

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

**DESCRIPCIÓN DE MEJORAS REALIZADAS EN LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA LACTHOSA**

**POR:**

**VONDEL VANDEKER REYES ORTEGA**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**LICENCIADO EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA**



**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**DICIEMBRE, 2011**

**DESCRIPCIÓN DE MEJORAS REALIZADAS EN LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA LACTHOSA**

**POR:**

**VONDEL VANDEKER REYES ORTEGA**

**MILDRE ELEAZAR TURCIOS M. Sc.**

**Asesor Principal**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO  
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**LICENCIADO EN TECNOLOGÍA ALIMENTARIA**

**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**DICIEMBRE, 2011**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo y más que eso, la culminación de mi carrera, primeramente a Dios por darme siempre la perseverancia para continuar adelante a pesar de los obstáculos que se me han presentado en mi vida de estudiante.

A mi madre Alodia Ortega ya que gracias a su sacrificio, consejos y amor a lo largo de mi vida ha hecho de mi lo que soy y seré el resto de mis días, un hombre de bien, es ella la razón fundamental para que pudiera finalizar esta ardua tarea.

A Julia y Santiago ya que fueron ellos quienes me ofrecieron la oportunidad de continuar con mis estudios y el apoyo a lo largo de estos años durante mi estadía en esta Universidad.

A mis hermanos y tíos que siempre han estado a mi lado para brindarme sus consejos y su apoyo incondicional.

## AGRADECIMIENTO

Quisiera en primer lugar agradecer a Dios por darme vida, fuerza y la sabiduría para superarme cada día y también por permitirme culminar mis estudios con éxito.

A mi madre Alodia Ortega por ser mi ejemplo, por el sacrificio inmenso que ha hecho para sacarme adelante y por educarme, ese es el mejor regalo que ha podido darme para enfrentar la vida.

A Julia Ortega y Santiago Maradiaga por apoyarme estos años, sin ellos no hubiese podido dar este gran paso para convertirme en profesional.

A la Universidad Nacional de Agricultura por permitirme ser parte de su gran familia y de su historia, por haberme formado y preparado para enfrentar los retos que se pondrán frente a mí a lo largo de mi vida.

A M. Sc. Eleazar Turcios que además de ser mi asesor principal en este trabajo ha demostrado hacia mí una amistad sincera durante mi carrera estudiantil, ayudándome y aconsejándome siempre tanto en los buenos como en los más difíciles momentos.

Un agradecimiento especial a M. Sc. Benito Pereira, Lic. Yesenia Martínez, M. Sc. René Cáceres, M. Sc. Esmelyn Padilla, Ing. Belia Suazo por ayudar en mi formación en todos los aspectos y por demostrarme su amistad sincera y desinteresada.

A mis amigos de clase, a mis hermanos de la clase Zeus, a Dina por permanecer siempre a mi lado, a todos ellos infinitas gracias por compartir conmigo vivencias que jamás se borrarán de mi memoria. Por último quisiera agradecer al personal que labora en la planta cárnica, porque ellos nos transmitieron toda su experiencia y su apoyo en todo lo que involucra el procesamiento de carnes.

## CONTENIDO

|   | pág. |
|---|------|
| <b>ACTA DE SUSTENTACIÓN</b> .....   | i    |
| <b>DEDICATORIA</b> .....  | ii   |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....   | iii  |
| <b>CONTENIDO</b> .....  | iv   |
| <b>LISTA DE CUADROS</b> .....   | vi   |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....   | vii  |
| <b>LISTA DE ANEXOS</b> .....  | viii |
| <b>RESUMEN</b> .....  | ix   |
| <b>I INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1    |
| <b>II OBJETIVOS</b> .....   | 3    |
| 2.1 General.....  | 3    |
| 2.2 Específicos .....   | 3    |
| <b>III REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....   | 4    |
| 3.1 Aguas residuales en la industria láctea .....                                     | 4    |
| 3.2 Empresa de lácteos LACTHOSA.....  | 5    |
| 3.3 Regulaciones ambientales nacionales sobre la descarga de aguas residuales.....    | 6    |
| 3.4 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales .....      | 7    |
| 3.5 Procesos unitarios en el tratamiento de aguas residuales .....                    | 13   |
| 3.5.1 Tipos de tratamiento.....   | 13   |
| 3.5.2 Niveles de tratamiento.....   | 15   |
| 3.6 Biorreactores para el tratamiento de aguas residuales .....                       | 16   |
| 3.7 Sistema de flotación por aire disuelto (DAF) .....                                | 18   |
| 3.8 Ecuilibración de aguas residuales .....   | 19   |
| <b>IV MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....  | 20   |
| 4.1 Localización del trabajo .....  | 20   |
| 4.2 Materiales y equipo .....   | 20   |
| 4.3 Metodología .....   | 21   |
| 4.3.1 Cambios en el flujo de proceso del sistema de tratamiento de aguas residuales . | 21   |

|  |    |
|--|----|
| 4.3.2 Cambios internos en el DAF (Sistema de Flotación por Aire Disuelto) .....                                    | 21 |
| 4.3.3 Evaluación de la eficiencia del DAF .....  | 22 |
| 4.3.4 Evaluación de eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales .....                                | 22 |
| <b>V RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....  | 23 |
| 5.1 Descripción del funcionamiento de los equipos más importantes .....  | 23 |
| 5.1.1 Sistema de flotación por aire disuelto (DAF) .....   | 23 |
| 5.1.2 Tanque ecualizador .....   | 24 |
| 5.1.3 Sistema de biorreactores de alta velocidad .....   | 25 |
| 5.2 Cambios en el flujo de proceso de las aguas residuales .....   | 27 |
| 5.2.1 Funcionamiento del sistema antes de las modificaciones realizadas en el flujo de proceso .....               | 27 |
| 5.2.2 Problemas existentes antes de las modificaciones en el flujo de proceso .....                                | 28 |
| 5.3 Funcionamiento del sistema con el nuevo flujo de proceso.....  | 31 |
| 5.4 Cambios realizados en el tanque DAF.....   | 31 |
| 5.5 Prueba realizada con floculante catiónico Kemira C-1598 para encontrar la mejor dosificación hacia el DAF..... | 32 |
| 5.6 Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.....   | 34 |
| 5.7 Corrección del pH en tanque ecualizador utilizando únicamente soda ash (carbonato de sodio).....               | 36 |
| <b>VI CONCLUSIONES</b> .....   | 38 |
| <b>VII RECOMENDACIONES</b> .....   | 40 |
| <b>VIII BIBLIOGRAFÍA</b> .....   | 42 |
| <b>Anexos</b> .....  | 46 |

## LISTA DE CUADROS

|  | pág. |
|--|------|
| <b>Cuadro 1.</b> Clasificación de las aguas residuales generadas en una empresa láctea.....            | 5    |
| <b>Cuadro 2.</b> Comparación entre DBO, DQO y COT para caracterizar aguas residuales. ....             | 11   |
| <b>Cuadro 3.</b> Análisis de DQO realizado al agua de entrada y salida del DAF. ....                   | 33   |
| <b>Cuadro 4.</b> Comparación de DQO entre el agua de cruda y agua tratada. ....                        | 35   |
| <b>Cuadro 5.</b> Comportamiento del pH en el tanque ecualizador del 19 al 23 de julio de 2011<br>..... | 36   |

## LISTA DE FIGURAS

|  | pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1.</b> Esquema básico del tanque DAF. ....   | 24   |
| <b>Figura 2.</b> Esquema básico del tanque ecualizador. ....   | 25   |
| <b>Figura 3.</b> Medio plástico de polietileno existente en celdas 1 y 2 de biorreactores. ....                  | 26   |
| <b>Figura 4.</b> Medio plástico de placa corrugada existente en la celda 3 de biorreactores. ....                | 26   |
| <b>Figura 5.</b> Lamelas separadoras en la celda 4 de biorreactores. ....  | 27   |
| <b>Figura 6.</b> Esquema básico del nuevo flujo de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales. .... | 30   |
| <b>Figura 7.</b> Anterior unidad de flotación del DAF. ....  | 32   |
| <b>Figura 8.</b> Unidad de flotación actual del DAF. ....  | 32   |
| <b>Figura 9.</b> Comparación de DQO entre el agua de cruda y agua tratada. ....                                  | 35   |
| <b>Figura 10.</b> Comportamiento del pH en el tanque ecualizador del 19 al 23 de julio de 2011. ....             | 37   |



## LISTA DE ANEXOS

|  | pág. |
|--|------|
| <b>Anexo 1.</b> Esquema básico del flujo de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales antes de los cambios propuestos..... | 47   |
| <b>Anexo 2.</b> Análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) por el método colorimétrico HACH. ....                                   | 48   |
| <b>Anexo 3.</b> Normas de calidad en Honduras para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores.....                               | 49   |

**Reyes Ortega, V.V. 2011.** Descripción de mejoras realizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa LACTHOSA. Tesis Lic. Tecnología Alimentaria. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras. 50 p.

## RESUMEN

Este trabajo fue desarrollado en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales que funciona en la Planta Procesadora de Lácteos LACTHOSA, ubicada en el Barrio Bermejo, San Pedro Sula; con el propósito de implementar una serie de modificaciones en el flujo de proceso de la planta de tratamiento recomendadas por *Tom Wouda* de la organización PUM Netherland Senior Experts. Se buscaba con esto obtener aguas tratadas que cumplan con las Normas Técnicas de Descarga establecidas en nuestro país, ya que desde el 2004 cuando esta planta inició operaciones no ha logrado que sus efluentes cumplan con dichas normas. Las actividades que se desarrollaron consistieron en primer lugar, en la realización de un cambio en el flujo general del proceso, que radicó básicamente en la instalación del tanque ecualizador antes del tanque separador de grasas por medio de aire disuelto (DAF) ya que se encontraban en posición invertida en el flujo anterior, luego se realizaron una serie de cambios internos en la unidad de flotación del tanque separador de grasas (DAF), ya que no se lograba una disminución sustancial de la carga orgánica del agua a la salida de dicho equipo. Una vez realizados estos cambios se llevaron a cabo una serie de ensayos con el floculante catiónico Kemira C-1598 que utiliza la empresa, con el fin de encontrar la dosificación más adecuada de este hacia el DAF para fortalecer al proceso de separación de lodos por medio de aire disuelto. Con estas actividades se logró la utilización de un solo químico (soda ash) para la corrección del pH en el tanque ecualizador, al igual se logró que el floculante ayudara de manera significativa a reducir la carga orgánica a la salida del DAF lográndose en cierto momento un rendimiento de más del 60% en cuanto a la calidad de agua, además se logró que este floculante lograra funcionar como acondicionador de lodos en el proceso de secado de estos en el filtro prensa.

Palabras Clave: tanque ecualizador, DAF, floculante, calidad de agua residual.

## I INTRODUCCIÓN

La industria láctea genera gran cantidad de aguas residuales, concentrando en estas la mayor cantidad de contaminantes originados en sus procesos. Las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por poseer una gran cantidad de materia orgánica, especialmente grasas y aceites, además de sólidos suspendidos y valores de pH que se salen de los rangos aceptables para vertimiento (Arango y Garcés 2007). En cuanto al volumen de aguas residuales generado por una empresa láctea se pueden encontrar valores que oscilan entre 2 y 6 L/L leche procesada. Se ha estimado que el 90% de la DQO de las aguas residuales de una industria láctea es atribuible a componentes de la leche y sólo el 10% a suciedad ajena a la misma (CAR/PL 2002).

Debido a esto las industrias deben recurrir a estrategias para reducir tanto la cantidad como la carga de las aguas residuales en los distintos establecimientos para posteriormente darles un adecuado tratamiento y luego poder liberar dichas aguas a los cuerpos receptores una vez que estas cumplan con los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por las normas técnicas de descarga para cada región.

