



**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS QUÍMICA Y MECÁNICA
UNIVERSIDAD DE MATANZAS CAMILO CIENFUEGOS**

TRABAJO DE DIPLOMA

Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua de la Empresa “Jovel”.

**Tesis presentada como requisito parcial para optar por el Título
de Ingeniero Químico**

Autora: Yirka Elena Gil Corcho.

Tutores: Dr.C Yamilé Martínez Ochoa
Ing. Silvia Betancourt Miguel

Consultante: Ing. Gilberto Denis Cabrera.

Matanzas, 2010

NOTA DE ACEPTACIÓN

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

TRIBUNAL

TRIBUNAL

**Matanzas, Junio de 2010.
"Año 52 la Revolución".**

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy la única autora del presente Trabajo de Diploma y autorizo a la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos a hacer uso del mismo para posteriores investigaciones.

Yirka Elena Gil Corcho.

PENSAMIENTO

“Soñar con cosas imposibles se llama utopía; luchar por objetivos no sólo alcanzables, sino imprescindibles para la supervivencia de la especie, se llama realismo”.

Fidel Castro Ruz.

DEDICATORIA

A mí adorada hija, por ser lo más grande de mi vida:

Adriana Guerra Gil

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer:

- En primer lugar a mi madre y abuela, que con sus sabios consejos, ayuda y amor infinitos han sabido guiarme por el mejor camino. A ellas les debo todo lo que soy.
- A mi padre, a mi hermano y a toda mi familia que me han apoyado en todo momento.
- A mi amigo y compañero de mi vida que me apoyó, ayudó y estuvo a mi lado desde el comienzo de mi carrera: Abraham Guerra Tarifa.
- A mis tutores por su paciencia y dedicación, sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo, en especial Yamilé Martínez Ochoa, le agradezco sinceramente por todo el apoyo y dedicación que me brindó para poder desarrollar esta tarea y por contribuir a mi formación como profesional. Sin ella no hubiese sido posible la realización de este trabajo.
- Al Ingeniero Roilán Eduardo Rabilero, por su apoyo a lo largo de la ejecución de este estudio a modo de un verdadero tutor, por su dedicación incondicional y su ayuda durante todo este período que me sirvió de mucho para la continuidad de mi carrera.
- A la Ingeniera Milisleidy por toda la ayuda que me brindó y por su amistad incondicional.
- A los ingenieros Esteban Martínez y Raydel Lima (Jefe de la planta de estudio), y Pedro Pablo (técnico de mantenimiento de dicha planta), por sus atenciones para conmigo.
- A mis profesores, en especial al Dr.C. Agustín Benítez por su valiosa ayuda a lo largo de toda mi carrera.
- A todos mis compañeros de aula.
- A mi amiga que siempre me apoyó y confió en mí, Daymí Sánchez Rangel.
- A todas las personas que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo.

A todos ustedes,

MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN

El presente trabajo de diploma, se realiza en la planta de tratamiento de aguas residuales de Suchel Lever que radica en la Empresa Jovel, carretera central Km 157 Jovellanos Matanzas.

Esta planta vierte su efluente hacia el manto freático, el cual sin un tratamiento adecuado al presentar una reducción significativa de lodo en el sistema, es una de las causas fundamentales de contaminación ambiental. Para el desarrollo de la investigación, se caracteriza el afluente y efluente de la planta de tratamiento en estudio tanto químico como biológico, demostrando mediante una prueba de hipótesis que la comparación de la corriente de salida del sistema de tratamiento cumple con los parámetros establecidos para el vertimiento, se evalúa el reactor biológico en el cual se determina un bajo porcentaje de recirculación con respecto al necesario para su funcionamiento adecuado y se fija la dosis que se debe emplear de cloruro férrico en el tratamiento de las aguas residuales industriales, mediante un método a escala de laboratorio “Jar Test”, demostrando posteriormente un ahorro económico del reactivo con respecto al empleado en dicha planta de estudio.

ABSTRACT

The present diploma work is carried out in the residual waters treatment plant of Suchel Lever that Jovel resides in the company, highway central Km 157 Jovellanos Matanzas.

This plant pours toward the phreatic mantel, which without an appropriate treatment when presenting a significant reduction of mud in the system, it is one of the fundamental causes of environmental contamination. For the development of the investigation, it is characterized the tributary and outlet of the treatment plant in study so much chemical as biological, demonstrating by means of a hypothesis test that the comparison of the current of exit of the treatment system fulfills the established parameters for the spill, the biological reactor is evaluated in the which a low recirculation percent is determined with regard to the necessary one for its appropriate operation and it notices the dose that should be used of ferric chloride in the treatment of the industrial residual waters, by means of a method to laboratory scale "Jar Test", demonstrating an economic saving of the reagent later on with regard to the employee in this study plant.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Introducción	1
Capítulo 1. Análisis bibliográfico	4
1.1 Aguas residuales. Clasificación y composición.	4
1.1.1 Composición de las aguas residuales.	6
1.2 Selección de los procesos de tratamiento y secuencia de operaciones.	9
1.3 Tipos de tratamientos.	11
1.4 Lodos activados.	18
1.4.1 Principio de funcionamiento de lodos activados.	18
1.4.2 Microorganismos que forman parte de los lodos activados.	20
1.4.2.1 Efecto del lodo activado joven sobre el tratamiento.	20
1.4.2.2 Efecto del lodo activado viejo sobre el tratamiento.	21
1.4.3 Condiciones óptimas de operación de los sistemas de lodos activados.	22
1.5 Conclusiones parciales.	23
Capítulo 2. Materiales y métodos.	24
2.1 Descripción de la planta en estudio.	25
2.2 Evaluación de la planta de tratamiento.	27
2.2.1 Análisis cuantitativo de las corrientes residuales de la planta de tratamiento de aguas.	28
2.2.2 Análisis cualitativo de las corrientes residuales de la planta de tratamiento de aguas.	30
2.2.3 Evaluación del reactor biológico en la planta de tratamiento de aguas residuales.	36
2.3 Dosis de FeCl_3 (ac) (Cloruro de Hierro III) necesario para promover la coagulación, presente en el tratamiento químico-físico.	39
Capítulo 3. Análisis y resultados.	43

3.1 Descripción del proceso tecnológico de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de la empresa Jovel.	43
3.2 Evaluación de la planta de tratamiento.	46
3.2.1 Análisis cuantitativo.	46
3.2.2 Análisis cualitativo.	49
3.2.2.1 Determinación de la eficiencia de la planta. Comportamiento.	55
3.2.2.2 Valoración de la calidad del agua tratada para su posible vertimiento.	61
3.2.3 Evaluación del reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales.	63
3.3 Determinación de la dosis de coagulante.	65
3.4: Conclusiones parciales.	71
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Bibliografía	74
Anexos	

INTRODUCCIÓN

El género humano está siendo bombardeado continuamente por los medios de comunicación (periódicos, radio, TV) con la terrible idea de que la humanidad está trabajando efectivamente para su autodestrucción, a través de procesos sistemáticos de contaminación del medio ambiente, con el fin de conseguir un progreso material. (...) la corrección de la contaminación no es un problema técnico de gran dificultad comparado con otros. Esencialmente el conocimiento técnico básico requerido para resolver el problema de la contaminación está a disposición del hombre. (Rodier, 1989)

La complejidad y exigencias actuales del desarrollo económico y social reorientado hacia actividades que producen impacto ambiental significativo; han impuesto la necesidad del fortalecimiento institucional para la atención y control de la política ambiental del país. Es por eso que la política ambiental cubana se ha proyectado a través de una estrategia ambiental para el desarrollo sostenible, basada en la continuidad y perfeccionamiento de los objetivos iniciales del proceso. La estrategia cubana para el desarrollo sostenible es, en esencia, una estrategia de continuidad. El estado cubano ha declarado la soberanía nacional sobre los recursos naturales y ha promovido un activo proceso de recuperación y protección de estos, el cual tiene por centro al hombre y la satisfacción integral de las necesidades materiales, educacionales, culturales y estéticas e incorpora a toda la sociedad en la atención de los problemas ambientales. (Gutiérrez, 1996; Pichardo, 1997 y Llenez, 1999)

La coyuntura actual demanda una concepción integral del desarrollo sostenible entendido como un proceso donde las políticas de desarrollo económico, científica-tecnológica, fiscales, de comercio, energía, agricultura, industria, entre otras, se entrelazan con las exigencias de la protección del medio ambiente y el uso de los recursos naturales en un marco de justicia y equidad social. (Díaz, 1999 y Fernández, 1999)

Las afectaciones a los ecosistemas, la pérdida de la diversidad biológica, la acumulación de sedimentos, la proliferación excesiva de algas y macrofitas, las afectaciones a la calidad de vida del hombre y la fauna, el incremento de enfermedades transmisibles producidas por bacterias, virus y parásitos, el incremento de enfermedades no transmisibles debido a la contaminación química de las aguas por metales pesados, plaguicidas y otras sustancias tóxicas, la salinización y degradación de los suelos y las afectaciones a diferentes actividades económicas están dadas en gran medida por los efectos de la contaminación de las aguas.

Los principales contaminantes de las aguas superficiales y subterráneas son: materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos, metales pesados, hidrocarburos, sales, sustancias químicas de diversa índole, calor y organismos patógenos. Su comportamiento en las aguas depende, entre otras cuestiones, de sus características y las del cuerpo receptor. (Gómez, 1999 y Citma, 2002)

Como parte del contrato de asociación entre la Unión Suchel y Unilever, se producen para el mercado en divisas jabones de tocador, de lavar, champúes y acondicionadores para el cabello, cremas y geles dentales, desodorantes y detergentes líquidos y en polvo. Toda esta producción variada, genera residuales industriales, producto de las limpiezas que se realizan en los diferentes sectores de fabricación.

El impacto de estos residuales industriales es particularmente severo, en específico, los que contienen metales pesados y sustancias químicas orgánicas, debido a la persistencia de estos contaminantes, a sus efectos dañinos, a bajas concentraciones y a su capacidad para entrar en la cadena alimentaria. Con vistas a mejorar esta situación se aplican tecnologías con el fin de purificar corrientes de desechos industriales. Las tecnologías convencionales se basan en procesos de tratamientos químicos, físicos y biológicos cuyas bases conceptuales se establecieron a comienzos del siglo pasado y se ponen en práctica en muchas industrias, demostrando en muchos casos la efectividad del tratamiento. (Davis, et al. 1985)

La depuración de las aguas por un sistema de lodos activados considera, la aireación del residual por un período de tiempo significativo, la separación de los sólidos suspendidos del residual líquido al finalizar la etapa de aireación, la descarga de la fracción líquida como efluente del sistema y la recirculación de parte de todos los sólidos separados al tanque de aireación donde se mezclan con el afluente. La concentración de sustrato del agua residual, decrece con el tiempo conforme dicha materia orgánica se oxida. La concentración de los sólidos suspendidos volátiles en el reactor aumenta al principio durante el período en que una concentración sustancial del sustrato se encuentra presente para proporcionar alimentación abundante y mantener el crecimiento de microorganismos, correspondiendo este crecimiento a nuevas síntesis de nuevas células de microorganismos, después de un determinado tiempo cuando la concentración de sustrato ha disminuido considerablemente, no hay suficiente alimento para mantener su crecimiento. (ARBOLEDA, 2000 y Benítez, 2005)

Por lo general, pueden afectar el sistema varios factores simultáneamente; los más comunes son las deficiencias nutricionales en el afluente, las variaciones bruscas de pH, la carga

orgánica inadecuada, el bajo contenido de oxígeno disuelto, tiempos de residencia medio celular e hidráulicos no apropiados, la recirculación no ajustada. (Brizuela, 1987)

Con respecto al análisis teórico de lo anterior expuesto se puede plantear que existe un mal funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Jovel, el cual puede conllevar a la contaminación ambiental, trayendo consigo, que después de un año de trabajo la planta no tenga suficiente lodo (reduciendo el rendimiento biomasa sustrato), el mismo puede deberse a la ausencia de materia orgánica que a su vez trae consigo el decrecimiento de los microorganismos. Si esta situación continuase, todo lo que quedaría de la célula sería un residuo orgánico relativamente estable. Este proceso general de disminución neta de la masa celular se denomina respiración endógena de la biomasa presente.

Esta situación permite declarar como **Problema** a resolver el siguiente:

Existe una reducción significativa de los volúmenes de lodos en el reactor biológico con respecto a los parámetros de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Jovel.

De ahí que se declare la siguiente **Hipótesis**:

Con una caracterización de las corrientes y una evaluación del reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Jovel, se puede determinar la causa de su funcionamiento inadecuado.

Es por todo lo expuesto que se propone como **Objetivo** el siguiente:

Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Jovel.

Para dar cumplimiento al objetivo se realizarán las siguientes tareas:

- Realización de una búsqueda bibliográfica sobre los siguientes temas:
 - ✓ Aguas residuales. Clasificación y composición.
 - ✓ Selección de los procesos de tratamiento y secuencia de operaciones.
 - ✓ Tipos de tratamientos
 - ✓ Principio de funcionamiento de Lodos Activados.
- Descripción de la planta de tratamiento en estudio.
- Caracterización de las corrientes residuales de la planta de tratamiento.
- Evaluación del reactor biológico en la planta de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

En este capítulo se pretende que el lector conozca a través de una revisión bibliográfica los contenidos relacionados con el tratamiento de aguas residuales, ya que conocer al respecto es de gran importancia para proteger el medio ambiente, se abordará lo referente a: clasificación y composición de las aguas residuales, selección de los procesos de tratamiento y secuencia de operaciones, tipos de tratamientos y el principio de funcionamiento de lodos activados.

1.1 Aguas residuales. Clasificación y composición.

Las actividades propias de la vida del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas generan grandes volúmenes de aguas residuales. Parte de estos residuos son materias que consumen o demandan oxígeno para su oxidación, como la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos. La materia orgánica biodegradable y algunas sales inorgánicas son nutrientes para los microorganismos. Las aguas residuales son aguas que ven alterada su composición inicial como consecuencia de los distintos usos que el hombre hace de este recurso. Se pueden definir como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias, como instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf - Eddy, 2003 y Hierro, 2005).

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes. El hombre utiliza el agua en muchas actividades, desde usos industriales hasta las de aseo diario, dando lugar a variaciones importantes en su composición. Surge así la necesidad de clasificar las aguas según su origen y su composición para facilitar un óptimo transporte y método de depuración (Rodier, 1989 y Alós, 1997)

En función de su origen se clasifican en:

- Aguas residuales industriales.
- Aguas residuales domésticas.
- Aguas residuales de infiltración y pluviales.

Alós (1997) y Degrémont (1991), coinciden en que las aguas residuales industriales son las procedentes de las diferentes actividades industriales. Su volumen y composición no puede

estimarse de forma general, ya que dependen del tipo de industria. Hay industrias que introducen sustancias tóxicas en sus aguas residuales, pudiendo afectar al proceso de depuración. Por ello, es aconsejable que las aguas residuales industriales se depuren independientemente de las aguas residuales urbanas, o bien que lleguen a las estaciones depuradoras tras un tratamiento previo. En otras ocasiones, cuando la composición de las aguas residuales es similar a la de las aguas residuales urbanas, estas se tratan conjuntamente.

Los residuales de la industria van a depender de la materia prima que procesan, del producto final que en ellas se produce y de la tecnología que utilizan. Teniendo en cuenta esto, en las aguas residuales industriales se pueden encontrar diferentes residuos químicos como solventes, detergentes, hidrocarburos, etc., como resultado de las operaciones que en ellos se realizan (Terry, et al. 2006).

Hierro (2005) da una nueva clasificación para las aguas residuales según su origen que son las provenientes de procesos de infiltración y de eventos meteorológicos y las denomina como aguas de infiltración y pluviales.

Los volúmenes de aguas residuales que se generan en la actualidad imposibilitan la autodepuración en los ríos, por lo cual se hace imprescindible la depuración artificial que consiste en una implicación en tiempo y espacio de la autodepuración (Ramalho, 1996).

Entre los contaminantes presentes en el agua residual se pueden encontrar microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales. También suele contener nutrientes que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas, y puede incluir también compuestos tóxicos (Metcalf - Eddy, 1995 y Pan, 2003).

Las aguas residuales pueden clasificarse también como biodegradables (aquellas cuyo contenido puede ser degradado por vía biológica) y no biodegradables (las que no se degradan biológicamente), aunque en la realidad es difícil encontrar aguas totalmente biodegradables o no biodegradables (Terry, et al. 2006 y Méndez, et al. 2006).

Teniendo en cuenta su composición, los residuales pueden clasificarse en:

Residuales orgánicos:

- Pecuarios.
- Domésticos.

- De la industria alimenticia.

Residuales inorgánicos:

- De la industria de materiales de la construcción.
- De la industria electrónica.
- De talleres galvánicos.

1.1.1 Composición de las aguas residuales.

Los principales componentes disueltos en el agua residual son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio. Las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales. Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables. Las aguas residuales están constituidas por materia orgánica en forma suspendida, coloidal y disuelta. (TCHOBANOGLIOUS, 1995)

Las sustancias que se pueden encontrar en las aguas residuales son:

- Materias grasas flotantes: Grasas, aceites, hidrocarburos alifáticos, alquitranes, etc.
- Sólidos en suspensión: Arenas, óxidos, hidróxidos, pigmentos, fibras etc.

La carga contaminante de estas aguas puede ser expresada en función de la contribución per cápita. La demanda bioquímica de oxígeno, contenido de sólidos y el gasto de agua per cápita que normalmente se reporta en la literatura varía de un país a otro, de una zona o región a otra e incluso con el tiempo en una misma localización. Esto está, por supuesto, en función de los hábitos alimentarios, de las costumbres y condiciones higiénico-sanitarias de la población.

Las concentraciones medias aproximadas de los constituyentes físicos, químicos y biológicos más importantes en el agua residual sin tratar de origen doméstico, según Hierro (2005) se presenta en el Anexo 1 (composición típica del agua residual doméstica no tratada según criterios de varios autores).

Los residuales líquidos industriales se caracterizan por la diversidad de corrientes con diferencias en su composición y concentración. Una misma corriente puede presentar variaciones horarias en sus propiedades. Cuando los residuales manifiestan mucha variación en su composición se recomienda el empleo de tanques compensadores, en los cuales los

residuales se retienen durante un período en el que se llega a obtener un efluente relativamente estable.

La ecualización es un proceso muy importante para la mayoría de los sistemas de tratamiento de residuales industriales, donde se necesiten regular los flujos picos, garantizar la alimentación continua del sistema de tratamiento y prevenir los efectos de alguna descarga instantánea de sustancias tóxicas.

Las concentraciones tanto de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) como de los sólidos en suspensión en el agua residual industrial pueden variar enormemente a lo largo del día. Los problemas de las cargas contaminantes con alta variación a corto plazo, se presentan en la mayoría de los casos en plantas de tratamiento de pequeño tamaño que no tienen una capacidad de reserva adecuada para controlar las llamadas cargas de choque. (Albertson, 1995)

Cuando se van a aceptar vertidos industriales en las instalaciones municipales de recogida y tratamiento, debe prestarse especial atención a la estimación de las características del agua residual y de los caudales resultantes. Además debería procederse a una evaluación de lo que pueden significar las futuras modificaciones que pueden originar, en los correspondientes vertidos. (Metcalf - Eddy, 1995).

Las aguas de origen industrial varían su contenido físico-químico en buena medida de acuerdo con el tipo de industria que se trate, pero en general presenta el problema de la acidez y la alcalinidad, alta temperatura, grandes niveles de grasa y aceites, metales pesados, una gran demanda química de oxígeno (DQO) para la oxidación de materia química, sólidos disueltos y suspendidos, de ahí que los métodos para tratar este tipo de agua sean muy diversos y se investigue constantemente para desarrollar formas más avanzadas, especialmente dirigidas al menor consumo de energía y productos químicos, así como al ahorro de espacios en las instalaciones, además de minimizar el impacto ambiental de los residuales y su disposición en cuerpos de agua, cursos naturales, capas freáticas (infiltración) o para su posterior uso en riegos agrícolas u otros usos.

En la industria, las aguas residuales que se descargan contienen una gran variedad de sustancias. Las diferencias en la cantidad de aguas residuales que producen las mismas, en alguna medida sujetas también a considerables fluctuaciones diarias y horarios, tiene las siguientes causas: (Hernández, 1998)

- Diferencias según el tipo de industria.
- Diferentes materiales básicos: la materia prima pura o contaminada, los productos semiacabados en diferentes etapas de procesamiento o preparación producen diferentes cantidades de aguas residuales.
 - Diferentes procesos de fabricación.
 - El tamaño de la planta.
 - Modo de operación: la uniformidad en la cantidad de aguas residuales y su composición durante el período de un día o el de una semana, se verá afectada por la periodicidad con que se está trabajando y por las características individuales de quienes operan la planta.
 - Actividades temporales.
 - Diferencias en el suministro de energías.
 - Condiciones locales.
 - Usos de sistemas de recirculación dentro de la planta.
 - Variación de la producción: muy pocas industrias de procesamiento se limitan a fabricar un solo producto, generalmente es imposible establecer exactamente la necesidad de agua por unidad de producción basándose en las cifras de producción de las estadísticas industriales.

Con vistas a mejorar esta situación se aplican tecnologías con el fin de purificar corrientes de desechos industriales. Las tecnologías convencionales se basan en procesos de tratamientos químicos, físicos y biológicos cuyas bases conceptuales se establecieron a comienzos del siglo pasado y se ponen en práctica en muchas industrias, demostrando en muchos casos la efectividad del tratamiento, siempre y cuando se consideren los aspectos antes mencionados.

La composición de las aguas residuales se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las más comunes incluyen determinación del contenido de residuos sólidos, la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y el pH.

Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro y los suspendidos no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen en sedimentables y no sedimentables,

dependiendo del número de miligramos de sólido que se puede sedimentar en un litro de agua, en media hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral. (Metcalf - Eddy, 1995; Seoáñez, 1999)

Una estimación importante de materia orgánica se obtiene mediante los análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO). La DBO_5 es la cantidad de oxígeno empleada por los microorganismos a lo largo de un período de cinco días, para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales a una temperatura de 20 °C. La DBO_5 suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales industriales biodegradables sin tratar y tratadas. La DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica, el valor de la DQO generalmente es superior a la DBO_5 . La DQO se usa en muchos casos para medir la carga orgánica de las aguas residuales (existen algunas sustancias que no son degradables biológicamente y son oxidadas químicamente) y también en el control de las plantas de tratamiento. La relación DBO_5/DQO de las aguas residuales aporta información sobre la biodegradabilidad de las aguas. (Metcalf - Eddy, 1995)

$DBO_5/DQO > 0.5$: Aguas residuales fácilmente biodegradables.

$DBO_5/DQO < 0.5$: Aguas residuales más difícilmente biodegradables

El pH indica la acidez o la basicidad de una muestra de agua residual.

Las aguas industriales residuales contiene sustancias con grado muy diverso de contaminación, incluso dentro de una misma rama industrial, los valores pueden variar considerablemente, debido a los procesos de producción específicos o a las condiciones ambientales particulares. Por tanto, para una adecuada caracterización de los residuales de toda industria, se debe definir, ante todo, cada uno de los aspectos anteriormente planteados.

