

**INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS FISICO-QUÍMICOS DEL
FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A DE BUCARAMANGA - RIONEGRO**

**CARLOS ANDRÉS CASTRO PALACIOS
GENNER EDUARDO RINCÓN PEÑA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTA DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

**INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS FISICOQUÍMICOS DEL FRIGORÍFICO
VIJAGUAL S.A DE BUCARAMANGA - RIONEGRO**

**CARLOS ANDRÉS CASTRO PALACIOS
GENNER EDUARDO RINCÓN PEÑA**

**Trabajo presentado como requisito para obtener el título de:
Ingeniero Químico**

Directora:

PAOLA ACEVEDO

Ingeniera Química Ph.D

Codirector:

RIGOBERTO PINILLA CORZO

Microbiólogo Industrial

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTA DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2012

“Esta tesis es dedicada al amor de Dios Jehová el cual se asemeja al amor de mi madre Orfidia Palacios Pinto que me apoya incondicionalmente y a toda la comunidad científica de la Universidad Industrial de Santander.”

“Un día que no ría es un día en vano”

Chaplin

CARLOS ANDRES CASTRO PALACIOS

A quien me ha dado la vida sobre la tierra y la inteligencia para poder transformar cada una de las materias primas que existen sobre ella, quien me ha ayudado a descubrir mis Dones y hacer las fortalezas cada día para ser mejor persona y ayudar al desarrollo de las comunidades: gracias DIOS.

A MARIA quien amo con todo mi amor y corazón, gracias por darme la vida y ayudarme hacer parte de lo que soy, Graciasiii María Rebeca Peña te amo con todo mi corazón y con toda mi alma.

A Delio Vicente Rincón, quien amo y aprecio, agradezco el aprendizaje transmitido de trabajo y responsabilidad.

A mis hermanos Gloria Peña, Armando Rincón, Vicente Rincón, Wilson Rincón, Henry Rincón, Nubia Rincón y Elcy Rincón por su apoyo moral y económico en el desarrollo de la carrera como ingeniero.

A Marina, Yamile, Alvaro Pardo, Ana del Carmen, Claudia, Luz Miriam, gracias por estar siempre pendientes de mi desarrollo como profesional.

A mis compañeros de Ingeniería Química, a Clarita, Victor, Elizabeth, Eduardo, Andrés, gracias por su amistad y compañerismo

GENNER EDUARDO RINCON PEÑA

AGRADECIMIENTOS

Al Estado Colombiano por sostener las Universidades Públicas y garantizar el Derecho a la Educación, sin esto no fuese posible esta Meta.

A la Universidad Industrial de Santander, por mantenerse firme en el desarrollo de su Misión y Visión, con el fin de formar profesionales autónomos que generen desarrollo a la Región, al País y al Mundo.

A Paola Acevedo P. Ph.D. y Rigoberto Pinilla por su asesoría en el desarrollo del proyecto de grado.

Al Frigorífico Vijagual S.A. por permitir acceder a su empresa y realizar el estudio que hizo posible el desarrollo del proyecto de grado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1 FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.	19
1.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA	19
1.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	20
1.3.1 Descripción del sistema de pre-tratamiento	23
1.3.2 Conducción de aguas residuales	24
1.3.3 Cribado	25
1.3.4 Captación del agua residual en el Tanque de recepción	25
1.3.5 Tanques de Igualación	25
1.3.6 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	26
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR	27
1.4.1. Coagulación y Oxidación	27
1.4.2 Floculación	28
1.4.3 Sedimentación	28
1.4.4 Módulo de Tratamiento Final	28
1.4.5 Vertimiento a la Quebrada	29
1.5 TABLA DE PARÁMETROS	30
2. METODOLOGÍA	31
2.1 CONSTRUCCIÓN GENERAL DEL PROCESO	31
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO REALIZADO EN CAMPO	32
2.3 EQUIPOS EMPLEADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO	33
2.4 SEGUIMIENTO FÍSICO-QUÍMICO	35
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39

3.1 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA EL FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.	39
3.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA. POR ETAPAS Y GLOBALES	40
3.2.1 Balances de masa y energía por etapas	41
3.2.2 Balances de masa y energía globales	46
3.3 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	46
CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Sistema aplicado actualmente a las aguas residuales.	31
Figura 2: Seguimiento de temperatura máxima y mínima durante 5 horas.	36
Figura 3: Hora vs PH de entrada y salida.	37
Figura 4: Hora versus caudal muestra de entrada y salida del sistema.	37
Figura 5: Balances de masa y energía del sistema.	40
Figura 6: Balance de masa. Etapa de cribado.	41
Figura 7: Balance de masa y energía. Etapa de bombeo 1.	41
Figura 8: Balance de masa y energía. Etapa tanques de igualación.	42
Figura 9: Balance de masa y energía. Etapa de extracción sólido-líquido, etapa 1.	42
Figura 10: Balance de masa y energía de la ptar.	43
Figura 11: Balance de masa y energía. Etapa de lodos de la ptar, bombeo 2.	44
Figura 12: Balance de masa y energía. Etapa de aireación de lodos.	44
Figura 13: Balance de masa y energía. Etapa de bombeo en aireación, bombeo 3.	45
Figura 14: Balance de masa y energía. Etapa de centrífuga, etapa 2.	45
figura 15: balances de masa y energía globales.	46

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros de calidad del agua en la entrada y salida del proceso de tratamiento	24
Tabla 2. Parámetros legales de aceptación	30

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Bosquejo que describe el proceso de tratamiento de aguas residuales	50
Anexo B. Cuantificación entradas y salidas del tratamiento de aguas residuales del Frigorífico Vijagual S.A.	51

RESUMEN

TÍTULO: INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS FISICOQUÍMICOS DEL FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A DE BUCARAMANGA – RIONEGRO.

AUTORES: CARLOS ANDRÉS CASTRO PALACIOS, GENNER EDUARDO RINCÓN PEÑA**

PALABRAS CLAVES: Inventario, ciclo de vida, tratamiento, aguas residuales.

El presente trabajo de grado contiene el estudio del inventario del ciclo de vida del sistema de tratamiento de aguas residuales por procesos fisicoquímicos, realizado al frigorífico Vijagual S.A. entidad encargada del sacrificio de ganado; el frigorífico está ubicado en el kilómetro 8 vía Bucaramanga – Rionegro, Santander (Colombia).

En el estudio del frigorífico, se determina el inventario, que permite observar el contenido de las aguas residuales, las cuales, salen cargadas con sangre, estiércol, material ruminal, pelos, fibras de fique, huesos, grasas, proteínas, contaminantes solubles. El estudio contiene los cálculos de balances de masa y energía, obtenidos a través de las mediciones de caudales, potencial de hidrógeno pH, demanda bioquímica de oxígeno DBO₅, demanda química de oxígeno DQO y densidades.

El Inventario del ciclo de vida del tratamiento de aguas residuales por procesos fisicoquímicos dio como resultado: El diseño del ciclo de vida para el frigorífico Vijagual S.A., representado en los flujos que describen la operación del tratamiento de aguas residuales a través del cálculo de los balances de masa, energía y la medición de los flujos en el proceso. El ciclo de vida también contiene, el bosquejo de la planta de tratamientos de aguas residuales y la recomendación de eliminar los ciclos internos, para aumentar la eficiencia en la operación de tratamientos de las aguas residuales en el frigorífico Vijagual S.A.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniería Físico- Químicas. Escuela de Ing. Química. Ph.D. Paola A. Acevedo. Msc. Rigoberto Pinilla Corzo.

ABSTRACT

TITLE: LIFE CYCLE INVENTORY STUDY OF THE TREATMENT SYSTEM FOR WASTEWATER BYE PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES FOR VIJAGUAL S.A FRIDGE IN BUCARAMANGA-RIONEGRO

AUTHORS: CARLOS ANDRÉS CASTRO PALACIOS, GENNER EDUARDO RINCÓN PEÑA**

KEYWORDS: inventory, life cycle, treatment, wastewater.

This paper contains the life cycle inventory study of the treatment system for waste water physicochemical processes, performed at fridge Vijagual SA entity of slaughtering livestock, the refrigerator is located at kilometer 8 Bucaramanga - Rionegro, Santander (Colombia).

In the study of the refrigerator, the inventory is determined, which allows to observe the content of the wastewater, which, laden with blood out, manure, ruminal materials, hair, sisal fibers, bone, fat, protein, soluble contaminants. The study contains the calculations of mass and energy balances, obtained from measurements of flow, pH hydrogen potential, biochemical oxygen demand BOD5, chemical oxygen demand COD and densities.

The life cycle inventory of wastewater treatment by physicochemical processes resulted: The design life cycle for the fridge Vijagual SA, represented in flows that describe the operation of wastewater treatment by calculating the balance mass, energy and measuring the flows in the process. The life cycle also contains the outline of the sketch wastewater treatment and the recommendation to remove the internal recycles, to increase efficiency in the operation of wastewater treatment in the fridge Vijagual SA.

* Graduation project

** Physicochemical Engineering Faculty. School of Chemical Engineering. Ph.D. Paola A. Acevedo. Msc. Rigoberto Pinilla Corzo.

INTRODUCCIÓN

El Frigorífico Vijagual S.A. es una entidad privada, encargada del sacrificio de ganado; está ubicada en el kilómetro 8 vía Bucaramanga – Rionegro, Santander (Colombia). La función principal del Frigorífico, es la producción, transformación y conservación de carne y de derivados cárnicos. En estos procesos, el Frigorífico utiliza abundante agua para la limpieza tanto de las reses en sacrificio como el lavado de pisos, maquinaria, equipos y servicios sanitarios; como resultado se obtienen aguas residuales o efluentes cargadas con sangre, estiércol, material ruminal, pelos, fibras de fique, huesos, grasas, proteínas y contaminantes solubles. Cada producto manufacturado en el Frigorífico, genera emisiones que ocasionan impacto ambiental directo sobre el aire, agua y suelos.

El objetivo del estudio de inventario y diseño del ciclo de vida en la recopilación y evaluación de las entradas, salidas de un sistema producto (conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente que realizan una o más funciones definidas) durante su ciclo de vida, que se ajusta a la normatividad colombiana que define los parámetros de evaluación de efluentes o aguas residuales para mataderos y en este caso para el Frigorífico Vijagual S.A. [1]

En resumen el inventario y diseño del ciclo de vida para el frigorífico Vijagual S.A., debe representar los flujos que describe la operación del tratamiento de aguas residuales, a través del cálculo de los balances de masa, energía y la medición de los flujos en el proceso. El ciclo de vida también contiene, el bosquejo de la planta de tratamientos de aguas residuales y la recomendación de eliminar los ciclos internos, para aumentar la eficiencia en la operación de tratamientos de las aguas residuales en el Frigorífico.

Con el estudio se elabora el inventario del ciclo de vida del sistema de tratamiento de aguas residuales por procesos fisicoquímicos, que lleva a implementar procesos de producción más limpios (PML) por parte del Frigorífico como son: reutilizar las aguas tratadas para limpieza de suelos, generar productos nuevos a partir del reciclaje de materia orgánica; residuos sólidos como humus seco y líquidos como humus líquido.

El Inventario del ciclo de vida del sistema de tratamiento de aguas residuales del Frigorífico Vijagual S.A., abre paso para que esta entidad, se convierta en la primera industria santandereana en usar el ciclo de vida como herramienta de gestión ambiental y mejoramiento de procesos de tratamiento de aguas residuales.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.

El Frigorífico VIJAGUAL S.A. se ubica en el km 8 vía Bucaramanga – Rionegro, Santander Colombia. Esta empresa fue fundada el 28 de Noviembre de 1996, como Sociedad Anónima, inicialmente denominada Central de Beneficio y Frigorífico de Santander – Frigosan S.A; y posteriormente cambió de razón social como Frigorífico Vijagual S.A.

El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA y el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA organismos gubernamentales de inspección y control, declararon al Frigorífico como apto para la exportación de carne y fue certificado como Matadero Clase I, según lo establece el Decreto 1036 de 1994.

1.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

El análisis de inventario es un proceso de cuantificación de los flujos de energía y materiales que entran y salen de una actividad durante su ciclo de vida. Un análisis del inventario es fundamentalmente un balance de materia y energía del sistema de tratamiento de aguas residuales.