En ese sentido el siguiente trabajo presenta la experiencia del cambio en los procesos y/o técnicas del tratamiento y mejoras en el funcionamiento del sistema de aguas residuales de la empresa Lácteos de Honduras, S.A. de C.V. (LACTHOSA), ubicada en el barrio Bermejo, municipio de San Pedro Sula, en el Departamento de Cortés. Dicho trabajo se llevó a cabo en el período comprendido entre los meses de junio y octubre del presente año en las instalaciones de dicha planta.

El sistema de tratamiento que funciona en la empresa presentaba una serie de problemas en su funcionamiento, por lo que, se realizaron cambios en el flujo de proceso, los cuales eran necesarios para lograr un funcionamiento más equilibrado del mismo y que provocaron cierta mejoría en la calidad de las aguas tratadas. Aunque cabe destacar que estas aún no cumplen con las normas establecidas en nuestro país en cuanto a la descarga de aguas industriales a cuerpos receptores.

El haber desarrollado este trabajo, no solo cumple un requisito para obtener el grado de Licenciado en Tecnología en la Universidad Nacional de Agricultura, sino que es una experiencia que fortalece las capacidades de formación del egresado no solo el procesamiento de alimentos, sino todo lo que implica el proceso, que conlleva hasta un análisis de medio ambiente. Este detalle, hace que este trabajo pueda vincular la formación profesional de diferentes áreas académicas: Tecnología Alimentaria y Medio Ambiente.

## **II OBJETIVOS**

### **2.1 General**

- ✓ Describir y comprender las mejoras realizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa LACHTOSA con el fin de mejorar la eficiencia de dicho sistema.

### **2.2 Específicos**

- ✓ Comparar el flujo de proceso anterior con el flujo actual de la planta de tratamiento de aguas residuales para mostrar la mejoría tanto del sistema como de la calidad de las aguas tratadas.
- ✓ Detallar los cambios mecánicos realizados en la unidad de flotación del sistema de flotación por medio de aire disuelto (DAF).
- ✓ Mostrar la reducción en el uso de químicos para corregir el pH en el tanque equalizador y la funcionalidad de los polímeros en el proceso de flotación en el tanque DAF.

### **III REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1 Aguas residuales en la industria láctea**

Las aguas residuales son la emisión de mayor contaminación procedente de la industria láctea; se componen principalmente de sustancias orgánicas resultantes de la transformación de las materias primas y de los productos químicos que son empleados en los tratamientos higiénicos y sanitarios. Las cantidades de aguas residuales de una empresa láctea no son constantes a lo largo de una jornada de producción, sino que varían, generando sobrecargas en las plantas de tratamiento, lo que también depende de la concentración de los contaminantes (Arango y Garcés s.f.). En el Cuadro 1 se muestra la clasificación de las aguas residuales en una empresa láctea y el volumen aproximado que se produce de estas aguas por cada litro de leche procesada.

En la composición de la leche además de agua se encuentran grasas, proteínas (tanto en solución como en suspensión), azúcares y sales minerales. Los productos lácteos además de los componentes de la leche pueden contener azúcar, sal, colorantes, estabilizantes, etc., dependiendo de la naturaleza y tipo de producto y de la tecnología de producción empleada, estos componentes aparecen en las aguas residuales, bien por disolución o por arrastre de los mismos con las aguas de limpieza (CAR/PL 2002).

Los efluentes líquidos de una industria láctea según el CAR/PL, presentan las siguientes características: a) Alto contenido en materia orgánica, debido a la presencia de componentes de la leche. La DQO media de las aguas residuales de una industria láctea se encuentra entre 1.000-6.000 mg DBO/L; b) Presencia de aceites y grasas, debido a la grasa de la leche y otros productos lácteos, como en las aguas de lavado de la mazada.

- c) Niveles elevados de nitrógeno y fósforo, principalmente debido a los productos de limpieza y desinfección; d) Variaciones importantes del pH, vertidos de soluciones ácidas y básicas. Principalmente procedentes de las operaciones de limpieza, pudiendo variar entre valores de pH 2.0-11.0; e) Conductividad elevada (especialmente en las empresas productoras de queso debido al vertido de cloruro sódico procedente del salado del queso); f) Variaciones de temperatura (considerando las aguas de refrigeración).

**Cuadro 1.** Clasificación de las aguas residuales generadas en una empresa láctea.

| Origen             | Descripción  | Características  | Volumen*  |
|--------------------|--|--|-----------|
| Limpieza y proceso | Limpieza de superficies, tuberías, tanques, equipos. Perdidas de producto, lactosuero, salmuera, fermentos, etc. | pH extremos, alto contenido orgánico (DBO y DQO), aceites y grasas, sólidos en suspensión. | 0.8 - 1.5 |
| Refrigeración      | Agua de las torres de refrigeración, condensados, etc.   | Variaciones de temperatura, conductividad  | 2 - 4     |

\*Volumen expresado en L de aguas residuales/L de leche procesada

Fuente: E. Spreer, 1991, citado por Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, ES. 2002

Las pérdidas de leche en una empresa láctea pueden llegar a ser del 0.5-2.5% de la cantidad de leche recibida o en los casos más desfavorables hasta del 3-4% (UNEP 2000), son una contribución importante a la carga contaminante del efluente final. Un litro de leche entera equivale aproximadamente a una DBO<sub>5</sub> de 110.000 mgO<sub>2</sub>/L y una DQO de 210.000 mgO<sub>2</sub>/L (CAR/PL 2002).

### 3.2 Empresa de lácteos LACTHOSA

LACTHOSA fue creada en las cercanías de San Pedro Sula, el 17 de Enero de 1950 a través de un convenio firmado entre el Gobierno de Honduras y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). En un principio el objetivo fue establecer una planta deshidratadora, productora de leche. En el año de 1992 el Gobierno en turno decidió vender la planta a una empresa privada, convirtiéndose en Lácteos de Honduras, S.A de C.V. LACTHOSA (Jaramillo y Pozo 2006).

LACTHOSA tiene dos oficinas principales, una en Tegucigalpa y otra en San Pedro Sula, pero cuenta con agencias y centros de distribución en diferentes zonas del país, así como también en otros países de Centroamérica. Abarcando el mercado nacional y de exportación. En estas plantas se producen gran variedad de productos, entre ellos leche, jugos, malteadas, yogurt y crema (Jaramillo y Pozo 2006).

La fábrica situada en la ciudad de San Pedro Sula tiene instalado un sistema industrial para el tratamiento de aguas residuales la cual fue diseñada y construida por la compañía Linear Control Systems situada en Newport Beach, California, USA. Dicha planta entró en funcionamiento en Junio de 2004 y desde un inicio esta no logró que las aguas tratadas cumplieran con los estándares de descarga establecidos en el país, por lo que la empresa se vio forzada a finales del 2005 a buscar propuestas con diferentes empresas como ser Pixan Ha de México, grupo GASA de Honduras y la misma Linear Control Systems sobre posibles recomendaciones para mejorar el funcionamiento del sistema, al mismo tiempo que solicitaron un experto en tratamiento de aguas residuales a la organización PUM Netherlands senior experts para que los pudiera asesorar sobre la mejor propuesta que pudieran presentar las compañías antes mencionadas (Laurijssens 2005).

En Junio de 2011 arribó a la empresa el experto Tom Wouda de la organización PUM para proponer nuevas recomendaciones, debido a que hasta esa fecha la planta de tratamiento aún no lograba funcionar bien y la calidad de las aguas tratadas aún estaba lejos de cumplir con la norma, después de realizar un estudio propone una serie de recomendaciones que se debían llevar a cabo en el sistema, los cuales serán detallados más adelante en la discusión de resultados.

### **3.3 Regulaciones ambientales nacionales sobre la descarga de aguas residuales**

El Comité Técnico Nacional para la calidad de agua (1996) elaboró las normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, las cuales entraron en vigencia el 13 de Diciembre de 1997 en nuestro país. La aplicación de estas



normas es competencia de la Secretaría de Salud Pública, Recursos Naturales y Ambiente y Gobernación y Justicia. Estas normas tienen por objetivo regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores así como la instalación de sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales para reducir la producción y concentración de los contaminantes descargados al ambiente. Esta norma técnica establece:

- ✓ Definiciones que deben conocerse como base teórica para la aplicación de dichas normas.
- ✓ Características físicas, químicas y biológicas generales así como los rangos permisibles y concentraciones que se deben cumplir para hacer descargas ya sea de forma directa o indirecta en los cuerpos receptores. En el Anexo 3 se muestran dichos valores según la normativa hondureña.
- ✓ Métodos y procedimientos para realizar la toma de muestras y determinar la calidad de las descargas y verificar el cumplimiento de las normas.
- ✓ Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

### **3.4 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales**

#### **3.4.1 Características físicas**

El contenido total de sólidos es la característica más importante del agua residual, dentro de este término se engloba la materia en suspensión, materia sedimentable, materia coloidal y materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, turbiedad, color, temperatura y densidad (Da Cámara *et al.s.f.*).

Analíticamente, se define a los sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a una temperatura entre 103 °C y 105 °C, la materia que se evapora durante este proceso no puede ser considerada materia sólida debido a su alta presión de vapor. Los sólidos totales (residuos de la evaporación)

pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de un líquido por un filtro (Da Cámara *et al.* s.f.).

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un período de 60 min. y constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos, la fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0.001 y 1  $\mu\text{m}$ . Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua (Da Cámara *et al.* s.f.).

La temperatura según Crites y Tchobanoglous (2000) es otro de los parámetros importantes dentro de las características físicas debido a su influencia tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como en el desarrollo de las reacciones químicas y velocidades de reacción. La temperatura del agua residual generalmente es más elevada que el agua de suministro esto debido a la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial.

### **3.4.2 Características químicas**

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual.

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40 % de los sólidos filtrables de una agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia en algunos casos de nitrógeno, encontrándose otros elementos presentes como ser el fósforo, hierro y azufre.

Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%), grasas y aceites (8-12%). Además de proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas, como por ejemplo los tensoactivos o agentes de actividad superficial que son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico y uno fuertemente hidrofílico. Su presencia en aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza, estos tienden a acumularse en la interfase aire-agua y pueden causar la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de agua residual tratada (Crites y Tchobanoglous 2000).

En cuanto a las grasas y aceites, estos engloban las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Químicamente las grasas y aceites animales o vegetales son similares ya que constan en general de ácidos grasos y glicerol, la diferencia entre ambos se debe a que los glicéridos que se encuentran en estado sólido a temperatura ambiente se les llama grasas y los que permanecen en estado líquido se les llama aceites.

Debido a sus propiedades, la presencia de grasas y aceites en aguas residuales pueden causar muchos problemas en el tratamiento de aguas residuales. Si las grasas no se remueven antes de descargar las aguas residuales tratadas, podrían interferir con la vida biológica en la superficie de las fuentes receptoras creando películas desagradables a la vista (Crites y Tchobanoglous 2000). Las grasas y aceites se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla.

Crites y Tchobanoglous (2000) sostienen que los análisis de los compuestos orgánicos agregados se hacen para caracterizar aguas residuales tratadas y no tratadas, para estimar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes

receptoras. Los métodos usados para medir cantidades de materia orgánica en aguas residuales incluyen: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días ( $DBO_5$ ); Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbono Orgánico Total (COT)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales y es definida como la cantidad de oxígeno disuelto que utilizan los microorganismos para llevar a cabo el proceso de oxidación de la materia orgánica. La DBO se usa para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica, dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones legales a que están sujetos los vertidos, dichas limitaciones legales o normas para nuestro país pueden verse en el Anexo 3.