Estos residuales líquidos constituyen una fuente de contaminación muy peligrosa para el medio ambiente de no ser tratados con la debida metodología, ya sean estos tratamientos elegidos de índole físicos, químicos o biológicos. Los cuerpos receptores más sensible a esta contaminación son los ecosistemas acuáticos, es decir, ríos, mares, lagos, aguas subterráneas entre otros.

1.2 Selección de los procesos de tratamiento y secuencia de operaciones.

El tratamiento de aguas residuales se define como el conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos a que se someten las mismas para la remoción de contaminantes seleccionados y el cumplimiento de parámetros de vertimiento o rehusos, evitando afectar patrones higiénicos, ambientales, estéticos y económicos (Juárez, 2007b y Terry, et al. 2006).

Cotorruelo, (1998); Seoáñez, (1998) y Calleja, (1999), plantean que los diferentes contaminantes presentes en el agua residual se eliminan en las plantas depuradoras mediante:

➤ Medios físicos u operaciones unitarias, que comprende métodos basados en fuerzas físicas como son :

- a) Homogenización de caudales.
- b) Mezclado.
- c) Sedimentación.
- d) Flotación.
- e) Adsorción.

➤ Medios químicos o procesos unitarios, que precisan de la utilización de determinados productos químicos.

- a) Neutralización.
- b) Floculación – precipitación.
- c) Precipitación.
- d) Oxidación.
- e) Fotólisis.

➤ Medios biológicos, o procesos biológicos, que se basan en las relaciones que tienen lugar a través de organismos vivos, entre ellos se encuentran:

- a) Filtro biológico.
- b) Lagunas de aireación.
- c) Lagunas de estabilización.
- d) Lodos activados.

La secuencia, tanto de las operaciones como de los procesos, dependen de la naturaleza del agua a tratar (Alós, 1997 y Seoáñez, 1998). Si bien los principios de funcionamiento son

iguales, en las estaciones depuradas de agua residual (EDARs) se presentan en combinaciones diversas y se agrupan en tres líneas fundamentales: línea de agua, línea de fango y línea de gas. La línea de agua la constituyen los distintos tratamientos que recibe el agua desde su entrada en la estación depuradora (agua bruta) hasta su evacuación al cauce.

En la depuración de aguas residuales se originan residuos denominados fangos o lodos, que debido a su carga contaminante deben ser tratados antes de su evacuación o eliminación. A los sucesivos tratamientos que reciben estos fangos se les conoce como línea de fangos. (Ramalho, 1996).

La línea de gas es imprescindible en el caso de que los fangos sean sometidos a digestión anaerobia. El objetivo de tratamientos de aguas residuales industriales no siempre es producir un efluente de alta calidad para ser vertido a un medio receptor; muchas veces lo que se necesita es adecuar o pretratar al residual crudo para que sea descargado al alcantarillado público y asimilado por un sistema de tratamiento posterior (Terry, et al. 2006).

1.3 Tipos de tratamientos.

Una estación depuradora presenta, en general, diferentes etapas en su línea de agua, diferenciadas entre sí, por las características de las operaciones utilizadas y los objetivos perseguidos en cada uno de ellos, de ahí que se hable de tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario o avanzado. (Díaz, 1987; Metcalf - Eddy, 1995; Ramalho, 1996 y Seoáñez, 1999a). El objetivo del tratamiento es producir agua ya limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente.

Según Terry, et al. (2006) los sistemas de tratamientos se clasifican de acuerdo a diferentes criterios, tales como:

- El tipo de procesos utilizados para la remoción de los contaminantes.
- El grado de tratamiento necesario de acuerdo a los objetivos que se quieran alcanzar.

De acuerdo al tipo de procesos utilizados para la remoción de los contaminantes, los tratamientos pueden clasificarse en:

a) Tratamientos físicos

Estos son los tratamientos en los cuales predominan fuerzas físicas. Ej. Mezclado, desbaste, microtamizado, sedimentación flotación, floculación, filtración, transferencias de gases, entre otros.

b) Tratamientos químicos

Procesos unitarios en los que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas y se combinan con los tratamientos físicos para lograr los objetivos propuestos. Con la excepción de la adsorción con carbón activado. Se incluye la precipitación química, la adsorción, la desinfección, coagulación y la oxidación química, entre otros. (Dabrowski, 2001a)

c) Tratamientos biológicos

Son aquellos en que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad de los microorganismos, los cuales convierten la materia orgánica biodegradable coloidal y disuelta en gases y tejido celular.

Según la presencia o ausencia de oxígeno disuelto, los tratamientos biológicos se clasifican en: Aerobios: Condición en la que existe oxígeno molecular disponible.

Anaerobios: Condición caracterizada por la ausencia de cualquier forma de oxígeno disponible.

Los procesos biológicos anaerobios y aerobios se utilizan para tratar aguas residuales con altas concentraciones de DBO_5 . (Terry, et al. 2006).

A continuación se tratará con mayor énfasis los sistemas de lodos activados, como parte del tratamiento biológico.

De acuerdo al grado de tratamiento necesario según los objetivos que se quieran alcanzar, los tratamientos pueden clasificarse en:

a) Pretratamiento.

El pretratamiento implica la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga bien a los cuerpos receptores o para pasar a un tratamiento secundario. El objetivo es precisamente proteger los diferentes equipos y las líneas de conducción dentro de las EDARs (Ramalho, 1996)

Esta fase de la depuración incluye las operaciones destinadas a la eliminación de sólidos de alta densidad y/o tamaño que puedan producir un desgaste excesivo de los equipos por abrasión, así como posibles sedimentos en las conducciones.

El pretratamiento consta de las siguientes operaciones:

- Desbaste; elimina objetos de gran tamaño.

- Desarenado; elimina arena y sustancias en suspensión con una densidad mayor que la del agua.
- Desengrasado; elimina grasas y aceites.
- Desmenuzadores.
- Tamices.
- Cámaras de rejillas o Cribas.

b) Tratamiento primario.

Generalmente con el agua residual se transportan, objetos y constituyentes que pueden interferir en el funcionamiento normal de una estación depuradora, siendo el objetivo de este tratamiento eliminar estos residuos. Las aguas residuales que contienen elementos insolubles son sometidas a tratamientos físicos para separarlos y evitar que contaminen o dificulten posteriores etapas del tratamiento, por lo que el tratamiento primario tiene por objetivo preparar el residual para el tratamiento secundario. (Aguamarket, 2006)

Consiste en la separación de los sólidos sedimentables, de naturaleza orgánica e inorgánica, no eliminados en la etapa anterior. En muchos casos, debido a la naturaleza de las aguas residuales se requiere la utilización de productos químicos que aceleren la sedimentación. (Metcalf - Eddy, 1995).

Los procesos de sedimentación y filtración son efectivos para remover grandes cantidades de sólidos suspendidos.

El término primario se refiere a los procesos físico - químicos mediante los cuales se elimina del 40 al 60 por ciento los sólidos suspendidos en las aguas residuales. (Da Silva, 1987).

Dentro de los tratamientos primarios más utilizados se encuentran los siguientes:

- Desbaste
- Dilaceración
- Coagulación
- Cámara de arena
- Desaceitado
- Flotación
- Desgasificación

➤ Filtración

En el tratamiento primario pueden realizarse las siguientes operaciones o procesos:

- Decantación primaria; es la sedimentación de los sólidos en suspensión con densidad superior a la del agua.
- Flotación; elimina los sólidos en suspensión con una densidad inferior a la del agua.
- Coagulación-floculación; es un tratamiento químico-físico utilizado para favorecer la sedimentación de los sólidos coloidales en suspensión. Remueven metales de las corrientes de aguas residuales. Los compuestos volátiles son eliminados mediante arrastres con aire y procesos biológicos aireados. (Terry, et al. 2006). En el Anexo 2 se refleja los criterios básicos para seleccionar las operaciones y procesos unitarios apropiados para tratar aguas residuales industriales.

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo o precipitado. Se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro y aluminio.

Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

Neutralización de la carga del coloide: El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga. Se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ión coagulante. Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones bario y magnesio, bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el sodio, monovalente; y, a su vez, el hierro y aluminio, trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes. Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ión cloruro, monovalente, el sulfato, divalente, y el fosfato, trivalente.

Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido: Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación:

pH: siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Si el pH

del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran: cal viva, cal apagada, carbonato sódico, sosa cáustica y ácidos minerales.

Agitación rápida de la mezcla: Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1segundo).

Tipo y cantidad de coagulante: Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Las reacciones de precipitación que tienen lugar con cada coagulante son las siguientes: sulfato de aluminio (también conocido como sulfato de alúmina), sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico.

c) Tratamiento secundario.

Se realiza para eliminar la materia orgánica biodegradable no sedimentable así como otros contaminantes, mediante el crecimiento de microorganismos que se alimentan de materia orgánica que a su vez originan nuevos microorganismos que luego son separados y con éstos, se logra la remoción de varios contaminantes. Este es un sistema controlado de autodepuración de las aguas, que puede estar constituido por un tratamiento químico, un tratamiento biológico o una combinación de ambos, en dependencia de las características del agua residual a tratar. El tratamiento secundario, es el principal dentro de la planta, es decir donde se logra la mayor remoción de los contaminantes.

Algunos autores plantean que el tratamiento secundario más empleado es el tratamiento biológico, que consta de los siguientes procesos: (Aguamarket, 2006).

- Remoción biológica: se basa en provocar el desarrollo de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica, transformándolo en materia mineral insoluble fácil de retirar por decantación.
- Decantación secundaria.

El tratamiento biológico se basa en el uso de microorganismos que descomponen y asimilan las sustancias presentes en el agua residual y reducen la cantidad de materia orgánica en la misma. (Aguamarket, 2006).

El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor (Juárez, 2007a).

Terry, et al. (2006), plantea que el tratamiento biológico puede realizarse por diferentes tecnologías como son los lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, sistemas de lagunas facultativas y aerobias y sedimentación secundaria. Suele incluir la desinfección.

A continuación se explican algunos elementos de estos tratamientos:

Lodos activados

Los sistemas de lodos activados son procesos aeróbicos en el que partículas gelatinosas de lodos quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas flóculos, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. Los lodos degradan la materia orgánica reduciendo la contaminación del agua. La reducción de la DBO₅ fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento. (Juárez, 2007a).

Filtro de percolador

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir alrededor de un 85% la DBO₅. (Juárez, 2007a).

Estanque de estabilización o laguna de oxidación

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna de oxidación, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas de oxidación se clasifican en aerobias, anaerobias o facultativas en dependencia de la profundidad de las mismas.

Biodiscos

Los biodiscos se integran dentro de los procesos biológicos, caracterizados por la presencia de un material soporte. El proceso es válido como elemento reductor de materia orgánica, como elemento de nitrificación y elemento de desnitrificación. Su principio de funcionamiento consiste en que los elementos soportes integrantes de los biodiscos se sumergen parcialmente en las aguas residuales a tratar, contenidas en depósitos por los cuales fluyen. Los elementos soportes giran a baja velocidad y se exponen alternativamente al aire y al agua a tratar. En este proceso se forma una película biológica sobre las superficies de los soportes. Por rotación una sección de los tambores sale del agua y arrastra consigo parte del agua que goteando forma una fina película y por lo tanto con una elevadísima posibilidad de contacto y de intercambio con el oxígeno atmosférico. (Hernández, 1995).

d) Tratamiento terciario

Es un tratamiento opcional (Metcalf - Eddy, 1995), que se lleva a cabo cuando es necesario mejorar la calidad de las aguas para su vertido al cauce o por exigencias del uso posterior. Se define como el nivel de tratamiento necesario, más allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyente de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos, los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión y disueltos y los microorganismos patógenos.

El tratamiento terciario, incluye cualquiera de los siguientes procesos (Ramalho, 1996):

- Adsorción; elimina materia orgánica y contaminantes específicos.
- Intercambio iónico; modifica la composición química del agua mediante un intercambio de iones.
- Ósmosis inversa; modifica la composición química del agua mediante la difusión a través de una membrana semipermeable que separa dos disolventes de diferentes concentraciones.
- Eliminación de nutrientes; principalmente nitrógeno y fósforo.

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento terciario de las aguas residuales. (Juárez, 2007a).

Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos terciarios son la coagulación química, la floculación, la sedimentación y la filtración. Para la eliminación de iones específicos y para la

reducción de sólidos disueltos, se emplean métodos menos comunes como el intercambio iónico o la ósmosis inversa. En términos de calidad de efluente, algunos procesos de tratamiento natural (antes llamado tratamiento en el terreno) pueden resultar equivalentes al tratamiento terciario de las aguas residuales. (Metcalf - Eddy, 1995).

Seoáñez (1999) reporta otras etapas que pueden ser incluidas en el tratamiento terciario de aguas residuales como son los tratamientos de desinfección y menciona además los tratamientos especiales.

A continuación se brinda información detallada de los procesos de lodos activados como tratamiento biológico en una planta de residuales.

1.4 Lodos Activados.

Terry, et al. (2006) y Estrucplan, (2007) coinciden en que los lodos activados son sistemas de tratamiento biológico en los que se mezclan las aguas residuales que han de ser tratadas con el caldo de cultivo de los microorganismos, donde las sustancias contaminantes son degradadas en medio aerobio, de forma que los lodos activados se depositan en el fondo del tanque y en la parte superior quedan las aguas ya tratadas.

Como concepto, Terry, et al. (2006) y Estrucplan, (2007) plantea que un sistema de lodos activados es un sistema de tratamiento basado en el contacto del residual crudo con una parte del volumen de lodo químico bacteriológicamente activo, en un tanque de aireación con suficiente oxígeno disuelto para estabilizar la materia orgánica y mantener condiciones aerobias en todo el proceso, seguido por una separación líquido – sólido en un sedimentador secundario.

El tratamiento por lodos activados es uno de los métodos más empleados actualmente para la depuración de las aguas residuales domésticas (Martínez, 2002).

Para asegurar una aireación uniforme, se emplean métodos mecánicos que a la vez que airean también homogenizan la mezcla de aguas y lodos, con lo que mejora el rendimiento del proceso (Ramalho, 1996; Seoáñez, 1998 y Calleja, 1999).

En este proceso se forma una masa activa de flóculos microbianos llamado lodo activado que tiene lugar producto del crecimiento de microorganismos y la aireación del mismo. Estos flóculos adquieren propiedades adsorbentes, es por ello que reciben el nombre de activados (Junco, 2002).

1.4.1 Principio de funcionamiento de lodos activados.

La depuración de las aguas por un sistema de lodos activados considera las siguientes etapas:

- La aireación del residual por un período de tiempo significativo.
- La separación de los sólidos suspendidos del residual líquido al finalizar la etapa de aireación.
- La descarga de la fracción líquida como efluente del sistema.
- La recirculación de parte de todos los sólidos separados al tanque de aireación donde se mezclan con el afluente.

En el proceso de lodos activados el agua residual se mezcla con bacterias aeróbicas (lodos) que se han desarrollado con anterioridad. La mezcla del lodo activado con el agua residual en el reactor biológico se le llama licor mezclado. En el reactor biológico del sistema es donde ocurre la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Estos reactores, generalmente son piscinas de concreto armado donde se agita el licor mezclado debido a la introducción de aire al sistema por medio de bombas para que la materia esté en suspensión y los microorganismos en constante contacto con oxígeno para llevar a cabo la degradación. Posteriormente, el flujo del licor mezclado se introduce en el sedimentador donde los sólidos se separan del efluente clarificado (agua tratada). Una porción de los sólidos concentrados (biomasa ó células sedimentadas) se retorna parcialmente al reactor para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo y se purga del sistema (Juárez, 2007b).

Las ventajas principales de este proceso son el corto tiempo de residencia de la biomasa en los reactores, lo que permite tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja.

El agua tratada en un proceso de lodos activados puede servir para regadío si previamente se somete a cloración para desinfectarla. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso potable, si se desea.

El lodo en exceso se lleva a un proceso de digestión aerobia para convertir la materia orgánica en sólidos estables, reducir la masa y el volumen de agua y destruir las bacterias dañinas. Posteriormente el lodo puede concentrarse por sedimentación y coagulación -

floculación. Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y exponerlo al sol para evaporar su agua, hacerlo pasar sobre filtros de arena, filtrarlo a vacío o centrifugarlo para eliminar parte importante del agua. Sin embargo, ninguna de estas técnicas es completamente satisfactoria por sus costos y problemas técnicos. El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos o incinerarlo si su contenido de materia combustible es superior a 25%, además puede usarse como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo. (Juárez, 2007b).

1.4.2 Microorganismos que forman parte de los lodos activados.

Un lodo activado sano puede desarrollarse y mantenerse bajo condiciones estacionarias, sin cambios bruscos en las condiciones del medio o en la carga de sustrato.

Las condiciones ambientales que favorecen la presencia de un lodo activado sano son: pH neutro, una temperatura cálida de alrededor de 20°C y suficiente oxígeno disuelto para mantener niveles entre 1 y 2 mg/l. (Estrucplan, 2007).

Los microorganismos que intervienen en un proceso de lodos activados son millones de organismos microscópicos cuya tarea principal es degradar la materia orgánica. El término microorganismo cubre los diversos tipos de organismos que se encuentran en el residual. Estos pueden clasificarse como: organismos unicelulares con capacidad para formar flóculos o filamentos, organismos pluricelulares, tales como los protozoos y rotíferos.

En el lodo activado, los microorganismos eficientes son los organismos capaces de formar flóculos que, bajo condiciones apropiadas, poseen la capacidad de unirse y formar un aglomerado gelatinoso, suficientemente denso para sedimentar. En la segunda categoría, los microorganismos "perezosos" se caracterizan por su forma filamentosa y que, si bien constituyen un material excelente para remover los contaminantes orgánicos, son excesivamente livianos para sedimentar rápidamente, siendo entonces arrastrados con el efluente tratado. (Estrucplan, 2007). En el Anexo 3 se encuentran las características que forman parte de los lodos activados.

1.4.2.1 Efecto del lodo activado joven sobre el tratamiento.

Cuando un proceso se opera, intencionalmente o no, de modo que las reacciones involucradas no se completen, el resultado neto es una disminución en la eficiencia del mismo. Al operar un proceso de lodos activados con lodo joven, la cantidad de microorganismos no

queda limitada por el sustrato disponible y por ende se incrementa rápidamente. Esto significa que predomina el proceso de síntesis. Los microorganismos en esta fase son jóvenes y eminentemente activos y exhiben por ende una elevada demanda de sustrato y oxígeno. No poseen la capacidad de consumir todo el sustrato disponible, ya que los microorganismos recirculados no están aún preparados para la asimilación y por consiguiente no contribuyen a una significativa remoción de DBO_5 . Asimismo, debido a su elevado nivel de actividad, las células no floculan con facilidad y no sedimentan rápidamente. En consecuencia el operador notará un incremento en los valores de DBO_5 y sólidos en suspensión en el efluente final. Podrán observarse dos características adicionales: nubes ondulantes de partículas marrones en suspensión en el sedimentador y espuma blanquecina en el reactor aeróbico.

Esta situación puede confirmarse mediante los aspectos siguientes:

- El oxígeno disuelto en el reactor disminuirá ya que habrá una mayor demanda del mismo.
- El oxígeno disuelto en el sedimentador estará cercano a cero. Esto sucede ya que el metabolismo que debería llevarse a cabo en el reactor aeróbico, ocurre ahora en el sedimentador.
 - El índice volumétrico del lodo activado será elevado ya que sedimenta lentamente.
 - La tasa de consumo de oxígeno estará muy por encima de la normal.
 - La DBO_5 en el efluente final se incrementará ya que no hay suficientes microorganismos y el sustrato sin asimilar será arrastrado por el efluente.
 - La relación alimentación – microorganismos (F/M) será elevada.
 - El tiempo de residencia celular estará por debajo del tiempo mínimo requerido para el metabolismo.
 - Los sólidos en suspensión en el licor mezclado crecerán rápidamente.

Normalmente ésta es una situación temporal, producida por un exceso de carga orgánica o una exagerada purga de lodos. Si estas condiciones persisten por más de 48 horas, pueden generarse serios problemas de abultamiento de lodos. Las correcciones normales al proceso incluirán un incremento del suministro de aire, en función de las lecturas de oxígeno disuelto. Si se requieren ajustes de largo plazo, deberá disminuirse la frecuencia de purga de lodos, en orden a incrementar el tiempo de residencia celular. (Estrucplan, 2007).

1.4.2.2 Efecto del lodo activado viejo sobre el tratamiento.

En el otro extremo tenemos un proceso operado con un lodo viejo. En este caso el nivel de actividad de los microorganismos es bajo y la demanda de sustrato y de oxígeno decrece. La baja actividad permite la formación de un floculo denso que sedimenta rápidamente, dejando materia particulada en suspensión en los estratos superiores del sedimentador. Como consecuencia de la baja demanda de sustrato, los organismos que se recirculan al reactor aeróbico no son capaces de su utilización máxima.

El operador observará que una gran cantidad de flóculos minúsculos es arrastrada del sedimentador, pero que el nivel de lodos estará a menos de un cuarto de la profundidad total. También se notará una espuma negruzca en la superficie del reactor aeróbico. (Méndez, et al. 2006).

Esta situación puede confirmarse mediante los aspectos siguientes:

- El oxígeno disuelto en el reactor y en el sedimentador es superior al normal.
- El índice volumétrico del lodo activado es bajo ya que asienta con rapidez y se compacta mucho.
 - La tasa de consumo de oxígeno será inferior a la normal.
 - La DBO5 del efluente final no presentará variación apreciable.
 - Los sólidos en suspensión en el efluente final se incrementarán ligeramente.
 - La relación alimentación – microorganismos (F/M) será baja.
 - El tiempo de residencia celular será demasiado largo, dando lugar a un lodo viejo y sobre oxidado.
- Los sólidos en suspensión en el licor mezclado serán elevados.

1.4.3 Condiciones óptimas de operación de los sistemas de lodos activados.

El proceso de lodos activados convencional es más eficiente cuando la masa de lodo activado no es ni joven ni vieja. El mayor énfasis está en la calidad del lodo más que en su cantidad. La operación del proceso está limitada a un rango estrecho de concentración de sólidos en suspensión y de tiempos de residencia celular. La operación óptima según (Estrucplan, 2007) se caracteriza por: un suficiente tiempo de residencia en el reactor aeróbico para metabolizar el sustrato, un tiempo de residencia celular adecuado para la formación de un lodo activado sano, suficiente masa de microorganismos para remover y metabolizar la totalidad de la carga orgánica, un lodo de buena sedimentabilidad es decir, que asiente con la lentitud suficiente para arrastrar la mayoría de las partículas en suspensión, los

microorganismos en el lodo recirculado al reactor biológico están preparados para realizar la degradación de las impurezas presentes en el residual.

1.5 Conclusiones parciales.

1. Las aguas residuales se clasifican:

- según su origen en:(domésticas, industriales y pluviales).
- según su biodegradabilidad.
- según su composición.