La evolución de la aplicación de los análisis de ciclo de vida, inicia en los Estados Unidos y Europa, el primer estudio, fue realizado por Midwest Research Institute, cuyo objetivo primordial es la disminución de consumo de recursos durante la cadena productiva. En los años siguientes, se continuó perfeccionando este tipo de estudios, incluyendo dentro de su metodología balances másicos y energéticos para describir los procesos en estudio. [2]

Posteriormente la Organización Internacional de Estandarización, se vinculó al desarrollo de la norma, formulando una serie de documentos donde se especifican

estándares para la definición de la meta y el alcance, evaluación del inventario, evaluación del impacto y la interpretación de los análisis de ciclo de vida.

1.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A raíz de la necesidad de tratar las aguas residuales, en el mercado industrial fue común encontrar empresas instaladoras de tratamientos de depuración de aguas y fabricantes de maquinaria de depuración, buscando una salida rápida, sin generar mayor inversión en procesos de estudio y caracterización del efluente, parámetros imprescindibles a la hora de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales. Visto desde otro ángulo, muchas veces se acudía a empresas constructoras de sistemas de tratamiento o plantas depuradoras, que garantizaban tratamientos eficientes, pero varias de estas empresas vendían tecnologías completamente obsoletas y sobre dimensionadas, sin contar con personal técnico que se encargara de hacer los diseños y estudios previos; se instalaba un mismo sistema que se encargaba de depurar cualquier tipo de corriente líquida contaminada, desconociendo la complejidad y sensibilidad de cada tratamiento.

Esta empresas optaron por realizar un pretratamiento de separación de las sustancias químicas no biodegradables; fue entonces cuando se acondicionaron cámaras de flotación, floculación, cribas, pretratamiento que se hacía más eficiente con la dosificación de sustancias químicas e inyección de aire, lo que mejoró substancialmente el proceso, y permitió implementar ese sistema de tratamiento a varias clases de industrias con efluentes similares.

El uso de los sistemas físico-químicos fue muy eficiente para realizar separaciones de materiales suspendidos, grasas y aceites; así mismo demostró que su correcta operación contribuía a la reducción de parámetros contaminación orgánica, principalmente DBO5 y DQO; y que estos valores eran reducidos gracias a la acción de un sistema final de tratamiento biológico.[3]

Existen varios puntos que se deben comprender el porqué del descontento industrial hacia estos sistemas de tratamiento:

- Sistemas para retiro de grasas.
- Ajustes deficientes de pH y nutrientes.
- Procesos inadecuados de cribado y decantación.
- Procesos erróneos de purga.

Los procesos de depuración físico-químicas en los mataderos estaban fundamentados principalmente en procesos de separación, que aunque este proceso no puede ser considerado como depuración, el sistema mejoraba en gran medida la cantidad de materia orgánica de las aguas residuales industriales, removiendo sólidos, grasas y aceites.

Con el paso del tiempo, el proceso se fue perfeccionando por medio de la adición de sustancias químicas aglutinantes denominadas floculantes, que favorecían el proceso de flotación de las materias y por ende su separación. De la misma manera, como se perfeccionó el sistema de tratamiento biológico, en este sistema fue necesario adicionar procesos de cribas, decantación de sólidos, homogenización para tratar de caracterizar de forma más generalizada el efluente a tratar.

Hasta este punto, todo el proceso arrojaba resultados positivos, siempre y cuando la operación, mantenimiento y monitoreo se realizara de forma adecuada. El proceso empezó a generar dificultades cuando se observaron los volúmenes de lodos activados generados, ya que eran cantidades muy grandes y algo complejas de manejar; estos lodos concentraban los reactivos usados en el proceso y la carga contaminante era separada por la acción de los mismos reactivos químicos.

Adicional a lo anterior, si a los lodos activados no se les aplica un tratamiento adicional de depuración, segregan olores ofensivos y tóxicos para el ambiente, lo que hacía de este material una matriz imposible de utilizar en otros procesos, generando contaminación en los vertimientos. Al aumentar los controles ambientales, fue necesario realizar investigaciones científicas sobre el mantenimiento y operación de estos sistemas, para aumentar sus rendimientos y minimizar la carga orgánica de las aguas; gracias a estos estudios se ha podido llegar a obtener sistemas de tratamiento de aguas residuales de la industria de beneficio de ganado bovino, que se han convertido en sistemas de tratamiento biológicos económicos para las empresas en el sector industrial.

Hacia el final de los años ochenta fueron presentados varios estudios sobre ACV, principalmente por parte de industrias privadas de países industrializados europeos, sin embargo las metodologías con que se realizaron estos estudios fueron diversas y sin marcos teóricos comunes; hasta la década del noventa se inició el auge del ACV, gracias a estudios desarrollados durante la crisis del petróleo donde se realizaron numerosos estudios para recolectar y elaborar inventarios de cargas ambientales a lo largo del ciclo de vida (ICV).[4]

En general, la elección del mejor sistema de tratamiento de agua, se basa en primer lugar en las limitaciones económicas y técnicas. Sin embargo, la industria de tratamiento de agua puede ser responsable de importantes impactos ambientales globales, el más común entre los que son el agotamiento de los recursos naturales y la liberación indirecta de contaminantes en el agua, suelo y aire a través de los productos químicos y el consumo de energía. Hasta la fecha, existe poca información sobre esos impactos y la información disponible, se encuentra en el contexto de América del Norte y de nuevos procesos de tratamiento de agua.

El análisis de ciclo de vida (ACV) sirve para evaluar los daños ambientales potencialmente generados por un producto, un proceso o un servicio desde la cuna a la tumba. Cuatro etapas son necesarias para llevar a cabo un ACV:

- Definiciones y objetivo del estudio.
- Alcance y unidad funcional.
- Inventario del ciclo de vida (ICV), ciclo de vida de la evaluación del impacto (LCIA).
- Interpretación de resultados del ACV.

El ACV se puede utilizar para analizar y comparar varios procesos o sistemas a través de su contribución a los impactos globales del medio ambiente. La definición de la unidad funcional es una cuestión importante que permite una comparación equitativa de los diferentes sistemas a través de ACV. [5]

Los tratamientos a los residuos y eliminación de aguas residuales originadas en las plantas de beneficio de ganado bovino y plantas procesadoras de carne, se han venido convirtiendo en un potencial económico, de higiene pública contribuyendo al impacto ambiental favorable al aire, agua y suelo.

1.3.1 Descripción del sistema de pre-tratamiento. La planta de tratamiento de aguas residuales del Frigorífico Vijagual, tiene un sistema de tratamiento físico-químico, con un tratamiento de estructura de cribado, tanques de igualación, sedimentación acelerada, homogenización, flotación hidráulica, oxidación y transformación en subproductos como los abonos para la venta.[6]

Dentro de la producción del Frigorífico Vijagual S.A. las aguas residuales o efluentes vienen cargada con sangre, estiércol, material ruminal, pelos, fibras de fique, huesos, grasas, proteínas y contaminantes solubles. Cada producto manufacturado en el Frigorífico, genera emisiones que ocasionan impacto ambiental directo sobre el aire, agua y suelos. El Frigorífico viene tratando sus aguas servidas utilizando un sistema de tratamiento fisicoquímico que opera

desde hace años, en cumplimiento de los estándares establecidos en la legislación Colombiana. Una vez las aguas son tratadas según parámetros establecidos por el decreto 1594 del 84 artículo 72: *“los residuos líquidos deben ser sometidos a un tratamiento especial por los mataderos”*; el vertimiento final lo hacen a la quebrada el Aburrido.

En un monitoreo ambiental registrado un año atrás al frigorífico Vijagual S.A., se obtuvo la siguiente caracterización.

Tabla 1. Parámetros de calidad del agua en la entrada y salida del proceso de tratamiento

PARAMETRO	INICIAL mg/L	FINAL mg/L
DBO₅	1316	117
DQO	6473	291
SST	3480	148
ST	19655	1384
G&A	54757	13

Fuente: datos suministrados por Frigorífico Vijagual S.A. calculados en el 2011.

En la Tabla 1 se observan los parámetros iniciales y finales de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), SST, ST, grasas y aceites G&A.

Dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales en el Frigorífico Vijagual S.A. se utilizan reactivos químicos como son: sulfato de aluminio, hidróxido de sodio, cloro gaseoso, cal, polímero secante.

1.3.2 Conducción de aguas residuales. El agua residual que se genera de las diferentes actividades desarrolladas en el Frigorífico Vijagual S.A., es conducida por tuberías de policloruro de vinilo hasta la zona de cribado.

1.3.3 Cribado. En su entrada se toman las muestras del agua residual. Este subproceso se compone por dos rejillas, la primera con 32 rejillas de 5cm x 5mm x 3m, ángulo de 45º y 1.5 cm de separación entre ellas; la segunda con 50 rejillas de 5cm x 5mm x 3m, ángulo de 45º y 1 cm de separación entre ellas donde se retienen los sólidos de mayor tamaño como partículas gruesas de rumen, restos de estiércol, cascos de cerdos y vacas etc. La limpieza de las rejillas se realiza manualmente con un rastrillo y después manualmente se le añade cal a cada una de estas, cada vez que sea necesario.

1.3.4 Captación del agua residual en el Tanque de recepción. Toda el agua utilizada en el Frigorífico Vijagual S.A., se capta en el tanque de recepción, el cual está ubicado en la parte baja de la planta de tratamiento, desde allí es bombeada toda el agua residual a los tanques de igualación a un caudal entre 600 - 1200 galones por minuto.

1.3.5 Tanques de Igualación. Son dos tanques con una capacidad de 300 metros cúbicos cada uno, en los cuales se realiza un primer tratamiento dada la primera decantación (sedimentación) de sólidos la cual es muy alta debido a la gran reducción de velocidad a la cual se somete el caudal que entra. En estos tanques se adiciona una solución de cloro gaseoso entre 50 - 500 libras en 24 horas, dependiendo del flujo de agua a tratar; cuando el flujo de agua se aproxima a los 300m³ la adición de cloro llega a ser hasta de 500 libras en 24 horas, también depende dependiendo de la calidad del agua residual; en las mañanas se hace lavado de establos y el flujo es menor, mientras que después del medio día empieza el sacrificio y el flujo de agua a tratar es mayor.

El operario de la PTAR conecta la resistencia del clorador y pone en funcionamiento la bomba que suministra el agua proveniente de un tanque enterrado de 1000 litros y que arrastra el cloro proporcionado por el clorador hasta los tanques de igualación. Los lodos son evacuados a través de purgas, los cuales

son conducidos por gravedad al sistema mecánico de filtración compuesto por dos filtros rotatorios y un tornillo sin fin. Los lodos que son purgados a los tanques de igualación, van a los filtros rotatorios o Rotopres (centrifuga); los residuos sólidos más grandes son separados de su impregnación líquida, luego el lodo pasa a un tornillo prensa donde sale con muy poca humedad y es enviado al tornillo sin fin y a la zona de cargue. El agua liberada de la Rotopres es retornada nuevamente al tanque de recepción a la entrada del sistema de tratamiento y nuevamente bombeada a los tanques de igualación.

De estos tanques de igualación el agua de rebose es conducida por gravedad a la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, donde el agua entra con un caudal controlado dependiendo del nivel de graduación de las válvulas, siendo este caudal en promedio de 18 litros/segundo, pero la capacidad de diseño de esta planta permite tratar un caudal máximo de 22 litros/segundo, el cual se encuentra por encima del caudal promedio de tratamiento lo que garantiza entregar un vertimiento a la fuente de agua que cumple con los requisitos exigidos por la normatividad.

El caudal entregado de los tanques de igualación a la planta de tratamiento PTAR es dividido hacia cada vertedero (dos módulos en paralelo) para iniciar el tratamiento fisicoquímico.

1.3.6 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Esta planta se encuentra dividida en dos módulos y cuenta con una capacidad de almacenamiento de 670m^3 , subdividido cada módulo en 10 tanques de oxidación y flotación, módulo de floculación, módulo de sedimentación, un tratamiento final, ajuste del pH y una estructura de descarga a la quebrada. A la entrada de la planta de tratamiento está ubicada una pileta la cual recibe la tubería que descarga el agua a tratar proveniente de los tanques de igualación, luego el agua pasa por dos vertederos ubicados a la entrada de cada módulo los cuales

alimentan al primer tanque de oxidación y flotación; el agua inicia el recorrido por los 10 respectivos tanques de oxidación y flotación, los cuales pueden alojar cada uno un volumen de 21.5m^3 , y teniendo en cuenta el caudal promedio de operación de la planta, permite obtener un tiempo de retención de 40 minutos en cada tanque de oxidación y flotación para un tiempo de retención total en estos módulos de 6.6 horas, posteriormente pasa al módulo de floculación hidráulica; aquí se aglomeran las partículas coagulantes con un tiempo de retención de 37 minutos, luego al módulo de sedimentación acelerada tipo colmena con un tiempo de retención de 1.7 horas, posteriormente el agua es recogida por una canaleta y conducida hacia dos módulos finales de tratamiento donde el agua pasa a través de 4 tanques de sedimentación con placas inclinadas aumentando el tiempo de retención en 1.6 horas y finalmente el agua proveniente de los dos módulos es evacuada por tres tuberías ubicadas en una última canaleta de recolección y descargada a la estructura de entrega de la PTAR a la quebrada El Aburrido, conduciendo a un tiempo de retención total de tratamiento de 10.5 horas aproximadamente.

