica Especifica (AME) en el reactor anaerobio D101 en comparación al lodo traído de la planta de Cartagena, es menos eficiente debido a que la AME del lodo reactor anaerobio de la Cervecería del Valle fue de 1.32 [gDQO-CH<sub>4</sub>/gSSV día], comparada con la AME de la planta de maltería tropical de Cartagena la cual fue 1.55 [gDQO-CH<sub>4</sub>/gSSV día], ya que para esta prueba se tienen en cuenta las 7 primeras horas, puesto que este es el tiempo aproximado de residencia y posterior a este, el lodo habrá circulado a través del reactor de forma ascensional como se puede observar en el anexo J, esto quiere decir que la capacidad de la biomasa microbiana para transformar la materia orgánica en metano por parte del lodo traído de la maltería tropical es mejor y esta se expresa como la masa de sustrato, en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) que es convertida a metano, por unidad de biomasa y por unidad de tiempo.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-63, method 2540 D.

### 3. ANÁLISIS DE EQUIPOS Y PROBLEMAS

Tabla 1. Descripción de los problemas encontrados en cada uno de los equipos evaluados.

Equipo	Problema	Descripción
Tanque Receptor o B100	pH	Se reciben las descargas de las diferentes áreas sin algún control previo, lo cual genera fluctuaciones, que no son posibles de prever y controlar, las descargas provenientes de elaboración suelen ser ácidas y las de envase alcalinas.
	DQO	Drásticas variaciones pueden llegar a afectar levemente la estabilidad de los procesos que son llevados a cabo posteriormente.
Tanque Ecuilizador o B101	pH	El pH se encuentra fuera del óptimo biológico pero en ocasiones se dosifica $\text{HNO}_3$ , $\text{HCl}$ , $\text{CO}_2$ y soda cáustica para mantener el pH dentro de los límites establecidos para la operación.
	AGV/ALC	La relación AGV/ALC. en ocasiones presenta valores bajos debido a descargas no controladas mayormente provenientes de elaboración y en un menor porcentaje envase.
Tanque Neutralizador o B102	pH	En ocasiones el pH presentado en el tanque B102 está por debajo de su límite inferior, siendo ácido a pesar que la recirculación del reactor llega al mismo tanque con la finalidad de estabilizar el pH, aunque en ocasiones se adiciona $\text{HCl}$ y $\text{HNO}_3$ , para compensar las descargas realizadas por envase las cuales en su mayoría son alcalinas.
Reactor Anaerobio o D101	Biogás	La producción de biogás, se ve afectada por la baja DQO y/o caudal de entrada al reactor. Las paradas semanales realizadas con el fin de hacer limpieza a las lamelas del reactor reducen significativamente la producción de biogás.
	DQO	La DQO se encuentra por dentro del rango óptimo de operación, solo cabe resaltar que cuando se realizan aseos esta disminuye significativamente reduciendo la eficiencia del proceso.
	AGV/ALC	Las descargas no controladas generadas por envase y elaboración, causan en múltiples ocasiones que los AGV y la alcalinidad registren valores altos, debido a esto y a los aseos realizados en el reactor (Bypass), se disminuye la producción de biogás.
	AGV/DQO	La relación AGV/DQO siempre está dentro de los rangos admisibles para la operación (<0.6), excepto en los casos en los cuales el reactor D101 se encuentra en bypass o se realizan descargas no controladas de elaboración.
	pH	El pH siempre se mantuvo entre 7.0 – 7.5 que es el óptimo, a excepción de cuando se realizan aseos en el reactor o cuando se realizan descargas no controladas de las áreas de elaboración y envase, lo cual lleva a abrir el bypass con el tanque neutralizador B102, con el fin de evitar una afectación directa en el proceso anaerobio de la planta.

En la tabla 2, se realizó la caracterización fisicoquímica de las áreas que tienen una mayor influencia sobre la planta de tratamiento de aguas residuales de la Cervecería del Valle, efectuando un análisis del caudal, DQO, pH, SST y SS, con el fin de lograr una visualización de los efectos que estos generan en el proceso.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de las diferentes áreas de la Cervecería del Valle

<b>Parámetro</b>	<b>Elaboración</b>	<b>Envase</b>	<b>Servicios</b>	<b>Bajas</b>	<b>Otros</b>
Caudal* [m <sup>3</sup> ]	1283.65	437.28	56.36	4.55	138.19
DQO* [mg/L]	2509.97	643.07	19.85	7149.93	-
pH*	7.84	11.52	6.25	4.21	8.22
SST* [mg/L]	18943.18	133.97	610.89	228.13	457.14
SS* [mL/L]	117	1	46.18	-	-







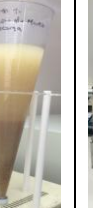

\*Revisar anexos K, L, M, N, O.

Por medio de la tabla 2, se puede inferir sin lugar a dudas que las áreas de elaboración y envase son las que generan una mayor carga al proceso, el resto de áreas pertenecientes a la Cervecería del Valle, no tienen gran afectación sobre el mismo, exceptuando los grandes aseos con ácido muriático los cuales pueden llegar a tener un gran impacto en la estabilidad del mismo.









Cabe resaltar que el hecho de no poder tener un control previo de las descargas provenientes de elaboración y envase genera múltiples dificultades a la hora de propiciar unas condiciones óptimas de operación como las establecidas en los anexos G, H, I y J, sumado al hecho de que en ocasiones elaboración y envase realizan descargas no controladas/no informadas al el equipo de trabajo de la planta, imposibilita que se lleve a cabo una operación bajo todos los parámetros establecidos en una óptima operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

A continuación se presenta el seguimiento y análisis realizado a dos descargas en particular del área de elaboración, las cuales de acuerdo a los resultados obtenidos son las de mayor influencia en las perturbaciones que ocurren en la PTAR.