2. Los procesos de tratamiento de agua, se clasifican:

- atendiendo a la función que realizan (tratamiento primario ó físico, secundario ó biológico y terciario ó avanzado).
- de acuerdo al tipo de procesos utilizados para la remoción de los contaminantes.
- de acuerdo a la presencia o ausencia de oxígeno disuelto.

3. La ventaja del uso de sistemas de lodos activados es:

- tiempo de residencia de la biomasa en los reactores corto.
- permite tratar grandes volúmenes en espacios reducidos.
- eficiencia en la extracción de las materias suspendidas; pero sin dejar de mencionar que la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja.

4. Los diferentes contaminantes presentes en el agua residual se eliminan mediante:

- medios físicos u operaciones unitarias basadas en fuerzas físicas.
- medios químicos o procesos unitarios, que precisan de la utilización de determinados productos químicos.
- medios biológicos, o procesos biológicos donde, tienen lugar los organismos vivos.

5. Las etapas de la depuración de las aguas por un sistema de lodos activados son:

- aireación.
- Separación.
- descarga de la fracción líquida.
- recirculación de parte de todos los sólidos separados.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente trabajo se realiza en la planta de tratamiento de aguas residuales por lodos activados de Suchel Lever, ubicada en la Empresa Jovel de Jovellanos. Cuenta con 506 trabajadores que laboran en 9 áreas, que son: 6 UEB productivas: (Jabón Tocador, Jabón de Lavar, Detergente Líquido, Detergente en Polvo, Productos Personales y Plástico), un bloque socio administrativo donde se encuentra la Dirección General, con dos direcciones (Contabilidad y Finanzas y Capital Humano) y las UEB de Producción y Calidad, Mantenimiento e Inversiones Técnicas, Comercial, Ventas y Servicios Generales. En ciudad de La Habana radica la UEB Suchel Lever.

El objeto social de la Empresa Suchel Jovel es: producir y comercializar de forma mayorista y en ambas monedas, productos de aseo personal, higiene doméstica y usos industriales, como son jabones de lavar y baño, desodorantes, cremas dentales, champúes, detergentes líquidos y detergente en polvo (productos en su mayoría de prestigio, entre las que se encuentran las siguientes marcas: Omo, Lux, Rexona, Kinder, Candado, Sedal, Pepsodent, Close Up y otros). También producen y comercializan en ambas monedas, frascos para otras entidades de la Unión Suchel y terceros, prestan servicios de mantenimiento constructivo al sistema de la Unión Suchel, servicio de alquiler de equipos de transportación de carga al sistema, servicios gastronómicos a los trabajadores en el Círculo Social Obrero en moneda nacional, servicio de comedor obrero a trabajadores de Suchel Trans, cobrándose el mismo en moneda nacional a los trabajadores y en divisa a la entidad, brindan servicios de alojamiento no turístico a trabajadores del sistema de la Unión Suchel y del MINIL, en ambas monedas. Se dedica fundamentalmente a producciones nacionales y en mercado en divisa: dentro de las producciones nacionales se puede citar el detergente líquido Jovel, jabones Nácar, Batey y frascos plásticos. Como parte del contrato de asociación entre la Unión Suchel y Unilever, se producen para el mercado en divisa jabones de tocador, de lavar, champúes y acondicionadores para el cabello, cremas, geles dentales y desodorantes. Toda esta producción variada, genera parte del residual, producto de las limpiezas que se realizan, el mismo es tratado (después de proporcionarle un tratamiento previo adecuado) juntamente con el residual doméstico (generado por las actividades diarias de la fábrica en general) en la planta de tratamiento por lodos activados, con el objetivo de prevenir la contaminación del medio ambiente.

En este capítulo se abordan los materiales y métodos empleados en la investigación.

En la figura 2.1 se muestra el esquema de la investigación que se sigue en el trabajo y que contempla las etapas que se desarrollan para evaluar el sistema de tratamiento instalado.

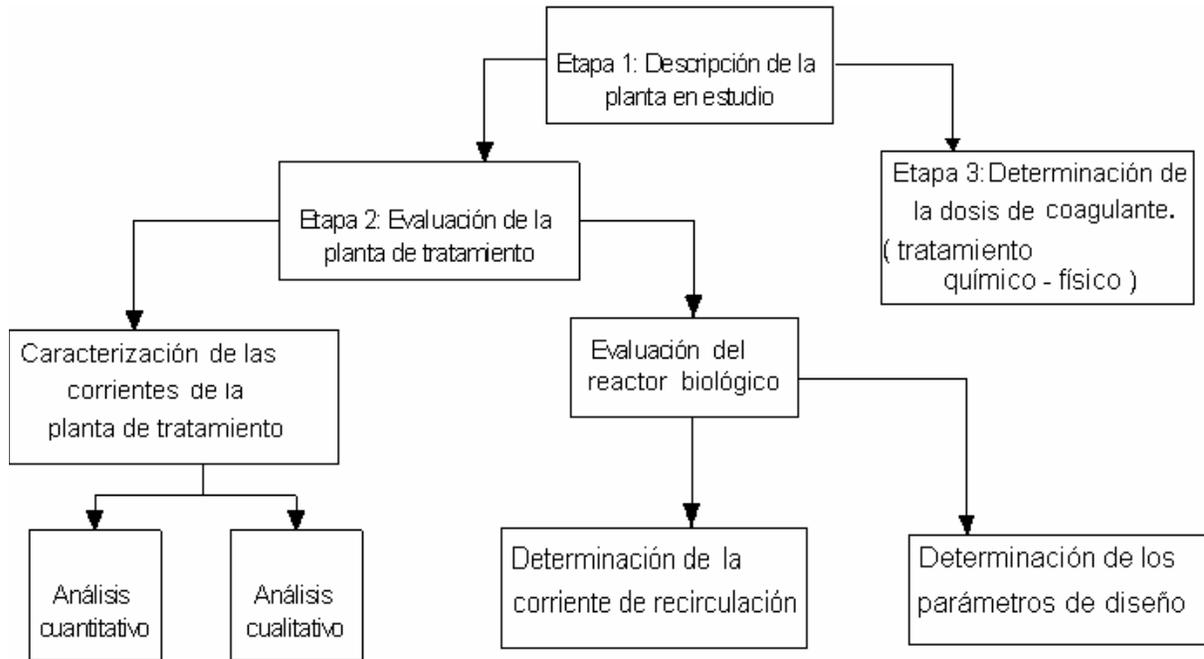


Figura 2.1: Esquema de la investigación.

La metodología de trabajo comprende, en primer lugar, la realización de una descripción detallada del sistema de tratamiento; posteriormente la evaluación del sistema, la cual incluye la caracterización de las corrientes de agua dentro de la planta y la evaluación del reactor biológico y por último la determinación de la dosis de solución del coagulante cloruro férrico ($\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$).

2.1 Descripción de la planta en estudio.

Para realizar la descripción de la planta de tratamiento en estudio se utilizan tanto métodos de investigación teóricos como empíricos.

- Dentro de los métodos teóricos se utilizan:
- Métodos de análisis y de síntesis.

El análisis y la síntesis no existen de forma independiente uno del otro. El análisis se produce mediante la síntesis, ya que el análisis de los elementos de la situación problemática

se realiza relacionando los elementos de un complejo entre sí y se vinculan a la situación problema como un todo. A su vez la síntesis se produce sobre la base de los resultados previamente por el análisis.

➤ Dentro de los métodos empíricos se utilizan:

- La observación.

La observación constituye un conjunto de comprobaciones para una u otra hipótesis o teoría, y depende en gran medida, de ese fin. No se registran simplemente datos cualesquiera, sino que se escoge de manera consciente aquellos que confirman o rechazan la idea.

La observación como método científico es una percepción atenta, racional, planificada y sistemática de los fenómenos relacionados con los objetivos de la investigación, en sus condiciones naturales y habituales, es decir, sin provocarlos y utilizando medios científicos, con vistas a ofrecer una explicación científica de la naturaleza interna de estos.

En la presente investigación se utiliza la observación externa y dentro de ella la observación directa porque es en la que el investigador entra en contacto inmediato con el objeto de observación.

- La entrevista.

Es una conversación de carácter planificado entre el entrevistador y el (o los) entrevistado(s), en la que se establece un proceso de comunicación en el que interviene de manera fundamental los gestos, las posturas y todas las diferentes expresiones no verbales tanto del que entrevista como del que se encuentra en el plano de entrevistado.

La entrevista es uno de los principales métodos para llevar a cabo una investigación, pues a través de ella se puede obtener información y recopilación de datos del objeto de estudio.

La aplicación de todos estos métodos se realiza a través de un recorrido por la planta con el operador de la misma, en la cual se logra describir detalladamente cada uno de los equipos, su funcionamiento y los tipos de tratamiento que se le aplican al agua residual en esta planta, tomando como referencia una breve explicación de estos elementos presentes en el manual de operación de la planta.

Una vez que se logra la descripción detallada del proceso se confecciona el diagrama de flujo incluyendo todas las operaciones y corrientes que intervienen en el sistema de depuración del agua residual.

2.2 Evaluación de la planta de tratamiento.

La evaluación de la planta de tratamiento incluye la caracterización de los caudales de agua dentro de la planta (cuantitativamente y cualitativamente) y la evaluación del reactor biológico, operación representativa dentro de la planta en estudio para determinar su funcionamiento con respecto a la merma de lodo.

2.2.1 Análisis cuantitativo de las corrientes residuales de la planta de tratamiento de aguas.

La metodología para el análisis cuantitativo de las aguas de entrada y salida de la planta, se efectúa por la recopilación de muestreos diarios de los caudales, cuyo estudio se realiza en la Empresa Jovel y comienza en diciembre del año 2009, culminando en abril del 2010.

En la figura 2.2 se muestra la metodología para el procesamiento de los datos, la cual es una adaptación de la metodología propuesta por Martínez (2005).

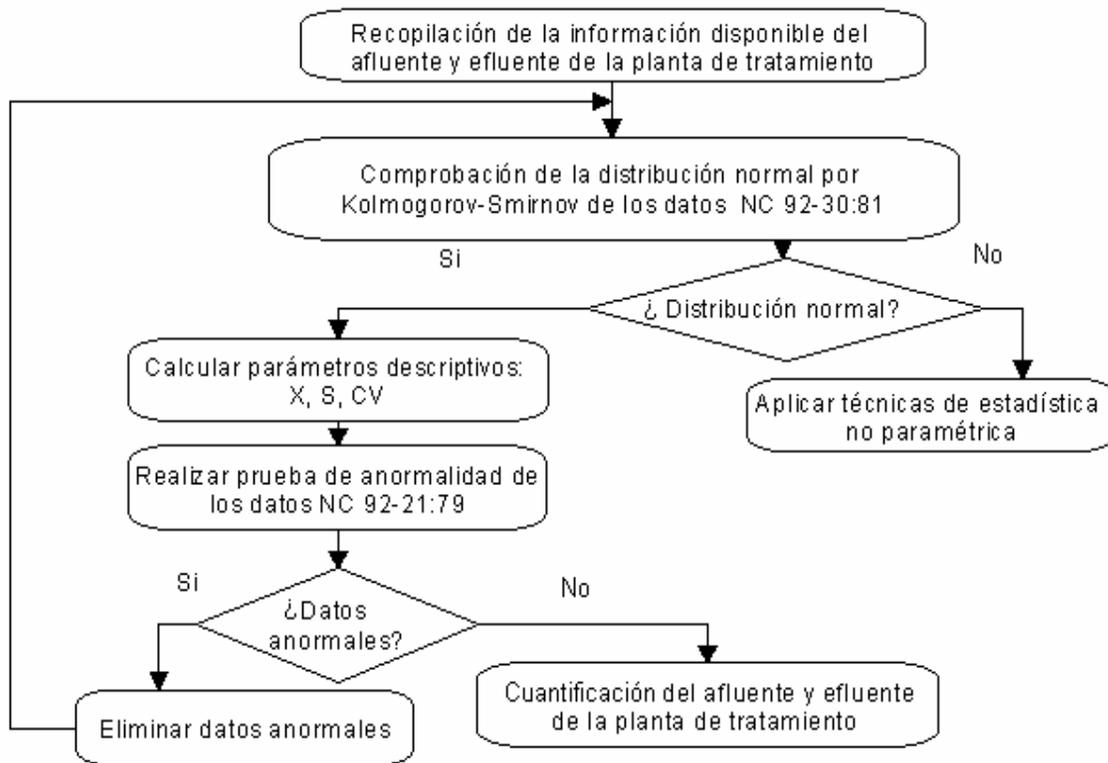


Figura 2.2: Esquema metodológico para el procesamiento estadístico del afluente y efluente de la planta de tratamiento de agua de la Empresa Jovel.

Las corrientes que serán analizadas en cada mes son:

- Afluente industrial (residual industrial).
- Afluente doméstico (residual doméstico).
- Efluente de la planta de tratamiento (agua tratada).

Una vez que se recopila la información se comprueba que los datos cumplen con una distribución normal, por lo que se realiza una prueba de normalidad a cada una de las corrientes. Para ello se propone utilizar la prueba de Kolmogorov – Smirnov (NIST/SEMATECH, 2002). Esta prueba se basa en comprobar, a partir de una hipótesis nula, si existe una buena bondad de ajuste entre la distribución de los datos experimentales y la distribución teórica deseada, en este caso la distribución normal.

En la prueba se calcula la distancia vertical máxima entre la función de distribución acumulativa de los datos y la función de distribución acumulativa de la distribución teórica deseada (DN). Si la distancia es suficientemente grande, el valor de probabilidad (P-value) es pequeño. Si el valor de probabilidad es menor que un nivel de significación deseado (α), tal como 0,10 para un 90 % de confiabilidad, se rechaza la hipótesis de que la muestra de datos experimentales responda a una distribución normal.

Después de comprobar la normalidad de los datos se realiza la caracterización estadística de cada una de las corrientes en cada mes seleccionado, donde se determinan los parámetros descriptivos, tales como: la media muestral (\bar{X}), la desviación típica muestral (S) y el coeficiente de variación (CV).

Si al realizar este análisis se observa que los coeficientes de variación son muy elevados, esto puede estar influenciado por la presencia de datos anormales (datos desviados grandemente del grupo de resultados normales de las observaciones) en las muestras analizadas. Para comprobar la presencia de datos anormales se realiza la prueba de anormalidad de los datos de cada una de las corrientes, tomando como base la NC 92-21:79: Procedimiento para evaluar la anormalidad de los resultados de las observaciones. Esta norma establece las reglas para determinar los resultados anormales de un conjunto de observaciones de una variable aleatoria continua, cuya distribución probabilística sea normal.

Para evaluar si X_n ó X_1 (máximo o mínimo valor respectivamente) son datos anormales o no y tomar una decisión sobre la exclusión o inclusión de X_n (ó X_1) en la composición de la muestra, se halla el valor de los estadígrafos:

$$t_n = \frac{X_n - \bar{X}}{S} \text{ y } t_1 = \frac{\bar{X} - X_1}{S} \quad (2.1)$$

El resultado que se obtiene se compara con un valor límite (h) que se toma de la norma en función del tamaño de la muestra (n) y el nivel de significación ($\alpha = 5\%$). Los valores de h se muestran en la Tabla 2.1.

Si $t_n \geq h$ ó $t_1 \geq h$ se dice que el resultado de la observación que se sospecha anormal es anormal y debe ser excluido. Es decir si $t_n \geq h$ se excluye el valor máximo y si $t_1 \geq h$ se excluye el valor mínimo, repitiéndose este proceso tantas veces como fuese necesario. Cuando la mencionada tabla no contempla el valor n, se calcula el valor de h mediante interpolación.

Tabla 2.1: Valores límites (h) para el nivel de significación $\alpha = 5\%$. NC 92-21:79

Tamaño de muestra n	Valor límite (h)	Tamaño de muestra n	Valor Límite (h)
3	1,150	16	2,440
4	1,460	17	2,480
5	1,670	18	2,500
6	1,820	19	2,530
7	1,940	20	2,560
8	2,030	25	2,870
9	2,110	30	2,928
10	2,180	40	3,015
11	2,230	50	3,082
12	2,290	100	3,285
13	2,330	250	3,534
14	2,370	500	3,703
15	2,410		

A las corrientes que por esta prueba se le elimina el valor máximo o mínimo por considerarse anormal se pasa a realizar nuevamente la prueba de Kolmogorov – Smirnov para asegurar que siguen cumpliendo con la distribución normal y se le determinan posteriormente los parámetros descriptivos que los caracterizan.

De esta manera se obtiene la cuantificación de las corrientes de entrada y salida de la planta de tratamiento.

El procesamiento estadístico de los datos se realiza con el paquete estadístico StatGraphics Plus 5.0 para Windows.

2.2.2 Análisis cualitativo de las corrientes residuales de la planta de tratamiento de aguas.

El análisis cualitativo incluye el análisis físico –químico y microbiológico de las corrientes de agua de la planta de tratamiento de residuales industriales y domésticos, perteneciente a la Jovel.

Para la realización de esta investigación que por su importancia brindan información sobre la eficiencia de los parámetros analizados, se deberán tomar muestras puntuales a la entrada y salida de los diferentes tratamientos de la planta, tal como establece la norma ISO 5667:91, así como en otros puntos de interés.

Es de vital importancia a la hora de recopilar muestras para la determinación de parámetros que la caracterizan tener en cuenta las técnicas de muestreo. La muestra es cualquier subconjunto de una población. Su análisis o estudio se realiza para conocer las características de la totalidad de la población, partiendo de la observación de una fracción de la población. (González, et al.2003)

El muestreo es una consideración extremadamente importante en la caracterización adecuada de un agua residual. La velocidad de flujo y la calidad del agua residual cambian continuamente, y estos cambios pueden afectar la capacidad de la planta de tratamiento para alcanzar máximas eficiencias.

Una vez que se toma la muestra, los constituyentes de la misma se pueden mantener en iguales condiciones a como fueron colectados a través de una preservación adecuada.

El objetivo de la preservación es mantener la actividad biológica tal como la respiración microbiana, la actividad química como la precipitación o los cambios de pH y la actividad

física como la aereación o la alta temperatura en valores mínimos, de manera que no ocurra degradación o transformación de los constituyentes de la muestra.

Los métodos de preservación incluyen enfriamiento sin llegar a la congelación, pues esta no se recomienda por sufrir cambios en las muestras, además se incluye el control del pH y la adición química. El tiempo recomendado para la preservación de la muestra depende de las características del constituyente que se desea determinar y del método de preservación que se use.

En el Anexo 4 se encuentran las técnicas de preservación de las muestras para la determinación de diferentes constituyentes.

Para un mejor resultado de los parámetros y por consiguiente valorar tanto el tratamiento químico como el biológico, la toma de muestra fue realizada teniendo en cuenta que estuvieran los dos tratamientos en funcionamiento.

Se propone realizar una caracterización estadística de estas corrientes utilizando la misma metodología propuesta en el análisis cuantitativo del afluente y efluente de la planta de tratamiento. La misma se nutre de la información tomada del muestreo que se realiza de las diferentes variables a la planta de tratamiento de residuales en cuestión, realizándose el análisis pertinente en el laboratorio de la Empresa Aguas Varadero.

Una vez que se recopila la información se comprueba que los datos cumplen con una distribución normal, por lo que se realiza una prueba de normalidad a cada una de las variables de cada una de las corrientes. Para ello se propone utilizar la prueba de Kolmogorov – Smirnov (NIST/SEMATECH, 2002). Esta prueba se basa en comprobar a partir de una hipótesis nula, si existe una buena bondad de ajuste entre la distribución de los datos experimentales y la distribución teórica deseada, en este caso la distribución normal. Se propone la metodología a seguir en la Figura 2.3.

De esta manera se obtiene la caracterización físico – química de las corrientes analizadas en la planta de tratamiento.

Para el análisis de los resultados que se obtienen se utiliza el valor de probabilidad, el cual debe ser igual o mayor que 0,10 para un 90 % de confianza para que no se rechace la hipótesis planteada.

El procesamiento estadístico de los datos se realiza con el paquete estadístico StatGraphics Plus 5.0 para Windows.

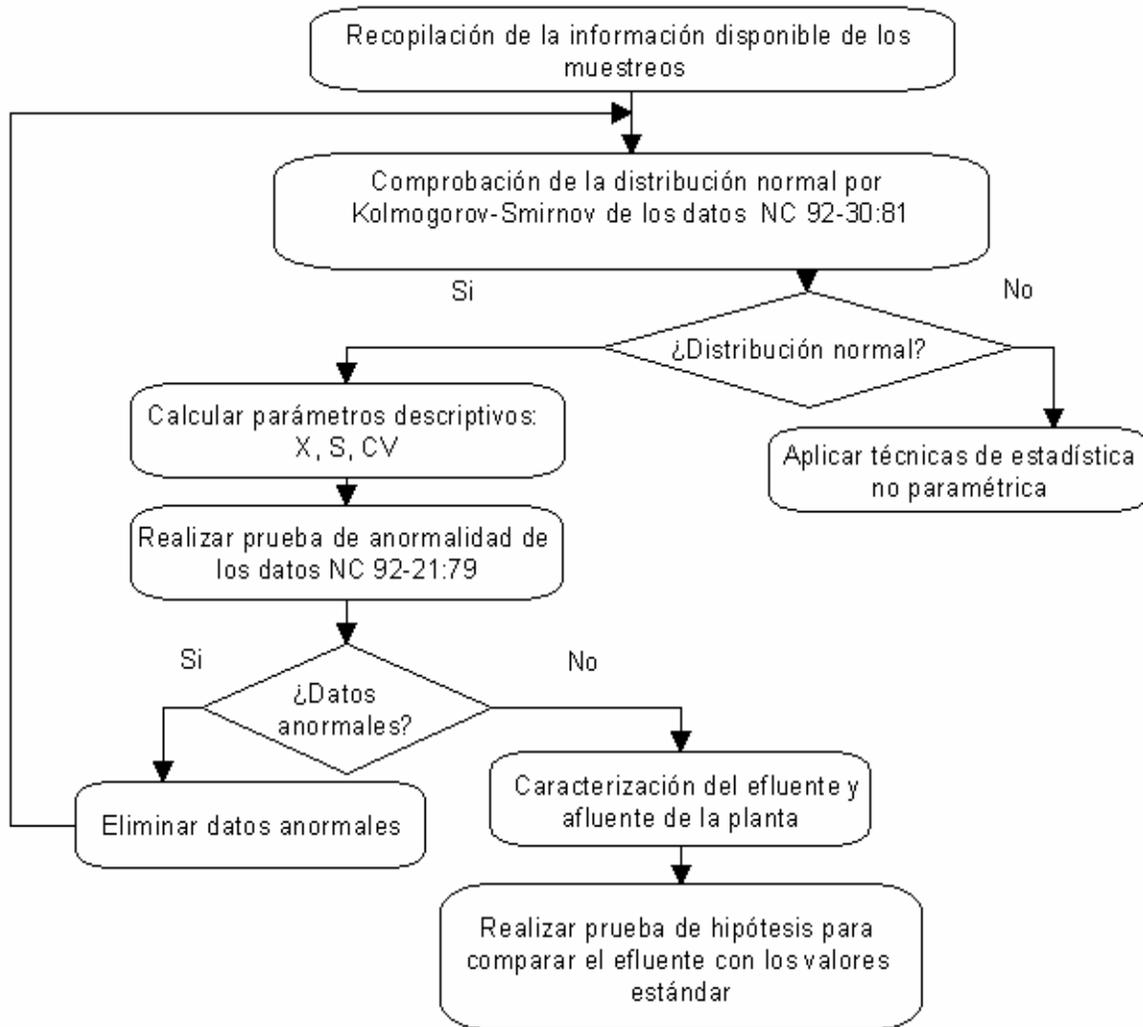


Figura 2.3: Metodología para el análisis estadístico de los datos.