Para la realización del análisis de este parámetro se debe colocar una pequeña muestra de agua residual en una botella de DBO (volumen de 300 ml) la cual se completa con agua saturada de oxígeno y los nutrientes necesarios para el crecimiento biológico. La muestra se incuba durante 5 días a  $20^{\circ}\text{C}$ . El valor de la DBO se calcula por la diferencia entre la cantidad de oxígeno disuelto medido antes y después de la incubación.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad de materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente en el agua. Esta se define como la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia tanto orgánica como inorgánica presente en el agua mediante un agente oxidante fuerte, en un medio ácido y a alta temperatura por un período aproximado de dos horas (Flores 2007). Esta prueba se hace debido a que parte de los materiales orgánicos no se pueden degradar biológicamente porque resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega a ser tan lenta que son considerados como no biodegradables, al igual que la DBO, los valores permitidos para este parámetro se muestran en el Anexo 3.

El Cuadro 2 muestra la relación existente entre la DBO, DQO, COT para la caracterización de aguas residuales, la relación  $DBO_5/DQO$  se utiliza para saber si el agua residual es o no biodegradable y de acuerdo a esto seleccionar el método de depuración más adecuado. Si la relación  $DBO_5/DQO$  para aguas no tratadas es mayor que 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si a relación  $DBO/DQO$  es menor de 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización (Crites y Tchobanoglous 2000).

**Cuadro 2.** Comparación entre DBO, DQO y COT para caracterizar aguas residuales.

| <b>Tipo de agua residual</b>      | <b>DBO/DQO</b> | <b>DBO/COT</b> |
|-----------------------------------|----------------|----------------|
| No tratada                        | 0.3-0.8        | 1.2-2.0        |
| Después de sedimentación primaria | 0.4-0.6        | 0.8-1.2        |
| Efluente final                    | 0.1-0.3        | 0.2-0.5        |

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000.

Crites y Tchobanoglous (2000) sostienen que los elementos químicos inorgánicos que se pueden encontrar en aguas residuales incluyen elementos individuales como calcio (Ca), cloruro (Cl), hierro (Fe), cromo (Cr), zinc (Zn) y gran variedad de compuestos como nitratos ( $NO_3$ ) y sulfatos ( $SO_4$ ). Entre los constituyentes químicos inorgánicos de interés están nutrientes, constituyentes no metálicos, metales y gases. Entre los nutrientes inorgánicos están amoníaco libre, nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos, fósforo orgánico e inorgánico. También se pueden tomar en cuenta algunas pruebas como pH, alcalinidad, cloruros y sulfatos para estimar la capacidad de reutilización de las aguas residuales tratadas y como control en diferentes procesos de tratamiento.

El pH es la expresión usual para la medición de la concentración de los iones hidrogeno en una solución. El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos

biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de su evacuación.

La alcalinidad se define como la capacidad del agua para neutralizar los ácidos (Standard Methods 1995 citado por Crites y Tchobanoglous 2000). En las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) principalmente de elementos como calcio y magnesio. La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular los cambios de pH causados por la adición de ácidos.

Debido a que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, es preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

En cuanto a gases se refiere, los que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), el oxígeno ( $\text{O}_2$ ), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), y el metano ( $\text{CH}_4$ ). Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (UDLAP s.f.).

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida, este es sólo ligeramente soluble en agua (UDLAP s.f.). La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, depende de: solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura y pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.).

### **3.4.3 Características biológicas**

Las características biológicas del agua residual a tener en cuenta para su tratamiento biológico son: a) Principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; b) Organismos patógenos presentes en las aguas residuales; c) Organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; d) Métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y e) Métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas (UDLAP s.f.).

Las bacterias juegan un papel importante dentro de los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica tanto en el ambiente natural como en plantas de tratamiento, es por eso que resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo, proceso de síntesis, requerimientos físicos y químicos.

La aireación es un proceso mecánico que se utiliza para oxigenar las aguas. La provisión de oxígeno en biorreactores permite el crecimiento de las bacterias y otros microorganismos que degradarán la materia orgánica la misma que junto a los sólidos suspendidos forman la biomasa activa. La utilización de bacterias aerobias logra reducir cerca del 90% de los desechos biodegradables (Corbitt 1999 citado por Flores 2007), estos sistemas aunque requieren mayor cantidad de energía y por tanto su costo de operación es elevado, se los utiliza con frecuencia porque remueven mayor cantidad de material orgánico que los sistemas anaerobios.

## **3.5 Procesos unitarios en el tratamiento de aguas residuales**

### **3.5.1 Tipos de tratamiento**

Según Matute (2000) el objetivo de los diferentes tipos y niveles de tratamiento es en general, reducir la carga de contaminantes del vertido (o agua residual) y convertirlo en

inocuo para el medio ambiente y la salud humana. Las operaciones unitarias tradicionalmente empleadas para dar un tratamiento a las aguas residuales hasta ahora han sido de gran ayuda para solucionar la mayoría de problemas de contaminación, sin embargo, se ha visto la necesidad del uso de la biodegradación para mejorar los resultados de dichas operaciones (Flores 2007). Los tipos de tratamiento se pueden clasificar a grandes rasgos como: físicos, químicos, biológicos.

**A. Tratamiento físico:** Son todos aquellos tratamientos en los que se utilizan las fuerzas físicas para el tratamiento, de aguas residuales. Algunas de las operaciones físicas que se llevan a cabo son: el tamizado, la sedimentación, la flotación natural o provocada con aire, la filtración (arena, carbón, cerámicas, etc.), la evaporación, la adsorción (carbón activo, zeolitas, etc.), transferencia de gases, etc. (Crites y Tchobanoglous 2000).

**B. Tratamiento químico:** Son todos aquellos procesos en las que la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual se lleva a cabo mediante la adición de reactivos químicos, o bien mediante las propiedades químicas de diversos compuestos. Se utiliza junto con tipos físicos y biológicos. Algunas de las operaciones químicas son: la coagulación-floculación, la precipitación química, la oxidación-reducción, la reducción electrolítica, el intercambio iónico, osmosis inversa (Crespo y Solano 2005).

**C. Tratamiento biológico:** Los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se conocen como procesos biológicos unitarios. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma, tanto coloidal, como en disolución. Básicamente estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación. Los tratamientos biológicos también se emplean para eliminar el nitrógeno contenido en el agua residual (Crites y Tchobanoglous 2000).



Los principales procesos biológicos según el tipo de microorganismos, se clasifican como aeróbios y/o anaeróbios. Algunas de las operaciones biológicas son: lodos activos, filtros bacterianos, biodiscos, lagunas aireadas, etc. (Crespo y Solano 2005).

### **3.5.2 Niveles de tratamiento**

Los niveles de tratamiento se agrupan según los diferentes grados de eficiencia alcanzados en la remoción de los contaminantes existente en los líquidos residuales. Estos niveles se clasifican como: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamientos avanzados o terciarios (Matute 2000). La selección de un tratamiento para aguas residuales depende de diversos factores como las características iniciales del agua, el requerimiento de la calidad del efluente, los costos y la disponibilidad de un terreno destinado para tal fin (Ramalho 1983 citado por Cardona y García 2008).

**A. Pretratamiento:** Se trata de un tratamiento previo, diseñado para remover partículas grandes, tales como plásticos, pelos, papeles, etc. ya sea que floten o se sedimenten, antes de que lleguen a las unidades de tratamiento posteriores. Aquí se emplean mayoritariamente rejillas o tamices (Matute 2000), las que son utilizadas para separar sólidos gruesos del agua. De acuerdo a la abertura libre se pueden clasificar en: Rejas de barras > 150mm, tamices gruesos 50 – 150mm y tamices finos 0.01 – 50mm

En el pretratamiento también se realiza la separación de aceites, grasas y otros materiales livianos por medio de flotación. En el tratamiento para agua residual se emplea aire como medio de flotación y el método de suministrarlo es el que define al tratamiento. Los tratamientos de flotación pueden ser flotación por aire disuelto, aquí el aire se inyecta al agua residual presurizada y al pasar al tanque de flotación disminuye la presión y las burbujas son liberadas. En el otro método de flotación por aire, este se dispersa por medio de difusores colocados en el fondo del tanque (Flores 2007).

**B. Tratamiento primario:** En este tratamiento se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión, sobrenadante y materia inorgánica. En este nivel se hace sedimentar los materiales suspendidos usando tratamientos físicos o fisicoquímicos, aunque también se puede utilizar la flotación. Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, la neutralización, la desorción (Matute 2000), otras como la precipitación y la coagulación-floculación.

Los procesos de coagulación-floculación se emplean para reducir los sólidos suspendidos gruesos, sólidos suspendidos finos que producen turbidez, color y algunos materiales coloidales que se encuentran presentes en el agua. La coagulación es un proceso químico en el que se compensa la carga de las partículas para aglomerarlas aumentando su tamaño y con ello facilitando la sedimentación de las mismas. Cuando las partículas aglomeradas no sedimentan a la velocidad deseada, se utiliza la floculación que es un proceso físico que con ayuda del floculante y agitación mecánica lenta forma agregados o flóculos de mayor tamaño permitiendo su sedimentación (Flores 2007).

**C. Tratamiento secundario:** En el tratamiento secundario se trata de reducir el contenido de materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales. En esta fase se eliminan las partículas coloidales y similares, pudiéndose incluir procesos biológicos y químicos. El tipo de tratamiento más empleado es el biológico, el cual facilita que las bacterias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de microorganismos.

### **3.6 Biorreactores para el tratamiento de aguas residuales**

Flores (2007) define los biorreactores como tanques en los que crecen los microorganismos y producen reacciones biológicas o enzimáticas que disminuyen los contaminantes presentes en las aguas residuales. Las bacterias necesitan de la presencia de materia orgánica y suficiente cantidad de nutrientes para su supervivencia. En la actualidad

hay un gran número de biorreactores, además de su clasificación como aerobios o anaerobios, los biorreactores según su estructura física se clasifican en biorreactores con biomasa en suspensión y biorreactores con biomasa inmovilizada. A continuación se explica de manera general cada una de estas clasificaciones:

Los biorreactores aerobios tienen sistemas de burbujeo con oxígeno libre o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos, una vez que estos han sido separados el agua de salida contiene muchas menos impurezas (Matute 2000). El porcentaje de remoción de DBO en los procesos de tratamiento aerobios y anaerobios es aproximadamente del 90% (Gaudy y Gaudy 1971, Seoanez 1996, Metcalf y Eddy 2003, citado por Cardona y García 2008).

En el tratamiento anaerobio de aguas residuales se da un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica debido a que no hay presencia de un oxidante en el proceso y la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano que se produce (Rodríguez s.f.). Debido a sus ventajas respecto a los procesos aerobios en términos de mayor grado de estabilización de las aguas residuales, bajo crecimiento de biomasa y requerimientos nutricionales, producción de metano y no requerimiento de oxígeno, la digestión anaerobia es una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales (Arango y Sanches 2009).

Flores (2007) explica que los biorreactores con biomasa en suspensión son aquellos cuya biomasa se encuentra suspendida en el medio. A este grupo pertenecen todos los procesos de lagunas aireadas, lodos activados y sus derivados. En esta primera división, se encuentran los biorreactores con aireación superficial, biorreactores con difusores de aire, biorreactores de chorro y succión, biorreactores de bucle.

En los biorreactores con biomasa inmovilizada los microorganismos están dispuestos en algún tipo de soporte en el que se mantienen inmovilizados, tiene como ventaja que su período de vida es mayor. Se aplica en sistemas continuos aerobios y anaerobios. Algunos de los biorreactores que pertenecen a esta categoría son: Biorreactores contactores biológicos rotatorios o biodiscos, biorreactores de lechos fijos, biorreactores de lecho fluidizado (Flores 2007).

