



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE EFLUENTES INDUSTRIALES DE
ALIMENTOS HEINZ, C.A.**

Tutor Académico:

Prof. Iván Parra

Tutor Industrial:

Ing. Manuel Gorrín

Autores:

Víctor García

C.I.: 18. 778. 223

Waylon Pérez

C.I.: 20. 193. 349

Valencia, Junio 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE EFLUENTES INDUSTRIALES DE
ALIMENTOS HEINZ, C.A.**

*Trabajo Especial de Grado presentado a la ilustre
Universidad de Carabobo para optar al
Título de Ingeniero Químico*

Tutor Académico:

Prof. Iván Parra

Tutor Industrial:

Ing. Manuel Gorrín

Autores:

Víctor García

C.I.: 18. 778. 223

Waylon Pérez

C.I.: 20. 193. 349

Valencia, Junio 2012

DEDICATORIA

He aquí el anhelo de plasmar en tinta lo que por estos largos años de lucha y esfuerzo me han hecho lograr. La satisfacción de ver un sueño hecho realidad no tiene precio, y es el momento de dedicarlo a quienes de muchas formas aportaron ese valioso granito de arena para alcanzar la meta.

Ante todo a dios todo poderoso, por darme tantas bendiciones, fuerza, amor y salud para hacer posible todo lo que me he propuesto. Por forjar mi vida en los brazos de una familia en la que los defectos son virtudes. Gracias dios por permitirme llegar hasta aquí y llenar de prosperidad mi vida.

A mis padres, los seres más influyentes en mi vida, por quienes la admiración que siento es tan grande como sus corazones. Madre, tú que sin lugar a dudas con la inteligencia y la bondad que te caracterizan, me enseñaste a ganarme las cosas con trabajo y dedicación, a que no hay metas inalcanzables cuando te esfuerzas para obtenerlo, gracias por amarme tanto. Padre, a ti que siempre he admirado por la sabiduría que aguardas, por mostrarme que la disciplina es fundamental en la vida, por el apoyo incondicional, por amar a tus hijos y a mi madre increíblemente. Gracias a ambos por inculcar en mí los valores que llevaré para toda la vida, los amo padres, que dios los colme de bendiciones.

A mi novia Sandy, por estar presente en las buenas y en las malas, por demostrarme un amor inmenso, tú formas parte de ese apoyo, de mis logros y alcances. Por ser además un ejemplo a seguir.

A mis hermanos, Rubén, Gustavo y Caicara, por apoyar mis sueños, por celebrar mis logros y ser incondicionales en los buenos y malos momentos. Admiración ante tres increíbles personas como lo son ustedes, hermanos.

A mi tía Dolly, Morena, flor y abuela maría, mujeres de gran corazón que han estado presentes en mi vida, apoyándome en todo momento.

Víctor Hugo García Iguaro

DEDICATORIA

Llegó el momento donde, después de haber luchado día a día, durante tanto tiempo, veo materializada una de las metas que me he propuesto; la satisfacción y la alegría rebosantes dentro de mí, solo buscan las palabras indicadas para dedicarles este logro a todas aquellas personas que de una u otra forma incidieron sobre mí a lo largo de mi carrera.

A Dios, por quien estoy seguro, que me brindó todo la fuerza, y me guió, y seguirá guiando en todos los retos que me proponga.

A mis padres Rigoberto Pérez y Nancy Castillo, quienes con todo el amor del mundo me brindaron el apoyo incondicional para poder terminar mis estudios, por tantos esfuerzos realizados y por darme la educación de hogar, que hoy en día refleja en mí, las excelentes personas que son ustedes.

A mi abuela Rosa Castillo, quien desde que yo tengo uso de razón, me ha brindado un infinito amor, es un ser humano increíble de gran corazón y gracias a ella, he aprendido muchas cosas espiritualmente valiosas, que me ha ayudado día a día, a ser una persona de bien.

A mi tía Raquel Belandria, por todo el cariño brindado y por tantos momentos compartidos en familia.

A mis amigos Luzdely C., Américo U., Samuel S., José B., Rosa H., Luis N., Alejandra B. y familia, Carla R. y familia, Lyssmar G., Wilnokarys G., Isdalys G., Katherine B., José D. y familia, Daniel L., Julio M. y familia, Anais L. y familia, Cesar M., Alejandro F., Patricia P., Valentina F., Yoscani R., Daritza A., Isaura R., Eimy R., Joan R., y aquellos que saben que son importantes para mí y debido al poco espacio físico no aparecen reflejados, gracias por estar siempre presente y en todo momento, por brindarme el apoyo necesario, también las distracciones necesarias para hacer más llevaderos esos días duros.

Waylon Rigoberto Pérez Castillo

AGRADECIMIENTO

Agradecer a dios por darnos la oportunidad de vivir este tipo de emociones, por ser un guía en estos años de estudio y ayudarnos a materializar nuestras metas.

A nuestros padres, quienes se han esforzado por garantizarnos una vida digna, por mostrarnos el lado positivo de las cosas y ser el apoyo fundamental en estos años. Este logro es de ustedes, nuestra sólo la satisfacción.

A nuestro tutor industrial el Ing. Manuel Gorrín, por su incondicional apoyo en la empresa y en los estudios, por aportar ideas en los momentos más necesarios y por enseñarnos que con profesionalismo las cosas bien hechas son las que generan resultados positivos.

A nuestro tutor académico el Ing. Iván parra, por compartir sus amplios conocimientos y experiencias, y guiarnos en esta etapa decisiva de nuestras carreras, así como también a la Lic. Mary Padilla, quien con su esplendida personalidad apporto ese valioso granito de arena para ver cumplida nuestra meta.

Al Ing. Juan navas, por prestarnos apoyo en todo momento para la realización del proyecto, quien con su gran capacidad logró aportar ideas para seguir adelante.

A los técnicos operadores de planta vinagre y PTEI, los cuales nos prestaron su ayuda para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, quienes, más que compañeros de trabajo se convirtieron en amigos.

A la Gerencia integral de seguridad, salud y medio ambiente, por hacernos parte del equipo de trabajo y ser un ejemplo de desempeño laboral.

En fin, a todas aquellas personas que de alguna u otra forma han contribuido de forma positiva a la realización de esta meta.

MIL GRACIAS...

Víctor García y Waylon Pérez

SUMARIO

Este trabajo de grado tiene como principal objetivo, la implementación de mejoras a la planta de tratamiento de efluentes industriales de Alimentos Heinz, C.A.

Las etapas metodológicas que hicieron posible esto, iniciaron con un diagnóstico de todos los procesos y redes de generación de las aguas residuales industriales. Luego se caracterizaron los efluentes, y se plantearon alternativas de medición de caudal de entrada a la planta, la mejor propuesta se seleccionó mediante criterios de comparación técnico-económico. Los ajustes de nutrientes y modificación de formatos de control de proceso fueron necesarios para la mejora del control operativo de la planta. Se elaboró un plan de acción en caso de derrames de aceites y grasas y se determinó la relación beneficio – costo de la implementación del proyecto.

Se lograron mejoras importantes como: reducción del 12% de consumo de agua de proceso; en lo que respecta la caracterización, se determinó que el mayor aporte de caudal lo realiza la planta de producción, y que el caudal de entrada es aproximadamente igual al de salida. Se obtuvieron concentraciones altas de DQO y sólidos suspendidos en el afluente de PTEI. Una vez analizados los datos anteriores se plantearon alternativas para la medición de caudal de entrada, y se llevó a cabo el proceso de selección, lo que arrojó como opción más viable el caudalímetro ultrasonido. Se determinó la cantidad requerida de macronutrientes del sistema biológico de acuerdo a las características del afluente y la relación 100:5:1. Se modificó el formato de control de proceso físico y digital de PTEI. Seguidamente, se elaboraron los registros de control del plan de acción en caso de derrames de aceites, y por último se determinó que, en base a la relación beneficio-costos, el proyecto tiene altas tendencias de ser factible. Una vez alcanzado los objetivos planteados, se recomienda la instalación de un agitador mecánico en el tanque de adición de nutrientes. Además, del monitoreo de los nutrientes en las concentraciones del efluente, ajustando la bomba gradualmente. Por último, se recomienda mantener actualizado el formato de control de proceso como programa de monitoreo para evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento.

Palabras claves: Caudal, DQO, sólidos suspendidos, control de proceso, nutrientes.

INTRODUCCIÓN

Por lo general, las empresas de alimentos manejan altos consumos de agua de proceso, lo que hace necesario disponer de plantas de tratamiento para cumplir con las normativas legales del agua residual tratada. En la actualidad existen numerosos tipos de tecnologías utilizadas para depurar las aguas provenientes de procesos industriales, dichas tecnologías dependerán principalmente del tipo de contaminantes que posea el agua residual a tratar, así como, de la capacidad de remoción. Los procesos de lodos activados tienden a ser los más usados para este tipo de aguas de origen industrial.

El desempeño de los sistemas biológicos de tratamiento del agua, dependen directamente de la microbiología del lodo. De acuerdo a las cargas contaminantes de entrada, las bacterias tendrán unas respuestas diferentes; lo que hace importante conocer los parámetros de entrada. Los problemas más comunes presentes en el lodo son por el exceso de bacterias filamentosas, y normalmente esto es reflejado aguas abajo con una baja tasa de sedimentación

La planta de tratamiento de efluentes industriales de alimentos Heinz (PTEI-Heinz), se encuentra operativa desde el año 1986, cuyo objetivo es el de apoyar al programa de saneamiento ambiental integral de la cuenca del Lago de Valencia, dicho lago es la masa hídrica receptora del agua residual que se produce en la planta y presenta altos índices de contaminación. Esta empresa en el marco de la ejecución de su programa de sostenibilidad, busca cumplir con estándares adecuados en todos sus efluentes.

A medida que la empresa fue expandiendo su capacidad de producción, el caudal y las propiedades físico-químicas del efluente industrial proveniente de las líneas de producción fueron cambiando drásticamente. Esta situación condujo a cambios en las condiciones de operación originales de PTEI Heinz. Por lo que el objetivo principal de esta investigación es la implementación de un plan de mejora. Esto con la finalidad de que la planta se adapte a las condiciones actuales, con ajustes y/o

modificaciones al proceso. Los sistemas biológicos de tratamientos requieren de un control riguroso, especialmente cuando se deben añadir cantidades específicas de nutrientes.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se presenta una descripción del problema, donde se hace referencia a la ubicación de la empresa, su desempeño en el mercado, sus procesos y la problemática que estos presentan.

1.1 Descripción del problema

Alimentos Heinz, C.A. es una empresa dedicada a la elaboración, venta y distribución de productos alimenticios de alta calidad, ubicada en una excelente zona agrícola del estado Carabobo, fundada en el año 1960 por la corporación estadounidense *HJ Heinz Company*. Actualmente cuenta con más de 100 plantas a nivel mundial.

Su planta de producción se encuentra ubicada en el pueblo de San Joaquín en el Estado Carabobo y posee un área de más de 700.000 m². En la Figura 1 se presenta una imagen satelital con la ubicación de la planta (Coordenadas: Latitud 10°15'51.52"N y Longitud 67°46'56.86"O) y sus linderos.



Figura 1.1 Vista satelital de Alimentos Heinz, C.A. (Google Earth®, 2011)



Esta empresa es pionera en la producción y comercialización de alimentos de calidad, a partir de materias primas bien seleccionadas, para la manufactura de: salsas de tomate, colados, postres (como helados, pudines y gelatina), mostaza, vinagre, puré y pasta de tomate, pasta de ajo, salsas de ajo, picante, inglesa, de soya, 57, Teriyaki, pronto, y salsa para pastas.

En la planta de procesamiento de Alimentos Heinz C.A., se realizan procesos de enfriamiento, refinación de la pasta de tomate y colados, inyección de vapor al producto en proceso para esterilización, extracción de aire y vapor de agua mediante vacío, homogenización, pasteurización, molienda y trituración de mostaza cruda para luego usarla en la preparación de la salsa de mostaza.

Los efluentes generados en planta son enviados a través de tuberías, canales y tanquillas a la planta de tratamiento de efluentes industriales, sin conocer el flujo volumétrico de entrada, el cual es el parámetro fundamental para el ajuste de variables operativas en la fase primaria del tratamiento. Los factores más influyentes a esta problemática pueden deberse a la gran cantidad de materia orgánica sólida, la cual está siendo enviada a la planta, aunado a las fallas operacionales en las líneas de manufactura en las unidades de mayor consumo de agua de proceso. Esto ocasiona un desbalance en la carga poluente de diseño del reactor biológico y a su vez en las variables operacionales en todas las unidades del proceso.

En la planta de tratamiento de efluentes industriales (PTEI Heinz), la fase primaria se inicia en la torre de cribado, donde el afluente es enviado mediante bombas sumergibles hasta la torre para reducir los sólidos de gran tamaño. Luego, con el fin de regular los picos de caudal, diluir sustancias inhibitoras del tratamiento biológico y homogeneizar el efluente cribado, se envía a un tanque de compensación hidráulica. Seguidamente, para optimizar el desempeño de los microorganismos en el tratamiento secundario, se dosifica un compuesto de fosfato de amonio en un tanque de neutralización y adición de nutrientes sin control alguno.



La fase del tratamiento secundario opera bajo el esquema del sistema de lodos activados por aireación extendida. Esta etapa consta de un reactor biológico y dos clarificadores, donde el agua clarificada es enviada mediante un canal parshall a la cuenca del Lago de Valencia.

En el tratamiento de los lodos generados, la corriente “Lodo de retorno II” del diagrama de flujo (Figura 1.2) del proceso corresponde a las tuberías y sistema de bombeo destinado al retorno de lodo activado desde el tanque espesador hacia el reactor biológico. La corriente “Lodo de retorno I” (Figura 1.2) se envía al tanque espesador que permite acumular la cantidad diaria de lodo biológico a descargar del sistema. Finalmente, la evacuación es tratada por equipos filtros prensa donde se compacta resultando tortas secas de lodos y así generar varios usos para su disposición final. En la figura 1.2 se muestra el diagrama de flujo simple del proceso en PTEI Heinz y en la figura 1.3 el diagrama de PTEI Heinz.

TABLA 1.1
LISTA DE ETAPAS Y EQUIPOS DE PTEI HEINZ

A	Torre y bombas de cribado
B	Tanque de compensación hidráulica
C	Tanque de neutralización y adición de nutrientes
D	Laboratorio PTEI – Panel de Distribución
E	Reactor biológico
F	Estación de bombeo
G	Vaso comunicante #2
H	Vaso comunicante #1
I	Clarificador # 2
J	Clarificador # 1
K	Tanque espesador de lodos
L	Zona de filtros prensa
M	Medidor Parshall

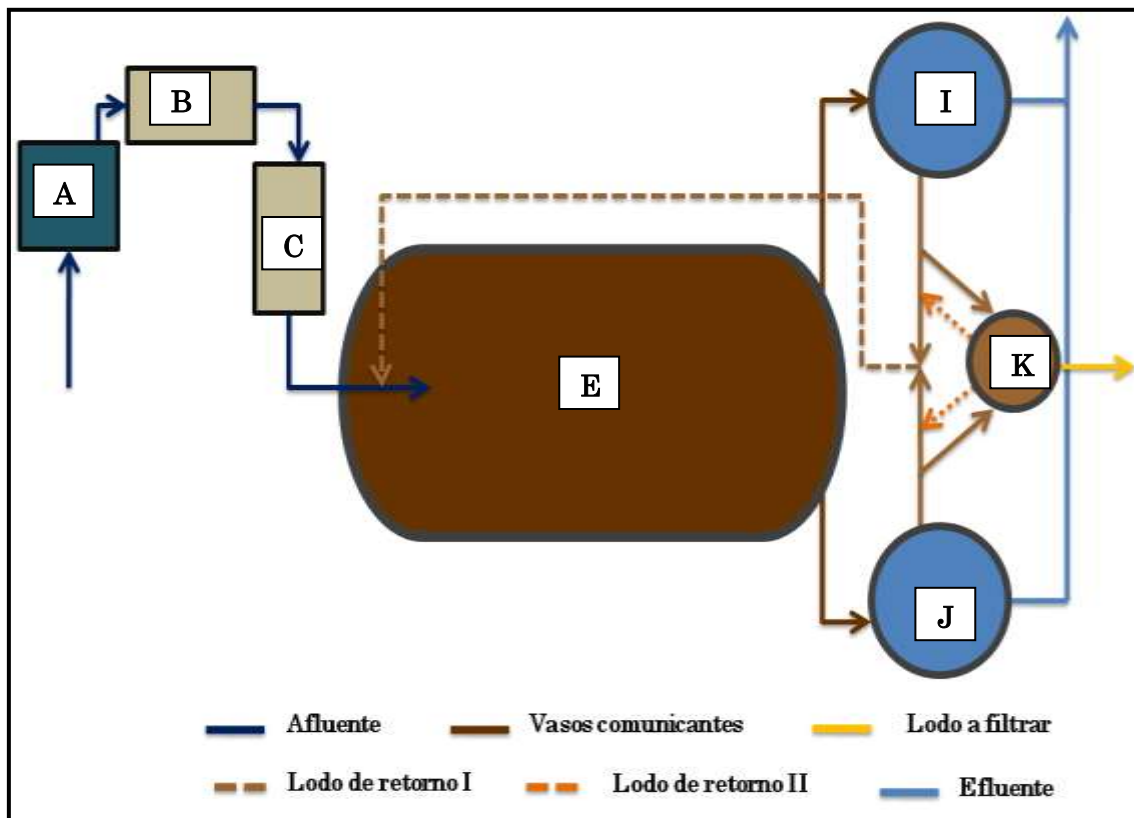


Figura 1.2 Diagrama de flujo simple de PTEI Heinz

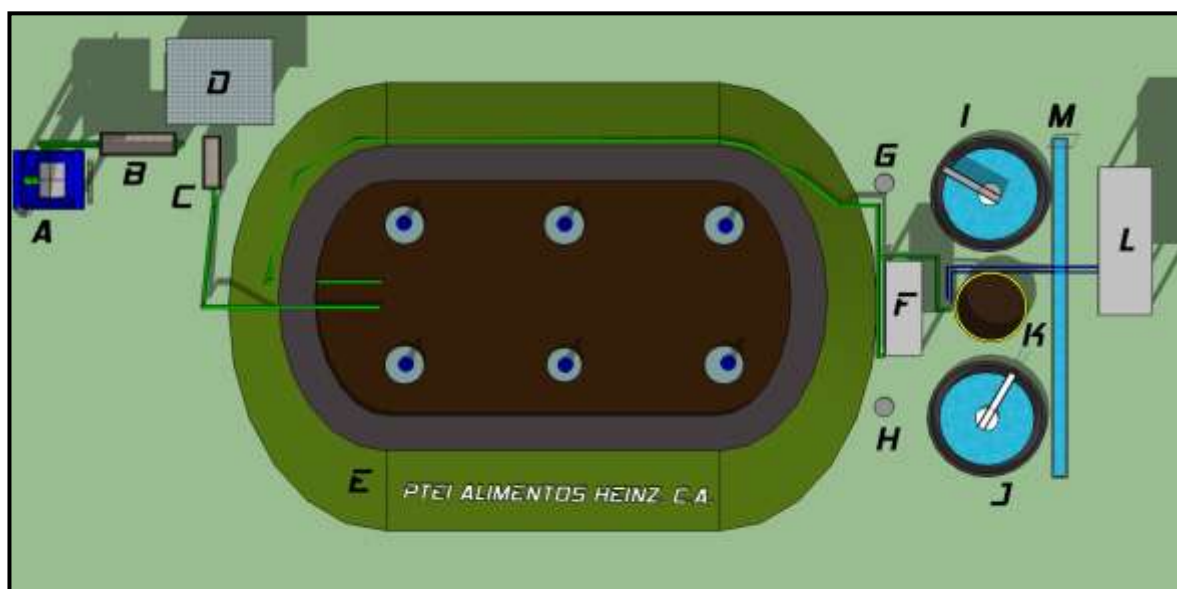


Figura 1.3. Diagrama de PTEI Heinz



1.2 Formulación del problema

Actualmente, la creciente demanda en los productos fabricados por la empresa y el uso no sustentable del agua de proceso origina un incremento en la generación de efluentes a tratar, ocasionando un exceso de carga volumétrica en el afluente de PTEI y así mismo el contenido de contaminantes. Además, se desconoce el caudal del afluente en la entrada de la planta. Esto afecta las condiciones de diseño de las unidades de tratamiento que la conforman, disminuyendo así su eficiencia.

Esto se hace evidente en la dosificación de nutrientes, ya que no hay control de los mismos mediante los parámetros de entrada. Esta problemática afecta las condiciones microbiológicas del reactor y por lo tanto una disminución del caudal del agua tratada para las condiciones actuales de la planta.

Así pues, surge la necesidad de implementar mejoras a la planta por medio de acciones correctivas, en los puntos donde se generan, llegan y se tratan los efluentes industriales, obteniéndose información de parámetros de importancia para el desarrollo de los objetivos y las mejoras en el funcionamiento de la planta de tratamiento.

1.2.1 Situación actual

La inexistencia de planos actualizados de la red de tuberías, canales y tanquillas de efluente industrial, trae como consecuencia el desconocimiento del caudal de entrada a la planta. Esto acarrea una serie de inconvenientes que se evidencian mediante las fallas operativas de las unidades de tratamiento de la PTEI, como lo es el descontrol de la dosificación de nutrientes en el tanque dispuesto para ello y que está íntimamente relacionado con los problemas microbiológicos de la fase de tratamiento secundario. En conjunto, esto origina que la descarga de efluentes tratados sea insuficiente con respecto a su diseño y variabilidad de los parámetros físico-químicos controlados por el decreto 3219.

En los procesos de fabricación de productos, eventualmente se presentan derrames de desechos aceitosos que se vierten en las tanquillas, además de los que podría



conllevar el efluente mismo. Todo esto es enviado a la fosa receptora, luego es bombeado hasta la torre de cribado y enviado al tanque de compensación, conformando esto una fase primaria del tratamiento, sin incluir un plan de acción o unidad que remueva o retenga aceites y grasas libres del afluente. No obstante, los tratamientos biológicos posteriores no se encuentran diseñados para soportar esa carga adicional de contaminantes en altas concentraciones, evidenciándose por la formación de nocardia (tipo de bacterias filamentosas) en el reactor biológico.

1.1.2 Situación deseada

Al aplicar acciones correctivas en base al diagnóstico en todas las plantas, identificar todo el sistema de red de tuberías y alcantarillado y determinar el caudal operacional de los efluentes industriales que llegan a la planta de tratamiento, se implementarán alternativas para la medición continua del caudal de entrada, obteniéndose un parámetro de gran importancia para proponer mejoras de control operativo en las etapas de tratamiento que sea necesario. De esta forma PTEI Heinz se ajustará a la capacidad actual necesaria por parte de lo que se genera en efluentes en los procesos de manufactura. Por otra parte, aplicadas las propuestas de un plan de acción en caso de derrames de aceites y grasas, se tendrá un procedimiento preventivo y correctivo de seguridad industrial y ambiente en estos casos eventuales, evitando el ingreso de estos al proceso de tratamiento del agua y de esta forma optimizando el desempeño biológico del reactor.

1.3 Objetivo general

Proponer un plan de mejora para la planta de tratamiento de efluentes industriales de Alimentos Heinz, C.A.



1.4 Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico de los procesos y redes de generación de efluentes que llegan a la planta de tratamiento.
2. Caracterizar los efluentes que llegan a la planta de tratamiento.
3. Plantear alternativas que permitan implementar un sistema de medición de caudal de entrada de la planta de tratamiento.
4. Seleccionar la alternativa que más se ajuste a los requerimientos apoyados en criterios de comparación técnicos y económicos.
5. Determinar las modificaciones y/o ajustes necesarios para mejorar el tratamiento biológico.
6. Elaborar un plan de acción preventivo y correctivo para casos eventuales de derrames de aceites y grasas en los procesos de manufactura.
7. Determinar la relación beneficio-costos de la implementación del proyecto.

1.5 Justificación

Mediante este trabajo se busca proporcionar a la empresa soluciones efectivas para mejorar el desempeño de la fase primaria del tratamiento de los efluentes industriales, ocasionando así un incremento en el desempeño de las unidades de tratamiento secundario, de lodos y su disposición final.

A nivel experimental, representa la aplicación de conocimientos obtenidos en la investigación y desarrollo sistemático de los objetivos.

Desde el punto de vista ambiental, este es un trabajo que contribuye netamente a un beneficio ecológico, permitiendo que los parámetros que caracterizan los efluentes tratados, mejoren y se ajusten aún más a las normas, contribuyendo con el saneamiento de una de las cuencas hidrográficas más importantes del país. Además, obteniéndose un lodo con mejores características para una disposición final beneficiosa al ambiente.



La aplicación del plan de mejora en la planta de tratamiento tiene un significado innovativo, ya que tanto la implementación de mejora del control operativo en las etapas de tratamiento, planes de acción preventivos y correctivos, alternativas tecnológicas para medir el afluente de PTEI, así como caracterización y conocimiento de las red de tuberías y tanquillas que llegan a la planta, son el resultado de una serie de ideas para las soluciones a la problemática planteada.

Por último, a nivel personal, hay un gran interés que origina la realización del trabajo, debido a que este permite afianzar los conocimientos obtenidos y ampliarlos, adquiriendo experiencias de gran utilidad a nivel industrial.

1.6 Limitaciones

En el transcurso de la realización del trabajo las restricciones que pudieran generarse son: la inexistencia de algunos equipos de laboratorio para los análisis experimentales y el presupuesto de la empresa para incluir en proyecto la aplicación de las propuestas.



CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

En esta sección se describen brevemente los antecedentes de la investigación que tienen similitud con el trabajo planteado, especificándose el objetivo principal, el método utilizado, los resultados obtenidos y las conclusiones más importantes.

2.1. Antecedentes

2.1.1. Andrade J. y Montañez N., (2008), Propusieron la adecuación de los efluentes provenientes del proceso de producción de alimentos en representaciones KAMADA C.A. Para el cumplimiento de los objetivos se inició realizando un diagnóstico de las operaciones y procesamiento de los alimentos, donde cada una de las zonas de generación de efluentes se caracterizaron, para así generar alternativas que ajusten los valores de los parámetros que se encuentren fuera de especificación, seleccionar las mejores propuestas acorde a la caracterización, dimensionar los equipos necesarios en las fases de tratamiento y realizar un análisis costo beneficio de la mejor propuesta. Entre los resultados más relevantes obtenidos fueron: la relación de DBO/DQO, los equipos necesarios para adecuar los efluentes generados, los reactivos químicos a emplear en el proceso de coagulación-floculación, la relación costo-beneficio y estimación de costos asociados de las mejores alternativas propuestas.

2.1.2. Espinoza D. y Col., (2008), establecieron un proceso de gestión integral de residuos líquidos, fundamentándose en el estudio de casos de una planta refinadora de aceite de pescado. Se evaluó la implementación de alternativas blandas de producción limpia y proponiendo alternativas de tratamiento para dar cumplimiento legal de las descargas de los efluentes industriales. Entre las alternativas blandas para el mejoramiento del proceso productivo, se propuso la recirculación de la línea de enfriamiento, el cambio de válvulas, donde se evidenció filtración y el manejo adecuado de residuo arcilloso, obtenido de una etapa intermedia del proceso. Como



alternativas duras, se evaluaron distintos sistemas de tratamientos de efluentes, pudiéndose finalmente determinar que la mejor opción es una secuencia de tres etapas: pre-tratamiento de decantación de tres pasos para separar el sobrenadante y obtener un líquido con menor cantidad de grasa. Una segunda etapa consistente en un sistema DAF (Dissolved Air Flotation) con la adición de coagulante y seguido de la adición de un polímero aglomerante, usado como floculante. Los resultados más relevantes fueron: el sistema más apropiado resultó ser el DAF, precedido por un sistema de control de ajuste de pH, uso de floculante y aglomerante para facilitar la suspensión y aglomeración de residuos aceitosos, y Para disminuir los costos de tratamiento y controlar el flujo del efluente a tratar, se debe cubrir el sistema de tratamiento para evitar el ingreso de aguas lluvias a la planta.

2.1.3. Hernández R. y Col., (2008), se fundamentaron en el análisis y reconfiguración óptima de líneas de efluentes a una unidad de tratamiento multi-contaminante. Los altos costos que representan la construcción de nuevas plantas de tratamiento de efluentes cuando se deben cumplir restricciones normativas más severas en las industrias, hace obligatorio la búsqueda de alternativas que sean atractivas para el rehúso de los sistemas existentes. Se propone un procedimiento que enfatiza la re-evaluación y reconfiguración de instalaciones de tratamiento de contaminantes existentes, que tiene como base la solución sucesiva de un modelo de programación no lineal (PNL). Por lo que se establecen métodos de programación matemática, en donde se desarrolla un modelo matemático de programación no lineal y no convexo, que exhibe la presencia de bilinealidades que frecuentemente causan problemas de convergencia a soluciones óptimas globales. Se concluyó que la optimización del modelo propuesto produce una red de tratamiento de efluentes flexible que puede ser capaz de ajustarse a tales cambios en regulaciones ambientales más demandantes o bien marcar las pautas para la reconfiguración de un sistema para el tratamiento actual de efluentes, donde son obtenidos los menores costos del sistema de tratamiento.



2.1.4. Torres A., (2009), implementó un plan de mejora para la planta de tratamiento de efluentes de una empresa convertidora de papel. Se evaluaron propuestas para el mejoramiento de la planta, en las cuales se identificaron y se analizaron los parámetros físico-químicos involucrados en el desempeño de las unidades de tratamiento, además de las fallas operativas de la planta. Se seleccionaron las alternativas de mejoras más factibles y se realizó la evaluación económica de las mismas. Los resultados obtenidos más relevantes fueron: se logró establecer un control operativo mediante la identificación de las variables que influyen en el funcionamiento de la planta y de las fallas operativas que presenta, se realizó la selección del polímero que mejor se adecúa al tipo de efluente y se determinó la relación costo-beneficio de las mejores propuestas.

2.1.5. Martínez F. y Col., (2010), difundieron la estrategia para el control inicial de descargas de aguas residuales de procesos industriales. Se recomienda cómo determinar los contaminantes descargados por actividad. En base a la norma para el control de descarga se establece una metodología para la identificación inicial del efluente. De los sistemas de pre tratamiento se indagó especialmente en la construcción de trampas de grasa y aceites basado en los valores que presentan los contaminantes de distintas industrias alimenticias. Enseguida, se menciona el método para la identificación de las fuentes contaminantes. Finalmente, se indican las recomendaciones de pre-tratamiento, y las acciones para prevenir la contaminación. Bajo este estudio se concluyó que al controlar los sólidos, grasas y aceites, es posible que disminuya la concentración de la DBO y DQO. Además una vez establecidas las acciones para prevenir la contaminación, es probable que el costo por el tratamiento formal de las aguas residuales en los comercios e industrias disminuya significativamente.



2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Son aquellas aguas de abastecimiento que, habiendo sido usada para diversos fines, acusan en su composición, generalmente, pequeñas cantidades de sustancias extrañas agregadas por los comercios, industrias y núcleos domésticos que la utilizan.

Para los efectos de tratamiento es importante determinar, a través de una serie de análisis de laboratorio, la concentración de aquellas sustancias que por sus características le comunican propiedades indeseables, ofensivas al agua.

Antes de hablar de los tratamientos existentes para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales, se deben conocer los tipos de aguas residuales que existen, los tipos de contaminantes, la clasificación de los contaminantes, los contaminantes habituales en las mismas, las consecuencias que acarrear los vertidos y los métodos analíticos para el control de la calidad del agua para poder así familiarizarnos con los diferentes tratamientos (Ramalho, 1983).

2.2.2. Tipos de aguas residuales

La clasificación de los tipos de aguas residuales se hace generalmente con respecto a su origen, ya que este origen es el que va a determinar su composición. Se clasifican principalmente en aguas residuales de origen urbano y aguas residuales de origen industrial (Ramalho, 1983).

2.2.2.1. Aguas residuales urbanas

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos.

Los aportes que generan esta agua son:



- Aguas negras ó fecales.
- Agua de lavado doméstico.
- Aguas de limpieza de calles.
- Aguas de lluvia y lixiviados.

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante, porque sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, etc. (Ramalho, 1983).

2.2.2.2. Aguas residuales industriales

Son aquellas vertientes provenientes de procesos post-industriales; es decir, aquellas aguas que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción y/o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes de vertidos o sistemas naturales (lagos, ríos, etc.). Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria (Marsilli, 2005).

2.2.3. Características físicas y químicas de las aguas residuales

2.2.3.1. Características físicas

Para saber cuáles son las características físicas que poseen las aguas residuales es necesario obtener información precisa sobre los siguientes parámetros: temperatura, turbiedad, color, sólidos totales, fijos y volátiles: así como también los sólidos suspendidos y sedimentables.



2.2.3.1.1. Temperatura

Es de particular importancia si se desea precisar la magnitud de la serie de parámetros vinculados al campo de tratamiento de aguas y procesos naturales de autodepuración, necesarios para estimar el comportamiento de los procesos aeróbicos y anaeróbicos que en estos casos se aplican o intervienen (Metcalf, 1996).

Cuando un líquido caliente se vuelca a un curso receptor, puede aumentar la temperatura del entorno e incidir en la solubilidad del oxígeno disuelto en él. A mayor temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno, influye también en las velocidades de las reacciones químicas, en los usos del agua y en la vida de la flora y la fauna acuática, ya que puede provocar la coagulación de las proteínas de la materia orgánica y aumentar la toxicidad de algunas sustancias. También incide en los procesos biológicos, por ejemplo: la temperatura óptima para el desarrollo de muchas bacterias se encuentra comprendida en el rango de 25 a 35 °C, estos procesos se inhiben cuando se llega a los 50 °C. A los 15 °C las bacterias productoras de metano cesan su actividad.

2.2.3.1.2. Sólidos suspendidos

Son de mucha importancia para conocer el comportamiento de los líquidos residuales con relación a los diversos procesos utilizados en el campo del tratamiento de las aguas, es la determinación de los denominados sólidos suspendidos. Son removidos mediante tratamientos físicos sencillos, como sedimentación o centrifugación. Son de tamaño mayor a una micra de diámetro aproximadamente (Metcalf, 1996).

2.2.3.2. Características químicas

En general, la composición de las aguas residuales es variable, aunque las aguas de desecho urbanas suelen ser más uniformes, pero las aguas residuales industriales pueden ser muy variables. A continuación se explicaran los parámetros químicos más importantes.



2.2.3.2.1. Acidez

La determinación de la acidez en aguas residuales puede ser de interés cuando se han recibido despojos ácido. Ello con el objeto de prever y conocer la influencia que tal circunstancia ejerce, en especial, sobre los procesos biológicos usados en campo del tratamiento de las aguas residuales, sensibles a aquellos valores que se apartan de los normalmente reportados para tales aguas (Ramalho, 1983).

2.2.3.2.2. pH

El término pH es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidrógeno en una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, esos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indican neutralidad (Ramalho, 1983).

El pH permite predecir a “grosso modo”, el comportamiento esperado por el agua residual cuando es sometida a tratamiento; además, la oportunidad de exigir, en un momento dado, una neutralización de las descargas industriales que provocan el fenómeno.

2.2.3.2.3. Nitrógeno

La determinación del nitrógeno en sus distintas formas (nitrógeno orgánico, amoniacal, de nitritos y nitratos) en aguas residuales es de particular interés en el tratamiento de las mismas, puede proporcionar la siguiente información:

a) En los afluentes de las obras de tratamiento con el objeto de conocer su concentración y poder estimar el grado de transformación que sufren a través de las distintas etapas del acondicionamiento; y para conocer si su concentración es capaz de satisfacer los requerimientos mínimos normalmente reportados para este



elemento, por la actividad metabólica de los microorganismos responsables de la transformación que se operan en la materia orgánica presentes en esas aguas.

b) En los efluentes de las plantas de tratamiento, con el objeto de conocer el grado de transformación que pueden cargar los líquidos tratados; y para predecir, de acuerdo al estado y concentración de los compuestos nitrogenados, el grado de eutricación al que puedan estar sometidos los receptores finales (Metcalf, 1996).

2.2.3.2.4. Fosfatos

La presencia de trazas de fosfatos en los efluentes de plantas de tratamientos, incrementan la tendencia de las aguas de recibimiento en permitir una proliferación de algas que más tarde puedan interferir con la calidad de esas aguas y su comportamiento (Metcalf, 1996).

2.2.3.2.5. Oxígeno disuelto (OD)

Indica el grado de frescura o ranciedad del agua residual. Es considerado, junto con el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno, la determinación más significativa para las aguas residuales y para las aguas receptoras. En efecto, indica entre otros: el estado de septización y potencialidad de las aguas residuales; la calidad de las aguas receptoras y para estimar la actividad fotosintética de las masas hídricas. Por tanto el análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en la determinación de la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales (Metcalf, 1996).

2.2.3.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (oxidación) de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aeróbico, la demanda bioquímica de oxígeno representa indirectamente una medida de la concentración de materia orgánica biodegradable contenida en el agua. Como consecuencia de una actividad biológica, la DBO está influenciada principalmente, por las variables tiempo y temperatura.



Así entendida, la DBO es, a su vez y de por sí, el parámetro más usado para evaluar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Cualquier reducción de su contenido representa una eliminación parcial (o transformación) de la materia orgánica presente (Ramalho, 1983).

Esta determinación es, hasta el momento, la de mayor significación dentro de los análisis aplicados a las aguas residuales y a las masas hídricas receptoras. La DBO, en conjunto con la demanda química de oxígeno, es capaz de evaluar la materia responsable de la polución de las aguas naturales en forma más exacta aún, que la que se obtiene a través de determinación de los sólidos totales contenidos en aguas polutas.

2.2.3.2.7. Demanda química de oxígeno (DQO)

Por presentar una medida de la cantidad de la materia carbonosa contenida en los diferentes tipos de materia orgánica presentes en las aguas residuales, es utilizada, al igual que la DBO, como una expresión del poder polucional de un agua, en especial en aguas residuales industriales, que contienen compuestos tóxicos a los microorganismos responsables de la descomposición de esa materia orgánica. Por otra parte, la DQO, no representa, como la DBO, una diferenciación entre materia orgánica con tendencia a podrirse o no (Ramalho, 1983).

La DQO está basada en el hecho de que todos los compuestos orgánicos (con raras excepciones) pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua mediante la acción, en medio ácido, de agentes fuertemente oxidantes. Por esto los valores de la DQO son mayores a los correspondientes a la DBO de la muestra, y están en proporción a la mayor o menor cantidad de materia orgánica biológicamente resistente a ser oxidada. Es de gran interés determinar este parámetro en los casos en que se contemplan tratamientos de ciertos despojos líquidos industriales.



2.2.3.2.8. Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos de petróleo. Algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad. Por ello si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido.

Su efecto en los sistemas de tratamientos de agua residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso de oxígeno hacia el agua, ni la salida de CO₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir acidificación junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar.

La determinación de grasas y aceites no mide una cantidad específica sino un grupo de sustancias susceptibles de disolverse en hexano, incluyendo ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia extractable con hexano (Metcalf, 1996).

2.2.3.3. Índice de biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad (IB) es un parámetro que permite evaluar el grado de contaminación del agua residual y la naturaleza de sus contaminantes (biodegradables o no biodegradables); este índice puede ser determinado a partir de la ecuación 3.1:

$$IB = \frac{DBO}{DQO} \quad \text{EC. (3.1)}$$

(Ramalho, 1983)

Donde:

IB: índice de biodegradabilidad [-]



$DBO_{AFLUENTE}$: demanda bioquímica de oxígeno del afluente [$mg O_2/L$]

$DQO_{AFLUENTE}$: demanda química de oxígeno del afluente [$mg O_2/L$]

En la tabla 2.1 se presentan los rangos de IB de acuerdo al tipo de agua residual a ser tratada.

TABLA 2.1
RANGOS DEL ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD SEGÚN EL TIPO DE AGUA RESIDUAL

Rango de IB	Tipo de agua residual
$IB > 0,6$	Biodegradable (Puede ser tratada biológicamente)
$0,6 > IB > 0,2$	Medianamente biodegradable
$IB < 0,2$	Poco biodegradable

Fuente: Ramalho, 1983.

2.2.4. Tratamientos de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición.

Un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes (contaminantes) del agua residual a niveles aceptables. Se pueden hacer muchas combinaciones de operaciones y procesos unitarios.



2.2.5. Tratamiento de aguas residuales industriales

Para los tratamientos de aguas residuales industriales podemos hablar de los siguientes procesos generales: tratamientos primarios, secundarios y terciarios, utilizándose siempre y cuando apliquen al proceso en concreto. A continuación se definen cada uno de ellos:

2.2.5.1. Tratamiento primario

Esta parte del tratamiento implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga bien sea en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de una neutralización u homogenización. Los tipos fundamentales de tratamientos primarios que trataremos en este capítulo son: el cribado o desbrozo, la sedimentación, la flotación, la neutralización y homogeneización.

2.2.5.1.1. Cribado

El cribado, también llamado desbrozo, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. La distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas, y su limpieza se hace bien sea manualmente o mecánicamente (Ramalho, 1983). Los productos recogidos se destruyen por incineración, se tratan por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero. Las materias sólidas recogidas se suelen clasificar en finos y gruesos.

Las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos. Generalmente están fabricadas de malla metálica de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado y se usan muchas veces en lugar de tanques de sedimentación. Sin embargo, aunque puede llegarse a eliminar entre un 5 y un 25 % de sólidos en suspensión, de un 40 a un 60% se eliminan por sedimentación. Por esta razón, y también porque el atascamiento es normalmente un problema, el uso de tamices finos o con abertura pequeña no es muy normal. Las rejillas o cribas de gruesos



tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 8 o 9 cm. Se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos (Ramalho, 1983).

A veces se utilizan trituradoras en lugar de las rejillas de gruesos. Estos elementos rompen o desgarran los sólidos en suspensión, que se eliminan por sedimentación.

2.2.5.1.2. Neutralización en el campo de los tratamientos de aguas residuales

El tratamiento de neutralización se utiliza normalmente en los siguientes casos que se presentan en la depuración de aguas residuales:

1. Antes de la descarga de aguas residuales en un medio receptor. La justificación para la neutralización es que la vida acuática es muy sensible a variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a $\text{pH} = 7$.
2. Antes de la descarga de aguas residuales industriales al alcantarillado municipal. La especificación del pH de las descargas industriales en las alcantarillas se hace de forma frecuente. Es más económico hacer una neutralización de las corrientes de aguas residuales industriales antes de descargar en el alcantarillado municipal, que intentar hacer una neutralización de los mayores volúmenes de las aguas residuales mixtas combinadas domésticas e industriales.
3. Antes del tratamiento químico o biológico. Para los tratamientos biológicos el pH del sistema se mantiene en un intervalo comprendido entre 6.5 y 8.5 para asegurar una actividad biológica óptima. El proceso biológico en sí mismo puede conseguir una neutralización, y en cualquier caso tiene una capacidad tampón como resultado de la producción de CO_2 , que da lugar a la formación de carbonatos y bicarbonatos en la solución. El grado de pre neutralización requerida para el tratamiento biológico depende de dos factores:



- La alcalinidad o acidez presente en el agua residual.
- Los mg/L de DBO que deben eliminarse en el tratamiento biológico.

Este último aspecto está muy relacionado con la producción de CO_2 , que puede dar lugar a una pequeña neutralización de los residuos alcalinos.

2.2.5.1.3. Homogenización

Cuando se va a utilizar para conseguir la neutralización, la homogeneización significa la mezcla de las corrientes de aguas residuales, ácidas y alcalinas en un tanque de homogeneización. La homogeneización se utiliza a menudo para otros objetivos aparte de la neutralización, como son:

- Aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales, intentando conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante que sea el que llegue a la planta de tratamiento.
- Aminorar las variaciones de la DBO del afluente a los sistemas de tratamiento.

2.2.6. Necesidades de nutrientes y de factores de crecimiento

En ocasiones los nutrientes pueden condicionar y limitar, en mayor medida que el carbono y la energía, la síntesis celular y el crecimiento bacteriano. Los principales nutrientes inorgánicos necesarios para los microorganismos son: N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na, Cl, mientras que entre los nutrientes de menor importancia se hallan el Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V y W (Metcalf, 1996).

Al margen de los nutrientes inorgánicos que se acaban de citar, algunos microorganismos pueden necesitar también algunos nutrientes orgánicos. Los nutrientes orgánicos, conocidos como “factores de crecimiento”, son compuestos que necesitan los organismos como precursores o constituyentes para la síntesis de materia celular orgánica que no se puede obtener a partir de otras fuentes de



carbono. A pesar de que los factores de crecimiento varían de un organismo a otro, los principales factores de crecimiento se pueden dividir en las siguientes tres clases:

1. Aminoácidos
2. Purinas y pirimidinas
3. Vitaminas

2.2.7. La nutrición bacteriana y los procesos de tratamiento biológicos

El principal objetivo de la mayoría de los procesos de tratamiento biológico es la reducción del contenido de materia orgánica (DBO carbonosa) del agua residual. Para conseguir este objetivo, son de gran importancia los organismos quimioheterótrofos, pues además de energía y carbono, también necesitan compuestos orgánicos. Cuando los objetivos del tratamiento incluyan la conversión de amoníaco en nitrato, son de gran importancia las bacterias nitrificantes quimioheterótrofas (Jenkins, 1993).

Las aguas residuales municipales suelen contener cantidades de nutrientes (tanto orgánicos como inorgánicos) adecuadas para permitir el tratamiento biológico para la eliminación de la DBO carbonosa. No obstante, en aguas residuales de origen industrial, puede ocurrir que no exista suficiente presencia de nutrientes. En tales casos, es necesario añadir nutrientes para permitir el adecuado crecimiento bacteriano y la consiguiente degradación de los residuos orgánicos (Metcalf, 1996).

2.2.8. Proceso de lodos activados

En el sistema de lodos activados, el agua residual (efluente industrial) es vertida a un reactor biológico, y a medida que la mezcla formada por los microorganismos y el agua residual (licor de mezcla) atraviesa el reactor, los microorganismos consumen la materia orgánica contaminante del agua para emplearla como fuente de energía. Así, la materia orgánica es convertida bajo condiciones aeróbicas en dióxido de carbono, agua y biomasa.



El lodo activado no es más que la mezcla de los microorganismos y la materia orgánica no degradada, este lodo es separado del agua tratada biológicamente en los clarificadores secundarios (o también llamados sedimentadores secundarios) y luego parte de él es recirculado al reactor con la finalidad de mantener una concentración de biomasa adecuada.