A continuación se muestra la definición de los puntos de muestreo:

Punto 1: En el tanque buffer donde se homogenizan las aguas residuales industriales de las plantas de detergente líquido y de productos personales (afluente industrial).

Punto 2: A la salida del tanque de neutralización, que es cuando culmina el tratamiento primario (efluente del tratamiento industrial).

Punto 3: En el tanque de almacenamiento del agua residual doméstica.

Punto 4: A la salida del tanque equalizador, donde se homogenizan las aguas residuales industriales previamente tratadas con las domésticas (afluente biológico).

Punto 5: A la salida del tratamiento biológico (efluente del tratamiento biológico).

Punto 6: A la salida de la cisterna (efluente de la planta de tratamiento).

El análisis físico –químico de las muestras en los diferentes puntos se realiza, según el “Standard Methods of Analysis of Water and Waste Water” (Awwa APHA, WPCP, 1996) y el manual de Normas ISO.

La caracterización físico–químico y microbiológica de las muestras se realiza en el laboratorio de la Empresa Aguas Varadero e incluye los siguientes parámetros:

- Demanda química de oxígeno (DQO):

El objetivo principal es determinar la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica contenida en el agua residual. Da una idea rápida del grado de contaminación que puede provocar el residual.

Para su determinación se utiliza el método volumétrico redox: oxidación de la muestra con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en medio ácido y valoración por retroceso con el sulfato ferroso amoniacal (sal de mohr).

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5):

El objetivo principal es determinar la cantidad de oxígeno necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica contenida en un residual.

Para su determinación se utiliza el método respirométrico.

Esta prueba es útil para medir el material contaminante (demanda de oxígeno) en las aguas residuales de entrada o de salida de la planta de tratamiento e indica la efectividad de la planta, su carga y por lo tanto es de máxima importancia.

- Sólidos totales y sólidos suspendidos totales:

Para su determinación se utiliza el método gravimétrico.

Los sólidos totales son los que constituyen el residuo después de evaporarse una muestra a sequedad a una temperatura entre 103 y 105°C. Dentro de estos tenemos:

→ sólidos totales fijos: se obtienen mediante la materia inorgánica que se encuentra en la muestra en forma de ceniza. (Las sales inorgánicas se descomponen a 550°C).

→ sólidos totales volátiles: se determinan por la diferencia de los totales con los fijos, ya que es el contenido de materia orgánica y es importante su determinación para conocer la estabilidad biológica de los lodos.

Los sólidos suspendidos totales brindan información sobre la posibilidad de sedimentación total en el sistema.

→ sólidos suspendidos fijos: muestran la cantidad de materia inorgánica presente en las aguas residuales. Obteniéndose después de ser llevada la muestra a 550 grados donde se escapan los volátiles y se obtienen los fijos.

→ sólidos suspendidos volátiles: se determinan por la diferencia de los totales con los fijos y brindan información acerca de los microorganismos en el sistema.

- Conductividad:

Es una característica física del agua. Es una medida de la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica. Depende de la concentración de las sustancias químicas cargadas eléctricamente que haya en el agua. Esta propiedad nos indica el contenido de sales disueltas presentes en dicha agua. Un agua con un alto valor de conductividad tendrá un alto contenido de sólidos disueltos.

La determinación de la conductividad se realiza por el método conductimétrico directo. Se utiliza un conductímetro y un electrodo de platino.

- pH:

El pH es una característica química del agua, da una medida del grado de acidez o de alcalinidad del agua (de 0 – 6 es ácido, de 8 – 14 básico y 7 es neutro a una temperatura de 25°C).

Un agua residual ácida tiende a ser corrosiva y ataca químicamente a los sistemas de conducción como los microorganismos de las plantas de tratamiento.

Un agua residual básica favorece las incrustaciones.

El control de esta variable es sumamente importante para el buen funcionamiento del proceso debido a que el mismo se lleva a cabo por microorganismos, los cuales son susceptibles a cambios de esta variable y que pueden desarrollarse óptimamente en un determinado intervalo de la misma. Para lograr una buena formación de flóculos el pH debe

estar en el rango establecido, por lo que este es de suma importancia para el tratamiento químico.

La determinación del pH se realiza por el método potenciométrico directo, con las disoluciones buffers de calibración correspondientes.

Se utiliza un peachímetro, un electrodo de vidrio.

- Alcalinidad:

Los iones hidróxilo presentes en una muestra de agua, como resultado de la disociación o hidrólisis de sales son neutralizados por reacción cuantitativa con un ácido de concentración conocida, utilizando como indicador anaranjado de metilo. Significa la alcalinidad equivalente a cierta cantidad de carbonato de calcio.

Es un parámetro importante en la eliminación biológica de nutrientes cuando se emplean tratamientos químicos.

Existe una estrecha relación entre el pH y la alcalinidad.

El método utilizado para su determinación es el complexométrico.

En la tabla 2.2 se muestra la distribución de análisis por puntos de muestreo que se utiliza en la investigación:

Otro de los propósitos de las pruebas de laboratorio una vez determinado el desempeño de la planta, es proveer información para determinar la eficiencia de la misma, así como el comportamiento de los diferentes parámetros e investigar si el efluente de la planta estudiada cumple con los niveles establecidos para su vertimiento, por lo que se plantea como hipótesis estadística la siguiente:

Los parámetros que caracterizan el efluente de la planta cumplen con los niveles establecidos para su vertimiento.

Para la comprobación de esta se realiza una prueba de hipótesis para comparar la media de la población contra un valor estándar. Se utiliza la NC 27: 1999: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado.

Tabla 2.2: Distribución de análisis por puntos de muestreo que se utiliza en la investigación.

ANÁLISIS	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
Alcalinidad T.	X	X	X	X	X	X
Conductividad	X	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X	X
DQO	X	X	X	X	X	X
DBO ₅				X	X	
ST	X	X	X	X	X	X
SST	X	X	X	X	X	X

2.2.3 Evaluación del reactor biológico en la planta de tratamiento de aguas residuales.

El reactor biológico es el principal equipo en el tratamiento biológico (secundario). Para su evaluación se determinará la corriente de recirculación de lodos y diferentes parámetros de control del mismo. El objetivo es comparar esta corriente de recirculación con la considerada en el diseño de la planta, determinando así, si la recirculación de lodo es la adecuada para mantener un nivel de lodo deseado. A continuación se realiza un balance de masa en el sedimentador (clarificador secundario) y reactor biológico (tanque de aereación), (ver figura 2.4).

Este balance es el procedimiento a seguir para llegar a la ecuación que da lugar para la determinación de la corriente de recirculación (Q_r):

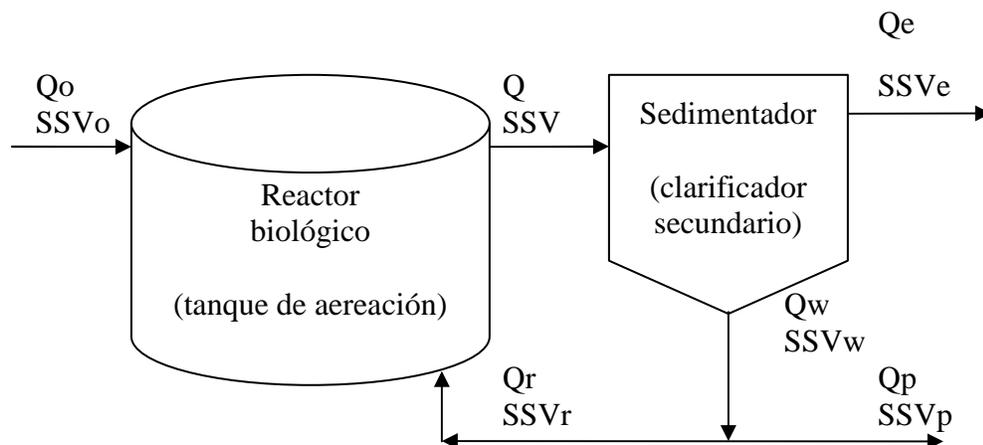


Figura 2.4: Diagrama de flujo para el balance de masa.

Balance de masa en:Reactor biológico

$$Q_o + Q_r = Q \quad (2.2)$$

Sedimentador

$$Q = Q_e + Q_w \quad (2.3)$$

Recirculación

$$Q_w = Q_r + Q_p \quad (2.4)$$

Balance por componente en:Reactor biológico

$$Q_o \cdot SSV_o + Q_r \cdot SSV_r = Q \cdot SSV \quad (2.5)$$

Sedimentador

$$Q \cdot SSV = Q_e \cdot SSV_e + Q_w \cdot SSV_w \quad (2.6)$$

Datos:

Q_o y Q_e representa la media de los caudales en los meses de estudio, en el afluente biológico y efluente tratado en m³/día respectivamente.

$SSV_w = SSV_r = SSV_p$ (por pertenecer a un mismo caudal)

Los SSV , SSV_w y SSV_e son determinados por análisis, en el laboratorio de la Empresa Aguas Varadero.

Procedimiento:

Despejando Q_r de ec.2.2

$$Q_r = Q - Q_o \quad (2.7)$$

Despejando Q_w de ec.2.6

$$Q_w = \frac{(Q \cdot SSV) - (Q_e \cdot SSV_e)}{SSV_w} \quad (2.8)$$

Sustituyendo la ec.2.8 en ec.2.3

$$Q = \frac{Q_e \cdot (SSVe - SSV_w)}{(SSV - SSV_w)} \quad (2.9)$$

Sustituyendo la ec.2.9 en ec.2.7 se obtiene la ecuación para determinar la corriente de recirculación.

$$Q_r = \frac{Q_e (SSVe - SSV_w)}{SSV - SSV_w} - Q_o \quad (2.10)$$

Donde:

Flujos (Q) en m³/día

Q_o - afluente del tratamiento biológico

Q_r- recirculación

Q_e- efluente tratado

SSV- sólidos suspendidos volátiles del efluente biológico, (g/m³)

SSV_w- sólidos suspendidos volátiles en la extracción de lodos del sedimentador, (g/m³)

SSV_e: sólidos suspendidos volátiles del efluente tratado, (g/m³)

Para comprobar el funcionamiento de la instalación se procede al cálculo de diferentes parámetros (Díaz, 1987 y Menéndez, et al. 1997) tales como: la carga orgánica aplicada (B_x), la carga volumétrica (B_v) y la edad del lodo (θ_x), cuyas ecuaciones se describen a continuación:

➤ Carga orgánica aplicada:

$$B_x = \frac{S_o}{\theta \cdot SSVLM} \quad (\text{kg DQO ó DBO}_5/\text{kg SSV-día}) \quad (2.11)$$

Donde:

S_o: DQO ó DBO₅ del afluente biológico, (g/m³)

θ : tiempo de residencia hidráulica en el tanque de aereación, (día)

SSVLM: sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado del tanque de aereación, (g/m³)

$$\theta = \frac{VA}{Q_o} \quad (2.11.1)$$

VA: volumen efectivo del reactor biológico, (m³)

➤ Carga volumétrica

$$B_v = \frac{S_o \cdot Q_o}{VA} \quad (\text{L/día}) \quad (2.12)$$

➤ Edad del lodo:

$$\theta_x = \frac{VA \cdot SSVLM}{[(Q_p \cdot SSV_r) + (Q_e \cdot SSV_e)]} \quad (\text{día}) \quad (2.13)$$

Donde:

Q_p - efluente purgado de la extracción, (m³/día)

2.3 Dosis de FeCl_{3(ac)} [cloruro de hierro (III)] necesario para promover la coagulación, presente en el tratamiento químico-físico.

El tratamiento físico-químico (primario) del agua residual, tiene como finalidad mediante la adición de una solución de FeCl_{3(ac)} [cloruro de hierro (III)] la alteración del estado físico de las partículas existentes en el agua residual industrial las cuales son muy finas y de naturaleza coloidal denominadas coloides que presentan una gran estabilidad en agua. Constituyen una parte importante de la contaminación, causa principal de la turbiedad del agua. Debido a la gran estabilidad que presentan resulta imposible separarlas por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro. Es por ello que en el tanque de mezclado rápido se le adiciona FeCl_{3(ac)} [cloruro de hierro (III)] y Ca(OH)_{2(ac)} (hidróxido de calcio) para promover la coagulación de los sólidos y ajustar el pH en el rango de 3 – 5 respectivamente, sustancias que permanecerían por tiempo indefinido de forma estable para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación.

Para la evaluación de esta operación se decide determinar la dosis de coagulante necesario para promover la coagulación de los sólidos desestabilizando los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo o precipitado.

➤ Preparación de las soluciones, cálculos equivalentes.

La disolución del coagulante se prepara mediante la adición del peso o volumen medido del producto, llevado a escala de laboratorio, de forma manual a un recipiente que contenga la cantidad de agua necesaria. A dicho recipiente se le debe aplicar una buena agitación para asegurar la mezcla total y homogénea del producto con el agua.

La riqueza de este reactivo que actúa como coagulante [cloruro de hierro (III)] suele atender a dos parámetros típicos, riqueza en producto activo (%) y densidad (g/cc).

La disolución del coadyuvante se prepara igual que la del coagulante teniendo en cuenta la reacción presente en la operación para determinar la cantidad de gramos necesarios de $\text{Ca(OH)}_{2(s)}$ para una dosis determinada del coagulante ($\text{FeCl}_{3(ac)}$).

A la hora de la ejecución del ensayo la riqueza comercial no es determinante, a excepción del caso del cloruro férrico, es importante que cuando se dosifique el reactivo esté totalmente disuelto, de no ser así, perfectamente homogenizado. Para ello, la agitación previa de la disolución o suspensión a dosificar habrá de ser condición necesaria.

Con la utilización del manual de la planta de tratamiento de aguas residuales como guía para la preparación de las soluciones del $\text{FeCl}_{3(ac)}$ y la del $\text{Ca(OH)}_{2(ac)}$ se determina la concentración de las mismas.

Ecuaciones analíticas aplicadas:

$$m(x) = \rho(x) \cdot V(x) \quad (2.14)$$

$$c(x) = \frac{m(x)}{V_{sol}(x)} \quad (2.15)$$

Para la determinación de la dosis exacta necesaria, sólo puede ser determinada mediante ensayos de laboratorio, método “Jar-Test”.

La estandarización del “Jar-Test” arranca como una norma norteamericana que ya fue publicada en 1980. En ella se establece que este ensayo se enfoca a la evaluación del tratamiento de un agua en orden a reducir su contenido en sólidos disueltos, sólidos en suspensión, materias coloidales y otras materias no sedimentables, mediante coagulación y posterior decantación por gravedad. (Pask, 1993 y Marín, 1995).

Marín, (1998) plantea que las interferencias al método que pueden dificultar la determinación de las condiciones óptimas del ensayo son:

(a) Cambios en la temperatura del agua a lo largo de la ejecución del “Jar-Test”, lo cual podría provocar corrientes de convección que interferirían en la normal sedimentación de los flóculos.

(b) Intercambio gaseoso, es decir, formación de burbujas debido a agitación mecánica, cambios de temperatura o a consecuencia de reacciones químicas, lo cual podría dar lugar a la flotación de los flóculos. Respecto a esto, en ocasiones esta formación de burbujas se aprecia cuando el agua bruta que se ensaya está sobresaturada en aire.

(c) Período transcurrido entre la toma de muestras y el ensayo, puesto que tanto la actividad biológica desarrollada en el agua, como otras reacciones físico-químicas, podrían afectar la coagulación-floculación y posterior sedimentación del agua, así como la oxidación de las sustancias presentes en ella.

➤ Entre los materiales utilizados para ejecutar el “Jar-Test” se encuentran:

- Cuatro beakers de 1,5 litros.
- Agitador con velocidad de agitación (giro) variable, fijando una velocidad de giro para todas las muestras de las tres réplicas del experimento, en el rango que se establece en el método de “Jar Test”. La velocidad de giro se controla de manera estricta, utilizando un mismo agitador para que la forma geométrica y tamaño permanezcan constantes.

En relación a los reactivos químicos a emplear en el “Jar-Test”, se establecen varias categorías. (Lafleur, 1997).

Los usados en esta investigación se ubican dentro de las siguientes categorías:

- (1) Coagulante primario: sal férrica ($\text{FeCl}_3(l)$)
- (2) Ayudantes de coagulación o floculantes: polielectrolito catiónico.
- (3) Agentes alcalinos: $\text{Ca}(\text{OH})_{2(s)}$.

Ha de indicarse también que tanto los tiempos de agitación-espera como las velocidades de agitación son orientativos. De este modo, son usuales velocidades de mezcla rápida de 100-150 rpm y tiempos de 30 segundos a 2 minutos, velocidades de mezcla lenta de 20-40 rpm y tiempos de 5 a 10 minutos, así como tiempos de sedimentación final de 5 a 20 minutos. (Pask, 1993; Lafleur, 1997)

Para ejecutar el procedimiento operativo de laboratorio del “Jar-Test” se siguió el algoritmo dado por la norma americana que sugiere la adición de cada reactivo adoptando la siguiente secuencia: (AEAS, 1997 y Marín, 1998)

- (1) Tras la incorporación del coagulante, mezcla rápida durante 1 minuto entre 100-150 rpm.
- (2) Para la adición del polielectrolito, la agitación será unos 0,5 y 2 minutos para que se reparta rápidamente con una agitación entre 35 y 60 rpm para conseguir la maduración y crecimiento flocular.
- (3) Pasada esta última fase tras la cual se desconecta el agitador, los flóculos se van depositando, pudiendo variar la duración de la sedimentación entre 5 y 30 minutos.
- (4) Una vez terminada toda la experimentación se determina por observación la dosis más adecuada de las diferentes muestras estudiadas.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y RESULTADOS.

3.1 Descripción del proceso tecnológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Jovel.

A continuación se describe el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Empresa Jovel.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Suchel Lever que radica en la Empresa Jovel, ha sido diseñada para tratar las aguas residuales industriales, procedentes del proceso productivo de la Empresa, combinadas con las aguas residuales domésticas provenientes de las áreas de servicios.

Esta planta cuenta con un tratamiento primario cuya función es acondicionar las aguas residuales industriales para un tratamiento secundario biológico, este último consiste en un sistema de lodos activados aeróbicos mediante un proceso de aereación extendida. Además la planta cuenta con un tratamiento terciario para lograr mayor calidad del agua antes de su vertimiento.

El tratamiento primario de la planta es un tratamiento químico-físico que está conformado por las operaciones y equipos que se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1: Operaciones y equipos que conforman el tratamiento químico primario de la planta.

Operaciones	Equipos
Homogenización y mezclado	Tanque receptor (tanque buffer)
Coagulación y neutralización	Tanque de mezclado
Floculación	Tanque de floculación
Sedimentación	Tanque de clarificación primaria
Neutralización	Tanque de neutralización

El agua residual industrial proveniente de las plantas de Productos Personales y Detergente Líquido (Unidad Empresarial Básica) son bombeadas a través de un sistema de tuberías hacia un tanque receptor (tanque buffer) de capacidad igual a 30 m³, que equivale en capacidad de retención a 36 horas de trabajo de las plantas que tributan estos residuales. En este tanque las

aguas residuales de las plantas son homogenizadas y mezcladas mediante el uso de un aireador sumergible; posteriormente son enviadas mediante bombas sumergidas a un tanque de mezclado rápido, en el que se le adiciona una solución de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ [cloruro de hierro (III)] e $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})}$ (hidróxido de calcio) para promover la coagulación de los sólidos y ajustar el pH en el rango de 3 – 5 unidades. La adición de los compuestos químicos se realiza mediante un sistema de dosificación.

El efluente del tanque de mezclado fluye por gravedad hacia el tanque de floculación donde se le añade un poli-electrolito (MERFLOC 2265 POLYMER) para favorecer la formación de flóculos capaces de sedimentar.

El efluente floculado fluye por gravedad hacia un tanque clarificador primario con fondo cónico, donde los flóculos se sedimentan en forma de lodo químico que posteriormente son enviados por gravedad al tanque espesador-digestor de lodos de la planta, mientras que el efluente industrial clarificado es transferido por gravedad al tanque de neutralización donde se adiciona una solución de $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})}$ (hidróxido de calcio) para ajustar el pH en un rango de 6–8 unidades antes de ser transferido por flujo libre al tanque de equalización.

El efluente industrial del tratamiento primario ($20 \text{ m}^3/\text{día}$, dato de diseño), pasa a un tanque equalizador, donde se mezcla con las aguas residuales domésticas ($100 \text{ m}^3/\text{día}$, dato de diseño) previamente pasadas por un tamiz a un pozo de recolección y posteriormente bombeada hacia este tanque. Según diseño el tanque equalizador tiene una capacidad de retención hidráulica de 10 horas, donde el mezclado se realiza mediante el uso de un aireador sumergible inyectando aire para asegurar un mezclado apropiado y evitar la generación de malos olores.

El efluente del tanque equalizador ya neutralizado y equalizado es enviado mediante dos bombas de transferencia sumergibles hacia el tanque de aereación, donde comienza a efectuarse el tratamiento secundario.

Este tratamiento consiste en un sistema de lodos activados aeróbicos mediante un proceso de aereación extendida. Cuyo proceso está formado por un tanque de aereación (reactor biológico), un tanque clarificador secundario (sedimentador) y un tanque digestor aeróbico de lodos.

El tanque de aereación es un reactor donde ocurre la degradación biológica de la materia orgánica presente en el residual, con una configuración del tipo mezcla completa y provisto

para mantener el nivel de oxígeno disuelto de aproximadamente 2.0 mg/L, por difusores de aire de burbujas finas suministrado por sopladores de desplazamiento positivo. Este está diseñado para operar con una relación alimento-sustrato (F/M) de 0,3 y con un contenido de sólidos suspendidos en el licor mezclado de 3500 a 4000 mg/L, condición necesaria para que los microorganismos asimilen las impurezas orgánicas.

El licor mezclado de salida del tanque de aereación fluye por gravedad hacia el tanque clarificador secundario, donde los sólidos suspendidos del licor mezclado precipitan hasta el fondo, siendo el 80% retornado al tanque de aereación por medio del sistema de transporte de lodos por presión de aire, con el objetivo de mantener los sólidos suspendidos del licor mezclado deseado.

Para remover las impurezas flotantes en la superficie del clarificador secundario, se emplea un sistema de limpieza (desnatador) operado por aire que retorna las impurezas flotantes hacia el tanque de aereación. Las aguas residuales así tratadas fluyen por gravedad desde el tanque clarificador al tanque de agua tratada y los sólidos se extraen por el fondo.