Al llegar el agua a la pileta ubicada antes de los vertederos en la entrada de la planta de tratamiento, se adicionan soluciones de sulfato de aluminio y de cloro gaseoso. Pasa al sistema de sedimentación acelerada tipo colmena, se adiciona nuevamente sulfato de aluminio si se requiere remover más carga orgánica presente en el agua y se adiciona a la entrada del último módulo soda cáustica para ajuste del pH del agua de salida.

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR

1.4.1. Coagulación y Oxidación. Una vez se adicionan las soluciones, por efecto del sulfato de aluminio se inicia la coagulación en medio fuertemente ácido; seguidamente se inicia un recorrido a través de la planta por tanques de oxidación

y flotación, en este recorrido se desarrollan los procesos de coagulación y oxidación donde el agua residual es sometida a una agitación leve dado que el agua tiene que subir y bajar para pasar de un compartimiento a otro. El sulfato de aluminio (coagulante) tiene la función primordial de suministrar iones capaces de neutralizar efectivamente las cargas eléctricas de la mayor parte del material coloidal existente en el agua y así causar su precipitación. Estas soluciones son adicionadas por medio de bombas dosificadoras reguladas por un tablero de control operado por el operario de la PTAR; estas bombas garantizan un flujo continuo de estas soluciones al agua residual el cual depende del caudal de agua a tratar. Los lodos generados son purgados a los fosos de recolección de lodos.

1.4.2 Floculación. El agua entra al laberinto de floculación (flujo turbulento), inicia la formación de flóculos los cuales se acondicionan de tal forma que pueden ser removidos fácilmente en la siguiente etapa de sedimentación. Para acelerar el proceso es adicionado sulfato de aluminio monitoreado desde el tablero de control. Los lodos sedimentados son purgados a otra etapa del proceso que son los fosos de recolección de lodos.

1.4.3 Sedimentación. Una vez el agua ha terminado el recorrido por el laberinto de floculación, entra al módulo de sedimentación acelerada tipo colmena cambiando su flujo turbulento a flujo laminar, dando lugar a una decantación de lodos los cuales son purgados a los fosos de recolección de lodos. Posteriormente el agua pasa por rebose a las canaletas o vertederos dentados que a baja velocidad van llenando la canaleta que conduce el agua al módulo de tratamiento final.

1.4.4 Módulo de Tratamiento Final. En este módulo se adiciona soda cáustica y sulfato de aluminio si se requiere remover más carga orgánica presente en el agua, obteniendo de esta forma una segunda coagulación y precipitación así como ajuste del pH; este módulo está dividido en dos secciones cada una con 4 tanques

de sedimentación y provistos de placas inclinadas donde el agua asciende y desciende progresivamente; en principio, estas soluciones son adicionadas directamente al agua residual por parte del operario de la PTAR, abriendo la válvula de dosificación de las soluciones y ajustando manualmente el caudal de salida y si se requiere se cuenta con un punto adicional de aplicación de soda a la salida de éste último módulo para ajuste final del pH del agua de salida.

Todos los lodos generados en el tratamiento fisicoquímico en la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR son purgados a los fosos de recolección de lodos ubicados a cada lado de la planta, estos lodos son bombeados a los conos espesadores y una vez espesados estos lodos son descargados por gravedad a la poceta de agitación de lodos donde se agrega cal para ajuste del pH y posteriormente son alimentados a la centrífuga (Decanter) con una solución de polímero que facilita su deshidratación. El lodo deshidratado que proviene de la centrífuga Decanter es transportado por un tornillo sin fin al transportador de paletas para ser dispuesto en la zona de cargue de la volqueta. Con el fin de aumentar la capacidad de deshidratación de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales se cuenta con dos centrifugas Decanter.

1.4.5 Vertimiento a la Quebrada. Finalmente el agua es recogida por una canaleta final, la cual, está provista de tres tuberías que descargan el agua a una pileta acondicionada con un vertedero de salida que permite el vertimiento a la quebrada El Aburrido, afluente del río Lebrija con permiso de vertimientos, resolución No.0889 de 2007 de la CDMB, en donde después del tratamiento se garantiza el cumplimiento de los diferentes parámetros exigidos por la norma. En este sitio se realiza la toma de muestra para verificación del proceso como son pH, temperatura y Análisis Fisicoquímicos.

1.5 TABLA DE PARÁMETROS

Con el fin de mejorar el sistema de tratamiento de aguas residuales el frigorífico Vijagual S.A. contrató con una firma interventora el rediseño para la mejora y aumento de la capacidad de tratamiento de las aguas residuales mediante el estudio y pruebas para la implementación de un sistema de flotación por aire disuelto DAF.

En esta Tabla se describen los parámetros establecidos por las normas y leyes Colombianas. El Frigorífico el Vijagual S.A. cumple con estos parámetros.

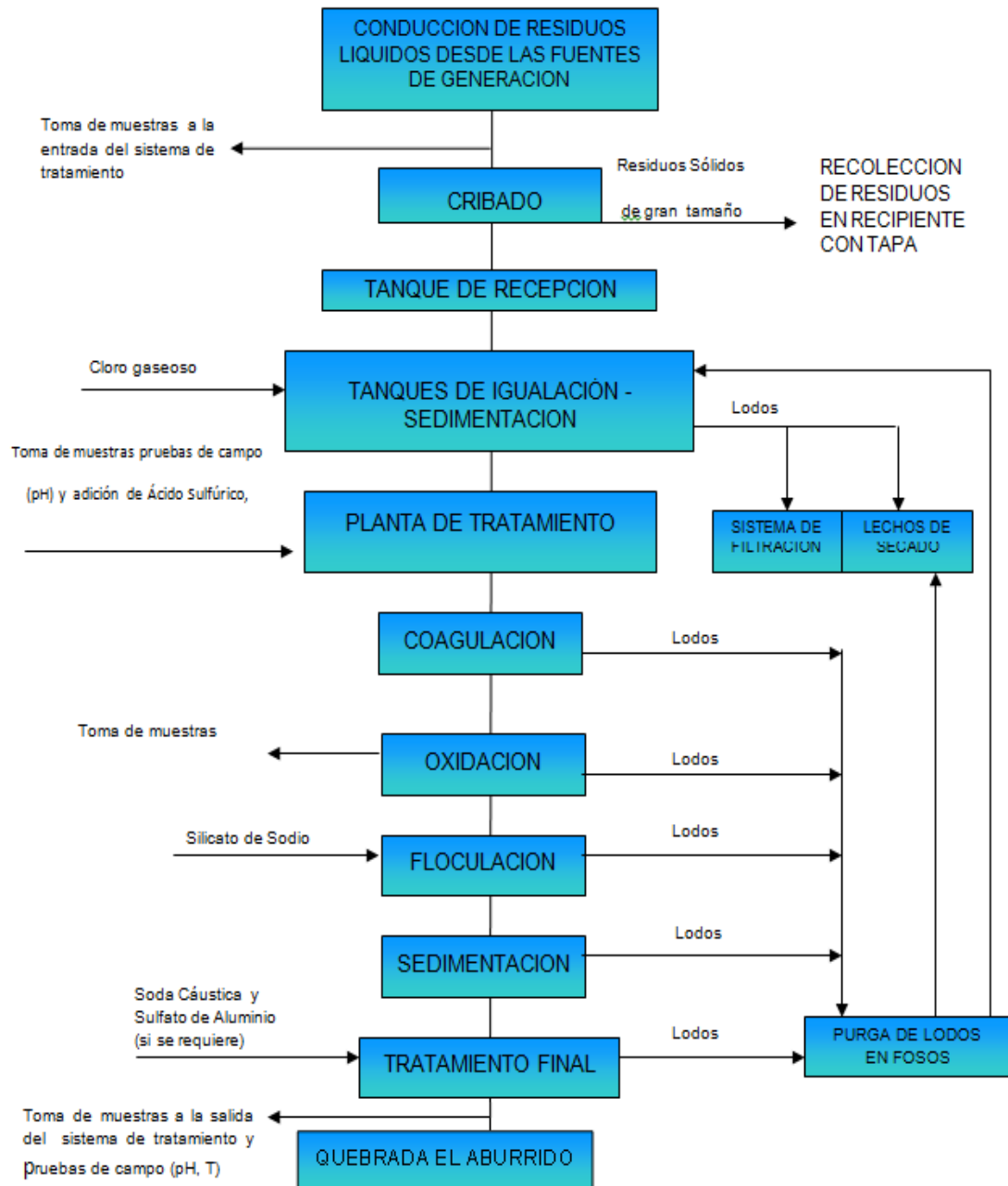
Tabla 2. Parámetros legales de aceptación

PARAMETRO	PARÁMETROS DE ACEPTACION
pH	5 a 9 unidades
Temperatura	Menor de 40° C
Grasas Y Aceites	Remoción mayor 80% en carga
Sólidos Suspendidos	Remoción mayor 80% en carga
Demanda bioquímica de Oxígeno DBO ₅	Remoción mayor 80% en carga
Demanda química de Oxígeno DQO	Remoción mayor 80% en carga

2. METODOLOGÍA

2.1 CONSTRUCCIÓN GENERAL DEL PROCESO

Figura 1: Sistema aplicado actualmente a las aguas residuales



2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO REALIZADO EN CAMPO

Se procedió a hacer observación de campo en las instalaciones donde se efectúa el tratamiento de aguas residuales. En acompañamiento de la ingeniera encargada de la planta y de los técnicos de operación, se realizó el debido reconocimiento, el cual, se hizo progresivo de acuerdo a la entrada del material de desecho o residuos líquidos a la zona de tratamiento. Se reconoció el proceso en forma detallada y el funcionamiento de cada uno de los equipos correspondientes a las etapas del proceso. Después se culmina esta visita con un levantamiento a mano alzada del bosquejo de la planta, sobre el cual se hicieron los respectivos interrogantes que llevaron a identificar cada una de las etapas y lograr así los respectivos balances de masa y energía.

Se realizó nueva visita de recorrido desde la zona de recolección de aguas residuales (cribado), se continuó aguas abajo, se tomó apuntes sobre cada una de las rutas que seguían las corrientes. Este paso fue muy importante porque se identificaron: salidas, entradas y los reciclos del sistema.

Con respecto al esquema que se había plasmado en la primera visita, se le realizaron modificaciones de acuerdo a las observaciones, las cuales, contaban con la delimitación de las entradas a cada una de las etapas, empezando desde los residuos líquidos en el cribado, luego de allí, a los tanques de igualación, rotores, PTAR y centrífuga de (Canter), con un reciclo interno a los tanques de igualación. Se realizó el bosquejo final que describe el proceso total y por etapas en el tratamiento de las aguas residuales. ANEXO A

En la siguiente visita se procedió hacer una prueba de campo dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales para determinar los flujos de cada corriente.

Este proceso se llevó a cabo con la supervisión y acompañamiento de la ingeniera encargada, con quien se programó y realizó un llenado y desocupado de tanques hasta lograr operar el sistema general y lograr obtener el mayor número de datos y

muestras necesarias para determinar los respectivos balances.

Otro proceso consistió en llenar uno de los tanques de igualación a la capacidad total 300 m³ y a partir de este punto medir el tiempo de proceso completo, con esto se logró determinar el flujo en cada una de las corrientes. Inmediatamente se abrieron las válvulas que dieron paso al flujo, se midieron las corrientes a las que se tenía acceso, logrando así, medir la mayor cantidad de corrientes y se obtuvieron los datos para los balances.