La concentración de los sólidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla (SSVLM) del reactor biológico (o también conocido como licor de mezcla) suelen ser utilizados para representar la concentración másica de microorganismos presentes en el proceso (Metcalf, 1996).

2.2.8.1. Lodos activados por aireación extendida

Es una de las modificaciones del sistema de lodos activados ideada con la finalidad de reducir la cantidad de lodos en exceso generados en el sistema. Las plantas de lodos activados que operan bajo este esquema, trabajan con períodos de aireación, concentración de sólidos, flujo de lodo de retorno, edad del lodo y tiempos de retención hidráulica elevados.

En cuanto a tratamiento primario, el afluente puede ser únicamente tratado por cribado sin la necesidad de sedimentación primaria. Este sistema permite operar satisfactoriamente plantas de tratamiento de bajo caudal ($Q < 3780 \text{ m}^3/\text{d}$), con fluctuaciones de caudal y carga orgánica a la entrada (Spellman, 2003).

Teóricamente no existe producción de lodos en el sistema debido a que a altas concentraciones de sólidos suspendidos en el licor de mezcla y a una relación alimento a microorganismos (F/M) considerablemente baja, se producen condiciones de inanición en los microorganismos que conllevan a una reducción de la biomasa presente en el reactor (canibalismo por respiración endógena), disminuyendo así la acumulación de lodos. (Metcalf, 1996).

2.2.8.2. Microbiología del proceso de lodos activados

Existen dos metas primordiales en el sistema de lodos activados:



1. Oxidación de la materia orgánica biodegradable contenida en el reactor biológico.
 2. Biofloculación y separación de la nueva biomasa formada del efluente ya tratado.
- En el proceso de lodos activados, las bacterias se encargan de oxidar la materia orgánica y transformar los nutrientes del afluente (meta 1), obteniéndose como productos células nuevas y otros compuestos como dióxido de carbono y agua. A su vez, los protozoos y los rotíferos contribuyen en el proceso de floculación (meta 2), purifican el efluente ya tratado y consumen tanto las bacterias dispersas que no han floculado en el sistema, como las partículas biológicas que no hayan sedimentado en los clarificadores.

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas y procariotas (eubacterias y arqueobacterias). Los grupos procariotas suelen denominarse simplemente bacterias, y el grupo de las eucariotas incluye las plantas, animales y los protistas (Metcalf, 1996).

A continuación se presentan los aspectos más relevantes de cada tipo de microorganismo presente en el lodo activado y las especies más comunes en el tratamiento biológico de lodos activados:

2.2.8.2.1. Bacterias

Existen dos grupos de bacterias cuya presencia es fundamental en el proceso de lodos activados ya que participan en el proceso de degradación y biofloculación de la materia orgánica; estas son: las bacterias floculantes y las bacterias filamentosas.

2.2.8.2.2. Bacterias floculantes

Este grupo está conformado por las bacterias capaces de producir componentes celulares claves que les permitan aglutinarse entre sí. Estos componentes celulares son: la Pili (extensión de la membrana celular de la bacteria), polisacáridos y polihidroxibutiratos (PHB) o gránulos de almidón (Gerardi, 2006).



Las bacterias floculantes además de ser los microorganismos fundamentales para la formación del flóculo biológico, son las encargadas de oxidar la materia orgánica y transformar los nutrientes presentes en el agua residual.

2.2.8.2.3. Bacterias filamentosas

El rol de este grupo de bacterias sobre el proceso de lodos activados posee tanto aspectos positivos como negativos. Entre los aspectos positivos están: la formación del flóculo biológico y la degradación de las sustancias que contribuyen a la DBO; entre los aspectos negativos están: problemas de sedimentación del lodo, fuga de sólidos en los clarificadores y la producción de espuma y/o nata (Gerardi, 2006).

En la tabla 2.2 se presentan los géneros de bacterias filamentosas asociadas con el proceso de lodos activados:

TABLA 2.2.
BACTERIAS FILAMENTOSAS PREDOMINANTES EN EL PROCESO DE LODOS
ACTIVADOS.

Géneros de bacterias filamentosas	
<i>Haliscomenobacterhydrossis</i>	<i>Beggiatoa</i>
<i>Microthrixparvicella</i>	Tipo 0581
<i>Nocardia</i>	Tipo 0803
<i>Thiothrix</i>	Tipo 0961
Tipo 0041	Tipo 1702
Tipo 0092	Tipo 1851
Tipo 0675	Tipo 1863
Tipo 1701	<i>Sphaerotilusnatans</i>
Tipo 021N	Tipo 0914
<i>Nosticodalimicola</i>	Tipo 0411

Fuente: Gerardi, 2006



2.2.8.2.4. *Bulking* filamentoso o hinchamiento de lodos

El *bulking* filamentoso o hinchamiento de lodos es uno de los problemas de mayor repercusión sobre el sistema de lodos activados.

Para que la separación entre el lodo activado y el efluente tratado sea efectiva (rápida sedimentación y compactación apropiada del lodo en los clarificadores), es necesaria la participación tanto de bacterias floculantes como bacterias filamentosas. Durante el proceso de biofloculación, las bacterias filamentosas sirven de soporte a los demás microorganismos que quedan fijados en el flóculo, brindándole a este la resistencia y densidad necesarias para sedimentar. A pesar de esto, si la presencia de bacterias filamentosas es excesiva, empiezan a formarse flóculos de estructura abierta que sedimentan lentamente y traen como consecuencia una compactación pobre del lodo. Esta incidencia sobre la sedimentación del lodo activado trae consigo deficiencias en el tratamiento y disposición del lodo de purga que se ven reflejadas en el aumento de la concentración de sólidos suspendidos en el reactor.




El crecimiento de los filamentosos depende en gran medida, de las condiciones de operación de la planta de tratamiento, tales como: concentración de oxígeno disuelto (OD) baja, relación F/M alta, deficiencia de nutrientes (nitrógeno y fósforo), pH bajo, temperatura, carga orgánica baja, DBO residual soluble, composición del agua residual (concentraciones altas en grasa y aceites), mayores tiempos de retención celular.

La denominación de los microorganismos filamentosos se hace por medio del género, en otros casos se incluye la especie y en muchos otros, se usa la denominación alfanumérica (Jenkins, 1993).

En la Tabla 2.3 se presentan tres ejemplos claves de estructuras de flóculo de lodo activado de acuerdo a la presencia de bacterias filamentosas

TABLA 2.3.

TIPOS DE FLÓCULO BIOLÓGICO Y SUS EFECTOS SOBRE EL SISTEMA.

Tipo de flóculo	Efectos sobre el sistema
FLÓCULO IDEAL 	Flóculo largo, denso y resistente Efluente limpio Bajo IVL Balance entre bacterias filamentosas y floculantes. Los filamentos no causan efectos negativos en la floculación.
BIOPARTÍCULA DISPERSA 	Ausencia de bacterias filamentosas Flóculo débil y pequeño Efluente turbio Bajo IVL
EXCESO DE FILAMENTOS 	Bacterias filamentosas predominantes en el sistema Flóculo largo y de menor densidad Efluente limpio. Los filamentos interfieren con la sedimentación y compactación del lodo

Fuente: Daigger, 1999.



Entre los efectos más negativos del *bulking* filamentoso sobre el sistema de tratamiento están: la formación de espuma o nata sobrenadante en el reactor biológico y la acumulación de lodos hinchados en los clarificadores.

A su vez el exceso de espuma y nata producida por este fenómeno incrementa la DBO y los sólidos suspendidos en el efluente de la planta de tratamiento, obstaculiza los mecanismos de aireación mecánica y consume el oxígeno disuelto presente en la superficie del reactor y/o clarificadores.

2.2.9. Medición de flujo

La medición del flujo de fluidos es una de las mediciones de mayor importancia en el control de procesos que se llevan a cabo en gasoductos, oleoductos, plantas de inyección o transmisión, plantas industriales, acueductos, etc. El fluido a medir puede ser un líquido, un gas o una mezcla de ambos, en este caso será una mezcla bifásica. En cada caso existen diversos medidores y dispositivos de medición que pueden ser utilizados, para cuantificar la tasa de flujo. Un medidor de flujo es básicamente un dispositivo que mide la tasa de flujo o cantidad de un fluido en movimiento a través de un gasoducto abierto o cerrado. Por lo general, consiste de un elemento primario, un elemento secundario y uno terciario (INN, 2009).

2.2.9.1. El elemento primario del medidor de flujo

Este aparato es un dispositivo instalado interna o externamente en la tubería de flujo, que produce una señal en relación al flujo de fluido que circula por el gasoducto. La señal que produce el dispositivo esta en concordancia con las leyes físicas conocidas, relacionado la interacción del fluido a la presencia del elemento primario, en función del elemento primario utilizado, los medidores de flujo pueden ser clasificados en medidores de cantidad y medidores de tasa (INN, 2009).

2.2.9.2. Elementos secundarios del medidor de flujo

Este es un dispositivo que responde a la señalización del elemento primario y la convierte en una señal de salida que puede ser traducida en tasa de flujo o cantidad



de fluido, con lo cual se determina la tasa de caudal, para realizar este proceso son necesarios los siguientes instrumentos.

El elemento secundario es un dispositivo que responde a la señalización del elemento primario y la convierte en una señal de salida que puede ser traducida en tasa de flujo o cantidad de fluido (INN, 2009).

2.2.9.3. Elemento terciario

Este dispositivo permite realizar el cálculo del caudal, a través de un sistema computarizado. Traduciendo la señal generada por el elemento secundario (INN, 2009).

2.2.9.4. Importancia del elemento primario en la medición del flujo

En función del elemento primario utilizado los medidores de flujo pueden ser clasificados en Medidores de Cantidad y Medidores de Tasa. La selección de un medidor es determinada por su confiabilidad, tanto en la medición como de mecánica, y su rango. La confiabilidad es un asunto de experiencia, de trabajo y de prueba. El rango requerido en la medición que se determina por cálculos de diseños preliminares. La medición de la tasa de flujo ha sido tradicionalmente un aspecto mecánico. Para lograr una alta precisión y exactitud en la medición del fluido, es necesario hacer la selección correcta del tipo de medidor a utilizar. Al seleccionar un determinado tipo de medidor, para la medición de un fluido, hay que tomar en cuenta la diferencia entre exactitud y precisión. Ambos términos involucran diferentes tipos de errores (INN, 2009).

2.2.9.5. La exactitud de un medidor de flujo

La exactitud, es la relación entre la tasa de flujo real y la tasa de flujo medida, pueden utilizarse ciertos procedimientos de prueba de medidores, para determinar la cantidad de error cometido en la exactitud. La precisión es la cantidad de veces



que se repite una medición, correcta o incorrecta. Un instrumento, por ejemplo puede ser muy preciso y además muy inexacto (INN, 2009).

2.2.10. Caudalímetros en canal abierto - canal de aforo parshall

Se describe técnicamente como un canal Venturi o de onda estacionaria o de un aforador de profundidad crítica. Sus principales ventajas son que sólo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos o desechos, que no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación y que tampoco necesita correcciones para una sumersión de hasta el 70%. En consecuencia, es adecuado para la medición del caudal en los canales de riego o en las corrientes naturales con una pendiente suave.

El principio básico se ilustra en la Figura 2.2. El aforador está constituido por una sección de convergencia con un piso nivelado, una garganta con un piso en pendiente hacia aguas abajo y una sección de divergencia con un piso en pendiente hacia aguas arriba. Gracias a ello el caudal avanza a una velocidad crítica a través de la garganta y con una onda estacionaria en la sección de divergencia.

Con un flujo libre el nivel del agua en la salida no es lo bastante elevado como para afectar el caudal a través de la garganta y, en consecuencia, el caudal es proporcional al nivel medido en el punto especificado en la sección de convergencia. La relación del nivel del agua aguas abajo con el nivel aguas arriba se conoce como el grado de sumersión; una ventaja del canal de aforo Parshall es que no requiere corrección alguna hasta un 70% de sumersión (I.A.C, S.L., 2008).

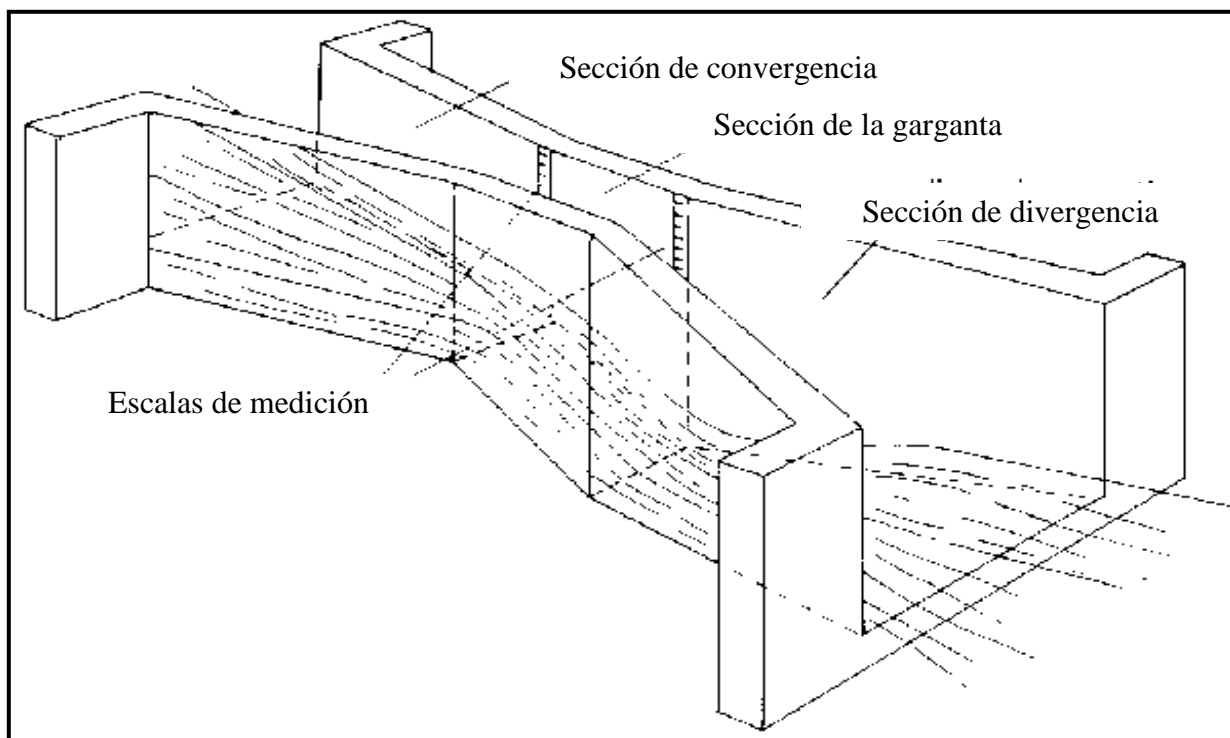


Figura 2.2. Canal de aforo Parshall. Fuente: I.A.C, S.L., 2008

2.2.10. Conceptos estadísticos

2.2.10.1. Media

Describe un conjunto entero de observaciones con un valor individual que representa el centro de los datos. La media (promedio aritmético) es la suma de todas las observaciones dividida entre el número de observaciones. Por ejemplo, el tiempo de espera (en minutos) de cinco clientes en un banco es: 3, 2, 4, 1 y 2. El tiempo de espera promedio es:

$$\frac{3 + 2 + 4 + 1 + 2}{5} = \frac{12}{5} = 2.4 \text{ min.}$$

En promedio, un cliente espera 2.4 minutos para ser atendido en el banco.

Debido a que la media depende de igual manera de todos los datos, incluyendo los valores extremos, pudiera no ser representativa del centro en el caso de los datos asimétricos (Montgomery, 2003).

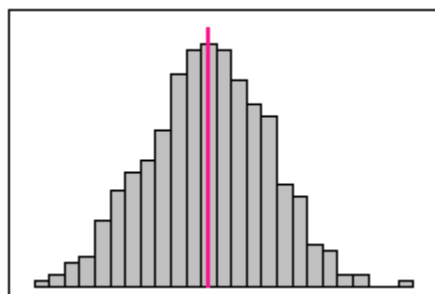


Figura 2.3. Datos simétricos.

Datos simétricos: la media (línea rosada) se ubica cerca del centro de la distribución, convirtiéndose en una representación adecuada del centro.

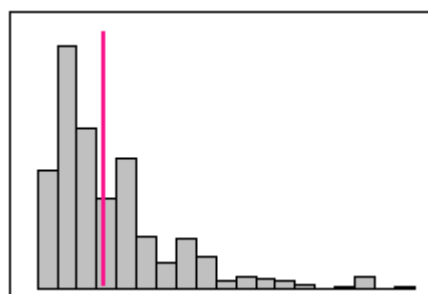


Figura 2.4. Datos asimétricos.

Datos asimétricos: la media (línea rosada) se desplaza hacia la cola más pesada, por lo cual no debería considerarse realmente como una representación del centro.

Muchos análisis estadísticos utilizan la media como punto de referencia estándar.

2.2.10.2. Varianza

Una medida de dispersión que representa el grado en que un conjunto o distribución de datos aparece disperso alrededor de su media (Montgomery, 2003).

La supervisión de la varianza es esencial para las industrias manufactureras y de calidad debido a que la reducción de la varianza de procesos incrementa la precisión y reduce el número de defectos. Por ejemplo, una fábrica produce clavos para carpintería que tienen 50mm de longitud y un clavo cumple con las especificaciones si la longitud está dentro de 2mm del valor objetivo de 50mm. La fábrica utiliza dos tipos de máquinas para fabricar clavos. Ambas máquinas producen clavos con longitudes normalmente distribuidas y una longitud media de 50mm. Sin embargo, los clavos de cada máquina tienen varianzas diferentes: La máquina A, con la distribución de línea de puntos que se muestra abajo, produce clavos con una varianza de 9mm^2 y la máquina B con la distribución de línea continua que se

muestra abajo, produce clavos con una varianza de 1mm^2 . Las distribuciones de la longitud de los clavos para cada máquina están sobrepuestas, junto con los límites de especificación verticales inferiores y superiores:

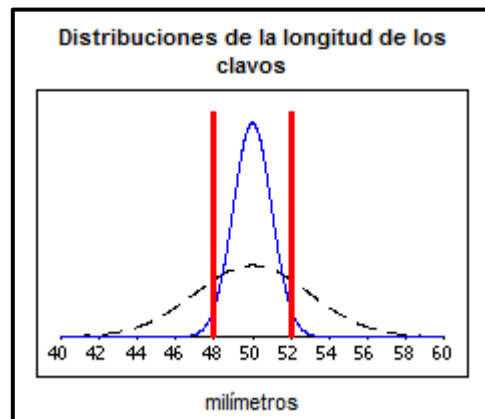


Figura 2.5. Ejemplo de varianza.

La longitud de los clavos de la máquina A tiene una varianza más grande que la longitud de los clavos de la máquina B. Por lo tanto, cualquier clavo de la máquina A tiene una mayor probabilidad de estar fuera de los límites de especificación que un clavo de la máquina B.

Debido a que la varianza (s^2) es una cantidad elevada al cuadrado, sus unidades también están elevadas al cuadrado y pueden ser confusas para discutir en la práctica. Por ejemplo, una muestra del tiempo de espera en una parada de autobuses puede tener una media de 15 minutos y una varianza de 9 minutos². Para resolver esta confusión, con frecuencia se muestra la varianza con su raíz cuadrada, la desviación estándar (s), que es una medición más intuitiva. Una varianza de 9 minutos² es equivalente a una desviación estándar de 3 minutos.

2.2.10.3. Desviación estándar

La medida de dispersión más común, que indica cuán separados de la media están los datos. Mientras el rango estima la dispersión de los datos restando el valor mínimo al valor máximo, la desviación estándar estima aproximadamente la distancia "promedio" de las observaciones individuales con respecto a la media.

Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos (Montgomery, 2003).

La desviación estándar se puede utilizar como un valor de referencia preliminar para estimar la variación general de un proceso. La desviación estándar se calcula tomando la raíz cuadrada positiva de la varianza, otra medición de la dispersión de los datos. Sin embargo, comúnmente es más conveniente e intuitivo trabajar con la desviación estándar, porque ésta utiliza las mismas unidades que los datos. Por ejemplo, si una pieza de una máquina se pesa en gramos, la desviación estándar de su peso también se calcula en gramos, mientras que su varianza se calcula en gramos.

En una distribución normal (forma de campana), las desviaciones estándar sucesivas con respecto a la media proveen valores de referencia útiles para estimar el porcentaje de observaciones de datos.

Alrededor del 95% de las observaciones están dentro de 2 desviaciones estándar de la media, indicadas por el área sombreada en azul.

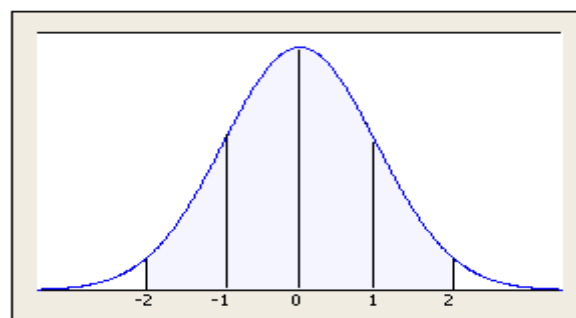


Figura 2.6. Ejemplo de desviación estándar.

Aproximadamente el 68% de las observaciones están dentro de una 1 desviación estándar de la media (-1 a +1), y alrededor del 99.7% de las observaciones estarían dentro de 3 desviaciones estándar de la media (-3 a +3)



El símbolo s (sigma) se utiliza frecuentemente para representar la desviación estándar de una población, mientras que s se utiliza para representar la desviación estándar de una muestra.

La variación que no es aleatoria o natural de un proceso se conoce comúnmente como ruido.

2.2.10.4. Intervalo de confianza

Un rango de valores, derivado de estadísticas de muestra, que posiblemente incluya el valor de un parámetro desconocido de la población. Debido a su naturaleza aleatoria, es poco probable que dos muestras de una población dada generen intervalos de confianza idénticos. Sin embargo, si repitió muchas veces su muestra, un determinado porcentaje de los intervalos de confianza resultantes incluiría el parámetro desconocido de la población. El porcentaje de estos intervalos de confianza que incluyen el parámetro es el nivel de confianza del intervalo (Montgomery, 2003).

Por ejemplo, supongamos que usted desea conocer la cantidad de tiempo promedio que se requiere para que una línea de ensamblaje de automóviles complete un vehículo. Usted toma una muestra de autos completos, registra el tiempo que éstos pasaron en la línea de ensamblaje y utiliza el procedimiento t de 1 muestra para obtener un intervalo de confianza de 95% para la cantidad de tiempo medio que todos los autos pasan en la línea de ensamblaje. Debido a que el 95% de los intervalos de confianza construidos a partir de todas las muestras posibles incluirá el parámetro de la población, usted concluye que la cantidad de tiempo medio que todos los autos pasan en la línea de ensamblaje está entre las cotas de su intervalo, que se conocen como límites de confianza.

La creación de intervalos de confianza es análoga a arrojar redes sobre un blanco con una ubicación desconocida, aunque fija. Consideremos la gráfica siguiente, que dibuja los intervalos de confianza generados a partir de 20 muestras de la misma población. La línea negra representa el valor fijo del parámetro desconocido de la

población; los intervalos de confianza azules contienen el valor del parámetro de la población; el intervalo de confianza rojo no.

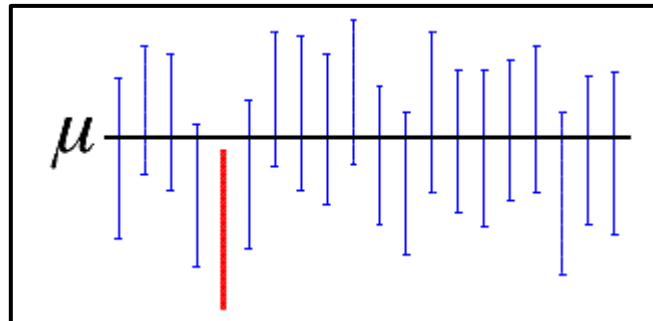


Figura 2.7. Intervalo de confianza.

Un intervalo de confianza de 95% indica que 19 de 20 muestras (95%) de la misma población generarán intervalos de confianza que contengan el parámetro de la población.

2.2.10.5. Error estándar de la media (media del error estándar)

Mide con cuánta precisión la media de la muestra estima la media de la población y se utiliza para crear intervalos de confianza para la media de la población. Los valores de Media del Error Estándar más bajos indican con mayor precisión las estimaciones de la media de la población (Montgomery, 2003).

La Media del Error Estándar es igual a la o las desviaciones estándares de la muestra divididas entre la raíz cuadrada del tamaño de la muestra (n). Por lo tanto:

- Una desviación estándar más grande tendrá como resultado una Media del Error Estándar más grande.
- Un tamaño de la muestra más grande tendrá como resultado una Media del Error Estándar más pequeña.

2.2.10.6. Margen de error

Expresa la cantidad de error de muestreo aleatorio en la estimación de un parámetro, como la media o proporción. El margen de error a menudo se notifica en



los resultados de un sondeo (Montgomery, 2003). Por ejemplo, una encuesta política podría notificar que el nivel de popularidad de un candidato es de 55% con un margen de error de 5%. Esto significa que el nivel de popularidad real es de $\pm 5\%$ y, por lo tanto, se ubica entre 50% y 60% (el intervalo de confianza).

Cuando la hipótesis alternativa es bilateral, el margen de error es la distancia desde la estadística estimada hasta el valor del intervalo de confianza. Cuando se estima la media (normal), los intervalos de confianza son simétricos; por lo tanto, el margen de error es la mitad del ancho del intervalo de confianza. Por ejemplo, la longitud estimada media de un árbol de levas es de 600 mm y el intervalo de confianza abarca de 599 a 601. El margen de error es 1. Para una hipótesis alternativa unilateral o direccional, el margen de error es el ancho de la banda inferior o superior desde la estadística estimada. Por ejemplo, la longitud estimada media es de 600 mm y la banda inferior es 597.5. En este caso, el margen de error es 2.5.

Mientras más grande sea el margen de error, más amplios son los intervalos de confianza y existen menos probabilidades de que el valor estimado se ubique cerca del valor real de la población.

2.2.10.7 Prueba de hipótesis

Procedimiento que evalúa dos enunciados mutuamente excluyentes sobre una población. Una prueba de hipótesis utiliza datos de muestra para determinar a cuál enunciado respaldan mejor los datos. Estos dos enunciados se denominan hipótesis nula e hipótesis alternativa. Siempre son enunciados sobre los atributos de las poblaciones, tales como el valor de un parámetro, la diferencia entre parámetros correspondientes de múltiples poblaciones o el tipo de distribución que describe mejor a la población.

Hipótesis nula: H_0

Indica que un parámetro de población es igual a un valor deseado.

Hipótesis alternativa: H_1 o H_A



Indica que el parámetro de población es diferente del valor del parámetro de población en la hipótesis nula.

2.2.10.8 Error tipo I y II

Errores que pudiera cometer en su decisión de rechazar o no rechazar la hipótesis nula (H_0). Si usted rechaza la hipótesis nula cuando es verdadera, comete un error de tipo I. Si usted no rechaza la hipótesis nula cuando es falsa, comete un error de tipo II.

A continuación, se muestra una tabla de las cuatro decisiones posibles que puede tomar en relación con la hipótesis nula:

	H_0 es verdadera	H_0 es falsa
No rechazar H_0	Decisión correcta	Error de tipo II
Rechazar H_0	Error de tipo I	Decisión correcta

Supongamos que un investigador médico está interesado en comparar la efectividad de dos medicamentos. Las hipótesis nula y alternativa son:

Hipótesis nula (H_0): $m_1 = m_2$

Hipótesis alternativa (H_1): $m_1 \neq m_2$

Si comete un error de tipo I, rechaza la hipótesis nula, al concluir que los dos medicamentos son diferentes cuando en realidad no lo son. Si los medicamentos son iguales en efectividad, pudiera no considerar este error como demasiado serio, porque los pacientes reciben el mismo nivel de efectividad. Si comete un error de tipo II, no rechaza la hipótesis nula cuando debería rechazarla. Es decir, usted concluye que los medicamentos son iguales cuando en realidad son diferentes. Este error puede poner en riesgo la vida del paciente, si se vende al público el medicamento menos efectivo en lugar del más efectivo. Mientras realiza sus propias pruebas de



hipótesis, considere los riesgos de los errores de tipo I y II y si la probabilidad de cometer un tipo de error es más seria o costosa que cometer el otro tipo de error.

La probabilidad de cometer un error de tipo I es α , que es el nivel de significancia que usted establece para su prueba de hipótesis. Un α de 0.05 indica que está dispuesto a aceptar una probabilidad de 5 por ciento de que está equivocado cuando rechaza la hipótesis nula. La probabilidad de cometer un error de tipo II es β , que es un valor que generalmente no puede conocer. Sin embargo, puede reducir su riesgo de cometer un error de tipo II, al asegurarse de que su prueba tenga suficiente potencia. Puede hacer esto, al asegurarse de que el tamaño de su muestra sea lo suficientemente grande como para detectar una diferencia cuando ésta realmente exista.

2.2.10.9 Estadísticamente significativo

La diferencia entre una estadística de muestra y un valor de parámetro hipotético es estadísticamente significativa, si una prueba de hipótesis sugiere que es muy poco probable que haya ocurrido en virtud de las probabilidades. Puede evaluar la significación estadística al observar el valor p de una prueba, que es la probabilidad de obtener una estadística de prueba por lo menos tan extrema como el valor que calculó a partir de su muestra, si la hipótesis nula es verdadera. Si el valor p está por debajo de una significación específica – o nivel de significancia (α) – (generalmente 0.10, 0.05 ó 0.01), puede declarar que la diferencia es estadísticamente significativa y rechazar la hipótesis nula de la prueba (Montgomery, 2003).

Por ejemplo, supongamos que desea determinar si el grosor del parabrisas de un auto supera los 4mm, tal como lo exigen las normas de seguridad. Usted toma una muestra de parabrisas, realiza una prueba t de 1 muestra con un nivel α de 0.05 y plantea las hipótesis siguientes: $H_0: m = 4$ y $H_1: m > 4$. Si la prueba genera un valor p de 0.001, usted declara una significación estadística y rechaza la hipótesis nula,



porque el valor p es inferior a su nivel α seleccionado. Usted concluye en favor de la hipótesis alternativa: que el grosor del parabrisas excede los 4mm.

Pero si el valor p equivale a 0.50, no puede declarar una significación estadística, porque el valor p es superior al nivel α seleccionado. Por lo tanto, usted no rechaza la hipótesis nula; no tiene evidencia suficiente para declarar que el grosor promedio del parabrisas excede los 4mm.

La significación estadística no implica necesariamente una significación práctica.

Una prueba con potencia extremadamente alta puede declarar que la diferencia más leve con respecto al valor hipotético es estadísticamente significativa, aunque tal leve diferencia pudiera ser insignificante en la práctica. Por ejemplo, una compañía de mezclas de nueces declara que sus envases contienen no más de 50% de maníes. Si usted toma una muestra de 100, 000,000 envases y observa 50.01% de maníes, una prueba de hipótesis declarará que esta insignificante diferencia es estadísticamente significativa debido exclusivamente al tamaño de la muestra. Por lo tanto, utilice su conocimiento especializado y sus pruebas de hipótesis para sacar conclusiones significativas.

2.2.10.10. Tamaño de la muestra para estimación

Se utiliza para estimar el tamaño de muestra necesario para alcanzar un margen de error específico para los intervalos de confianza de la media, desviación estándar, varianza, proporción, tasa de Poisson o media de Poisson. A la inversa, usted puede estimar el margen de error basándose en el tamaño de la muestra. Utilice Tamaño de la muestra para estimación para planificar cuántos datos necesita recolectar. Para especificar el nivel de confianza, definir el tipo de intervalo de confianza, especificar cuando se conoce la desviación estándar (cuando el parámetro de interés sea la media de una distribución normal)(Montgomery, 2003).



2.2.10.11. Distribución normal

Una curva en forma de campana que es simétrica de la media. La distribución normal es la distribución estadística más común debido a que la normalidad aproximada se presenta naturalmente en muchas situaciones de medición física, biológica y social. Muchos análisis estadísticos requieren que los datos surjan de poblaciones normalmente distribuidas. La distribución normal también se conoce como la distribución de Gaussiana (Montgomery, 2003).

Por ejemplo, las alturas de todos los adultos masculinos que residen en el estado de Pennsylvania están aproximadamente normalmente distribuidas. Por lo tanto, las alturas de la mayoría de los hombres estarán cercanas a la altura media de 69 pulgadas. Un número similar de hombres será apenas más alto y más pequeño que 69 pulgadas. Sólo unos pocos serán mucho más altos o más pequeños.

La media (μ) y la desviación estándar (σ) son los dos parámetros que definen la distribución normal. La media es el pico o centro de la curva en forma de campana. La desviación estándar determina la dispersión en los datos. Aproximadamente, el 68% de las observaciones está dentro de ± 1 desviación estándar de la media; el 95% está dentro de ± 2 desviaciones estándar de la media y el 99% está dentro de ± 3 desviaciones estándar de la media.

2.2.10.11.1. Prueba de normalidad

Prueba de hipótesis de una muestra para determinar si la población de la cual extrajo su muestra es no normal. Muchos procedimientos estadísticos dependen de la normalidad de la población, de modo que recurrir a una prueba de normalidad para determinar si se rechaza este supuesto pudiera ser un paso importante en su análisis. La hipótesis nula para una prueba de normalidad establece que la población es normal. La hipótesis alternativa establece que la población es no normal. Para determinar si los datos de su muestra provienen de una población no normal, usted puede elegir entre cuatro pruebas (Montgomery, 2003).



2.2.10.11.2. Técnica gráfica

Usted puede evaluar la normalidad de una población con una gráfica de probabilidad normal, la cual genera de manera gráfica valores de datos ordenados en comparación con los valores que usted espera sean cercanos a los primeros, si la población de la muestra está normalmente distribuida. Si la población es normal, los puntos de la gráfica conformarán una línea aproximadamente derecha (Montgomery, 2003).

2.2.10.12. Valor P

Determina si es adecuado rechazar la hipótesis nula en una prueba de hipótesis. Los valores p abarcan de 0 a 1. El valor p es la probabilidad de obtener una estadística de prueba que sea por lo menos tan extrema como el valor calculado, si la hipótesis nula es verdadera. Antes de realizar cualquier análisis, determine su nivel de significancia (α). Un valor comúnmente utilizado es 0.05. Si el valor p de una estadística de prueba es menor que su nivel de significancia, rechace la hipótesis nula (Montgomery, 2003).

Debido a lo indispensable de su función en las pruebas de hipótesis, los valores p se utilizan en muchas áreas de la estadística, entre las que figuran la estadística básica, los modelos lineales, la confiabilidad y los análisis multivariados, entre muchos otros. La clave es comprender lo que representan las hipótesis nulas y alternativas en cada prueba y luego utilizar el valor p para orientarse en su decisión de rechazar la nulidad (Montgomery, 2003)..

Por ejemplo, considere una prueba t de 2 muestras en la que está probando la diferencia entre la medias de la dureza de aceros de dos proveedores, basándose en muestras de cada uno. En este caso, la hipótesis nula establece que las medias de las dos poblaciones son iguales, mientras que la hipótesis alternativa establece que no son iguales. Un valor p por debajo de su nivel de corte sugiere que las medidas de las poblaciones son diferentes.

Suponga que también está efectuando análisis de regresión sobre la dureza del acero, donde la temperatura es una de las variables explicativas. Verá un valor p para cada coeficiente de regresión. En este contexto, la prueba predeterminada consiste en determinar si el coeficiente estimado de temperatura es diferente de cero. Por lo tanto, la hipótesis nula establece que el coeficiente es igual a cero, mientras que la hipótesis alternativa establece que no es igual a cero. Un valor p por debajo de su nivel de corte significa que el coeficiente de temperatura es significativamente diferente de cero.

El valor p se calcula a partir de la muestra observada y representa la probabilidad de rechazar incorrectamente la hipótesis nula, cuando en realidad es verdadera (error de tipo I). En otras palabras, es la probabilidad de obtener una diferencia que sea, como mínimo, tan grande como la diferencia entre el valor observado y el valor hipotético a través del error aleatorio solamente.

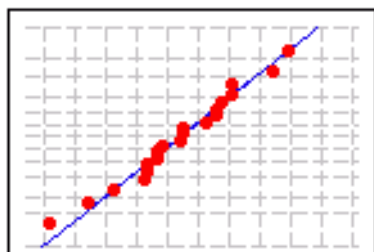


Figura 2.8. Gráfica de probabilidad de datos normales.

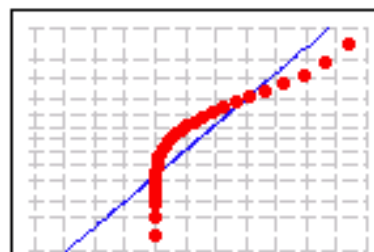


Figura 2.9. Gráfica de probabilidad de datos no normales.

2.2.10.13 Prueba de Anderson-Darling

Esta prueba compara la función de distribución acumulada empírica de los datos de su muestra con la distribución esperada si los datos son normales. Si esta diferencia observada es suficientemente grande, la prueba rechazará la hipótesis nula de normalidad en la población (Montgomery, 2003).



2.2.10.14. Estadístico de Anderson-Darling

Mide en qué grado los datos siguen una distribución particular. Mientras mejor se ajuste la distribución a los datos, menor será este estadístico. Utilice el estadístico de Anderson-Darling para comparar el ajuste de varias distribuciones a fin de determinar cuál es la mejor o probar si una muestra de datos proviene de una población con una distribución específica. Por ejemplo, puede utilizar el estadístico de Anderson-Darling para elegir entre las distribuciones de Weibull y lognormal para un análisis de datos de confiabilidad o para probar si los datos cumplen con el supuesto de normalidad de una prueba t (Montgomery, 2003).

Las hipótesis para la prueba de Anderson-Darling son:

H_0 : Los datos siguen una distribución especificada

H_1 : Los datos no siguen una distribución especificada

Si el **valorP** (cuando está disponible) para la prueba de Anderson-Darling es inferior al nivel de significancia seleccionado (generalmente 0.05 ó 0.10), concluya que los datos no siguen la distribución especificada. Minitab no siempre muestra un valor p para la prueba de Anderson-Darling, porque ésta no existe matemáticamente para ciertos casos.

Si intenta determinar qué distribución siguen los datos y tiene múltiples estadísticos de Anderson-Darling, generalmente es correcto compararlos. La distribución con el menor estadístico de Anderson-Darling tiene el ajuste más cercano a los datos. Si las distribuciones tienen estadísticos de Anderson-Darling similares, seleccione uno sobre la base del conocimiento práctico.

Algunos comandos generan un estadístico de Anderson-Darling, o AD^* , ajustado. El estadístico de Anderson-Darling no ajustado utiliza la función escalonada no paramétrica basada en el método de Kaplan-Meier de calcular puntos de la gráfica, mientras que el estadístico de Anderson-Darling ajustado utiliza otros métodos para calcular los puntos de la gráfica.



2.2.10.15. Promedio móvil

Promedios calculados a partir de subgrupos artificiales de observaciones consecutivas. En las gráficas de control, usted puede crear una gráfica de promedio móvil para los datos de tiempo ponderados. En los análisis de series de tiempo, el software Minitab 16 utiliza el promedio móvil para suavizar datos y reducir las fluctuaciones aleatorias en una serie de tiempo. Con las series de tiempo no estacionales, es común utilizar promedios móviles cortos para suavizar las series, aunque la longitud que usted seleccione puede depender de la cantidad de ruido en las series. Un promedio móvil más largo filtra más ruido, pero también es menos sensible a cambios en las series. (Montgomery, 2003).

2.2.10.16. Prueba t de 2 muestras

Prueba de hipótesis para las medias de dos poblaciones, cuya finalidad es determinar si éstas son significativamente diferentes. Este procedimiento utiliza la hipótesis nula de que la diferencia entre las medias de las dos poblaciones es igual al valor hipotético ($H_0: m_1 - m_2 = m_0$), y la prueba comparándola con la hipótesis alternativa, la cual puede ser de cola izquierda ($m_1 - m_2 < m_0$), de cola derecha ($m_1 - m_2 > m_0$) o de dos colas ($m_1 - m_2 \neq m_0$) (Montgomery, 2003).

Por ejemplo, supongamos que desea realizar una comparación entre dos fabricantes de automóviles – Compañía A y Compañía B – para determinar cuál de los dos fabrica los cinturones de seguridad más fuertes. Usted toma una muestra de los cinturones de seguridad de ambas compañías y mide la media de la magnitud de la fuerza necesaria para que se rompan. La prueba t de 2 muestras analiza la diferencia entre las dos medias para determinar si la diferencia es estadísticamente significativa. La hipótesis de una prueba de dos colas sería:

· $H_0: m_1 - m_2 = 0$ (la resistencia de los cinturones de seguridad de ambas compañías es igual)



· $H_1: m_1 - m_2 \neq 0$ (la resistencia de los cinturones de seguridad de ambas compañías es diferente)

Si el valor p de la prueba es menor que el nivel de significancia que usted ha elegido, debe rechazar la hipótesis nula.

Para realizar una prueba t de 2 muestras, las dos poblaciones deben ser independientes; en otras palabras, las observaciones de la primera muestra no deben tener ninguna relación con las observaciones de la segunda muestra. Por ejemplo, las puntuaciones en las pruebas de dos grupos separados de estudiantes son independientes, pero las mediciones realizadas antes y después en el mismo grupo de estudiantes no son independientes, aunque ambos ejemplos poseen dos muestras.



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

A continuación se presenta el tipo de investigación a desarrollar según los objetivos planteados, tipo de estrategia y profundidad de la misma. De igual manera se plantean las herramientas metodológicas y actividades a realizar para llevar a cabo el cumplimiento de los mencionados objetivos.

3.1 Desarrollo sistemático de la investigación

3.1.1 Realización de un diagnóstico de los procesos y redes de generación de efluentes que llegan a la planta de tratamiento.

Esta etapa diagnóstica se inició con una fase de reconocimiento en todas las áreas de producción, y de las redes de generación de efluentes industriales como: tanquillas, canales, tuberías y las unidades en los procesos con mayor consumo de agua. Se identificaron los recorridos de los efluentes desde donde se generan hasta que llegan a la planta de tratamiento.

La identificación del sistema se hizo con la finalidad de elaborar el plano de drenaje industrial; cómo herramienta de apoyo se dispuso de un plano suministrado por la empresa, el cual se encontraba desactualizado. Se hicieron consultas en el departamento de proyectos, para verificar la existencia de planos de obras civiles recientes, concernientes al drenaje industrial.

Seguidamente, se evaluó el funcionamiento de los pasteurizadores en la planta de producción, donde se determinó que el perteneciente a la línea de ketchup galón, no estaba recirculando el agua proveniente de la torre de enfriamiento (Torre Marley), lo que ocasionaba derrames excesivos de agua, los cuales ingresaban al sistema de drenaje industrial. La causa raíz de la falla, se identificó en la bomba

centrífuga inicial, cuya función es recircular el agua hacia dicha torre. De acuerdo con las entrevista a los operarios del área, esta falla se encontraba latente desde mayo del 2011, los cuales afirmaron pensar erradamente que el agua derramada de esta unidad, era devuelta al tanque subterráneo de alimentación de la torre Marley. En la figura 3.1 y 3.2 se muestran las imágenes respectivas.



Figura 3.1. Derrame de agua en el pasteurizador de Ketchup Galón.



Figura 3.2. Bomba centrífuga de recirculación averiada.

De igual forma se identificaron dos intercambiadores de calor de placa, en conjunto con dos más de tipo tubo y coraza, concernientes a la fase de preparación de vinagre y salsas negras. Aquí, se determinaron fugas y derrames de agua blanca de proceso

en la salida del agua de enfriamiento del intercambiador de tubo y coraza. El caudal aproximado fue de 0.64 L/s, es decir, 53,3 m³/d en producción normal de esta línea, equivalente al 11% del efluente promedio tratado en PTEI. En la figura 3.3 se muestran las evidencias fotográficas del problema suscitado.



Figura 3.3. Intercambiadores de calor tubo y coraza, zona de preparación de vinagre y salsas negras.

Se realizaron inspecciones a las otras plantas de procesos que influyen en la generación de efluentes industriales, estas son: planta vinagre (PV) y servicios básicos (SB). Se examinaron cada una de las unidades del proceso para determinar su aporte del efluente industrial.

Posteriormente, se evaluó el control operativo de la PTEI, el cual se realizó en todas las fases de tratamiento, iniciando con la recepción de los efluentes en la fosa o tanque receptor, pasando luego a la torre de cribado, tanque de igualación, tanque de adición de nutrientes, reactor biológico, clarificadores, tanque espesador de lodos y por último filtros-presa. Además, se evaluaron los reportes internos de laboratorio de PTEI y los trimestrales del auditor externo.

Fue relevante como durante la operatividad de la línea kétchup galón se afectaban las condiciones hidráulicas del reactor, sobrecargando el volumen máximo (3200 L) y afectando indirectamente la sedimentación del lodo. En la figura 3.4 se muestra las consecuencias que originaron las fallas en planta proceso.



Figura 3.4. Condiciones de sobrecarga del reactor biológico operando.

Mediante entrevista con el personal técnico y el análisis de los reportes físico-químicos, manuales técnicos suministrados por el laboratorio de PTEI y los equipos de medición, se analizaron las condiciones operacionales de la planta de tratamiento en comparación a los valores de diseño.

Para diagnosticar las condiciones biológicas del sistema, es indispensable el estudio microbiológico del proceso, el cual se analizó a través de un microscopio de contraste de fases, tanto en el lodo activado como en el afluente de la planta de tratamiento, ya que según Metcalf, (1996) muchas veces por las condiciones físico-químicas del sistema aguas arriba, es posible tener bacterias filamentosas.

Finalmente, se realizó una evaluación de los formatos físicos y digitales utilizados en los análisis de laboratorio y procedimientos operativos. Además, de la revisión de los reportes semanales y trimestrales que se manejan en la PTEI. Adicional a esto, se evaluó el manejo de la información mediante consultas con el personal del área.