Para una mejor calidad, se le adiciona al tanque de agua tratada cloro líquido en forma de $\text{Ca}(\text{OCl})_{2(\text{ac})}$ (hipoclorito de calcio) a través de un sistema de dosificación para mantener un nivel residual de cloro de 0,3 a 0,5 mg/L.

Esta agua de desecho tratada, clarificada y clorinada es descargada hacia el manto freático.

Los lodos provenientes del primer y segundo clarificador son depositados en el tanque digestor aeróbico y concentrador de lodos para su estabilización y espesamiento. Este tanque aeróbico tiene una capacidad de aproximadamente 180 m³, donde el lodo es aireado en ausencia de fuentes de alimentos hasta que se estabilice por el mismo. Para un mejor espesamiento del lodo el flujo de aire se detiene periódicamente para transferir el agua sobrenadante hacia el pozo de recolección del residual doméstico para incorporarse al sistema nuevamente.

Una vez que exista algún exceso de lodos ya estabilizados debe ser bombeado hacia un filtro prensa de marcos y placas para la eliminación adicional de toda el agua permanente, con el empleo de una bomba se hace pasar este líquido a través de las placas del filtro para remover todo el lodo residual.

Una vez realizada alguna extracción, el lodo residual estabilizado y seco debe ser descargado del filtro.

En el Anexo 5 se muestra el diagrama del proceso de depuración del agua residual de la planta de tratamiento de la Empresa Jovel.

3.2 Evaluación de la planta de tratamiento.

La evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Empresa Jovel incluye la caracterización de las corrientes de aguas dentro de la planta, desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, como también la evaluación del reactor biológico (tanque de aereación), con la determinación de la corriente que se recircula y determinados parámetros de diseño.

3.2.1 Análisis cuantitativo.

Se comprobó en visitas realizadas a la planta de tratamiento de aguas residuales en estudio, que existen instalados flujómetros en acometidas de agua industrial, domésticas y la tratada final.

Mediante un estudio realizado por 5 meses, se tomaron las lecturas diarias por corriente, que sirven de base para el análisis cuantitativo de la entrada y salida de las aguas residuales (afluente industrial, doméstico y total; y el efluente de las aguas tratadas) de la planta, estas se muestra en el Anexo 6.

Una vez clasificados los datos se realiza la prueba de Kolmogorov–Smirnov con el objetivo de determinar si los datos se distribuyen normalmente.

Los resultados de esta prueba para el afluente industrial, doméstico y el total de entrada, así como el efluente del agua tratada se reflejan en las tablas 3.2 y 3.3.

Los resultados de esta prueba muestran que todas las variables que se investigan presentan valores de Probabilidades (P-value) superiores a 0,10 para un 90 % de confianza, por lo que no puede rechazarse la hipótesis de que las mismas se distribuyen normalmente. Los gráficos correspondientes a esta prueba se muestran en el Anexo 7.

Tabla 3.2: Resultados de la prueba Kolmogorov – Smirnov para el afluente (industrial y doméstico).

Mes	AFLUENTE					
	Residual industrial			Residual doméstico		
	No	Pvalue	Resultado	No	Pvalue	Resultado
Diciembre	17	0,73	Distribución normal	27	0,99	Distribución normal
Enero	9	0,80	Distribución normal	31	0,98	Distribución normal
Febrero	10	0,75	Distribución normal	27	0,58	Distribución normal
Marzo	27	0,86	Distribución normal	30	0,68	Distribución normal
Abril	10	0,85	Distribución normal	27	0,70	Distribución normal

Tabla 3.3: Resultados de la prueba Kolmogorov–Smirnov para el afluente total y el efluente tratado del sistema.

Mes	AFLUENTE			EFLUENTE		
	Residual de entrada			Residual tratado		
	No	Pvalue	Resultado	No	Pvalue	Resultado
Diciembre	27	0,89	Distribución normal	19	0,99	Distribución normal
Enero	31	0,65	Distribución normal	30	0,15	Distribución normal
Febrero	27	0,94	Distribución normal	28	0,61	Distribución normal
Marzo	30	0,59	Distribución normal	30	0,66	Distribución normal
Abril	28	0,80	Distribución normal	25	0,41	Distribución normal

Al caracterizar estadísticamente estos meses se observa que los coeficientes de variación son elevados (Anexo 8).

Aún teniendo en cuenta que Pujol, et al. (1990) plantea que los datos provenientes de procesos biológicos tienen gran dispersión, se realiza una prueba para evaluar la anormalidad

de cada corriente tomando como base la NC 92-21:79: Procedimiento para evaluar la anormalidad de los resultados de las observaciones.

Los resultados de la prueba de anormalidad se muestran en el Anexo 9, siendo estos los que se utilizan posteriormente para caracterizar las variables.

En las tablas 3.4 y 3.5 respectivamente se muestra la caracterización para cada corriente de muestreo por mes analizado una vez realizada la prueba de anormalidad. Observándose en las mismas que todas las corrientes de los cinco meses de estudio poseen coeficientes de variación alrededor de un 12 %, valor que se establece para considerar que no existe dispersión en los datos.

Tabla 3.4 Caracterización del afluente (industrial y doméstico)

Mes	AFLUENTE					
	Residual industrial			Residual doméstico		
	X	S	C.V (%)	X	S	C.V(%)
Diciembre	19,01	3,72	19,57	72,16	12,90	17,88
Enero	22,71	2,63	11,57	95,75	17,43	18,20
Febrero	23,00	2,83	12,30	62,33	10,93	17,54
Marzo	19,17	2,68	13,99	60,73	7,60	12,52
Abril	18,21	2,83	15,53	55,14	9,77	17,72

Tabla 3.5 Caracterización del afluente total y el efluente tratado de la planta.

Mes	AFLUENTE			EFLUENTE		
	Residual de entrada			Residual tratado		
	X	S	C.V (%)	X	S	C.V(%)
Diciembre	83,72	16,08	19,21	70,43	14,08	20,00
Enero	100,93	19,71	19,53	63,74	8,69	13,63
Febrero	63,97	9,62	15,04	65,64	10,74	16,37
Marzo	76,95	9,25	12,02	68,83	9,36	13,60
Abril	69,17	10,80	15,62	66,79	8,79	13,16

Al comparar estos coeficientes de variación con los que se obtienen inicialmente para las variables antes de realizar la prueba de anormalidad de los datos (Anexo 8) se observa que existe una disminución de los mismos, aún así puede decirse que algunos meses en determinadas corrientes poseen todavía un poco de dispersión en sus valores y que la misma puede estar dada debido a que provienen de procesos biológicos.

A pesar de que, desde el punto de vista estadístico, se obtienen resultados aceptables, se deben tener en cuenta la comparación de los parámetros de diseño de la planta de tratamiento con los reales. Esta planta está diseñada para un flujo de 120 m³ diarios, con una DBO₅, DQO y SST de 3710, 6183 y 786 mg/L respectivamente. Sin embargo, si se calculan los flujos de DBO₅, DQO y SST utilizando las concentraciones de diseño con el caudal actual (Tabla 3.6) se demuestra que la poca materia orgánica e inorgánica que proviene del afluente de la planta es la causa, o una de ellas, que originó la reducción significativa de los volúmenes de lodos en el reactor biológico con respecto a los parámetros de diseño de la planta.

Tabla 3.6: Comparación del afluente biológico de diseño con respecto al real.

Parámetros	Flujo (L/día)	DBO ₅ (kg/día)	DQO (kg/día)	SST (kg/día)
Según diseño	76000	281,96	469,91	59,74
Real	76000	12,91	21,52	11,79
% (Real/Diseño)	100	4,6	4,6	19,7

3.2.2 Análisis cualitativo.

A continuación se realiza un análisis físico –químico y microbiológico del comportamiento de cada una de las corrientes puntuales a lo largo del proceso de depuración, perteneciente a la Empresa Jovel.

La toma de muestra fue realizada teniendo en cuenta que estuvieran los dos tratamientos en funcionamiento, para una superior confiabilidad de los resultados de los parámetros y por consiguiente valorar tanto el tratamiento químico como el biológico.

Se muestra en el Anexo 10 los resultados del muestreo de determinados parámetros.

El estudio realizado en la planta de tratamiento de residuales de la Empresa Jovel, se realiza con el apoyo brindado por el laboratorio de la Empresa Aguas Varadero.

Los resultados obtenidos sirven de base para la caracterización del afluente y el efluente del tratamiento químico y biológico de dicha planta en estudio, así como también para determinar la eficiencia del proceso e investigar si el efluente de la planta estudiada cumple con los niveles establecidos para su vertimiento.

Una vez clasificados los datos primarios en función del punto de muestreo se realiza la prueba de Kolmogorov – Smirnov con el objetivo de determinar si los datos experimentales se distribuyen normalmente.

Los resultados de esta prueba para cada punto de muestreo se reflejan en las tablas 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9.

Los resultados de esta prueba muestran que todas las variables que se investigan presentan valores de probabilidades (P-value) superiores a 0,10 para un 90 % de confianza, por lo que no puede rechazarse la hipótesis de que las mismas se distribuyen normalmente. Los gráficos correspondientes a esta prueba se muestran en el Anexo 11.

Tabla 3.6: Resultados de la prueba Kolmogorov – Smirnov para el afluente y efluente industrial.

Variables	Afluente industrial			Efluente industrial		
	No	Pvalue	Resultados	No	Pvalue	Resultados
Alcalinidad	5	0,99	Distribución normal	5	0,90	Distribución normal
Conductividad	5	0,99	Distribución normal	5	0,87	Distribución normal
pH	5	0,98	Distribución normal	5	0,97	Distribución normal
DQO	5	0,90	Distribución normal	5	0,99	Distribución normal
ST	5	0,89	Distribución normal	5	0,84	Distribución normal
STF	5	0,78	Distribución normal	5	0,98	Distribución normal
STV	5	0,94	Distribución normal	5	0,90	Distribución normal
SST	5	0,95	Distribución normal	5	0,97	Distribución normal

Tabla 3.7: Resultados de la prueba Kolmogorov – Smirnov para el afluente doméstico.

Variables	Afluente doméstico		
	No	Pvalue	Resultados
Alcalinidad	5	0,79	Distribución normal
Conductividad	5	0,99	Distribución normal
pH	5	0,90	Distribución normal
DQO	5	0,99	Distribución normal
ST	5	0,92	Distribución normal
STF	5	0,92	Distribución normal
STV	5	0,80	Distribución normal
SST	5	0,93	Distribución normal

Tabla 3.8: Resultados de la prueba Kolmogorov – Smirnov para el afluente y efluente del tratamiento biológico.

Variables	Afluente biológico			Efluente biológico		
	No	Pvalue	Resultados	No	Pvalue	Resultados
Alcalinidad	5	0,97	Distribución normal	5	0,99	Distribución normal
Conductividad	5	0,95	Distribución normal	5	0,96	Distribución normal
pH	5	0,99	Distribución normal	5	0,87	Distribución normal
DQO	5	0,95	Distribución normal	5	0,91	Distribución normal
DBO ₅	5	0,95	Distribución normal	5	0,91	Distribución normal
ST	5	0,89	Distribución normal	5	0,99	Distribución normal
STF	5	0,97	Distribución normal	5	0,85	Distribución normal
STV	5	0,96	Distribución normal	5	0,99	Distribución normal
SST	5	0,80	Distribución normal	5	0,90	Distribución normal
SSV				5	0,90	Distribución normal

Tabla 3.9: Resultados de la prueba Kolmogorov – Smirnov para el efluente del residual tratado.

Variables	Efluente tratado		
	No	Pvalue	Resultados
Alcalinidad	5	0,99	Distribución normal
Conductividad	5	0,97	Distribución normal
pH	5	0,99	Distribución normal
DQO	5	0,96	Distribución normal
DBO₅	5	0,88	Distribución normal
ST	5	0,93	Distribución normal
STF	5	0,85	Distribución normal
STV	5	0,94	Distribución normal
SST	5	0,90	Distribución normal

Al caracterizar estadísticamente a las variables investigadas se observa que algunos de los coeficientes de variación se encuentran elevados (Anexo 12). Aún teniendo en cuenta que Pujol, et al. (1990) plantea que los datos provenientes de procesos biológicos tienen gran dispersión, se realiza una prueba para evaluar la anormalidad de los datos de cada una de las variables, tomando como base la NC 92-21:79: Procedimiento para evaluar la anormalidad de los resultados de las observaciones.

Los resultados de la prueba de anormalidad se muestran en el Anexo 13, siendo estas tablas las que se utilizan posteriormente para caracterizar las variables.

Se muestran en las tablas 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13 la caracterización de las corrientes para cada punto de muestreo.

Una vez caracterizado los diferentes parámetros con la utilización de los resultados de la prueba de anormalidad se observa en las tablas 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13 que todas las variables en todos los puntos de muestreo poseen coeficientes de variación por debajo de un 12 %.

Al comparar estos coeficientes de variación con los que se obtienen inicialmente para los parámetros antes de realizar la prueba de anormalidad de los datos (Anexo 12) se observa que existe una disminución con respecto a los que presentaban un coeficiente elevado.

Tabla 3.10: Caracterización del afluente y efluente industrial.

PRUEBAS	UNIDAD	Punto 1			Punto 2		
		X	S	Cv(%)	X	S	Cv(%)
Alcalinidad	mg/L	328,00	19,24	5,86	212,60	32,07	15,09
Conductividad	µS/cm	522,00	49,70	9,52	867,20	65,63	7,57
pH		7,09	0,02	0,34	6,17	0,05	0,75
DQO	mg/L	1008,89	5,56	0,55	364,64	16,78	4,60
ST	mg/L	1034,00	34,35	3,32	1130,25	59,50	5,26
STF	mg/L	298,60	35,89	12,02	387,33	10,97	2,83
STV	mg/L	735,40	66,25	9,01	747,25	70,12	9,38
SST	mg/L	55,50	4,20	7,57	18,67	2,31	12,37

Tabla 3.11: Caracterización del afluente doméstico.

PRUEBAS	UNIDAD	Punto 3		
		X	S	Cv(%)
Alcalinidad	mg/L	351,00	18,17	5,18
Conductividad	µS/cm	591,80	38,52	6,51
pH		6,80	0,13	1,85
DQO	mg/L	678,79	9,97	1,47
ST	mg/L	892,20	87,26	9,78
STF	mg/L	290,20	26,56	9,15
STV	mg/L	602,00	65,92	10,95
SST	mg/L	132,20	7,69	5,82

Tabla 3.12: Caracterización del afluente y efluente del tratamiento biológico.

PRUEBAS	Unidad	Punto 4			Punto 5		
		X	S	Cv(%)	X	S	Cv(%)
Alcalinidad	mg/L	332,80	18,95	5,69	167,00	17,89	10,71
Conductividad	μS/cm	706,60	43,37	6,14	380,80	29,61	7,78
pH		7,13	0,05	0,75	7,95	0,09	1,18
DQO	mg/L	283,22	8,94	3,15	54,26	4,61	8,50
DBO ₅	mg/L	169,93	5,35	3,15	32,55	2,77	8,50
ST	mg/L	545,00	24,49	4,49	398,00	33,47	8,41
STF	mg/L	86	6,56	7,62	73,75	9,46	12,83
STV	mg/L	446,40	39,46	8,84	319,00	32,48	10,18
SST	mg/L	155,20	6,14	3,96	35,00	4,08	11,66
SSV	mg/L				35,00	4,08	11,66

Tabla 3.13: Caracterización del efluente del residual tratado.

PRUEBAS	UNIDAD	Punto 6		
		X	S	Cv(%)
Alcalinidad	mg/L	167,00	17,89	10,71
Conductividad	μS/cm	372,40	30,39	8,16
pH		7,50	0,41	5,50
DQO	mg/L	39,00	2,72	6,96
DBO ₅	mg/L	11,20	1,10	9,78
ST	mg/L	406,00	38,47	9,48
STF	mg/L	73,75	9,46	12,83
STV	mg/L	327,00	37,35	11,42
SST	mg/L	35	4,08	11,66

3.2.2.1 Determinación de la eficiencia de planta. Comportamiento.

En las tablas 3.14 y 3.15 se muestra un análisis de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, con respecto a los valores medios de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno respectivamente, parámetros imprescindibles en la depuración del residual.

Para el estudio del comportamiento de las diferentes variables a lo largo del proceso de depuración de la planta de tratamiento de aguas residuales, se tiene en cuenta los parámetros determinados en la caracterización cualitativa realizada en el epígrafe 3.2.2, cuyos valores se muestran en el Anexo 13. En todos los casos, el comportamiento representado por la trayectoria 1 – 2 corresponde al tratamiento químico – físico y la 3, 4, 5 y 6 al tratamiento biológico, siendo el punto 4 (afluente biológico) la unión del efluente industrial (punto 2) con el efluente doméstico (punto 3)

➤ Demanda química de oxígeno:

Tabla 3.14: Eficiencia de cada tratamiento (químico-físico y biológico), con respecto a la DQO.

Puntos de muestreo	Valor promedio de la DQO (mg/L)	Eficiencia de cada tratamiento(%)
1	1008,89	63,86
2	364,64	
4	283,22	86,23
6	39,00	
Eficiencia de la planta		86,23

El tratamiento primario tiene como objetivo minimizar la carga contaminante que trae el residual industrial, que posteriormente será tratado biológicamente, por lo que es de suma importancia la reducción en este caso de los contaminantes químicos que puedan afectar el desarrollo y reproducción, de los microorganismos que forman parte del tratamiento por lodo activado.

En la tabla 3.14 se muestra que el tratamiento químico-físico en cuanto a la remoción de la DQO reporta una eficiencia de un 63,86%, el cual es un valor elevado si se tiene en cuenta que la que se reporta para la disminución de la DQO en este tratamiento es de aproximadamente

un 8% (Hernández, 1998), la necesaria para acondicionar el agua residual industrial para ser mezclada con la doméstica y posteriormente tratada biológicamente.

El tratamiento biológico es el paso principal en la eliminación de la DQO, ya que logra una mayor remoción de la carga contaminante de entrada, reportando un valor de 86,23%, siendo este tratamiento el que da idea de la eficiencia total de la planta en estudio. Según Metcalf - Eddy, (1995) se logra en este tratamiento generalmente eliminar más del 80% de la DQO del afluente, lográndose cumplir este porcentaje en la planta en estudio ya que el valor que se reporta está acorde a ese alto porcentaje de eficiencia, a pesar de la alta eficiencia de remoción de este parámetro en el tratamiento primario.

El objetivo principal de la depuración de las aguas residuales de la planta de tratamiento, es disminuir la demanda química de oxígeno, por tanto en cada proceso unitario se disminuye una cantidad de esta, donde se observa apreciablemente en la figura 3.1.

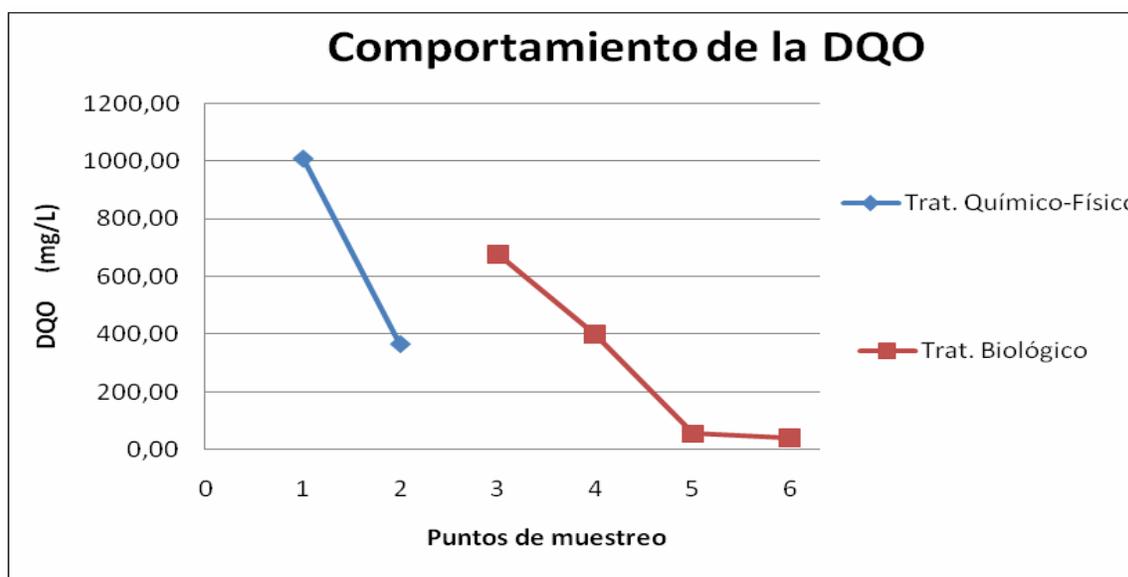


Figura 3.1: Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO) a lo largo del sistema de tratamiento.

➤ Demanda bioquímica de oxígeno:

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) es uno de los principales parámetros indicadores de la contaminación.

Durante el proceso disminuye la DBO_5 significativamente, pues es esta precisamente la función principal de esta etapa del proceso, ver (figura 3.2)

La eficiencia del tratamiento biológico (tabla 3.15) y a su vez la de la planta de depuración es de un 93,41%, valor que está acorde a los altos porcentajes de eficiencias que se reportan para este tipo de sistema de tratamiento, siendo este el otro objetivo de mayor importancia en la purificación de las aguas residuales presente en este tratamiento biológico.

Tabla 3.15: Eficiencia del tratamiento biológico, con respecto a la DBO_5 .

Puntos de muestreo	Valor promedio de la DBO_5 (mg/L)	Eficiencia de cada tratamiento (%)
4	169,93	93,41
6	11,20	
Eficiencia de la planta		93,41



Figura 3.2: Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) a lo largo del sistema de tratamiento.

Al determinar la relación DBO_5/ DQO para el afluente del tratamiento biológico se obtiene un valor de 0.59, valor superior a 0.5 recomendado por Hernández (1995) para la utilización de un tratamiento por lodo activado, siendo el indicativo del carácter biodegradable del residual.

➤ Alcalinidad:

El valor de la alcalinidad está dado por la presencia de una mezcla de sustancias que incluye desde hidróxidos hasta bicarbonatos y que están influenciados por el equilibrio de disociación del $\text{CO}_2(\text{g})$. Las aguas tratadas en esta investigación no poseen hidróxidos como lo indican los valores de pH obtenidos y los carbonatos son raros en estas aguas, por lo que el valor de este parámetro sólo vendrá dado por la presencia de bicarbonatos (hidrogeno carbonato) y el $\text{CO}_2(\text{g})$ disuelto. Este parámetro no se modifica sustancialmente en el tratamiento primario (ver figura 3.3) ya que está presente la adición de sustancias químicas como el $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})}$ y $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$, sin embargo en el tratamiento biológico la disminución de la variable si es apreciable pues el $\text{CO}_2(\text{g})$ se adsorbe y desplaza el equilibrio de los bicarbonatos, en le trayecto del punto 3 al 4 se observa una pequeña disminución de la alcalinidad ya que en ese punto solamente ocurre la homogenización y mezclado del residual doméstico con el industrial previamente tratado.