Al repetir del llenado del tanque de igualación, se contabilizaron los tiempos de evacuación en cada una de las etapas del proceso de purificación. Para medir algunos flujos se utilizaron tinajas de 50 L y se cronometró el tiempo de llenado, esto se repitió varias veces y se hallaron promedios. Se tomaron muestras en varios puntos para el cálculo de la densidad que fueron llevados al laboratorio. La caracterización de las muestras de entrada al sistema y de salida del sistema hacia el río fueron suministrados por el Frigorífico Vijagual S.A. ANEXO B

2.3 EQUIPOS EMPLEADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Para realizar el estudio respectivo se hizo una revisión del equipo empleado en el frigorífico Vijagual S.A. que consta de 39 bombas eléctricas, la electricidad es trifásica donde operan a 360 voltios pero el rango de operación es de 220 a 440 voltios, se hace un estimado real y uno promedio. El conteo de equipos que operan en la planta junto con sus marcas son:

1. With Lithium: Kwatt 6.7, Hertz 10400, Made in EU.
2. Siemens: Kwatt 6.7, rpm 3520, peso 44.5 kg, Made in EU.
3. Siemens: kwatt 6.7, rpm 3520, peso 44.5 kg, Made in EU
4. Siemens: Kwatt 6.7, rpm 3480, peso 28 kg, Hertz 60, Hp 5, Made in EU.
5. Bomba de aire; Dura Lite, Mtd by Donaldson Company: MN 55440 ECCO 6500L DC255 YA, Inches 250, rpm 2900, hph 20, 14.91kwatt, Made in EU.

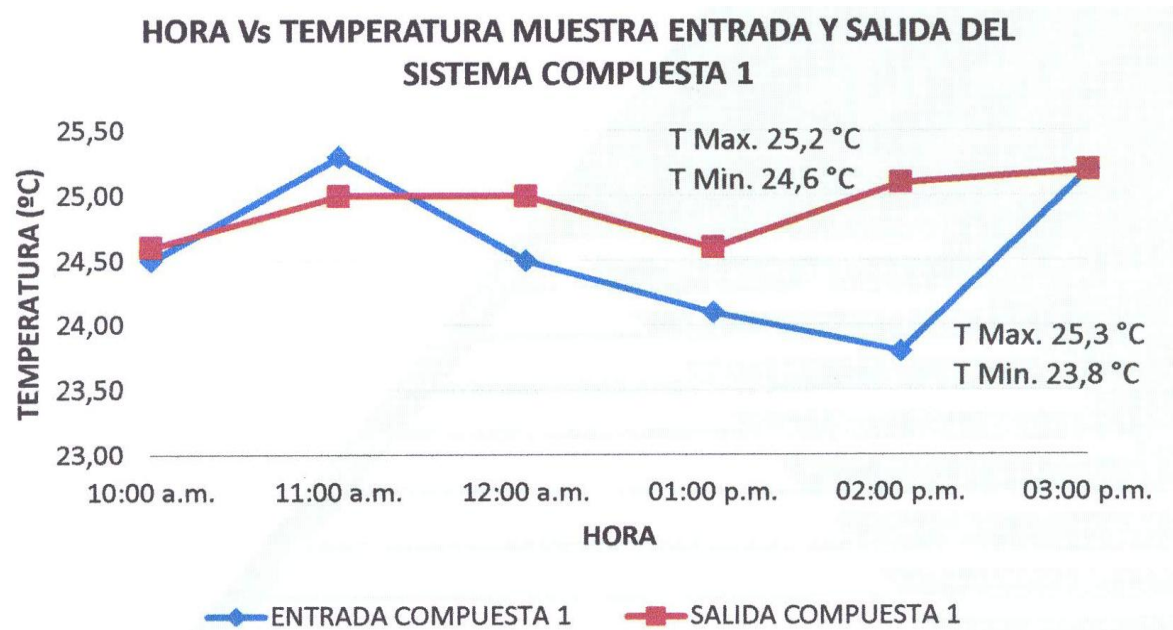
6. Bomba de aire; Dura Lite, Mtd by Donaldson Company: MN 55440 ecco 6500L dc255 ya, Inches 250, rpm 2900, hph 20, 14.91kwatt, Made in EU.
7. Weg: Kwatt 2.5, Hertz 60, Made in Brazil.
8. Weg: Kwatt 5.5, Hertz 60, Made in Brazil.
9. Weg: Kwatt 5.5, Hertz 60, Made in Brazil.
10. ABB: kwatt 3.7, rmin 1170, Hp 20, hertz 60, peso 150kg.
11. With Lithium: Kwatt 6.7, Hertz 10400, Made in EU.
12. ABB: kwatt 3.7, rmin 1170, Hp 20, hertz 60, peso 150kg.
13. ABB agitator: Kwatt 0.37-0.45, Hertz 60.
14. Weg: Kwatt 3.7, Hertz 60, peso 37kg, Made in Brazil.
15. Weg: Kwatt 5.5, Hertz 60, rpm 3470 A=4.7 rendimiento 31.51%, Made in Brazil.
16. Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3500, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brasil.
17. Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3500, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brasil.
18. Eurodrive Sew: Kw 2.2, rpm 1700, peso 47kg.
19. Eurodrive Sew: Kw 2.2, rpm 1700, peso 47kg.
20. Eurodrive Sew: Kw 2.2, rpm 1700, peso 47kg.
21. Eurodrive Sew: Kw 0.75, rpm 1700, peso 28kg.
22. Eurodrive Sew: Kw 5.5, rpm 1700, peso 47kg.
23. Eurodrive Sew: Kw 5.5, rpm 1700, peso 47kg.
24. Andritz Centrifuge the Canter contiene dos motores: Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3500, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brazil.
25. Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3500, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brazil.
26. Andritz Centrifuge the Canter contiene dos motores: Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3200, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brazil.
27. : Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3200, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brazil.

28. Andritz Centrifuge the Canter contiene dos motores: Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3500, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brazil.
29. Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3500, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brazil.
30. Rotopress: Eurodrive Sew: Kw 2.2, rpm 1700, peso 47kg.
31. Eurodrive Sew: Kw 2.2, rpm 1700, peso 47kg.
32. Rotopress: Eurodrive Sew: Kw 2.2, rpm 1700, peso 47kg.
33. Eurodrive Sew: Kw 2.2, rpm 1700, peso 47kg.
34. Eurodrive Sew: Kw 2.2, Hertz 60 rpm 1700, peso 47kg. A 6.5
35. Eurodrive Sew: Kw 2.2, Hertz 60 rpm 1700, peso 47kg. A 6.5
36. Eurodrive Sew: Kw 2.2, Hertz 60 rpm 1700, peso 47kg. A 6.5
37. Eurodrive Sew: Kw 2.2, Hertz 60 rpm 1700, peso 47kg. A 6.5
38. Weg: Kwatt 5.5- 7.5, Hertz 60, rpm 3500, peso 42kg, rendimiento 86.7%, Made in Brazil.
39. Siemens: Kwatt 6.7, rpm 3480, peso 28 kg, Hertz 60, Hp 5, Made in EU.

2.4 SEGUIMIENTO FÍSICO-QUÍMICO

El presente gráfico muestra la temperatura en un día de trabajo.

Figura 2: Seguimiento de temperatura máxima y mínima durante 5 horas

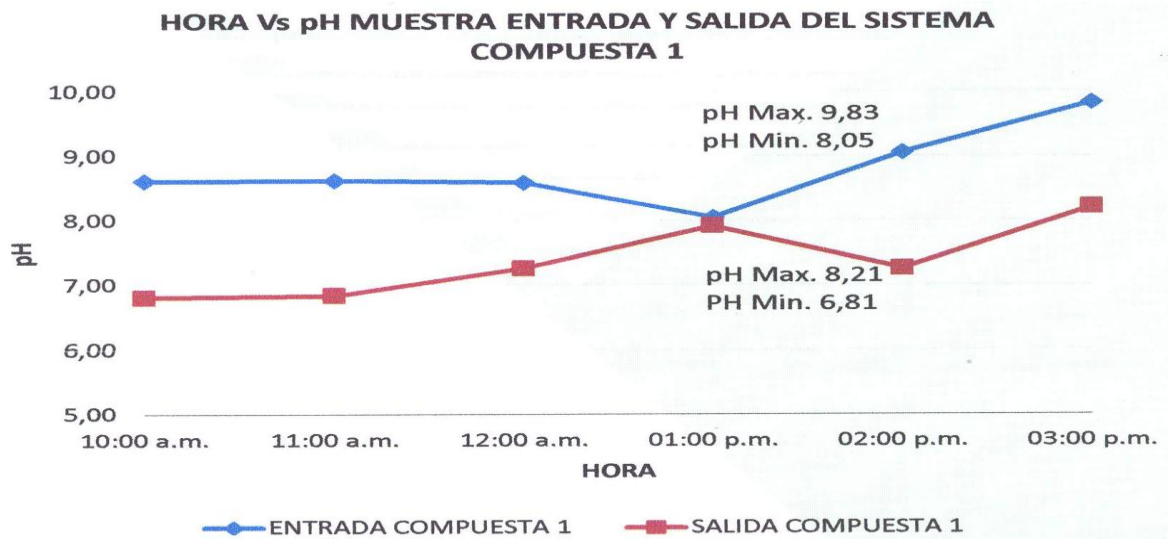


Fuente: Frigorífico Vijagual S.A.

En la figura 2, se observa que la temperatura en la mañana es mayor que la temperatura en la tarde, con un promedio entre las 10:00 A.M. y las 03:00 P.M. es de 24.7°C.

El siguiente gráfico se observa la influencia del pH versus el tiempo transcurrido.

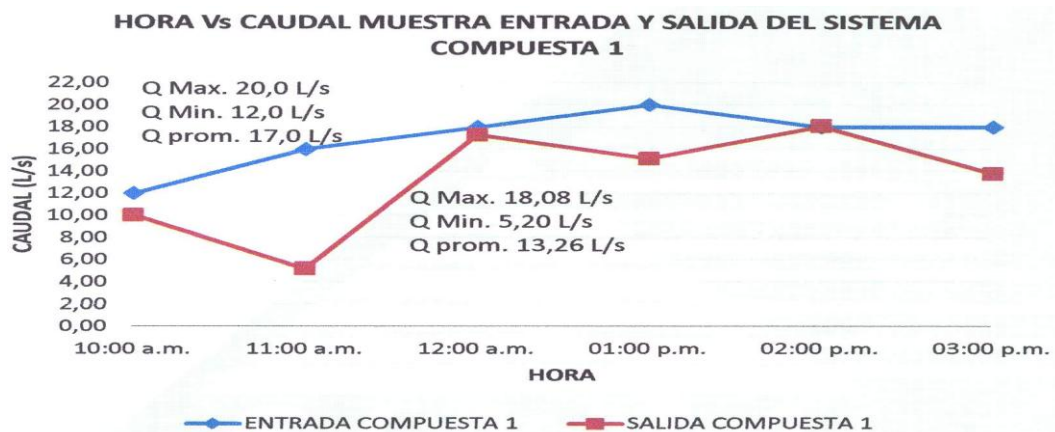
Figura 3: Hora vs pH de entrada y salida.



Fuente: Frigorífico Vijagual S.A.

El pH en la entrada está por encima de 8.5, luego tiende a la baja por la aplicación de los insumos químicos, el pH aumenta después de mediodía e igualmente aumentan de los caudales y el reciclo. Esta corriente es neutralizada por los operarios en la PTAR y a la salida del sistema para cumplir los parámetros establecidos por las leyes. En el presente gráfico presenta el caudal de entrada y salida de las aguas residuales.

Figura 4: Hora versus caudal muestra de entrada y salida del sistema.



Fuente: Frigorífico Vijagual S.A.