3.1.2 Caracterización de los efluentes que llegan a la planta de tratamiento.

Esta fase metodológica corresponde a la realización de campañas de recolección de datos, para la evaluación de las aguas industriales, el proceso a seguir inició con la medición de variables necesarias para la determinación de caudales. Posteriormente, se realizó el muestreo de los parámetros físico-químicos del efluente. Seleccionando los análisis y métodos a llevar a cabo.

3.1.2.1 Mediciones de caudal

La selección de los puntos de medición se basa en las necesidades del proyecto en general, debido a que estos datos proporcionarían soluciones en los objetivos correspondientes. Cada uno de los puntos seleccionados se describe a continuación.

TABLA 3.1
PUNTOS DE MEDICIÓN PARA LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS
CORRESPONDIENTES

Método	Lugar de captación	Código	Descripción
(*) <i>Método 1</i>	Canal Parshall-Entrada	Q-1	Tubería principal planta-proceso: Efluente industrial proveniente de los procesos: preparación, esterilización, llenado y pasteurización de todas las líneas de producción.
(*) <i>Método 2</i>	Fosa o tanque receptor de efluente industrial	Q-2	Afluente de PTEI Heinz: Recepción de los efluentes industriales generados en toda la planta.
Lectura en dispositivo de medición	Salida de la PTEI	Q-3	Efluente de PTEI: Agua tratada que fluye a través de un canal Parshall con equipo digital medidor de flujo adaptado al canal.

(*): Son métodos de medición para la determinación de caudales establecidos en la publicación de Eckenfelder, 2000.

Las mediciones para la determinación de caudales fueron llevadas a cabo mediante dos métodos establecidos en la publicación de Eckenfelder, (2000). El método 1, se

basa en la medición en canales abiertos con un Parshall Flume (Q-1), y el método 2, en el llenado parcial de tanques (Q-2). La lectura de caudal en la salida de planta de tratamiento (Q-3) fue tomada para obtener parámetros de referencia, y así evaluar la estabilidad del proceso y la consistencia de las mediciones, ya que en este punto no se aplica ninguno de los métodos descritos. La ubicación de los puntos de medición se muestra en el siguiente croquis.

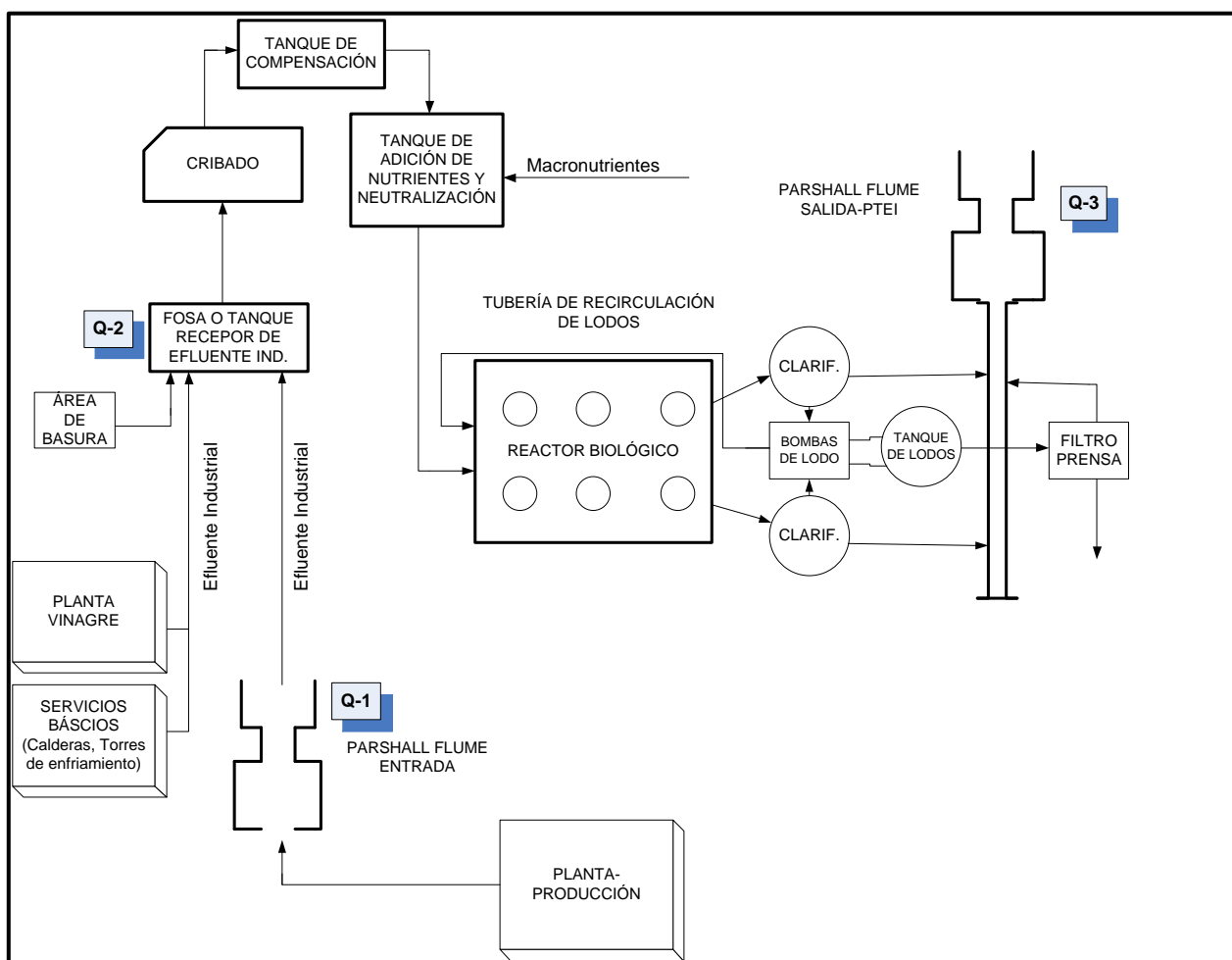


Figura 3.5. Croquis de ubicación de los puntos de medición

El método 1, medición de caudal en canales Parshall, se basa en la altura de líquido en una zona específica del canal, que a través de las dimensiones del mismo se logra obtener un valor de flujo volumétrico. El parshall-flume de PTEI es de caudal libre. Según la ISO 1438, antes del punto de medición el canal tiene que extenderse por lo menos diez veces la anchura de la sección de entrada del canal (I.A.C, S.L., 2008). Esto



se comprobó para este elemento, al cual llega una tubería de 14 pulgadas con una extensión aguas arriba mucho mayor a 10 veces este valor. Además, este se acondicionó para que la entrada se mantuviese limpia y lisa. En la parte de salida la única exigencia es que el flujo discorra libremente.

El método 2, llenado parcial de tanques, tuvo su aplicación en la fosa o tanque receptor de efluentes industriales. La realización de este se determina a través de la diferencia de altura de la fosa en un tiempo determinado, con un Core-Taker (cilindro muestreador con válvula de retención), el cual facilitó la determinación de la altura inicial y final del líquido en el tanque, ya que este retiene el fluido internamente al mismo nivel de sumersión. Es de importancia hacer notar que la bomba dispuesta para el cribado se mantuvo apagada durante el intervalo de captación. Además, Las dimensiones del tanque o fosa permitieron la realización del método sin ningún contratiempo. A partir de este método se obtuvieron los datos para determinar el caudal medio afluente a la planta de tratamiento.

La planificación de las mediciones se establecieron en condiciones operativas normales y se basó en el análisis estadístico de datos mediante el uso de un software llamado Minitab 16; a través del cual se determinó el tamaño de la muestra para las mediciones formales de caudal, de modo que antes de recolectar los datos se realizaron estudios prospectivos para estimar la desviación estándar a partir de estudios pilotos, los cuales se basaron en la aplicación del método 2, llenado parcial de tanques.

Para obtener una variabilidad aproximada del muestreo a escala piloto, se realizaron 10 mediciones con una frecuencia de 1 hora y un intervalo de captación de 10 min, basado en las variaciones que presenta el caudal de salida de la PTEI (Reportes diarios e informes de caudal de agua tratada). Esto se realizó en un total de 2 días (La empresa no cuenta con registros de medición de caudal en estas zonas). Este método fue elegido para el estudio a escala piloto, ya que involucra directamente el afluente de la PTEI.



La producción fue identificada para cada día determinado del muestreo y así establecer una relación entre el ritmo de producción y los efluentes generados. La semana elegida para el muestreo fue seleccionada acorde con el Departamento de Planificación de Alimentos Heinz, para garantizar una operatividad normal y de esta forma obtener datos representativos. En la siguiente tabla se muestran datos previos para fundamentar la medición de caudales.

TABLA 3.2
VARIABLES DE PLANIFICACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

Fecha	Cód.	Frecuencia de medición	Intervalo de captación	# de mediciones durante la captación	Tamaño de la muestra	Herramientas
Desde 30/01/12 hasta 03/02/12	Q-1	c/60 min	10 min	1	30	Regla metálica con cinta métrica adaptada de (150,00 ± 0,05) cm para la medición de nivel.
	Q-2	c/60 min	10 min	3 *	30	Core-Taker de 16 pies de longitud con válvula de retención de líquido. Cinta métrica de (500,00 ± 0,05) cm.
	Q-3	c/60 min	10 min	3 *	30	Lector digital ultrasonido y controlador para el monitoreo de caudal

*Se realiza este # de mediciones para tomar el promedio como resultado durante 10 min.

Las mediciones se realizaron para un mismo tiempo en todos los puntos, por lo tanto el formato elaborado para la recolección de datos es una matriz que contiene las variables necesarias para la determinación de caudales.

3.1.2.2 Evaluación y determinación de caudales

Inicialmente se realizó un análisis estadístico mediante el software Minitab 16, a través del cual se realizaron gráficas de probabilidad para una distribución normal,



analizado con la técnica gráfica y con el estadístico de Anderson-Darling y el valor p, para corroborar la distribución especificada con un 95% de confiabilidad.

¿Cómo se sabe si una distribución de probabilidad particular, es un modelo razonable para los datos?

A veces, esta es una pregunta importante porque muchas de las técnicas estadísticas se basan en la suposición de que la distribución de la población es de un tipo específico. Por lo tanto, se puede pensar en la determinación de verificación de hipótesis si los datos provienen de una distribución de probabilidad específica (Montgomery, 2003).

Si el valor p es menor que su nivel de significancia (0,05), no se rechaza la hipótesis nula de la distribución de los datos. En caso contrario se rechaza.

Comprobada la distribución normal, se procedió a calcular y tabularlos caudales de las mediciones realizadas en el canal Parshall (Q-1) de la siguiente forma:

$$Q_1 = k \cdot (h \cdot fc_2)^n \cdot fc_1 \quad \text{EC. (3.1)}$$

(Pedroza, 2001)

Dónde:

Q_1 : Caudal en el canal Parshall Q-1, (L/s)

k: ctte en función de las dimensiones del canal, $\left(2007 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$

h: nivel del agua en el punto de medición, (m)

n: ctte en función de las dimensiones del canal que modifica la variable H para que la ecuación sea dimensionalmente homogénea, (1,53 Adim.)

fc_1 : Factor de conversión 1, $\left(0,278 \frac{\text{L}\cdot\text{h}}{\text{m}^3\cdot\text{s}}\right)$

fc_2 : Factor de conversión 2, $\left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right)$

Para los caudales de Q-0 (estudio piloto) y Q-2, mediante el método de llenado parcial de tanques, se calcularon de la siguiente forma:



$$Q_2 = \frac{(\Delta H \cdot fc_2) \cdot L \cdot A}{t} \cdot fc_3 \quad \text{EC. (3.2)}$$

(Perry, 2008)

Donde:

Q_2 : Caudal calculado por el método 2, ($\frac{L}{s}$)

ΔH : diferencia de altura entre el final y el inicial de la medición, (cm)

L: largo de la fosa, (m).

A: ancho de la fosa, (m).

fc_3 : Factor de conversión 3; ($1000 \frac{L}{m^3}$)

En el punto de medición Q-3 no se realizó ningún cálculo, ya que se tomó la lectura en el medidor de caudal dispuesto en la salida de PTEI, siendo este un equipo digital con valores de $(Q-3 \pm 0,1)$ L/s.

3.1.2.2 Muestreo de las características físico-químicas de los efluentes industriales.

En las aguas residuales de procedencia industrial es importante la selección de sitios adecuados de captación de muestras, tomando en cuenta el objetivo del muestreo, periodos de producción, facilidad de acceso, entre otros. Cada situación se debe manejar de forma individual. Además, para el diseño del plan de muestreo, es importante tener a la mano los planos de instalaciones de drenajes y alcantarillados, los cuales fueron diseñados en el objetivo 1.

En el transcurso de la identificación del sistema de drenaje industrial se establecieron los puntos de muestreo en las zonas donde el caudal permite mezcla completa, además del volumen y frecuencia del muestreo de acuerdo con lo que establece la norma venezolana COVENIN 2709:02. En la tabla 3.3 se muestran los puntos de medición seleccionados para el muestreo y en la figura posterior el croquis de ubicación de los puntos de muestreo.



TABLA 3.3
PUNTOS DE MEDICIÓN SELECCIONADOS PARA EL MUESTREO

Puntos de medición	Código de muestra	Descripción del sitio de muestreo
Canal Parshall-Entrada	P-1	Tubería principal planta-producción: Efluente industrial proveniente de los procesos: preparación, esterilización, llenado y pasteurización de todas las líneas de producción
Fosa o Tanque receptor de efluentes industriales	A-1	Afluente de PTEI: Agua residual proveniente de los procesos de manufactura en la planta y otros.

Para efectuar y mejorar el control operacional de las fases de tratamiento, es necesario conocer cada uno de los parámetros físico-químicos del agua residual industrial en los puntos de muestreo seleccionados. Se realizaron caracterizaciones a través del muestreo en campo y en el laboratorio PTEI, identificando al mismo tiempo las líneas de producción para ese instante en planta-producción. A su vez, se identificó el aporte generado por los efluentes de planta vinagre y servicios básicos. Los parámetros analizados fueron:

- pH
- Temperatura (T)
- Oxígeno disuelto (OD)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Nitrógeno Total (N_T)
- Fósforo Total (P_T)

Para cada punto de medición fue discriminado el muestreo según los parámetros necesarios y la utilidad de cada uno en dicha zona. Los parámetros como: pH, T y OD muestran las características de campo importantes para cualquier estudio; la DQO y SST para evaluar la carga contaminante y realizar comparaciones entre los

puntos de muestreo; y por ultimo los nutrientes N_{Ty} P_T para ajustar la dosificación de nutrientes en base a las características del afluente de la planta. En la siguiente figura se muestran detalladamente la ubicación de los puntos de medición y los parámetros físico-químicos analizados en cada punto de muestreo seleccionado.

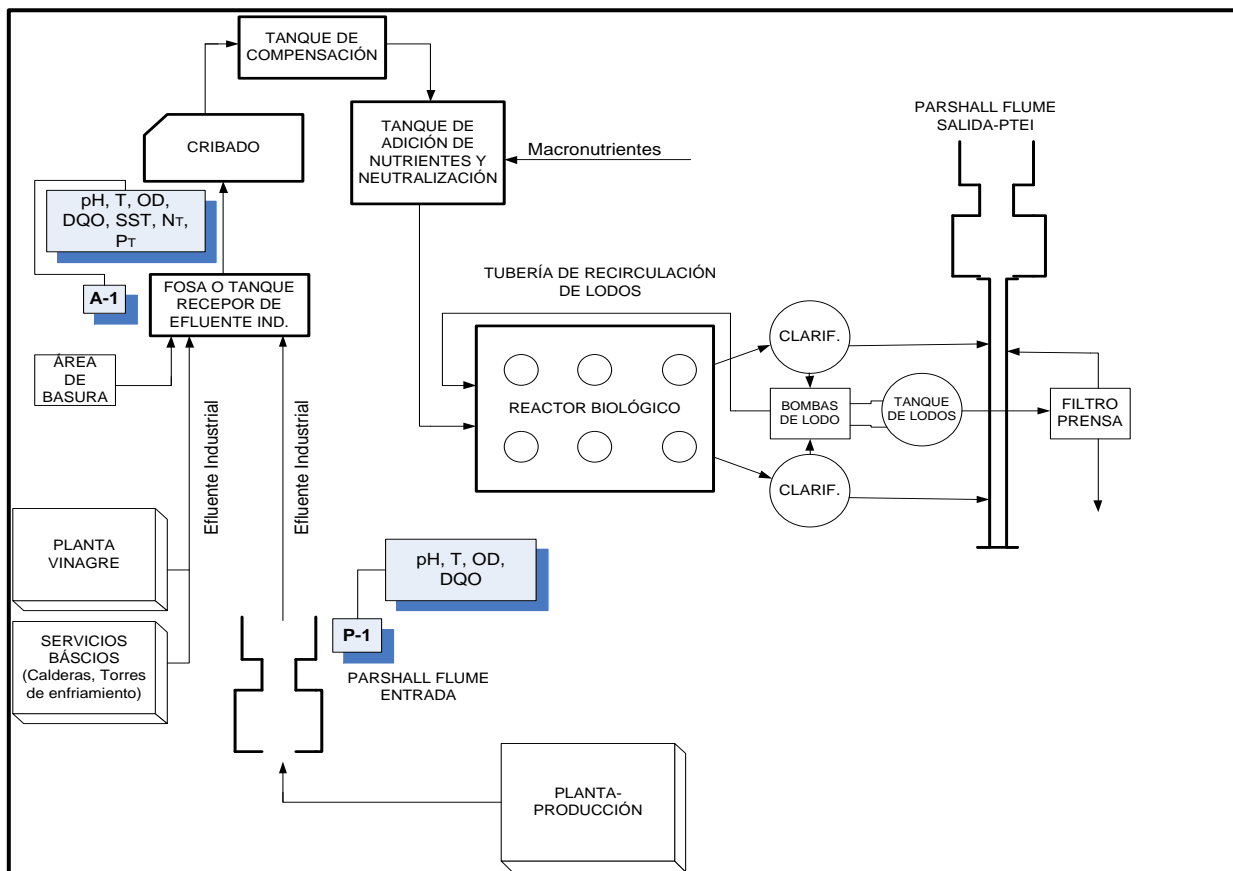


Figura 3.7. Croquis de ubicación de los puntos de muestreo y parámetros medidos

La demanda biológica de oxígeno no fue medida en la realización del muestreo por limitaciones como tiempo y complejidad de medición, ya que este parámetro DBO_5 requiere de un tiempo de consumo de oxígeno en las muestras de 5 días. Es por ello que se decidió tomar un parámetro global para la medición de carga contaminante presente en el agua como lo es la DQO.

La modalidad de captación de muestras se realizó de forma manual directamente por los autores del proyecto y ayuda de los operadores del área. Esto fue ventajoso ya



que permitió observar situaciones variables o no previstas y hacer cambios en la programación, además involucra un equipo mínimo para la captación.

El tipo de muestra fue seleccionado acorde con las necesidades del proyecto, de esta forma, los parámetros de campo pH, OD y Temperatura fueron medidos para cada sub-muestra como muestra instantánea. El nitrógeno total y fósforo total fueron medidos igualmente como muestra instantánea en cumplimiento con la norma 2709:02, pero solo para una sub-muestra por día, ya que las principales limitaciones son el tiempo, consumo de reactivos y la complejidad de análisis. A diferencia de estos, los parámetros DQO y SST fueron medidos como muestras compuestas cada día, ahora bien, la proporcionalidad de caudal para el punto de medición P-1 se asumió como un caso de volumen constante (COVENIN 2709:02), ya que a través de las mediciones de flujo obtenidas en la campaña de recolección de datos en esta zona, no mostraron variaciones significativas, por lo tanto las muestras compuestas se prepararon mezclando volúmenes iguales de sub-muestras. En las tablas 3.4 y 3.5 se muestran en detalle las especificaciones del muestreo.

TABLA 3.4
CAPTACIÓN, PRESERVACIÓN Y MANEJO DE LAS MUESTRAS BASADO EN LA
NORMA COVENIN 2709:2002

Análisis	Envase	Volumen mínimo requerido de muestra (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo de almacenamiento	
					Real	Máximo según SME ¹
DQO	P	100	C	(*)Refrigerado a 4°C	5 horas	(**)7 días
Fósforo Total	V (A)	100	I	Filtrado y (*)Refrigerado a 4°C	1 hora	48 horas
OD (Electrodo)	---	---	I	---		---
pH	V	50	I	---	<2 min	< 5 min
Nitrógeno Total	V	500	I	(*)Refrigerado a 4°C	1 horas	(**)7 días



Temperatura	---	---	I	---		---
SST	P	200	C	Refrigerado	6 horas	7 días

P: plástico

V: vidrio

I: Instantánea

C: compuesta

(A): Envase enjuagado con ácido clorhídrico 1:1 y agua destilada (sustentado en el manual Hach para el análisis de fósforo total o fosfato)

--- : No aplica (medición en campo)

(*): No fue necesario la preservación con ácido sulfúrico ya que eran muestras compuestas refrigeradas para analizar al finalizar la recolección.

(**): Tiempo máximo de almacenamiento condicionado por la preservación en caso de haberla hecho con ácido sulfúrico.

¹: Standard methods for the examination.

Estructurada la metodología normada de captación, preservación y manejo de muestras de cada uno de los análisis a realizar, se procede a especificar el tiempo y volumen en el proceso de captación. De acuerdo con lo observado en los reportes trimestrales y análisis de laboratorio internos las variaciones no son grandes, por lo tanto para la frecuencia de muestreo para pequeñas variaciones de caudales y cargas contaminantes, sólo hace falta que se tomen a intervalos entre 2 y 24 horas (Ramalho, 1983).

Este muestreo se realizó durante una semana de producción normal (Acorde con el Dpto. de planificación) en un lapso de tiempo correspondiente a la jornada laboral, desde las 7:00 am hasta las 4:00 pm. En vista de que diariamente son 8 horas laborales, se seleccionó el mínimo tiempo del rango de frecuencia establecido (2 horas) para mejores resultados, haciendo posible 5 mediciones por turno. Además, teóricamente las variaciones industriales en las concentraciones de DQO y SST pueden variar a lo largo del día (Metcalf, 1996), por ello se mezclan varias submuestras en el transcurso del día y en las horas de mayor producción en la empresa,



y de esta forma obtener una aproximación de la más real posible la concentración de estos parámetros por día. Así es posible establecer características fisicoquímicas representativas del agua residual industrial.

TABLA 3.5.
VARIABLES DE PLANIFICACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL MUESTREO.

Fecha	Cód.	Frecuencia de medición	Duración del periodo de captación	Volumen de cada sub-muestra (ml)	Numero de sub-muestras diarias	Volumen de muestra compuesta (L)
06/02/12 al 10/02/12	P-1	c/2 horas	5 min	300	5	1,5
	A-1	c/2 horas	2 min	400	5	4,0(*)

(*): Este volumen contiene la cantidad extra de muestra individual para los análisis Nt y Pt realizados 1 vez por día.

La identificación y manejo de las muestras se realizó de acuerdo a lo estipulado en la Norma COVENIN antes citada. Donde cada muestra se etiquetó con su lugar, fecha y hora de captación y tipo de muestra.

Es de hacer notar que la medición de los parámetros físico-químicos Nitrógeno y Fósforo total fueron implementados en el mes de septiembre del 2011 en PTEI Heinz como nuevos parámetros de medición para el control operativo de la planta. La metodología de estos análisis fue adaptada de acuerdo con la disponibilidad de los equipos y materiales en el laboratorio de PTEI, siguiendo los métodos estandarizados por Hachlos cuales en su mayoría están basados por los métodos estandarizados APHA, 20va edición. Estos análisis fueron posibles llevarlos a cabo con un equipo fotómetro de filtro con Led como fuente de luz, controlado por un microprocesador, el cual es conocido como colorímetro DR890. La exactitud de las mediciones para el DQO aumentaron notablemente con el uso de este colorímetro, en comparación al método normalizado utilizado anteriormente en el laboratorio con



reflujo cerrado y método titulométrico APHA: 5220-B; esto tomando como referencia a los valores trimestrales reportados por un auditor externo (TAC, C.A.).

TABLA 3.6
MÉTODOS ESTANDARIZADOS EN LA FASE DE CARACTERIZACIÓN DEL
EFLUENTE

Análisis	Método estándar
DQO	Hach: Método 8000– digestión en reactor
Fósforo total	Hach: Método 8190 - digestión de persulfato ácido.
OD	(*)SM-4500-O G: Método del electrodo de membrana para OD
Nitrógeno total	Hach: Método 10071- digestión de persulfato.
SST	Hach: Método 8006–Método fotométrico con agitación

(*)SM: Standard methods for water and wastewater.

Hach: Métodos establecidos por Hach Company para colorímetro basado en el (*)SM.

- **Análisis de los parámetros físico-químicos en las muestras.**

A continuación se describen los procedimientos realizados en el proceso de análisis físicoquímicos de las muestras. Los reactivos fueron seleccionados específicamente para cada caso.

- ✓ **Demanda química de oxígeno(DQO)**

HR –plus (0-15,000) mg/L, precisión del método ± 16 mg/L

Se inició homogeneizando 100ml de muestra por 2 minutos en un beacker de 600ml con la plancha de agitación magnética. Luego se Encendió el Reactor DRB 200 para Calentarlo a 150 0C y programarlo para 120 minutos.



Figura 3.8. Homogenización de muestra en la plancha de agitación magnética

Posteriormente se tomaron 2 viales de cada kit de análisis de DQO (HR-plus) y se rotularon con el punto de muestreo, fecha y hora. Después con una pipeta se agregaron: (0.2 ± 0.1) ml de muestra igualmente la misma cantidad de agua desmineralizada al otro vial (Blanco: solución cero), luego se agitaron vigorosamente.



Figura 3.9. Preparación de muestras y blancos a digerir en el reactor DRB200.

Después se calentaron los viales por 2 horas en el Reactor DRB200 precalentado. Transcurrido el tiempo se dejaron enfriar los viales a temperatura ambiente y se agitaron varias veces.



Figura 3.10. Digestión de la muestra y blanco por 2 horas.

Se procedió a encender el colorímetro DR890, ingresando entonces el número de programa para DQO (17 ENTER). Luego, se insertó el Adaptador COD/TNT en la celda, hasta que fue acoplado. Se inició midiendo al blanco digerido con el fin de fijar un patrón cero en el colorímetro, el cual se limpió con una toalla húmeda y luego se secó con papel absorbente para eliminar huellas del mismo. Posteriormente se insertó el blanco en el adaptador y fue tapado herméticamente para evitar interferencias en las mediciones por absorbanza de la luz externa, seguidamente se presionó el botón: ZERO, mostrándose en la pantalla: 0 mg/L COD.



Figura 3.11. Medición de DQO con el colorímetro DR890 Hach.

Finalmente se midió el vial con la muestra digerida en el equipo de la misma forma que se realizó con el blanco, limpiándolo y tapándolo herméticamente, se presionó el



botón: READ y en la pantalla se muestra el resultado en mg/L DQO. (De acuerdo con el método para rangos de (0-15,000) mg/L se Multiplicó el resultado por 10).

✓ Oxígeno disuelto (OD)

Se utilizó un equipo digital YSI 550A con electrodo de membrana con un rango de OD: 0-20 mg/L y precisión de OD: $\pm 0,01$ mg/L, y la temperatura con un rango de -5 a 45°C y precisión de $\pm 0,1$ °C.

El procedimiento de medición inició limpiando la sonda con 3 porciones sucesivas de agua destilada, se encendió el equipo 5 minutos antes de la medición y se procedió a verificar que el equipo estuviese calibrado sumergiendo la sonda en solución de meta-bisulfito de sodio (solución cero oxígeno disuelto) y agitando levemente a través de la muestra. El análisis corroboró la calibración del mismo con cero oxígeno disuelto. Luego se realizó la medición a las muestras correspondientes de igual forma que se midió con la solución de meta-bisulfito de sodio, además aprovechando la versatilidad del equipo se midió simultáneamente la temperatura en campo.

✓ pH

Fue medido con un pH-metro Orionstar 2 con rango pH: 0-14,99 Adim., y precisión pH: $\pm 0,01$ Adim. Este parámetro también se midió para cada una de las submuestras, realizado en laboratorio como se muestra en la figura 3.12, lavando el electrodo del pH-metro con 3 porciones sucesivas de agua destilada y sumergiéndolo hasta la mitad del volumen de la muestra contenida en un beacker de 600ml. Finalmente se presionó el botón MEASURE para conocer el resultado.



Figura 3.12. Medición de pH de una muestra individual P-1.

✓ **Nitrógeno Total** (N_T)

Rango: (0,0-25,0)mg/L, Reactivos: TN A, B y C, TN hidróxido, Persulfato TN, precisión del método $\pm 0,5$ mg/L

El procedimiento inició precalentando el Reactor DRB 200 a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ y programarlo para 30 minutos. Luego se tomó un vial TN Hidróxido para la muestra y otro para el blanco (*Solo es necesario preparar un Blanco para cada kit de reactivos*) se rotuló con el punto de muestreo, fecha y hora, y usando un embudo micro, se agregaron los contenidos de una bolsa de polvos de persulfatoTN para cada vial TN Hidróxido. Tapar herméticamente y agitar para disolver.

Nota: Para las muestras A-1 se evaluaron previamente valores históricos (Teniendo como referencia los informes de laboratorio de TAC, C.A. en este punto de medición) para garantizar que los valores se ajusten al rango de la concentración estipulada por el reactivo.

Se agregaron 2 ml de muestra a uno de los viales y 2 ml de agua desmineralizada al otro vial (Blanco). Tapar ambos tubos y agitar vigorosamente (alrededor de 30 segundos). Luego se colocaron los viales en el Reactor DRB200 para digerirlos por 30 minutos.

Al concluir la digestión se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Haciendo uso del colorímetro DR890, se procede a lo siguiente: presionar **PRGM** y luego ingresar el



número de programa para Nitrógeno Total: **58 ENTER**. Se retiran las tapas de los viales y se añaden los contenidos de una bolsa de polvos de Reactivo ATN a cada uno. Se taparon y agitaron durante 15 segundos. Luego para esperar el tiempo de reacción adecuado se Presionó: **TIMER ENTER** e inicia un periodo de reacción de 3 min. Cuando suene el cronómetro, se quitaron las tapas de los viales y se adicionó una bolsa de polvo Reactivo B TNa cada vial. De igual forma se presionó **ENTER** para dar inicio al periodo de reacción de 2 min.

Después de culminar el tiempo de reacción se retiró las tapas de los viales Reactivo C TN y se adicionaron 2ml de la muestra digerida al primer vial y 2 ml del Blanco digerido al segundo vial. Se taparon y agitaron los viales 10 veces para mezclar. En la pantalla se mostró: **05:00 TIMER 3**. Por lo tanto se presionó: **ENTER** para dar comienzo al periodo de reacción de 5 min. Durante este tiempo se insertó el adaptador COD/TNT en la celda del dispositivo. Cuando el cronómetro del equipo aviso el final de tiempo de reacción se limpió el vial “Blanco” con una toalla húmeda y se secó con papel absorbente.

Finalmente se el “Blanco” Colocó en el adaptador presionando sobre la tapa. Se tapó herméticamente la celda del colorímetro con la tapa HACH y se presionó: **ZERO**. En la pantalla se mostró: **0.0 mg/L N**

Luego se realizó el procedimiento de limpieza e inserción del vial con la muestra en el colorímetro, por lo que para culminar conocer la concentración de nitrógeno total se presionó **READ**, y finalmente el resultado se mostró en mg/L N.

✓ **Fósforo Total** (P_T)

Rango (0.00-3,50) mg/L. Reactivos: Persulfato de potasio, NaOH 1,54 N, PhosVer 3 (Reactivo de fosfato), precisión del método ± 0,06 mg/L

El procedimiento inició precalentando el Reactor DRB 200 a 150°C y programarlo para 30 minutos.

Nota: Para las muestras A-1 se evaluaron previamente valores históricos (Teniendo como referencia los informes de laboratorio de TAC, C.A. en este punto de medición) para



garantizar que los valores se ajusten al rango de la concentración estipulada por el reactivo.

Luego se tomó un vial para fósforo total, se rotuló con el punto de muestreo, fecha y hora, y con una pipeta se agregó 5.00ml de muestra.

Nota: La muestra instantánea seleccionada para medir Fósforo fue la misma para nitrógeno eligiendo aquella en la que el pH estuviese entre 6-8. Este rango es necesario para garantizar el análisis correcto de la muestra, establecido por el método.

Usando un embudo micro, se agregaron los contenidos de una bolsa de polvos de **Persulfato de Potasio** al vial. Se tapó herméticamente y se agitó vigorosamente para disolver. Se colocó en el Reactor DRB200 precalentado a 150 °C para digerir por 30 minutos.

Después del tiempo de calentamiento se retiró el vial cuidadosamente del reactor para dejarlo enfriar a temperatura ambiente. Con una pipeta se agregó 2.00ml de **hidróxido de sodio 1.54N** al vial.

Haciendo uso del colorímetro se procedió a encenderlo, y entonces se ingresó el número de programa para Fósforo Total: **82 ENTER**. Se insertó el adaptador COD/TNT en la celda del dispositivo y se limpió el vial a medir con la muestra con una toalla húmeda y se secó con papel absorbente. Posteriormente se colocó dentro del adaptador presionando sobre la tapa.

Para registrar el punto cero de la medición se procedió a tapar herméticamente el vial puesto en la celda con la tapa HACH y Presionar: **ZERO**, en la pantalla se mostró **0mg/LP**.

Usando un embudo micro, se agregaron los contenidos de una bolsa de polvo de reactivo de fosfato **PhosVer3** en el vial. Se tapó herméticamente y se agitó durante 10-15 segundos (*Fue normal que el polvo no se disolviera por completo*)



Para establecer un tiempo de reacción predeterminado, se presionó: **TIMER ENTER** e inició un periodo de reacción de 2 minutos. Al finalizar se formó un color azul, esto indicó que el fosfato estaba presente.

Finalmente después de los 2 minutos se limpio el vial, se insertó en el equipo, y se presionó: **READ**. En la pantalla se mostró el resultado en mg/L P.

✓ **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Rango: (0-750) mg/L. precisión del método ± 18 mg/L

Se inició homogeneizando **500 ml** de muestra en un balón aforado de **1000ml** con la plancha de agitación magnética a máxima velocidad por **2min** exactamente.



Figura 3.13. Agitación de muestra para medición de SST.

Durante la agitación se llenó la cubeta 1 con 25ml de agua destilada (*El Blanco*). Luego se colocó la cubeta limpia dentro del compartimiento del colorímetro y se presionó: **ZERO** para marcar el punto de referencia cero de la medición.

Transcurridos los 2 minutos se llenó la otra cubeta (cubeta 2) con 25ml de la muestra homogeneizada (muestra agitada). Se removió cualquier burbuja de aire que estaba presente con el fin de evitar suspender uniformemente cualquier residuo. Finalmente se limpió, se colocó dentro del compartimiento del equipo de medición y presionando **READ** se obtuvo la medición correspondiente en mg/L SuSld.

✓ **Ensayo de oxígeno disuelto, pH y temperatura en el lodo activado.**

Inicialmente se hicieron mediciones consecutivas de oxígeno disuelto en el reactor biológico durante 2 horas para obtener un perfil de concentración. Luego se tomaron cuatro muestras de 250ml de lodo activado en puntos estratégicos del mismo. Estos fueron transvasados a una botella de 3 litro, luego se insertó una cápsula magnética y se colocó sobre la plancha de agitación magnética. Seguidamente, haciendo uso de los equipos e instrumentos antes mencionados, se introdujeron las membranas del pH-metro y del medidor de oxígeno disuelto. En la siguiente figura se muestran las imágenes del análisis en laboratorio.



Figura 3.14 Medición conjunta de OD, pH y temperatura.

Las mediciones se hicieron durante 10 minutos con una frecuencia de 30 segundos, registrando la información en una hoja de cálculo. Esto fue durante la semana del 13/02/12 al 17/02/12.

Además, durante esta semana, se realizaron mediciones de la concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico en 4 zonas estratégicas del mismo, donde se promedió para obtener una data representativa. Esto con la finalidad de obtener un perfil de oxígeno disuelto como base para el ensayo realizado.



3.1.2.3 Determinación de las cargas másicas

La determinación de las cargas másicas se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Carga másica} = Q \cdot \text{Conc.} \cdot C \cdot Fc4 \quad \text{EC. (3.3)}$$

(Metcalf, 1996)

Donde:

Carga másica: carga másica del agua, (Kg/d).

Q: caudal de agua, (L/s).

Conc.C: concentración del constituyente del agua, (mg/L).

Fc4: Factor de conversión 1; 0,0864 (kg.s/mg.d).

3.1.3 Planteamiento de alternativas que permitan implementar un sistema de medición de caudal de entrada de la planta de tratamiento.

- Definir la zona de medición de caudal y los posibles beneficios que pueden generar la realización de este objetivo.

En base a estudios previos, se planificaron reuniones con los tutores y el personal del área para evaluar y establecer una opción representativa de medición de caudal del afluente de PTEI y justificarla. En base a los resultados de las mediciones de caudal, entre el afluente de PTEI y el canal Parshall de la línea de drenaje de planta producción, se realizó un análisis estadístico de los datos; comprobada la distribución normal, se procedió a realizar una prueba de hipótesis para comparar 2 muestras entre sí, usando la herramienta “t de 2 muestras” a través del software estadístico Minitab 16.

Esta prueba de hipótesis es para demostrar la representatividad de las mediciones en el canal Parshall como afluente de la planta de tratamiento. Además, se realizó



una comparación entre las cargas máxicas de DQO en ambas zonas, determinando la carga máxica en el punto P-1 con la misma metodología del objetivo anterior.

- Investigación en fuentes bibliográficas acerca de tecnologías y equipos aplicados en la medición de caudal de aguas residuales.

Se consultaron diversas bibliografías para generar las alternativas de tecnologías de medición de caudal aplicadas a las condiciones del drenaje industrial aguas arriba y aguas abajo, es decir, desde donde se generan los efluentes hasta la entrada de la planta de tratamiento.

- Reuniones con especialistas en plantas de tratamiento de aguas y sistemas de medición de caudal.

En esta fase se llevaron a cabo reuniones y entrevistas no estructuradas con especialistas del área en estudio, y se logró recolectar información acerca de las posibles alternativas para el cumplimiento del objetivo.

- Verificación de las posibilidades existentes para implementar sistemas de medición de caudal en el sistema estudiado.

Mediante las reuniones con tutores y personal del departamento de mantenimiento (técnicos, operarios y supervisores) de Alimentos Heinz, C.A. se identificaron las zonas factibles para implementar tecnologías y/o equipos de medición de caudal, tomando en cuenta modificaciones estructurales y criterios de rentabilidad y espacio.

- Planteamiento de las alternativas que permitan implantar un sistema de medición de caudal adaptado a los requerimientos y condiciones de la planta.

A través de reuniones y entrevistas con el tutor industrial y el personal del área, se lograron determinar las alternativas necesarias para el cumplimiento del objetivo, y de esta forma garantizar un buen control en la fase inicial de la planta de tratamiento de efluentes industriales PTEI Heinz.



3.1.4. Selección de la alternativa que más se ajuste a los requerimientos apoyados en criterios de comparación técnicos y económicos.

La selección de la alternativa se realizó a partir de los planteamientos generados para la medición de caudal de entrada de la PTEI, para ello se elaboró una tabla con las ventajas y desventajas que traerían como consecuencia la implementación de cada alternativa planteada. Seguidamente, se establecieron los criterios de selección y se le asignó a cada criterio una ponderación en una escala porcentual del (0-100) % dependiendo de la importancia dada a cada uno de estos, de esta manera 0 es el criterio menos importante y 100 el más importante.

- **Criterio 1: Inversión inicial**

Se refiere a los costos generados por la adquisición de equipos y accesorios que conforman la alternativa, siendo uno de los criterios con mayor importancia para la empresa, debido a que indica cuan costoso es la implementación de la propuesta, por lo que se le asigna un peso de 30%.

- **Criterio 2: Operatividad**

Este criterio considera el grado de dificultad de los procedimientos necesarios para operar y controlar los equipos o dispositivos de la alternativa seleccionada, representando un valor de 15%.

- **Criterio 3: Eficiencia**

En este caso, se evalúa la eficiencia del sistema de medición de caudal tomando en cuenta las características del agua cruda. Debido a la importancia de este criterio, se le asigna un peso de 30%.

- **Criterio 4: Costos operativos y mantenimiento**

Se consideran los costos asociados para el control, operación y mantenimiento correcto del sistema de la alternativa a desarrollar, asignándole un peso de 15%.



- **Criterio 5: Seguridad y medio ambiente**

En la actualidad es conveniente evaluar el impacto ambiental de cualquier decisión que se pretenda desarrollar, es relevante el ahorro energético y contaminación que pueda que se pueda obtener por cada alternativa, además se necesita conocer el riesgo al que están expuestos los operadores al manejar los equipos o dispositivos utilizados. Asignando a este criterio un valor de 10%.

Posteriormente, mediante una matriz de selección se determinó la alternativa más adecuada para la implementación de un sistema de medición de caudal en la entrada de la planta de tratamiento de efluentes industriales, para lo cual se siguieron los pasos presentados a continuación:

A cada alternativa se asignó el puntaje correspondiente a cada uno de los criterios de selección; este puntaje tiene una ponderación del 1 al 5, siendo el 1 la condición más desfavorable (muy malo), 2 (malo), 3 (regular), 4 (bueno) y 5 la más favorable (muy bueno). Posteriormente cada puntaje es multiplicado por el valor del porcentaje para así realizar una sumatoria de las puntuaciones obtenidas de cada criterio y obtener la puntuación final para cada alternativa. Para determinar el valor acumulado de la alternativa en cada criterio se utilizó la siguiente ecuación:

$$A = A_{PC} \times P \quad \text{EC. (3.4)}$$

(Cohen, 2000)

Donde:

A : Valor acumulado por la alternativa (Adim)

A_{PC} : Ponderación por criterio (Adim)

P : Peso por criterio (Adim)

Luego, el cálculo del valor total de cada alternativa se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:



$$P_T = \sum_{i=1}^n A_i \quad \text{EC. (3.5)}$$

(Cohen, 2000)

Donde:

P_T : Puntuación total para una alternativa (Adim)

n : Número de criterios

Finalmente se seleccionó la alternativa que obtuvo mayor puntuación, con lo cual se cerró el proceso de toma de decisiones.

3.1.5. Determinación de las modificaciones y/o ajustes necesarios para mejorar el tratamiento biológico.

En base a los diagnósticos y caracterizaciones realizadas, esta fase del proyecto consta de los ajustes y/o modificaciones de las variables operativas que fueron diagnosticadas con fallas en la planta, estas involucran: ajuste de la dosificación de macronutrientes y modificación del formato de control de proceso.

3.1.5.1. Ajuste de dosificación de macronutrientes

Para establecer una dosis adecuada en la adición de nutrientes se analizaron las caracterizaciones realizadas, específicamente lo correspondiente a la DQO, nitrógeno total, fósforo total y caudal de entrada a la planta de tratamiento. Ahora bien, los requerimientos básicos en un sistema de lodos activados están basados en la DBO (demanda biológica de oxígeno), por lo que a partir de datos históricos de la planta de tratamiento de efluentes industriales Heinz se procedió a estimar un porcentaje de biodegradabilidad (DBO/DQO) con análisis estadístico de valores, desde el año 2002 hasta el año 2012 para que sea representativo.

- Determinación estadística del % de biodegradabilidad



Se debe tener en cuenta que la relación DBO/DQO no debe variar en gran proporción, ya que este es un valor característico para la selección del tipo de tratamiento en que se basa el diseño de plantas de tratamiento.

Inicialmente se realizó un estudio probabilístico para verificar que los datos se comportan como una distribución normal, similar a los realizados en el objetivo 2. Para comprobar la normalidad de los datos se procedió a validar la prueba de hipótesis con el estadístico de Anderson-Darling a través del valor p comparando que este sea mayor al nivel de significancia con un 95% de confiabilidad.

Verificado lo anterior, se procedió a determinar las estadísticas descriptivas, obteniendo el % de biodegradabilidad medio y de esta forma estimar los datos de DBO a partir del DQO del muestreo mediante la ecuación 3.1.

- Estudio de las relaciones de macronutrientes y dosificaciones

Este estudio se basa inicialmente se evaluó la relación DBO: N: P para comparar con la óptima 100:5:1 y observar el grado de deficiencia de nutrientes en el afluente de PTEI, y entonces a través de los límites superior (100:5:1) e inferior (100:2,5:0,5) establecer el ajuste de la dosis de nutrientes.

En Heinz actualmente se adiciona sin control un compuesto único a base de fosfato de amonio y cantidades de urea con las siguientes características: Relación N: P en el producto es 4,5:1, densidad a 20 °C es de 1160 kg/m³, y punto de ebullición mayor a 100 °C. De estas características quizás la más importante en este análisis es la relación N: P, ya que una de las desventajas de la adición conjunta de macronutrientes es que no es posible dosificar los kilogramos por días necesarios cuando se tiene una relación N: P diferente en el afluente de la planta. Además, el producto fue implementado sin constatar un análisis previo de las concentraciones de nitrógeno y fósforo y establecer una relación media. Sin embargo el proveedor dispone del mismo producto Stimulus con relaciones N: P diferentes.



Seguidamente se realizó la comparación de la relación N: P del afluente de PTEI con la especificada por el producto, esto con la intención de garantizar que este se adapta a las condiciones de entrada de la planta de tratamiento.

La dosificación requerida que establece las especificaciones del producto Stimulus 7174 basada en el nitrógeno es la siguiente:

$$D-N = \frac{((0,05 \cdot Q \cdot fc_5 \cdot DBO) - (Q \cdot fc_5 \cdot N-NH_3 \text{ afl.}))}{\text{Factor N}} \text{ EC. (3.6)}$$

(Nalco, 2006)

Donde:

D-N: dosis de nitrógeno requerida, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)$

Q: caudal afluente, $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$

DBO: demanda biológica de oxígeno en el afluente, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

N-NH₃afl.: nitrógeno como N-amoniaco en el afluente, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

Factor N: factor del compuesto asociado al nitrógeno, (0,151 Adim.)

fc₅: factor de conversión 5, $\left(24 \frac{\text{h}}{\text{d}}\right)$

La dosis de fósforo se calcula de la siguiente manera:

$$D-P = \frac{((0,05 \cdot Q \cdot fc_5 \cdot DBO) - (Q \cdot fc_5 \cdot P-PO_4 \text{ afl.}))}{\text{Factor P}} \text{ EC. (3.7)}$$

(Nalco, 2006)

Donde:

D-P: dosis de fósforo requerida, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)$

P-PO₄afl.: Fósforo como fosfato en el afluente, (g/L).