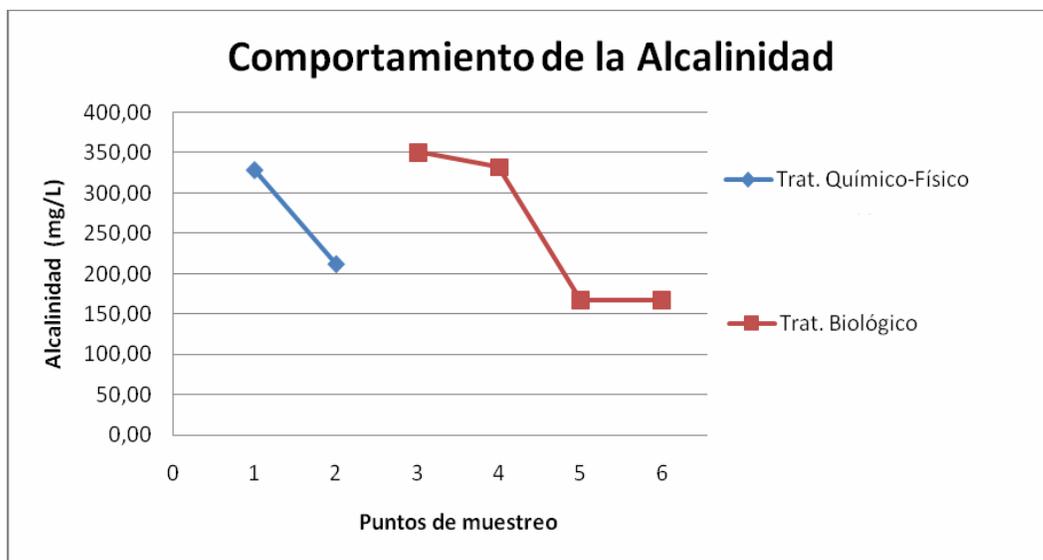


Figura 3.3: Comportamiento de la alcalinidad a lo largo del sistema de tratamiento.

➤ Conductividad:

Se observa en la figura 3.4 que la conductividad aumenta en el tratamiento químico, esto está dado por la adición de las soluciones de cloruro de hierro (III) e hidróxido de calcio, ya que en los mismos hay presencia de iones que son los que provocan la elevación de la conducción de la corriente eléctrica; el aumento de este parámetro no representa inconveniente

alguno, ya que al mezclarse el residual industrial con el doméstico (el cual presenta baja conducción de la electricidad) el parámetro en el afluente biológico disminuye apreciablemente. En el tratamiento biológico si se observa que disminuye la conductividad, ya que en este proceso depurativo se eliminan sustancias orgánicas ionizadas que son capaces de conducir la corriente eléctrica, e inorgánicas que son asimiladas por las células en su metabolismo.

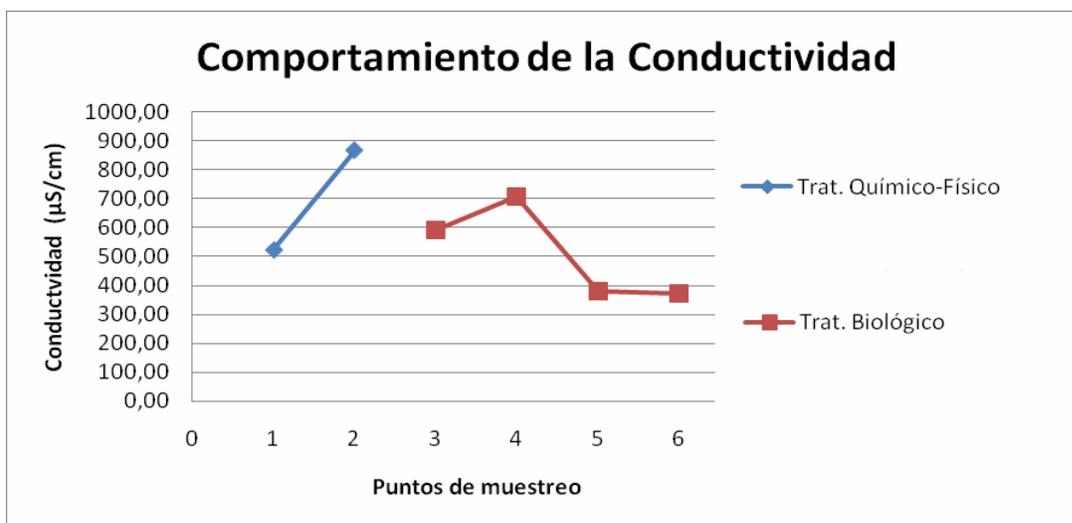


Figura 3.4: Comportamiento de la conductividad a lo largo del sistema de tratamiento.

➤ pH:

El pH es un parámetro esencial en el tratamiento de las aguas residuales, ya que rige en gran parte la vida de los microorganismos. Se conoce que la mayoría de ellos viven favorablemente en condiciones que propicien un pH en un intervalo de 5 a 9.

El valor medio del pH para el afluente del sistema de tratamiento químico de 7,01 cumple con la caracterización, ingresado este valor en el intervalo óptimo de diseño presente en el sistema (6,0–7,0), lo cual favorece el proceso químico.

El valor de pH que está presente en el efluente del sistema de tratamiento químico es de 6,17; cumpliendo con lo establecido en la descripción para ser ecualizada con el residual doméstico (pH de 6,8), para que el afluente biológico pueda cumplir con las condiciones reportadas en la literatura de un intervalo entre 6,0 – 7,0 (Díaz, 1987), no afectando el

desarrollo de los microorganismos que intervienen en el proceso de depuración. El pH para el efluente tratado (8.2) cumple con el rango establecido entre 6.5–8.5 para ser vertido al manto freático.

➤ Sólidos totales y suspendidos:

En el comportamiento de los sólidos totales (sólidos totales, fijos y volátiles) y suspendidos totales, mostrados en la figura 3.5 a) y b) respectivamente, se observa que existe un pequeño acrecentamiento de esta variable para el efluente del tratamiento químico en cuanto a los sólidos totales, esto puede deberse a una incorrecta dosificación de los reactivos empleados en la coagulación – floculación.

En el tratamiento biológico, posterior al químico si hay una depreciación correspondiente a los sólidos totales, indicándome que el sedimentador secundario se encuentra trabajando eficientemente y que el proceso de floculación microbiana se encuentra realizando correctamente su función.

Con respecto a los sólidos suspendidos totales existe un pequeño aumento en la trayectoria 3-4, que esta dada al mezclado del residual doméstico con el industrial previamente tratado correctamente en el tratamiento químico.

Figura 3.5: Comportamiento de los sólidos totales en el tratamiento primario (a) y en el tratamiento secundario (b), sólidos suspendidos totales (c) a lo largo del sistema de depuración.

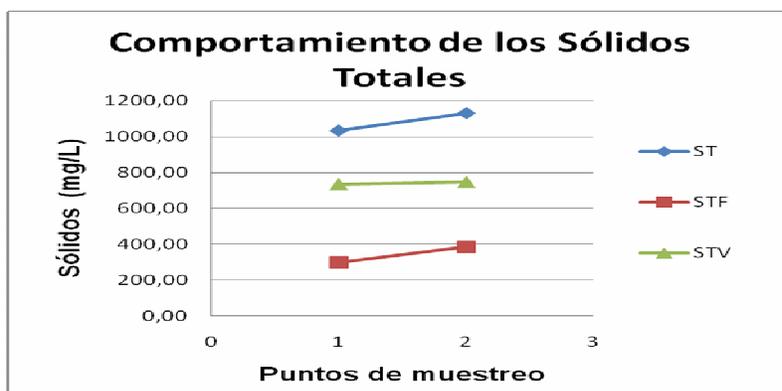


Figura 3.5 a) Comportamiento en el tratamiento químico-físico.

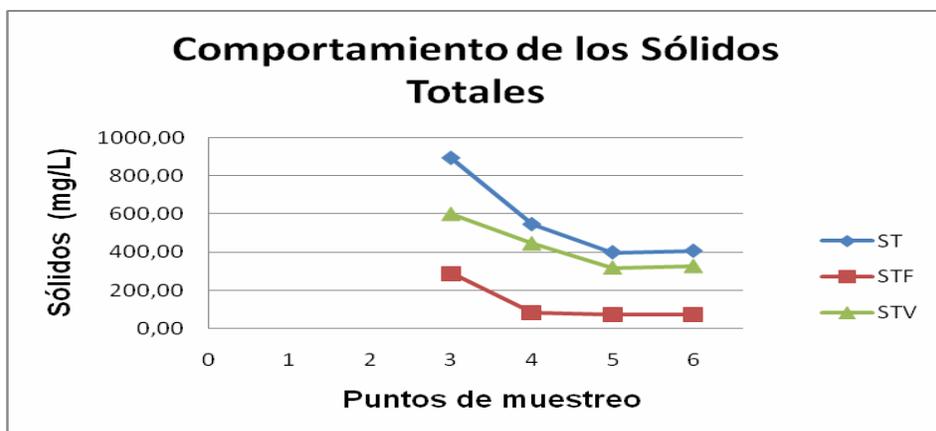


Figura 3.5 b) Comportamiento en el tratamiento biológico.

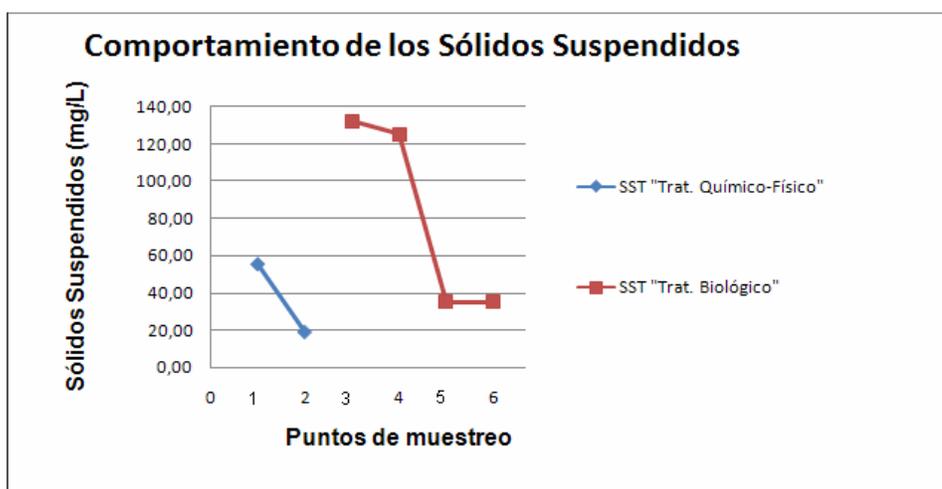


Figura 3.5 c) Comportamiento en el tratamiento químico-físico y biológico.

En general, como se observa en las figuras a), b) y c) el comportamiento de los sólidos totales y suspendidos a lo largo del sistema de tratamiento es similar, siendo este adecuado, con una tendencia a la disminución considerable en las muestras del efluente tratado con relación al afluente de entrada.

3.2.2.2 Valoración de la calidad del agua tratada para su posible vertimiento.

Una vez que se obtiene la caracterización, y se realiza un análisis de la eficiencia de la planta de tratamiento y el comportamiento de cada parámetro en el proceso de depuración, se decide investigar si el efluente de la planta estudiada cumple con los niveles establecidos para su vertimiento al manto freático, dándole respuesta a la hipótesis estadística planteada al final del epígrafe 2.2.2.

Con la realización de una prueba de hipótesis para comparar la media de la población contra un valor estándar. Se utiliza la NC 27: 1999: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado.

Los Límites Máximos Permisibles Promedios para las Descarga de Aguas Residuales para vertimiento en suelo y zona no saturada se muestran en el Anexo 14. Como criterio de comparación se escoge la clasificación del cuerpo receptor de tipo C.

Los resultados de esta prueba se brindan en la tabla 3.16. Se realizó la comparación con la clasificación del cuerpo receptor de tipo A también, para ver como se comportaba el residual tratado con respecto a esta categoría, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.17; pero de los cuales no se hace una comparación detallada ya que ese residual tratado no se utiliza con ese fin.

Tabla 3.16 Resultados prueba de hipótesis (clasificación tipo C).

Variabes	Pruebas	P – value
pH	Ho: pH \geq 6 H1: pH $<$ 6	0.9994
	Ho: pH \leq 10 H1: pH $>$ 10	0,9999
Conductividad	Ho: Cond. \leq 4000	1,0000
DBO₅	Ho: DBO ₅ \leq 100	1,0000
DQO	Ho: DQO \leq 250	1,0000

Tabla 3.17 Resultados prueba de hipótesis (clasificación tipo A).

Variabes	Pruebas	P – value
pH	Ho: pH \geq 6 H1: pH $<$ 6	0.9994
	Ho: pH \leq 9 H1: pH $>$ 9	0,9994
Conductividad	Ho: Cond. \leq 1500	1,0000
DBO₅	Ho: DBO ₅ \leq 40	0,9999
DQO	Ho: DQO \leq 90	0,9999

Se analizaron los parámetros correspondientes para ser vertida, realizando una breve comparación entre las clasificaciones, se aprecia que mediante la prueba de hipótesis realizada la clasificación C proyecta superiores valores de p-values, por lo que es mucho más confiable que la A; a pesar de que los parámetros que caracterizan el efluente de la planta cumplen con los niveles establecidos para su vertimiento en ambas clasificaciones, mostrando a continuación un análisis detallado de cada parámetro.

Atendiendo al pH de 7,50 y la conductividad de 372,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se puede demostrar que cumple con el rango establecido para su vertimiento que es de 6-10 y 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, según la Norma Cubana NC 27: 1999.

La DQO es un estimador de la cantidad de materia orgánica presente en un residual y oscila en el afluente entre valores de 678,79 y 1008,89 mg/L en el afluente industrial y doméstico respectivamente, por lo que se puede considerar que este residual es rico en materia orgánica y con un alto poder contaminante. En el efluente tratado los niveles de materia orgánica son bajos, oscilando entre valores de 54,26 y 39,00 mg/L, siendo la disminución significativa demostrando que el tratamiento es lo suficientemente efectivo, ya que, según lo estipulado por la Norma Cubana NC 27: 1999 para este tipo de sistemas la DQO en el efluente debe encontrarse en un valor de 250 mg/L.

La DBO_5 es uno de los principales parámetros indicadores de la contaminación presente en un residual, en el afluente biológico tiene un valor de 169,93 mg/L, no presentando carga contaminante de este tipo en el afluente industrial. En el efluente tratado los niveles de DBO_5 se encuentran entre 11,20 y 32,55 mg/L, siendo la disminución significativa demostrando que el tratamiento es lo suficientemente efectivo, ya que, según lo estipulado por la Norma Cubana NC 27: 1999 (Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado) para este tipo de sistemas la DBO_5 en el efluente debe encontrarse en un valor de 100 mg/L.

De forma general todos los parámetros cumplen con la norma de vertimiento.

3.2.3 Evaluación del reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para evaluar los resultados obtenidos hay que tener en cuenta que de acuerdo al flujo para el que está diseñada la planta de 120 $\text{m}^3/\text{día}$ es caracterizada por ser una aereación extendida

en un reactor mezcla completa, teniendo en cuenta también los índices de diseño de procesos de lodos activados por Díaz, (1987) y Metcalf - Eddy, (1995).

Los resultados obtenidos según la metodología de ecuaciones descrita en el epígrafe 2.2.3 son los siguientes:

El valor de la corriente de recirculación de lodos al reactor, teniendo en cuenta que la media de los caudales en los meses de estudio, del afluente biológico y efluente tratado es de 78,95 y 67,08 m³/día respectivamente y que los SSV del efluente biológico, de la extracción y los del efluente tratado son determinados por análisis, arrojando un valor medio de 158,6; 569,42 y 32,00 mg/L respectivamente, $Q_r = 8,80 \text{ m}^3/\text{día}$, representando solamente un 42,58% de la extracción que es de 20,67 m³/día, esta corriente de recirculación debería ser según el diseño de la planta en estudio de un 80%. La relación de recirculación Q_r/Q_o de 0,11 se encuentra muy desviada del rango (0,75-1,5) del índice de diseño reportado por Díaz, (1987), comprobando así por ambas demostraciones que la recirculación no es la óptima para mantener un nivel de lodo deseado. Esto puede traer como consecuencia que aumente la edad del lodo convirtiéndose en un lodo viejo y en este caso el nivel de actividad de los microorganismos es bajo y la demanda de sustrato y de oxígeno decrece. La baja actividad permite la formación de un flóculo denso que se sedimenta rápidamente, dejando materia particulada en suspensión en los estratos superiores del sedimentador. Como consecuencia de la baja demanda de sustrato, los organismos que se recirculan al reactor aeróbico no son capaces de su utilización máxima.

El operador observará que una gran cantidad de flóculos minúsculos es arrastrado del sedimentador, pero que el nivel de lodo estará a menos de un cuarto de profundidad total. También se notará una espuma negruzca en la superficie del reactor aeróbico. (Méndez, et al. 2006)

La DBO₅ del efluente final no presentará variación apreciable. Los sólidos en suspensión en el efluente final se incrementarán ligeramente. La relación alimentación–microorganismos (F/M) será baja. Los sólidos en suspensión en el licor mezclado serán elevados.

La carga orgánica aplicada en función de la demanda química de oxígeno es de 0,25 kg DQO/kg SSVLM-día y con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno de 0,15 DBO/kg SSVLM-día, encontrándose en el límite del rango del índice de diseño de 0,2 – 0,6; siendo una alerta a tener en cuenta, ya que este parámetro cuantifica la relación entre el aporte de carga

contaminante y la cantidad de lodos presentes en el tanque de aereación y define a su vez el rango de operación del sistema, de presentar una mayor disminución podría traer como consecuencia que el lodo pierda sus características de fácil sedimentación. (Metcalf - Eddy, 1995).

La carga volumétrica en función de la demanda química de oxígeno es de 0,04 kg DQO/kg SSVLM-día y con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno de 0,02 DBO/kg SSVLM-día, encontrándose por debajo de lo establecido para el rango del índice de diseño de 0,1 – 0,4; lo cual corrobora que la masa de materia orgánica alimentada al sistema por unidad de volumen al reactor es baja. (Díaz, 1987)

La edad del lodo se define como la relación existente entre los lodos que se encuentran en el sistema de aereación y los que abandonan el mismo, ya sea por concepto de extracciones o purgas de excesos o por fugas en el efluente tratado. Representa el tiempo promedio en que una partícula de los sólidos en suspensión permanece sometida a la aereación.

El valor obtenido es de aproximadamente 10 días, valor que se encuentra en el rango establecido por Metcalf – Eddy, (1995) de 5 – 15 días, siendo este el más adecuado, dando idea de que estamos en presencia de un efluente estable y de alta calidad, así como un fango de excelentes características de sedimentabilidad.

3.3 Determinación de la dosis de coagulante.

Debido a la irregularidad detectada en el comportamiento de los sólidos totales del tratamiento químico – físico en el epígrafe 3.2.2.1, se verifica si la dosis empleada en el proceso de coagulación – floculación es la adecuada. Las partículas existentes en el agua residual industrial son muy finas, de naturaleza coloidal y denominadas coloides, presentan una gran estabilidad.

Estas partículas constituyen una parte importante de la contaminación, causa principal de la turbiedad del agua. Debido a la gran estabilidad que presentan resulta imposible separarlas por decantación o flotación. Tampoco es posible separarlas por filtración porque pasarían a través de cualquier filtro convencional.

A continuación se determinará la dosis adecuada, aplicando el método “Jar Test”, siguiendo el procedimiento que se muestra a continuación.

Método “Jar Test”

Para realizar los ensayos de laboratorio, se utiliza un dispositivo provisto de cuatro puntos de agitación, que permite agitar simultáneamente, a una velocidad de 100 rpm, el líquido contenido en una serie de beakers.

Durante el ensayo se controlará la temperatura del agua para que sea próxima a la que tendrá realmente durante su tratamiento en planta (ambiente entre 20 y 25 °C).

El agua a clarificar se agita en los distintos beakers y a continuación, se adiciona el coagulante $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ [cloruro de hierro (III)] manteniendo una agitación de 100 rpm para que la mezcla sea rápida. Dicha agitación se mantiene durante un minuto.

Posteriormente, se adiciona $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})}$ (hidróxido de calcio) para garantizar la reacción y para la corrección del pH a valores que permitan una coagulación óptima: entre 4 y 6.

Mediando el menor tiempo se añade el polímero, agitando lentamente, a 50 rpm, durante 2 minutos para conseguir la maduración y crecimiento flocular.

Se detiene la agitación y los flóculos se van depositando, cuya sedimentación se efectúa durante un tiempo de 30 minutos.

Siguiendo el procedimiento descrito en el epígrafe 2.3 se determinan las disoluciones tanto del coagulante como del coadyuvante, utilizando el manual de la planta para la preparación de las mismas a utilizar.

Al ejecutar el ensayo la riqueza del reactivo comercial (concentración del componente activo) no es determinante, a excepción del caso del cloruro férrico. Es importante que cuando se dosifique el reactivo esté totalmente disuelto, de no ser así, perfectamente homogeneizado. Para ello, la agitación previa de la disolución o suspensión a dosificar habrá de ser condición necesaria.

- Basándose en la preparación de la solución del $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ y la del $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})}$ se determina la concentración de las mismas.

Preparación en planta para la solución del $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$:

$$V(\text{FeCl}_{3(\text{ac})}) = 8 \text{ L}$$

$$m(\text{FeCl}_{3(\text{ac})}) = 11360 \text{ g}$$

$$V_{\text{sol}}(\text{FeCl}_{3(\text{ac})}) = 200 \text{ L}$$

La riqueza del producto activo está en un rango de 38 - 42%, para este estudio se toma una media de 40%

Obteniéndose:

$$c(\text{FeCl}_{3(\text{ac})})=22,72 \text{ g/L}$$

Preparación en planta para la solución del $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})}$:

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})})= 6,25 \text{ kg}$$

$$V_{\text{sol}}(\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})})= 400 \text{ L}$$

Obteniéndose:

$$c(\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})})=15,625 \text{ g/L}$$

Datos: Perry, (2008)

$$\rho(\text{FeCl}_{3(\text{ac})})=1,42 \text{ g/cc}$$

$$M(\text{FeCl}_{3(\text{ac})})= 162,206 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})})= 162,102 \text{ g/mol}$$

Los parámetros fijados para la experimentación son:

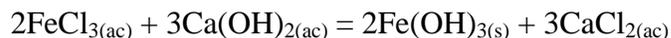
$$V(\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})})_{\text{ind.}}= 800 \text{ mL}$$

$$V_{\text{polímero}} = 10 \text{ mL}$$

Los autores Marín, (1995) y Hernández, (1995) plantean que el rango de la dosis a emplear se encuentra: de 5 a 160 g/m^3 de reactivo comercial, por tanto estos valores para el experimento en cada muestra son fijados en ese rango establecido, afectándolos por el por ciento de riqueza del reactivo.

La determinación de las dosis del $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{ac})}$ (hidróxido de calcio) es mediante la reacción que está presente en la operación de este tratamiento, teniendo en cuenta la dosis fijada de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ [cloruro de hierro (III)] para cada muestra experimental de las tres réplicas realizadas:

Reacción de precipitación:



En la tabla 3.18 se muestra los valores medios de la dosificación de las cuatro muestras realizadas para el experimento por el método “Jar Test”

Tabla 3.18: Dosificación para las cuatro muestras del experimento, aplicando el método “Jar Test”.