### **3.7 Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)**

El sistema de clarificación por flotación de aire disuelto es un proceso utilizado para la separación de sólidos en suspensión, aceites y grasas, y materia orgánica insoluble que se encuentra en las aguas residuales. En este método se disuelve aire en agua a presión y luego se libera la presión en la unidad de flotación causando que el aire se libere en el agua en microburbujas muy finas (20-30  $\mu\text{m}$ ) (World Waters Works, Inc. s.f.). Las microburbujas de aire se adhieren a las partículas en suspensión, las cuales se elevan hacia la superficie debido a su reducida densidad. Un medio mecánico remueve las partículas flotantes en la superficie. Algunas claves para el buen funcionamiento del sistema por aire disuelto según World Waters Works, Inc. son:

La saturación, ya que al haber una alta eficiencia en la saturación aire/agua se requiere menos energía y menos agua para recircular en el sistema ya que recircular el agua reduce los tiempos de retención limitando la capacidad del sistema. Es importante también tener un flujo constante de aire para asegurar la saturación continua del agua y permitir que el sistema trabaje de manera consistente. El tamaño de la burbuja es otro aspecto muy importante porque entre más pequeña es la burbuja podrán ser removidas las partículas más pequeñas y menos coagulante y floculante se necesita para remover dichas partículas.

El correcto diseño de la tubería es de gran importancia, ya que la presión creada por el sistema debe ser mantenida para su correcto funcionamiento. En general todas las tuberías deben estar diseñadas para un mínimo de 220 psi y por último un buen mantenimiento de

los equipos es indispensable para que el proceso de clarificación de las aguas se lleve a cabo de manera segura.

### **3.8 Ecuación de aguas residuales**

La ecuación en un sistema de tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo en el tanque de ecuación que es una unidad utilizada comúnmente en plantas relativamente pequeñas y que tiene como objetivo igualar o ecualizar los flujos y evitar el impacto en los procesos principalmente por la alteración de la hidráulica. Para los tratamientos de aguas industriales es una unidad prácticamente imprescindible debido a que amortigua las descargas muchas veces inesperadas de lavados de tanques o tandas de procesos dañadas que requieren de disposición adecuada. La ubicación lógica de un tanque de ecuación es seguido del pre-tratamiento aunque no siempre esto es posible. Este tanque estará impactado por suciedad, material inorgánico y arenillas en la medida en que no se haga pretratamiento o tratamiento primario de las aguas (Pacheco y Colón s.f.).

## **IV MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Localización del trabajo**

Este trabajo se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales que opera en la planta de procesamiento Lácteos de Honduras S.A. de C.V. (LACTHOSA), ubicada en el barrio Bermejo, frente a Plásticos Industriales Hondureños, San Pedro Sula, Departamento de Cortés, Honduras, C.A.

### **4.2 Materiales y equipo**

La ejecución del presente trabajo se realizó directamente en el sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa, el que comprende algunos equipos como ser el tamiz separador de finos de 48", bombas centrifugas de agua desde 10 a 40 hp, tanque DAF (Sistema de Flotación por Aire Disuelto) de 20,000 galones, tanque equalizador de 400,000 galones, tres biorreactores de alta velocidad con dimensiones de 8'x8'x40', bomba generadora de microburbujas marca Nikuni, filtro prensa marca Pacific Press Co., colorímetro marca HACH DR/890 para análisis de las aguas residuales, termoreactor eco 25 velp científica, refrigerador, entre otros.

Entre los materiales que se utilizaron están: Termómetro, pera de succión, gradilla para tubos de ensayo, probetas de 1,000 ml, Beakers de 1,000 ml, matraces de 200 ml, jeringas graduadas de 5ml, pipetas graduadas, reactivos usados en los análisis por colorimetría para nitratos, nitritos, fosfatos y amonio, cintas medidoras de pH, floculante catiónico Kemira C-1598, coagulante catiónico Kemira C-581, viales reactivos para el análisis de DQO.

### **4.3 Metodología**

El presente trabajo se realizó en conjunto con el personal que labora en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa el que inició con modificaciones realizadas en el flujo de proceso, debido a que el sistema presentaba una serie de problemas en su funcionamiento, dichas modificaciones fueron recomendadas por el experto en tratamiento de aguas residuales de la organización PUM Netherlands senior experts *Tom Wouda* quien fue contactado por la empresa para hacer un diagnóstico y proponer posibles soluciones a los problemas que presentaba el sistema.

#### **4.3.1 Cambios en el flujo de proceso del sistema de tratamiento de aguas residuales**

Después de observaciones, estudio y recomendaciones realizadas por el señor *Tom Wouda* se sugirió una serie de cambios en el flujo de proceso (Figura 6) con el propósito de mejorar la calidad de las aguas tratadas, las que son descargadas al alcantarillado público de la ciudad.

#### **4.3.2 Cambios internos en el DAF (Sistema de Flotación por Aire Disuelto)**

Se realizaron cambios en la unidad de flotación al interior del DAF después de haber realizado las modificaciones en el flujo general de proceso, además se evaluó la dosificación del floculante catiónico Kemira C-1598 que utiliza la empresa con el fin de encontrar la dosificación más adecuada para la separación de los lodos en dicho equipo, para esto se determinó la cantidad de floculante en función de: Concentración de la solución preparada de floculante, del caudal y las características de aguas por tratar que salen del tanque equalizador.

### 4.3.3 Evaluación de la eficiencia del DAF

Para la evaluación de la eficiencia de este equipo se tomaron muestras simples de las aguas a la entrada y salida del DAF (Figura 6), dichas muestras se llevaron al laboratorio para el respectivo análisis de DQO, según la técnica descrita en el Anexo 2. Dicha eficiencia se determinó por la relación entre la demanda química de oxígeno a la entrada y salida del DAF, tal como lo muestra la ecuación 1.

$$\%eficiencia = \left( \frac{(DQOe - DQOs)}{(DQOe)} \right) \cdot 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

### 4.3.4 Evaluación de eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales

Igual que la variable anterior se trabajo con la ecuación 1, con la salvedad que para el análisis de la DQO se tomaron muestras (compuestas) de agua cruda a la entrada del sistema y agua tratada a la salida de los biorreactores cada 4 horas, además se consideró información ya existente de este parámetro en la empresa (Cuadro 4).



## **V RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para mayor comprensión de los resultados obtenidos se iniciará describiendo el funcionamiento de los equipos más importantes que tiene instalados la planta de tratamiento de aguas de residuales, como ser el DAF, el tanque equalizador y los biorreactores. Se detallará el funcionamiento del flujo de proceso que se encontró en la planta antes de realizar los cambios propuestos y cuál era la problemática existente en el sistema que provocaron dichos cambios.

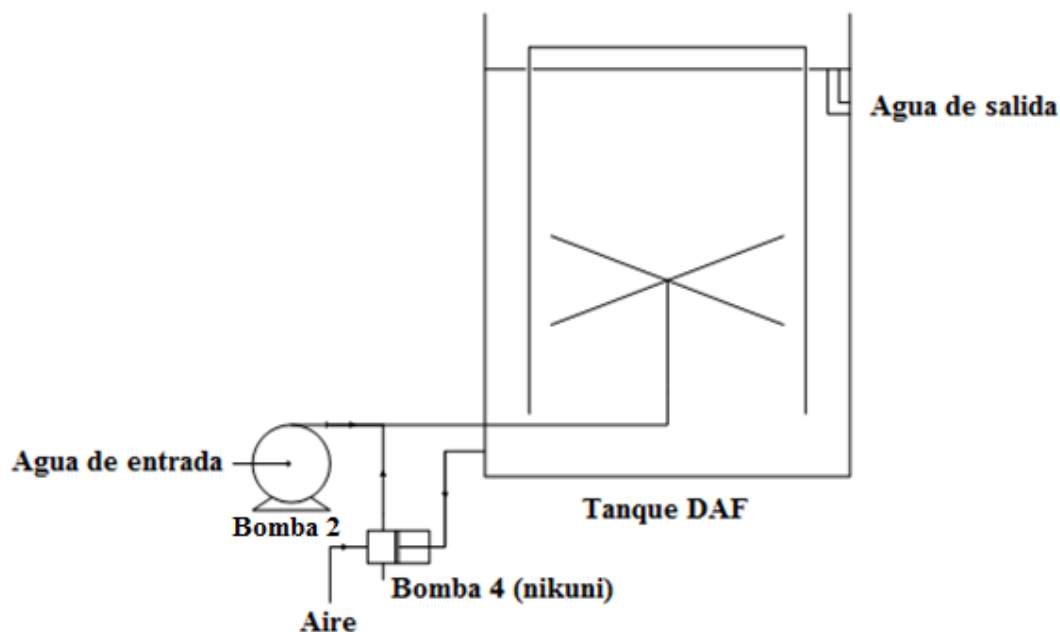
Luego se describirá el flujo de proceso que actualmente está funcionando en la planta de tratamiento y cuáles fueron las modificaciones internas que se realizaron en el equipo DAF una vez que la planta comenzó a funcionar con el nuevo flujo de proceso. De estas actividades realizadas se obtuvieron algunos resultados positivos que se muestran al final del capítulo, como ser mejoramiento en el rendimiento del DAF y uso único de soda ash para la corrección del pH en el tanque equalizador.

### **5.1 Descripción del funcionamiento de los equipos más importantes**

#### **5.1.1 Sistema de flotación por aire disuelto (DAF)**

La empresa LACTHOSA cuenta con un tanque circular con una capacidad de 20,000 gal. que hace la función de DAF. Este equipo trabaja con el agua equalizada a la cual se le da un pre-tratamiento con floculante catiónico Kemira C-1598, el que se dosifica mediante la succión de la bomba 2 (Figura 1), el uso de este floculante optimiza el proceso de flotación al promover la formación de flóculos. El influente tratado ingresa hacia la unidad de flotación donde se producen las microburbujas, dicha unidad se encuentra a una altura de 1.5 metros desde el fondo del tanque y dentro del círculo interno de la unidad.

La bomba 4 (Nikuni) succiona agua del tanque a una presión de 5-10 in Hg, al mismo tiempo que también aspira aire atmosférico automáticamente (15-20 SCFH), saturando el agua que al ser liberada en la unidad de flotación dentro del DAF genera millones de burbujas de aproximadamente 20-30 micras de diámetro, que se adhieren a los sólidos suspendidos y grasas llevando estas partículas hacia la superficie donde son removidos mediante un desnatador. El lodo más pesado es sedimentado en el fondo del tanque y es removido mediante drenaje. La toma de agua clarificada se hace mediante tubos que descienden entre el círculo interno y externo del tanque.

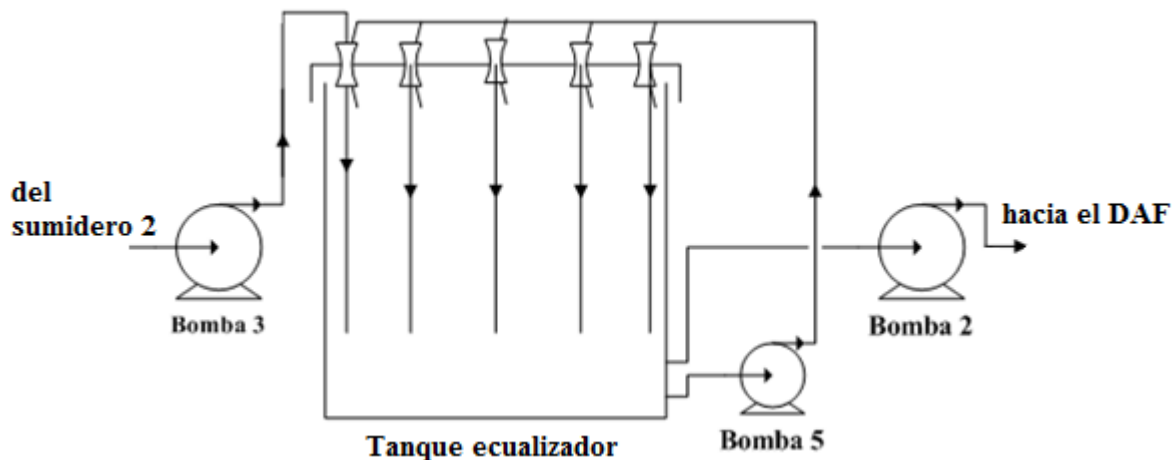


**Figura 1.** Esquema básico del tanque DAF.

### 5.1.2 Tanque ecualizador

Se observa en la Figura 2 el tanque ecualizar, el cual es uno de los equipos de gran importancia en el sistema, el que tiene una capacidad de 400,000 gal. y es alimentado mediante la bomba 3 (15 hp) que succiona agua del sumidero 2. El agua en el ecualizador se mezcla y se oxigena constantemente por recirculación en el mismo tanque por medio de la bomba 5 (40 hp), la cual toma el agua desde el fondo del tanque y la descarga hacia la parte superior donde el agua fluye a través de 10 tubos verticales que bajan hacia la parte

inferior del tanque, cada uno de estos tubos cuenta con válvulas venturi las cuales succionan aire del ambiente hacia dentro de los tubos, esta mezcla de aire-agua permite la aeración del agua de dicho tanque.