Factor P: factor del compuesto asociado al fósforo, (0,033 Adim.)

Las conversiones de las especies químicas involucradas, como el nitrógeno y fósforo total se encuentran especificadas en la tabla C.2.



En vista de que se trata de un compuesto único, el producto Stimulus 7174 especifica que la dosis óptima será aquella con el mayor valor de kilogramos por día, es decir, para el ajuste se tomó la mayor dosificación entre ambos. A su vez se debe tomar en cuenta que si ambos cálculos resultan en dosificaciones muy diferentes, se debe considerar usar un producto Stimulus con diferente relación N:P. Stimulus también establece condiciones en el efluente tratado, estableciendo que para una dosis óptima se deben tener concentraciones en el agua tratada cercanos a 1 mg/L de Nitrógeno Total y 0,5 mg/L de Fósforo como PO_4^- .

Finalmente el ajuste del caudal de la bomba de dosificación de nutriente se realizó a través de la carga másica calculada en kg/d y la densidad del producto con la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{bomba}} = \frac{CM}{\rho} * Fc6 \quad \text{EC. (3.8)}$$

(Perry, 2008)

Donde:

Q_{bomba} : Caudal de la bomba de dosificación de nutrientes (L/h).

CM: Dosis requerida en base al mayor valor entre nitrógeno y fósforo (kg/d).

ρ : Densidad del compuesto Stimulus 7174 (kg/m^3).

Fc6: Factor de conversión, 1000/24 (d.L/ m^3 .h).

3.1.5.2. Modificación del formato de control de proceso

Esta fase del proyecto involucra todas las variables operativas de control de la planta de tratamiento de efluentes industriales Heinz, por lo que es fundamental tener el mejor control posible del manejo de esta información. A través del diagnóstico previo, formatos de análisis de laboratorio, manual de operación y bibliografías se modificó el formato físico y digital de control de proceso de PTEI.



- Investigación en fuentes bibliográficas acerca del control de proceso en una planta de tratamiento.

Se determinaron los factores más importantes para mantener el control operativo de una planta de tratamiento, así como el manejo de la información basada en análisis de parámetros físico-químicos y el control de los servicios operativos, como bombas, compresores, filtros, entre otros.

Inicialmente se realizó la detección de las fallas en los formatos de control de proceso de PTEI, tomando en cuenta la información faltante o sobrante, rangos operativos, límites por decreto 3219 de efluente tratado, manejo de la información tanto del operador como de supervisores y personal del área.

- Reuniones con especialistas en plantas de tratamiento de aguas.

Conocido los formatos manejados en PTEI, se vio la necesidad de mejorarlos, donde mediante consultas con expertos en el área se sustentaron varias ideas para plasmar la información en los formatos. Se tocaron varios aspectos operativos vulnerables en una planta de lodos activados.

- Verificación de las posibilidades existentes para mejorar el manejo de la información de los reportes de control de proceso.

La PTEI no cuenta con computadora en el laboratorio, lo que complica el manejo de la información, ya que los reportes digitales deben realizarlos en una computadora fuera de esta planta ajena al proceso. A partir de esto se tomó la iniciativa de implementar un formato digital de fácil acceso y manejo automatizado de los datos, y de esta forma en conjunto con el tutor industrial justificar la adquisición de un computador para el laboratorio de PTEI.

- Modificación de los formatos físico y digital del control de proceso de la planta de tratamiento de fluentes industriales.



Para efectuar los formatos físico y digital se manipuló el software Microsoft Excel utilizando funciones lógicas de programación para el manejo de los datos, hipervinculación entre hojas de cálculo y una base de dato raíz para la manipulación de las variables. Además, la facilidad que genera un gráfico para evaluar los datos es incomparable, por lo que se programaron las gráficas para su construcción automática e indicadores KPI a medida que los operadores ingresaran los datos en su turno respectivo.

3.1.6 Elaboración de un plan de acción preventivo y correctivo para casos eventuales de derrames de aceite y grasas en los procesos de manufactura.

Para el cumplimiento de dicho objetivo se inició con una etapa de recorrido por toda la planta, cuya finalidad fue identificar todas las áreas y equipos, que manipulen aceite y grasas. Las áreas identificadas fueron el taller de lubricación, el taller eléctrico y el taller de montacargas, todas estas pertenecientes al departamento de mantenimiento. Seguidamente, después de haber identificados todas las áreas, se plasmó en un layout de la planta, símbolos que indiquen la ubicación de las zonas donde se manipulen aceites y grasas [ver figura 3.1.].

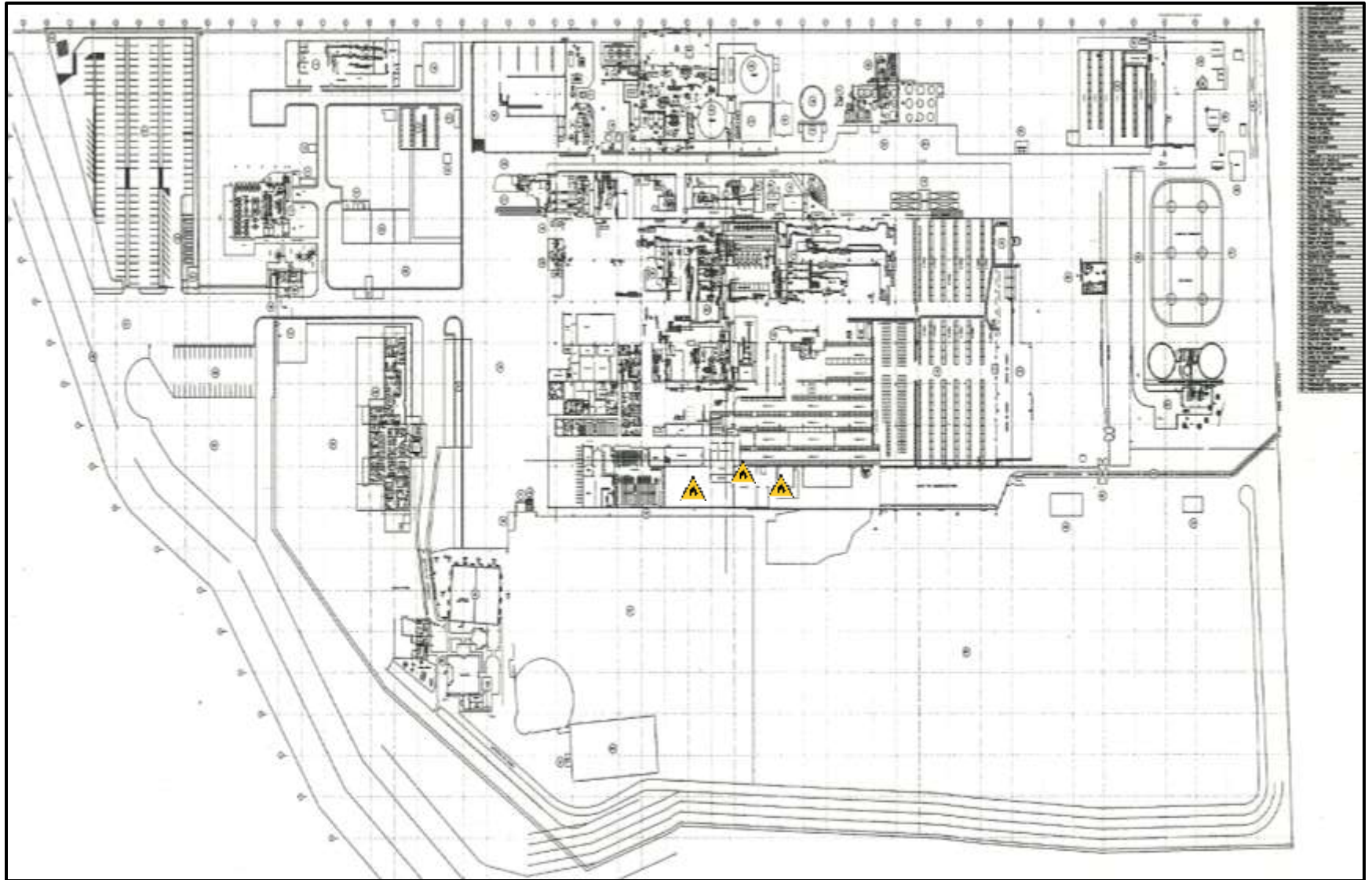


Figura 3.15. Layout de la empresa que identifica las zonas que laboran con aceite y grasas.



Concluido el proceso de identificación de las áreas, se estableció una pequeña encuesta con el personal que labora en dichas zonas, las cuales cuentan con 20 trabajadores de un total de 96. Por lo tanto la muestra poblacional es 20.

Con el objetivo de evaluar la manera de manipulación de los diferentes equipos y contenedores, y tener una idea de las posibles fallas operativas; todo esto realizado con la finalidad de analizar las posibles causas de derrames accidentales por parte de los trabajadores. Esta encuesta se encuentra en la siguiente tabla:

TABLA 3.7
ENCUESTA REALIZADA A LOS TRABAJADORES DE LAS DISTINTAS ÁREAS
DE MANIPULACIÓN DE ACEITES Y GRASAS

Nº	PREGUNTAS
1	¿Conoce usted la identificación para el almacenamiento de aceite?
2	¿Los recipientes de almacenamiento están debidamente identificados con las etiquetas correctas?
3	¿Se encuentran los recipientes en buenas condiciones?
4	Si los recipientes no estuviesen en buenas condiciones, y ocurriera derrame, ¿Qué acción tomaría usted al respecto?
5	¿Qué tipo de equipo de contención de derrames conoce?
6	¿Qué equipos de protección usaría al manipular el aceite?
7	¿Cuál es la disposición que se le da al derrame ya contenido y al equipo de protección, después de ser usado?
8	Al ocurrir un derrame que no pudiese contener, ¿dejaría que este fluyera a las alcantarillas?

Posterior a las reuniones, se analizaron las encuestas tenidas con el personal y se realizó un detallado análisis de las posibles causas que propicien los derrames, ya sea por la mala manipulación de los equipos o por el estado de los mismos. Este análisis se llevó a cabo con miembros del personal de la Gerencia Integral de Seguridad, Salud y Medio Ambiente, para así definir simultáneamente las consecuencias del derrame y dar paso a la lluvia de ideas que mediante la opinión de



cada miembro del equipo de trabajo se generaran las posibles soluciones a dichos problemas. Al concluir la reunión se resumieron las ideas y se clasificaron cada una de ellas, mediante criterios de seguridad y sostenibilidad, para dar paso a la estandarización del plan. Adicional a esto, el equipo de trabajo asignó el comité encargado de la ejecución del plan, el cual es el encargado de ejecutarlo.

Debido a que se derivaron nuevos procedimientos a partir del análisis de la encuesta, se les proporcionó a los trabajadores, charlas con esta nueva información, indicando el nuevo manejo de los equipos e instrumentos de almacenamiento para evitar dichos derrames y el procedimiento inmediato que se debe tomar en caso de que este ocurra.

3.1.7 Determinar la relación costo-beneficio de la implementación del proyecto.

La razón beneficio-costo es el modelo de evaluación que se usa para medir el atractivo económico de un proyecto de utilidad pública o privada y, por definición, expresa la relación entre el beneficio percibido por los usuarios y el costo en que incurre el patrón al realizar el proyecto.

3.1.7.1 Determinación del costo de la implementación del proyecto.

$$C = C_E + C_I \quad \text{EC. (3.9)}$$

(Cohen, 2006)

Donde:

C: Costos de la implementación del proyecto (Bs)

C_E : Costo del equipo y de instalación (Bs)

C_I : Costos por contenedores, kits antiderrames y oilskimmer (Bs)

3.1.7.2 Determinación de los beneficios producidos por la implementación del proyecto.

$$B = B_{RAP} + B_{AL} \quad \text{EC. (3.10)}$$



(Cohen, 2006)

B: Beneficios producidos por la implementación del proyecto (Bs)

B_{RPA}: Beneficios de reducción del agua de proceso (Bs)

B_{AL}: Beneficios por ahorros legales (Bs)

3.1.7.3. Determinación de los beneficios por la reducción del consumo de agua de proceso.

$$B_{RPA} = \%R \cdot C_{AA} \cdot \%A_{PTEI} \cdot C_{ATL} \quad \text{EC. (3.11)}$$

(Perry, 2008)

Donde:

%R: % de reducción del consumo de agua de proceso por tonelada de producto (%)

C_{AA}: Cantidad de agua consumida en el FY'11 (m³)

%A_{PTEI}: Porcentaje de agua enviada a PTEI (%)

C_{ATL}: Costo aproximado del volumen de efluente industrial tratado (Bs/m³)

3.1.7.4. Determinación de los beneficios por ahorros legales.

$$B_{AL} = C_{VI} + C_{DP} \quad \text{EC. (3.13)}$$

(Perry, 2008)

Donde:

C_{VI}: Costo por multa de vertido ilícito 1500 UT (Bs)

C_{DP}: Costos por mala disposición de desechos peligrosos 5000 UT (Bs)

3.1.7.5. Determinación de la relación costos – beneficios.

$$R_{B-C} = \frac{B}{C} \quad \text{EC. (3.14)}$$

(Giugni, 1997)

Donde:

R_{B-C}: relación Beneficio-costo (Adim.)

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada objetivo de la investigación, así como también el análisis detallado y discusión de los mismos.

4.1 Realización de un diagnóstico de los procesos y redes de generación de efluentes que llegan a la planta de tratamiento.

Esta fase de diagnósticos permitió el desarrollo del proyecto a través de una herramienta fundamental, como lo es el plano de drenaje industrial, el cual fue actualizado para todas las áreas de la empresa des de donde se genera hasta su disposición final en la planta de tratamiento PTEI. Además, esto hizo posible identificar las tanquillas, rejillas, pozos y canales abiertas en el trayecto del sistema de la red de tuberías; este se plasmó en tres dimensiones mediante un software para una mejor percepción visual; en la figura 4.1 y 4.2 se observan imágenes del plano y el modelado en 3D del sistema de drenaje industrial respectivamente.

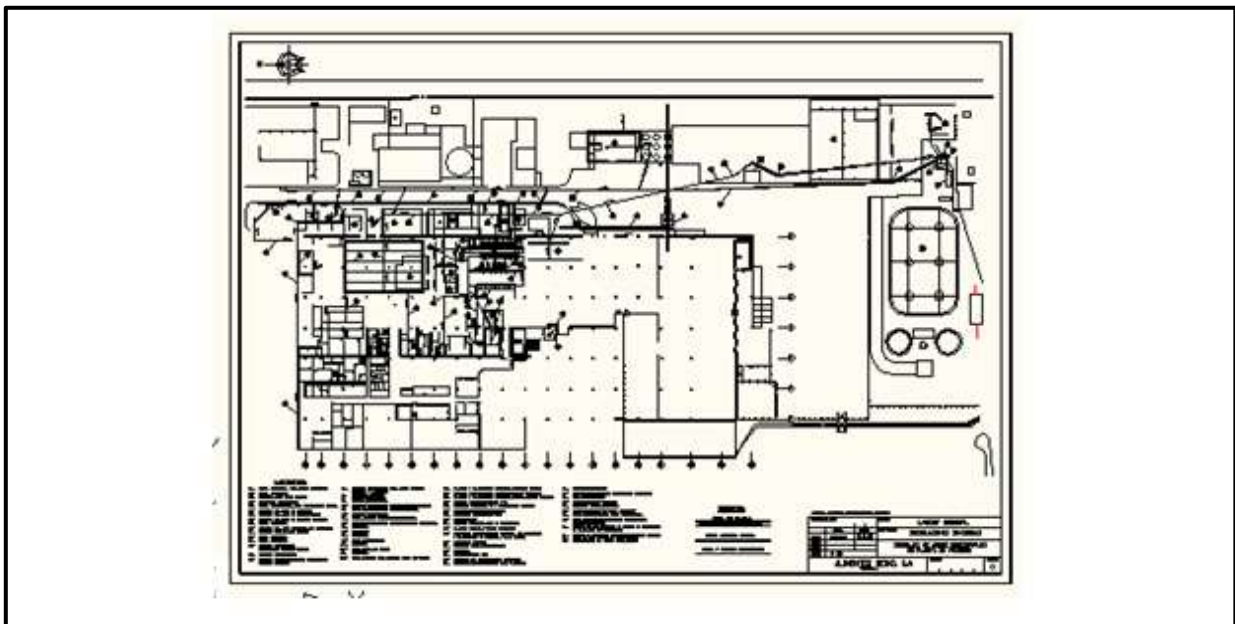


Figura 4.1. Imagen del plano de drenaje industrial de Alimentos Heinz, C.A.

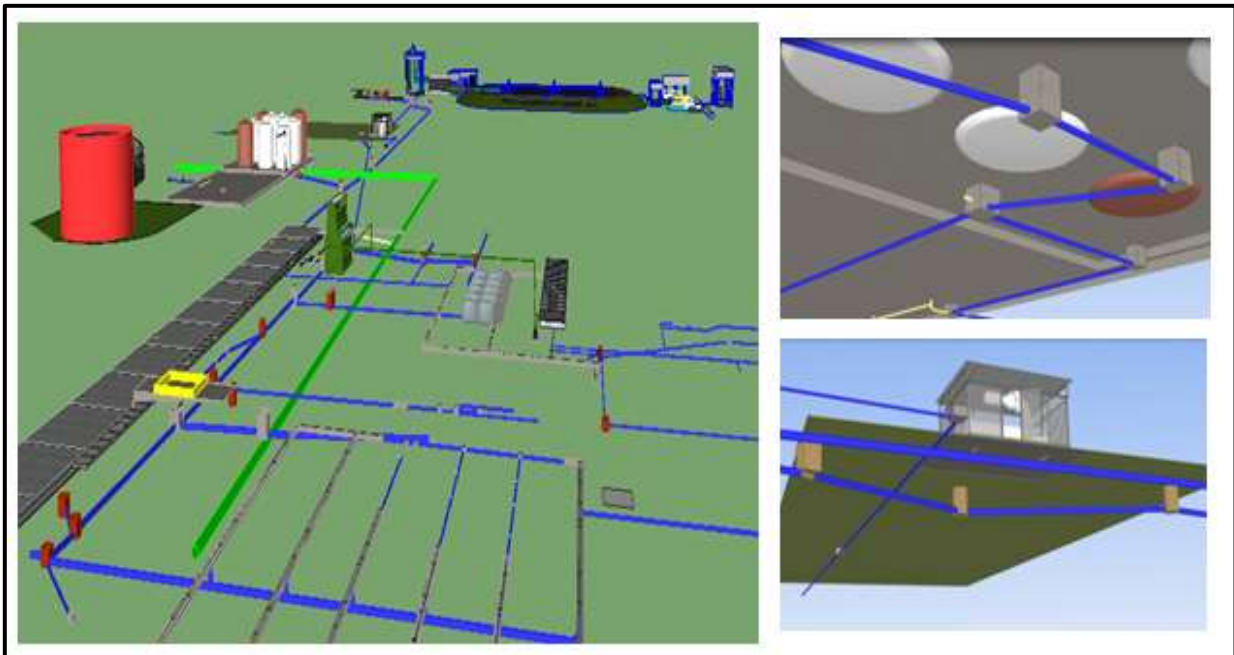


Figura 4.2. Imagen del modelado en 3D del sistema de drenaje.

Uno de los aportes más representativos para el logro del objetivo planteado, estuvo representado por la reducción de los efluentes generados en la planta de producción, partiendo de los diagnósticos realizados en las unidades de mayor consumo de agua de proceso. Principalmente el caso más crítico correspondía al pasteurizador de la línea de Ketchup galón, con fallas mecánicas y operativas que ocasionaban un desborde de agua de enfriamiento. La propuesta realizada en el departamento de mantenimiento, fue sustituir el motor eléctrico dañado dispuesto para la recirculación del agua hacia la torre Marley, por uno de iguales características para satisfacer la demanda de agua para el proceso de pasteurización.

Mediante los indicadores del programa de sostenibilidad de la empresa, se evidenció la disminución de consumo de agua de proceso por tonelada de producto en un 12% (información suministrada por el departamento GISSMA “Gerencia Integral de seguridad, salud y medio ambiente”). En la figura 4.3 se puede observar el pasteurizador en operación normal, y el bajo nivel hidráulico del reactor biológico, en relación a lo observado en las figuras 3.1 y 3.4.



Figura 4.3. Resultado de la ejecución de las propuestas del diagnóstico

Los diagnósticos en planta vinagre no revelaron grandes fuentes de generación de efluente, ya que el proceso de acetificación se lleva a cabo en tres acetadores batch, los cuales poseen un sistema de enfriamiento para el control de la reacción. De acuerdo con la información suministrada por el personal del área, los posibles efluentes industriales podrían ser: derrames de vinagre, alcohol etílico desnaturalizado, mezcla de ambos, agua de enfriamiento y/o espuma generada en el proceso de acetificación. Sin embargo, estos no fueron evidenciados durante esta fase.

Además, en la zona de servicios básicos, correspondiente a la sala de calderas, suavizadores, torres de enfriamiento y pozos profundos, se determinó que la purga de las calderas y el agua de regeneración de los suavizadores, ingresan al sistema de red cloacal; mientras que los aliviaderos dispuestos para las torres de enfriamiento y tanques de almacenamiento de agua de pozo, ingresan al drenaje industrial en caso de fallas o derrames.

A través de una inspección visual, análisis de los reportes de laboratorio e informes trimestrales del auditor externo, se identificó la baja sedimentabilidad del lodo como consecuencia del bulking filamentoso (hinchamiento del lodo causado por alta densidad de bacterias filamentosas en el lodo activado), corroborando esto con análisis continuos en el microscopio, donde se estableció según Jenkins, (1993) que

la microbiota del lodo activado se encontraba en grado F (Ver Figura C.1) de bacterias filamentosas. A continuación se presenta la evidencia fotográfica de este hecho.

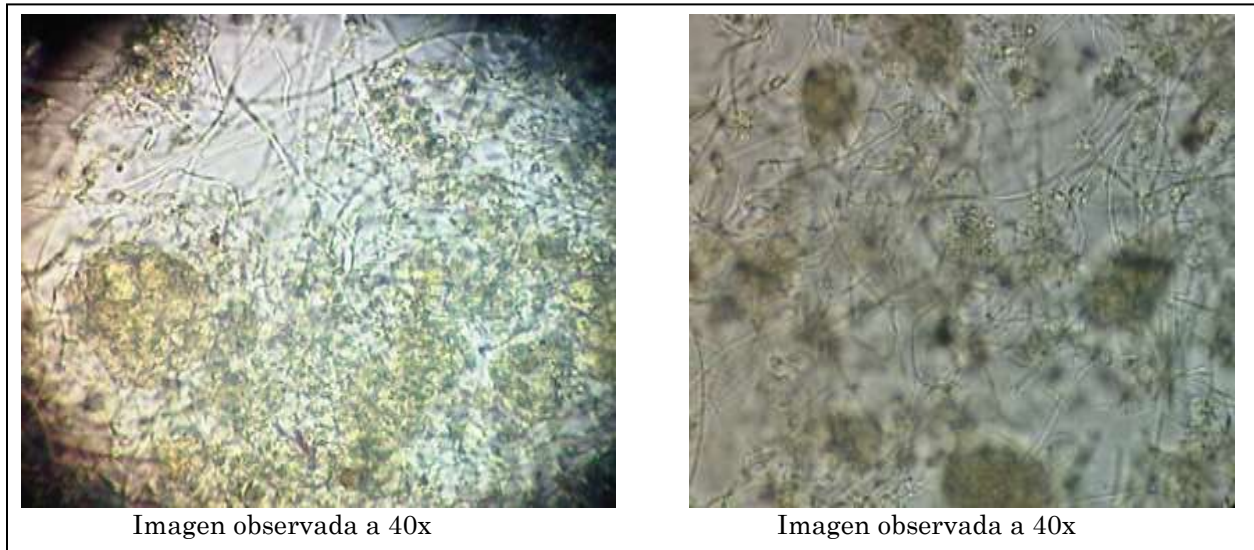


Figura 4.4. Densidad de bacterias filamentosas observadas en el lodo activado

En las imágenes se evidencia la alta densidad de bacterias filamentosas. Un lodo hinchado con deficiencia de nutrientes, con frecuencia presenta filamentosas tipo 021N y *Thiothrix*. En el lodo de PTEI, se observó en repetidas muestras estos microorganismos. Lo que indica que el reactor biológico opera con deficiencia de nutrientes. Además, estos microorganismos mal controlados, pueden generar elevación y pérdida de lodo por el clarificador, y violación del límite máximo en la concentración de los sólidos suspendidos del agua tratada. Estos son indicativo de poca eficiencia, por lo general menor al 40 % (Metcalf, 1996).

Adicional a esto, se realizó una microscopía en el afluente de PTEI Heinz, ya que según Metcalf, (1996) muchas veces por las condiciones físico-químicas aguas arriba, es posible tener bacterias filamentosas en la entrada de una planta de tratamiento de aguas residuales. Como resultado, no se evidenció presencia alguna de microorganismos filamentosos.

Actualmente en PTEI no se dispone de ninguna unidad que remueva aceites y grasas presentes en el agua. Esto ocurre, debido a que las concentraciones están



por debajo de 150 ppm, el cual es el máximo permisible que se pueda tener en la alimentación de un sistema biológico. Los análisis físico-químicos trimestrales que presenta el auditor externo, muestra valores que oscilan entre 20 y 40 ppm. Sin embargo, eventualmente han ocurrido derrames de aguas arriba que han ingresado al sistema biológico, lo cual afecta la microbiología del lodo, de tal forma que las bacterias que sobreviven en medios grasos son filamentosas, específicamente la nocardia. En PTEI, se observan rastros de este microorganismo como una especie de nata roja suspendida en la superficie del lodo.

Entre otras cosas, los procesos de recolección de datos de análisis de laboratorio y el control de servicios en los equipos de la planta de tratamiento, se manejan con deficiencias, debido a que los formatos presentan información incompleta, como rangos operativos, parámetros físico-químicos, inspección de las áreas, entre otros.

4.2. Caracterización de los efluentes que llegan a la planta de tratamiento.

4.2.1 Evaluación y determinación de los caudales

Esta fase del proyecto contempla una evaluación y determinación de los caudales, el cual se basa en el análisis estadístico de los datos. En un principio el tamaño de la muestra fue determinado a partir de un estudio a escala piloto, para obtener una desviación estándar aproximada y de esta forma el tamaño de muestra estimado para las mediciones.

Generalmente, si el tamaño de la muestra es menor que 30, puede haber cierta cantidad de desviación de la linealidad en condiciones normales, por lo que en estos casos, sólo una salida muy severa de la linealidad debe ser interpretada como una fuerte indicación de no normalidad (Montgomery, 2003).

Es por ello se realizó una prueba estadística para evaluar si los datos siguen una distribución normal mediante un gráfico de probabilidad, ya que según Metcalf



(1996) para evaluar las estadísticas descriptivas como la desviación estándar, los datos deben seguir una distribución normal, y a partir de este estimar el tamaño de la muestra. Ahora bien, además de la técnica gráfica, se determinó el estadístico de Anderson-Darling, donde a través del valor p se compara con el nivel de significancia (0,05) para corroborar que los datos siguen la distribución especificada (normal). El valor p igual a 0,109 Adim., es mayor que 0,05 Adim.; por lo tanto se concluye que los datos siguen la distribución normal (Ver Figura 4.5).

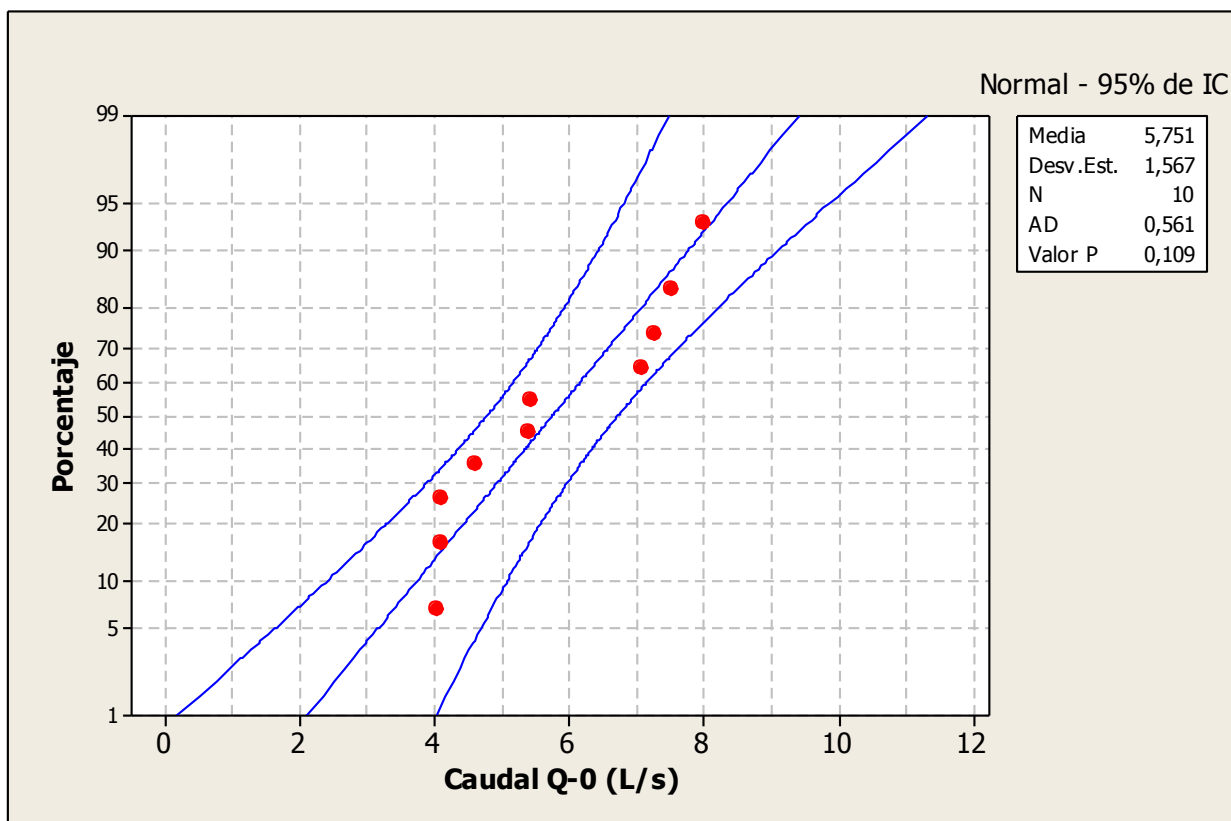


Figura 4.5 Gráfica de probabilidad para caudales de estudio piloto Q-0.

Ahora bien, los parámetros obtenidos fueron los siguientes: Desviación estándar: 1,567 L/s y media: $(5,8 \pm 0,5)$ L/s, el error asociado es tomado por las estadísticas descriptivas que genera Minitab conocido como “error estándar de la media”. En la tabla B.1 se muestran los datos del estudio piloto.

A través de esta medida de dispersión se calculó un tamaño de muestra para estimación, el cual resultó ser 30 mediciones, con un margen de error de 0,5; y



un intervalo de confianza del 95%. Según Montgomery (2003), el margen de error es la distancia desde la estadística estimada hasta el valor del intervalo de confianza. Cuando se estima la media (normal), los intervalos de confianza son simétricos; por lo tanto, el margen de error es la mitad del ancho del intervalo de confianza, es por ello que en base a los reportes de caudales de salida de la planta, se seleccionó un margen de 0,5 para una buena determinación de caudal promedio.

Ahora bien, en la tabla B.2 se presentan los resultados de medición de cada método utilizado para la determinación del flujo volumétrico Q-1 y Q-2, y la lectura de caudal de salida de la planta de tratamiento Q-3 como herramienta comparativa.

4.2.1.1 Análisis estadístico de caudales

En el desarrollo de sistemas de gestión de aguas residuales suele ser necesario determinar las características estadísticas de los caudales. El primer paso en la obtención de las características de una serie de datos, consiste en ver si estos se ajustan a una distribución normal o si son datos sesgados. En la mayoría de los casos prácticos, la determinación del tipo de distribución se lleva a cabo representando los datos en diferentes papeles probabilísticos y comprobando si se pueden o no ser ajustados por una recta. Según Metcalf, (1996), sí se trata de una distribución normal, los parámetros que se emplean para caracterizar la serie de datos incluyen, entre otros, la media, mediana, moda, la desviación estándar, y estadísticos que determinen si una muestra de datos proviene de una distribución específica. Al igual que en el estudio piloto, se utilizó el estadístico de Anderson-Darling (AD) para datos que sigan una distribución normal.

En las siguientes gráficas se muestra un estudio probabilístico de los datos, realizado en el software Minitab 16 con un intervalo de confianza del 95%.

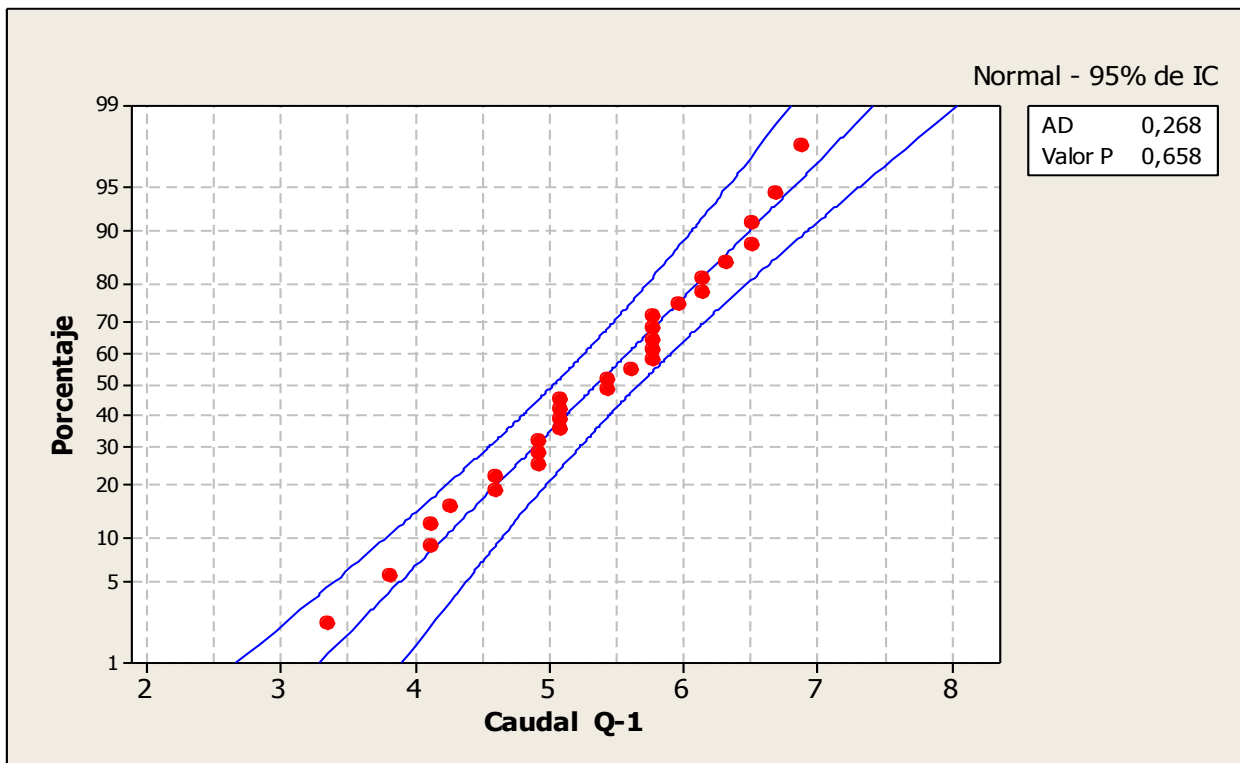


Figura 4.6 Gráfica de probabilidad de la distribución de los datos de caudales Q-1

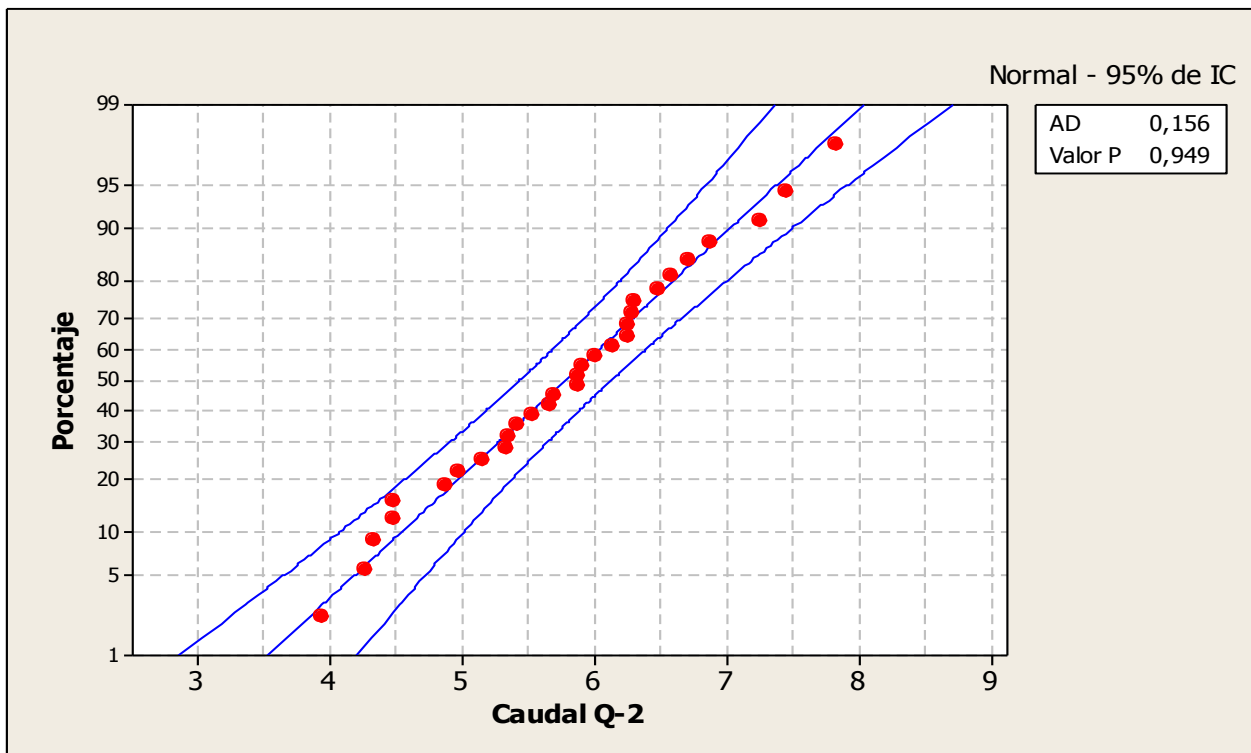


Figura 4.7 Gráfica de probabilidad de la distribución de los datos de caudales Q-2

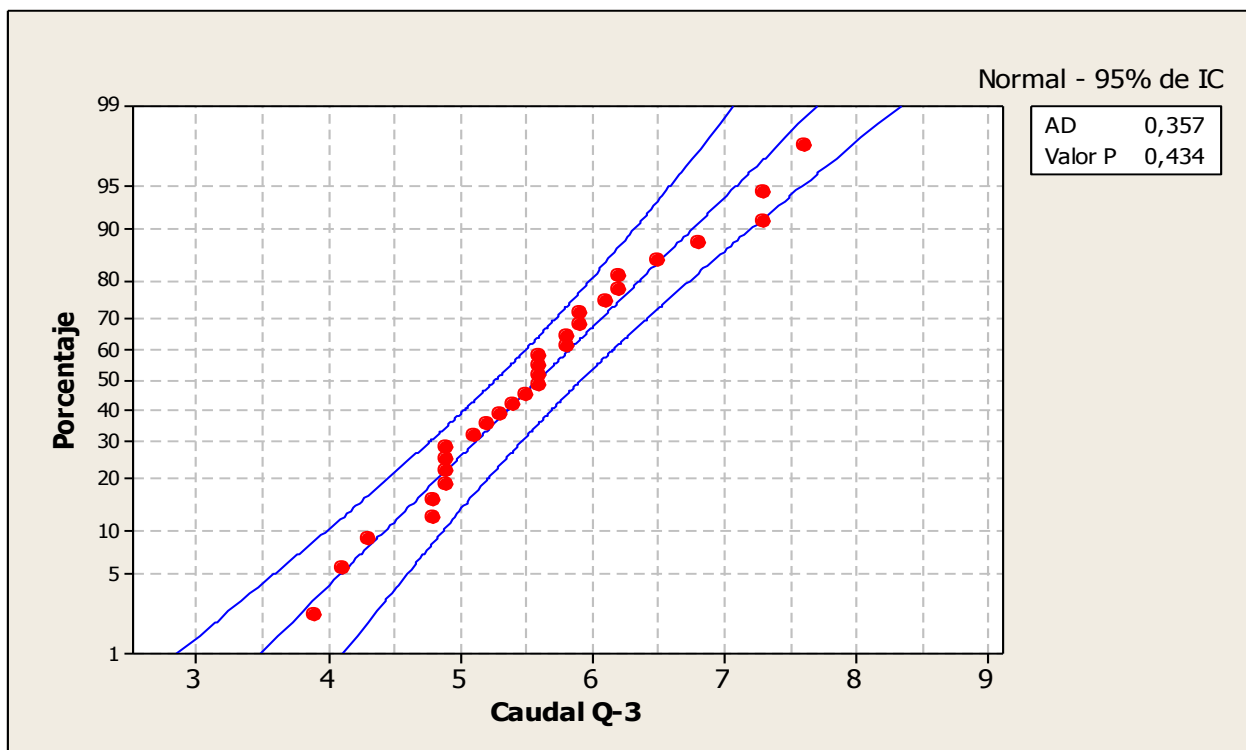


Figura 4.8 Gráfica de probabilidad de la distribución de los datos de caudales Q-3

Es notable como gráficamente se observa la distribución normal de los datos para los tres caudales, ya que los puntos no sobresalen de los límites inferior y superior establecidos por el modelo probabilístico. A su vez, esto se puede comprobar a través del estadístico de Anderson-Darling (AD) y el valor p, tal como se realizó al estudio piloto. El valor p para los tres casos es mayor al nivel de significancia (0,05), lo que afirma la hipótesis nula (H_0) del estadístico de AD (valor cercano a cero para todos los casos). Los datos siguen la distribución especificada, en este caso, normal.

El proceso de evaluar y determinar los caudales hace necesario obtener los valores promedios, con el fin de determinar la capacidad de la planta, así como las necesidades hidráulicas del sistema de tratamiento. De acuerdo con la aplicación de los datos, según Metcalf, (1996) se establecen distintos factores típicos basados en el caudal, empleados para el proyecto de plantas de tratamiento de aguas. A partir de esto se seleccionó el factor máximo semanal (Ver Tabla B.1). En conclusión se van a calcular caudal medio, caudal mínimo y máximo semanal.



TABLA 4.1
REGISTRO DE CAUDALES MEDIOS, MÁXIMOS Y MÍNIMOS SEMANALES

Variable	Caudal medio (L/s)	Caudal Mínimo semanal (L/s)	Caudal Máximo semanal (L/s)
Q-1	$(5,4 \pm 0,2)$	(3 ± 1)	(7 ± 1)
Q-2	$(5,8 \pm 0,2)$	(4 ± 1)	(8 ± 1)
Q-3	$(5,6 \pm 0,2)$	(4 ± 1)	(8 ± 1)

Se asume el máximo y mínimo semanal entre los días de recolección de datos de lunes a viernes con una buena aproximación, ya que es en estos días son los de mayor producción en la empresa en comparación al ritmo de producción de los fines de semana. El error asociado para los caudales medios es el conocido como “error estándar de la media” este mide con cuánta precisión la media de la muestra estima la media de la población. Estees igual a la desviación estándar de la muestra dividida entre la raíz cuadrada del tamaño (N). Mientras que para los caudales mínimos y máximos semanal se asocia a la desviación estándar ya que este parámetro indica la dispersión entre estos datos y la media.

Mediante el análisis de la tabla 4.1 el caudal medio Q-1 es sumamente semejante al caudal medio Q-2. Se puede deducir que la mayor parte del flujo volumétrico que llega a la planta de tratamiento PTEI es generada en los procesos de planta de producción, y una vez más, afirma que en planta vinagre y servicios básicos la generación de efluentes industriales es relativamente baja.

A través de los caudales promedios se puede comprobar lo que operativamente es notorio, y es que el caudal Q-1 es aproximadamente igual a Q-3, es decir entrada y salida del proceso de tratamiento respectivamente. Esto da a entender que el proceso es estable desde el punto de vista hidráulico, manteniendo las condiciones de operación actuales, realizadas por las mejoras de este proyecto. En la figura siguiente se muestra una comparación gráfica de los flujos volumétricos.