No	Vind.(H ₂ O) (mL)	Dosis(FeCl ₃) (g/m ³)	Vsol.(FeCl ₃) (mL)	Dosis(Ca(OH) ₂) (g/m ³)	Vsol.(Ca(OH) ₂) (mL)	Vpolímero (mL)
1	800,00	30,00	1,06	44,97	2,30	10,00
2	800,00	40,00	1,41	59,96	3,07	10,00
3	800,00	50,00	1,76	74,95	3,84	10,00
4	800,00	60,00	2,11	89,94	4,61	10,00

Observaciones:

- Quince minutos después de completada la coagulación-floculación, la muestra 2 presentaba menor turbidez que los restantes en el siguiente orden: muestra 2<<1<3<4.
- Transcurridos treinta y cinco minutos de completada la coagulación-floculación, los flóculos han sedimentado completamente en el experimento 1 y 2; en el 3 y 4 este proceso demoró 5 minutos adicionales sin grandes diferencias entre ellos.
- Al concluir la sedimentación se muestra una disminución en cuanto a la turbidez; pero sin cambio alguno en la secuencia: muestra 2<<1<3<4.

Según el experimento: la muestra 2 es en la que se logra resultados de menor turbidez, menor tiempo de sedimentación y mayor concentración de lodos que las otras muestras, llegando a la misma conclusión en las tres réplicas realizadas, por lo que para una total seguridad de su aplicación se determina la calidad del agua obtenida en la muestra. En el Anexo 15 se muestra los valores medios de los diferentes parámetros de calidad del agua de la muestra 2. Concluyendo que después de una minuciosa observación y comprobación con respecto a la calidad, la muestra 2 es la de mejores resultados y por tanto la dosis más factible es de:

Dosis de la solución de FeCl_{3(ac)} al 2% = 40 g/m³ de H₂O (residual industrial), encontrándose dentro del rango establecido por Hernández, (1998) y Marín, (1998) de 5 a 160 g/m³ del reactivo comercial FeCl_{3(ac)} con Ca(OH)_{2(ac)} a una dosis a aplicar de 59,96 g/m³.

Teniendo en cuenta la dosis que es utilizada por el operador de la planta en la coagulación del residual industrial, se puede calcular la diferencia de dosis y a su vez el ahorro por concepto de ajustarse a la determinada por el método “Jar Test”, propuesta que mantiene la eficiencia total del sistema de tratamiento químico –físico.

El análisis económico se realiza en función del consumo de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ (cloruro férrico), coagulante utilizado en el tratamiento, teniendo en cuenta la información disponible del caudal de agua industrial a la entrada de la planta de tratamiento en el año 2009 (Tabla 3.19).

Tabla 3.19: Caudal residual industrial (Promedio datos históricos)

m³/día	12,57
m³/mes	382,39
TOTAL (m³ /año)	4588,64

Según los resultados obtenidos en el epígrafe 3.3, se puede establecer una dosis de 40g de Cloruro Férrico por m³ de agua industrial a tratar, dosificación para la que se realizará el análisis económico comparativo de la implantación de las modificaciones propuestas.

El patrón para la realización del análisis económico es el consumo real de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ en planta por metros cúbicos de agua industrial tratada al día, teniendo en cuenta que la dosis empleada en la misma es de 100g/m³ de agua industrial.

En la tabla 3.20 se muestra el análisis entre el funcionamiento normal de la planta en estudio (caso base) y (propuesta).

Tabla 3.20: Análisis comparativo del consumo de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ para la dosificación propuesta

	caso base 100 g/m³ FeCl_3	Propuesta 40 g/m³ FeCl_3
kg de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$/día	1,26	0,50
kg de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$/mes	38,24	15,30
TOTAL kg/año	458,86	183,55
Costo de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ (\$/día)	2,70	1,08
Costo de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$ (\$/mes)	82,21	32,89
TOTAL (\$/año)	986,56	394,62

En la aplicación de la propuesta en cuestión no se requiere de nuevas inversiones para su implementación, el precio del Cloruro Férrico, como los de cualquier otro producto presentan grandes fluctuaciones, el precio FOB actual es de 2,15 \$/kg, sin tener en cuenta los costos adicionales como la transportación, flete y aranceles.

El análisis comparativo de la propuesta, desde el punto de vista económico, con respecto al caso base se muestra en la Tabla 3.21.

Tabla 3.21: Análisis comparativo de la propuesta con respecto al caso base desde el punto de vista económico.

<i>Elementos del Costo</i>	Caso base	Propuesta
Operación y mantenimiento (\$/año)	50,04	50,04
Consumo de cloruro férrico(\$/año)	986,56	394,62
Costo total (\$/año)	1036,60	444,66
Diferencia del costo total con respecto al caso base (\$)		-591,93

El análisis técnico económico es factible desde ambos puntos de vista, pues con el se logra aumentar la eficiencia del proceso sin comprometer la calidad del efluente de la planta, además de ahorrar un total de \$591,93 anuales por concepto de ahorro de reactivo.

3.4: Conclusiones parciales.

1. La caracterización de los caudales y de los diferentes parámetros, demostró que existe una buena bondad de ajuste entre la distribución de los datos experimentales y la distribución teórica deseada, en este caso la distribución normal, por lo que existe un buen funcionamiento en la purificación de las aguas.
2. Todas las variables que se analizan en el efluente cumplen con los niveles que se establecen en la Norma cubana para su vertimiento.
3. En la evaluación realizada al reactor, se obtuvo una corriente de recirculación de 42,58%, muy baja con respecto al 80% para la cual está diseñada.
4. Se realiza un estudio de disminución de la dosis de $\text{FeCl}_{3(\text{ac})}$, a través de una práctica de experimentos, donde se aprecia que la dosis empleada en la planta de estudio no es la más eficiente en cuanto a consumo.
5. Con la propuesta de dosificación en el tanque de mezclado del tratamiento químico (dosis de solución de cloruro de hierro III al 2% de 40 g/m^3) se ahorra un total de \$591,93 anuales por concepto de ahorro de reactivo, sin comprometer la calidad del efluente industrial de la planta de tratamiento para ser tratado biológicamente y sin requerir de nuevas inversiones para su implementación.

CONCLUSIONES

1. Con la evaluación realizada al reactor biológico se logró dar cumplimiento a la hipótesis de dicha investigación, ya que se determinó una recirculación al reactor de 42,58%, resultado muy bajo con respecto al 80% para el cual está diseñada y con el análisis cuantitativo de las corrientes se demostró que la materia orgánica e inorgánica que proviene del afluente de la planta representa un 4,6% de DBO₅ y DQO y un 19,7% de SST de la establecida según el diseño, con el caudal medio actual de 76 m³/día.
2. Todos los parámetros que se analizan en el efluente cumplen con los niveles que se establecen en la norma cubana para su vertimiento.
3. Existe un buen funcionamiento en la purificación de las aguas, demostrado mediante la caracterización de los caudales y de los diferentes parámetros.
4. Con la propuesta determinada por el método “Jar Test” de 40 g/m³ de FeCl_{3(ac)} y 59,96 g/m³ de Ca(OH)_{2(ac)}, se logra disminuir 120 mg/L de concentración en los sólidos totales del afluente industrial, representando un 98 % de eficiencia con respecto a este parámetro.
5. Con la propuesta de disminución de la dosis de FeCl_{3(ac)}, de 40 g/m³ al 2%, se economiza un total de \$591,93 anuales por concepto de ahorro de reactivo, sin comprometer la calidad del efluente industrial de la planta de tratamiento para ser tratado biológicamente y sin requerir de nuevas inversiones para su implementación.

RECOMENDACIONES

- 1.** Proponer a la dirección de la Empresa Jovel, un estudio de la o las causas que propician la baja recirculación en estos momentos al reactor y en caso necesario inocular una porción de lodos de otra planta de tratamiento biológico por fangos activados
- 2.** Extender la aplicación del estudio realizado sobre la determinación de la dosis de coagulante, al resto de las EDARs, que apliquen este tratamiento químico, teniendo en cuenta los resultados que surgen de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AEAS (*Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas*), (1997). Recomendaciones de Normalización de ensayos para determinar las dosis de reactivos en el tratamiento de aguas. Madrid.
2. AGUAMARKET. (2006). Productos y servicios para la industria del agua latinoamericana [on-line]. *Disponible en World Wide*.
Web: <<http://www.aguamarket.com/aguas/>>
3. Albertson, O.E. (1995). Is CBOD₅ test viable for raw and settled wastewater? *Journal Environmental Engineering*. ASCE 121 (7): 515- 520.
4. Alós, M. (1997). Depuración de aguas residuales. Manual del operador. Edición Technipublicaciones España, SL.pp 180.
5. ARBOLEDA, (2000). "Teoría y práctica de la purificación del agua", 3ª edición, tomo II. Colombia.
6. Awwa APHA, WPCP, (1996). Standard methods of examination of water and wastewater. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A. ISBN 84-7978-031-2
7. Benítez, A. (2005). Optimización de parámetros de estabilidad dinámica en el proceso de depuración por lodos activados mediante un modelo de dinámica de sistemas. Cuba: Universidad de Matanzas. Tesis doctoral.
8. Brizuela, E. (1987). Aspectos fundamentales del diseño de plantas industriales. Tomo I. Ciudad de La Habana.
9. Calleja, G. et al. (1999). Introducción a la ingeniería química. Ciencia química e ingeniería química. Editorial Síntesis. España.
10. CITMA. (2002). Introducción de la Producción Más Limpia en la Gestión Ambiental. Diagnóstico de la situación de los sistemas de tratamiento y disposición final de residuales líquidos. La Habana. p 6-39.
11. Cotorruelo, M. (1998). Tratamiento de aguas por adsorción. Procesos en la planta de tratamiento. Ingeniería Química. Octubre. Málaga.
12. Da Silva, C.A. (1987). Polucao em Águas Continentais. Brazil: Editora Universitaria da UFMA.

13. Dabrowski, A. (2001a). Adsorption _ from theory to practice. Advances in Colloid and Interface Science 93.
14. Davis, M.L y Cornwel, D.A. (1985). Introduction to environmental engineering. New York: McGraw-Hill, 1985, p: 179-413. ISBN 0-07-0159114.
15. Degrémont, A. (1991). Water Treatment Handbook. París.
16. Díaz, J. (1999). El desarrollo científico-técnico y la interrelación sociedad-naturaleza. Tecnología y Sociedad. Ciudad de la Habana. Editorial Félix Varela. Cuba.
17. Díaz Betancourt, R. (1987). Tratamiento de Aguas y Aguas residuales. Ciudad de La Habana Editorial ISPJAE. Cuba.
18. ESTRUCPLAN. (2007). Operación de plantas de barros activados (on-line). Disponible en el World Wide.
[Web:http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=207](http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=207)
19. Fernández, A. (1999). Ley 81/97 del Medio Ambiente. Ministerio de Justicia. La Habana.
20. Gómez Fernández, E. (1999).Caracterización y depuración de aguas residuales, sector agrario (Tecnologías de bajo coste).Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria. Cuba.
21. González, R; YLL, M y Curiel, L. (2003). Metodología de la investigación científica para las ciencias tecnicas. Universidad de matanzas. 186 pag
22. Gutiérrez D. M. (1996). Evaluaciones económicas en plantas de tratamiento de agua en Cuba. Tecnología de agua No. 147.Hermann, H. 1996. Chemical Water and Wastewater Treatment. Ed. Springer.
23. Hernández, A. et al. (1995). Manual de Depuración de Uralita. Editorial Paraninfo. Madrid: España. 427 p.
24. Hernández, M. A. (1998). Depuración de Aguas residuales. 4^a Edición.
25. Hierro, G.J. (2005). Lodos de plantas depuradoras de aguas servidas.
26. Juárez, J.J. (2007a). Aguas residuales [on-line]. Trabajos Universitarios [consultado 2010]. *Disponible en el World Wide.*

[Web: <http://html.rincondelvago.com/aguas-residuales_2.html](http://html.rincondelvago.com/aguas-residuales_2.html)

27. Juárez, J.J. (2007b). Tratamiento de aguas residuales [on-line]. Trabajos Universitarios [consultado 2010]. *Disponibile en el World Wide*.
Web: <http://html.rincondelvago.com/tratamiento-aguas-residuales.html>
28. Junco, J.Z. (2002). Diagnóstico ambiental y tratamiento de efluentes urbanos e industriales. Curso que aporta créditos al Doctorado Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. Cuba: Universidad de Matanzas. Mayo, 13-17. 2002
29. Lafleur, T. (1997). "Jar Testing". Philadelphia (USA)
30. Llenez, J. (1999). Políticas económicas ambientales. 1ra Edición. La Habana. Editorial Ciencias Sociales.
31. Marín Galvín, R. (1995). Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones. Editorial GPESA, Barcelona.
32. Marín Galvín, R. (1998). Tecnología Del Agua "Jar-test" en el tratamiento de aguas: Una valiosa herramienta Empresa Municipal de Aguas. Córdoba S.A.C/Cronista Rey Díaz, 2. 14006-Córdoba.
33. Martínez, Y. (2002). Estudio de variantes operacionales para el mejoramiento de la calidad de efluentes de EDARs a través de la simulación matemática. Cuba: Tesis (en opción al grado científico de Máster en Control y Tratamiento de la Contaminación Ambiental). Universidad de Matanzas.
34. Martínez, Y. (2005) Análisis de variantes operacionales para la inclusión de etapas de eliminación biológica de nutrientes en EDARs. Cuba: Universidad de Matanzas. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. 2005. 236 p
35. Méndez, L., Miyashiro, V., Rojas, R. et al. (2006). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr. [on-line]. jul. /dic. 2004, vol.7, no.14 [citado 30 Enero 2010], p.74-83. *Disponibile en la World Wide Web: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-08882004000200010&lng=es&nrm=iso>*
36. Menéndez, C; Villasante, R. (1997). Depuración de aguas residuales. Tomo I. Editorial ISPJAE.
37. Metcalf & Eddy, Inc (2003). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 3ra. ed. Madrid: McGraw-Hill, 2003. ISBN 84-481-1607-0

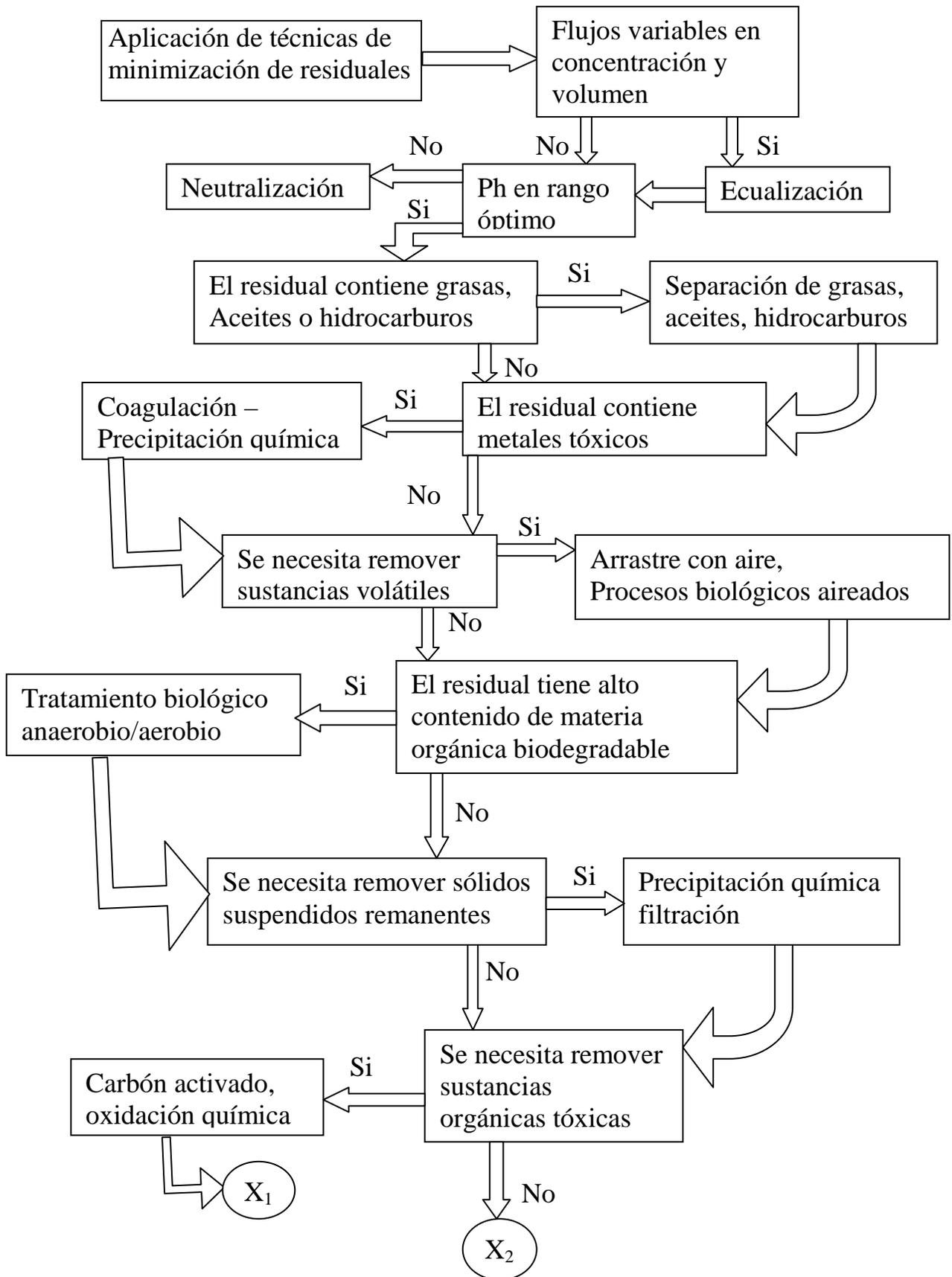
38. Metcalf & Eddy, Inc. (1995). Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición Ed. McGraw-Hill. Interamericana de España, S.A.U.
39. NC 27: 1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.
40. NIST/SEMATECH. (2002). Engineering Statistics Handbook. [on line]. NIST Publications, 2002. [citado 21 de septiembre 2003] *Disponible en el World Wide Web:*
[http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/.](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/)>
41. Pan, S.C; et al. (2003). Reusing sewage sludge ash as adsorbent for copper removal from waster water. Resources, Conservation and Recycling. (E). 39: 79-90.
42. Pask, D. (1993). "Jar Testing: Getting Started on a Low Budget." On Tap: National Environmental Service Center.
43. Perry, R.H. (2008). Perry's Chemical Engineer's Handbook. Octava Edición. Mc GRAW – HILL. Barcelona.
44. Pichardo, D.J. (1997). Los problemas ambientales y sus manifestaciones globales. Instituto Superior Pedagógico. Ciudad de la Habana. Caminos Abiertos. (C) 72-73 (6).
45. Pujol, R y Lienard, A. (1990). Cualitative and quantitative characterization of waste water for small communities. Wat Sci. Tech. 1990, vol. 22, no. 314, p. 253 -260.
46. Ramalho, R.S. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverté, S.A. España 705.
47. Rodier, J. (1989). Análisis de las Aguas. Editorial Omega, Barcelona.
48. Seoáñez, M. (1998). Ingeniería medioambiental aplicada a la reconversión industrial y a la restauración de paisajes industriales degradados. Casos prácticos. Ediciones Mundi Prensa, Editorial Aedos, S.A.
49. Seoáñez, M. (1999). Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental. Ediciones Mundi Prensa, Editorial Aedos, S.A.
50. TCHOBANOGLOUS, (1995) "Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización", tomo I editorial McGraw-Hill, Madrid.
51. Terry C; Gutiérrez J; Abó M. (2006). Manual de Aguas Residuales en la Gestión Ambiental. La Habana: CIEGA

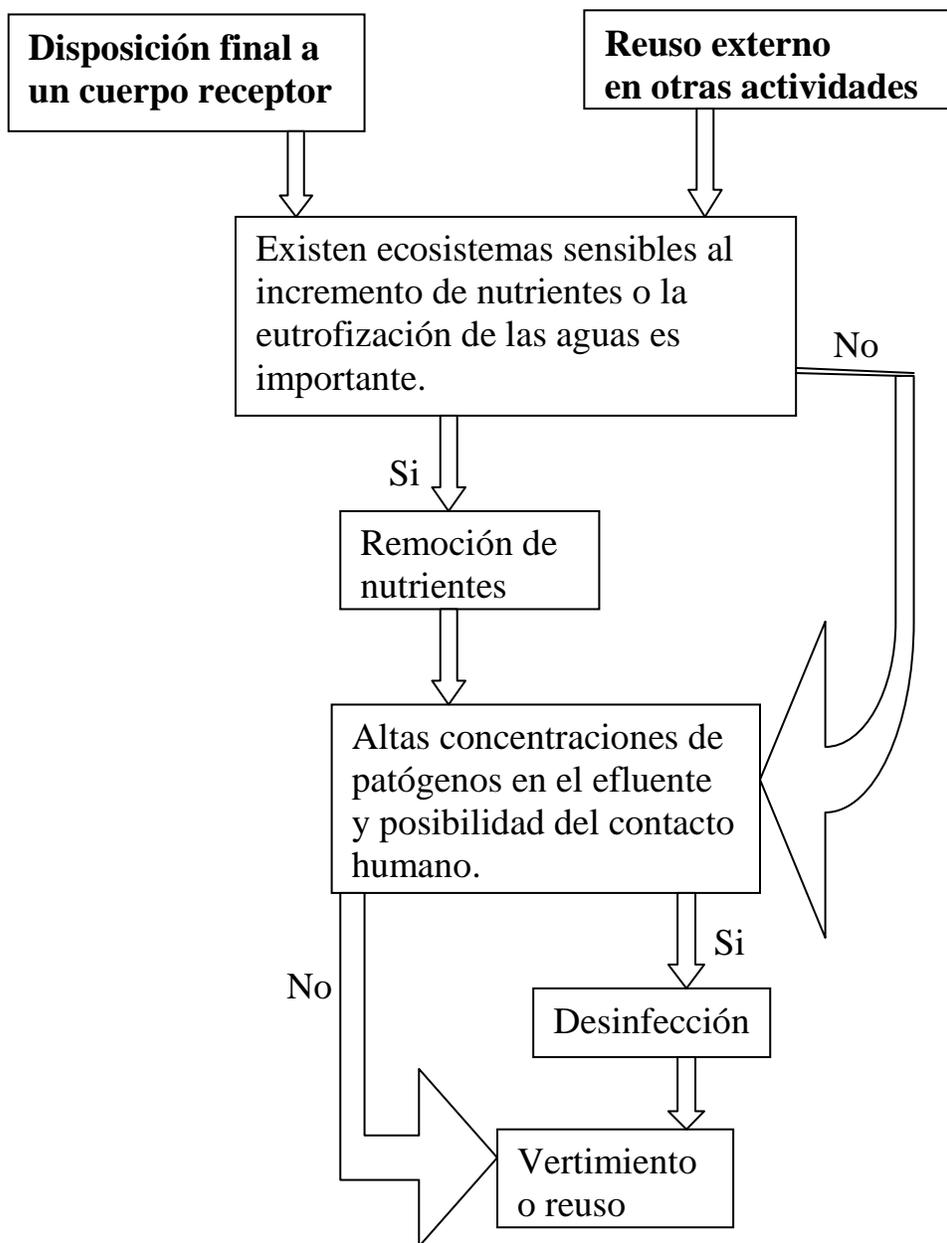
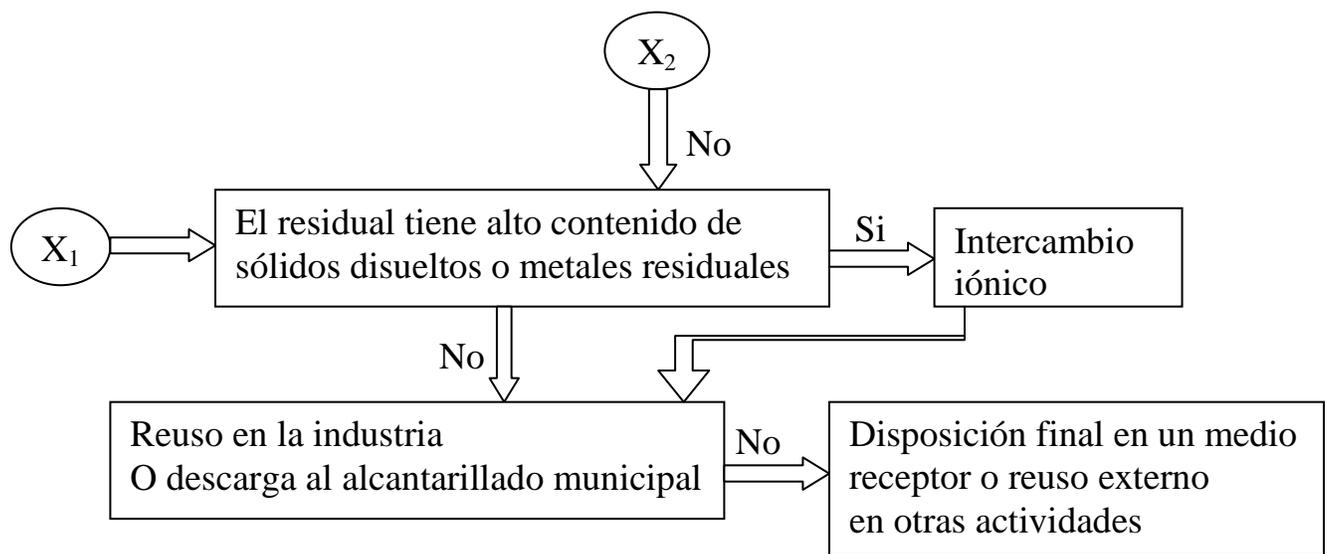
Anexo 1: Composición típica del agua residual doméstica no tratada. (Criterios de varios autores)