El caudal promedio de entrada y salida es de 19.04 L/s, se recircula agua proveniente de las centrífugas. Este caudal depende de los horarios de sacrificio del frigorífico Vijagual S.A., en el horario de 12 A.M. a 2 P.M. hay mayor caudal porque hay mayor sacrificio de ganado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

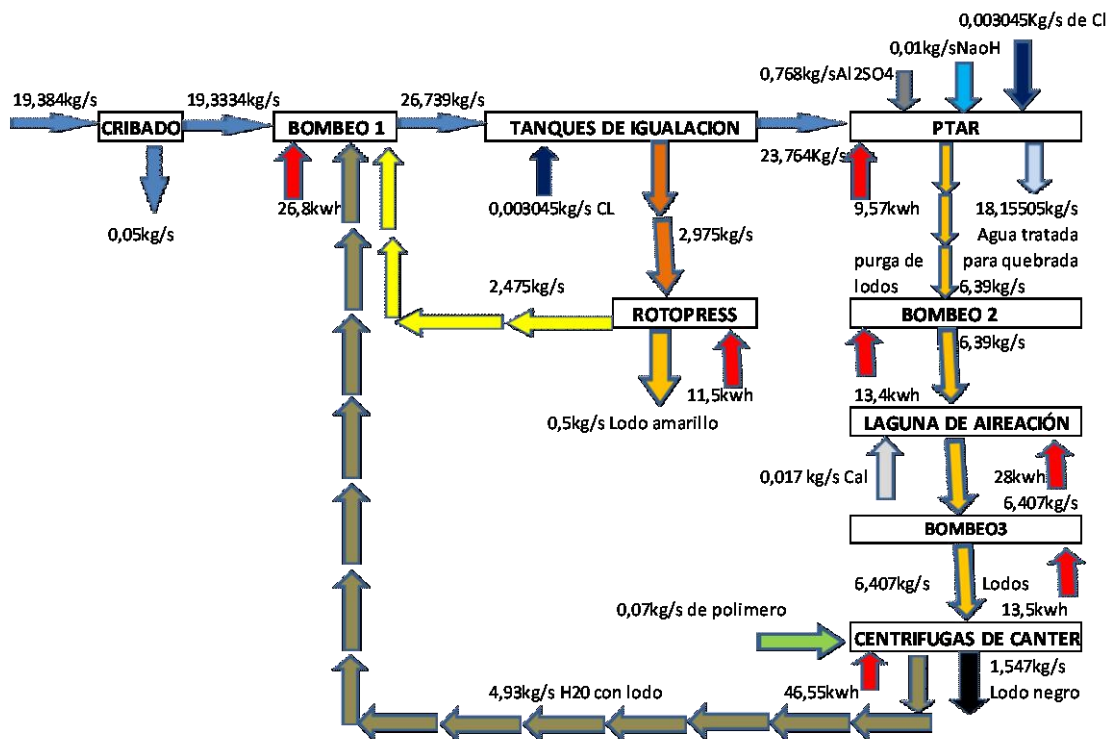
3.1 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS PARA EL FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.

Al sistema de tratamientos de aguas residuales entra un caudal con material ruminal, sangre, pelos, fibras de fique, huesos, cascos de marrano, aguas de lavado de establos. Este caudal llega a la etapa de cribado donde se extraen los sólidos más grandes y se le adiciona cal; posteriormente, va a la primera etapa de bombeo 1, este flujo filtrado es enviado a los tanques de igualación, allí, se le inyecta cloro gaseoso que favorece la oxidación y purificación. El sedimento de los tanques es purgado para luego ser enviado a la Rotopres (centrifuga en forma de rotor que separa la mayor cantidad de sólidos de la solución), el líquido es recirculado al bombeo 1 y el sólido separado es llamado lodo amarillo, que pasa por los tornillos sin fin, arrojado a la zona de cargue y comercializado como abono sólido.

De los tanques de igualación el agua de rebose es enviada a la PTAR para tratamiento físicoquímico; homogenización, flotación, oxidación, floculación hidráulica. En este proceso se suministra cloro gaseoso, sulfato de aluminio, hidróxido de sodio, luego es arrojada a la Quebrada El Aburrado desembocadura del río Lebrija. Al proceso realizado en la PTAR se le realiza una purga que es enviada por medio de un segundo bombeo 2 a una laguna de aireación y se le añade cal, se hace un bombeo 3 de lodos a las centrifugas de Canter (centrífuga de automáticas de alta capacidad), allí se inyecta polímero para aumentar la floculación de sólidos. El líquido generado expulsado por la centrífuga es recirculado al bombeo 1 y el sólido es el subproducto o lodo negro enviado a los tornillos sin fin y posteriormente comercializado.

En el presente gráfico se muestran los balances de masa y energía del sistema de tratamiento de aguas residuales por procesos fisicoquímicos del Frigorífico Vijagual S.A.

Figura 5: Balances de masa y energía del sistema.



Fuente: Autores.

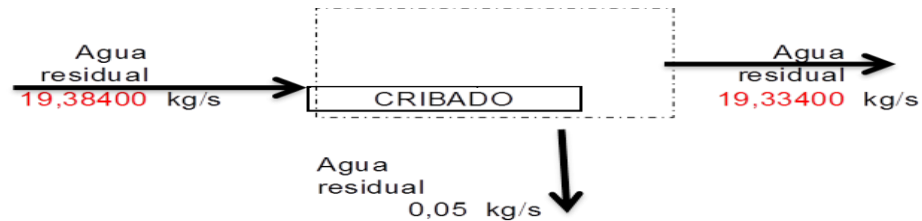
En el punto 3.2 se presentan los resultados y análisis de balances de masa y energía del sistema de tratamiento de aguas residuales del Frigorífico Vijagual S.A.

3.2 BALANCES DE MASA Y ENERGÍA. POR ETAPAS Y GLOBALES

Con el diagrama de proceso, la delimitación espacial del sistema y los datos del proceso, se llevaron a cabo los balances masa y energía, que completaron el inventario del ciclo de vida del tratamiento de aguas residuales.

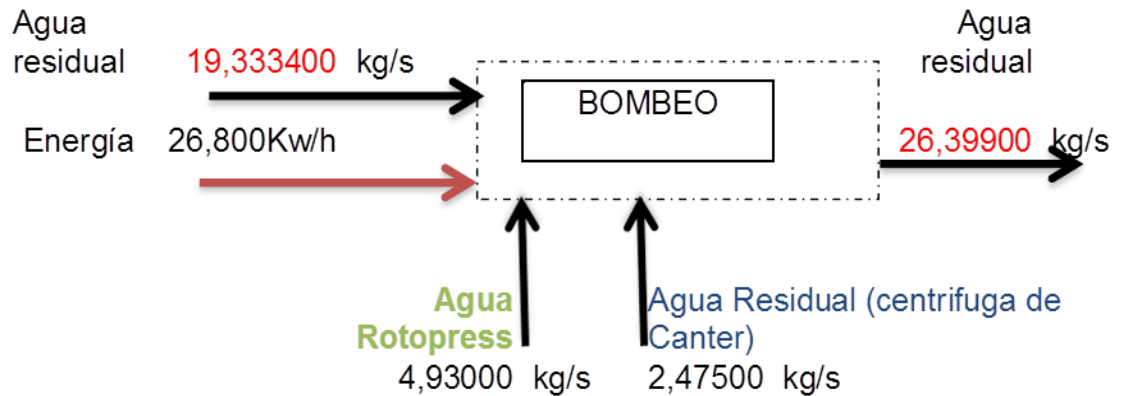
3.2.1 Balances de masa y energía por etapas. El presente gráfico muestra el balance de masa en el cribado.

Figura 6: Balance de masa. Etapa de cribado.



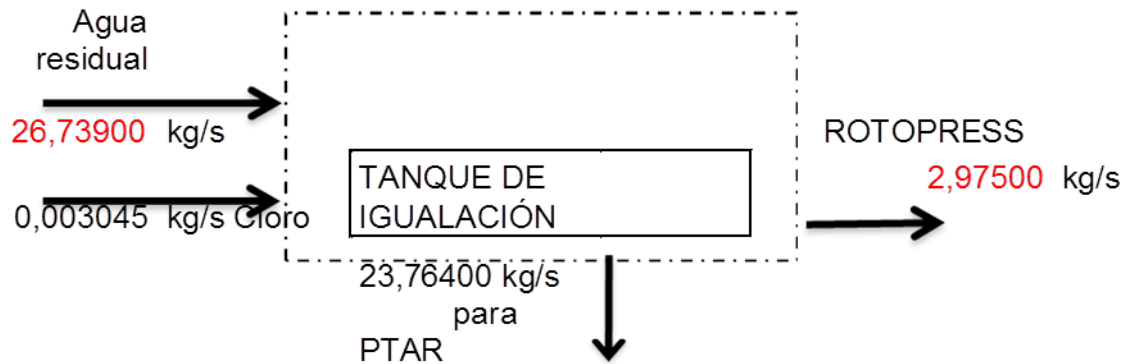
La cantidad de aguas residuales que entran al sistema de 19,384 kg/s, se retira en el cribado una purga de 0,05 kg/s y sale a los tanques de bombeo en 19,3334 kg/s.

Figura 7: Balance de masa y energía. Etapa de bombeo 1.



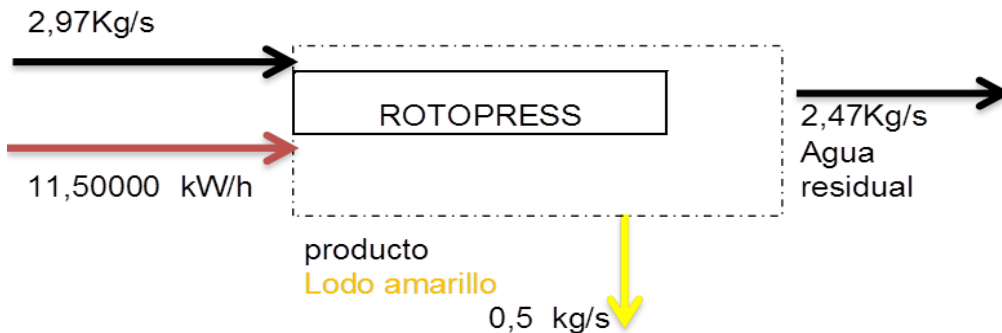
Ingresa el agua residual con un caudal de 19,3334 kg/s con un gasto energético de 26,8 kw/h y dos recirculaciones de agua residual con alto contenido de sólidos finos suspendidos producto de la separación sólido-líquido de las centrifugas, fueron medidos con 4,93 kg/s y 2,47 kg/s, posteriormente salen a los tanques de igualación con 26,399 kg/s.

Figura 8: Balance de masa y energía. Etapa tanques de igualación.



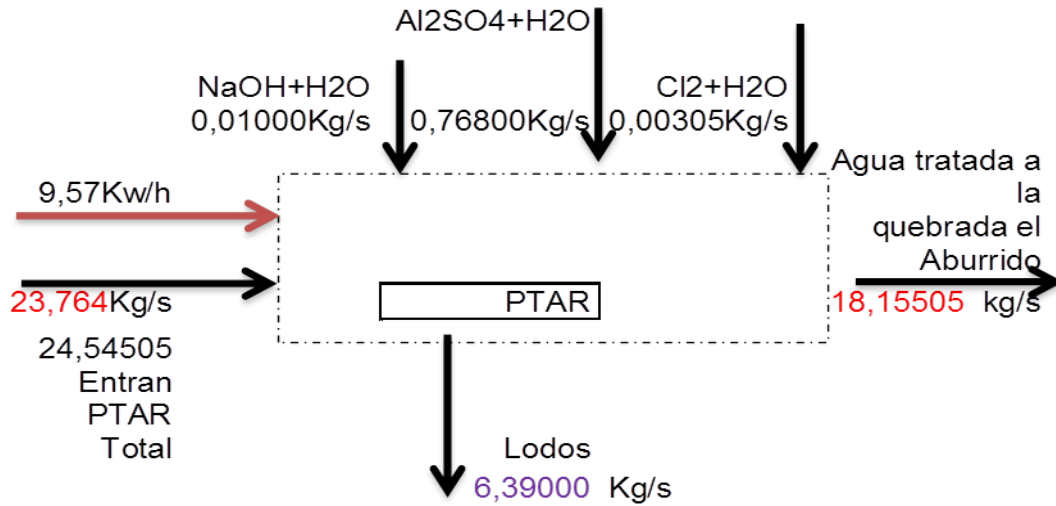
El agua residual llega con un flujo de $26,739 \text{ kg/s}$ y se inyecta cloro gaseoso a $0,003045 \text{ kg/s}$ para la purificación, los sólidos se sedimentan y son enviados a la Rotopres (centrífuga) a $2,97 \text{ kg/s}$, este caudal es lento a causa de presencia de sólidos grandes que a veces, ocasiona taponamiento y el agua de rebose se dirige a la PTAR con $23,764 \text{ kg/s}$.

Figura 9: Balance de masa y energía. Etapa de extracción sólido-líquido, etapa 1.