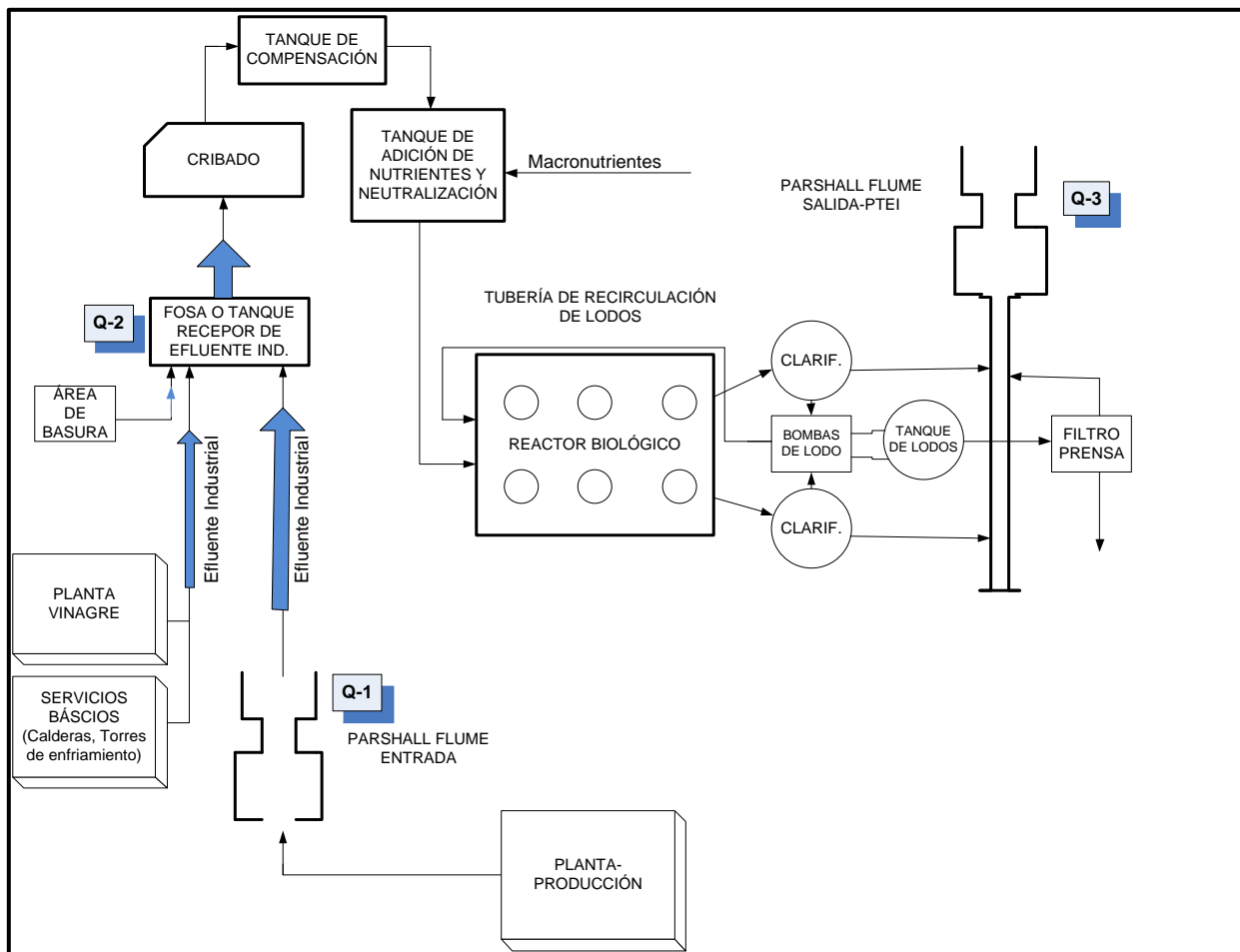


Figura 4.9 Representación gráfica del flujo en los distintos puntos de medición

En la tubería alterna de efluentes industriales provenientes de Planta vinagre y servicios básicos, se puede observar que el segmento de flecha es más estrecho que el de Q-1, de esta forma se representa la magnitud del caudal. Esta relación es lógica ya que como se mencionó anteriormente Q-1 es muy semejante a Q-2, por lo tanto la diferencia de flujo entre estos corresponde al área de basura y las plantas nombradas. De esta forma se verifica que la generación de efluentes industriales en estas zonas es mínima o inclusive eventual. Gráficamente se puede observar este comportamiento en la figura 4.8.

A continuación se muestra la relación entre los caudales Q-1 y Q-2 para observar la tendencia y el comportamiento de los datos, haciendo énfasis en que se debe cumplir la condición de Q-1 debe ser menor o igual a Q-2.

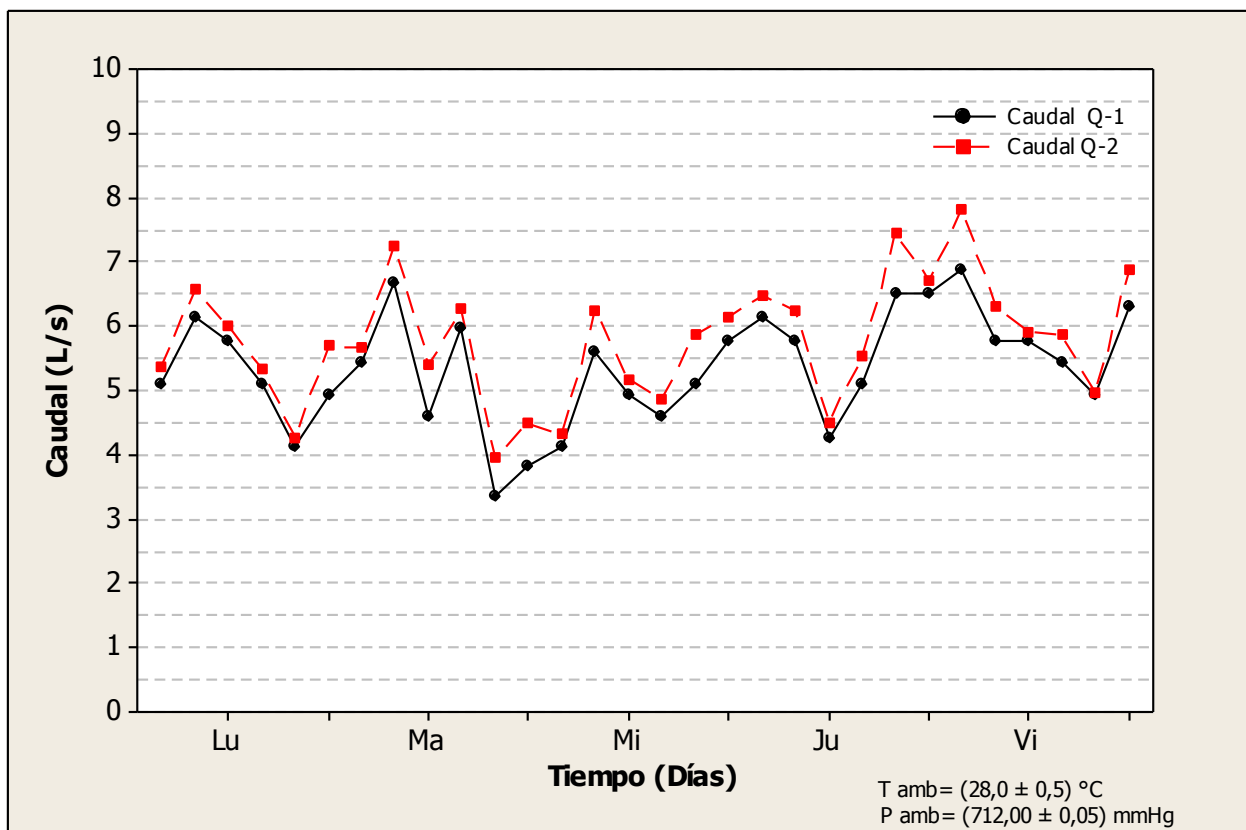


Figura 4.10. Gráfica de caudal Q-1 y Q-2 en función del tiempo.

De esta gráfica se puede inferir dos aspectos positivos, el primero es que tanto Q-1 como Q-2 tienen la misma tendencia en el trayecto de los datos, y la otra que la condición hecha anteriormente se cumple, ya que evidentemente todos los valores del caudal Q-2 están por encima de Q-1. Además, la diferencia entre estas dos curvas corresponde con el aporte de efluentes de planta vinagre, servicios básicos.

Ahora bien, la relación entre los caudales Q-2 y Q-3, que se corresponden a la entrada y salida de la planta respectivamente, es una herramienta garante de la estabilidad hidráulica del proceso. En la siguiente figura se muestra la gráfica correspondiente.

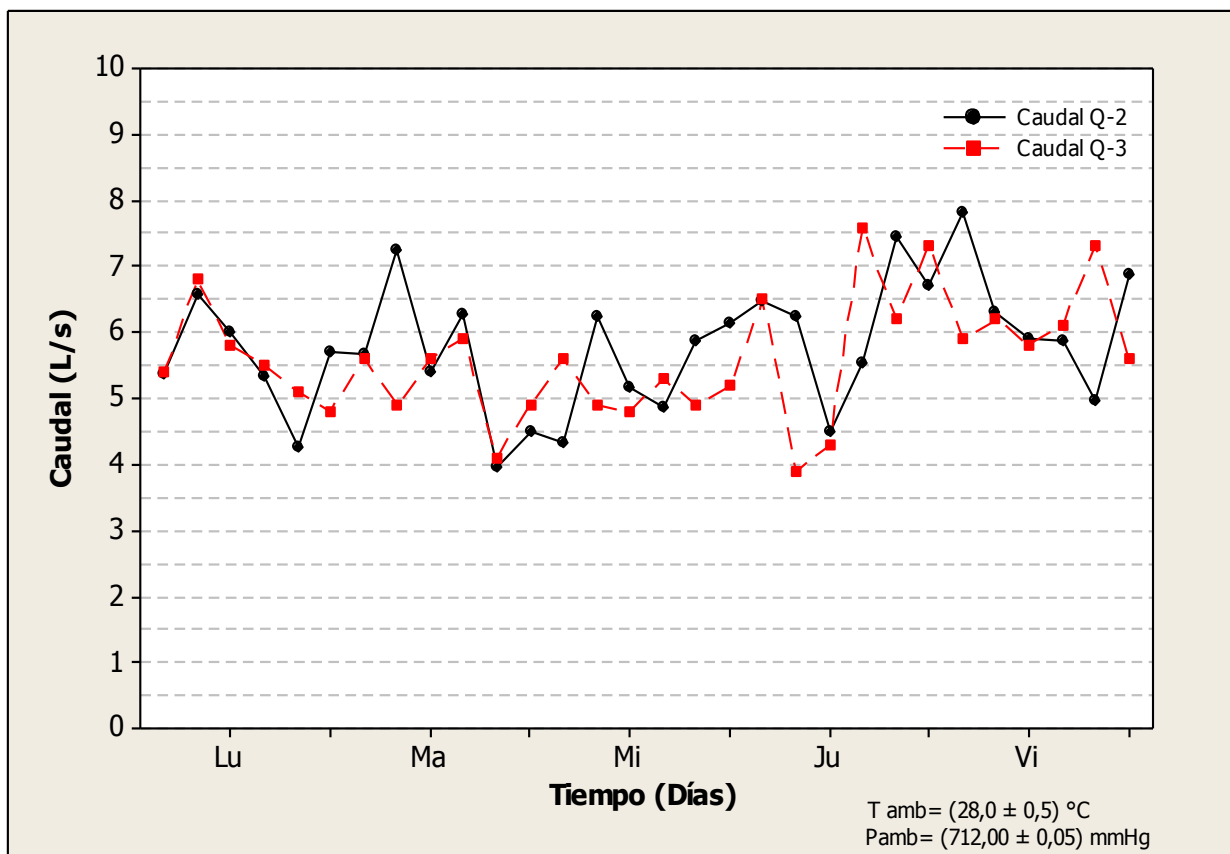


Figura 4.11. Gráfica de serie de tiempo de los caudales Q-2 y Q-3

En la gráfica anterior se muestra una tendencia semejante entre estas dos variables, en donde las diferencias radican en el tiempo más que en la magnitud del caudal, en este aspecto influyen los tiempos de residencia de las unidades de tratamiento y la manipulación de los vasos comunicantes del reactor hacia los clarificadores por parte de los operadores. Sin embargo, otros factores implícitos de menos envergadura son: (1) Errores en las mediciones y (2) Aporte de caudal del lixiviado de agua de los filtro-prensas en la canal donde se realizó la lectura de caudal Q-3.

El estudio del ritmo de la producción está íntimamente ligado con la determinación de caudal de operación de la planta de tratamiento, ya que esta herramienta es indispensable para extrapolar con otros programas de producción. En la tabla 4.2 se presenta el cronograma de producción de la planta durante la semana de campaña de recolección de datos para la determinación de caudales.



TABLA 4.2
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN OPERATIVAS DURANTE LA SEMANA DE
RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA DETERMINACIÓN
DE CAUDALES

Fecha	Líneas de producción operativas
30/01/12 (Lu)	Líneas 1 y 2 de Colados (Presentación: 113 g) Línea Ketchup (Presentaciones: 397 g, galón e individual) Línea Merge(Salsa inglesa, Presentación: 150cc) Planta de Vinagre
31/01/12 (Ma)	Líneas 1 de Colados (Presentación: 186 g kidz) Línea vidrio bocones (Tiquire Flores doble concentrada, 505g) Línea Ketchup (Presentaciones: 397 g y <i>volpack</i>) Línea Mostaza (Presentación: 1 Kg) Planta de Vinagre
01/02/12 (Mi)	Líneas 1 y 2 de Colados (Presentación de 113 g) Línea Ketchup (Presentaciones: 397 g e individual) Línea Mostaza (Presentación: 1 Kg) Planta de Vinagre
02/02/12 (Ju)	Líneas 1 y 2 de Colados (Presentación: 113 g) Línea Ketchup (Presentaciones: 397 g e individual) Línea Mostaza (Presentación: galón) Línea Merge (Salsa inglesa Tiquire flores, 150 cc) Planta de Vinagre
03/02/12 (Vi)	Líneas 1 de Colados (Presentación: 113 g) Línea vidrio bocones (Pasta de tomate doble concentrada, 505 g) Línea Ketchup (Presentaciones: galón e individual) Línea Mostaza (Presentación: galón) Línea Merge (Salsa de soya, Pres.: 150 cc) Planta de Vinagre

Ahora bien, para establecer un estudio del caudal diario, es de gran ayuda sustentarlo desde el punto de vista gráfico, ya que en este tipo de análisis, la variabilidad de los datos no permite establecer una tendencia fácilmente, por lo tanto se hizo uso de la herramienta estadística de series de tiempo conocida como promedio móvil, el cual suaviza los datos al promediar las observaciones consecutivas en una serie y puede ofrecer pronósticos a corto plazo. Este procedimiento es una opción probable cuando los datos no tienen un componente de tendencia o estacional. Minitab 16 utiliza el promedio móvil para suavizar datos y reducir las fluctuaciones aleatorias en una serie de tiempo. En este caso se utilizó



una longitud de 6 para asociarlo a las 6 mediciones que se realizaron por día.No existe una regla específica que nos indique cómo seleccionar la longitud del promedio móvil. Si la variable que se va a pronosticar no presenta variaciones considerables, esto es, si su comportamiento es relativamente estable en el tiempo, se recomienda que el valor de la longitud sea grande. Por el contrario, es aconsejable un valor pequeño si la variable muestra patrones cambiantes. En la práctica, estos valores oscilan entre 2 y 10 (Montgomery, 2003).

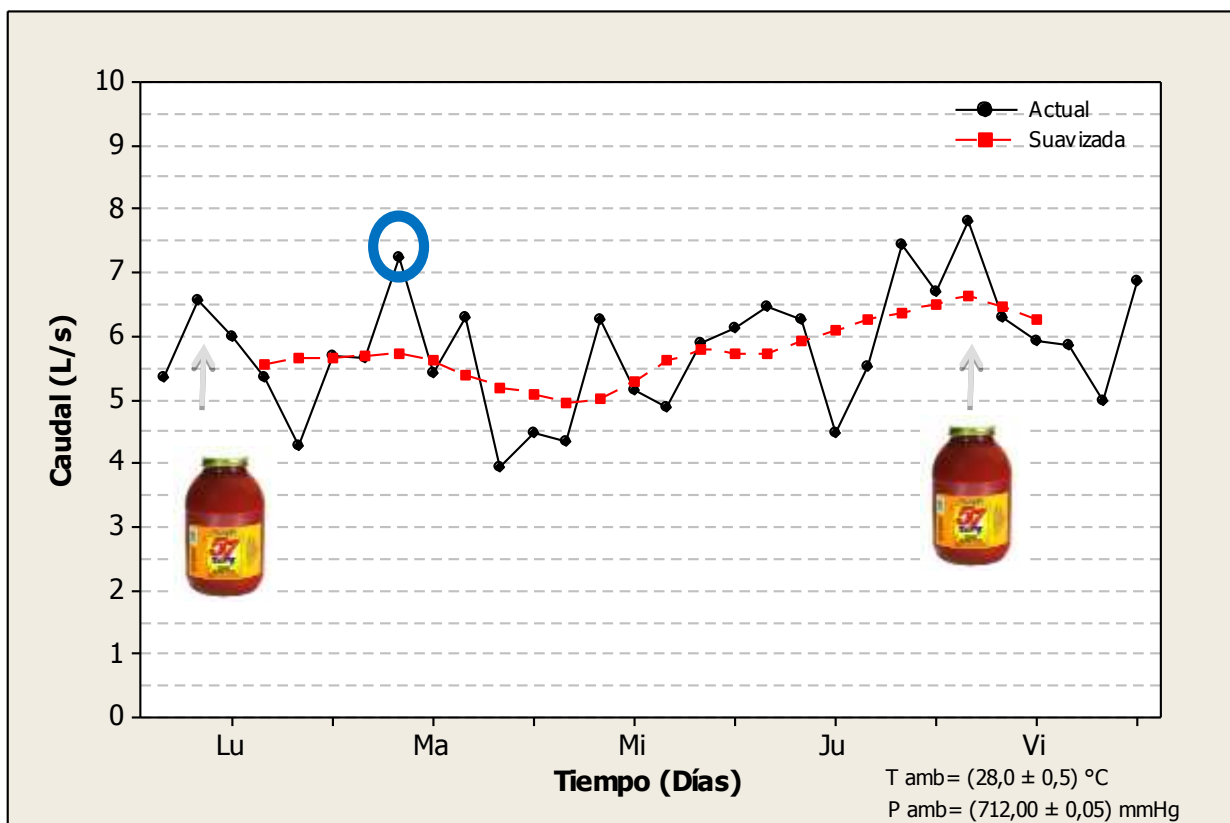


Figura 4.12. Gráfica del comportamiento de caudales Q-2 con el ritmo de producción.

En la figura 4.11 para el caudal Q-2, se puede observar que durante la semana de estudio los días lunes, jueves y viernes fueron los de mayor generación de efluente industrial, teniendo en cuenta que de acuerdo a la tabla 4.2 los días lunes y viernes se encontraba operando la línea de ketchup galón, esto indica que a pesar de las mejoras realizadas, aún este proceso genera un leve aumento de caudal, sin embargo no afecta las condiciones de la planta. Es importante que a la unidad de



pasteurización de esta línea de producción se le planifique un mantenimiento correctivo general. Entre otras cosas, el día martes se observa un pico de caudal (Punto rodeado por una marca circular azul) que se corresponde a una fuga de agua que tuvo la torre de enfriamiento (Torre Marley) por una falla operativa; esto fue registrado en observaciones en el formato dispuesto para la recolección de datos.

4.2.2 Evaluación y determinación de las cargas contaminantes

En este objetivo la evaluación y determinación de las cargas contaminantes comporta la determinación de: variaciones en las concentraciones de los constituyentes del efluente industrial sus cargas másicas.

4.2.2.1 Variaciones en las concentraciones de los constituyentes del agua

En esta fase se evalúan dos aspectos, el primero relacionado con los parámetros que se miden para cada sub-muestra, los conocidos parámetros de campo, y el otro sobre aquellos que fueron medidos a través de muestras compuestas como DQO, DBO y SST, y los casos excepcionales de nitrógeno y fósforo total.

Nuevamente el ritmo de producción fue necesario determinarlo para establecer relaciones con el grado contaminante del efluente industrial.

TABLA 4.3.
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN OPERATIVAS DURANTE LA SEMANA DE MUESTREO

Fecha	Líneas de producción operativas
06/02/12 (Lu)	Líneas 1 de Colados (Presentación: 186 g, kidz) Línea vidrio bocones (Tiquire Flores doble concentrada, 505g) Línea Ketchup (Presentaciones: 1kge individual) Línea Merge(Salsa de soya, Presentación: 150cc y galón) Planta de Vinagre
07/02/12 (Ma)	Líneas 1 de Colados (Presentación: 186 g kidz) Línea vidrio bocones (Pasta de tomate doble concentrada, 505g) Línea Ketchup (Presentaciones: 597 g y <i>volpack</i>) Línea Merge(Salsa de soya, Presentación: 150cc y galón) Línea Mostaza (barbicue) Planta de Vinagre



TABLA 4.3. (CONTINUACIÓN)
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN OPERATIVAS DURANTE LA SEMANA DE MUESTREO

Fecha	Líneas de producción operativas
08/02/12 (Mi)	Líneas 1 y 2 de Colados (Presentación de 113 g) Línea Kétchup (Presentaciones: 397 g, galón e individual) Línea Merge (Salsa de ajo, Presentación: 150 cc) Línea Mostaza (barbicue) Planta de Vinagre
09/02/12 (Ju)	Líneas 1 de Colados (Presentación: 113 g) Línea Kétchup (Presentaciones: 397 g, galón y <i>volpack</i>) Línea vidrio bocones (Salsa para pasta napolitana, 505g) Línea Mostaza (Presentación: galón) Línea Merge (Salsa de ajo, Presentación: 150 cc) Planta de Vinagre
10/02/12 (Vi)	Líneas 1 de Colados (Presentación: 113 g) Línea vidrio bocones (Pasta de tomate doble concentrada, 505 g) Línea Kétchup (salsa 57, <i>volpack</i>) Línea Mostaza (Presentación: galón) Línea Merge (Salsa de ajo, Pres.: 150 cc) Planta de Vinagre

✓ **Durante el lapso de medición y captación de muestras:**

Los parámetros de campo son fundamentales para evaluar las condiciones de un agua residual de origen industrial. Las necesidades medioambientales de pH y temperatura, tienen un papel importante en el crecimiento bacteriano. A pesar de que las bacterias pueden sobrevivir en un intervalo bastante amplio de valores de la temperatura y el pH, el crecimiento óptimo se suele producir en un intervalo muy restringido.

Los valores pueden variar a lo largo del día, y es una de las razones por las que se realizaron mediciones por cada captación de sub-muestras, luego se evalúan de acuerdo al ritmo de producción. Esto puede ser estudiado gráficamente a través de los parámetros de campo, los cuales se analizaron para cada sub-muestra y se puede obtener un perfil de concentración durante el día y la semana de muestreo, esto es lo que se conoce como estudio de variaciones a corto plazo (Metcalf, 1996).



A continuación se muestran las gráficas de los parámetros de campo (pH, Temperatura y OD) durante toda la jornada del muestreo a través de una gráfica de serie de tiempo generada por el software Minitab 16.

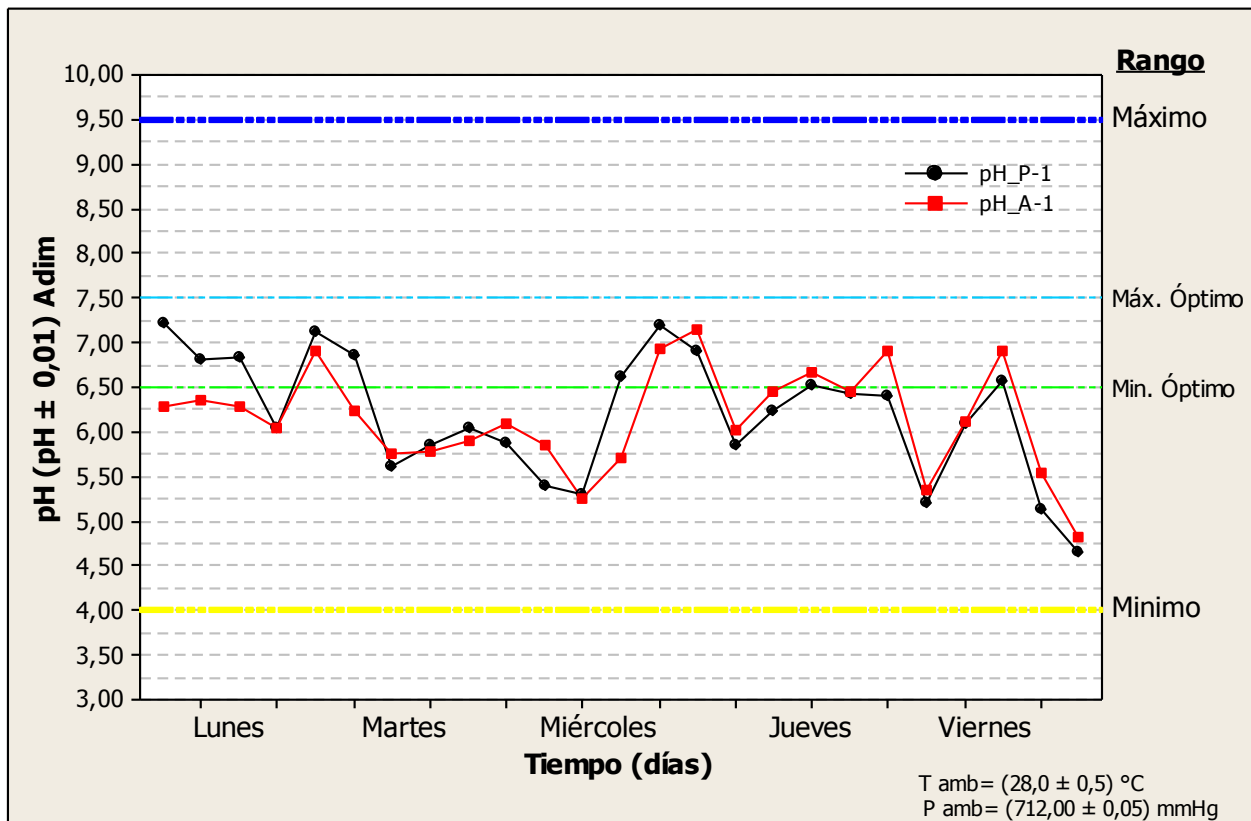


Figura 4.13 Gráfica de la variación de pH durante la semana de muestreo.

El pH A-1 asumido como el pH en el afluente de PTEI, obtuvo la tendencia ácida esperada, para un efluente que proviene de una planta que manufactura productos alimenticios con procesamiento de tomates, pasta de tomate, vinagre, soya, ajo, mostaza, pulpa de fruta, entre otros. Los valores oscilaron entre 4,82 y 7,15 Adim. La tendencia del pH P-1 es, muy similar a A-1, lo que indica que el máximo aporte de potencial hidrógeno ácido al efluente industrial lo realiza la planta de producción.

Se observa que para muchos casos este se encuentra por debajo del límite mínimo operativo necesario para un tratamiento biológico de lodos activados, y el pH del medio constituye un factor clave en el crecimiento bacteriano. Según Metcalf 1996, La mayoría de los microorganismos no toleran niveles de pH por debajo de 4,00



Adim. ni superiores a 9,50 Adim (Bacterias aclimatadas). En general el pH óptimo se sitúa entre 6,50 y 7,50Adim (Metcalf, 1996), las complicaciones de tolerar pH ácidos es el crecimiento de hongos en el sistema, ya que el pH óptimo de estos microorganismos es de 5,60 Adim. Aunque este pH ácido estimula la formación de las bacterias filamentosas, no afecta completamente las condiciones actuales del pH en el reactor biológico ni en el agua clarificada, en los cuales el pH oscila entre 7,00 y 8,00 Adim (Datos observados en los reportes de laboratorio de PTED). Esto se explica, debido a que dentro del reactor ocurre un aumento de la alcalinidad, producido por el proceso de desnitrificación, el cual abarca la reducción de los compuestos nitrificados a nitrógeno gaseoso. Para verificar este comportamiento característico se realizó un ensayo en el cual se midió conjuntamente oxígeno disuelto, pH y temperatura en el lodo activado. En la tabla B.6 se muestran los datos obtenidos. La gráfica correspondiente se muestra a continuación:

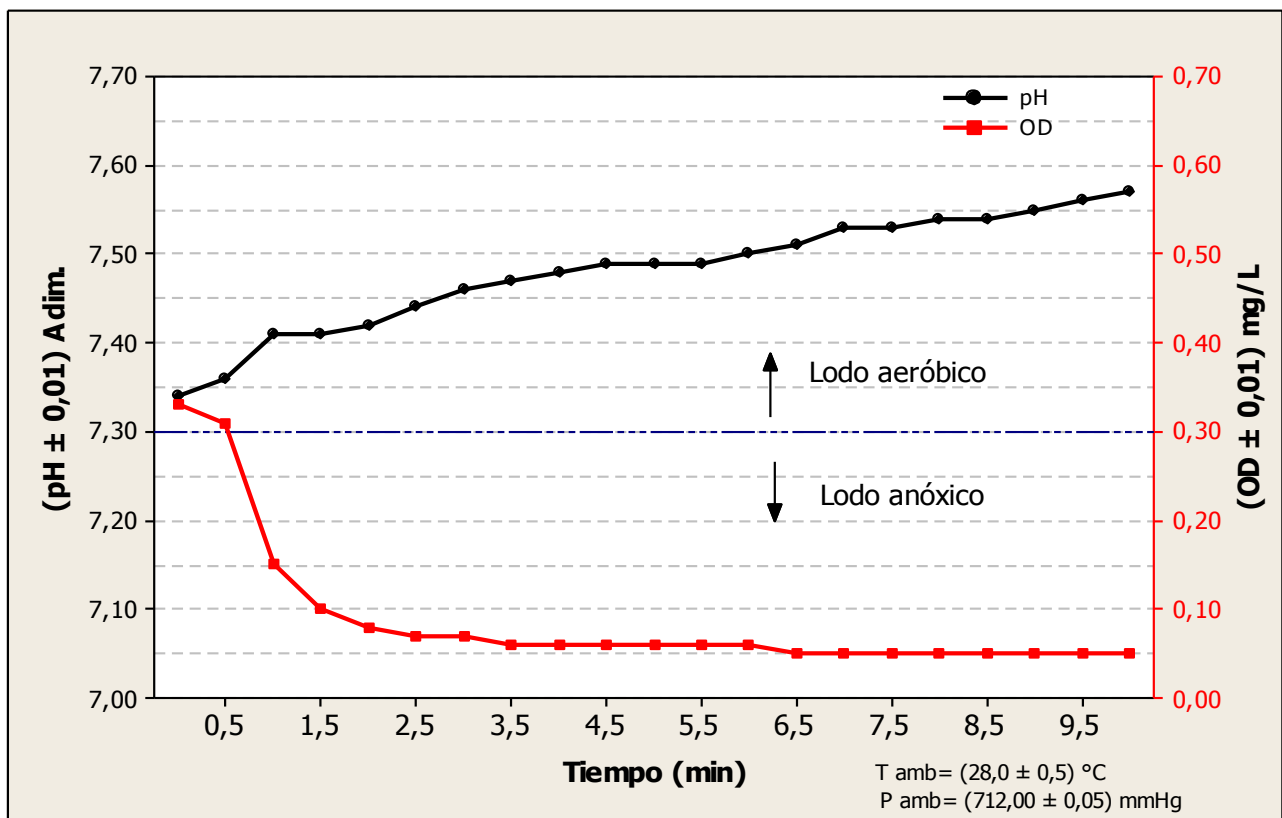


Figura 4.14 Gráfica de la variación de pH y ODsin aireación en función del tiempo



En la gráfica anterior se observa como a medida que disminuye el oxígeno disuelto hay un aumento de pH, siendo particular el punto de corte con la línea de referencia en 0,30 mg/L, en el cual se observa un declive de las curvas, característico de la etapa en la que el lodo comienza la etapa de anoxia (Rodríguez Urioz, R., 2011)), con la mayor pendiente de pH, representado por la mayor producción de alcalinidad en este punto. Se puede deducir además, que la microbiota del lodo activado se encuentra adaptada bajo estas condiciones de oxígeno disuelto. En la figura C.4. se muestran resultados de las mediciones de oxígeno disuelto, donde se observa un perfil de concentraciones entre 0 y 1 mg/L de OD, con un promedio de 0,44 mg/L.

De acuerdo al pH en que se desarrollan las bacterias, se puede clasificar como neutrófilas (pH entre 5,50 y 8,50 Adim). A continuación se muestra la gráfica de temperatura en función del tiempo:

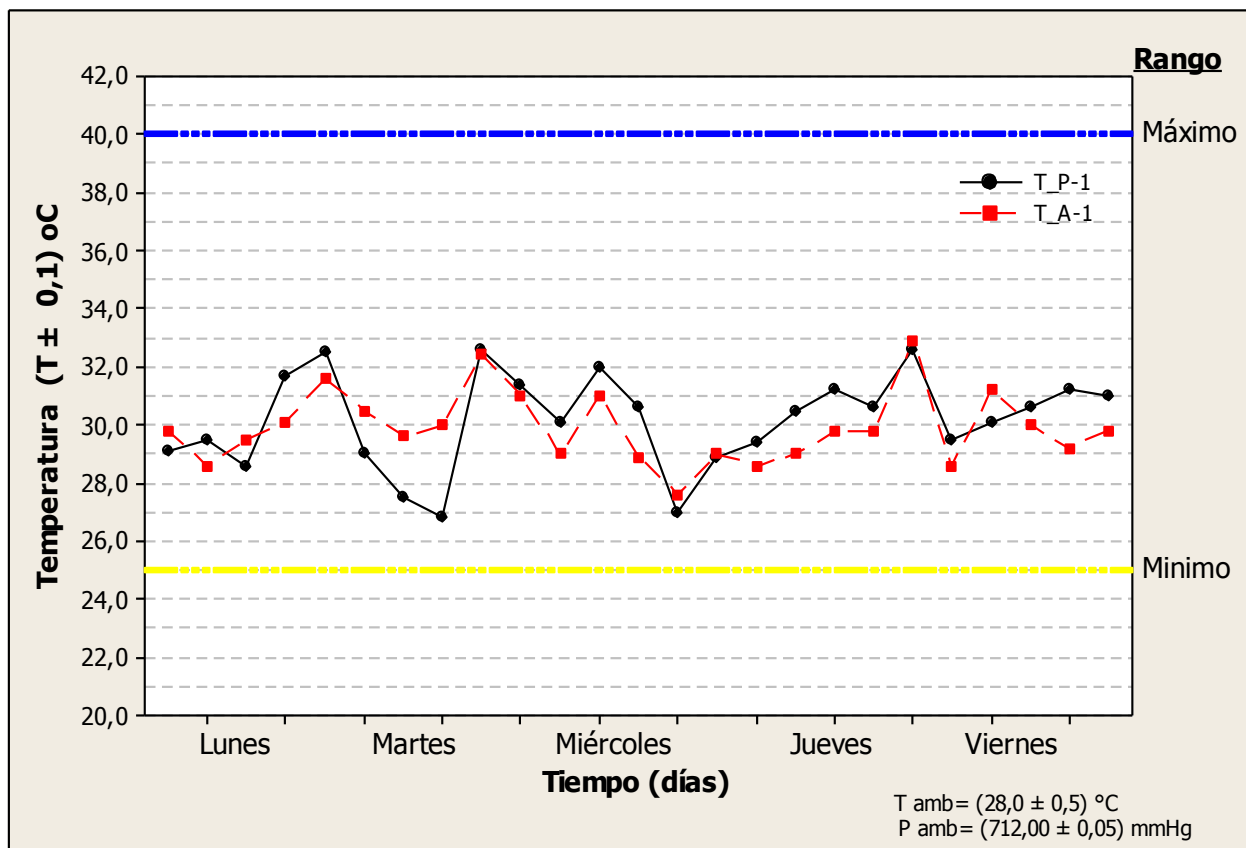


Figura 4.15 Gráfica de la variación de temperatura durante la semana de muestreo.



La temperatura es un parámetro de gran importancia, dada su influencia tanto en el desarrollo microbiológico como en las velocidades de reacción y reacciones químicas. En general, la temperatura en el afluente A-1 de PTEI osciló entre 27,6 y 32,9 °C, y a su vez los valores en la línea principal de producción P-1 oscilaron entre 26,8 y 32,6 °C, rangos muy semejantes y acorde con los límites de operación para ingresar a un sistema biológico por lodos activados. El rango es entre 25 y 40°C. Las temperaturas inferiores a la óptima, tienen efectos en el crecimiento bacteriano más importantes que las superiores a aquellas. Se ha podido comprobar que la tasa de crecimiento dobla por cada aumento de 10 °C, hasta alcanzar el valor óptimo. Según el intervalo de temperatura en el que el desarrollo bacteriano es óptimo, las bacterias en reactor biológico se clasifican como mesófilas.

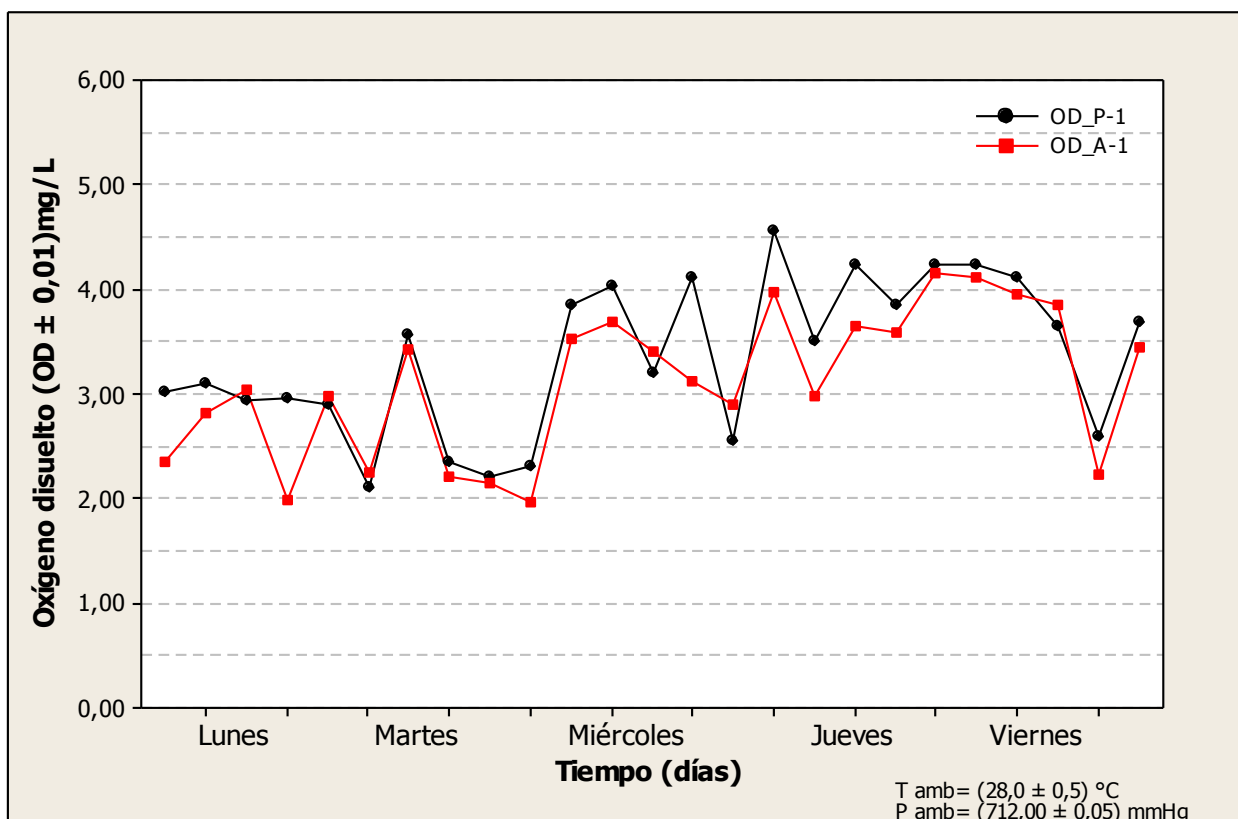


Figura 4.16 Gráfica de la variación de oxígeno disuelto durante la semana de muestreo.



Las concentraciones de oxígeno disuelto en el afluente de la planta de tratamiento oscilaron entre 1,96 y 4,15 mg/L, y para P-1 entre 2,10 y 4,56 mg/L. Esto se debe a que la temperatura promedio en el afluente es relativamente estable entre 26,8-32,6°C, ya que por otro lado el oxígeno disuelto es menos soluble en agua caliente que en agua fría. Sin embargo, por el método utilizado existen interferencias en el medio como por ejemplo el H₂S, por lo que la medida no es totalmente confiable. Finalmente se muestra la siguiente tabla como resumen de los rangos obtenidos en la evaluación de datos.

TABLA 4.4.
ANÁLISIS DURANTE LA CAPTACIÓN DE LAS MUESTRAS

Parámetros	Unidad	P-1	A-1
pH	Adim	4,66-7,23	4,82-7,15
Temperatura	°C	26,8-32,6	27,6-32,9
Oxígeno disuelto	mg/L	2,10-4,56	1,96-4,15

✓ Análisis de los constituyentes del agua

El análisis de los constituyentes residuales de un agua industrial está basado en el estudio de parámetros que indican el nivel contaminante que pueda tener el mismo. Estos parámetros son la demanda química de oxígeno, en el cual se cuantifica tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable. El nitrógeno total, el cual representa la suma del nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos y su forma amoniacal; y el fósforo total, el cual incluye diversas formas de ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. Además, un análisis importante es el de sólidos suspendidos totales (SST), ya que muchas veces los aumentos de sólidos en un reactor biológico de aireación extendida son causados porque no se analiza lo que ocurre aguas arriba, sino aguas abajo.

A partir de los datos de la tabla 4.3 y la caracterización se inicia una evaluación para comparar el ritmo de producción con la concentración de contaminantes generada en el efluente industrial. En la siguiente gráfica se muestra la



concentración de la demanda química de oxígeno en efluente industrial procedente de la planta de producción y la correspondiente al afluente de PTEI.

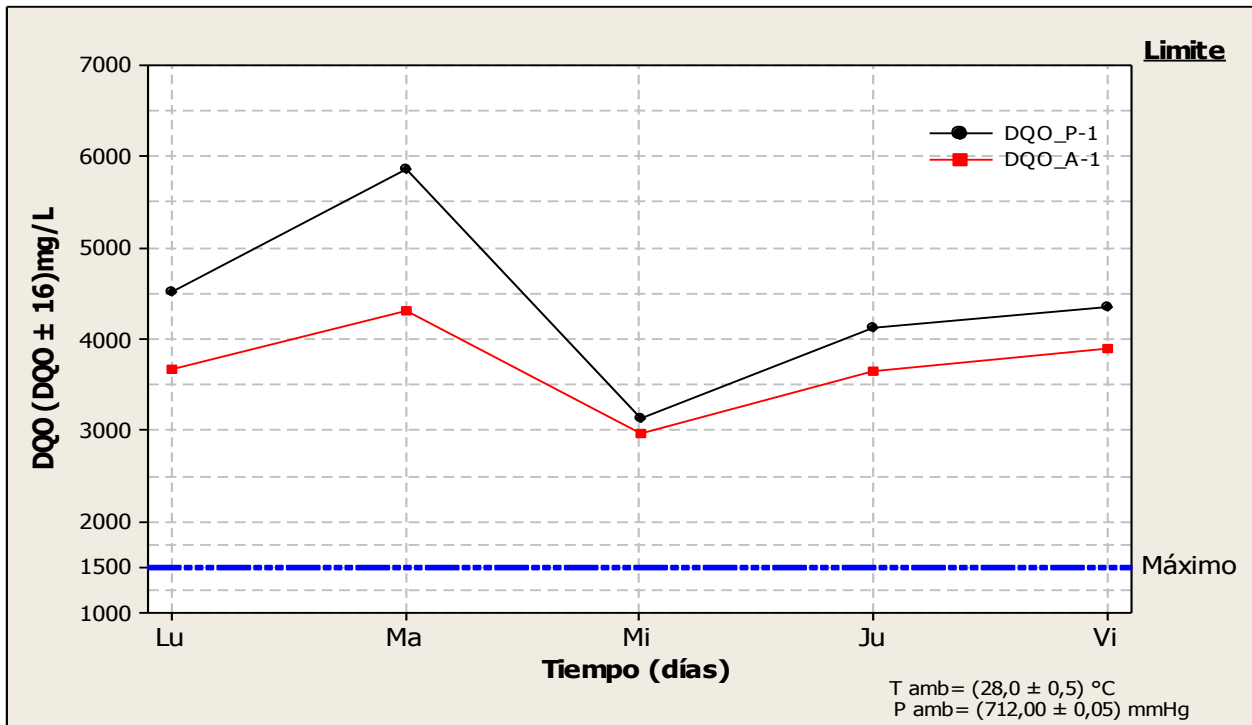


Figura 4.17 Variaciones en la concentración de DQO en el efluente industrial (P-1) y el afluente (A-1) de PTEI Heinz.

Es evidente notar como para todo momento las concentraciones de DQO son mucho mayor que las de diseño, esto era de esperarse por las observaciones realizadas a las características físico-químicas en la fase de diagnóstico, ahora bien, por razones diversas como el aumento en la producción, disposición final de materias orgánicas sólidas, entre otros, ocurre este aumento de la concentración hace varios años ya. Actualmente las concentraciones oscilan entre 2500 y 5000 mg/L, acorde con lo que muestran la caracterización realizada. Por lo tanto desde el punto de vista de ingeniería, las propuestas deben estar basadas para estas características. En relación al ritmo de producción, la gráfica indica que la máxima concentración de DQO se obtuvo durante la manufactura de pasta de tomate doble concentrada.



El efluente industrial P-1 tiene una concentración de DQO más alta que en el afluente, esto se debe a que el aporte que realizan las otras plantas no es significativa. Se puede deducir por el conocimiento en los procesos de estas otras plantas, que los factores más destacados son: fugas y/o derrames de agua de enfriamiento (Torre Marley, torre de enfriamiento de planta vinagre y torre de enfriamiento de servicios básicos), fugas y/o derrames de agua de pozo, entre otras. Las fugas más evidentes son las que se observan en las bombas centrifugas de sello mecánico.