**Figura 2.** Esquema básico del tanque ecualizador.

### 5.1.3 Sistema de biorreactores de alta velocidad

La planta de tratamiento de aguas residuales consta de tres biorreactores para el tratamiento biológico de las aguas, los cuales se encuentran conectados en paralelo y con flujo de salida de  $9 \text{ m}^3/\text{h}$  cada uno (cuando los rotámetros en la entrada se encuentran regulados a  $40 \text{ gal./min.}$ ), cada unidad se encuentra dentro de un contenedor de  $8' \times 8' \times 40'$ . Cada biorreactor consta de 3 celdas aireadas conectadas en serie y con volumen aproximado de  $17.3 \text{ m}^3$ , una cuarta celda que sirve como separadora de lodos de  $17.3 \text{ m}^3$  y un quinto compartimiento que sirve de salida del agua tratada, este tiene un volumen aproximado de  $1.15 \text{ m}^3$ .

La aireación en cada biorreactor se da por medio de un soplador que mantiene un flujo constante de aire que necesita la masa bacteriana para su supervivencia. El agua que entra al biorreactor fluye a la primera celda y luego pasa a la segunda por desbordamiento y así sucesivamente hasta la salida del biorreactor. Las celdas tienen forma de cono en el fondo

donde se asientan los lodos biológicos los cuales son drenados por medio de válvulas, los lodos que se acumulan en la superficie pueden ser drenados por medio de válvulas laterales. Las celdas 1 y 2 constan de un medio plástico de polietileno (Figura 3) el cual se encuentra dentro de una rejilla de acero y donde crece la masa bacteriana necesaria para la oxidación de la materia orgánica. La celda 3 contiene medios plásticos tipo placa corrugada (Figura 4) y la celda 4 contiene lamelas separadoras para la remoción de lodos (Figura 5).



**Figura 3.** Medio plástico de polietileno existente en celdas 1 y 2 de biorreactores.



**Figura 4.** Medio plástico de placa corrugada existente en la celda 3 de biorreactores.



**Figura 5.** Lamelas separadoras en la celda 4 de biorreactores.

## **5.2 Cambios en el flujo de proceso de las aguas residuales**

### **5.2.1 Funcionamiento del sistema antes de las modificaciones realizadas en el flujo de proceso**

La planta de tratamiento de aguas residuales recibe agua cruda durante 16 horas continuas, 6 días a la semana, esta agua proviene de las diferentes áreas de producción, del área de lavado de camiones y del área de lavado de barriles. El flujo de agua promedio que llega a la planta oscila entre los 600 y 650 m<sup>3</sup>/día, este flujo es muy variante durante el día al igual que el pH, el cual varía entre un pH de 2.0 hasta 14.0.

Según como se ve en el Anexo 1 las aguas residuales pasan primero por una rejilla que retiene las partículas más grandes, luego se recolectan en el sumidero 1 donde se agrega la soda ash (carbonato de sodio) para la regulación del pH después que este ha sido medido en la entrada cada hora, dentro de este sumidero se encuentran dos bombas sumergibles, una de ellas recircula las aguas dentro del sumidero para mezclar las aguas con la soda ash, la bomba 0 sirve para enviar agua directamente hacia el tanque ecualizador sin pasar por el tamiz separador de finos cuando el caudal de agua en la entrada es demasiado alto y sobrepasa la capacidad de la bomba 1 (10 hp), también esta bomba se utiliza para recircular el agua tratada durante los fines de semana cuando los niveles de aguas son muy bajos en el tanque ecualizador.

La bomba 1 hace pasar el agua por el tamiz separador de finos, el cual tiene una malla de 80 mesh, los sólidos que este genera se limpian manualmente y se recolectan en el sumidero 4, una vez que el agua pasa por el tamiz va hacia el sumidero 2 donde la bomba 2 (10 hp) descargaba el agua hacia el tanque DAF que tiene una capacidad de 20,000 gal., esta bomba arrancaba y se detenía dependiendo del flujo de agua de entrada, por lo que no se tenía un nivel de agua constante en el DAF provocando que el desnatador no pudiera remover los lodos en la superficie, por lo tanto, no había disminución de DBO/DQO, remoción de grasas ni de sólidos suspendidos, los pocos lodos que se podían remover eran recolectados en el tanque de lodos y luego estos se depositaban en el sumidero 4.

El agua de salida del DAF va hacia el sumidero 3, desde donde se descargaba por medio de la bomba 3 (15 hp) hacia el tanque ecualizador, en el cual el agua se mezcla y se oxigena constantemente, haciendo recircularla en el tanque por medio de la bomba 5 (40 hp). Luego el agua se descargaba mediante la bomba alimentadora (6) hacia los 3 biorreactores que constan de cinco celdas conectadas en serie y las cuales están provistas de materiales donde la población bacteriana debe crecer alimentándose y degradando la materia orgánica disuelta presente en el agua. Los biorreactores se encuentran conectados en paralelo y se les regula el caudal (40-50 gal./min.) por medio de válvulas y medidores de caudal (rotámetros) que contiene cada biorreactor. El agua tratada de los biorreactores es descargada hacia el alcantarillado público.

### **5.2.2 Problemas existentes antes de las modificaciones en el flujo de proceso**

La corrección de pH se llevaba a cabo en el sumidero 1 usando soda ash y ácido fosfórico al mismo tiempo, un pH-metro instalado en el sumidero tomaba las lecturas y activaba bombas automáticas para la adición de dichos químicos según el pH sentido por este. Dado que el pH de las aguas que llegan a la planta varía muy rápidamente se consumía una gran cantidad de ambos químicos y aun así el pH de las aguas en el tanque ecualizador no se lograba estabilizar porque siempre su tendencia es a bajar (pH=5.0), incluso con el nuevo flujo de proceso esta tendencia se mantiene.

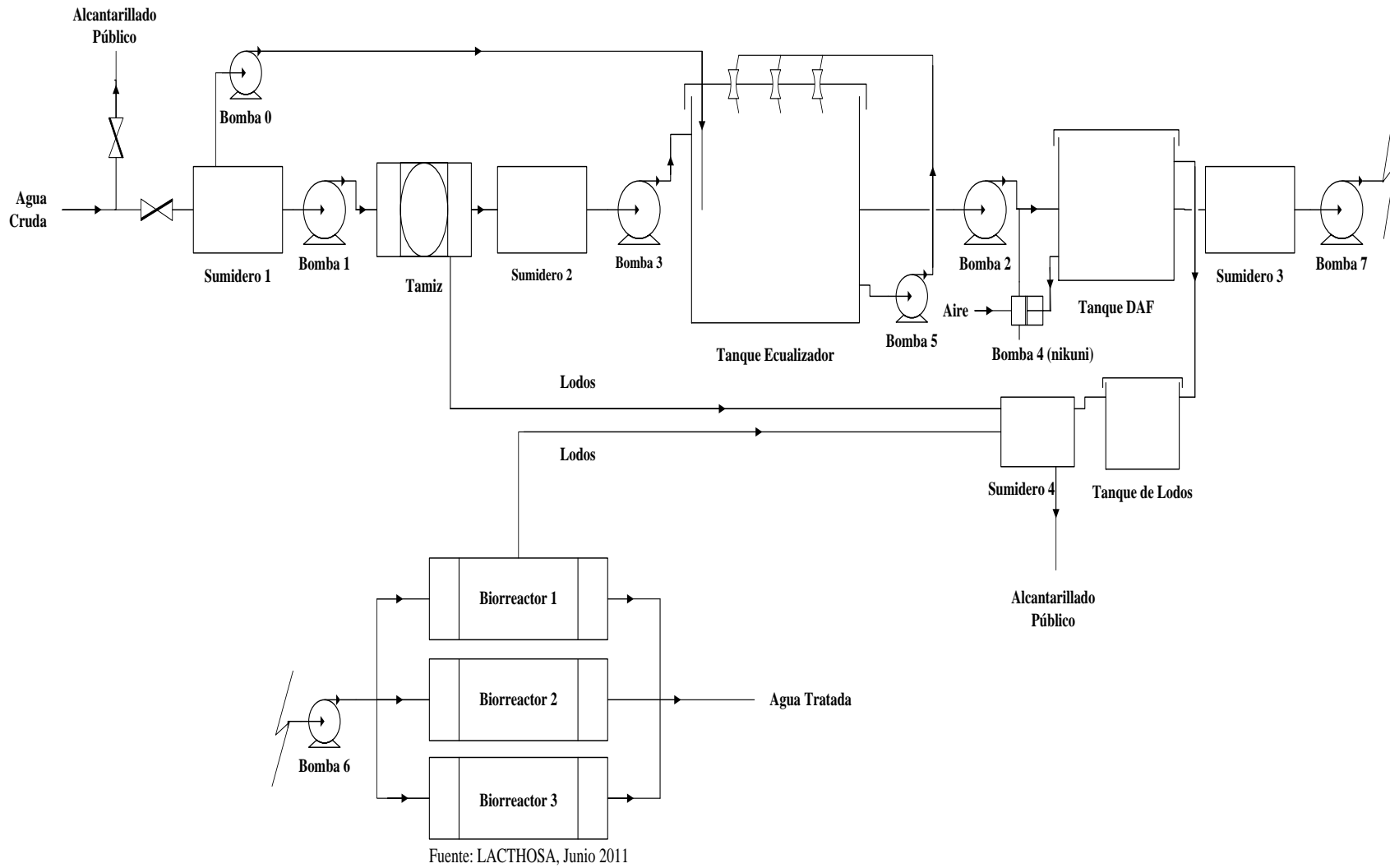
Los polímeros (coagulante y floculante) utilizados para el proceso de remoción de lodos en el DAF no cumplían su función de formar flóculos debido a que estos se hacían reaccionar con las aguas residuales crudas con las cuales era alimentado el DAF.

Todas las variaciones hidráulicas eran transferidas al DAF, por lo que, no se podía mantener un flujo constante de agua en dicho equipo para que el desnatador pudiera remover los lodos que se formaban en la superficie del mismo.

En la posición en que se encontraba el tanque ecualizador no podía absorber las variaciones de caudal en la entrada de agua al sistema, por lo que, todas las variaciones hidráulicas eran transmitidas directamente al DAF, como se mencionó en el párrafo anterior.