**Figura 3.** Seguimiento y análisis del enjuague de la olla filtro.

	Enjuague olla filtro							Punto de recolección de muestra
Volumen:[HL]	30	30	30	30	30	30	30	
Ph:	5.77	5.56	5.76	5.8	5.87	5.29	5.46	
Temperatura [°C]	56.2	56.1	55.1	54.7	70.2	67.6	65.4	
DQO[mg/L]	14593.7	11438.6	12077.3	5535.1	6743.2	8543.8	3623.2	
SST:[mg/L]	1433	1633	2800	3166	3500	1380	10966	
SS:[mL/L]	52	65	66	98	120	48	250	
Fecha:	18/11/2014	19/11/2014	26/11/2014	27/11/2014	28/11/2014	05/12/2014	15/12/2014	
Muestra								

**Figura 4.** Seguimiento y análisis del sobrenadante del tanque y cabeza y cola.

	Sobrenadante tanque cabeza y cola							Punto de recolección de muestra
Volumen:[HL]	30	15	15	70	30	15	50	
Ph:	4.7	4.75	4.71	4.65	4.62	4.45	4.34	
Temperatura [°C]	15.6	16.3	14.2	13.8	13	10.6	15.1	
DQO[mg/L]	232992	94601	95109	90077	91335	99638	94102	
SST:[mg/L]	72633	18433.33	8320	10320	94366.7	9000	7866	
SS:[mL/L]	450	12	2	16	860	4.5	4	
Fecha:	29/10/2014	07/11/2014	08/11/2014	09/11/2014	10/11/2014	13/11/2014	18/11/2014	
Muestra								

Como se puede notar en las figuras 3 y 4, las dos descargas poseen un pH ácido, esto sumado a la elevada carga orgánica, (**olla filtro** DQO  $\approx$  8936 [mg/L], **tanque cabeza y cola** DQO  $\approx$  113979 [mg/L]) y agregando los elevados valores de los SST y SS, se generan factores de riesgo que involucran una elevada contaminación orgánica y toxicidad, lo cual puede llegar a crear dificultades en los diversos procesos biológicos realizados en la PTAR, imposibilitando la obtención de condiciones adecuadas para la formación del lodo en el reactor anaerobio D101.

Debido a la tierra diatomácea se presentan altas cantidades sólidos suspendidos no biodegradables en el agua residual (figura 5), estos se mezclan con el lodo biológico y evitan que las bacterias formen gránulos, generando la necesidad de comprar lodo para inocular el reactor anaerobio, evitando la venta de un lodo de buena calidad a otros procesos y compañías que lo puedan utilizar, ocasionando incrustaciones en los diversos equipos, provocando aseos y reduciendo la capacidad de almacenamiento de los mismos.

Las bacterias anaerobias tienden a “pegarse” una con otra en el reactor, formando el lodo anaeróbico. Los floculos del lodo tienen una velocidad de sedimentación y una densidad relativamente baja. Este lodo con más frecuencia tiene una estructura flocular, estas son entidades pequeñas, frágiles y sin estructura, que se suspenden en el agua o se pegan a la superficie de un soporte (reactores de filtro anaerobio). Como consecuencia, la tierra diatomácea no solo impide la formación de lodo flocular sino que además desgranula parte del lodo presente en el reactor.

**Figura 5. Evidencia de tierra diatomácea en el proceso.**



#### 4. CONCLUSIONES

Se evaluó el proceso anaerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales producidas por las diversas áreas de la Cervecería del Valle, donde se demostró que la falta de control en las descargas de cada área perjudica los procesos biológicos que se llevan a cabo en planta, disminuyendo la eficiencia en la remoción de carga orgánica en el agua residual tratada.

El análisis de los problemas presentados en los equipos de la planta demostró que el área de elaboración es la que tiene una mayor incidencia en los procesos biológicos debido a las descargas descontroladas y los productos de baja calidad que no pueden ser comercializados.

El arrastre de tierra diatomácea, impide la formación del lodo flocular y desgranula el lodo existente en el reactor anaerobio generando disminuciones en la actividad metanogénica del lodo anaerobio y por ende en la producción de biogás, además forma incrustaciones las cuales reducen la capacidad de almacenamiento en los equipos de la PTAR.

A pesar de todas las perturbaciones que se presentan, la planta de tratamiento de aguas residuales cumple con las normativas exigidas por la ley y las establecidas por la Cervecería del Valle - Bavaria, aunque cabe resaltar que si se controlan dichas anomalías la planta tendrá un funcionamiento mucho más eficiente, se evitarán eventuales descargas no deseadas al río Cauca y/o daños en los equipos y procesos llevados en la planta.

## 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda cambiar el sistema de filtración con el fin de evitar todos los efectos negativos generados por la tierra diatomácea y poder llevar a cabo el proceso en la PTAR con mayor eficiencia.

Además se sugiere instalar una caja medidora de DQO antes de que se reciban las descargas de estas áreas en el tanque receptor B100, esto con el fin de anticipar los efectos negativos de las descargas que no son informadas por las áreas de elaboración y envase, para que de esta forma se tomen las acciones correctivas del caso evitando que los parámetros del proceso se desvíen de su valores de operación.

Por último, se recomienda realizar el aseo de las lamelas en el reactor anaerobio D101, en continuo, ya que la parada de planta genera una desestabilización del proceso y dado que este aseo es semanal, evita que el reactor posea el tiempo necesario para alcanzar una estabilidad y poder desarrollar en óptimas condiciones todos los procesos requeridos para lograr un desempeño favorable a la hora de realizar la descontaminación de las aguas residuales captadas por la planta de tratamiento de la Cervecería del Valle.

## BIBLIOGRAFÍA

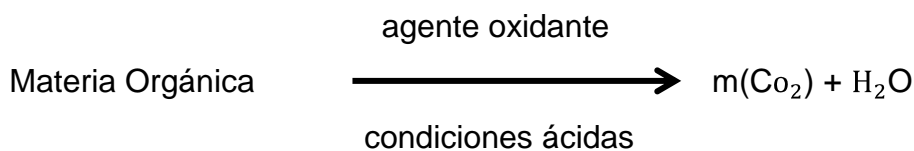
- APHA - American Public Health Association. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 20th. Washington, USA.
- APHA - American Water Work Association - WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2 - 63, method 2540 D.
- Barrera, S. (1993). Fundamentos del tratamiento anaeróbico. En: Seminario sobre tecnología de tratamiento anaerobio de residuos orgánicos. Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.
- Betz Handbook of industrial waste waters conditioning, 5 edition, 1957, p. 213-215
- *Cervecería Bavaria S.A. Acerca de nosotros [en línea].*  
<[http://www.bavaria.co/11-2/cerveceria\\_del\\_valle\\_an/](http://www.bavaria.co/11-2/cerveceria_del_valle_an/)> [8 de agosto del 2015].
- Degremont. Manual de operaciones planta de tratamiento de aguas residuales de Cervecería Águila Barranquilla.
- Díaz, M., Espitia, S. y Molina, F. (2002). Digestión anaerobia. Una aproximación a la tecnología. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblios, Bogotá, D.C.
- EPA (2007) Part III, 40 CFR, Part 122, 136. Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants Under the Clean Water Act: national Primary Drinking Water regulations; and National Secondary Drinking Water Regulations; Analysis and Sampling Procedures; Final Rule.