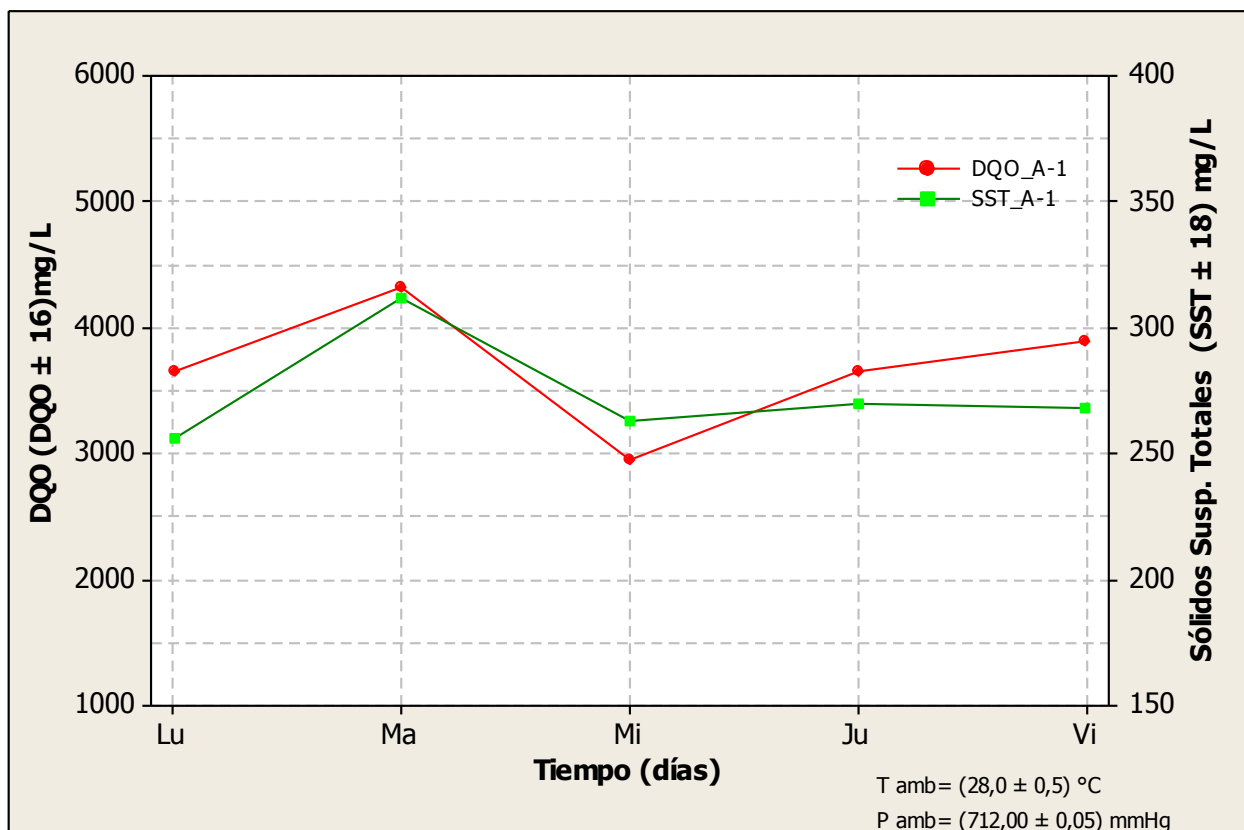


Figura 4.18 Variaciones en la concentración de SST y DQO en el afluente de PTEI Heinz

En la gráfica anterior, se observa como la curva de SST sigue la misma tendencia que la de DQO, esto quiere decir que estos parámetros están íntimamente relacionados, ya que cerca del 75% de los sólidos en suspensión de un agua residual media son de naturaleza orgánica (Metcalf, 1996), estos son sólidos proveniente en



su gran mayoría de desechos vegetales. Recordando además que una de las formas de medir el contenido orgánico de un agua residual es a través de la demanda química de oxígeno. He aquí la razón de este comportamiento de los datos. Es importante que la entrada del reactor biológico se maneje concentraciones por debajo de 250 mg/L.

El nitrógeno y fósforo son macronutrientes esenciales para el desarrollo bacteriano en un sistema de tratamiento biológico, por lo tanto, es fundamental determinar sus concentraciones. Durante el muestreo semanal se obtuvieron distintas mediciones en conjunto con la DQO y los otros parámetros. A continuación se presenta la gráfica:

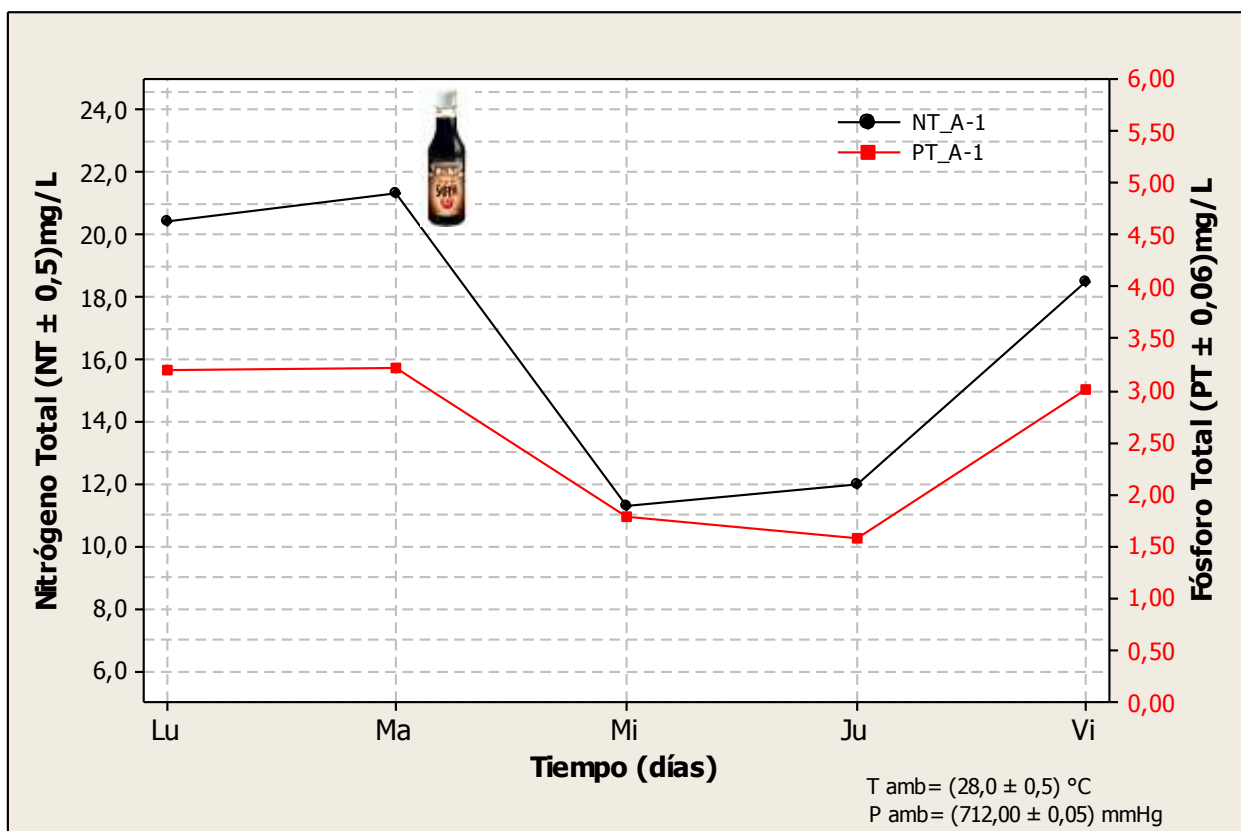


Figura 4.19 Variaciones en la concentración de macronutrientes en el afluente de PTEI Heinz.

Es evidente como las concentraciones de nitrógeno y fósforo son bajas en relación a la alta concentración de DQO, desde el punto de vista químico se puede explicar esto



a través del contenido proteico del agua residual, ya que las proteínas están mucho más limitada en los alimentos vegetales que en los animales.

Todas las proteínas contienen carbono, común a todas las sustancias orgánicas, oxígeno e hidrógeno. Además, como característica distintiva, contiene una gran cantidad de nitrógeno y en muchos casos hierro y fósforo (Metcalf, 1996). Por lo tanto, la poca existencia de proteína en el efluente industrial de Heinz influye aguas abajo en las bajas concentraciones presentes. Sin embargo, analizando en detalle el comportamiento de los datos, los picos de concentración del día martes de ambos nutrientes se deben a la manufactura de salsa de soya en la planta de producción. Resaltando las características químicas de la soya, es una leguminosa con un alto contenido en proteínas, lo cual en cantidades industrial explica este aumento de macronutrientes en el agua.

4.2.2.2 Determinación de las cargas másicas en el afluente de PTEI.

El análisis de las cargas contaminantes en el agua residual afluente de una planta de tratamiento implica la determinación de caudales y concentraciones de los contaminantes como: DQO, N_T y P_T . El punto de partida para este cálculo se basó en el caudal medio del afluente, de los cuales son datos validados estadísticamente.

Las cargas másicas medias en DQO, nitrógeno y fósforo obtenidas en el afluente de PTEI, son presentadas en forma resumida en la tabla 4.5.

TABLA 4.5
CARGAS MÁSICAS MEDIAS DEL AFLUENTE DE PTEI HEINZ

PARÁMETROS	VALOR OBTENIDO
Carga másica media de DQO	(2205 ± 200) kg/d
Carga másica media de Nitrógeno	(9 ± 1) kg/d
Carga másica media de Fósforo	$(1,3 \pm 0,2)$ kg/d



4.3 Plantear alternativas que permitan implementar un sistema de medición de caudal de entrada de la planta de tratamiento.

Mediante el diagnóstico realizado en la primera fase del proyecto se observó que uno de los problemas que presentaba la planta de tratamiento era en la primera etapa, como por ejemplo, el descontrol en la dosificación de macronutrientes, principalmente porque no se conoce el caudal afluente a esta planta, dato fundamental para estimar la dosis óptima de los mismos. Además, es importante conocer este parámetro constantemente para mantener el balance hidráulico del proceso de tratamiento, ya que las variaciones en la producción influyen directamente, tal y como se demostró en los análisis estadísticos de los caudales determinados.

Ahora bien, los estudios de probabilidad con un 95% del nivel de confianza se evaluaron en el objetivo 2, corroborando la distribución normal de los datos a través de estadístico de Anderson-Darling y el respectivo valor p. Todo esto es necesario determinarlo previamente para la aplicación de una prueba de hipótesis, comparando dos muestras entre sí mediante una t de dos muestras.

La hipótesis realizada fue: Es la media de Q-1 diferente de la media de Q-2? (Hipótesis nula: H_0), y el intervalo de confianza de 95% (nivel de significancia 0,05). En la siguiente figura se muestra el resumen de los resultados de la prueba t de 2 muestras.

Según Montgomery (2003), el valor p es usado para tomar decisiones en este tipo de pruebas, en donde si el valor p es mayor que el nivel de significancia, la hipótesis nula no puede ser rechazada.

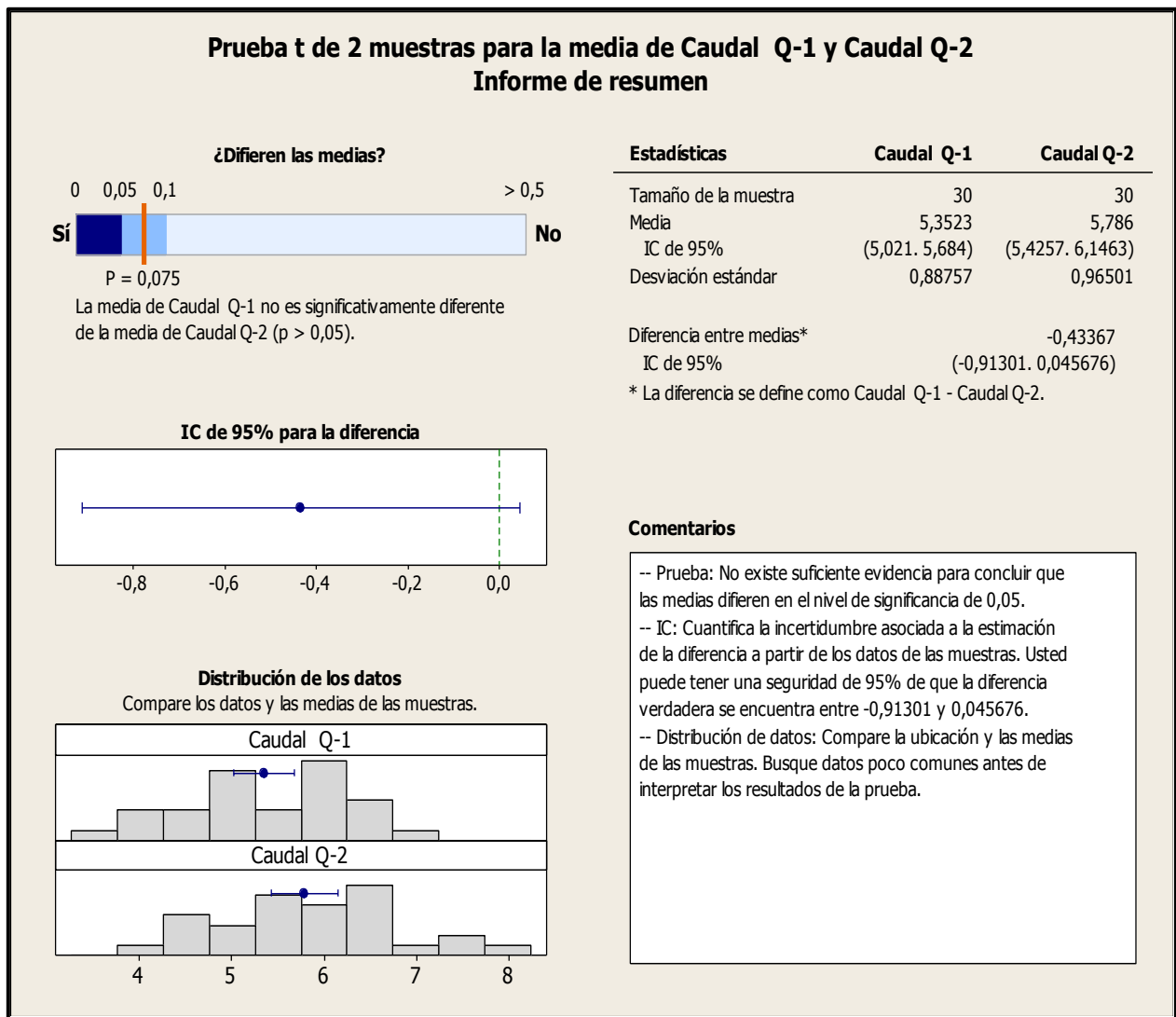


Figura 4.20 Análisis estadístico para una prueba t de 2 muestras.

En base a los resultados presentados por el software se concluye que la media del caudal Q-1 no es significativamente diferente la media del caudal Q-2, ya que el valor p es mayor que el nivel de significancia 0,05.

Además para asegurar que la medición en el canal Parshall es representativa en carga contaminante, se compara la carga másica de DQO media entre los puntos Q-1 y Q-2. Los resultados son:

Carga másica media de DQO-(P-1): 2518 kg/d

Carga másica media de DQO-(A-1): 2205 kg/d



La comparación hace evidente que la mayor parte de la carga contaminante fluye a través del canal Parshall y proviene de los procesos en la planta de producción. Esto es un factor importante ya que la representatividad de las mediciones es buena tanto en flujo volumétrico como en carga contaminante.

El aforador Parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales: transición de entrada, sección convergente, garganta y sección divergente. En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el pico vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente.

Se utiliza normalmente con la doble finalidad de medir el caudal afluente y realizar la mezcla rápida. Generalmente trabaja con descarga libre. La corriente líquida pasa a través de una condición supercrítica a una sub-crítica, originando el resalto.

Las mediciones de caudal en canales abiertos son ampliamente usadas en muchas industrias, especialmente en efluentes industriales. El sistema de medición implica un elemento primario, que para esta alternativa es la canaleta Parshall, el cual está constituido por una lámina de hierro galvanizado que por medio de un estrechamiento acelera el flujo.

Las principales ventajas de este tipo de elementos primarios es que solo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos o desechos, que no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortización, y que tampoco necesita correcciones para una sumersión de hasta el 70%.



4.3.1 Alternativa I: Adquisición de un sistema ultrasónico para medición del nivel del flujo en el Parshall-Flume dispuesto en la línea principal de efluentes industriales.

Esta alternativa se basa en la medición de caudal a través de un sistema ultrasonido proyectado a instalarse en el canal Parshall ubicado en la línea principal de efluentes industriales, la cual incorpora a la planta de producción.

Este medidor de flujo involucra dos elementos, el conocido como elemento secundario, el cual es un transductor ultrasónico que consta de un sensor colocado encima o dentro del canal abierto donde fluye el líquido. El nivel de líquido es medido determinando el tiempo requerido para que el pulso de onda ultrasónica viajando desde el transmisor a la superficie del líquido, regrese a un receptor. El tiempo de viaje de cada pulso es directamente proporcional a la distancia desde la cual, el nivel del líquido es calculado. Cuando la señal es recibida por el elemento terciario (sistema computarizado), este convierte la lectura de nivel a caudal en base a la relación nivel-flujo del dispositivo primario, mostrando los valores en un panel view.

En condiciones de no-flujo, ambos receptores reciben igual cantidad de energía ultrasónica y generan tensiones iguales. En condiciones de flujo (en cualquier sentido) las ondas ultrasónicas se deflecan y como resultado los receptores generan voltajes distintos. Comparando ambos voltajes, se tiene indicación del sentido y la magnitud del flujo. En la actualidad este tipo de medidor tiene una gran aplicación industrial, es por ello que cada día la demanda es mayor

La programación del dispositivo es adaptada a una amplia variedad de elementos primarios, como canal Parshall, Venturi, Palmer & Bowls, vertederos, entre otros. Sin embargo, el procesador del equipo permite insertar nuevos elementos primarios mediante series de datos obtenidos.

Este dispositivo ya es usado en alimentos Heinz, el cual obtuvo los resultados esperados en su aplicación. Este permite obtener valores de caudal instantáneo, promedios de caudal y volúmenes en tiempos determinados, entre otros. Además, está integrado por los diferentes sistemas de unidades de volumen y tiempo.

La infraestructura necesaria para implantar este sistema implica canalización de una tubería para la conexión alámbrica entre los elementos secundario y terciario. Además, del montaje de la estructura para graduar el nivel del sensor y el tablero de colocación del sistema computarizado o controlador. En la siguiente figura se muestra una representación proyectista del medidor instalado en la canaleta Parshall.

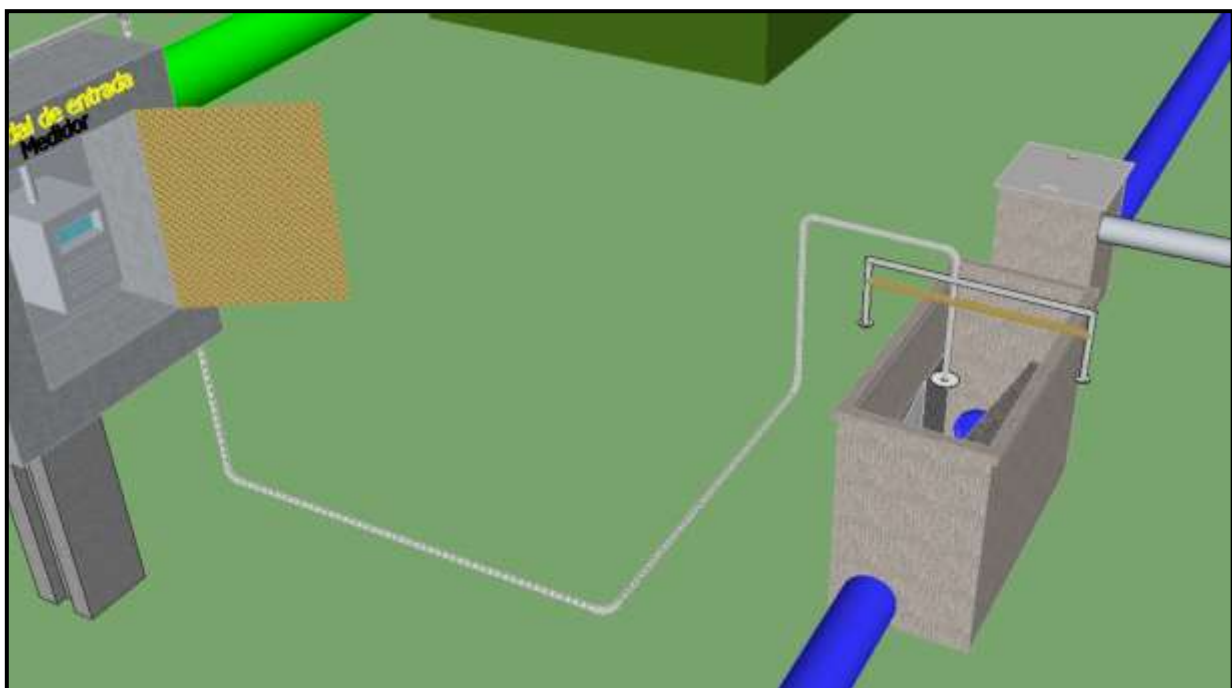


Figura 4.21. Representación gráfica del planteamiento de la alternativa I.



4.3.2 Alternativa II: Adquisición de un medidor de desplazamiento a barra de torsión en el Parshall-Flume dispuesto en la línea principal de efluentes industriales.

Esta alternativa comprende la implementación de un sistema mecánico para la medición de caudal de entrada a la planta de tratamiento de efluentes industriales. Este tipo de medidores transmiten el desplazamiento del flotador por medio de una barra de torsión a un eje, que por diferencia de nivel es registrado por el elemento terciario como un valor de flujo condicionado por las dimensiones del canal Parshall.

Este sistema mecánico entra en contacto con el fluido mediante el flotador (elemento secundario), colocado en una zona específica de la canaleta. Este elemento va acoplado a una distancia acorde con a la barra de torsión y ajustado de acuerdo con los niveles mínimo y máximo del flujo en el canal Parshall.

El dispositivo controlador provee información visual del estado de flujo en diferentes estilos y tamaños. Sus sólidas partes son compatibles con muchos procesos de líquidos.

La infraestructura requerida para este tipo de caudalímetros mecánicos incluye, sistema de acople fijo para el controlador e instalación empotrada de conexión eléctrica.

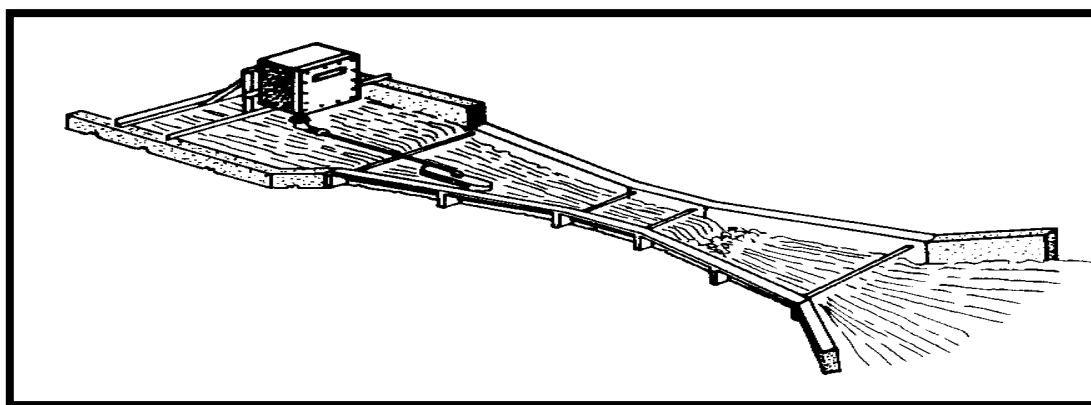


Figura 4.22. Medidor de desplazamiento a barra de torsión instalado en canaleta parshall-flume



4.4 Selección de la alternativa que más se ajuste a los requerimientos apoyados en criterios de comparación técnicos y económicos.

Inicialmente se evaluó cualitativamente cada una de las alternativas para describir beneficios o ventajas que conlleva la aplicación de cada opción planteada, así como las desventajas que reflejan convirtiéndolas en alternativas poco viables.

Para la escogencia de la(s) alternativa(s) más adecuada, se elaboró una matriz de selección, estableciendo como criterios las limitaciones de la empresa para llevar a cabo dichas propuestas, así como la puntuación otorgada a cada alternativa. De esta manera se considera: inversión inicial, operatividad, eficiencia, costos operativos y mantenimiento, y seguridad y medio ambiente. En la tabla 4.6, se presenta detalladamente las ventajas y desventajas más importantes de cada una de las propuestas planteadas en la fase anterior.

TABLA 4.6
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNA LAS PROPUESTAS

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
I	<ul style="list-style-type: none"> • El sensor no entra en contacto con el agua residual. • Sirve para fluidos limpios y sucios. • Sirve para todo tipo de elemento primario. • Mantiene el registro de la información almacenada en caso de fallas de energía eléctrica temporal. • Precisión de $\pm 1\%$ de la escala. • No posee partes móviles, menor mantenimiento. • La medición es precisa a altas temperaturas (máximo 200 °C). • Es de fácil instalación. • Medición continua y puntual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de adquisición medianamente alto. • Sensible a la densidad del fluido. • La presencia de espuma en el fluido puede absorber la señal transmitida.



TABLA 4.6 (CONTINUACIÓN)

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNA LAS PROPUESTAS

<p style="text-align: center;">II</p>	<ul style="list-style-type: none">• El elemento secundario es de bajo costo.• La medición es continua y puntual.• Es de fácil limpieza.• Precisión de $\pm 2\%$ de la escala.• Soporta altas temperaturas (máximo 170 °C).• Es un equipo robusto.	<ul style="list-style-type: none">• El elemento primario permanece en contacto con el fluido.• Los sólidos de gran tamaño pueden interferir en la medición.• Con fluidos de tendencia ácida pueden presentarse problemas de corrosión y desgaste en corto tiempo.• Se debe disponer de un sistema de retención de sólidos grandes antes del canal Parshall.• La instalación es rigurosa.
--	---	--

A continuación se muestra el puntaje de cada alternativa propuesta, para la elaboración de la matriz de selección, donde la puntuación se evaluó en una escala del 1 al 5, siendo este último valor la puntuación máxima que puede obtener cada alternativa según su criterio de evaluación. La escala fue definida en el marco metodológico.

- **Criterio 1: Inversión inicial**

Luego de consultas y reuniones con expertos en el área, se tiene que la alternativa más costosa es la adquisición del caudalímetro ultrasónico, debido a su alta tecnología, por lo que se le asigna una ponderación igual a 3; seguidamente el sistema mecánico requiere de un porcentaje más bajo de inversión inicial, sin



embargo, el elemento terciario de este sistema es medianamente costoso, por lo que se le asigna 4 puntos.

- **Criterio 2: Operatividad**

Para el sistema ultrasonido se le asigna una ponderación de 5, debido a la facilidad tanto en la instalación como en la funcionalidad del equipo, siendo esto descrito por los operadores que han manipulado este sistema en Heinz. Respecto a la segunda alternativa, los requerimientos operativos de este caudalímetro involucran mas rigurosidad, debido a que el flotante (elemento secundario) al estar en contacto con el efluente industrial es propenso a retener sólidos, por lo que se le otorga un valor de 3 puntos. Ambos equipo no requieren de entrenamiento al personal para su operación.

- **Criterio 3: Eficiencia**

El sistema de desplazamiento a barra de torsión es eficiente en fluidos con bajo contenido de sólidos grande, esto no lo garantiza las aguas industriales de Heinz, ya que muchas veces presentan tapas, botellas, tapones, entre otros que pueden afectar su funcionamiento perjudicando su eficiencia, por lo que se le asignó una ponderación de 2 puntos. Por otra parte, la alternativa involucra un nivel de eficiencia superior, ya que las mediciones no requieren de contacto físico teniendo un espacio de seguridad en caso del alto nivel, en vista de esto se le otorga una ponderación de 5.

- **Criterio 4: Costos operativos y mantenimiento**

Los costos operativos del sistema ultrasonido solo se pueden presentar en caso de fallas del equipo, pero históricamente estos dispositivos poseen una mínima tendencia de que esto ocurra. El mantenimiento solo debe hacerse superficialmente al recubrimiento del transductor en caso de ser necesario, conjuntamente se le asigna 4 puntos. Los costos operativos del sistema mecánico son eventuales al igual que la alternativa I, sin embargo, los costos de mantenimiento si son mayores, ya



que involucran barras de torsión que requieren de lubricación periódica, lo que a su vez requiere del desmontaje de ciertas piezas, a esta alternativa se le asigna 2 puntos.

- **Criterio 5: Seguridad y medio ambiente**

Se le asigna 5 puntos a la alternativa I, debido a que ofrece mayor seguridad al personal y sin exposición contaminante al medio ambiente ya que no hay contacto físico alguno entre los elementos. En cambio, por la disposición de espacio limitada por la alternativa II, torna insegura la toma de una lectura o mantenimiento al sistema, a su vez las piezas mecánicas lubricadas y polímeros en contacto con el efluente a tratar por medios biológicos, están más expuestos a contaminarse, lo cual ambientalmente no es favorable, por lo que se les asignó 3 puntos.

TABLA 4.7.
MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LA ESCOGENCIA DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE PARA EL MEJORAMIENTO DEL TRATAMIENTO DE AGUA.

Criterio de selección	Porcentaje	Alternativas			
		I		II	
		Apc	A	Apc	A
Inversión inicial	30	3	0,90	4	1,20
Operatividad	15	5	0,75	3	0,45
Eficiencia	30	5	1,50	2	0,60
Costos operativos y mantenimiento	15	4	0,60	2	0,30
Seguridad y medio ambiente	10	5	0,50	3	0,30
Sumatoria		4,25		2,85	



Finalmente, a través de los criterios ponderados en una matriz de selección del estudio cualitativo de las alternativas, queda seleccionada con una aceptable diferencia entre las puntuaciones, la adquisición de un sistema ultrasonido para medir caudal en el Parshall-flume de la línea de drenaje principal de efluentes industriales.

4.5 Determinar las modificaciones y/o ajustes necesarios para mejorar el tratamiento biológico.

En base a las herramientas metodológicas planteadas en el inicio del proyecto surge la necesidad de realizar cambios en el proceso, aquí se involucran dos aspectos: el primero basado en el ajuste de la dosificación de macronutrientes y el segundo en la modificación del formato de control de proceso.

4.5.1 Ajuste de la dosificación de macronutrientes

Inicialmente se estimó el %Biodegradabilidad en base a datos históricos de DBO y DQO, estos se encuentran graficados en las figuras C.2 y C.3 respectivamente. En la siguiente tabla se dispone de los datos recopilados anuales de demanda bioquímica y química de oxígeno a partir del año 2002 hasta la fecha actual. Se muestra además el cálculo de la relación DBO/DQO para cada año.

TABLA 4.8
DATOS DEL HISTÓRICOS DEL %BIODEGRADABILIDAD DEL AFLUENTE DE
PTEI HEINZ

Año	DBO	DQO	% Biodegradabilidad (DBO/DQO)
2002	900	1550	0,58
2003	1100	1882	0,58
2004	2289	3410	0,67
2005	1860	3130	0,59
2006	2018	2845	0,71



TABLA 4.8 (CONTINUACIÓN)

DATOS DEL HISTÓRICOS DEL %BIODEGRADABILIDAD DEL AFLUENTE DE PTEI HEINZ

2007	2370	3625	0,65
2008	1687	2430	0,69
2009	2380	3940	0,60
2010	2470	4390	0,56
2011	2530	4110	0,62
2012	1830	2885	0,63

Según Montgomery (2003), el cálculo de valor promedio es dependiente del tamaño de la muestra, sin embargo, si este es menor a 30, el teorema del límite central funcionará si la distribución de la población no es severamente sesgada o no-normal. Por lo tanto se comprueba esta tendencia a través del gráfico de probabilidad y el estadístico. A continuación se muestra el análisis estadístico de los datos aplicando criterios de normalidad.

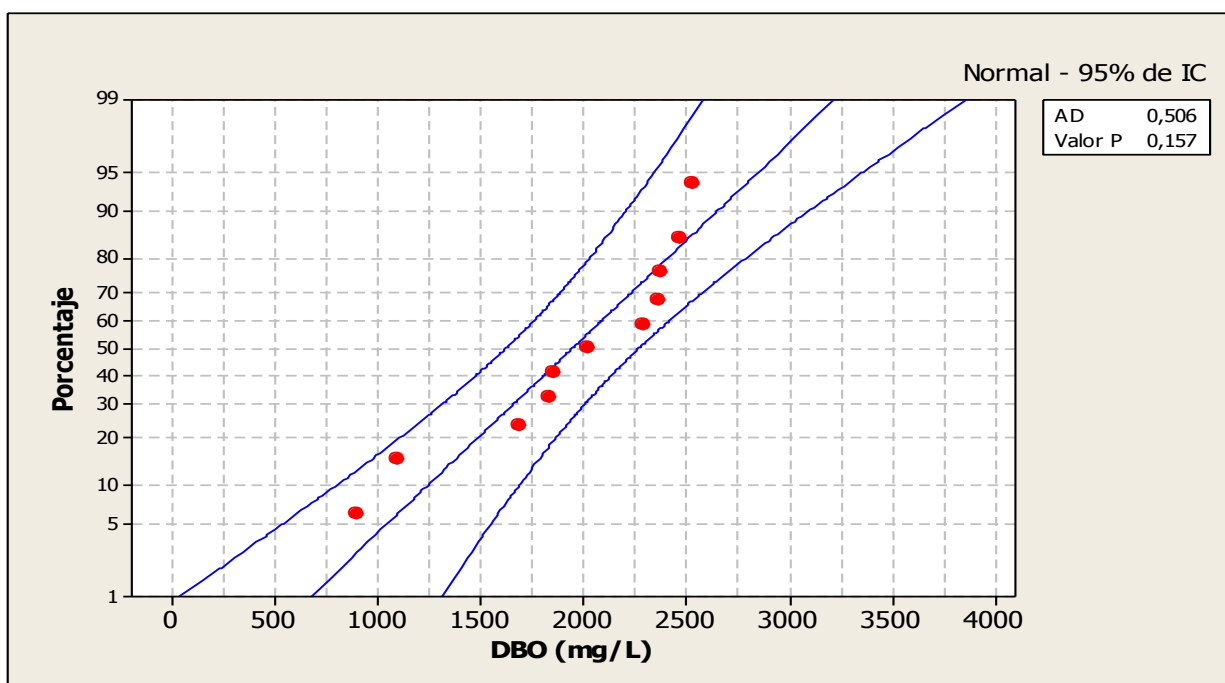


Figura 4.23. Representación gráfica de la distribución de los datos de DBO.



Así como los datos se encuentra dentro del límite probabilístico, se verificó que el valor “p” mostrado en la gráfica para la prueba de Anderson-Darling es mayor al nivel de significancia seleccionado (0,05), por lo tanto se corrobora que los datos siguen la distribución especificada. De igual forma sucede con los datos históricos de DQO, en la siguiente gráfica se muestra.

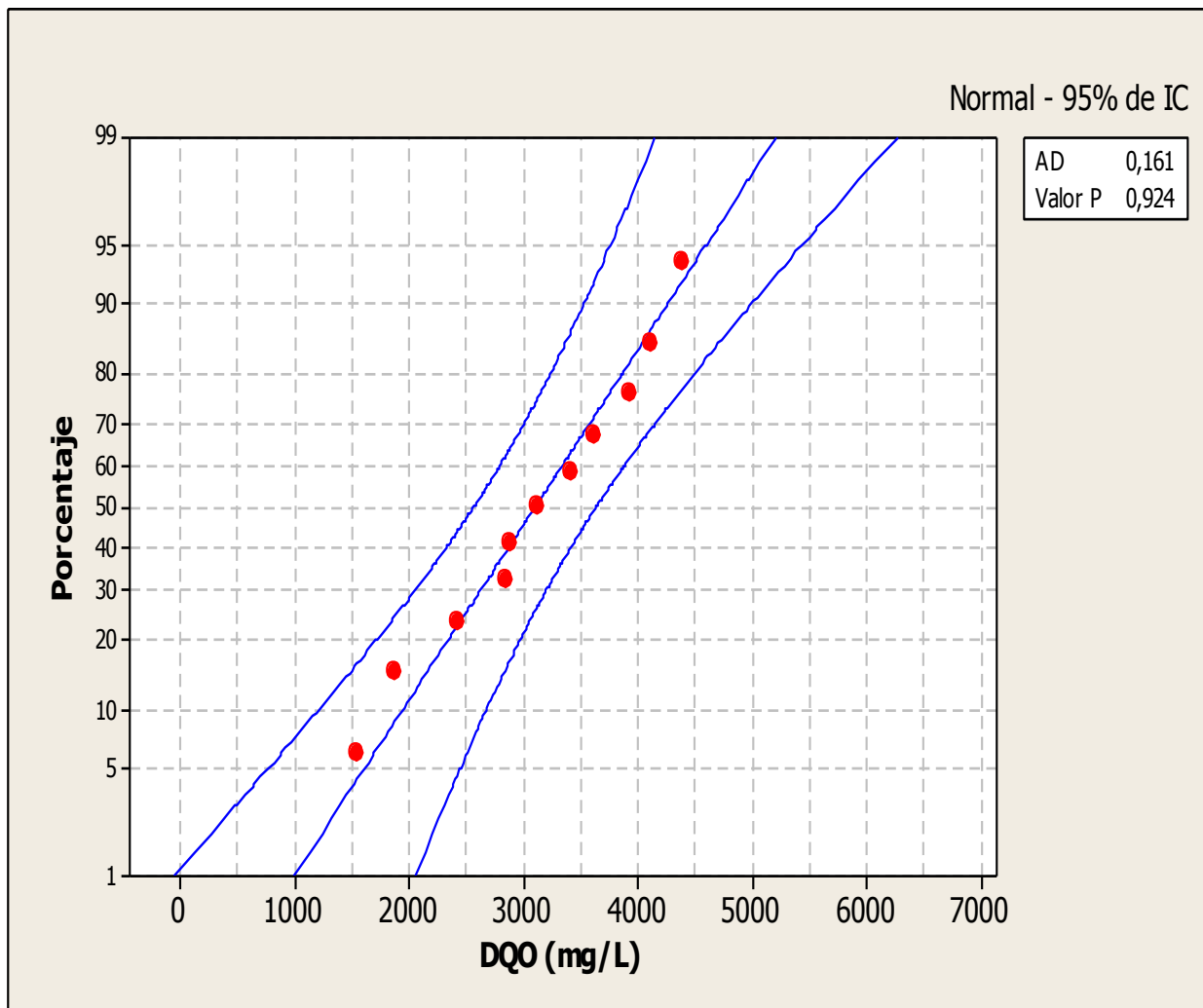


Figura 4.24. Representación gráfica de la distribución de los datos de DQO.

El % de biodegradabilidad medio es de $(0,63 \pm 0,02)$ Adim., por lo tanto a partir de esta relación y las concentraciones de DQO del muestreo realizado, se obtienen a través de la ecuación 3.1 las siguientes concentraciones de DBO:



TABLA 4.9
CONCENTRACIONES ESTIMADAS DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE
OXÍGENO

Fecha	DQO (mg/L)	DBO _{Estimada} (mg/L)
06/02/2012	3660	2306
07/02/2012	4320	2722
08/02/2012	2960	1865
09/02/2012	3650	2300
10/02/2012	3890	2451

Ahora bien, a través de los valores de DBO, nitrógeno y fósforo se procedió a evaluar las relaciones DBO:N:P para cada día, y así efectuar un ajuste tomando como condición el rango óptimo de macronutrientes, siendo el límite máximo 100:5:1 y el mínimo 100:2,5:0,5. Estas condiciones se deben cumplir en la alimentación de un reactor biológico para él un buen desarrollo de la microbiota. Teniendo en cuenta que N y P son nitrógeno y fósforo total respectivamente.

Para abarcar estos problemas se hizo el cálculo de las relaciones de macronutrientes, en la que se muestran los datos tabulados de estos parámetros en el afluente de PTEI:

TABLA 4.10
RELACIÓN DE MACRONUTRIENTES

Fecha	DBO	N	P	Relación DBO:N:P	Relación N:P
06/02/2012	2306	20,4	3,20	100 : 0,9 : 0,14	6,4
07/02/2012	2722	21,3	3,22	100 : 0,8 : 0,12	6,6
08/02/2012	1865	11,3	1,79	100 : 0,6 : 0,10	6,3
09/02/2012	2300	12,0	1,57	100 : 0,5 : 0,07	7,6
10/02/2012	2451	18,5	3,00	100 : 0,8 : 0,12	6,2
Promedio	2329	16,7	2,56	100 : 0,7 : 0,11	6,6



Mediante la tabla anterior se observa el gran déficit de macronutrientes que hay en el afluente de PTEI, siendo las cantidades de nitrógeno muy bajas en relación al fósforo. El balance para compensar las cantidades de nitrógeno y fósforo necesarias para ingresar a un sistema biológico se planteó como la diferencia entre 100:5:1 y 100:0,7:0,11, dando como resultado la máxima relación de adición de nutrientes permisible en un sistema biológico con déficit de nutrientes.

La relación N:P promedio fue de 6,6 Adim., la cual es superior a la especificada por el producto Stimulus 7174 de 4,5; esto quiere decir que para una óptima dosis de nutrientes se debe reemplazar este compuesto por uno que en su composición tenga una relación N:P aproximadamente igual a 6,6 Adim.; Esta relación demuestra que se necesita más cantidad de nitrógeno que fósforo en la entrada de la planta, actualmente en PTEI este desbalance puede originar que los procesos de nitrificación en el reactor biológico no tengan la tasa de reacción necesaria. Finalmente,

A partir de este análisis se procede a realizar el balance de los requerimientos de nutrientes para conocer los kilogramos por día necesarios, las fórmulas aplicadas fueron obtenidas de las especificaciones del producto, los resultados fueron los siguientes:

Dosificación N: (320 ± 10) kg/d

Dosificación P: (235 ± 3) kg/d

Evidentemente el nitrógeno es el mayor valor, por lo tanto será a partir de este que se ajuste la dosis de macronutrientes. En base a las formulas planteadas se obtuvo un caudal de dosificación para el ajuste de la bomba de (12 ± 1) L/h.

Ahora bien, a partir de este caudal de nutrientes evaluado para la relación máxima 100:5:1, se debe reajustar la dosis disminuyendo gradualmente el caudal de la bomba, tomando en cuenta las siguientes condiciones: (1) Ajustar la dosis de alimentación del reactor biológico hasta obtener relaciones DBO: N: P entre un



rango 100:5:1 y 100:2,5:0,5. (2) Medir nitrógeno y fósforo total en la salida de la planta y ajustar conjuntamente hasta obtener valores cercanos a 1 mg/L de Nitrógeno Total y 0,5 mg/L de Fósforo como PO_4^- . Tomando en cuenta que los cambios en la dosificación de nutrientes tardan entre 24 y 48 horas para que el proceso se estabilice.

4.5.3. Modificación del formato de control de proceso.


En vista de las necesidades actuales del manejo de la información en la PTEI Heinz, se procedió a realizar un formato físico y otro digital para mejorar el control del proceso en la planta. Se jerarquizaron los análisis para generar un cronograma de análisis y mediciones, diarias y/o semanales de acuerdo a las necesidades de la planta.

Manejar los rangos operativos de un parámetro en un control de proceso es fundamental para evaluar y diagnosticar de forma inmediata un valor fuera de especificación, sobre todo para los operadores. Por lo tanto se realizó una investigación exhaustiva sobre los rangos operativos en plantas de tratamiento de lodos activados con aeración extendida, en donde se definieron rangos o límites máximos para cada parámetro.

Se discriminaron los análisis físico-químicos por zonas, definiendo entrada, reactor y salida. Además, La inspección realizada en una planta de tratamiento es algo cotidiano en la función del operador, es por ello que se unificaron criterios como olor, color, nivel, entre otros para cada zona definida. El control de equipos, dispositivos y unidades de servicio es muy importante, por lo que se plasmó en el formato las observaciones y el estado de servicio de estos, así como las novedades del turno.

El formato físico se realizó acorde con el digital para vaciar la información por turno. Es importante decir que el primer turno de trabajo es el más categórico, ya que es aquí donde residen los picos de producción del día. A continuación se muestra el formato físico:





FORMATO DE CONTROL DE PROCESO

Fecha:

PARÁMETROS DE CONTROL OPERATIVO				
ENTRADA				
Parámetro	Valor			Limite máximo o rango
	1	2	3	
Temperatura (°C)				25,0-40,0
pH				6,0-9,0
OD (mg/L)				---
Volumen (m ³ /Turno)				100-627
DQO (mg/L)				1.000-5.000
DBO (mg/L)				700-3.000
Nitrógeno Total (mg/L)				---
Fósforo Total (mg/L)				---
Cloruros (mg/L)				≤500
Sólid. Suspendidos (mg/L)				≤250

REACTOR				
Parámetro	Valor			Limite máximo o rango
	1	2	3	
Temperatura (°C)				22,0-36,0
pH				6,5-8,5
OD (mg/L)				1,0-4,0
Cloruros (mg/L)				≤500
Sólid. Sedimentables (ml/L)				400≤SS≤700

Análisis de Sólidos (mg/L)			
Totales	ST		---
	STV		---
	STF		---
Suspendidos	SST		6.000-12.000
	SSV		4.000-10.000
	SSF		800-3.000
SSV Recirc. de lodos			8.000-15.000

Microscopía	
Bacterias	F-Grado: ____
Protozoos	
Ciliados	
Metazoos	
Crustáceos	

PARÁMETROS DE CONTROL DE EFLUENTE*				
SALIDA (DECRETO 3219)*				
Parámetro	Valor			Limite máximo o rango
	1	2	3	
Temperatura (°C)*				(+) 3 grados
pH*				6,0-9,0
OD (mg/L)				≥3,0
Volumen (m ³ /Turno)				160-627
DQO (mg/L)*				≤ 350
DBO (mg/L)*				≤ 60
Nitrógeno Total (mg/L)*				≤ 10
Fósforo Total (mg/L)*				≤ 1
Sólid. Suspendidos (mg/L)*				≤ 80
Cloruros (mg/L)*				≤1000
Color Real (Un Pt/Co)*				≤500
Cloro Libre (mg/L)				0,3-0,5
Cloro Total (mg/L)				---
Sólid.sedimentables (mg/L)*				≤1

INSPECCIÓN	
ENTRADA	
Color	_____
Olor	_____
REACTOR (Lodo Activado)	
Color	_____
Olor	_____
Nivel	_____
SALIDA	
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <u>Clarificador #1</u> <u>Clarificador #2</u> </div>
Altura del colchón de lodo (Pie)	_____
Sólid. Flotantes	_____
Aspecto	_____

EQUIPOS	1er	2do	3ro
Bombas Cribado	B ₁ ____B ₂ ____B _A ____	B ₁ ____B ₂ ____B _A ____	B ₁ ____B ₂ ____B _A ____
Bombas Lodos	B ₁ ____B ₂ ____	B ₁ ____B ₂ ____	B ₁ ____B ₂ ____
Compresores	C ₁ ____C ₂ ____	C ₁ ____C ₂ ____	C ₁ ____C ₂ ____
Bomba Nut.(L/h)	%F____%L____	%F____%L____	%F____%L____
Bomba HDS.(L/h)	%F____	%F____	%F____

Firma operador: _____	Firma operador: _____	Firma operador: _____
1er TURNO	2do TURNO	3er TURNO

Figura 4.25. Formato físico de control de proceso modificado.