El tanque ecualizador parece no tener capacidad búfer, ni con el flujo anterior ni con el flujo actual del sistema, este es un fenómeno que hasta el momento no ha podido ser investigado, lo cierto es que el pH del agua en el tanque tiende siempre a bajar ( $\text{pH}=5.0$ ) y luego tiende a neutralizarse nuevamente ( $\text{pH}=7.0$ ) por la adición de la soda ash. Arango y Sanches (2009) explican dicho fenómeno argumentando que las aguas residuales lácteas son generalmente neutras o poco alcalinas, pero que tienen tendencia a volverse ácidas muy rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche (lactosa) produciendo ácido láctico, sobre todo en ausencia de oxígeno y la formación simultánea de ácido butírico, descendiendo el pH a 4.5-5.0.

Cabe mencionar otro aspecto que puede ayudar a que este proceso se dé más rápidamente y es que al sistema llegan aguas con pH muy bajos ( $\text{pH}=2.0$ ) debido al uso de ácido fosfórico en las salas de producción para el lavado de equipos, esta situación fue detectada en varias ocasiones al hacer las mediciones registradas por la empresa en el agua de entrada al sistema.



**Figura 6.** Esquema básico del nuevo flujo de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales.



### **5.3 Funcionamiento del sistema con el nuevo flujo de proceso**

El flujo de proceso cambia con respecto al anterior debido a los problemas antes mencionados, por lo que, *Tom Wouda* propone el nuevo flujo de proceso (Figura 6), en el cual se instala primero el tanque ecualizador y luego el tanque DAF, invirtiendo las posiciones que estos tenían en el flujo anterior (Anexo 1). La bomba 2 pasa a ser la bomba 3 que descarga agua del sumidero 2 hacia el tanque ecualizador, se instala una nueva bomba (2) la cual descarga las aguas ya ecualizadas hacia el DAF, esta bomba es fundamental debido a que mantiene un flujo constante de agua hacia el DAF las 24 horas del día permitiendo de esta manera mantener el nivel de agua en dicho tanque para que los lodos puedan ser removidos por el desnatador de manera continua.

Luego el agua pasa al sumidero 3 donde es descargada hacia los biorreactores por medio de la bomba 7 (15 hp), esta bomba tiene instalado un variador de frecuencia que regula su caudal de descarga para evitar un flujo mayor a los 50 gal./min. en cada biorreactor, ya que se puede reducir el tiempo de retención hidráulica del agua en los biorreactores pudiendo esto afectar el trabajo de las bacterias debido a la alta velocidad del agua. La bomba 6 (feed pump) no se encuentra en funcionamiento actualmente debido a la sobre capacidad de la bomba 7 aunque en un principio se había estimado que en el nuevo diagrama de proceso debía ser esta bomba (6) la que alimentaría a los biorreactores, ya que está diseñada específicamente para este función.

### **5.4 Cambios realizados en el tanque DAF**

Una vez que la planta estaba funcionando con el nuevo flujo de proceso se procedió a realizar una serie de cambios en la unidad de flotación del DAF debido a que no se lograban cambios positivos en los análisis de DQO que se realizaban al agua de salida de este, la anterior unidad de flotación tenía muy pocos tubos (8) por lo que el manto de microburbujas no era uniforme, el diámetro de los agujeros de los tubos era de 1/4", estos se encontraban muy dispersos entre sí y se extendían hasta el anillo externo del tanque,

también esta estructura se encontraba aprox. a 50 cm del fondo del tanque (Figura 7). Se construyó una nueva unidad de flotación (Figura 8) la cual se instaló en el anillo interior del tanque, está provista de más tubos (16) a los cuales se les redujo el diámetro de los orificios (1/8") y toda la unidad se elevó a una altura aproximada de 1.5 metros desde el fondo del tanque, estos cambios provocaron cambios positivos y significativos en el funcionamiento y eficiencia del DAF en cuanto al cambio en el color del agua de salida y a la remoción de la carga orgánica.



**Figura 7.** Anterior unidad de flotación del DAF.



**Figura 8.** Unidad de flotación actual del DAF.

### **5.5 Prueba realizada con floculante catiónico Kemira C-1598 para encontrar la mejor dosificación hacia el DAF**

Además del sistema de flotación por aire disuelto, en el DAF se dosifica floculante catiónico (Kemira superfloc C-1598) para promover la agregación de las partículas finas y

crear flóculos más grandes para una rápida separación de los lodos. La prueba que arrojo los mejores resultados consistió en lo siguiente:

A partir de una dilución preparada de 0.5 ml floculante puro en 100 ml de agua; produciendo una solución al 0.5%, la que se uso para pruebas de reacción en un beaker con una muestra de 500 ml de agua de la salida del tanque ecualizador, se determinó realizar la prueba con 5 ml de la solución al 0.5%, al realizar los cálculos para encontrar la dosificación se obtuvo lo siguiente:

$$\frac{5 \text{ ml sol. } 0.5\%}{500 \text{ ml H}_2\text{O}} = \frac{10 \text{ ml sol. } 0.5\%}{1 \text{ litro H}_2\text{O}}$$

$$\frac{10 \text{ ml sol. } 0.5\%}{1 \text{ litro H}_2\text{O}} (300 \text{ litros H}_2\text{O}/\text{min.}) = 3000 \text{ ml sol. } 0.5\%/\text{min} = 3 \text{ litros sol. } 0.5\%/\text{min.}$$

Este dato indicaba que se debían dosificar 3 litros de la solución al 0.5% por minuto hacia el DAF. Durante esta prueba no se encendió la bomba 4 (Nikuni), con el fin de observar el comportamiento y el tipo de lodo que se formaba en la superficie. El dato de 300 litros H<sub>2</sub>O/min. se asume es el caudal en la succión de la bomba 2. Al cuarto día de trabajar en estas condiciones, se realizó análisis de DQO al agua tanto en la entrada como en la salida del DAF, los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

**Cuadro 3.** Análisis de DQO realizado al agua de entrada y salida del DAF.

| <b>Muestra</b>         | <b>Tipo de muestra</b> | <b>DQO</b> |
|------------------------|------------------------|------------|
| Agua de entrada al DAF | Simple                 | 3730 mg/l  |
| Agua de salida del DAF | Simple                 | 1450 mg/l  |

Fuente: LACTHOSA, 5 de septiembre de 2011.

Para realizar análisis de eficiencia al DAF, se hace mediante la ecuación 1:

$$\%eficiencia = \left( \frac{(DQOe - DQOs)}{(DQOe)} \right) \cdot 100$$

Donde:

DQOe: Demanda química de oxígeno del agua de entrada al DAF

DQOs: Demanda química de oxígeno del agua de salida DAF

Al realizar el cálculo de eficiencia del DAF se obtuvo el siguiente resultado:

$$\% \text{ Eficiencia DAF} = \frac{(3730-1450) \text{ mg/l}}{3730 \text{ mg/l}} (100) = 61.12\%$$

Lo que representa un 61% de remoción de carga orgánica a la salida del DAF y esto se pudo apreciar en el cambio de color del agua a la salida del DAF (agua clara). Es fundamental que el DAF tenga un alto rendimiento, ya que al remover el mayor contenido de carga orgánica de todo el sistema, puede permitir a los biorreactores trabajar de manera más eficiente y obtener al final aguas tratadas que cumplan con la norma establecida en el país.

## 5.6 Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales

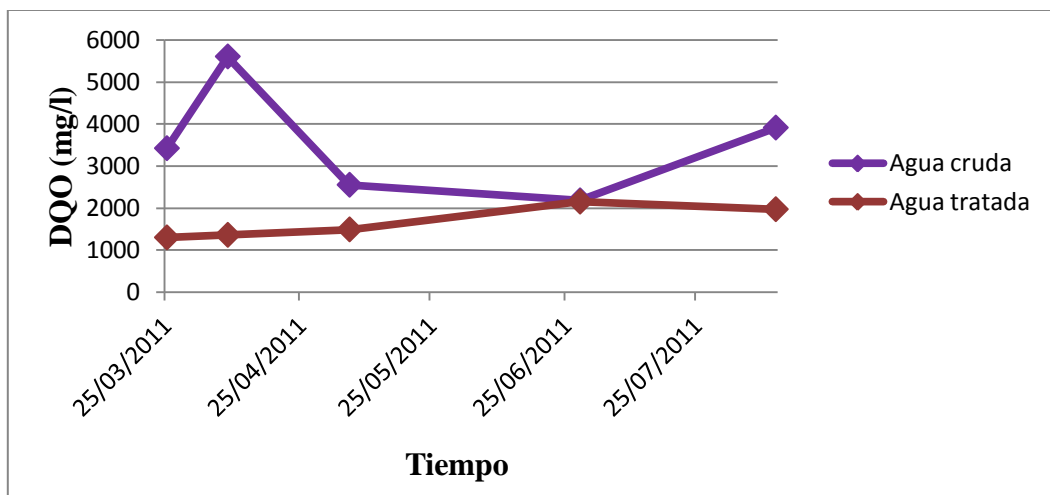
El Cuadro 4 hace una comparación entre al agua cruda y tratada con el fin de mostrar la eficiencia del sistema en el período comprendido entre los meses de marzo y agosto del presente año, se puede ver que la carga orgánica con que se descarga el agua tratada al final del sistema es muy alta en relación a lo que dicta la norma técnica nacional (DQO=200 mg/l), esto se debe en parte a que el sistema aún no está estabilizado completamente y que algunos equipos esenciales como los biorreactores presentan problemas internos que impiden que su funcionamiento sea adecuado y permita reducir la carga restante (30-40%) de las aguas que provienen del DAF.

**Cuadro 4.** Comparación de DQO entre el agua de cruda y agua tratada.

| Fecha    | Tipo de Muestra | Agua Cruda | Agua Tratada | Eficiencia (%) |
|----------|-----------------|------------|--------------|----------------|
|          |                 | DQO (mg/l) | DQO (mg/l)   |                |
| 25/03/11 | Compuesta       | 3420       | 1300         | 62%            |
| 08/04/11 | Compuesta       | 5600       | 1360         | 76%            |
| 06/05/11 | Compuesta       | 2550       | 1490         | 42%            |
| 28/06/11 | Compuesta       | 2180       | 2150         | 1%             |
| 12/08/11 | Compuesta       | 3910       | 1970         | 50%            |

Fuente: LACTHOSA, Marzo-Agosto de 2011.

El comportamiento de la eficiencia del sistema en el período entre marzo y agosto según muestra la Figura 9 toma en cuenta tanto el anterior flujo de proceso como el actual, para el 28 de junio la eficiencia es prácticamente nula esto se debió a que en ese período se estaba a la espera el llevar a cabo las recomendaciones hechas para el flujo de proceso, pero en general puede verse que los valores de DQO del agua tratada son muy altos y que el porcentaje de eficiencia que se alcanza en este nivel debería esperarse a la salida del DAF (60-70%) y posteriormente con el tratamiento biológico de las aguas en los biorreactores obtener una eficiencia del 90% o más en la remoción de la carga orgánica.