- Kumar Khanal Samir. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Principles and Applications*. Editorial Blackwell Publishing, Estados Unidos, 2008, pages 29-63.
- Pitwell, L.R., Standard COD. Chem. Brit. 19.907
- PTAR. Manual de operaciones planta de tratamiento de aguas residuales de Cervecería del Valle Bavaria.
- QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS Second edition copyright © 1968, 1958 por Harper & Row Publishers, Inc. 10 east 53 street, New York 1022. Página 934.
- Raposo F; Borja R; Martín M.A., Martín A., De La Rubia M.A., Rincón B., “Influence of inoculum-substrate ratio on the anaerobic digestion of sunflower oil cake in batch mode: Process stability and kinetic evaluation”. Chemical Engineering Journal, 149, 2009, pages 70-77.
- SAWYER, C.: MCCARTY, P. Chemistry for environment engineering. Third Edition. McGraw Hill, New York, 1996.
- Jairo Alberto Romero Rojas. Teoría y principio de diseño, editorial escuela Colombiana de ingeniería, Colombia, tercera edición febrero del 2004.
- Van Haandel, A. y Lettinga, G. (1994). Tratamiento anaerobio de esgotos. Editorial EPGRAF. Campina Grande, Brasil

## ANEXOS

### ANEXO A. DETERMINACIÓN DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Es una medida del oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible a la oxidación por un oxidante químico fuerte. La oxidación, bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transforma la materia orgánica en dióxido de carbono y agua como se muestra en la siguiente ecuación.



El método de reflujo con dicromato se prefiere sobre otros métodos que emplean el oxidante debido al gran poder de oxidación, la aplicabilidad a una amplia variedad de muestras y su fácil manipulación. La prueba es muy útil para fines de monitoreo y control específicamente después de correlacionarla con valores de  $\text{DBO}_5$  y carbono orgánico. Para muchos compuestos orgánicos la oxidación alcanza un 95 a 100% del valor teórico. La piridina y compuestos relacionados no son oxidados, los compuestos orgánicos volátiles son oxidados únicamente si se tiene contacto suficiente con los oxidantes. El amoníaco presente en el agua residual o el liberado del contenido de nitrógeno de la materia orgánica no se oxida si no hay una concentración significativa de iones cloruros libre.

Selección del método:

El método de reflujo abierto (Método A) es apropiado para un amplio rango de desechos cuando se trabaja con un tamaño grande de muestra. El método de reflujo cerrado (Método B) es más económico en el empleo de reactivos de sales

metálicas, pero requiere de la homogeneización de las muestras que contienen sólidos suspendidos, para obtener resultados reproducibles.

Para determinar valores de DQO > 50 [mg/L] se puede emplear el procedimiento del método A y B. Para medir con mayor precisión valores de DQO desde 5 a 50 [mg/L] se debe emplear el método A.

Procedimiento:

Tratamiento de muestras con DQO > 50 [mgO<sub>2</sub>/L].

Método B:

1. Tomar una muestra de 50 [mL] en un balón de reflujo de 500 [mL] (para muestras con DQO > 900 [mgO<sub>2</sub>/L] emplear una muestra más pequeña y diluir a 50 [mL]).
2. Acondicionar 1 [g] de HgSO<sub>4</sub> y varias perlas de vidrio, añadir muy lentamente 5 mL del reactivo de ácido sulfúrico agitando para disolver el HgSO<sub>4</sub>.
3. Enfriar mientras se realiza la mezcla para evitar una posible pérdida de materiales volátiles.
4. Adicionar 25 [mL] de la solución de dicromato de potasio 0.25 N y mezclar.
5. Unir el balón al condensador y abrir el agua de refrigeración.
6. Adicionar el reactivo de ácido sulfúrico remanente (70 [mL]) a través del extremo abierto del condensador.
7. Continuar mezclando (formando remolino), mientras adiciona el reactivo de ácido sulfúrico.  
Cuidado: Mezclar antes de agitar para evitar explosiones.
8. Colocar en el extremo abierto del condensador un vaso de precipitados pequeños para evitar que entre material extraño a la mezcla. Someter a reflujo durante 2 horas.

9. Enfriar a temperatura ambiente y lavar la parte inferior del condensador y diluir la mezcla aproximadamente dos veces su volumen con agua destilada.
10. Enfriar a temperatura ambiente y titular el exceso de dicromato de potasio con sulfato de amonio ferroso o FAS, empleando ferroina como indicador (use de 0,10 a 0,15 [mL]; 2 o 3 gotas.) Aunque la cantidad de indicador no es crítica se recomienda utilizar el mismo volumen en todas las titulaciones. Tomar como punto final el primer cambio agudo de color azul verdoso a café rojizo. El azul verdoso puede volver a aparecer. En igual forma someter a reflujo y titular un blanco que contenga los reactivos y un volumen de agua destilada igual al de la muestra.

Método A:

Tratamiento de muestras con  $DQO < 50$  [ $mgO_2/L$ ].

Seguir el mismo procedimiento anterior "Tratamiento de muestras con  $DQO > 50$  [ $mgO_2/L$ ]." con dos excepciones:

1. Utilizar dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$  0.025 N.
2. Titular con sulfato de amonio ferroso (FAS) 0.025 N

Extremar cuidado con este procedimiento porque incluso las trazas de materia orgánica en el material de vidrio o en la atmósfera pueden causar grandes errores. Si adicionalmente se requiere un aumento en la sensibilidad es necesario concentrar un gran volumen de muestra antes de hacer la digestión bajo reflujo como sigue:

1. Adicionar todos los reactivos a un volumen de muestra mayor de 150 [mL], reducir el volumen total a 50 [mL] mediante ebullición en el balón de reflujo

(abierto a la atmósfera), es decir base en la relación de peso 10:1 de  $\text{HgSO}_4$ , empleando el valor de cloruros presente en el volumen original de muestra.

2. Hacer un banco de reactivos a través del mismo procedimiento. Esta técnica tiene la ventaja de concretar la muestra sin pérdidas significativas del material volátil fácilmente oxidable. Materiales volátiles de difícil digestión se pierden pero se han ganado mejoras sobre los métodos de concentración por evaporación empleados normalmente.

Cálculos:

$$\text{DQO, mgO}_2/\text{L} = \frac{A-B \times M \times 8000}{\text{Vol mL de la muestra}}$$

Dónde:

A: mL de FAS empleados en el blanco.

B: mL de FAS empleados en la muestra.

M: Concentración normal de FAS.

8000: Factor que permite convertir [mL] a litros y el peso del oxígeno equivalente para oxidar la materia orgánica.

Referencias:

APHA - American Water Work Association - WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2 - 63, method 2540 D.

Teoría y principio de diseño, editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia 1999.