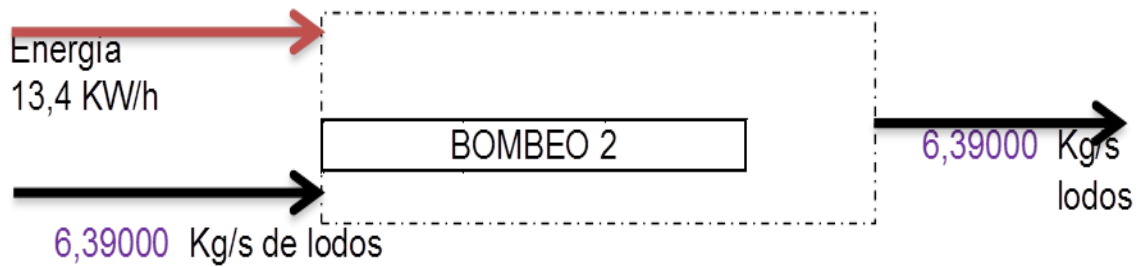
Para la separación sólido-líquido se hace un gasto energético de $11,5 \text{ kw/h}$ y así se obtiene el producto denominado Lodo Amarillo, el cual, sirve para abono para plantas y lombrices Californianas. El agua residual es recirculada al bombeo 1 y posteriormente llega a los tanques de igualación.

Figura 10: Balance de masa y energía de la PTAR



Ingresa agua de rebose de los tanques de igualación a la PTAR en 24,54 kg/s, que a su vez es tratado el caudal con cloro gaseoso, sulfato de aluminio e hidróxido de sodio, generando una sedimentación acelerada, oxidación, y floculación. El tratamiento de aguas residuales está en un rango entre \$800 y \$1100 por litro de agua tratada, según datos calculados del 2011 por el frigorífico Vijagual S.A. El agua que sale por rebose va la quebrada El Aburrído y la purga es recirculada a los tanques de aireación.

Figura 11: Balance de masa y energía. Etapa de lodos de la PTAR, bombeo 2.



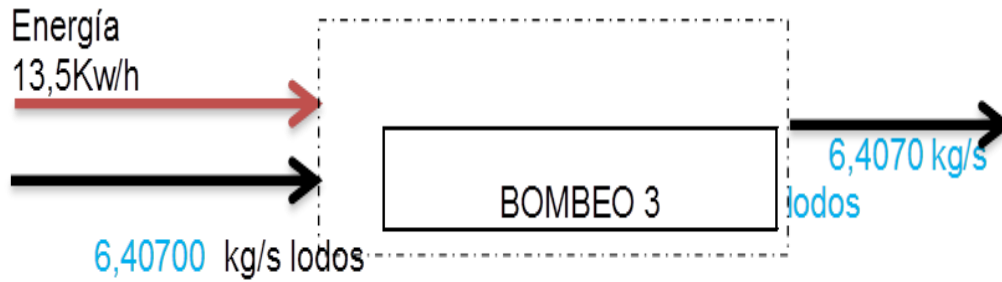
En el bombeo 2 entra el caudal de lodos purgados que se dirige a dos tanques de reserva para luego ser distribuido a la aireación de lodos.

Figura 12: Balance de masa y energía. Etapa de aireación de lodos.



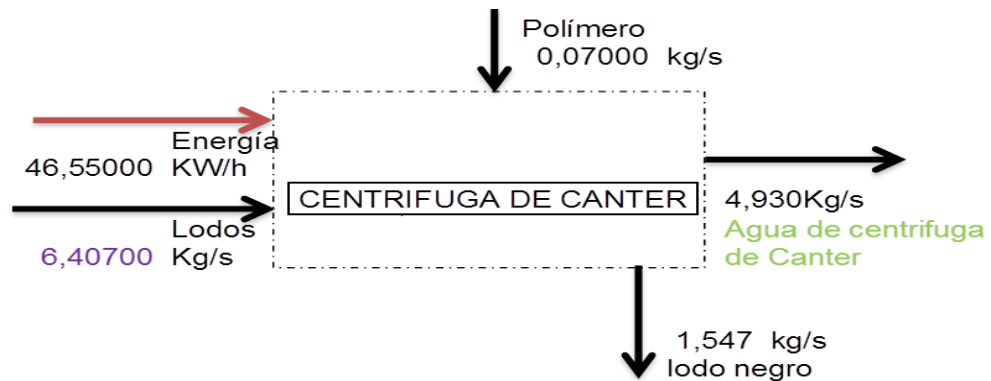
En esta etapa hay gasto energético por dos bombas que inyectan aire, el cual, purifica los lodos y con la adición de cal regula el pH a 7 como también elimina malos olores.

Figura 13: Balance de masa y energía. Etapa de bombeo en aireación, bombeo 3.



En esta etapa, hay tres bombas que reciben el caudal de los lodos aireados y los dirige individualmente a tres centrífugas, etapa 2.

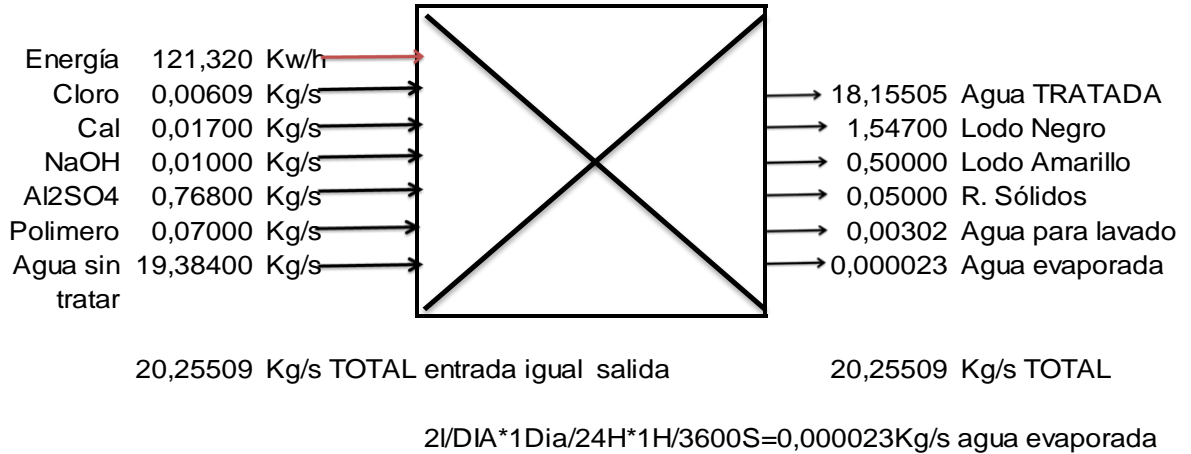
Figura 14: Balance de masa y energía. Etapa de centrífuga, etapa 2.



En las tres centrífugas de la etapa 2 (centrífugas de Canter) ocurre separación de la mayor cantidad de líquido, quedando como residuo un sólido fino llamado lodo negro. A la corriente de lodos que entra a la centrífuga se adiciona polímero para ayudar al proceso de coagulación de sólidos suspendidos así, separar los sólidos del agua más rápido, esto ayuda a obtener mayor cantidad de subproducto denominado lodo negro.

3.2.2 Balances de masa y energía globales

Figura 15: Balances de masa y energía globales.



El gráfico contiene el consumo total de masa y energía globales calculados a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas residuales que es de 20,209 kg/s.

3.3 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta los resultados del balance de masa y energía se propone lo siguiente:

- No se recomienda reciclo de aguas clarificadas después de la separación en la centrífuga etapa 1 (Rotopres); si esta agua es enviada nuevamente a los tanques de igualación, aumenta el tiempo de residencia y el consumo energético en el bombeo 1 y el consumo de insumos químicos.
- No se recomienda realizar el reciclo de la separación en la centrífuga etapa 2 (centrífuga de Canter) a los tanques de Igualación, porque al mezclar corrientes con pH ya neutralizados de la PTAR, con corrientes nuevas de entrada, en los tanques de Igualación, se necesita mayor consumo de insumos químicos.
- El agua producto de la centrífuga en la etapa 2 (centrífuga de Canter) se

recomienda llevarla directamente a la PTAR, para que con este proceso fisicoquímico aplicado salga más rápidamente del sistema y de paso a nuevos flujos.

- Al generar el reciclaje con las aguas arrojadas en las etapas de separación con centrífugas en la etapa 1 y 2, se aumenta el tiempo de residencia, esto hace que menos caudal se pueda tratar por hora, al igual que los gastos energéticos y el consumo de insumos químicos aumenten a medida que aumenta el caudal.
- Se recomienda el uso de los tanques adyacentes actualmente vacíos en la planta de tratamiento, para la recepción de las aguas provenientes de las centrífugas en la etapa 1 y 2. Posterior a esto el sedimento que resulte de este nuevo proceso sea transportado a los tanques de aireación y, que el agua clarificada sea enviada directamente a la PTAR.

CONCLUSIONES

Se obtuvo el inventario del ciclo de vida del sistema de tratamiento fisicoquímicos de aguas residuales en el Frigorífico Vijagual S.A.

El uso de recicló internos en el sistema de tratamiento de aguas residuales generan mayor tiempo de residencia del agua tratada, impidiendo manejar mayores flujos volumétricos en el sistema, aumentando así el consumo de costos energéticos e insumos químicos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] COLOMBIA. Ministerio de Agricultura. Decreto 1594 de 1984, Junio 26, por el cual se reglamenta la Ley 9 de 1979 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá; 1984.

[2] Analysis of effects of an objective function on environmental and economic performance of a water network system using life cycle assessment and life cycle costing methods. **Seong-Rin Lim, Donghee Park, Jong Moon Park**. 368–378; South Korea: ELSEVIER Chemical Engineering Journal, 2008, Vol. 114.

[3] Life cycle assessment of water treatment technologies; Wastewater and water-reuse in a small town. **M. Ortiz, R.G. Raluy, L. Serra, J. Uche**. 121 - 131. Zaragoza. ELSEVIER Desalination. 2009. Vol. 204

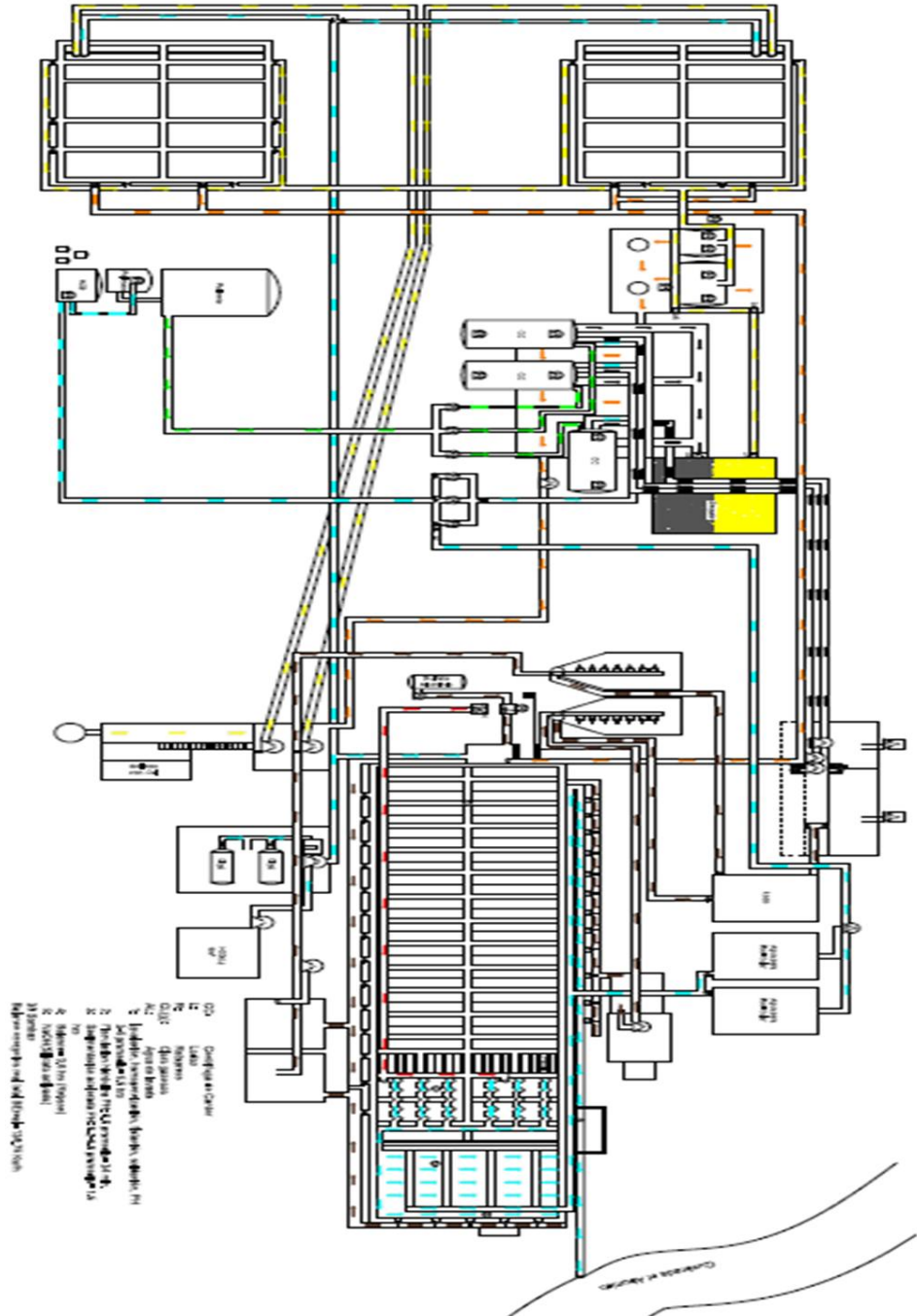
[4] **HERRERA ISRAEL, LAGO CARMEN, LECHON YOLANDA, SAENZ ROSA**. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE CULTIVOS ENERGÉTICOS EN ESPAÑA Brassicacarinata Y Brassicanapus COMO FUENTE DE BIOMASA PARA CALOR Y ELECTRICIDAD. MADRID: EDITORIAL CIEMAT, 2011. ISBN: 978-84-7834-656-1.