Se realizaron 12 archivos digitales de control de proceso para el año 2012, cada uno correspondiente a un mes del año. Se elaboró cada archivo tipo calendario, con tres turnos por cada día del mes y las semanas correspondientes. El reporte semanal se llena automáticamente mientras los operadores ingresan los datos diarios por turno, por lo que no se tiene que efectuar ningún cálculo previo.

Las gráficas se generan automáticamente en el archivo, ya que están vinculadas con los datos reportados diariamente, estas se avalúan para los siguientes parámetros: caudal, temperatura, pH y cloruros de entrada, reactor y salida, oxígeno disuelto del reactor,

A continuación se muestra una breve simulación en secuencia de imágenes de formato digital de control de proceso del mes de mayo:



Figura 4.26. Pantalla inicial del formato digital.

Esta pantalla muestra los días del mes vinculados a la hoja de registro de información, además de los reportes semanales y gráficas. El formato de registro de información por día se muestra a continuación haciendo click en el día correspondiente del calendario.



1er Turno

FORMATO DE CONTROL DE PROCESO

Fecha:

Operador:

PARÁMETROS DE CONTROL OPERATIVO

ENTRADA		
Parámetro	Valor	Límite máximo o rango
Temperatura (°C)		25,0-40,0
pH		6,0-9,0
OD (mg/L)		—
Volumen (m ³) / Turno		100-627
Caudal (L/s)	0,00	3,3-21,0

SALIDA		
Parámetros	Valor	Límite máximo o rango
Temperatura (°C)*		(*) grados
pH*		6,0-9,0
OD (mg/L)*		≥3,0
Volumen (m ³) / Turno		627
Caudal (L/s)	0,00	3,3-21,0

REACTOR

Parámetro	Valor	Límite máximo o rango
Temperatura (°C)		22,0-36,0
pH		6,5-8,5

INSPECCION

ENTRADA	
Color	
Olor	

CONTROL DE SERVICIO

Equipo	Servicio	Fuera de servicio
BOMBA DE CRIBADO #1		
BOMBA DE CRIBADO #2		
BOMBA LODOS #1		
BOMBA LODOS #2		
BOMBA LODOS Auxiliar		
COMPRESOR #1		
COMPRESOR #2		
FILTRO PRENSA J-Press		
FILTRO PRENSA JW1		
BOMBA DE HIPOCLORITO		Caudal (L/s)
BOMBA DE NUTRIENTES		Caudal (L/s)

Presasadas por Turno

J-Press	JW1

NOVEDADES

Figura 4.27. Pantalla de registro de análisis y control operativo.

En esta etapa se selecciona en lista desplegable todo lo referente al turno de trabajo, indicando fecha actual y nombre del operador. Luego como se muestra en la siguiente figura se procede a seleccionar en la lista desplegable los análisis que corresponden al turno de acuerdo al cronograma.

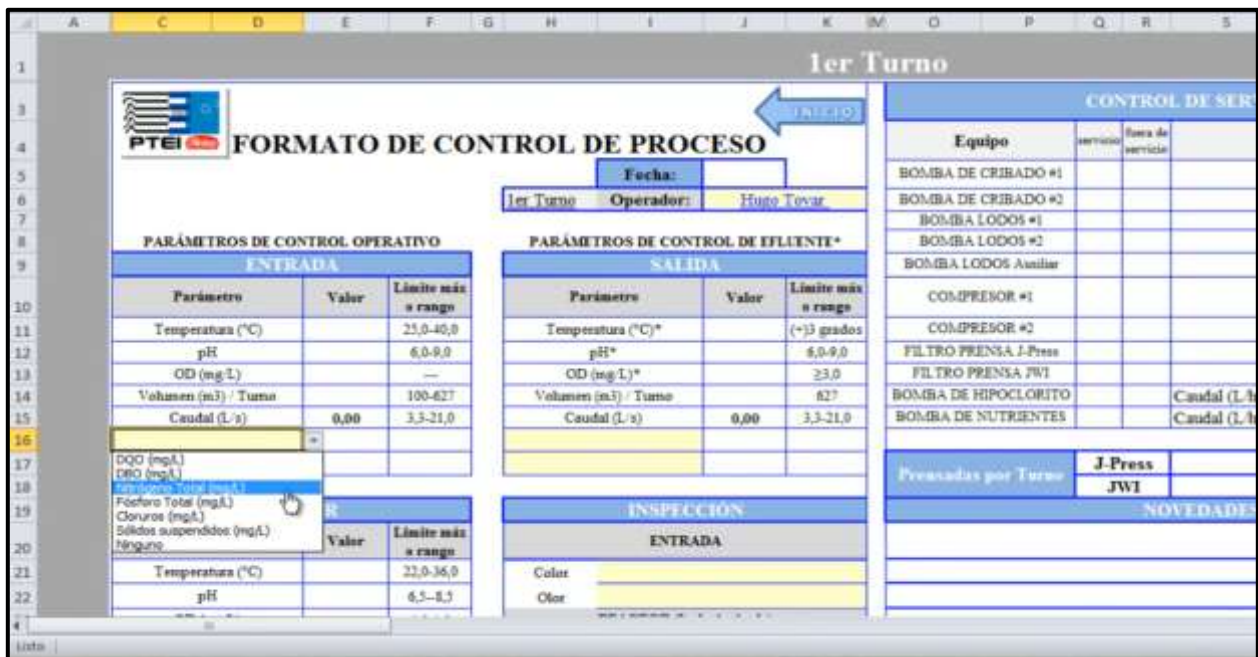


Figura 4.28. Selección de análisis de laboratorio

La selección de análisis corresponde a todas las zonas definidas, como entrada, reactor y salida. Luego de ingresar los valores se evalúa en control de servicios:



Figura 4.29. Evaluación del estado de los equipos en PTEI.



Aquí se debe ingresar también el % de frecuencia y longitud de cada una de las bombas de nutrientes e hipoclorito. Además registrar las prensadas por turno y las novedades.

La inspección visual se registra seleccionando en lista desplegable los criterios establecidos en consultas con expertos en el área, esto para cada una de las zonas, por ejemplo en el clarificador 1 se debe evaluar en qué nivel se encuentra el colchón de lodo en pie, presencia o no de sólidos flotantes y aspecto. Todo esto con criterios unificados permitiendo manejar la información más fácil. Esto puede observarse en la siguiente figura:

REACTOR	INSPECCIÓN	NOVEDADES																																		
<table border="1"> <tr><td>Temperatura (°C)</td><td>21,9-40,0</td></tr> <tr><td>pH</td><td>8,0-9,0</td></tr> <tr><td>OD (mg/L)</td><td>---</td></tr> <tr><td>Volumen (m³) - Turno</td><td>0</td></tr> <tr><td>Caudal (L/s)</td><td>0,00 3,3-21,0</td></tr> </table>	Temperatura (°C)	21,9-40,0	pH	8,0-9,0	OD (mg/L)	---	Volumen (m ³) - Turno	0	Caudal (L/s)	0,00 3,3-21,0	<table border="1"> <tr><td>Temperatura (°C)*</td><td>(+/-) 3 grados</td></tr> <tr><td>pH*</td><td>6,0-9,0</td></tr> <tr><td>OD (mg/L)*</td><td>≥ 3,0</td></tr> <tr><td>Volumen (m³) - Turno</td><td>627</td></tr> <tr><td>Caudal (L/s)</td><td>0,00 3,3-21,0</td></tr> </table>	Temperatura (°C)*	(+/-) 3 grados	pH*	6,0-9,0	OD (mg/L)*	≥ 3,0	Volumen (m ³) - Turno	627	Caudal (L/s)	0,00 3,3-21,0	<table border="1"> <tr><td>COMPRESOR #2</td><td></td></tr> <tr><td>FILTRO PRESNA J-Press</td><td></td></tr> <tr><td>FILTRO PRESNA JW1</td><td></td></tr> <tr><td>BOMBA DE HIPOCLORITO</td><td>Caudal (L/h)</td></tr> <tr><td>BOMBA DE NUTRIENTES</td><td>Caudal (L/h)</td></tr> </table>	COMPRESOR #2		FILTRO PRESNA J-Press		FILTRO PRESNA JW1		BOMBA DE HIPOCLORITO	Caudal (L/h)	BOMBA DE NUTRIENTES	Caudal (L/h)				
Temperatura (°C)	21,9-40,0																																			
pH	8,0-9,0																																			
OD (mg/L)	---																																			
Volumen (m ³) - Turno	0																																			
Caudal (L/s)	0,00 3,3-21,0																																			
Temperatura (°C)*	(+/-) 3 grados																																			
pH*	6,0-9,0																																			
OD (mg/L)*	≥ 3,0																																			
Volumen (m ³) - Turno	627																																			
Caudal (L/s)	0,00 3,3-21,0																																			
COMPRESOR #2																																				
FILTRO PRESNA J-Press																																				
FILTRO PRESNA JW1																																				
BOMBA DE HIPOCLORITO	Caudal (L/h)																																			
BOMBA DE NUTRIENTES	Caudal (L/h)																																			
<table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Valor</th><th>Límite más o range</th></tr> <tr><td>Temperatura (°C)</td><td>22,0-36,0</td><td></td></tr> <tr><td>pH</td><td>6,5-8,5</td><td></td></tr> <tr><td>OD (mg/L)</td><td>1,0-4,0</td><td></td></tr> </table>	Parámetro	Valor	Límite más o range	Temperatura (°C)	22,0-36,0		pH	6,5-8,5		OD (mg/L)	1,0-4,0		<table border="1"> <tr><th colspan="2">ENTRADA</th></tr> <tr><td>Color</td><td>[Listado de opciones]</td></tr> <tr><td>Olor</td><td>[Listado de opciones]</td></tr> <tr><td>Nivel</td><td>[Listado de opciones]</td></tr> <tr><th colspan="2">SALIDA</th></tr> <tr><td>Altura colchón-lodo</td><td>Clarificador 1: 1 1/2, Clarificador 2: 1</td></tr> <tr><td>Sólidos Flotantes</td><td>Clarificador 1: Ausentes, Clarificador 2: Presentes</td></tr> <tr><td>Aspecto</td><td>Clarificador 1: Excelente, Clarificador 2: Bueno</td></tr> </table>	ENTRADA		Color	[Listado de opciones]	Olor	[Listado de opciones]	Nivel	[Listado de opciones]	SALIDA		Altura colchón-lodo	Clarificador 1: 1 1/2, Clarificador 2: 1	Sólidos Flotantes	Clarificador 1: Ausentes, Clarificador 2: Presentes	Aspecto	Clarificador 1: Excelente, Clarificador 2: Bueno	<table border="1"> <tr><td>Prensadas por Turno</td><td>J-Press</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>JW1</td><td></td></tr> </table>	Prensadas por Turno	J-Press			JW1	
Parámetro	Valor	Límite más o range																																		
Temperatura (°C)	22,0-36,0																																			
pH	6,5-8,5																																			
OD (mg/L)	1,0-4,0																																			
ENTRADA																																				
Color	[Listado de opciones]																																			
Olor	[Listado de opciones]																																			
Nivel	[Listado de opciones]																																			
SALIDA																																				
Altura colchón-lodo	Clarificador 1: 1 1/2, Clarificador 2: 1																																			
Sólidos Flotantes	Clarificador 1: Ausentes, Clarificador 2: Presentes																																			
Aspecto	Clarificador 1: Excelente, Clarificador 2: Bueno																																			
Prensadas por Turno	J-Press																																			
	JW1																																			

Figura 4.30. Selección de los criterios de inspección visual.

Este resumen mostrado del proceso de llenado del formato debe hacerse para cada turno, siguiendo lo especificado en el cronograma de análisis y tomando en cuenta los datos registrados por el turno anterior. El reporte semanal se genera automáticamente finalice la semana, obteniendo el promedio de los datos registrados durante la semana, en la siguiente figura se observa un reporte semanal:



Figura 4.31 Reporte semanal digital de control de proceso.

Durante y al final el mes se generan las gráficas según las necesidades, en las siguientes imágenes se muestran lo concerniente al reporte gráfico:



Figura 4.32. Cuadro de selección de las gráficas de los parámetros físico-químicos



Figura 4.33. Ejemplificación gráfica del formato digital control de proceso.

En conclusión, se indicó brevemente las funciones de este nuevo formato el cual ya fue aprobado por el supervisor del área y el ingeniero de proyectos ambientales para implementarlo en PTEI.

4.6. Elaborar un plan de acción preventivo y correctivo para casos eventuales de derrames de aceites y grasas en los procesos de manufactura.

La encuesta se realizó al personal que labora en el área de los diferentes talleres (Departamento de Mantenimiento), montacargas, eléctrico y lubricación, tomando como tamaño poblacional, el estimado en la metodología. Las preguntas realizadas se encuentran en capítulo III.

A continuación se presenta una tabla con las respuestas más comunes, dadas por el personal de mantenimiento:



TABLA 4.11.
RESPUESTAS COMUNES DADAS POR EL PERSONAL
ENCUESTADO

Pregunta	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3
1	SI	NO	-
2	SI	NO	-
3	SI	NO	-
4	Avisar para que solucionen el problema	Tratar de solucionar el problema, conteniendo el derrame	Otros
5	PEATSORB	Ninguno	-
6	Guantes	Ninguno	-
7	Se desecha	Se almacena para una disposición final adecuada	-
8	SI	NO	-

Seguidamente, en función de las respuestas, se estableció una tabla comparativa de porcentajes, para poder analizar el comportamiento que tienen los trabajadores frente a las situaciones que están implícitas en la encuesta.



TABLA 4.12.
TABLA DE PORCENTAJES DE LAS RESPUESTAS
DE LAS ENCUESTAS

Pregunta	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3
	%		
1	92%	8%	-
2	80%	20%	-
3	64%	36%	-
4	72%	20%	8%
5	60%	40%	-
6	88%	12%	-
7	56%	44%	-
8	36%	64%	-

Tomando en cuenta los porcentajes anteriores, se analizaron las razones más comunes de derrame de aceites y grasas, y se establecieron nuevas acciones, basadas en los criterios establecidos en materia de:

Seguridad: las medidas tomadas poseen un criterio basado en la seguridad, debido a que la principal razón de ello es mantener un ambiente de trabajo seguro, por lo cual se plantean medidas de capacitación del personal de las áreas de trabajos de aceites y grasas, con la finalidad de que ellos, sepan responder a estas situaciones y en un futuro puedan afrontar cualquier eventualidad relacionada con los derrames por sí solos y realizar acciones que no pongan en riesgo su salud ocupacional, de manera tal, que el departamento encargado, solo tenga la tarea de realizar el proceso de registro de los incidentes y eventualmente encargarse de la divulgación de los entrenamientos referentes al manejo correcto de dichas sustancias.

Sostenibilidad: en cuanto al criterio de sostenibilidad, se basa en la elaboración de las actividades diarias, reduciendo el impacto ambiental que estas puedan generar;



esto quiere decir, que todas las medidas que se tomen, tengan como finalidad la protección del ambiente al impacto que dichas acciones pudiesen generar. Es por ello que se implementan nuevos métodos de almacenamiento de las sustancias y nuevos métodos de contención para casos de derrames, facilitando así la aplicabilidad de los procedimientos y a su vez, mejorando el proceso de manipulación de los mismos por parte de los trabajadores.

Luego de que se analizarán las acciones en base a los criterios establecidos, el equipo de Seguridad Industrial delega a los departamentos de Higiene y Mantenimiento como candidatos para la ejecución del plan de acción, y se asignan a un supervisor de, Higiene, Mantenimiento y Seguridad, para que se hagan cargo de la ejecución y de las actas de registro en caso de derrames de aceites y grasas.

Finalmente, establecido todo lo referente a la parte del análisis del plan, se elaboraron los documentos de registro de control y el formato del plan de acción, para que se pueda llevar el registro de todas las acciones a tomadas.




 Alimentos Heinz, C.A. Gerencia Integral de Seguridad, Salud y Medio Ambiente	Registro de control de derrames de grasas y aceite			Acta N°	Fecha
					/ /
Nombre del trabajador				Ficha	
Área de trabajo				Línea	
Observaciones del trabajador:					
Análisis de la Gerencia Integral de Seguridad, Salud y Medio Ambiente:					
<input type="checkbox"/> Condición Insegura <input type="checkbox"/> Casi-Accidente					
Acciones para corrección de la condición.					
Descripción				Fecha de compromiso	Estatus
Trabajador (a) consultado:	Ficha:	Trabajador (a) consultado:	Ficha:	Trabajador (a) consultado:	Ficha:
OBSERVACIONES					
APERTURA DEL ACTA					
Nombre, Firma y Ficha del Auditor GISSMA:		Nombre, Firma y Ficha Responsable Mtto:		Firma y Ficha de trabajadores (as):	
Nombre, Firma y Ficha del supervisor del área:					
CIERRE DEL ACTA					
Nombre, Firma y Ficha del Auditor GISSMA:		Nombre, Firma y Ficha Responsable Mtto:		Firma y Ficha de trabajadores (as):	

Figura 4.34. Registro de control en caso de derrames de aceites y grasas.



	División:		Unidad:					
	Alimentos Heinz, C.A.	Sub Unidad:	Fecha de emisión:	Fecha Vigencia:	Versión:			
Gerencia Integral de Seguridad, Salud y Medio Ambiente								
Código:	PLAN DE ACCIÓN CORRECTIVO/PREVENTIVO PARA DERRAMES EVENTUALES DE ACEITES Y GRASAS							
<p>Fecha: XX/XX/XXXX Fiscal Year: XXXX / CANTIDAD DE HOJAS DEL PLAN: _____</p> <p>MARCA CON UNA "X" LA ACTIVIDAD DEL MONITOREO DEL DESEMPEÑO:</p> <p>INSPECCIÓN DE CONTROL FÍSICO () CUMPLIMIENTO () ADHERENCIA () VERIFICACIÓN PCC () VALIDACIÓN () Auditoría Interna (): _____</p> <p>Auditoría Externa: _____</p> <p>Plan de acciones derivadas de la fecha: XX/XX/XXXX</p> <p>Fecha de revisión del plan: _____ % Acciones completadas</p>								
Zona /Área	Hallazgo /Desviación	Nivel de Riesgo	Acción Correctiva	Acción Preventiva	Responsable	Fecha de Compromiso	Fecha de Cierre	AVANCE /STATUS

Figura 4.35. Esquema de control de acciones en caso de derrames de aceites y grasas.



TABLA 4.13.
PLAN DE ACCIÓN PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA DERRAMES
DE ACEITES Y GRASAS







Elaborado por: García, Víctor y Pérez, Waylon Fecha: Marzo 2012		Parámetro a controlar: Aceites y grasas Área: Mantenimiento	
Hallazgo	Observaciones	Acción Correctiva	Acción Preventiva
Deterioro de los recipientes de almacenamiento	Encargado: Personal de Mantenimiento Evaluación: Visual	Reemplace el tanque de almacenamiento defectuoso 	Instalar dique de contención 
Derrame de aceite o grasa (Nivel BAJO)	Encargado: Trabajador cercano al derrame Evaluación: Visual	Adición de PEATSORB al derrame 	Instalar dique de contención 
Derrame de aceite o grasa (Nivel MEDIO)	Encargado: Comité Anti-derrame GISSMA Evaluación: Visual	Uso del kit anti-derrame 	-



TABLA 4.14.

**PLAN DE ACCIÓN PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA DERRAMES
DE ACEITES Y GRASAS (CONTINUACIÓN)**

Elaborado por: García, Víctor y Pérez, Waylon Fecha: Marzo 2012		Parámetro a controlar: Aceites y grasas Área: Mantenimiento		
Hallazgo	Observaciones	Acción Correctiva		Acción Preventiva
Derrame de aceite o grasa (Nivel ALTO)	Encargado: Personal PTEI y Comité Anti-derrame GISSMA Evaluación: Visual	Instalación de un OilSkimmer a la entrada de PTEI		Instalación de un OilSkimmer aguas arriba



4.7 Determinar la relación costo-beneficio de la implementación del proyecto.

El costo de la implementación del proyecto fue de 512.300 Bs, como se presenta en la tabla 4.15. Se hace notar que la mayor parte de este costo se debe principalmente a la adquisición de los implementos de seguridad de manejo de desechos. Aunque este valor pueda parecer alto, es justificable la compra, ya que en la empresa en materia de seguridad y ambiente, todo incumplimiento de los términos legales pueden ser fuertemente sancionados.

TABLA 4.15
COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Costo del equipo de instalación (C _E) Bs	Costo de contenedor, kits antiderrames y oilskimmer (C _I) Bs
52.160	460.140

Para los beneficios que pudiese generar la implementación del proyecto, y los que se obtuvieron en la fase de diagnóstico, se establecieron 2 criterios. Estos son: El ahorro de agua de proceso y las multas a cancelar en caso de incumplimiento de la Ley Penal del Ambiente, debido a el vertido ilícito del efluente industrial a las aguas y la mala disposición final de desechos peligrosos.

Estos beneficios como resultado de la propuesta a implementar se muestran en la tabla 4.16, y se puede notar, que los beneficios son ligeramente elevados, debido a que lo contemplado en la Ley Penal del Ambiente respecto a las sanciones que pudiesen incurrir, tanto en el vertido ilícito, como en la mala disposición final de desechos peligrosos. Estas sanciones se presentan a continuación.



TABLA 4.16
SANCIONES ESTABLECIDAS EN LA LEY
PENAL DEL AMBIENTE

Vertido ilícito de efluentes industriales a depósitos de agua (M _{VI}) UT (1000- 2000)	Mala disposición final de desechos peligrosos (M _{DP}) UT (4000-6000)
--	---

Adicional a ello también se tienen que tomar en cuenta que, mediante el cumplimiento de algunos objetivos del proyecto, el porcentaje de reducción del agua en el FY'12 bajó un 12% en comparación al FY'11 (En la figura 4.36 se muestra una representación gráfica del proceso), generando así un total de ahorro de 41.760 m³ de agua de proceso, y una disminución del volumen a tratar en PTEI, debido a que, al disminuir el consumo de agua de proceso a raíz de las fugas y derrames diagnosticados, se disminuyen los efluentes industriales. En PTEI el equivalente de costo del tratamiento del agua residual industrial es aproximadamente de 20 $\frac{\text{Bs}}{\text{m}^3}$, y esto pone en evidencia el beneficio que se obtuvo, al no tratar el 48% dicho volumen.

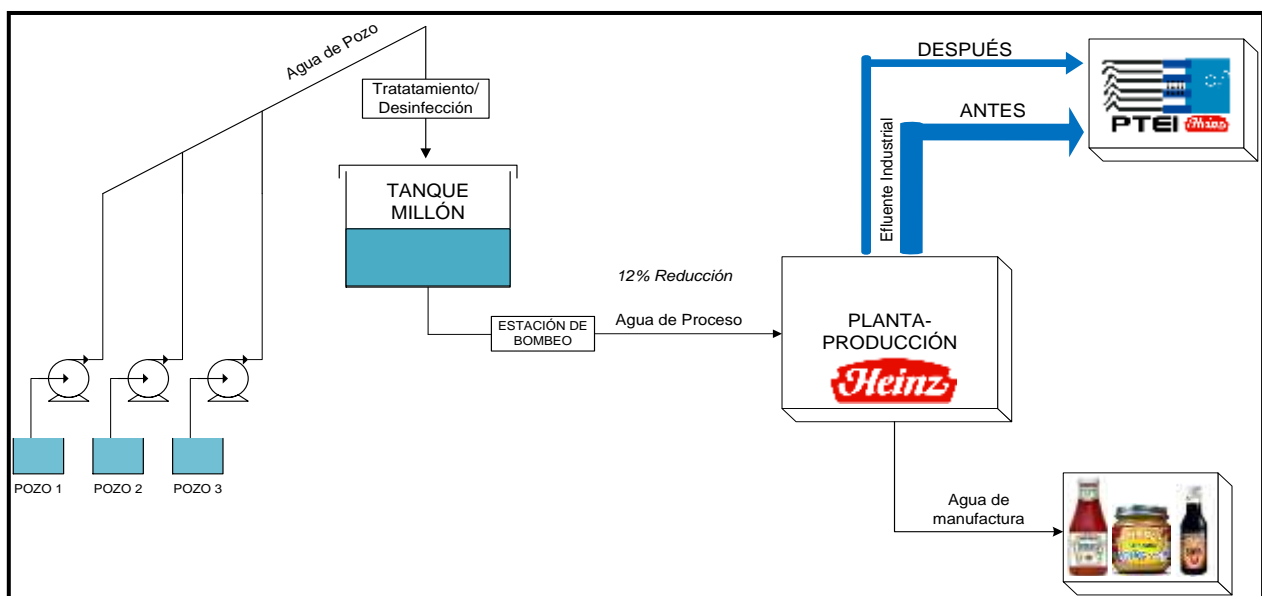


Figura 4.36 Diagrama representativo de la reducción del consumo de agua



TABLA 4.17
BENEFICIOS PRODUCIDOS POR LA IMPLEMENTACIÓN
DEL PROYECTO

Beneficios de reducción del agua de proceso (B_{RAP})Bs	Beneficios por ahorros legales (B_{AL})Bs
400.896 Bs	585.000

El total de beneficios aportados por dicha implementación se muestra en la tabla 4.18, y al analizar este valor, se puede notar que es un valor alto, comparándolo con los costos de implementación, esto quiere decir que al calcular la relación beneficio-costos, se espera que esta sea mayor a la unidad. La relación se muestra en la tabla 4.18.

TABLA 4.18
BENEFICIO TOTAL Y RELACIÓN BENEFICIO-COSTO

Beneficio (B)Bs	Relación beneficio-costos (R_{B-C})Adim.
985.986	1,92

El significado de que la relación arroje un valor mayor a la unidad, quiere decir que la implementación del proyecto, tiene una alta tendencia a ser factible, más no que lo es, ya que para poder concluir debidamente, se debe realizar un estudio más profundo de factibilidad técnico-económica.



CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el trabajo experimental, para el objetivo general se concluye que:

- Mediante investigaciones y desarrollo de la fase experimental, fue posible establecer mejoras en el control operativo de la planta de tratamiento.

Según los objetivos específicos:

Para el objetivo 1:

- Mediante las fallas solventadas en los procesos de preparación, llenado y pasteurización de los productos Heinz, se obtuvo una disminución considerable de los efluentes a tratar en la planta de tratamiento.
- Se disminuyó el consumo de agua de proceso por tonelada de producto en un 12%.
- Se actualizaron los planos de drenaje industrial.
- Los planos fueron modelados en tres dimensiones.
- Las fallas operativas en la planta se identificaron en la fase primaria de tratamiento.
- Se determinó que la planta de tratamiento se encontraba operando con deficiencia de nutrientes debido a la presencia de un tipo específico de bacterias filamentosas en el lodo activado.
- Se identificaron fallas en el control de proceso de la PTEI.

Para el objetivo 2:

- El análisis estadístico de datos permitió determinar los caudales medios con un 95% de confiabilidad, así como los factores máximos y mínimos semanales.
- La mayor parte de los efluentes industriales provienen de la planta de producción.
- Los promedios estadísticos del caudal de entrada y salida de la planta, evidencian que el proceso es estable desde el punto de vista hidráulico.



- Los parámetros de campo del afluente industrial indicaron valores de pH levemente ácidos, buena concentración de oxígeno disuelto y temperatura dentro del rango para un sistema biológico de lodo activado.
- De acuerdo a los parámetros del afluente de la PTEI, según la temperatura, las bacterias del sistema biológico se clasifican en mesófilas y según el pH en neutrófilas.
- Los constituyentes físico-químicos del agua en la entrada de la PTEI revelaron una alta concentración de la demanda química de oxígeno y baja concentración de nitrógeno y fósforo total. Los miligramos por litro de sólidos suspendidos mostraron valores fuera de rango.
- La evaluación de los parámetros con el ritmo de producción permitió determinar que la manufactura de la pasta de tomate doble concentrada es la más influyente en el aumento de la concentración de la demanda química de oxígeno.
- Se obtuvo que la carga másica de DQO de 2205 kg/d fue elevada en comparación con la carga de nitrógeno y fósforo de 9 y 0,3 kg/d respectivamente.

Para el objetivo 3:

- El análisis estadístico “t de 2 muestras” permitió garantizar mediciones representativas para el afluente de PTEI en el canal Parshall.
- Se plantearon las alternativas de instalar sistemas de medición en el canal Parshall:
 - La primera, se basó en un transductor ultrasonido en conexión con un dispositivo o elemento terciario que traduce la información en caudal.
 - La segunda, fue un sistema mecánico donde el elemento secundario es un flotante que actúa con desplazamiento hacia una barra de torsión.

Para el objetivo 4:



- El proceso de selección se basó en los criterios de: inversión inicial, operatividad, eficiencia, costos operativos y por último seguridad y medio ambiente.
- La alternativa seleccionada fue el caudalímetro ultrasónico.

Para el objetivo 5:

- Se obtuvo el índice de biodegradabilidad medio a través de datos históricos de la planta.
- Se estimaron valores de demanda biológica de oxígeno.
- La relación DBO:N:P del afluente de PTEI resultó ser muy bajo en relación a la óptima 100:5:1. Se ajustó el caudal de la dosis del compuesto mediante un balance con los datos de entrada a la planta, obtenidos en la caracterización.
- La relación N:P del afluente resultó ser 6,6, frente a la del producto 4,5, quiere decir que se requiere más cantidad de nitrógeno que fósforo.
- El caudal de dosificación de nutrientes obtenido del balance fue de (12 ± 1) L/h.
- Se realizaron investigaciones sobre las variables críticas en el control de proceso de plantas que operan bajo el sistema de lodos activados, para fundamentar los formatos.
- Los formatos de control de proceso físico y digital, fueron aprobados para su implementación en la planta de tratamiento, cumpliendo con los objetivos planteados.

Para el objetivo 6:

- Se propusieron nuevos medios de contención en caso de derrame de aceites y grasas.
- Se estableció un plan de acción con nuevas medidas preventivas y correctivas.
- La elaboración del esquema de control, permitió llevar a cabo un registro de la información.



Para el objetivo 7:

- La relación beneficio-costos es de 1,92 Adim.
- La implementación del proyecto tiene alta tendencia a ser factible.



RECOMENDACIONES

- Instalar un agitador al tanque de adición de nutrientes para asegurar la mezcla completa del afluente con los macronutrientes.
- Realizar entrenamientos a los operadores de PTEI Heinz, para mejorar el control operativo y los análisis de laboratorio.
- Ajustar la dosis de nutrientes, disminuyendo el caudal de la bomba progresivamente, partiendo del valor calculado en este proyecto.
- Llevar un control semanal de la microbiología del lodo activado durante la fase de ajuste de nutrientes, mediante la implementación del formato de control de proceso planteado en este proyecto.
- Se recomienda establecer zonas específicas para la toma de muestras en toda la planta de tratamiento.
- Realizar como mínimo 2 lavados a los tamices de la torre de cribado, para evitar saturar de sólidos la superficie de los mismos.
- Aumentar la concentración de oxígeno disuelto en el reactor biológico.
- Adaptar medidores en línea de oxígeno disuelto en zonas estratégicas del reactor biológico.
- Actualizar semanalmente el registro de control de derrames de aceites y grasas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF. 20va Edición.
- Cohen, E. (2006). *Evaluación de proyectos sociales*. Mexico: Siglo XXI Editores.
- Daigger, R. (1999). *Biological wastewater treatment*. New York: Marcel-Dekker.
- Eckenfelder, W. (2000). *Industrial water pollution control*. New-York: Mc Graw-Hill.
- Gerardi, M. (2006). *Wastewater Bacteria*. New-Yersey: Wiley-Interscience.
- Giugni, L. (1997). *Evaluación de proyectos de inversión*. Valencia, Venezuela: Dirección de medios, publicaciones y R.R.P.P de la Universidad de Carabobo.
- Hach Company. (2007). Manual de procedimientos del colorímetro DR890. Ohio, U.S.A.
- Herman, E. (2005). *Manual de Tratamiento de Aguas Negras*. Departamento de sanidad del estado de Nueva York: Limusa, S.A de C.V México.
- Hernández, R. (2003). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- I.A.C, S.L. Ingenieros Asociados de Control, S.L. (2008). *Canal parshall, Instrucciones de montaje*. . Recuperado el 20 de diciembre de 2011, de <http://80.36.188.130/Caudal/ULTRASONIDOS/CANALES%20Y%20VERTEDEROS/C.PDF>
- INN (Instituto Nacional de Normalización). (2009). *Medidores de Caudal de Aguas Residuales-Requisitos*. Chile: Comité Técnico de Medidores de Caudal (Basado en el Standard for selection of weirs and flumes for open channel flows).



- Jenkins, Richard, Daigger. (2004). *Manual On The Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems*. U.S.A: Lewis publisher.
- Locquin, M. (1985). *Manual de Microscopía*. Barcelona: Labor, S.A.
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización*. U.S.A: Mc Graw-Hill.
- Montgomery, D. C. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. U.S.A: John Wiley & Sons, Inc.
- Nalco. (2006). *Manual Stimulus 7174 Bioaugmentation*. U.S.A: Nalco Company.
- Norma venezolana COVENIN 2709. (2002). *Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para técnicas de muestreo*. Venezuela: FONDONORMA.
- Pedroza, E. (2001). *Serie Autodidáctica de Medición en Canal Parshall*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de tecnología del agua.
- Perry, R. H. (2008). *Manual del Ingeniero Químico*. U.S.A: 8va Edición, McGraw-Hill.
- Ramalho, R. (1983). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté.
- Rivas Mijares, G. (1978). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Caracas: Vega.
- Rodriguez Urioz, R. (2011). *Eliminación biológica de nitrógeno de un efluente con alta carga orgánica y amoniacal*. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Spellman. (2003). *Handbook of water and Wastewater treatment plant operators*. Boca de ratón: CRC-Press.



APENDICES

APÉNDICE A. CÁLCULOS TÍPICOS

A continuación se presentan en esta sección los cálculos típicos para la obtención de los resultados referentes a los objetivos y las figuras bibliográficas utilizadas.

1.1 Determinación del caudal en el canal Parshall.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_1 = k \cdot (h \cdot fc_2)^n \cdot fc_1 \quad (A.1)$$

Donde:

Q_1 : Caudal en el canal Parshall Q_1 , (L/s)

k : ctte en función de las dimensiones del canal, $\left(2006,98 \frac{m^3}{h}\right)$

h : nivel del agua en el punto de medición, (m)

n : ctte en función de las dimensiones del canal que modifica la variable H para que la ecuación sea dimensionalmente homogénea, (1,52491Adim.)

fc_1 : Factor de conversión 1, $\left(0,278 \frac{L \cdot h}{m^3 \cdot s}\right)$

fc_2 : Factor de conversión 2, $\left(\frac{1m}{100cm}\right)$

Sustituyendo el valor de la segunda altura registrada el primer día de la semana, la cual se encuentran en la Tabla B.2, y sustituyéndolos en la ecuación, se tiene que:

$$Q_1 = 2006,98 \frac{m^3}{h} \cdot \left(5,20 \text{ cm} \cdot \frac{1m}{100cm}\right)^{1,52491} \cdot 0,278 \frac{L \cdot h}{m^3 \cdot s}$$
$$Q_1 = 6,1462 \frac{L}{s}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación anterior para la estimación del error se tiene:

$$\Delta Q_1 = \left| \frac{\partial Q_1}{\partial k} \right| \cdot \Delta k + \left| \frac{\partial Q_1}{\partial H} \right| \cdot \Delta h + \left| \frac{\partial Q_1}{\partial n} \right| \cdot \Delta n + \left| \frac{\partial Q_1}{\partial fc_1} \right| \cdot \Delta fc_1 + \left| \frac{\partial Q_1}{\partial fc_2} \right| \cdot \Delta fc_2$$



Conociendo que los valores de k , n , fc_1 y fc_2 son valores teóricos, se desprecia el error asociado. Derivando se tiene que:

$$\Delta Q_1 = |k \cdot n \cdot (h \cdot fc_2)^{n-1} \cdot fc_1| \cdot \Delta h \quad (A.2)$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la ecuación anterior se tiene que:

$$\Delta Q_1 = \left| 2006,98 \frac{m^3}{h} \cdot 1,52491 \cdot \left(5,20 \text{ cm} \cdot \frac{1m}{100cm} \right)^{0,52491} \cdot 0,278 \frac{L \cdot h}{m^3 \cdot s} \right| \cdot 5 \cdot 10^{-4} m$$

$$\Delta Q_1 = 0,09011 \cong 0,1 \frac{L}{s}$$

Finalmente:

$$Q_1 = (6,2 \pm 0,1) \frac{L}{s}$$

1.2 Determinación del caudal en la fosa de cribado.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_2 = \frac{(\Delta H \cdot fc_2) \cdot L \cdot A}{t} \cdot fc_3 \quad (A.3)$$

Donde:

Q_2 : Caudal calculado por el método 2, ($\frac{L}{s}$)

ΔH : diferencia de altura entre el final y el inicial de la medición, (cm)

L : largo de la fosa, (m).

A : ancho de la fosa, (m).

fc_3 : Factor de conversión 3; ($1000 \frac{L}{m^3}$)

Sustituyendo el valor de la cuarta altura registrada el primer día de la semana, la cual se encuentran en la Tabla B.2, y sustituyéndolos en la ecuación, se tiene que:

$$Q_2 = \frac{\left(37,5 \text{ cm} \cdot \frac{1m}{100cm} \right) \cdot 3,7 \text{ m} \cdot 2,31 \text{ m}}{600s} \cdot 1000 \frac{L}{m^3}$$

$$Q_2 = 5,3418 \frac{L}{s}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación anterior para la estimación del error se tiene:



$$\Delta Q_2 = \left| \frac{\partial Q_2}{\partial \Delta H} \right| \cdot \Delta(\Delta H) + \left| \frac{\partial Q_2}{\partial fc_2} \right| \cdot \Delta fc_2 + \left| \frac{\partial Q_2}{\partial L} \right| \cdot \Delta L + \left| \frac{\partial Q_2}{\partial A} \right| \cdot \Delta A + \left| \frac{\partial Q_2}{\partial t} \right| \cdot \Delta t + \left| \frac{\partial Q_2}{\partial fc_3} \right| \cdot \Delta fc_3$$

Conociendo que los valores de L, A, fc_3 y fc_2 son valores teóricos, se desprecia el error asociado. Adicional a esto el error asociado al ΔH se calcula por propagación de errores, esto es la suma de las incertidumbres del error instrumental de las mediciones de altura, (0,05 cm + 0,05 cm = 0,1 cm) Derivando se tiene que:

$$\Delta Q_2 = \left| \frac{(fc_2) \cdot L \cdot A}{t} \cdot fc_3 \right| \cdot \Delta(\Delta H) + \left| -\frac{(fc_2) \cdot L \cdot A}{t^2} \cdot fc_3 \right| \cdot \Delta t \quad (A.4)$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la ecuación anterior se tiene que:

$$\Delta Q_2 = \left| \frac{\left(\frac{1m}{100cm}\right) \cdot 3,7 \text{ m} \cdot 2,31 \text{ m}}{600s} \cdot 1000 \frac{L}{m^3} \right| \cdot 0,1cm + \left| -\frac{\left(37,5cm \frac{1m}{100cm}\right) \cdot 3,7 \text{ m} \cdot 2,31 \text{ m}}{(600s)^2} \cdot 1000 \frac{L}{m^3} \right| \cdot 0,1s$$

$$\Delta Q_2 = 0,0151 \cong 0,02 \frac{L}{s}$$

Finalmente:

$$Q_2 = (5,30 \pm 0,02) \frac{L}{s}$$

1.3 Determinación de las cargas máxicas de los constituyentes del agua.

La determinación de las cargas máxicas se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$CM = Q \cdot \text{Conc. C} \cdot fc_4 \quad (A.5)$$

Donde:

CM: Carga máxica del agua, $\left(\frac{kg}{d}\right)$

Q: caudal de agua, $\left(\frac{L}{s}\right)$

Conc.C: concentración del constituyente del agua, $\left(\frac{mg}{L}\right)$

fc_4 : Factor de conversión 4, $\left(0,0864 \frac{kg \cdot s}{mg \cdot d}\right)$

Sustituyendo el valor medio de la concentración de fósforo total, el cual se observa en la tabla B.5, y el valor de caudal promedio que se encuentra en la Tabla 4.1, se tiene que:



$$CM = 5,8 \frac{L}{s} \cdot 1,60 \frac{mg}{L} \cdot 0,0864 \frac{kg \cdot s}{mg \cdot d}$$

$$CM = 0,801 \frac{kg}{d}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación anterior para la estimación del error se tiene:

$$\Delta CM = \left| \frac{\partial CM}{\partial Q} \right| \cdot \Delta Q + \left| \frac{\partial CM}{\partial Conc. C} \right| \cdot \Delta Conc. C + \left| \frac{\partial CM}{\partial fc_4} \right| \cdot \Delta fc_4$$

Conociendo que el valor de fc_4 es un valor teórico, se desprecia el error asociado. Derivando se tiene que:

$$\Delta CM = |Conc. C \cdot fc_4| \cdot \Delta Q + |Q \cdot fc_4| \cdot \Delta Conc. C \quad (A.6)$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la ecuación anterior se tiene que:

$$\Delta CM = \left| 0,801 \frac{mg}{L} \cdot 0,0864 \frac{kg \cdot s}{mg \cdot d} \right| \cdot 0,2 \frac{L}{s} + \left| 5,8 \frac{L}{s} \right| \cdot 0,0864 \frac{kg \cdot s}{mg \cdot d} \cdot 0,06 \frac{mg}{L}$$

$$\Delta CM = 0,0439 \cong 0,04 \frac{kg}{d}$$

Finalmente:

$$CM = (0,80 \pm 0,04) \frac{kg}{d}$$

El error final asociado fue calculado mediante minitab 16 como “error estándar de la media” de todos los valores calculados y promediados de carga másica, finalmente se obtiene:

$$CM = (1,3 \pm 0,2) \frac{kg}{d}$$

El mismo procedimiento se realizó para la concentración media de nitrógeno.

1.4 Cálculo de la carga másica requerida de macronutrientes.

El cálculo para la dosificación de acuerdo a las especificaciones del productor Stimulus 7174 es la siguiente:

$$D-N = \frac{((0,05 \cdot Q \cdot fc_5 \cdot DBO) - (Q \cdot fc_5 \cdot N \cdot NH_4 afl.))}{Factor N} \quad (A.7)$$

Donde:



D-N: dosis de nitrógeno requerida, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)$

Q: caudal afluente, $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$

DBO: demanda biológica de oxígeno en el afluente, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

N-NH₄afl.: nitrógeno como amonio en el afluente, $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

Factor N: factor del compuesto asociado al nitrógeno, (0,151 Adim.)

fc₅: factor de conversión 5, $\left(24 \frac{\text{h}}{\text{d}}\right)$

Sustituyendo los valores de nitrógeno y DBO, los cuales se encuentran en la Tabla 4.10 y el valor de caudal promedio que se encuentra en la Tabla 4.1, se tiene que:

$$D-N = \frac{\left(\left(0,05 \cdot 20,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 2,329 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) - \left(20,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 0,0203 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \right)}{0,151}$$

$$D-N = 319,066 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación anterior para la estimación del error se tiene:

$$\Delta D-N = \left| \frac{\partial D-N}{\partial Q} \right| \cdot \Delta Q + \left| \frac{\partial D-N}{\partial \text{DBO}} \right| \cdot \Delta \text{DBO} + \left| \frac{\partial D-N}{\partial \text{N-NH}_4\text{afl.}} \right| \cdot \Delta \text{N-NH}_4\text{afl.}$$

Derivando se tiene que:

$$\Delta D-N = \left| \frac{fc_5(0,05 \cdot \text{DBO} - \text{N-NH}_4\text{afl.})}{\text{Factor N}} \right| \cdot \Delta Q + \left| \frac{0,05 \cdot Q \cdot fc_5}{\text{Factor N}} \right| \cdot \Delta \text{DBO} + \left| \frac{-Q \cdot fc_5}{\text{Factor N}} \right| \cdot \Delta \text{N-NH}_4\text{afl.} \quad (\text{A.8})$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la ecuación anterior se tiene que:

$$\Delta D - N = \left| \frac{24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \left(0,05 \cdot 2,329 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0,0203 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{0,151} \right| \cdot 0,72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + \left| \frac{0,05 \cdot 20,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}}}{0,151} \right| \cdot 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$+ \left| \frac{-20,88 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}}}{0,151} \right| \cdot 5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta D-N = 13,0408 \cong 10 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Finalmente:

$$\Delta D-N = (320 \pm 10) \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$



El mismo procedimiento se realizó para la dosificación de fósforo, resultando:

$$\Delta D \cdot P = (253 \pm 3) \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

1.5 Determinación del ajuste del caudal de la bomba dosificadora.

$$Q_{\text{bomba}} = \frac{D \cdot N}{\rho} \cdot fc_6 \quad (\text{A. 9})$$

Donde:

Q_{bomba} : caudal de la bomba de dosificación de nutrientes, $\left(\frac{\text{L}}{\text{h}}\right)$

ρ : densidad del compuesto Stimulus 7174, $\left(1160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

fc_6 : factor de conversión 6, $\left(\frac{1000}{24} \cdot \frac{\text{L} \cdot \text{d}}{\text{m}^3 \cdot \text{h}}\right)$

Sustituyendo los valores CM calculados en el objetivo 5 y el valor de la densidad de Stimulus, se tiene que:

$$Q_{\text{bomba}} = \frac{320 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{1160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{1000}{24} \cdot \frac{\text{L} \cdot \text{d}}{\text{m}^3 \cdot \text{h}}$$

$$Q_{\text{bomba}} = 11,4943 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Aplicando el método de las derivadas parciales a la ecuación anterior para la estimación del error se tiene:

$$\Delta Q_{\text{bomba}} = \left| \frac{\partial Q_{\text{bomba}}}{\partial D \cdot N} \right| \cdot \Delta D \cdot N + \left| \frac{\partial Q_{\text{bomba}}}{\partial \rho} \right| \cdot \Delta \rho$$

Derivando se tiene que:

$$\Delta Q_{\text{bomba}} = \left| \frac{1}{\rho} \cdot fc_6 \right| \cdot \Delta D \cdot N + \left| \frac{-1}{\rho^2} \cdot fc_6 \right| \cdot \Delta \rho \quad (\text{A. 10})$$

Sustituyendo los valores correspondientes a la ecuación anterior, y despreciando el valor del error de la densidad, por ser un valor teórico se tiene que:

$$\Delta Q_{\text{bomba}} = \left| \frac{1}{1160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{1000}{24} \cdot \frac{\text{L} \cdot \text{d}}{\text{m}^3 \cdot \text{h}} \right| \cdot 30 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\Delta Q_{\text{bomba}} = 1,077 \cong 1 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$



Finalmente:

$$\Delta Q_{\text{bomba}} = (12 \pm 1) \frac{L}{h}$$

1.6 Determinación del costo de la implementación del proyecto.

$$C = C_E + C_I \quad (\text{A.11})$$

(Cohen, 2006)

Donde:

C: Costos de la implementación del proyecto (Bs)

C_E : Costo del equipo y de instalación (Bs)

C_I : Costos de contenedores, kits antiderrames y oilskimmer (Bs)

Mediante los valores proporcionados por la cotización realizada por parte de Grupo Veninco, C.A., se calcula el costo de la implementación:

$$C = 52.160 \text{Bs} + 460.140 \text{Bs}$$

$$C = 512.300 \text{Bs}$$

1.7 Determinación de los beneficios por la reducción de consumo del agua de proceso.

$$B_{\text{RAP}} = \%R \cdot C_{\text{AA}} \cdot \%A_{\text{PTEI}} \cdot C_{\text{ATL}} \quad (\text{A.13})$$

(Perry, 2008)

Donde:

$\%R$: % de reducción del consumo de agua de proceso por tonelada de producto (%)

C_{AA} : Cantidad de agua consumida en el FY'11 (m^3)

$\%A_{\text{PTEI}}$: Porcentaje de agua enviada a PTEI (%)

C_{ATL} : Costo aproximado del volumen de efluente industrial tratado (Bs/m^3)

Sustituyendo el valor de porcentaje de agua enviada a PTEI $\%A_{\text{PTEI}} = 48\%$ proporcionados por la Gerencia Integral de Seguridad Salud y Medio Ambiente (GISSMA), se tiene que:

$$B_{\text{RAP}} = 12\% \cdot 348.000 \text{m}^3 \cdot 48\% \cdot 20 \frac{\text{Bs}}{\text{m}^3}$$

$$B_{\text{RAP}} = 400.896 \text{Bs}$$



1.8 Determinación de los beneficios por ahorros legales.

$$B_{AL}=M_{VI}+M_{DP} \quad (A.14)$$

(Perry, 2008)

Donde:

M_{VI} : multa de vertido ilícito 1500 UT(Bs)

M_{DP} : multa por mala disposición de desechos peligrosos 5000 UT (Bs)

Sustituyendo los valores de las multas en UT para vertido ilícito y mala disposición de desechos peligrosos, las cuales se encuentran en la Ley Penal del ambiente, se tiene que:

$$B_{AL}=(1.500 \text{ UT}+ 5.000\text{UT}) \cdot \frac{90\text{Bs}}{1\text{UT}}$$

$$B_{AL}=585.000 \text{ Bs}$$

1.9 Determinación de los beneficios producidos por la implementación del proyecto.

$$B= B_{RAP}+ B_{AL} \quad (A.15)$$

(Cohen, 2006)

B: Beneficios producidos por la implementación del proyecto (Bs)

B_{RPA} : Beneficio de reducción del agua de proceso (Bs)

B_{AL} : beneficio por ahorros legales (Bs)

Ya calculados los beneficios de ahorro legal y reducción del agua de proceso, se calcula los beneficios producidos por la implementación del proyecto:

$$B= 400.896 \text{ Bs}+ 585.000 \text{ Bs}$$

$$B= 985.896\text{Bs}$$

1.10 Determinación de la relación costos – beneficios.

$$R_{B-C}=\frac{B}{C} \quad (A.16)$$

(Giugni, 1997)

Donde:

R_{B-C} : Relación costo – beneficios del proyecto (Adim.)