## ANEXO B. DETERMINACIÓN ALCALINIDAD

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. Esta se puede generar por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio siendo la causa más común los bicarbonatos de calcio y magnesio. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, en la remoción de amoníaco y en tratamientos anaerobios. Aguas residuales con alcalinidad cáustica reaccionan con el  $\text{CO}_2$  producido por la actividad microbial para generar bicarbonato y reducir el valor del pH.

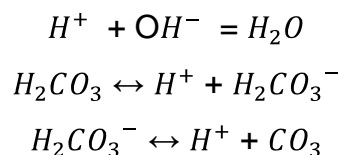
Principio:

Los iones hidroxilo presentes en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con adiciones de ácido estándar. Por tanto la alcalinidad depende del pH de punto final utilizado.

Se determina el contenido de alcalinidad de la muestra de agua por titulación con una solución estándar de ácido.

Los puntos finales están dados por valores de pH estándar.

Las reacciones involucradas en la titulación son:



#### Limitaciones e interferencias:

- La presencia de fosfatos y sílice orgánicos pueden afectar la titulación.
- La presencia de datos titulables por ácidos infieren directamente, dentro de los cuales se encuentran los sulfuros (S<sup>''</sup>), hidrosulfuro (HS<sup>'</sup>), cianuro (CN<sup>'</sup>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>). Todas estas se adicionarían a la concentración final de la alcalinidad medida.
- Los jabones, las materias oleosas y sólidos en suspensión pueden recubrir el electrodo de vidrio y causar una respuesta retardada. Déjese un tiempo adicional entre las adiciones del reactivo para permitir que el electrodo recupere el equilibrio, o límpiese este en su caso, no se debe filtrar, diluir, concentrar o alterar la muestra.
- Si se varía la cantidad de muestra el valor de los cálculos se altera.

#### Procedimiento:

1. Tomar la muestra puntual.
2. Agregar 50 [mL] de muestra, con ayuda de una pipeta aforada de 50 [mL] a un Beaker de 100 [mL].
3. Ubicar la muestra en el pHmetro y encender el agitador magnético para garantizar la homogeneización de la muestra.
4. Introducir el bulbo del pHmetro.
5. Titular con ácido clorhídrico (HCL) 0.1N, hasta obtener un pH de 4.0.
6. Multiplicar el valor de HCL 0.1N gastado por 100 que es la constante para expresar la alcalinidad en mg/L
7. El resultado obtenido es el valor de la alcalinidad.

#### Nota:

- Estas muestras se utilizan para realizar la prueba de AGV (no desechar la muestra).

- Registrar los resultados cada vez que se realice el análisis.

Cálculos:

La alcalinidad se expresa en [ml de  $\text{CaCO}_3$ /L gastado].

Entonces:

$$[ ]_{HCL} * V_{HCL} = m. equiv. V_{HCL}$$

$$m. equiv._{HCL} * V_{HCL} = m. equiv._{CaCO_3} * V_{HCL}$$

$$m. equiv._{HCL} = m. equiv._{CaCO_3}$$

$$\text{Normalidad} * V_{HCL} = m. equiv._{HCL}$$

$$\text{Alcalinidad} = m. equiv._{CaCO_3} * \frac{PM}{CA} * \frac{1000}{CM}$$

Dónde:

[ ]: Concentración.

V: Volumen.

m.equiv.: mili equivalente

PM: Peso molecular.

CA: Carga aniónica.

CM: Cantidad de muestra.

Referencias:

DIAZ DE SANTOS. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales 1992.

DEGREMONT. Manual de operaciones planta de tratamiento de aguas residuales de Cervecería Águila Barranquilla.

## **ANEXO C. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES (EN AGUA Y AGUA RESIDUAL) POR CONO IMHOFF**

La acumulación de materia inorgánica y orgánica puede ocurrir en el agua usada en varios procesos de producción y conduce a una carga indeseable de sólidos suspendidos en el líquido.

La materia orgánica suspendida se presenta de la colección escasa de: grano gastado, mosto, lodo, levadura, fondos del tanque, pulpa, etiqueta, etc.

Los sólidos suspendidos en el agua, específicamente en áreas donde se utiliza tal cual o se reutiliza, pueden tener severos impactos negativos en el resultado analítico deseado. Además esto puede tener un impacto adverso en costo, la disposición y el tratamiento del agua.

Los sólidos en un líquido pueden permanecer suspendidos o sedimentados. El líquido se puede tratar para conservar los sólidos en la suspensión o dejarlos sedimentados para facilitar la remoción.

Procedimiento:

1. Se debe tomar una muestra representativa con la cual se puedan llenar un cono Imhoff hasta la marca de 1000 [mL].
2. Luego de llenar el cono Imhoff hasta la marca de los 1000 [mL], se deja reposar a temperatura ambiente por 1 Hora.
3. Luego de transcurrir 1 hora se lee y registra el volumen del lodo en [mL].

Nota:

- No se requiere ningún cálculo.

- Se deben tener los implementos necesarios a la de tomar las muestras (máscara, guantes, botas, gafas, casco, etc.), debido a que las mismas pueden ser perjudiciales para la salud.

Referencia:

Degremont. Manual de operaciones planta de tratamiento de aguas residuales de Cervecería Águila Barranquilla.

## **ANEXO D. DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES (AGV)**

Los ácidos grasos volátiles son compuestos formados por la acción de un grupo de bacterias fermentativas sobre compuestos de bajo peso molecular que han sido fragmentados por la acción de enzimas hidrolíticas. Los AGV son principalmente acético, propiónico, etílico y adicionalmente algunos productos reducidos como etanol, acetona, butírico en menor cantidad. La eficiencia del proceso anaerobio depende de la formación en su mayoría de AGV acéticos.

Procedimiento:

De la muestra utilizada para determinar la alcalinidad se determinan los AGV de la siguiente manera:

1. Llevar muestra de pH 4.0 a 3.5 con HCl 0.1N (no tener en cuenta el valor)
2. Encender la estufa.
3. Colocar la muestra en la estufa hasta ebullición.
4. Contabilizar tres minutos de continua ebullición con el cronómetro.
5. Llenar una cubeta con agua y colocar la muestra para enfriamiento durante 20 minutos aproximadamente.
6. Titular con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N hasta obtener un pH de 4.0 (el valor de la titulación no se tiene en cuenta)
7. Titular la muestra llevándola de pH 4.0 a 7.0 con NaOH 0.1 N.
8. Leer el valor de [mL] de NaOH 0.1 N gastado y multiplicar por 120 que es la constante empleada para expresar el resultado en [mg/L].
9. El resultado son los AGV en [mg/L].

Cálculos:

Los AGV se expresan por la cantidad de acetatos generados.