[5] **J. S. García, I. Herrera, A. Rodríguez**. Análisis de Ciclo de Vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Caso: PTARM de Yautepec (Morelos, México). MADRID: Editorial CIEMAT, 2011. ISSN: 1135 - 9420.

[6] Frigorífico Vijagual S.A. Datos e información proporcionados por la empresa. Colombia, Santander.

ANEXOS

Anexo A. Bosquejo que describe el proceso de tratamiento de aguas residuales



**Anexo B. Cuantificación entradas y salidas del tratamiento de aguas
residuales del Frigorífico Vijagual S.A.**



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**
NIT. 804.016.152-8



FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.

**CARACTERIZACIÓN
DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES**

SIAMA LTDA
4 DE MAYO DE 2012

0



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**
NIT. 804.016.152-8



TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVOS.....	2
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2	GENERALIDADES.....	3
2.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	3
2.2	DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO.....	3
3	RESULTADOS.....	5
3.1	RESULTADOS DE CAMPO.....	5
3.1.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CAMPO.....	11
3.2	RESULTADOS DE LABORATORIO.....	11
3.2.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO.....	15
	Anexo A. Registro fotográfico.....	17
	Anexo B Captura de datos primarios en campo y resultados de laboratorio.....	18



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**
NIT. 804.016.152-8



1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los vertimientos líquidos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A., ubicada en el Km 8 Vía Bucaramanga - Rionegro, vereda vijagual.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Realizar monitoreo de veinticuatro (24) horas en cinco (5) puntos y componer una muestra cada 12 horas por cada punto de muestreo compuesto y muestra puntual por jornada según plan de muestreo.
- ❖ Hacer medición en el sitio de: caudal, temperatura ambiente, temperatura de las muestras, pH, Conductividad y sólidos sedimentables para cada una de las muestras tomadas.
- ❖ Determinar en el laboratorio los parámetros exigidos de acuerdo al Decreto 1594 de 1984 para cada una de las muestras compuestas.
- ❖ Generar un informe con los resultados de campo y laboratorio.



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**
NIT. 804.016.152-8



2 GENERALIDADES

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La planta se encuentra constituida por un sistema de tratamiento fisicoquímico, con un pretratamiento de estructura de cribado, tanques de igualación (sedimentador) y tratamiento fisicoquímico.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO

Se realizó muestreo de aguas residuales provenientes de las actividades de rutina del proceso de sacrificio y desposte de derivados cármicos de la comercialización de ganado vacuno y especies menores durante un tiempo de 24 horas en los días 19 y 20 de Abril de 2012, monitoreando 5 puntos de muestreo, según plan de muestreo 043

A continuación se presenta la tabla 1 y 2 con la identificación de los puntos de muestreo y los análisis a realizar.



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**
NIT. 804.016.152-8



Tabla No 1. Identificación de los puntos de muestreo.

No.	No de identificación	Descripción del punto *	Localización	Tipo ¹			Composición ²		Aforo ³	
				P	C	I	T.T.	T.C.	Volumétrica	Módulo
1	026314 026315	Entrada PTAR	PTAR Frigorífico vijagual	X			1	12**	X	
2	026316 026317	Salida PTAR	PTAR Frigorífico vijagual	X			1	12**	X	
3	026306 026307 026308 026309	Aguas arriba	Quebrada el abumido (GEORREFERENCIACIÓN N:1104507; E:1288431; A:784 msnm)	X			—	—**		X
4	026302 026303 026304 026305	Aguas abajo	Quebrada el abumido (GEORREFERENCIACIÓN N:1104253; E:1288290; A:775 msnm)	X			—	—**		X
5	026310 026311 026312 026313	Quebrada la jabonera	Quebrada la jabonera (GEORREFERENCIACIÓN N:1104565; E:1288366; A:774 msnm)	X			—	—**		X
6	026318	Agua conducción veredal	Canaleta comunidad	X			—	—***	X	

1. Indique si la muestra va ser (P) puntual, (C) compuesta, (I) integrada.

2. Indique el tiempo de toma de muestras (T.T.) y el tiempo de composición (T.C.)

3. Indique el tipo de aforo a utilizar.

*Anexo A

**El tiempo de composición vario debido a que las jornadas de trabajo no tienen un tiempo definido (ver resultados datos de campo para cada compuesta), por cada jornada de monitoreo se tomaron muestras puntuales de las fuentes hídricas (total de muestras 11).

***Se tomo muestra puntual solo en una jordana por petición de la CDMB.

Las muestras fueron preservadas mediante refrigeración mientras se realizó la composición. Para la toma de muestras se utilizaron recipientes plásticos de un litro etiquetados de acuerdo a la hora de la toma de la muestra.

Terminada la jornada de monitoreo se efectuó la composición de muestras por cada punto y se realizaron las preservaciones según los parámetros requeridos de acuerdo a lo contemplado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.



Tabla No 2. Análisis realizados por punto en campo y laboratorio.

Parámetro	unidades	Puntos de monitoreo						Observaciones
		1	2	3	4	5	6	
"IN SITU"								
Caudal	L/s	X	X	X	X	X	X	
pH	unidades de pH	X	X	X	X	X	X	
Temperatura del agua	°C	X	X	X	X	X	X	
Temperatura ambiente	°C	X	X					
Sólidos Sedimentables	mL/L	X	X	X	X	X	X	
Conductividad	µs/cm							
"LABORATORIO"								
pH	unidades de pH	X	X	X	X	X	X	
DBO ₅	mg O ₂ /L	X	X	X	X	X	X	
DQO	mg O ₂ /L	X	X	X	X	X	X	
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /L			X	X	X		
Sólidos suspendidos	mg/L	X	X	X	X	X	X	
Sólidos sedimentables	mL/L	X	X	X	X	X	X	
Sólidos totales	mg/L			X	X	X		
Sólidos disueltos	mg/L			X	X	X		
Grasas y aceites	mg/L	X	X	X	X	X	X	
Teraoactivos	mg SAAM/L	X	X				X	
Fenoles	mg/L	X	X				X	
Fosfatos	mg P /L			X	X	X		
Nitritos	mg NO ₂ /L			X	X	X		
Nitratos	mg NO ₃ /L			X	X	X		
Dureza total	mg CaCO ₃ / L			X	X	X		
Cloruros	mg Cl ⁻ / L	X	X				X	
Sulfatos	mg SO ₄ / L	X	X				X	
Coliformes fecales	NMP / 100 ml			X	X	X		
Coliformes totales	NMP / 100 ml			X	X	X		

3 RESULTADOS

3.1 RESULTADOS DE CAMPO

A continuación se presentan las tablas 3, 4, 5, 6, de los resultados obtenidos en campo y sus respectivas graficas 1, 2, 3, 4, 5, 6.



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**

NIT. 804.016.152-8



**TABLA No. 3
DATOS DE CAMPO ENTRADA COMPUESTA 1**

Muestra	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura muestra (°C)	pH	Sólidos Sedimentables (mL/L)	Caudal (L/s)
1	10:00 a.m.	24,7	24,5	8,61	45	12,00
2	11:00 a.m.	26,0	25,3	8,62	44	18,00
3	12:00 a.m.	26,3	24,5	8,59	4,3	18,00
4	01:00 p.m.	27,5	24,1	8,05	6,5	20,00
5	02:00 p.m.	28,2	23,8	9,06	3,5	18,00
6	03:00 p.m.	28,3	25,2	9,83	2	18,00
Qprom						17,00

**TABLA No. 4
DATOS DE CAMPO SALIDA COMPUESTA 1**

Muestra	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura muestra (°C)	pH	Sólidos Sedimentables (mL/L)	Caudal (L/s)
1	10:00 a.m.	24,9	24,6	6,81	0,5	10,030
2	11:00 a.m.	25,9	25,0	6,84	< 0,1	5,203
3	12:00 a.m.	26,4	25,0	7,26	< 0,1	17,301
4	01:00 p.m.	27,8	24,6	7,92	< 0,1	15,175
5	02:00 p.m.	28,6	25,1	7,26	< 0,1	18,083
6	03:00 p.m.	28,4	25,2	8,21	< 0,1	13,793
Qprom						13,26



SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE

NIT. 804.016.152-8



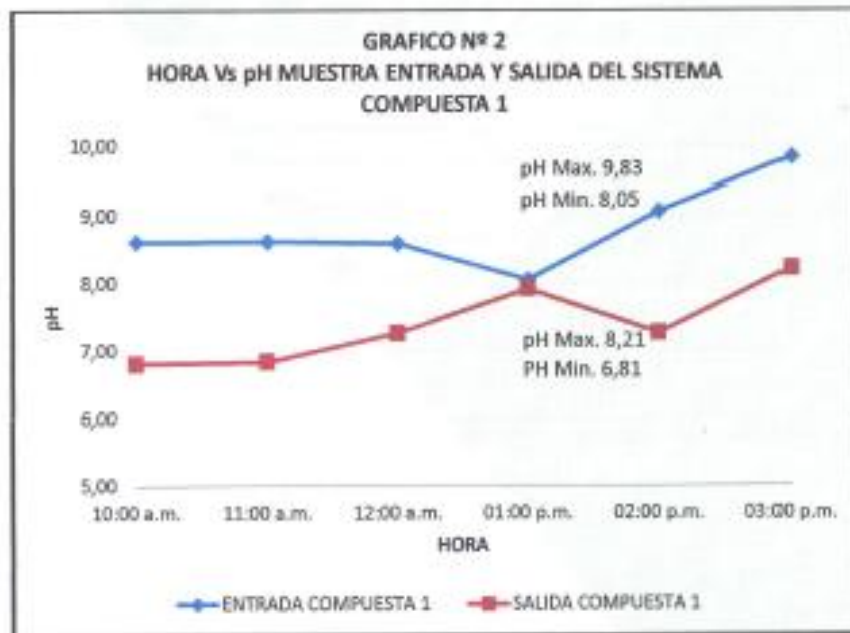
TABLA No. 5
DATOS DE CAMPO ENTRADA COMPUESTA 2

Muestra	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura muestra (°C)	pH	Sólidos Sedimentables (mL/L)	Caudal (L/s)
1	04:00 p.m.	26,0	24,8	7,90	20,0	18,00
2	05:00 p.m.	27,8	26,7	8,78	80,0	20,00
3	06:00 p.m.	24,6	25,3	9,58	81,0	20,00
4	07:00 p.m.	23,7	28,2	7,78	92,0	24,00
5	08:20 p.m.	23,4	29,5	10,35	58,0	22,00
6	09:00 p.m.	22,6	24,7	8,73	3,0	20,00
7	10:00 p.m.	22,7	25,0	8,21	5,5	20,00
8	11:00 p.m.	22,3	23,7	9,30	1,0	18,00
9	12:00 a.m.	21,9	23,0	9,21	12,0	16,00
10	01:00 a.m.	21,5	47,6	8,68	6,0	10,00
11	02:00 a.m.	21,9	37,1	8,92	---	12,00
Qprom						18,18