**Figura 9.** Comparación de DQO entre el agua de cruda y agua tratada.

### 5.7 Corrección del pH en tanque equalizador utilizando únicamente soda ash (carbonato de sodio)

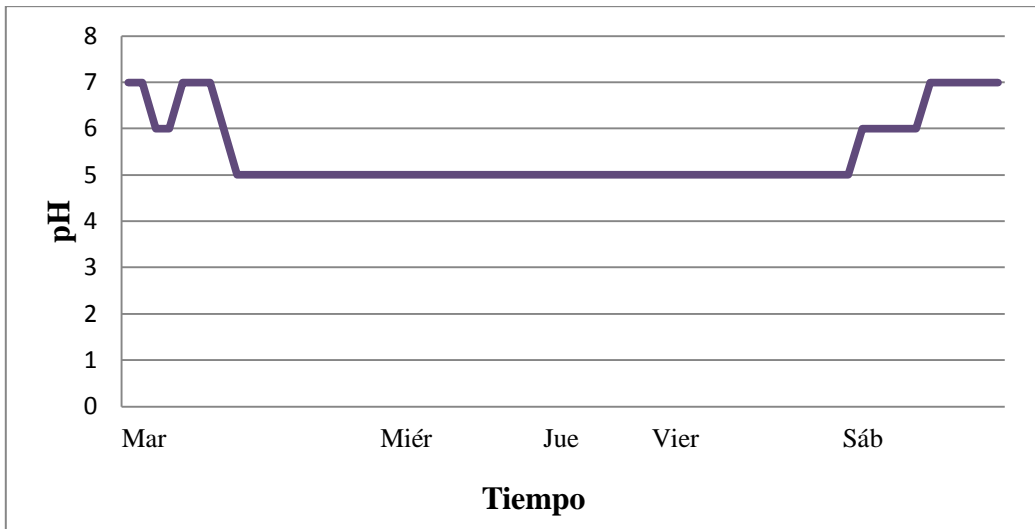
El comportamiento del pH en el agua del tanque equalizador es siempre tendiente a bajar (pH=5.0) tal como se muestra en el Figura 10, por lo que, es necesario agregar soda ash (carbonato de sodio) en el sumidero 1 para corregir el pH de las aguas en el equalizador. Aún no se ha detectado porque se originan dichas variaciones (Cuadro 5) en el equalizador, es decir, no se sabe con exactitud qué factores externos y que reacciones se llevan a cabo al interior del tanque que provoquen la acidificación de las aguas, así como también es difícil predecir el tiempo que el agua permanecerá ácida antes de que esta vuelva a neutralizarse de nuevo por la adición de la soda ash.

**Cuadro 5** Comportamiento del pH en el tanque equalizador del 19 al 23 de julio de 2011.

| <b>Martes<br/>19/7/11</b> |           | <b>Miércoles<br/>20/7/11</b> |           | <b>Jueves<br/>21/7/11</b> |           | <b>Viernes<br/>22/7/11</b> |           | <b>Sábado<br/>23/7/11</b> |           |
|---------------------------|-----------|------------------------------|-----------|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| <b>Hora</b>               | <b>pH</b> | <b>Hora</b>                  | <b>pH</b> | <b>Hora</b>               | <b>pH</b> | <b>Hora</b>                | <b>pH</b> | <b>Hora</b>               | <b>pH</b> |
| 06:00                     | 7.0       | 06:00                        | 5.0       | 08:40                     | 5.0       | 08:00                      | 5.0       | 05:00                     | 5.0       |
| 07:00                     | 7.0       | 07:00                        | 5.0       | 10:00                     | 5.0       | 10:00                      | 5.0       | 06:00                     | 6.0       |
| 08:00                     | 6.0       | 08:00                        | 5.0       | 11:00                     | 5.0       | 12:00                      | 5.0       | 07:00                     | 6.0       |
| 09:00                     | 6.0       | 09:00                        | 5.0       | 12:00                     | 5.0       | 14:00                      | 5.0       | 08:00                     | 6.0       |
| 10:00                     | 7.0       | 10:00                        | 5.0       | 13:00                     | 5.0       | 15:00.                     | 5.0       | 09:00                     | 6.0       |
| 11:00                     | 7.0       | 11:00                        | 5.0       | 14:00                     | 5.0       | 16:00                      | 5.0       | 10:00                     | 6.0       |
| 12:00                     | 7.0       | 12:00                        | 5.0       | 15:00                     | 5.0       | 17:00                      | 5.0       | 11:00                     | 7.0       |
| 13:00                     | 6.0       | 13:00                        | 5.0       | 16:00                     | 5.0       | 18:00                      | 5.0       | 12:00                     | 7.0       |
| 14:00                     | 5.0       | 14:00                        | 5.0       |                           |           | 19:00                      | 5.0       | 13:00                     | 7.0       |
| 15:00.                    | 5.0       | 15:00                        | 5.0       |                           |           | 20:00                      | 5.0       | 14:00                     | 7.0       |
| 16:00                     | 5.0       | 16:00                        | 5.0       |                           |           | 21:00                      | 5.0       | 15:00.                    | 7.0       |
| 17:00                     | 5.0       | 17:00                        | 5.0       |                           |           | 22:00                      | 5.0       | 16:00                     | 7.0       |
| 18:00                     | 5.0       |                              |           |                           |           | 23:00                      | 5.0       |                           |           |
| 19:00                     | 5.0       |                              |           |                           |           | 00:00                      | 5.0       |                           |           |
| 20:00                     | 5.0       |                              |           |                           |           |                            |           |                           |           |
| 21:00                     | 5.0       |                              |           |                           |           |                            |           |                           |           |
| 22:00                     | 5.0       |                              |           |                           |           |                            |           |                           |           |

Fuente: LACTHOSA, Julio de 2011.

Lo expresado en la figura 10 no siempre representa que las variaciones de pH son en función de los días de procesos, sino que es un comportamiento errático que no se ha podido predecir. Sin embargo, hay un aspecto positivo de este fenómeno y es que el observar este comportamiento ha permitido a la empresa ahorrarse costos, ya que anteriormente se estaban utilizando de manera errónea tanto ácido (fosfórico o cítrico) como soda ash para la corrección del pH. Es de hacer notar que actualmente se hace la adición de soda ash de manera manual en el sumidero 1 pero está en proceso la instalación de un pH-metro en el sumidero 2 para hacer la dosificación de soda ash de una manera automática.



**Figura 10.** Comportamiento del pH en el tanque equalizador del 19 al 23 de julio de 2011.

## VI CONCLUSIONES

- ✓ El cambio realizado en el flujo de proceso fue fundamental para lograr una mejoría en la calidad de agua que ingresa a los biorreactores, es decir, los cambios mecánicos realizados en el DAF permitieron que se lograra en cierto momento un rendimiento de más del 60% por parte de este equipo en el proceso de remoción de la carga orgánica, lo que con los siguientes procesos de mejoras se esperaría tener un 99% de efectividad en la remoción de la carga y mejorar la calidad en las aguas que se descargan al vertedero público.
- ✓ Entre los cambios mecánicos realizados en la Unidad de Flotación (DAF) están la disminución del diámetro de los agujeros u orificios en la tubería e incremento del número tubos al interior, así como la elevación de toda la unidad, lográndose mayor relación aire/agua para una mayor remoción de los lodos.
- ✓ Otros efectos del cambio o el estudio del flujo es la utilización de un solo químico (soda ash) para corregir el pH en el tanque ecualizador, mantener un flujo constante de agua hacia el DAF, lograr funcionalidad de los polímeros tanto en el proceso de separación de los lodos en el DAF, como en el proceso de secado de lodos en el filtro prensa.
- ✓ El comportamiento del pH en el agua del tanque ecualizador es siempre tendiente a bajar (pH=5.0) por lo que solo se necesita un químico (soda ash) para corregirlo.



- ✓ Adicionalmente se puede mencionar que no se ha encontrado solución al problema de acumulación de lodos, aún y cuando el filtro prensa logró funcionar este no tiene la capacidad de procesar todos los lodos que se producen en el sistema.
  
- ✓ La dosificación de soda ash en el sumidero 1 se hace de manera manual y no de manera automática, esto puede ser una de las causas por el cual el agua en el tanque equalizador se acidifique afectando de manera significativa el funcionamiento de las bacterias en los biorreactores.

## VII RECOMENDACIONES

- ✓ La bomba del sumidero 1 debe ser reemplazada por una de mayor capacidad ya que es rebasada constantemente por el caudal de entrada, lo que obliga a usar la bomba sumergible (0) para enviar el agua directamente hacia el tanque equalizador sin pasar por el tamiz separador de finos.
- ✓ Establecer controles eficientes para evitar que lleguen aguas ácidas al sistema debido al uso de ácido fosfórico en las salas de producción, ya que esto favorece al proceso de acidificación de las aguas en el tanque equalizador afectando posteriormente el funcionamiento de las bacterias en los biorreactores.
- ✓ Instalar en el flujo de proceso equipos de medición (pH-metros, medidores de caudal, sensores de temperatura, manómetros) que permitan obtener datos para realizar los diferentes ensayos que se llevan a cabo y para tener un conocimiento preciso de las características de las aguas residuales en el sistema.
- ✓ Cambiar o mejorar algunos equipos del sistema de tratamiento para evitar que el sistema sea detenido por las constantes fallas de los mismos, se debe al mismo tiempo crear un plan de mantenimiento preventivo para evitar que los equipos sean reparados hasta que se hayan dañado.
- ✓ Dotar el laboratorio de los equipos, materiales y reactivos necesarios para que se puedan realizar los análisis y mediciones de una manera precisa.

- ✓ Se debe capacitar y entrenar al personal operario tanto en los fundamentos teóricos de tratamiento de aguas residuales como en el conocimiento detallado de las tecnologías que utilizan los equipos con que cuenta el sistema, ya que el conocimiento que tienen a la fecha es debido a la experiencia de trabajo en la planta, esta capacitación debe de enmarcarse como un proceso de mejora continua.

## VIII BIBLIOGRAFÍA

Arango Bedoya, O; Sanches E Sousa, L. 2009. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB (en línea). Facultad de Ciencias Agropecuarias 7(2):24-31. Consultado 29 nov. 2011. Disponible en <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol7-2/TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DE%20LA%20INDUSTRIA.pdf>

Arango Ruíz, A; Garcés Giraldo, LF. 2007. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea (en línea). Producción + Limpia 2(2):24-30. Consultado 11 nov. 2011. Disponible en [http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL\\_V2N2\\_23-30\\_electrocoagulaci%C3%B3n.pdf](http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL_V2N2_23-30_electrocoagulaci%C3%B3n.pdf)

Arango Ruíz, A; Garcés Giraldo, LF. 2008. Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea por electrocoagulación (en línea). Ingeniería Química no. 458. Consultado 17 nov. 2011. Disponible en <http://www.infoambiental.es/html/files/pdf/amb/iq/458/14ARTICULOABR.pdf>

Arboleda Valencia, J. 1992 Teoría y práctica de la Purificación del agua: Teoría de la Coagulación del Agua (en línea). Colombia. Consultado 27 abr. 2011. Disponible en [http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/teoria\\_coagulacion\\_agua.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/teoria_coagulacion_agua.pdf)

Cámara, L Da; Hernández, M; Paz, L. s. f. Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias (en línea). Consultado 22 nov. 2011. Disponible en [http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/efluentes/manual\\_tratamiento.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/efluentes/manual_tratamiento.pdf)

Cardona Gómez, J; García Galindo, LA. 2008. Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM®) sobre la calidad de un agua residual doméstica (en línea). Tesis Microbiología Industrial. Bogotá, CO. Pontificia Universidad Javeriana. 152 p. Consultado 25 mayo 2011. Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis204.pdf>

CAR/PL (Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, ES). 2002. Prevención de la contaminación en la Industria Láctea (en línea). Barcelona, ES. Consultado 16 nov. 2011. Disponible en [http://coli.usal.es/web/demo\\_appcc/demo\\_ejercicio/lac\\_es.pdf](http://coli.usal.es/web/demo_appcc/demo_ejercicio/lac_es.pdf)

Comité Técnico Nacional para la calidad de agua. 1996. Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario (en línea). Tegucigalpa, HN. Consultado 30 mayo 2011. Disponible en <http://www.honducompras.gob.hn/docs/Lic480BID-Mdej-002-2009407-EnmiendaAdendum.pdf>

Crespo Carrasco, C; Solano Grófalo, N. 2005. Diseño de un sistema de tratamientos unitarios de aguas residuales de una planta procesadora de tilapia (en línea). Tesis Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral, EC). Consultado 22 abril 2011. Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1737/1/3431.pdf>

Crites, R; Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Trads. M Camargo; LP Pardo; G Mejía. Santafé de Bogotá, CO. McGraw-Hill Interamericana, S.A. p. 33-85

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) 2009. Food outlook: leche y productos lácteos (en línea). Consultado 30 mayo 2011. Disponible en [http://www.fedeleche.cl/varios/PerspectivasAlimentariasFAO\(Dic.2009\).pdf](http://www.fedeleche.cl/varios/PerspectivasAlimentariasFAO(Dic.2009).pdf)

Flores Cisneros, AF. 2007. Tratamiento de aguas residuales provenientes de una empresa textil (en línea), Tesis Ing. Química. Quito, EC. Escuela Politécnica Nacional. 119 p. Consultado 1 dic. 2011. Disponible en <http://biblioteca.epn.edu.ec/catalogo/fulltext/CD-0907.pdf>

Jaramillo Bustos, DM; Pozo Olmedo, KR. 2006. Diseño de un Sistema de Producción más Limpia para la Empresa Lácteos de Honduras Sociedad Anónima (LACTHOSA) (en línea). Tesis Lic. Ing. Desarrollo Socioeconómico. Zamorano, HN. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 54 p. Consultado 18 mayo 2011. Disponible en [http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis\\_infolib/2006/T2338.pdf](http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis_infolib/2006/T2338.pdf)

Laurijssens, P. 2005. Report on the assistance with respect the selection of the proper wastewater treatment technology for a dairy industry in Honduras. Industrias Lácteas Delta. Barrio Bermejo, Carretera a Puerto Cortés, San Pedro Sula, Honduras. 11 p.