Entonces:

$$\begin{aligned} [ ]_{NaOH} * V_{NaOH} &= m. equiv._{NaOH} * V_{NaOH} \\ m. equiv._{NaOH} * V_{NaOH} &= m. equiv._{HAc} * V_{NaOH} \\ m. equiv._{NaOH} &= m. equiv._{HAc} \\ Normalidad * V_{NaOH} &= m. equiv._{NaOH} \\ Alcalinidad &= m. equiv._{NaOH} * \frac{PM}{CA} * \frac{1000}{CM} \end{aligned}$$

Dónde:

[ ]: Concentración.

V: Volumen.

m.equiv.: mili equivalente

PM: Peso molecular.

CA: Carga aniónica.

CM: Cantidad de muestra.

HAc: Ácido acético.

Referencia:

SAWYER, C.: MCCARTY, P. Chemistry for Environment Engineering. McGraw Hill, New York, 1996.

## ANEXO E. DETERMINACIÓN SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

La determinación de los sólidos suspendidos totales (SST) se basa en el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103 – 105 [°C]. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión

La diferencia entre los sólidos totales y los disueltos totales, puede emplearse como estimación de los sólidos suspendidos totales.

### Procedimiento:

1. Preparación del filtro de fibra de vidrio: Insertar el filtro circular en el aparato de filtración con el lado rugoso hacia arriba, aplicar vacío y lavar el filtro con tres porciones sucesivas de 20 [mL] de agua destilada; continuar la succión hasta remover todas las trazas de agua, y descartar el filtrado. Remover el filtro y transferirlo a un disco para pesaje, con el cuidado necesario para prevenir que el filtro seco se adhiera al disco; el material que se adhiera al disco debe agregarse al filtro para evitar errores. También se puede pesar el filtro seco junto con el disco tanto antes como después de la filtración; si se emplea un crisol Gooch, remover y pesar este junto con el filtro. Secar en una estufa a 103-105 [°C] por 1 [h] (si se van a determinar sólidos volátiles, secar a 550 [°C] por 15 [min] en un horno). Dejar enfriar en un desecador y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 [mg] de la pesada anterior, lo que sea menor. Guardar el filtro en un desecador hasta que se vaya a emplear.
2. Selección del filtro y tamaño de muestras: Tomar una alícuota de muestra que produzca entre 10 y 200 [mg] de residuo seco. Si se emplean más de 10

minutos para completar la filtración, aumentar el tamaño del filtro o disminuir el volumen de muestra; para muestras no homogéneas tales como agua residuales, usar un filtro grande que permita filtrar una muestra representativa.

3. Análisis de muestras. Ensamblar el filtro al aparato de filtración e iniciar la succión; humedecer el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada para fijarlo. Mientras se agita la muestra con un agitador magnético, tomar una alícuota con pipeta y transferirla al filtro. Lavar el residuo con tres porciones sucesivas de 10 [mL] de agua destilada, y se deja secar completamente entre lavados; continuar la succión por tres minutos después de completar la filtración. Las muestras con alto contenido de sólidos disueltos pueden requerir lavados adicionales. Remover cuidadosamente el filtro del aparato de filtración y transferirlo al disco de pesaje; si se usa un crisol Gooch, removerlo de su adaptador. Secar en una estufa a 103-105 [°C], mínimo durante 1 [h]; dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 [mg] del peso anterior, lo que sea menor. Las determinaciones por duplicado deben coincidir hasta en un 5% de su promedio.

### Cálculos

$$\frac{\text{mg de sólidos suspendidos totales}}{L} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volumen de Muestra,ml}}$$

Dónde: A = peso del filtro + residuo seco, [mg].

B = peso del filtro, [mg].

Referencia:

EPA (2007) Part III, 40 CFR, Part 122, 136 et al. Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants Under the Clean Water Act: national Primary Drinking Water regulations; and National Secondary Drinking Water Regulations; Analysis and Sampling Procedures; Final Rule.

## ANEXO F. ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA (AME)

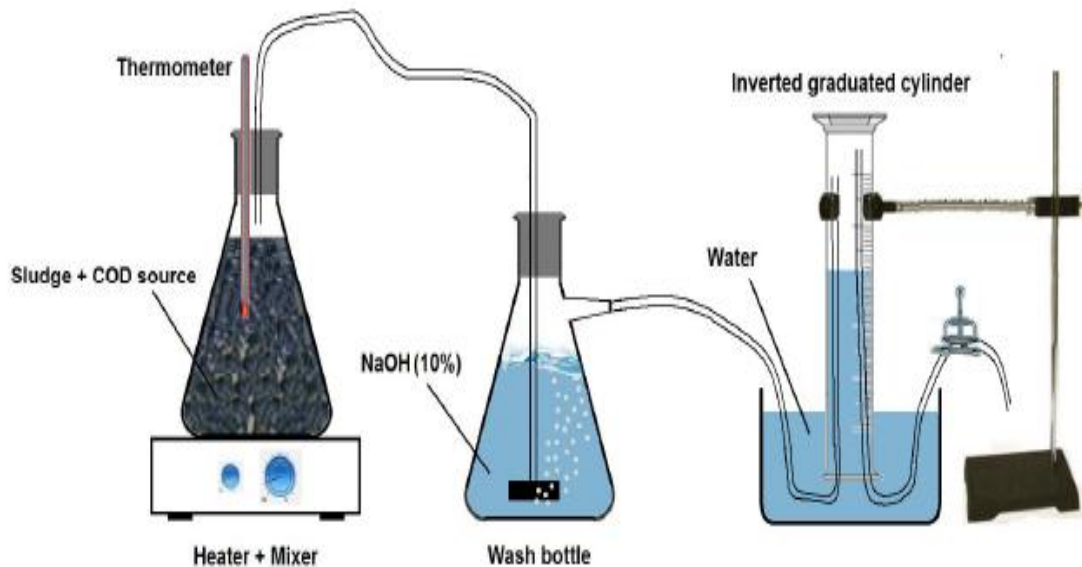
Esta nos permite cuantificar la máxima capacidad de producción de metano por el grupo de microorganismos presentes en lodos anaerobios. La AME, además de ser usada para el monitoreo de la calidad del lodo en reactores anaerobios, es una herramienta que evalúa el comportamiento de la biomasa contaminada y determina la carga orgánica máxima que puede aplicarse a un sistema, con el fin de examinar la degradabilidad de los sustratos y la posibilidad de selección de inóculos. Esta herramienta, ampliamente utilizada en diferentes países y desarrollada hace más de dos décadas, no cuenta con un protocolo estandarizado que facilite la comparación de resultados.