Seguidamente, se calcula la relación Beneficio – Costo, de la implementación del proyecto.

$$R_{B-C} = \frac{985.896 \text{ Bs}}{512.300 \text{ Bs}}$$

$$R_{B-C} = 1,92 \text{ Adim.}$$



APÉNDICE B. TABLA DE DATOS

En esta sección, se muestran las tablas de los datos tomadas para las caracterizaciones del efluente industrial, en la semana de muestreo.

TABLA B.1
MEDICIONES A ESCALA PILOTO MEDIANTE EL MÉTODO 2.

Fecha	Cod.	Altura inicial ($H_i \pm 0,05$)cm	Altura final ($H_f \pm 0,05$)cm	Diferencia de altura ($\Delta H \pm 0,1$)cm	Caudal Q-0 ($Q \pm 0,02$)L/s
24/01/12	P1	254,3	216,5	37,8	5,38
	P2	267	238,6	28,4	4,05
	P3	265,6	212,8	52,8	7,52
	P4	298,7	270,0	28,7	4,09
	P5	315,7	264,8	50,9	7,25
24/01/12	P6	231,3	202,5	28,8	4,10
	P7	248	198,3	49,7	7,08
	P8	315,6	277,5	38,1	5,43
	P9	294,5	238,4	56,1	7,99
	P10	305,4	273,0	32,4	4,62

TABLA B.2
RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN CAMPO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS CAUDALES

-	<i>Canal Parshall-Entrada</i>		<i>Fosa receptora de efluentes industriales</i>			<i>Salida de PTEI</i>	
Cod.	Nivel ($\Delta H \pm 0,05$)cm	Caudal Q-1 ($Q_1 \pm 0,1$) L/s	Altura inicial ($H_i \pm 0,05$)cm	Altura final ($H_f \pm 0,05$)cm	Diferencia de altura ($\Delta H \pm 0,1$)cm	Caudal Q-2 ($Q_2 \pm 0,02$)L/s	Caudal Q-3 ($Q_3 \pm 0,1$)L/s
L1	4,60	5,1	237,20	199,60	37,6	5,36	5,4
L2	5,20	6,1	228,00	181,80	46,2	6,58	6,8

**TABLA B.2 (CONTINUACIÓN)**

L3	5,00	5,8	315,60	273,40	42,2	6,01	5,8
L4	4,60	5,1	246,80	209,30	37,5	5,34	5,5
L5	4,00	4,1	229,80	199,80	30,0	4,27	5,1
L6	4,50	4,9	263,00	223,00	40,0	5,70	4,8
m1	4,80	5,4	249,70	210,00	39,7	5,66	5,6
m2	5,50	6,7	297,00	246,10	50,9	7,25	4,9
m3	4,30	4,6	293,00	255,00	38,0	5,41	5,6
m4	5,10	6,0	242,90	198,80	44,1	6,28	5,9
m5	3,50	3,4	279,10	251,40	27,7	3,95	4,1
m6	3,80	3,8	256,50	225,00	31,5	4,49	4,9
M1	4,00	4,1	315,00	284,60	30,4	4,33	5,6
M2	4,90	5,6	290,50	246,60	43,9	6,25	4,9
M3	4,50	4,9	278,50	242,30	36,2	5,16	4,8
M4	4,30	4,6	305,40	271,20	34,2	4,87	5,3
M5	4,60	5,1	303,10	261,80	41,3	5,88	4,9
M6	5,00	5,8	289,00	246,00	43,0	6,13	5,2
J1	5,20	6,1	297,00	251,50	45,5	6,48	6,5
J2	5,00	5,8	296,40	252,50	43,9	6,25	3,9
J3	4,10	4,3	317,80	286,30	31,5	4,49	4,3
J4	4,60	5,1	314,00	275,20	38,8	5,53	7,6
J5	5,40	6,5	304,50	252,20	52,3	7,45	6,2
J6	5,40	6,5	293,30	246,20	47,1	6,71	7,3
V1	5,60	6,9	317,50	262,60	54,9	7,82	5,9
V2	5,00	5,9	284,20	240,00	44,2	6,30	6,2
V3	5,00	5,8	305,50	264,00	41,5	5,91	5,8
V4	4,80	5,4	304,00	262,80	41,2	5,87	6,1
V5	4,50	4,9	295,40	260,50	34,9	4,97	7,3
V6	5,30	6,3	294,00	245,70	48,3	6,88	5,6

*Los códigos de cada medición están ordenados cronológicamente, siendo L: lunes, m: martes, M: miércoles, J: jueves y V: viernes.

**El tiempo de acumulación del método para las mediciones de Q-2 fue de (600,00±0,01) s.

**TABLA B.3****VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CAMPO CARACTERIZADOS EN P-1**

PARÁMETRO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
(pH±0,01) Adim.	7,23	6,85	5,40	5,86	5,21
	6,82	5,61	5,30	6,23	6,10
	6,84	5,85	6,63	6,52	6,58
	6,05	6,05	7,20	6,42	5,13
	7,12	5,87	6,90	6,40	4,66
Temperatura (T ± 0,1) (°C)	29,1	29,0	30,1	29,4	29,5
	29,5	27,5	32,0	30,5	30,1
	28,6	26,8	30,6	31,2	30,6
	31,7	32,6	27,0	30,6	31,2
	32,5	31,4	28,9	32,6	31,0
(OD ± 0,01) (mg/L)	3,02	2,10	3,85	4,56	4,23
	3,10	3,57	4,04	3,51	4,12
	2,94	2,36	3,20	4,23	3,65
	2,95	2,20	4,12	3,85	2,60
	2,89	2,31	2,56	4,23	3,68

TABLA B.4**VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CAMPO CARACTERIZADOS EN A-1**

PARÁMETRO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
(pH ±0,01) Adim.	6,28	6,23	5,86	6,02	5,35
	6,35	5,75	5,25	6,45	6,12
	6,28	5,79	5,70	6,66	6,91
	6,05	5,90	6,92	6,45	5,55
	6,90	6,10	7,15	6,90	4,82
Temperatura (T ± 0,1) (°C)	29,8	30,5	29,0	28,6	28,6
	28,6	29,6	31,0	29,0	31,2
	29,5	30,0	28,9	29,8	30,0
	30,1	32,4	27,6	29,8	29,2
	31,6	31,0	29,0	32,9	29,8
(OD ± 0,01) (mg/L)	2,35	2,26	3,52	3,98	4,12
	2,82	3,42	3,68	2,98	3,96
	3,05	2,20	3,40	3,65	3,85
	1,98	2,15	3,12	3,58	2,23
	2,98	1,96	2,90	4,15	3,45



TABLA B.5
VALORES DE LOS CONSTITUYENTES FÍSICO-QUÍMICOS DURANTE LA
SEMANA DE MUESTREO

PARÁMETRO	punto	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
DQO(mg/L)	P-1	4520	5860	3140	4120	4360
DQO(mg/L)	A-1	3660	4320	2960	3650	3890
N total(mg/L)		20,4	21,3	11,3	12,0	18,5
P total(mg/L)		3,20	3,22	1,79	1,57	3,00
SST(mg/L)		256	312	263	270	268

TABLA B.6
VALORES DEL ENSAYO DE OXIGENO DISUELTO, PH Y TEMPERATURA EN
EL LODO ACTIVADO

Tiempo (t ± 0,01)s	pH (pH±0,01) Adim.	Oxígeno disuelto (OD ± 0,01) mg/L	Temperatura (Temp± 0,1)°C
0	7,34	0,33	25,1
30,00	7,36	0,31	25,1
60,00	7,41	0,15	25,1
90,00	7,41	0,10	25,2
120,00	7,42	0,08	25,2
150,00	7,44	0,07	25,3
180,00	7,46	0,07	25,3
210,00	7,47	0,06	25,3
240,00	7,48	0,06	25,3
270,00	7,49	0,06	25,3
300,00	7,49	0,06	25,3
330,00	7,49	0,06	25,3
360,00	7,50	0,06	25,3
390,00	7,51	0,05	25,3
420,00	7,53	0,05	25,3
450,00	7,53	0,05	25,3
480,00	7,54	0,05	25,3
510,00	7,54	0,05	25,3
540,00	7,55	0,05	25,3
570,00	7,56	0,05	25,3
600,00	7,57	0,05	25,3

APÉNDICE C. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección, se muestran las tablas y figuras teóricas, que fueron utilizadas como apoyo, para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.

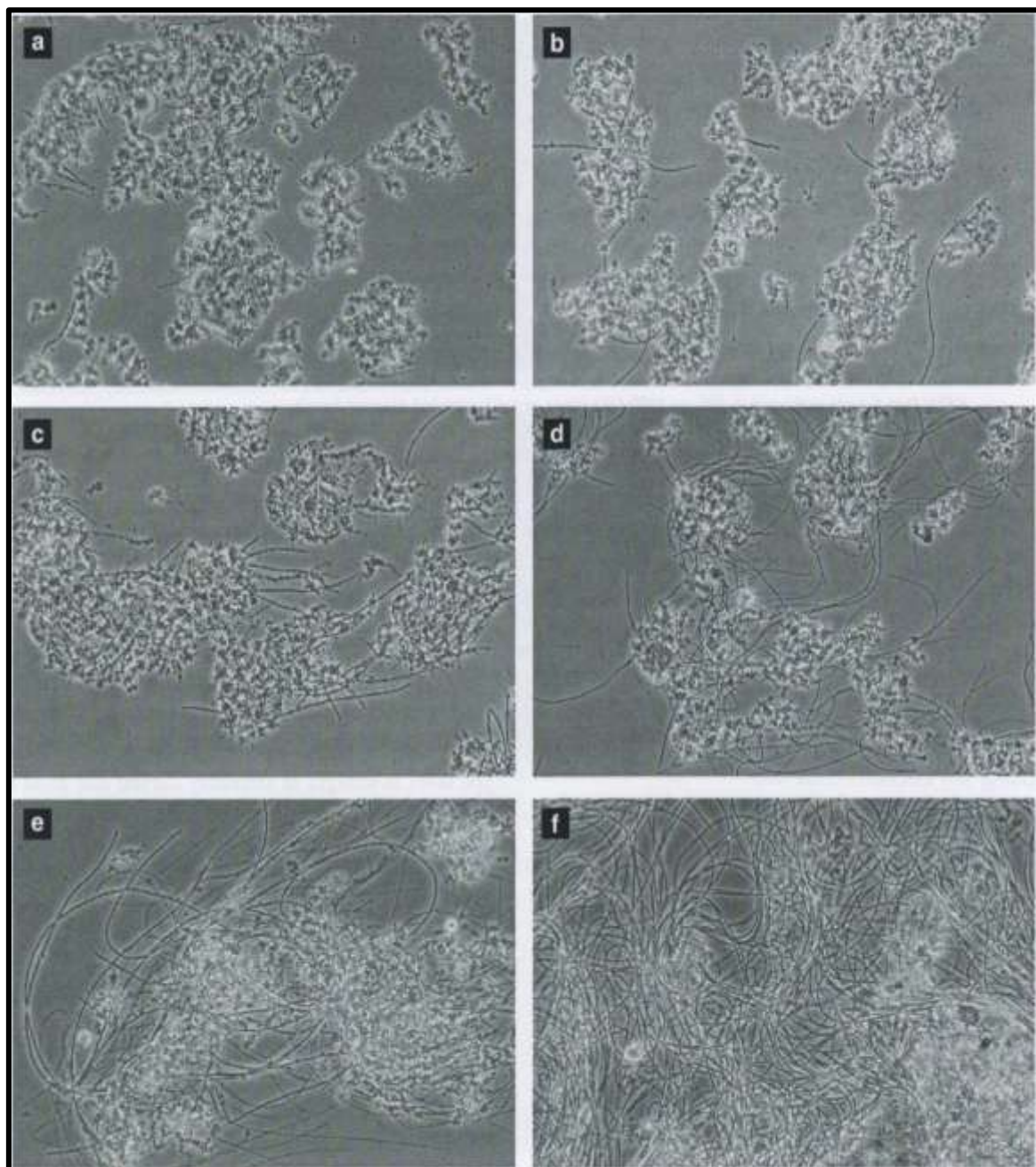


Figura C.1. Grado de bacterias filamentosas (Jenkins, 1993).

(a) Pocos, (b) Algunos, (c) Común, (d) Abundantes, (e) Muy Comunes, (f) Excesivos

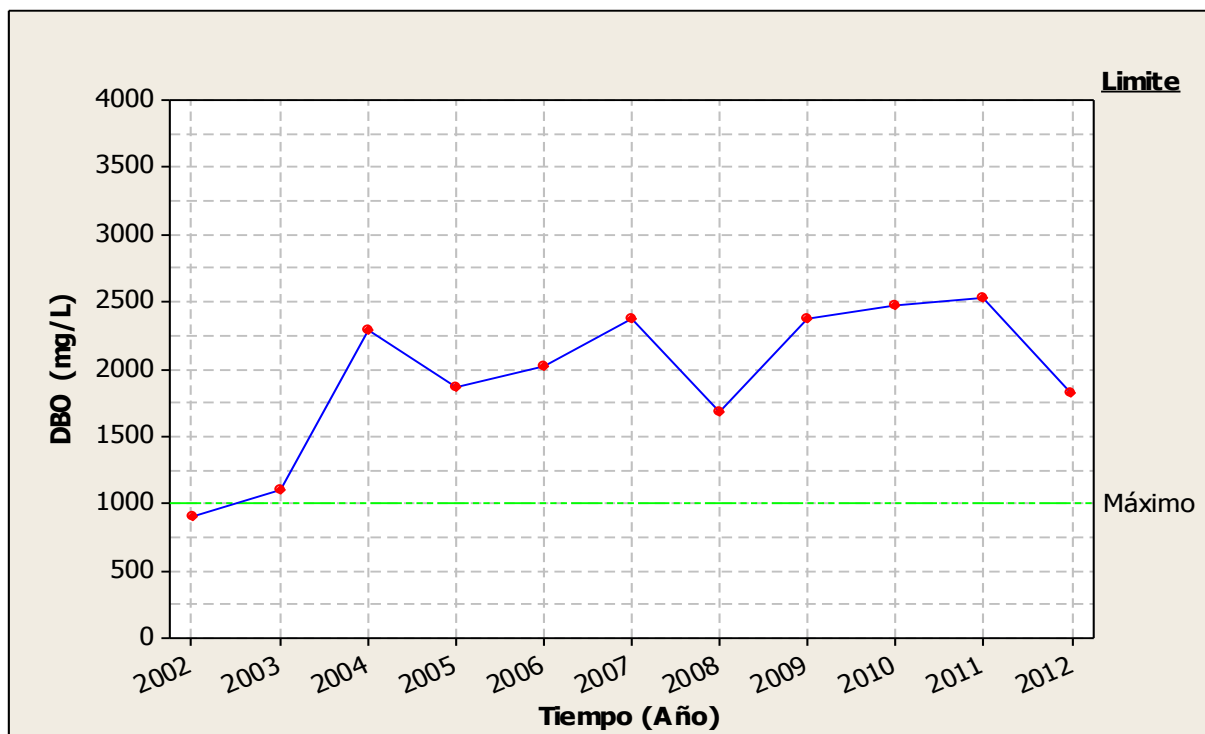


Figura C.2. Registro histórico del DBO en el afluente de PTEI Heinz (Informe de Gestión PTEI Heinz).

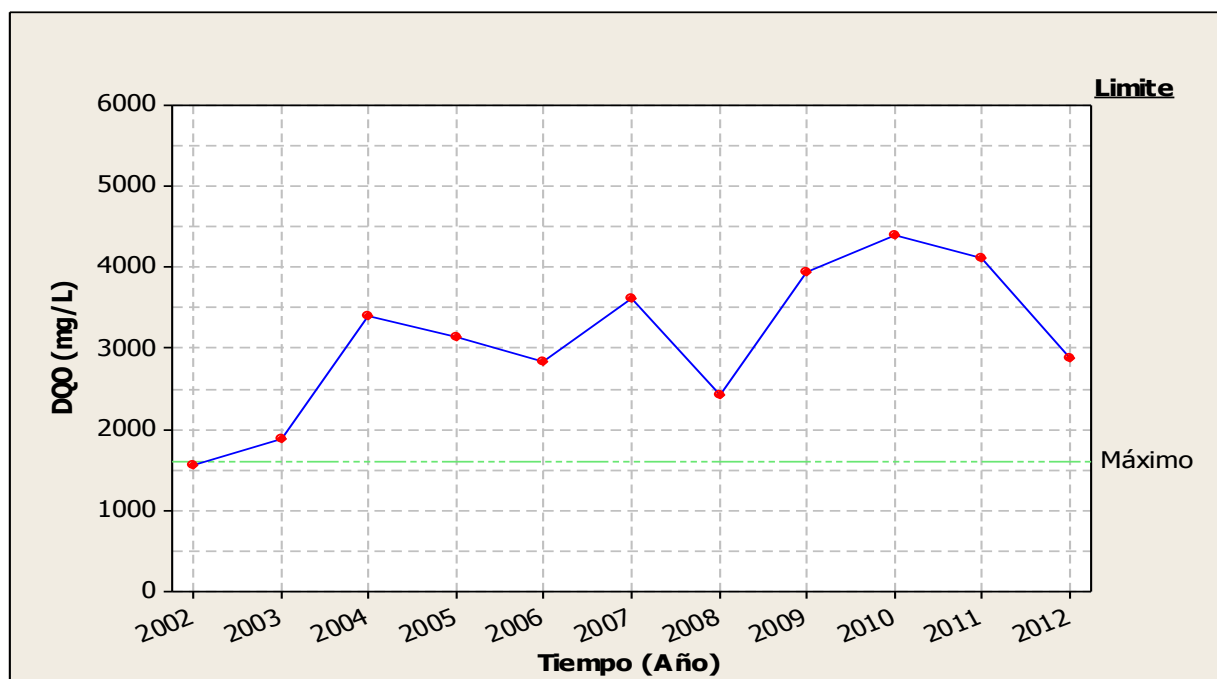


Figura C.3. Registro histórico del DBO en el afluente de PTEI Heinz (Informe de Gestión PTEI Heinz).

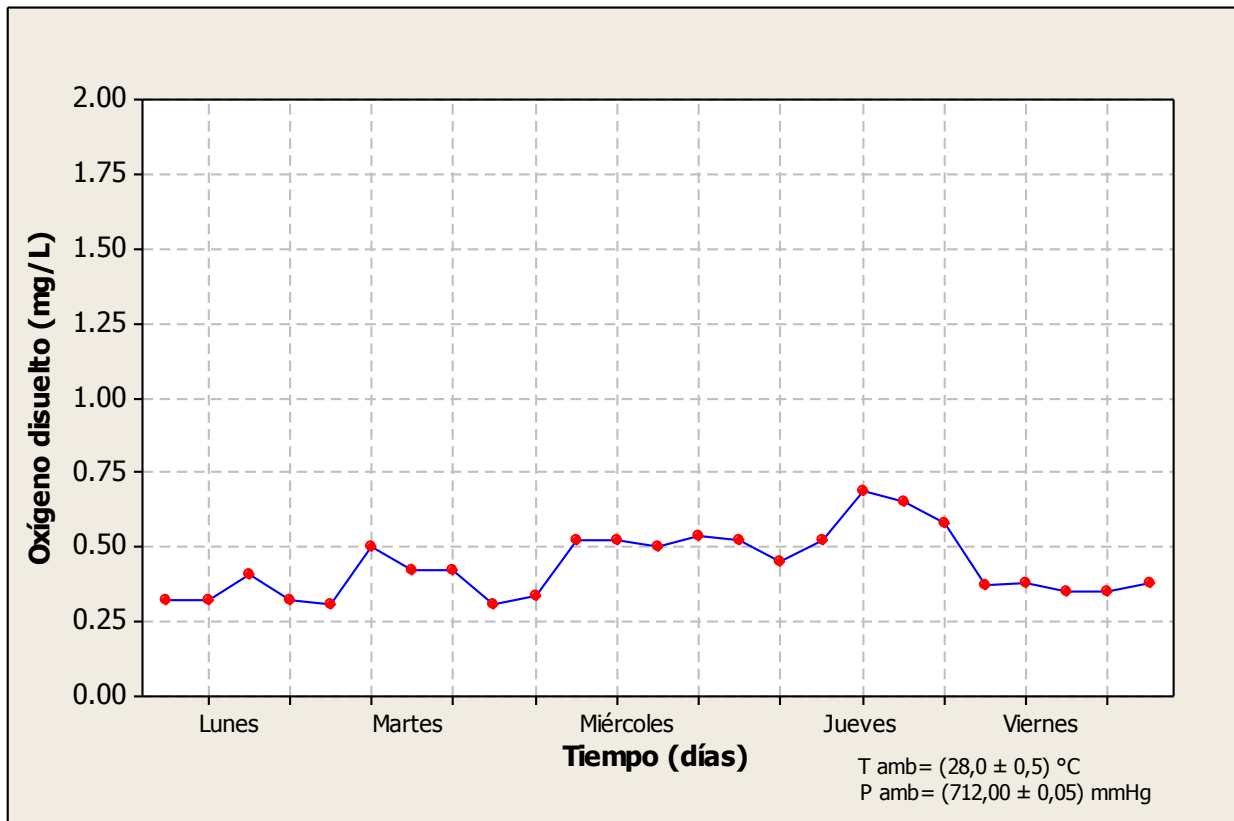


Figura C.4. Registro de concentraciones de oxígeno disuelto dentro del reactor de PTEI Heinz.



Tabla C.1. Caudales y factores típicos empleados para el proyecto y explotación de plantas de tratamiento de aguas residuales (Metcalf, 1996).

Factor	Aplicación
Basado en el caudal	
Hora punta	Dimensionamiento de las instalaciones de bombeo y de las conducciones; dimensionamiento de rejas. Dimensionamiento de las operaciones físicas unitarias; desarenadores, tanques de sedimentación, y filtros; tanques de cloración.
Máximo diario	Dimensionamiento del bombeo de fangos.
Mayor que el máximo diario	Almacenamiento de arenas y residuos eliminados en el proceso de tamizado.
Máximo semanal	Elaboración de registros de datos e informes.
Máximo mensual	Elaboración de registros de datos e informes; dimensionamiento de los depósitos de almacenamiento de los productos químicos.
Mínimo horario	Paro de los grupos motobombas y valor inferior del intervalo de medida del caudalímetro de la planta.
Mínimo diario	Dimensionamiento de los canales de interconexión, para evitar la deposición de sólidos; dimensionamiento de los sistemas de recirculación para filtros percoladores.
Mínimo mensual	Elección del número mínimo de unidades de proceso necesarias durante los períodos de caudales reducidos.



Tabla C.2. Tabla de conversión de especies químicas (Hach Company, 2007).

To Convert From...	To...	Multiply By...
mg/L Al	mg/L Al ₂ O ₃	1.8895
mg/L B	mg/L H ₃ BO ₃	5.7
mg/L Ca-CaCO ₃	mg/L Ca	0.4004
mg/L CaCO ₃	mg/L Ca	0.4004
mg/L CaCO ₃	mg/L Mg	0.2428
µg/L Carbohydrazide	µg/L Hydroquinone	1.92
µg/L Carbohydrazide	µg/L ISA	2.69
µg/L Carbohydrazide	µg/L MEKO	3.15
mg/L Cr ⁶⁺	mg/L CrO ₄ ²⁻	2.231
mg/L Cr ⁶⁺	mg/L Na ₂ CrO ₄	3.115
mg/L Mg-CaCO ₃	mg/L Mg	0.2428
mg/L Mn	mg/L KMnO ₄	2.876
mg/L Mn	mg/L MnO ₄ ⁻	2.165
mg/L Mo ⁶⁺	mg/L MoO ₄ ²⁻	1.667
mg/L Mo ⁶⁺	mg/L Na ₂ MoO ₄	2.146
mg/L N	mg/L NH ₃	1.216
mg/L N	mg/L NO ₃ ⁻	4.427
mg/L Na ₂ CrO ₄	mg/L Cr ⁶⁺	0.321
mg/L Na ₂ CrO ₄	mg/L CrO ₄ ²⁻	0.72
mg/L NH ₂ Cl-N	mg/L Cl ₂	5.0623
mg/L NH ₂ Cl-N	mg/L NH ₂ Cl	3.6750
mg/L NH ₃ -N	mg/L NH ₃	1.216
mg/L NH ₃ -N	mg/L NH ₄ ⁺	1.288
mg/L NO ₂ ⁻	mg/L NaNO ₂	1.5
mg/L NO ₂ ⁻	mg/L NO ₂ ⁻ -N	0.3045
mg/L NO ₂ ⁻ -N	mg/L NaNO ₂	4.926
µg/L NO ₂ ⁻ -N	µg/L NaNO ₂	4.926
mg/L NO ₂ ⁻ -N	mg/L NO ₂ ⁻	3.284
µg/L NO ₂ ⁻ -N	µg/L NO ₂ ⁻	3.284
mg/L NO ₃ ⁻ -N	mg/L NO ₃ ⁻	4.427
mg/L PO ₄ ³⁻	mg/L P	0.3261
µg/L PO ₄ ³⁻	µg/L P	0.3261
mg/L PO ₄ ³⁻	mg/L P ₂ O ₅	0.7473
µg/L PO ₄ ³⁻	µg/L P ₂ O ₅	0.7473
mg/L SiO ₂	mg/L Si	0.4674
µg/L SiO ₂	µg/L Si	0.4674



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL	22
1.1.2 SITUACIÓN DESEADA	23
1.3 OBJETIVO GENERAL	23
1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS	24
1.5 JUSTIFICACIÓN	24
1.6 LIMITACIONES.....	25
CAPÍTULO II.....	26
MARCO REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1. ANTECEDENTES	26
2.2. BASES TEÓRICAS.....	29
2.2.1. AGUAS RESIDUALES	29
2.2.2. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.....	29
2.2.2.1. AGUAS RESIDUALES URBANAS.....	29
2.2.2.2. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	30
2.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	30
2.2.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	30
2.2.3.1.1. TEMPERATURA	31
2.2.3.1.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS	31
2.2.3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	31
2.2.3.2.1. ACIDEZ	32
2.2.3.2.2. pH	32
2.2.3.2.3. NITRÓGENO	32
2.2.3.2.4. FOSFATOS	33
2.2.3.2.5. OXÍGENO DISUELTO (OD).....	33



2.2.3.2.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	33
2.2.3.2.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	34
2.2.3.2.8. GRASAS Y ACEITES	35
2.2.3.3. ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD	35
Fuente: Ramalho, 1983.	36
2.2.4. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	36
2.2.5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	37
2.2.5.1. TRATAMIENTO PRIMARIO	37
2.2.5.1.1. CRIBADO.....	37
2.2.5.1.2. NEUTRALIZACIÓN EN EL CAMPO DE LOS TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	38
2.2.5.1.3. HOMOGENIZACIÓN	39
2.2.6. NECESIDADES DE NUTRIENTES Y DE FACTORES DE CRECIMIENTO	39
2.2.7. LA NUTRICIÓN BACTERIANA Y LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICOS.....	40
2.2.8. PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.....	40
2.2.8.1. LODOS ACTIVADOS POR AIREACIÓN EXTENDIDA.....	41
2.2.8.2. MICROBIOLOGÍA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	41
2.2.8.2.1. BACTERIAS.....	42
2.2.8.2.2. BACTERIAS FLOCULANTES.....	42
2.2.8.2.3. BACTERIAS FILAMENTOSAS.....	43
Fuente: Gerardi, 2006	43
2.2.8.2.4. <i>BULKING</i> FILAMENTOSO O HINCHAMIENTO DE LODOS..	44
2.2.9. MEDICIÓN DE FLUJO	46
2.2.9.1. EL ELEMENTO PRIMARIO DEL MEDIDOR DE FLUJO	46
2.2.9.2. ELEMENTOS SECUNDARIOS DEL MEDIDOR DE FLUJO	46
2.2.9.3. ELEMENTO TERCIARIO	47
2.2.9.4. IMPORTANCIA DEL ELEMENTO PRIMARIO EN LA MEDICIÓN DEL FLUJO	47
2.2.9.5. LA EXACTITUD DE UN MEDIDOR DE FLUJO	47



2.2.10. CAUDALÍMETROS EN CANAL ABIERTO - CANAL DE AFORO PARSHALL.....	48
2.2.10. CONCEPTOS ESTADÍSTICOS.....	49
2.2.10.1. MEDIA.....	49
Figura 2.3. Datos simétricos	50
Figura 2.4. Datos asimétricos	50
2.2.10.2. VARIANZA.....	50
2.2.10.3. DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	51
2.2.10.4. INTERVALO DE CONFIANZA.....	53
2.2.10.5. ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA (MEDIA DEL ERROR ESTÁNDAR).....	54
2.2.10.6. MARGEN DE ERROR	54
2.2.10.7 PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	55
2.2.10.8 ERROR TIPO I Y II.....	56
2.2.10.9 ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVO	57
2.2.10.10. TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ESTIMACIÓN.....	58
2.2.10.11. DISTRIBUCIÓN NORMAL.....	59
2.2.10.11.1. PRUEBA DE NORMALIDAD	59
2.2.10.11.2. TÉCNICA GRÁFICA	60
2.2.10.12. VALOR P	60
2.2.10.13 PRUEBA DE ANDERSON-DARLING.....	61
2.2.10.14. ESTADÍSTICO DE ANDERSON-DARLING.....	62
2.2.10.15. PROMEDIO MÓVIL	63
2.2.10.16. PRUEBA t DE 2 MUESTRAS	63
CAPÍTULO III	65
MARCO METODOLÓGICO.....	65
3.1 DESARROLLO SISTEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN	65
3.1.1 Realización de un diagnóstico de los procesos y redes de generación de efluentes que llegan a la planta de tratamiento.	65
3.1.2 Caracterización de los efluentes que llegan a la planta de tratamiento.	69
3.1.2.1 Mediciones de caudal	69



3.1.2.2 Evaluación y determinación de caudales	72
3.1.2.2 Muestreo de las características físico-químicas de los efluentes industriales.....	74
3.1.3 Planteamiento de alternativas que permitan implementar un sistema de medición de caudal de entrada de la planta de tratamiento.	89
3.1.4. Selección de la alternativa que más se ajuste a los requerimientos apoyados en criterios de comparación técnicos y económicos.....	91
3.1.5. Determinación de las modificaciones y/o ajustes necesarios para mejorar el tratamiento biológico.....	93
3.1.5.1. Ajuste de dosificación de macronutrientes.....	93
3.1.5.2. Modificación del formato de control de proceso	96
3.1.6 Elaboración de un plan de acción preventivo y correctivo para casos eventuales de derrames de aceite y grasas en los procesos de manufactura.....	98
3.1.7 Determinar la relación costo-beneficio de la implementación del proyecto.	101
3.1.7.1 Determinación del costo de la implementación del proyecto.....	101
3.1.7.2 Determinación de los beneficios producidos por la implementación del proyecto.	101
3.1.7.3. Determinación de los beneficios por la reducción del consumo de agua de proceso.	102
3.1.7.4. Determinación de los beneficios por ahorros legales.....	102
3.1.7.5. Determinación de la relación costos – beneficios.....	102
CAPITULO IV.....	103
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	103
4.1 Realización de un diagnóstico de los procesos y redes de generación de efluentes que llegan a la planta de tratamiento.	103
4.2. Caracterización de los efluentes que llegan a la planta de tratamiento.....	107
4.2.1 Evaluación y determinación de los caudales.....	107
4.2.1.1 Análisis estadístico de caudales	109
4.2.2 Evaluación y determinación de las cargas contaminantes.....	118
4.2.2.1 Variaciones en las concentraciones de los constituyentes del agua	118
4.2.2.2 Determinación de las cargas máxicas en el afluente de PTEI.	128



4.3	Plantear alternativas que permitan implementar un sistema de medición de caudal de entrada de la planta de tratamiento.....	129
4.3.1	Alternativa I: Adquisición de un sistema ultrasónico para medición del nivel del flujo en el Parshall-Flume dispuesto en la línea principal de efluentes industriales.....	132
4.3.2	Alternativa II: Adquisición de un medidor de desplazamiento a barra de torsión en el Parshall-Flume dispuesto en la línea principal de efluentes industriales.....	134
4.4	Selección de la alternativa que más se ajuste a los requerimientos apoyados en criterios de comparación técnicos y económicos.	135
4.5	Determinar las modificaciones y/o ajustes necesarios para mejorar el tratamiento biológico.....	139
4.5.1	Ajuste de la dosificación de macronutrientes.....	139
4.5.3	Modificación del formato de control de proceso.....	144
4.6	Elaborar un plan de acción preventivo y correctivo para casos eventuales de derrames de aceites y grasas en los procesos de manufactura.....	151
4.7	Determinar la relación costo-beneficio de la implementación del proyecto. ...	159
	CONCLUSIONES.....	162
	RECOMENDACIONES.....	166
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	167
	APENDICES	169
	APÉNDICE A. CÁLCULOS TÍPICOS.....	169
	APÉNDICE B. TABLA DE DATOS.....	178
	APÉNDICE C. TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS.....	182



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1.....	20
LISTA DE ETAPAS Y EQUIPOS DE PTEI HEINZ	20
TABLA 2.1.....	36
RANGOS DEL ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD SEGÚN EL TIPO DE AGUA RESIDUAL.....	36
TABLA 2.2.....	43
BACTERIAS FILAMENTOSAS PREDOMINANTES EN EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.	43
TABLA 2.3.....	45
TIPOS DE FLÓCULO BIOLÓGICO Y SUS EFECTOS SOBRE EL SISTEMA.....	45
TABLA 3.1.....	69
PUNTOS DE MEDICIÓN PARA LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS CORRESPONDIENTES.....	69
TABLA 3.2.....	72
VARIABLES DE PLANIFICACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	72
Tabla 3.3.....	75
Puntos de medición seleccionados para el muestreo	75
Tabla 3.4.....	77
Captación, preservación y manejo de las muestras basado en la norma COVENIN 2709:2002	77
Tabla 3.5.....	79
VARIABLES DE PLANIFICACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL MUESTREO.....	79
Tabla 3.6.....	80
Métodos estandarizados en la fase de caracterización del efluente.....	80
TABLA 3.7.....	100
ENCUESTA REALIZADA A LOS TRABAJADORES DE LAS DISTINTAS ÁREAS DE MANIPULACIÓN DE ACEITES Y GRASAS	100
Tabla 4.1.....	112
Registro de caudales medios, máximos y mínimos semanales	112
Tabla 4.2.....	116
Líneas de producción operativas durante la semana de recolección de datos para la determinación	116
de caudales	116
TABLA 4.3.....	118
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN OPERATIVAS DURANTE LA SEMANA DE MUESTREO.....	118
TABLA 4.4.....	124



ANÁLISIS DURANTE LA CAPTACIÓN DE LAS MUESTRAS	124
Tabla 4.5.....	128
Cargas máxicas medias del afluente de PTEI Heinz.....	128
Tabla 4.6.....	135
Ventajas y desventajas de cada una las propuestas.....	135
Tabla 4.6 (<i>Continuación</i>).....	136
Ventajas y desventajas de cada una las propuestas.....	136
Tabla 4.7.....	138
Matriz de selección para la escogencia de la alternativa más favorable para el mejoramiento del	138
tratamiento de agua.....	138
TABLA 4.8.....	139
DATOS DEL HISTÓRICOS DEL %BIODEGRADABILIDAD DEL AFLUENTE DE PTEI HEINZ	139
TABLA 4.8 (<i>Continuación</i>).....	140
DATOS DEL HISTÓRICOS DEL %BIODEGRADABILIDAD DEL AFLUENTE DE PTEI HEINZ	140
TABLA 4.9.....	142
CONCENTRACIONES ESTIMADAS DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	142
TABLA 4.10.....	142
RELACIÓN DE MACRONUTRIENTES	142
TABLA 4.11.....	152
RESPUESTAS COMUNES DADAS POR EL PERSONAL	152
ENCUESTADO.....	152
TABLA 4.12.....	153
TABLA DE PORCENTAJES DE LAS RESPUESTAS.....	153
DE LAS ENCUESTAS.....	153
TABLA 4.13.....	157
PLAN DE ACCIÓN PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA DERRAMES	157
TABLA 4.14.....	158
PLAN DE ACCIÓN PREVENTIVO Y CORRECTIVO PARA DERRAMES	158
DE ACEITES Y GRASAS (CONTINUACIÓN)	158
TABLA 4.15.....	159
COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	159
TABLA 4.16.....	160
SANCIONES ESTABLECIDAS EN LA LEY	160
PENAL DEL AMBIENTE	160
TABLA 4.17.....	161



BENEFICIOS PRODUCIDOS POR LA IMPLEMENTACIÓN	161
DEL PROYECTO	161
TABLA 4.18.....	161
BENEFICIO TOTAL Y RELACIÓN BENEFICIO-COSTO	161
TABLA B.1	178
MEDICIONES A ESCALA PILOTO MEDIANTE EL MÉTODO 2.....	178
Tabla B.2	178
Resultados de las mediciones en campo para la obtención de los caudales	178
Tabla B.2 (<i>Continuación</i>).....	179
TABLA B.3	180
VALORES DE los parámetros de campo caracterizados EN P-1	180
TABLA B.4	180
VALORES DE los parámetros de campo caracterizados EN A-1	180
TABLA B.5	181
VALORES DE LOS CONSTITUYENTES FÍSICO-QUÍMICOS DURANTE LA SEMANA DE MUESTREO	181
TABLA B.6	181
VALORES DEL ENSAYO DE OXIGENO DISUELTO, pH Y TEMPERATURA EN EL LODO ACTIVADO	181
Tabla C.1. Caudales y factores típicos empleados para el proyecto y explotación de plantas de tratamiento de aguas residuales (Metcalf, 1996).	185
Tabla C.2. Tabla de conversión de especies químicas (Hach Company, 2007).....	186



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vista satelital de Alimentos Heinz, C.A. (Google Earth®, 2011)	18
Figura 1.2 Diagrama de flujo simple de PTEI Heinz.....	21
Figura 1.3. Diagrama de PTEI Heinz.....	21
Figura 2.2. Canal de aforo Parshall.	49
Figura 2.3. Datos simétricos.....	50
Datos simétricos: la media (línea rosada) se ubica cerca del centro de la distribución, convirtiéndose en una representación adecuada del centro.	50
Figura 2.4. Datos asimétricos.....	50
Datos asimétricos: la media (línea rosada) se desplaza hacia la cola más pesada, por lo cual no debería considerarse realmente como una representación del centro.	50
Figura 2.5. Ejemplo de varianza.....	51
Figura 2.6. Ejemplo de desviación estándar.	52
Figura 2.7. Intervalo de confianza.....	54
Figura 2.8. Gráfica de probabilidad de datos normales.....	61
Figura 2.9. Gráfica de probabilidad de datos no normales.....	61
Figura 3.1. Derrame de agua en el pasteurizador de Kétchup Galón.....	66
Figura 3.2. Bomba centrífuga de recirculación averiada.....	66
Figura 3.3. Intercambiadores de calor tubo y coraza, zona de preparación de vinagre y salsas negras.	67
Figura 3.4. Condiciones de sobrecarga del reactor biológico operando.	68
Figura 3.7. Croquis de ubicación de los puntos de muestreo y parámetros medidos	76
Figura 3.8. Homogenización de muestra en la plancha de agitación magnética	81
Figura 3.9. Preparación de muestras y blancos a digerir en el reactor DRB200.....	81
Figura 3.10. Digestión de la muestra y blanco por 2 horas.	82
Figura 3.11. Medición de DQO con el colorímetro DR890 Hach.	82
Figura 3.12. Medición de pH de una muestra individual P-1.....	84
Figura 3.13. Agitación de muestra para medición de SST.	87
Figura 3.14 Medición conjunta de OD, pH y temperatura.	88
Figura 3.15. Layout de la empresa que identifica las zonas que laboran con aceite y grasas.....	99
Figura 4.1. Imagen del plano de drenaje industrial de Alimentos Heinz, C.A.	103
Figura 4.2. Imagen del modelado en 3D del sistema de drenaje.....	104
Figura 4.3. Resultado de la ejecución de las propuestas del diagnóstico	105
Figura 4.4. Densidad de bacterias filamentosas observadas en el lodo activado.....	106
Figura 4.5 Gráfica de probabilidad para caudales de estudio piloto Q-0.	108
Figura 4.6 Gráfica de probabilidad de la distribución de los datos de caudales Q-1	110
Figura 4.7 Gráfica de probabilidad de la distribución de los datos de caudales Q-2.....	110
Figura 4.8 Gráfica de probabilidad de la distribución de los datos de caudales Q-3.....	111
Figura 4.10. Gráfica de caudal Q-1 y Q-2 en función del tiempo.....	114



Figura 4.11. Gráfica de serie de tiempo de los caudales Q-2 y Q-3	115
Figura 4.13 Gráfica de la variación de pH durante la semana de muestreo.	120
Figura 4.14 Gráfica de la variación de pH y OD sin aireación en función del tiempo...	121
Figura 4.15 Gráfica de la variación de temperatura durante la semana de muestreo..	122
Figura 4.16 Gráfica de la variación de oxígeno disuelto durante la semana de muestreo.	123
Figura 4.17 Variaciones en la concentración de DQO en el efluente industrial (P-1) y el afluente (A-1) de PTEI Heinz.	125
Figura 4.18 Variaciones en la concentración de SST y DQO en el afluente de PTEI Heinz.....	126
Figura 4.19 Variaciones en la concentración de macronutrientes en el afluente de PTEI Heinz.....	127
Figura 4.20 Análisis estadístico para una prueba t de 2 muestras.....	130
Figura 4.21. Representación gráfica del planteamiento de la alternativa I.	133
Figura 4.22. Medidor de desplazamiento a barra de torsión instalado en canaleta parshall-flume	134
Figura 4.23. Representación gráfica de la distribución de los datos de DBO.	140
Figura 4.24. Representación gráfica de la distribución de los datos de DQO.....	141
Figura 4.25. Formato físico de control de proceso modificado.	145
Figura 4.26. Pantalla inicial del formato digital.....	146
Figura 4.27. Pantalla de registro de análisis y control operativo.....	147
Figura 4.28. Selección de análisis de laboratorio.....	148
Figura 4.29. Evaluación del estado de los equipos en PTEI.	148
Figura 4.31 Reporte semanal digital de control de proceso.....	150
Figura 4.32. Cuadro de selección de las gráficas de los parámetros físico-químicos	150
Figura 4.33. Ejemplificación gráfica del formato digital control de proceso.	151
Figura 4.34. Registro de control en caso de derrames de aceites y grasas.....	155
Figura 4.35. Esquema de control de acciones en caso de derrames de aceites y grasas.	156
Figura 4.36 Diagrama representativo de la reducción del consumo de agua	160
Figura C.1. Grado de bacterias filamentosas (Jenkins, 1993).....	182
Figura C.2. Registro histórico del DBO en el afluente de PTEI Heinz (Informe de Gestión PTEI Heinz).....	183
Figura C.4. Registro de concentraciones de oxígeno disuelto dentro del reactor de PTEI Heinz.....	184