Matute, SA. 2000. Conceptos para el tratamiento de residuos lácteos: Tratamiento de residuos Lácteos (en línea). Consultado 15 mayo 2011. Disponible en [http://www.cnp.go.cr/php\\_mysql/admin/KTML/uploads/files/boletines/TratResLactLiquidos.pdf](http://www.cnp.go.cr/php_mysql/admin/KTML/uploads/files/boletines/TratResLactLiquidos.pdf)

Fernández J; Curt MD .s.f. Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación. Métodos analíticos para aguas residuales. 117-128 p. Consultado 27 mayo 2011. Disponible en [http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%20Anexos1.pdf](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%20Anexos1.pdf)

Pacheco, CE; Colón, E. s.f. Utilización de unidad innovadora de pre-tratamiento de aguas usadas domesticas e industriales (en línea). Consultado 15 nov. 2011. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIAS16.pdf>

Rodríguez, JA. s. f. Tratamiento anaerobio de aguas residuales (en línea). Cali, CO. Consultado 29 nov. 2011. Disponible en <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Tratamiento%20anaer%C3%B3bico%20de%20efluentes.pdf>

UDPLA (Universidad de las Américas Puebla). s.f. Fundamentos del tratamiento de agua residual (en línea). Consultado 18 mayo 2011. Disponible en [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo2.pdf)

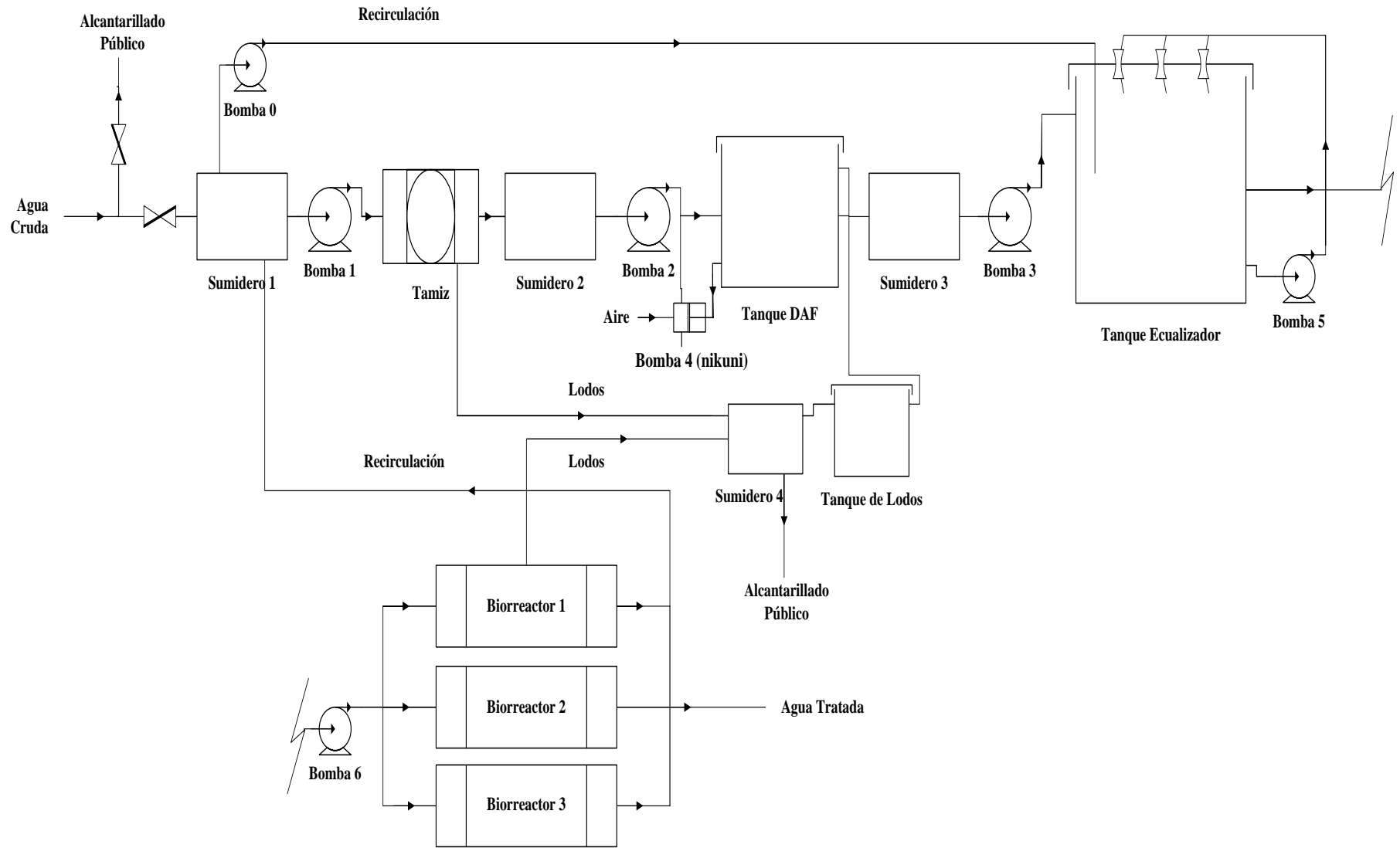
World Water Works, Inc. Nikuni Pump Operational Manual. p. 1-10.

Wouda, T.W.M. 2011. Informe presentado a Industrias Lácteas de Honduras (LACTHOSA). Barrio Bermejo, Bulevar del norte, San Pedro Sula, Honduras. 20p.

# Anexos



**Anexo 1.** Esquema básico del flujo de proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales antes de los cambios propuestos.



Fuente: LACTHOSA, Junio 2011

**Anexo 2.** Análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) por el método colorimétrico HACH.

### **PROCEDIMIENTO**

Los pasos que este método establece para determinar este parámetro son:

- Precalentar el termoreactor eco 25 velp científica a 150°C
- Tomar con una pipeta una alícuota de 2 ml de muestra, colocarla en un vial reactivo de digestión y agitarlo varias veces.
- Para la muestra en blanco, colocar 2 ml de agua destilada en un vial reactivo de digestión y agitar.
- Llevar ambos tubos al equipo de calentamiento, dejar en la digestión por dos horas.
- Luego del tiempo de digestión esperar 20 minutos, agitar nuevamente los viales y esperar que se enfríen (si aparece un color verde en la muestra tratada, medir la DQO y si es necesario repetir la prueba con una muestra diluida).
- Limpiar el vial de la muestra en blanco, colocarlo en el colorímetro DR/890 para ajustarlo a cero.
- Limpiar el vial de la muestra tratada, colocarlo en el colorímetro DR/890 y tomar la lectura de DQO en mg/l.

Los viales son tubos en los que se da la oxidación de la materia orgánica con el ácido sulfúrico y crómico, con exceso de dicromato de potasio y como catalizador sulfato de plata. Este parámetro es el más usado debido a que es representativo, es de fácil y rápida determinación, además de mantener una relación aproximadamente constante con la DBO.

**Anexo 3.** Normas de calidad en Honduras para descarga de aguas residuales en cuerpos receptores.

|                 | <b>PARÁMETRO</b>                | <b>VALOR PERMISIBLE</b>                                |
|-----------------|---------------------------------|--|
| GRUPO A         | Temperatura                     | <25.00 Grados centígrados                              |
|                 | Color                           | <200.00 uc   |
|                 | pH                              | 6.00 a 9.00  |
|                 | Volumen Descargado              | <10% del caudal o volumen promedio del cuerpo receptor |
| GRUPO B         | Sólidos Sedimentables (S. Sed.) | 1.00 mg/l/h  |
|                 | Sólidos Suspendidos (S. Sus.)   | 100.00 mg/l  |
|                 | Material Flotante y Espuma      | AUSENTE  |
| GRUPO C         | DBO                             | 50 mg/l  |
|                 | DQO                             | 200.00 mg/l  |
|                 | Grasas y Aceites                | 10.00 mg/l   |
| GRUPO D         | Nitrógeno total Kjeldahl        | 30.00 mg/l   |
|                 | Nitrógeno amoniacal             | 20.00 mg/l   |
|                 | Fósforo total                   | 5.00 mg/l  |
|                 | Sulfuros                        | 0.25 mg/l  |
|                 | Sulfatos                        | 400.00 mg/l  |
|                 | Aluminio                        | 2.00 mg/l  |
|                 | Bario                           | 5.00 mg/l  |
|                 | Hierro                          | 1.00 mg/l  |
|                 | Manganeso                       | 2.00 mg/l  |
|                 | Zinc                            | 2.00 mg/l  |
| GRUPO E         | Cobre                           | 0.50 mg/l  |
|                 | Estaño                          | 2.00 mg/l  |
|                 | Níquel                          | 2.00 mg/l  |
|                 | Plata                           | 0.10 mg/l  |
|                 | Plomo                           | 0.50 mg/l  |
|                 | Mercurio                        | 0.01 mg/l  |
|                 | Cadmio                          | 0.05 mg/l  |
|                 | Cromo total                     | 1.00 mg/l  |
|                 | Cromo hexavalente               | 0.10 mg/l  |
|                 | Cobalto                         | 0.50 mg/l  |
|                 | Arsénico                        | 0.10 mg/l  |
|                 | Cianuro                         | 0.50 mg/l  |
|                 | Fluoruros                       | 10.00 mg/l   |
|                 | Selenio                         | 0.20 mg/l  |
|                 | Bifenilos Policlorados          | AUSENTE  |
|                 | Tricloroetileno                 | 0.30 mg/l  |
| Tetracloroetano | 0.10 mg/l                       |  |

|         |                              |             |
|---------|------------------------------|-------------|
|         | Tetracloruro de carbono      | 1.00 mg/l   |
|         | Dicloroetileno               | 1.00 mg/l   |
|         | Cloroformo                   | 0.03 mg/l   |
|         | Sulfuro de de carbono        | 1.00 mg/l   |
|         | Pesticidas órgano clorados   | 0.05 mg/l   |
|         | Pesticidas órgano fosforados | 0.10 mg/l   |
|         | Hidrocarburos                | 0.50 mg/l   |
|         | Fenoles                      | 0.50 mg/l   |
|         | Detergentes                  | 2.00mg/l    |
| GRUPO F | Coliforme fecal              | 5000/100 ml |
| GRUPO G | Isotopos radioactivos        | AUSENTE     |

Fuente: Comité Técnico Nacional para la calidad de agua, 1996.