### **Procedimiento:**

1. Se toma 1 [mL] de lodo en 1000 [mL] de agua destilada antes de montar la actividad metanogénica para medir la DQO inicial.
2. Se realizan los sólidos suspendidos totales (SST) a una muestra del lodo.
3. Se purga válvula #1 del reactor anaerobio de la PTAR durante 1 minuto.
4. Se toma una muestra de 2 [L] aproximadamente.
5. Se mide el pH del agua.
6. Se baja el pH del agua con ácido clorhídrico puro hasta alcanzar un valor de 2.
7. Se agita el agua con el mezclador para garantizar la homogeneización.
8. Se debe realizar el montaje como muestra en las imágenes.
9. Se retira el sobrenadante de la muestra dejando solamente el sedimentable.
10. Se completan 500 [mL] de lodo concentrado.
11. Se diluye 1mL en 1000 [mL] de agua destilada para montar DQO.
12. Se diluye 1mL en 100 [mL] de agua destilada para montar DQO.
13. Se miden SST y SSV.
14. Se adicionan 500 [mL] de agua destilada a la muestra de lodo.
15. Se adiciona 4,69 [mL] de ácido acético glacial a la muestra de lodo.

16. Se agita la muestra.
17. Se agrega hidróxido de sodio 1,0N al lodo hasta alcanzar un pH de 7, se agita para garantizar homogeneización.
18. Se realiza el siguiente montaje:

**Figura 6.** Montaje actividad metanogénica



19. Se ubica el Erlenmeyer en la plancha.
20. Se llena el recipiente faltante con aproximadamente 500 [mL] de hidróxido de sodio al 10%.
21. Se debe revisar que la manguera proveniente del Erlenmeyer se encuentre sumergida en el hidróxido de sodio para que allí queden atrapados los carbonatos como se muestra en la figura 6.
22. Se llena la probeta invertida con el agua de pH 2 preparada anteriormente.
23. Se obstruye la manguera de la salida de la probeta para evitar que pase el agua hacia al recipiente donde se encuentra el hidróxido.
24. Se voltea la probeta como se muestra en la figura evitando que se derrame el líquido y se sumerge en el recipiente con agua de pH 2.

25. Luego de haber introducido la muestra de lodo en el Erlenmeyer se debe sellar el mismo para de esta forma garantizar un cierre hermético.
26. Se debe calentar la plancha a 40 [°C] y encender el agitador.
27. Se debe tomar el dato de volumen de gas generado cada hora hasta que no haya más desplazamiento de gas.
28. Se toma 1mL de lodo en 1000 [mL] de agua destilada después de desmontar la actividad metanogénica para medir la DQO final.

### Cálculos:

$$K(t) = \frac{P \cdot K}{R \cdot (273 + T)}$$

K(t)= factor de correlación [g DQO/L]

P= presión atmosférica [atm]

R=constante de los gases (0.082206 [atm\*L/mol\*°K])

K=carga orgánica digerida correspondiente a una mol de  $CH_4$  (64 [gDQO/mol]).

t=temperatura operacional del montaje [°C].

Volumen teórico de metano:

$$V_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(T)}$$

$V_{CH_4}$  = volumen teórico de metano producido en [L].

$DQO_{CH_4}$  = Carga de DQO removida y convertida en metano [gDQO].

$$AME \text{ (gDQO/g SSV*d)} = \frac{m \cdot 24}{V_{CH_4} \cdot M}$$

m = pendiente máxima en la curva de producción de metano (Vol. acumulado de  $CH_4$  vs tiempo)

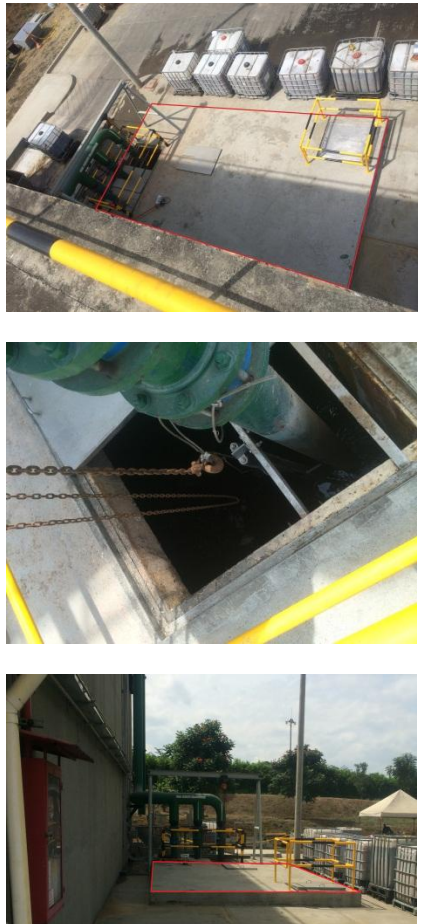
M = masa del lodo (volumen de lodo adicionado \*concentración inicial de lodo) [g].

Referencia:

Van Haandel, A. y Lettinga, G. (1994). Tratamiento anaerobio de esgotos. Brasil.

PTAR. Manual de operaciones planta de tratamiento de aguas residuales de Cervecería del Valle Bavaria.

### ANEXO G. CARACTERIZACIÓN DEL TANQUE RECEPTOR (B100).

Características del Tanque Receptor	Detalle	Registro fotográfico
Descripción:	Cárcamo de bombeo ubicado junto a la línea de desagüe al cual fluye el agua residual y remanentes de procesos por gravedad.	
Material:	Concreto.	
Dimensiones aprox.:	5 x 8 x 2.5 [m <sup>3</sup> ].	
Profundidad:	3.31 [m].	
Rejilla de canasta removible:	Remueve objetos muy gruesos > 50 [mm].	
Volumen Físico:	10 millones de [HL/año].	
Flujo de entrada:	≈ 80 [m <sup>3</sup> /h].	
Altura del tanque:	3 - 5 [m].	
pH:	11 - 6.	
pH para condiciones óptimas de Operación:	5.8 – 6.5.	
DQO diseño:	3000 - 7000 [mg/L].	
Temperatura:	≈ 35[°C].	