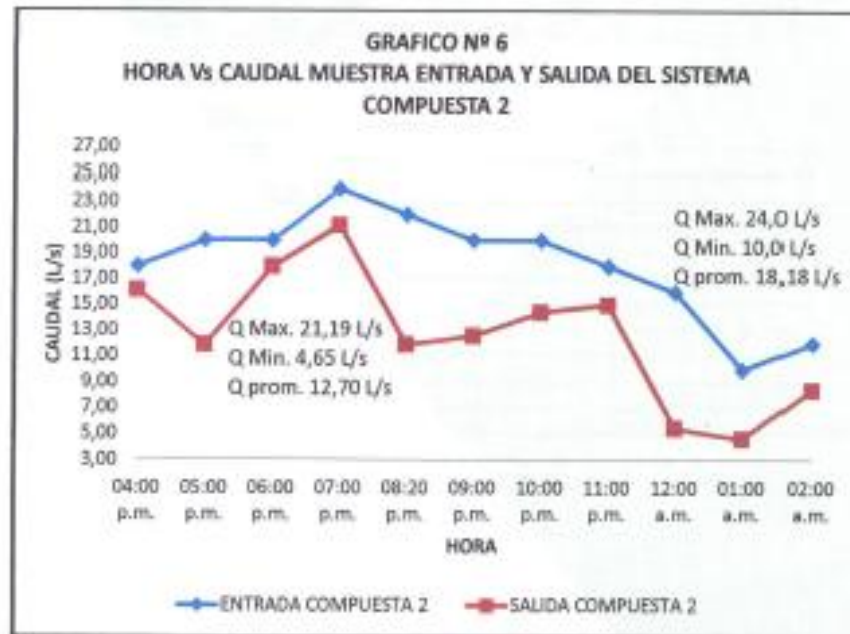
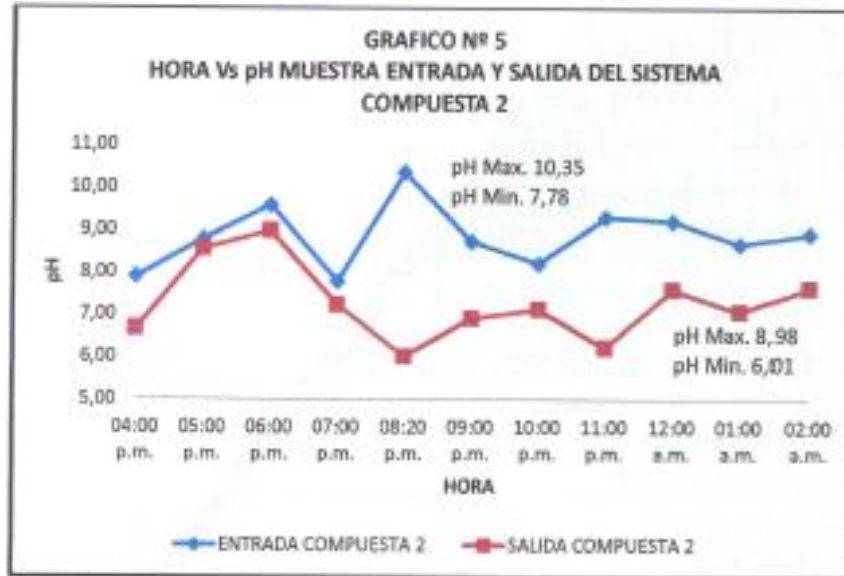
TABLA No. 6
DATOS DE CAMPO SALIDA COMPUESTA 2

Muestra	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura muestra (°C)	pH	Sólidos Sedimentables (mL/L)	Caudal (L/s)
1	04:00 p.m.	27,2	25,1	6,67	< 0,1	16,155
2	05:00 p.m.	27,8	24,6	8,56	< 0,1	11,862
3	06:00 p.m.	24,2	24,4	8,98	< 0,1	17,986
4	07:00 p.m.	23,5	24,3	7,24	< 0,1	21,186
5	08:20 p.m.	23,1	24,1	6,01	< 0,1	11,905
6	09:00 p.m.	22,6	23,5	6,91	< 0,1	12,594
7	10:00 p.m.	22,7	24,2	7,13	< 0,1	14,430
8	11:00 p.m.	22,5	24,1	6,22	< 0,1	15,015
9	12:00 a.m.	22,3	23,9	7,60	< 0,1	5,456
10	01:00 a.m.	21,5	24,5	7,08	< 0,1	4,651
11	02:00 a.m.	21,8	24,8	7,64	---	8,425
Qprom						12,70

7









**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**
NT. 804.016.152-8



3.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CAMPO

De acuerdo con la revisión de resultados obtenidos en campo (tablas 1 a 6 y graficas 1 a 6), se observan que todos los parámetros medidos presentan una tendencia similar a lo largo del monitoreo. Los valores de temperatura y pH para el vertimiento final (salida PTAR), se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el decreto 1594 del 84, artículo 72, para cada compuesta.

3.2 RESULTADOS DE LABORATORIO.

A continuación se presentan las tablas 7, 8, 9 con los resultados obtenidos en Laboratorio, relación de cargas por punto y los porcentajes de remoción respectivos del sistema de tratamiento para la compuesta 1.

Las tablas 10, 11, 12 con los resultados obtenidos en Laboratorio, relación de cargas por punto y los porcentajes de remoción respectivos del sistema de tratamiento para la compuesta 2 y la tabla 13 con los resultados de las fuentes hídricas.



TABLA N° 7
RESULTADOS DE LABORATORIO COMPUESTA 1

PARÁMETRO	UNIDADES	TÉCNICA	ENTRADA PTAR	SALIDA PTAR
CAUDAL PROMEDIO	L/s	volumétrica	17,00	13,26
pH	unidades	St. Mth. 4500 H+ B	9,18	7,60
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	St. Mth. 2540 D	2825	20
DQO	mg O ₂ /L	St. Mth 5220 C	1098	273
DBO ₅	mg O ₂ /L	St. Mth 5210 B	488	175
GRASAS Y ACEITES	mg/L	St. Mth 5520 B	5126	17,7
TENSOACTIVOS	mg/L	St. Mth 5540 C	0,30	< 0,2
FENOLES	mg/L	St. Mth 5530 C	< 0,1	< 0,1
CLORUROS	mg Cl/L	St. Mth 4500 Cl- B	78,0	181,0
SULFATOS	mg SO ₄ /L	St. Mth 4500 SO4 E	224	243

TABLA N° 8
RELACIÓN DE CARGAS POR PUNTO COMPUESTA 1

PARÁMETRO	UNID.	ENTRADA PTAR	SALIDA PTAR
CAUDAL PROMEDIO	L/s	17,000	13,26
CAUDAL PROMEDIO*	m ³ /día	306*	238,75*
SOL. SUSPENDIDOS	Kg/día	864	5
DQO	Kg O ₂ /día	333	65
DBO ₅	Kg O ₂ /día	149	42
GRASAS Y ACEITES	Kg/día	1569	4

*Las cargas y el caudal promedio fue estimado por el tiempo que duro la jornada de monitoreo para la compuesta 1 (5 horas).

TABLA N° 9
% REMOCIÓN COMPUESTA 1

PARÁMETRO	UNIDADES	% REMOCIÓN
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	Kg/día	99,45
DQO	Kg O ₂ /día	80,42
DBO ₅	Kg O ₂ /día	72,02
GRASAS Y ACEITES	Kg/día	99,73

*Los porcentajes de remoción son calculados entre los puntos identificados como ENTRADA PTAR Y SALIDA PTAR.



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**

NT. 804.016.152-8



**TABLA N° 10
RESULTADOS DE LABORATORIO COMPUESTA 2**

PARÁMETRO	UNIDADES	TÉCNICA	ENTRADA PTAR	SALIDA PTAR
CAUDAL PROMEDIO	L/s	volumétrica	18,18	12,70
pH	unidades	St. Mth. 4500 H+ B	9,74	7,02
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	St. Mth. 2540 D	1610	10
DQO	mg O ₂ /L	St. Mth 5220 C	1922	238
DBO ₅	mg O ₂ /L	St. Mth 5210 B	1025	83,2
GRASAS Y ACEITES	mg/L	St. Mth 5520 B	3986	28,7
TENSOACTIVOS	mg/L	St. Mth 5540 C	< 0,2	< 0,2
FENOLES	mg/L	St. Mth 5530 C	0,3	< 0,1
CLORUROS	mg Cl/L	St. Mth 4500 Cl B	76,6	164,0
SULFATOS	mg SO ₄ /L	St. Mth 4500 SO ₄ E	273	236

**TABLA N° 11
RELACIÓN DE CARGAS POR PUNTO**

PARÁMETRO	UNID.	ENTRADA PTAR	SALIDA PTAR
CAUDAL PROMEDIO	L/s	18,182	12,70
CAUDAL PROMEDIO	m ³ /día	855	457,09
SOL. SUSPENDIDOS	Kg/día	1054	5
DQO	Kg O ₂ /día	1258	109
DBO ₅	Kg O ₂ /día	871	38
GRASAS Y ACEITES	Kg/día	2609	13

*las cargas y el caudal promedio fue estimado por el tiempo que duro la jornada de monitoreo para la compuesta 2 (10 horas).

**TABLA N° 12
% REMOCIÓN**

PARÁMETRO	UNIDADES	% REMOCIÓN
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	Kg/día	99,57
DQO	Kg O ₂ /día	91,35
DBO ₅	Kg O ₂ /día	94,33
GRASAS Y ACEITES	Kg/día	99,50



TABLA N° 13
RESULTADOS DE LABORATORIO FUENTES HIDRICAS

PARÁMETRO	UNIDADES	COMUESTA 1				COMUESTA 2			
		AGUAS ARRIBA QUEBRADA LA ABURRIDO	AGUAS ABAJO QUEBRADA EL ABURRIDO	QUEBRADA LA JABONERA	AGUAS ARRIBA QUEBRADA EL ABURRIDO	AGUAS ABAJO QUEBRADA EL ABURRIDO	QUEBRADA LA JABONERA	AGUAS ARRIBA QUEBRADA EL ABURRIDO	AGUAS ABAJO QUEBRADA EL ABURRIDO
CAUDAL PROMEDIO	L/s	907	1245	279	918	1271	242	1271	242
pH	unidades	7,87	7,93	8,10	7,92	7,96	7,90	7,96	7,90
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	78	68	12	58	48	B	48	B
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	148	177	122	157	128	140	128	140
SÓLIDOS DISUELTOS	mg/L	70	111	110	99	80	132	80	132
DQO	mg O ₂ /L	< 15	< 15	< 15	17,5	< 15	< 15	< 15	< 15
DBO ₅	mg O ₂ /L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
OXÍGENO DISUELTO	mg O ₂ /L	6,97	6,97	6,88	6,75	6,88	6,91	6,88	6,91
GRASAS Y ACEITES	mg/L	31,4	< 5	8,0	73,5	< 5	42,2	< 5	42,2
NITRITOS	mg NO ₂ /L	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
NITRATOS	mg NO ₃ /L	5,3	6,5	2,1	3,7	3,7	3,2	3,7	3,2
FOSFATOS	mg PO ₄ /L	1,89	1,31	1,61	1,84	2,7	1,92	2,7	1,92
DUREZA TOTAL	mg CaCO ₃ /L	30,0	33,0	38,0	30,0	30,0	35,0	30,0	35,0
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	2400	22000	92000	7900	5400	9200	5400	9200
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	490	4800	3300	1300	170	790	170	790



**SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE**

NIT. 804.016.152-8



3.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO.

En la tabla No. 8 y 11 se encuentran consignados la relación de cargas por puntos, en el sistema de tratamiento por el tiempo que duro el monitoreo en cada jornada (5 horas para la primera jornada "compuesta 1" y 10 horas para la jornada 2 "compuesta 2").

Con base en los resultados reportados en la tabla 9, se observa que el sistema de tratamiento de aguas residuales en la jornada donde se obtuvo la compuesta 1, fue eficiente para los parámetros SST, DQO, Grasa y aceites, por cuanto el porcentaje de remoción obtenido es 99.4%, 80.4%, 99.3%, respectivamente, valores superiores con respecto a lo establecido por el decreto 1584/94 (80%). En relación con el parámetro DBO₅, la remoción obtenida se encuentra por debajo (72%) de lo establecido.

Los porcentajes de remoción obtenidos para la segunda jornada (tabla 12), fueron eficientes con relación a lo establecido por el decreto.