## ANEXO H. CARACTERIZACIÓN TANQUE HOMOGENEIZADOR (B101)

Características del Tanque Homogeneizador	Detalle	Registro fotográfico
Descripción	Un tanque ecualizador (tanque amortiguador mixto), el flujo de salida se controla en función del nivel en el tanque, para obtener un flujo constante o uniforme con variaciones muy lentas. El propósito es mantener en todo momento el rango de pH en el tanque homogeneizador para que las reacciones biológicas de acidificación puedan ser sostenidas.	
Material:	Concreto.	
Dimensiones aprox.:	31.5 x 15 x 6.5 [m <sup>3</sup> ].	
Capacidad aprox.:	2250 [m <sup>3</sup> ].	
Caudal:	≈80 [m <sup>3</sup> /h].	
Tiempo de residencia:	≈22,5 [h].	
pH:	4.5 - 8.5.	
pH óptimo:	5.8 - 6.5.	
Alcalinidad:	< 2000 [mgCaCO <sub>3</sub> /L].	
DQO:	< 5000 [mg/L].	
Temperatura:	≈ 35[°C] debe ser < 42[°C].	
SST:	< 1000 [mg/L].	
AGV:	< 3000 [mg/L].	
Tiempo de retención:	Mínimo de 8 [h].	

## ANEXO I. CARACTERÍSTICAS TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN (B102)

Características del Tanque Neutralizador	Descripción	Registro fotográfico
Descripción:	<p>Un tanque mezclador que actúa como tanque de degasificación del efluente anaerobio reciclado, después de mezclarse con un influente bajo en pH. Este efluente reciclado es saturado con CO<sub>2</sub> y rico en bicarbonatos. Al mezclarse con el agua residual ecualizada de ácido del influente, el CO<sub>2</sub> es expulsado de la mezcla del agua residual. Esta pérdida de acidez reduce el requisito de adición de alcalinidad (= consumo de sosa cáustica) del sistema de tratamiento anaerobio, especialmente cuando se trata de agua residual rica en carbohidratos y baja alcalinidad, como en este caso.</p>	
Material:	Concreto.	
Dimensiones aprox.:	6.9 x 4.0 x 2.5 [m <sup>3</sup> ].	
Capacidad aprox.:	48 [m <sup>3</sup> ].	
pH:	7.0 – 7.5.	
Nivel:	1.2 – 2.4 [m].	
Temperatura:	30 - 40 [°C].	

## ANEXO J. CARACTERÍSTICAS DEL REACTOR ANAEROBIO (D101)

Características del Reactor Anaerobio	Descripción	Registro fotográfico
Descripción:	El agua acondicionada (mezcla de influente con efluente recirculado) se bombea al reactor anaerobio ANUBIX™-B, equipado con un “separador de tres fases” especial en la parte superior del reactor.	
Material:	Concreto.	
Dimensiones aprox.:	30.3 x 19.4 x 6.5 [m <sup>3</sup> ].	
Capacidad aprox.:	1870 [m <sup>3</sup> ].	
pH óptimo:	6.5 - 7.5.	
pH óptimo biológico:	7.0 - 7.2.	
AGV:	80% menos que el AGV del tanque B101. Es decir: < 600 [mg/L].	
SS:	<20 [mL].	
Alcalinidad:	≈2000 [mg/L].	
DQO:	El reactor de metano fue diseñado para una razón de carga volumétrica de 875 [Kg DQO/día] para concentraciones de DQO a 3500 [mg/l]. El tiempo de retención correspondiente de agua residual en reactor de metano basado en cantidades activas de volumen es de ± 10 horas, a una carga de DQO de diseño de 9,800 [Kg/d]. Esto quiere decir que se busca una reducción del DQO > 80% con respecto al tanque B101, es decir una DQO <1000 [mg/L].	
Temperatura:	El óptimo está entre 37 - 38 [°C]. En el caso de esta planta el UASB reactor de metano fue diseñado para mantener una temperatura de 39 [°C] a carga completa.	

## ANEXO K. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ELABORACIÓN

Muestra Elaboración		Muestra Elaboración		Muestra Elaboración	
Caudal:[m3]	1084.66	Caudal:[m3]	1323.71	Caudal:[m3]	1442.58
DQO:[mg/L]	2818.36	DQO:[mg/L]	2067.44	DQO:[mg/L]	2644.11
pH:	7.44	pH:	7.85	pH:	8.23
SST:[mg/L]	19359.26	SST:[mg/L]	20933.73	SST:[mg/L]	16536.55
SS:[mL/L]	134	SS:[mL/L]	96	SS:[mL/L]	122

Se tomaron tres muestras compuestas de elaboración, con un mes de diferencia entre cada toma, se recolectaron 1000 [mL] por muestra, tomados de la caja receptora de elaboración, dado que las diferentes descargas realizadas por el área confluyen en este lugar antes de llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales, en estas muestras se analizó el caudal, DQO, pH, SST y SS, gracias a estos datos se pudo construir la tabla 3.


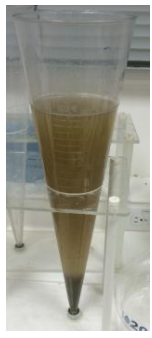
## ANEXO L. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ENVASE

Muestra Envase		Muestra Envase		Muestra Envase	
Caudal:[m3]	380.18	Caudal:[m3]	477.15	Caudal:[m3]	454.51
DQO:[mg/L]	648.31	DQO:[mg/L]	715.02	DQO:[mg/L]	565.88
pH:	11.74	pH:	11.12	pH:	11.7
SST:[mg/L]	183.55	SST:[mg/L]	18.49	SST:[mg/L]	199.87
SS:[mL/L]	2	SS:[mL/L]	0	SS:[mL/L]	1

Se tomaron tres muestras compuestas de envase, con un mes de diferencia entre cada toma, se recolectaron 1000 [mL] por muestra, tomados de la caja receptora

de envasen, dado que las diferentes descargas realizadas por el área confluyen en este lugar antes de llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales, en estas muestras se analizó el caudal, DQO, pH, SST y SS, gracias a estos datos se pudo construir la tabla 4.

### ANEXO M. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE SERVICIOS

Muestra Servicios			Muestra Servicios		
Caudal:[m3]	69.81		Caudal:[m3]	42.91	
DQO:[mg/L]	15.48		DQO:[mg/L]	24.22	
pH:	6.09		pH:	6.41	
SST:[mg/L]	588.65		SST:[mg/L]	633.13	
SS:[mL/L]	40		SS:[mL/L]	45	

Se tomaron dos muestras compuestas de servicios, con un mes de diferencia entre cada toma, se recolectaron 1000 [mL] por muestra, tomados de una tubería por la cual pasan todas las descargas del área antes de llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales, en estas muestras se analizó el caudal, DQO, pH, SST y SS, gracias a estos datos se pudo construir la tabla 5.

Nota: Solo se tomaron dos muestras dado que estas descargas no poseen un impacto significativo en los procesos fisicoquímicos llevados en la planta.

## ANEXO N. CARACTERIZACIÓN PRODUCTO NO CONFORME (BAJAS)


Muestra Elaboración			Muestra Elaboración		
Caudal:[m3]	4		Caudal:[m3]	5	
DQO:[mg/L]	50802		DQO:[mg/L]	77080	
pH:	3.99		pH:	4.21	
SST:[mg/L]	228		SST:[mg/L]	53	
SS:[mL/L]	0		SS:[mL/L]	0	

Se tomaron dos muestras la primera de Ponymalta y la segunda de Águila Light, en estas muestras se analizó el caudal, DQO, pH, SST y SS, gracias a estos datos se pudo construir la tabla 6.

Nota: Solo se tomaron dos muestras dado que las características fisicoquímicas de los productos desechados a la planta de aguas residuales se mantienen, gracias a los exigentes controles de calidad establecidos por Cervecería del Valle - Bavaria.

## ANEXO O. CARACTERIZACIÓN OTRAS DESCARGAS

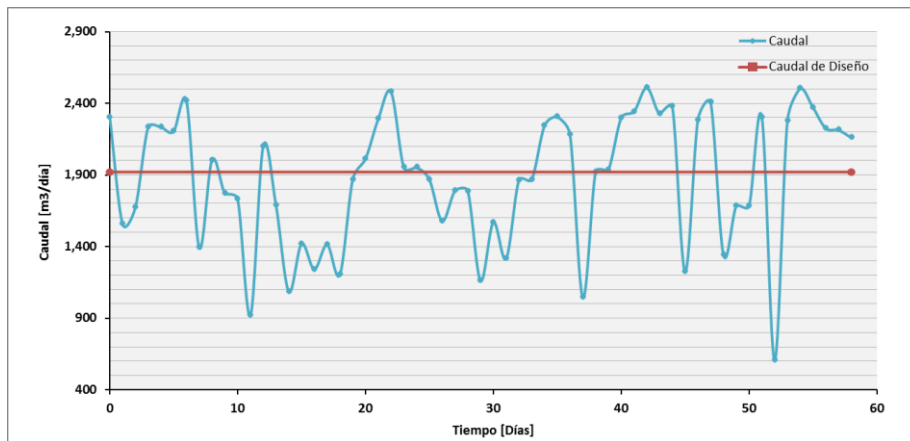
Otras Descargas	
Caudal:[m3]	138.19
DQO:[mg/L]	-
pH:	8.22
SST:[mg/L]	457.14
SS:[mL/L]	0



Se tomó una muestra compuesta de las descargas generadas por labores administrativas, distribución y algunos aseos. Se recolectaron 1000 [mL], tomados de una tubería por la cual pasan todas las descargas del área antes de llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales, en estas muestras se analizó el caudal, DQO, pH, SST y SS, gracias a estos datos se pudo construir la tabla 7.

Nota: Solo se tomó una muestra dado que esta descarga no poseen un impacto significativo en los procesos fisicoquímicos llevados en la planta.

## ANEXO P. VARIACIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA A LA PLANTA



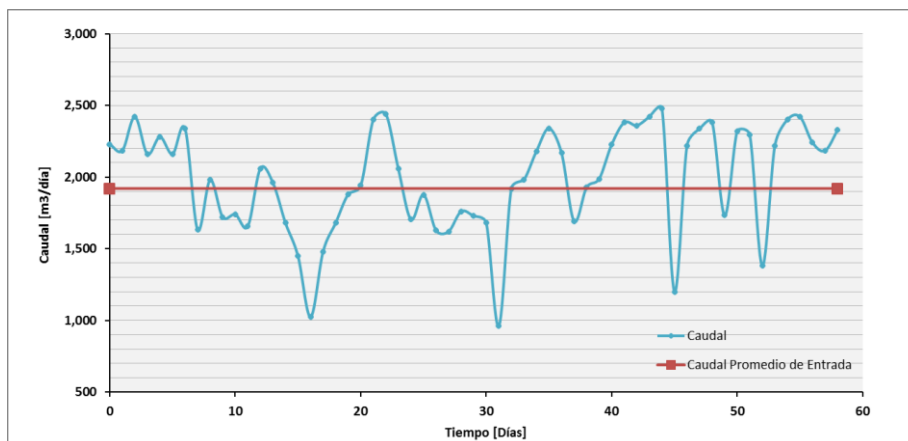
Se observa que el día 6 ocurre un incremento considerable en el caudal, esto debido a que el número de procesos activos fue mayor al usual y sumado al hecho de que se realizara una descarga de 1000 [L] (Ponymalta) de producto no conforme, ya que el mismo no cumplía con las especificaciones de calidad para salir al mercado. Esta descarga de Ponymalta no posee un volumen considerable pero las características ácidas y DQO elevado de la descarga generan cambios considerables en los procesos llevados a cabo en la PTAR.

El día 14 realizan descargas de soda provenientes de envase pero debido a que en a para de procesos en cocinas el caudal de ingreso al tanque Receptor o B100 es menor, pero se puede evidenciar la descarga de soda en la gráfica 1. En donde se evidencia el día 14 un drástico aumento en el pH hasta alcanzar un valor de 11.68.

El día 33 y 34 arribaron desincrustaciones de la olla filtro que generaron aumentos significativos en la DQO aunque su caudal no es mayor a 3 [m<sup>3</sup>], por ende se debe analizar la gráfica 1. En la cual se evidencia dicho aumento en la carga orgánica.

El día 50 se realizan tres aseos en el área de servicios con ácido muriático (ácido clorhídrico diluido al 28%) lo cual genera una disminución de pH en el tanque B100. Estos aseos no superan 1 [m<sup>3</sup>] por ende se debe analizar la gráfica 1. En la cual se evidencia la drástica disminución del pH.

## ANEXO Q. VARIACIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA AL TANQUE HOMOGENEIZADOR O B101



Debido a una descarga del dique de soda el día 9 y a un aumento en el DQO generado por la descarga de Ponymalta, se disminuye levemente el caudal de tratamiento con la finalidad de que el pH no aumente considerablemente por la descarga de soda y que la DQO no siga aumentando considerablemente. Estos incrementos se pueden observar en la gráfica 2.

A partir del día 30 se aprecia una disminución del caudal de entrada a causa de una parada de planta que tenía como finalidad estabilizar el proceso en la planta debido a esto se generó una drástica caída del DQO como se puede observar en la gráfica 2.

El día 43 se realizaron desincrustaciones provenientes del área de elaboración, esto sumado a una descarga de 3 [m<sup>3</sup>] de soda proveniente del área de envase el día 44, generó una reducción del caudal de entrada al tanque homogeneizador o B101, dado que estas descargas pueden provocar disminuciones en la DQO y aumentos del pH. En la gráfica 2. Se pueden observar dichas variaciones.