Autores: (1) Seoánez, 1999, (2) Tchobanoglous, 1991; (3) Davis y Cornwell, 1985, (4) Da Silva, 1987; (5) Juárez, 2007

COMPONENTES	CONCENTRACIÓN												
	DEBIL				MEDIA					FUERTE			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)
ST	330	350	-	450	700	720	-	800	750	1200	1200	-	125
SDT	250	250	200	-	500	500	500	-		850	850	1000	-
SDF	-	145	-	-	-	300	-	-		-	525	-	-
SDV	-	105	-	-	-	200	-	-		-	325	-	-
SST	100	100	100	96	200	220	200	200		350	350	350	360
SSF	-	20	-	-	-	55	-	-		-	75	-	-
SSV	-	80	-	75	-	165	-	135		-	275	-	215
SS	-	5	5	-	-	10	10	-		-	20	20	-
DBO₅	100	110	100	95	200	220	200	210		300	400	300	400
DQO	250	250	250	-	500	500	-	-	500	1000	1000	1000	-
N total	20	20	20	-	40	40	40	-	40	85	85	80	-
N orgánico	-	8	-	8	-	15	-	21		-	35	-	40
N-NH₄	12	12	-	5	25	25	-	12		50	50	-	21
NO₂⁻, NO₃⁻	0	0	-	-	0	0	-	-		0	0	-	-
P total	6	4	5	-	10	8	10	-	8	20	15	20	-
P orgánico	-	1	-	-	-	3	-	-		-	5	-	-
P inorgánico	-	30	-	-	-	5	-	-		-	10	-	-
Alcalinidad	50	50	50	-	100	100	100	-	100	200	200	200	-

Anexo 2: Criterios básicos para seleccionar las operaciones y procesos unitarios apropiados para tratar aguas residuales industriales.





Anexo 3: Características que forman parte de los lodos activados.

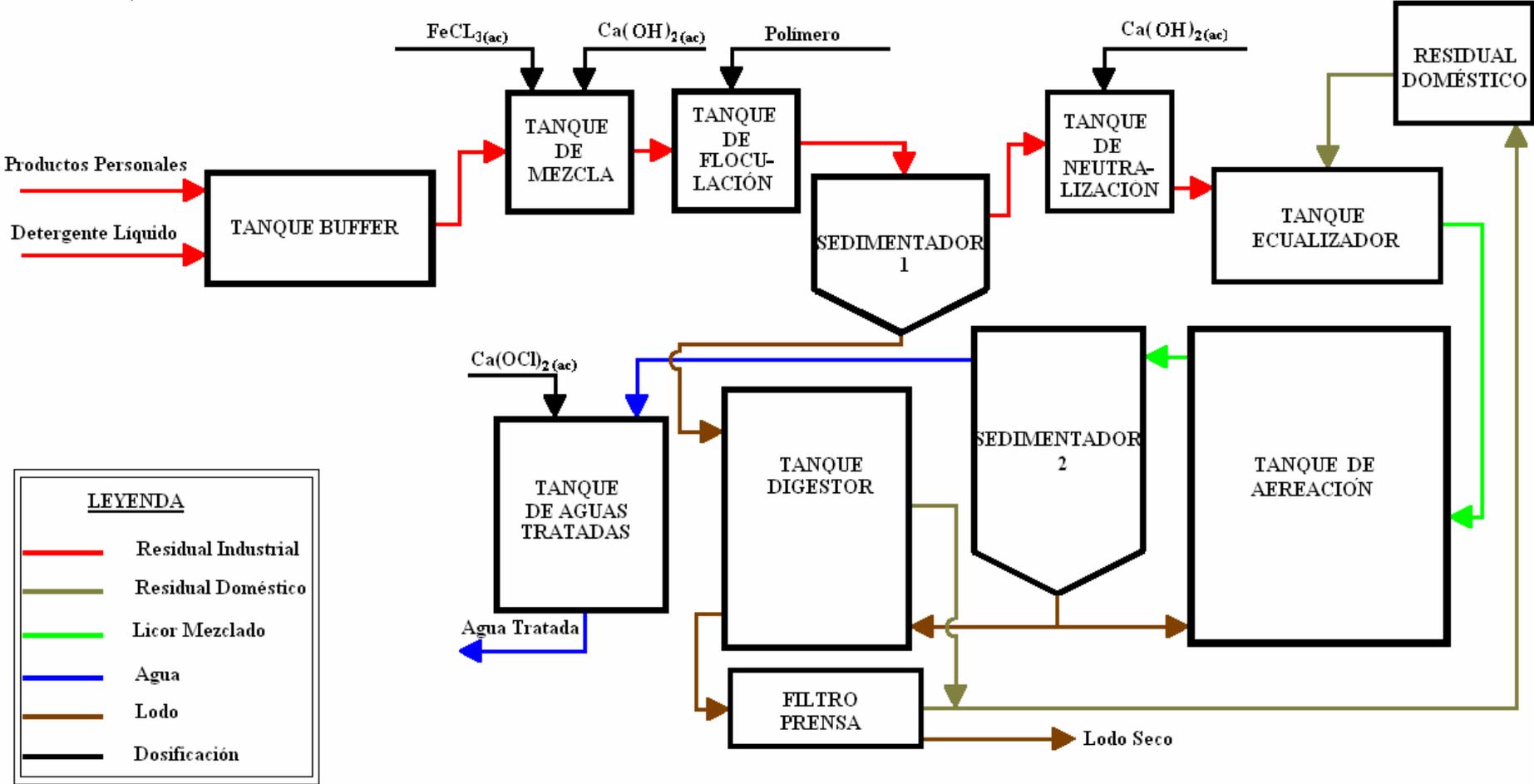
Características de los organismos formadores de flóculos	
1.	Tienden a unirse.
2.	Su aspecto a simple vista es de flóculos de color marrón claro.
3.	Sedimentan a velocidad uniforme, prácticamente sin dejar partículas en suspensión.
Características de los organismos filamentosos	
1.	Su aspecto es filamentosos.
2.	Son livianos y de color gris claro. Como consecuencia suelen ser arrastrados con el efluente tratado, esta condición se denomina "abultamiento del lodo" (bulking sludge).
3.	Pueden ser aerobios o facultativos es decir, viven con o sin oxígeno disuelto. Ciertas formas de hongos filamentosos se ven favorecidas en efluentes con contenido de hidratos de carbono o compuestos orgánicos específicos.

Anexo 4: Técnicas de conservación de muestras para la determinación de constituyentes.

Parameter	Container ^b	Preservative	Maximum Holding Time
Bacterial Test			
Coliform, fecal and total	P,G	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	6 hours
Fecal streptococci	P,G	Cool, 4°C 0.008% Na ₂ S ₂ O ₃	6 hours
Inorganic Tests			
Acidity	P,G	Cool, 4°C	14 days
Alkalinity	P,G	Cool, 4°C	14 days
Ammonia	P,G	Cool, 4°C H ² SO ⁴ to pH < 2	28 days
Biochemical oxygen demand	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Biochemical oxygen demand, carbonaceous	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Bromide	P,G	None required	28 days
Chemical oxygen demand	P,G	Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH < 2	28 days
Chloride	P,G	None required	28 days
Chlorine, total residual	P,G	None required	Analyze immediately
Color	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Cyanide, total and amenable to chlorination	P,G	Cool, 4°C NaOH to pH > 12	14 days
Fluoride	P	None required	28 days
Hardness	P,G	HNO ₃ to pH < 2	6 months
Hydrogen ion (pH)	P,G	None required	Analyze immediately
Kjeldahl and organic nitrogen	P,G	Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH < 2	28 day
Metals			
Chromium (VI)	P,G	Cool, 4°C	24 hours
Mercury	P,G	HNO ₃ to pH < 2	28 days
Metals, except above	P,G	HNO ₃ to pH < 2	6 months
Nitrate	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Nitrate-nitrite	P,G	Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH < 2	28 days
Nitrite	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Oil and grease	G	Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH < 2	28 days
Organic carbon	P,G	Cool, 4°C HCl or H ₂ SO ₄ to pH < 2	28 days

Orthophosphate	P,G	Filter immediately Cool, 4°C	48 hours
Oxygen, dissolved probe	G	None required	Analyze immediately
Phenols	G	Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH < 2	28 days
Phosphorus (elemental)	G	Cool, 4°C	48 hours
Phosphorus, total	P,G	Cool, 4°C H ₂ SO ₄ to pH < 2	28 days
Residue, total	P,G	Cool, 4°C	7 days
Residue, filterable	P,G	Cool, 4°C	7 days
Residue, non-filterable (TSS)	P,G	Cool, 4°C	7 days
Residue, settleable	P,G	Cool, 4°C	48 hours
Residue, volatile	P,G	Cool, 4°C	7 days

Anexo 5: Diagrama de proceso: depuración de aguas residuales de la empresa Jovel.



Anexo 6: Caudales (afluente industrial, doméstico, total y efluente tratado) de los meses en estudio (m³/día).

DICIEMBRE					ENERO				FEBRERO			
Día	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado
1	0	64,98	64,98	76,25	35,99	111,00	146,99	63,50	0	46,67	46,67	42,67
2	0	78,00	78,00	69,00	0	100,00	100,00	63,50	25,00	96,00	121,00	93,00
3	14,00	73,00	87,00	54,00	0	90,00	90,00	63,50	0	54,00	54,00	78,00
4	11,00	80,00	91,00	81,00	0	80,00	80,00	63,50	0	56,00	56,00	70,00
5	19,00	64,00	83,00	77,00	0	73,00	73,00	63,50	20,00	82,00	102,00	74,00
6	21,00	72,40	93,40	118,00	0	73,00	73,00	63,50	21,00	39,00	60,00	52,00
7	24,02	98,53	122,55	93,67	19,00	113,00	132,00	68,00	0	39,00	39,00	52,00
8	0	95,00	95,00	85,00	0	117,00	117,00	64,40	0	39,00	39,00	52,00
9	0	90,00	90,00	78,00	0	117,00	117,00	64,40	22,00	52,00	74,00	58,00
10	0	66,00	66,00	61,00	0	98,00	98,00	64,40	0	52,00	52,00	59,00
11	22,00	40,00	62,00	0	0	67,00	67,00	64,40	0	50,00	50,00	53,00
12	20,00	58,00	78,00	0	0	100,00	100,00	64,40	13,00	51,00	64,00	53,00
13	0	0	0	0	22,00	128,00	150,00	80,00	25,00	54,33	79,33	65,00
14	26,00	61,10	87,10	44,00	21,00	105,50	126,50	97,50	0	54,33	54,33	65,00
15	0	0	0	0	0	105,50	105,50	97,50	0	54,33	54,33	65,00
16	0	0	0	0	22,00	132,00	154,00	46,00	0	25,00	25,00	16,00
17	0	61,30	61,30	0	0	142,67	142,67	58,00	29,00	64,00	93,00	67,00
18	30,00	85,00	115,00	36,00	0	142,67	142,67	58,00	0	72,00	72,00	97,00
19	19,00	84,00	103,00	0	0	142,67	142,67	58,00	22,00	77,00	99,00	81,00
20	0	0	0	0	25,00	119,00	144,00	72,00	0	68,00	68,00	69,00
21	19,00	83,00	102,00	65,00	0	97,00	97,00	64,00	0	68,00	68,00	69,00
22	0	90,00	90,00	70,00	18,00	65,00	83,00	58,00	0	68,00	68,00	69,00

23	0	70,00	70,00	58,00	23,00	27,60	50,60	40,20	0	76,00	76,00	70,00
24	19,00	43,00	62,00	0	0	55,00	55,00	40,20	0	0	0	53,00
25	19,00	30,00	49,00	50,00	0	70,00	70,00	40,20	22,00	92,00	114,00	49,00
26	21,00	55,00	76,00	86,00	0	90,00	90,00	40,20	0	108,00	108,00	120,00
27	12,70	60,00	72,70	60,00	0	90,00	90,00	40,20	21,00	73,50	94,50	85,00
28	17,00	120,00	137,00	0	27,00	75,00	102,00	72,00	0	73,50	73,50	85,00
29	0	75	75	0	0	78	78	0				
30	0	81	81	0	0	64,975	64,975	76,25				
31	17,08	70	87,08	79	0	64,975	64,975	76,25				

MARZO

ABRIL

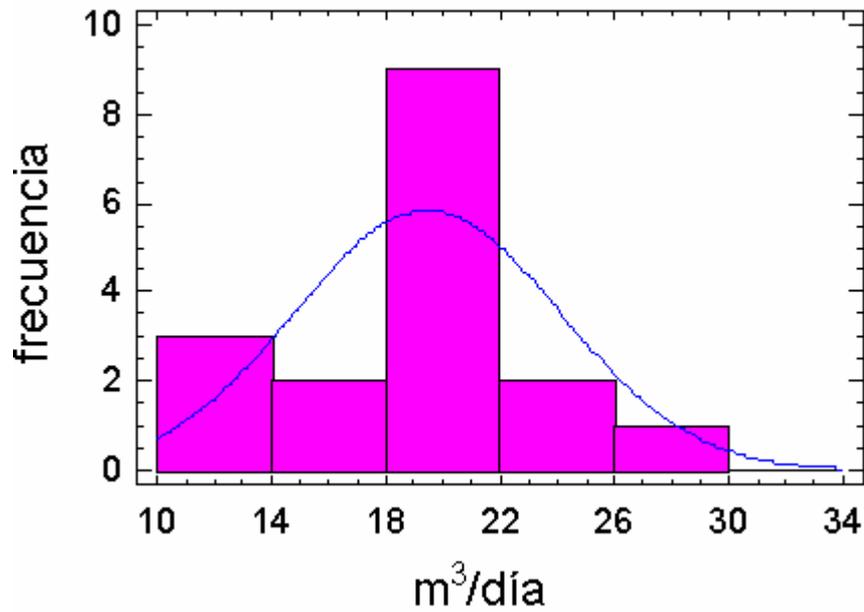
Día	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado
1	25,33	52,00	77,33	40,00	0	69,00	69,00	74,00
2	21,00	45,00	66,00	43,00	20,10	69,00	89,10	70,00
3	23,00	45,00	68,00	41,00	0	69,00	69,00	69,00
4	0	58,00	58,00	60,00	0	0	0	0
5	17,00	40,00	57,00	64,67	0	0	0	0
6	19,00	51,33	70,33	70,00	0	70,00	70,00	75,00
7	22,00	61,40	83,40	70,00	0	70,00	70,00	82,00
8	0	66,60	66,60	59,00	19,00	50,00	69,00	52,00
9	0	65,00	65,00	73,00	0	62,00	62,00	62,00
10	18,00	70,08	88,08	83,00	0	54,33	54,33	59,00
11	17,00	65,00	82,00	60,00	0	54,33	54,33	59,00
12	19,00	63,00	82,00	63,00	0	54,33	54,33	59,00
13	23,00	67,00	90,00	79,00	0	59,00	59,00	0
14	21,00	70,08	91,08	61,00	0	42,00	42,00	31,00

15	20,00	63,00	83,00	75,00	20,00	91,00	111,00	75,00
16	23,00	60,00	83,00	63,00	0	92,00	92,00	75,00
17	18,00	70,08	88,08	79,00	23,00	40,00	63,00	64,75
18	21,00	63,00	84,00	71,00	0	40,00	40,00	64,75
19	19,00	55,00	74,00	65,00	0	40,00	40,00	64,75
20	13,00	70,08	83,08	77,00	0	40,00	40,00	64,75
21	17,00	57,00	74,00	67,00	19,00	60,17	79,17	72,50
22	16,00	60,00	76,00	92,00	19,25	60,17	79,42	72,50
23	20,00	57,00	77,00	68,00	18,00	60,17	78,17	72,50
24	20,00	69,33	89,33	65,00	19,00	60,17	79,17	72,50
25	20,00	64,00	84,00	65,00	22,00	60,17	82,17	72,50
26	10,00	69,33	79,33	81,00	21,00	60,17	81,17	72,50
27	12,00	60,00	72,00	45,00	0	54,00	54,00	47,00
28	15,00	61,00	76,00	50,00	0	87,00	87,00	0
29	16	58	74	60	0	23	23	51
30	22	45	67	92	0	0	0	0

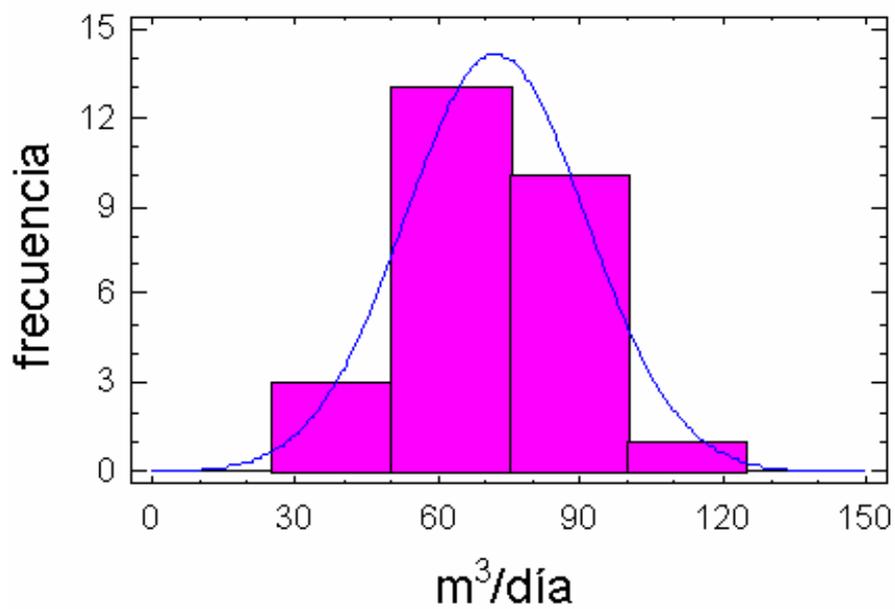
Anexo 7: Gráficos de la prueba de normalidad.

DICIEMBRE:

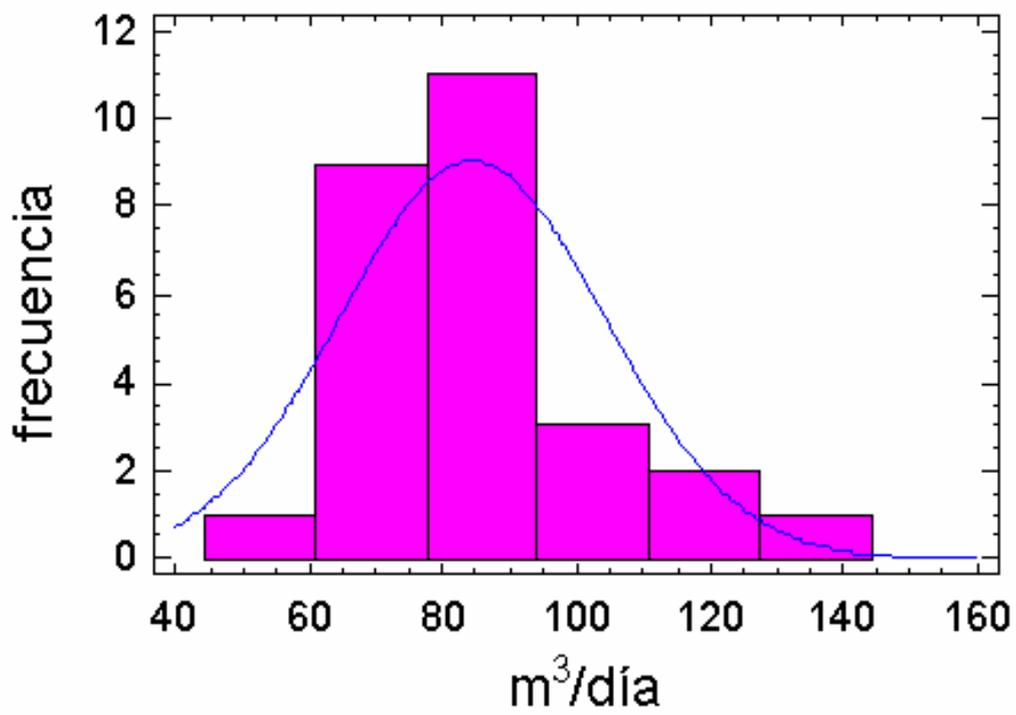
Histograma para caudal industrial



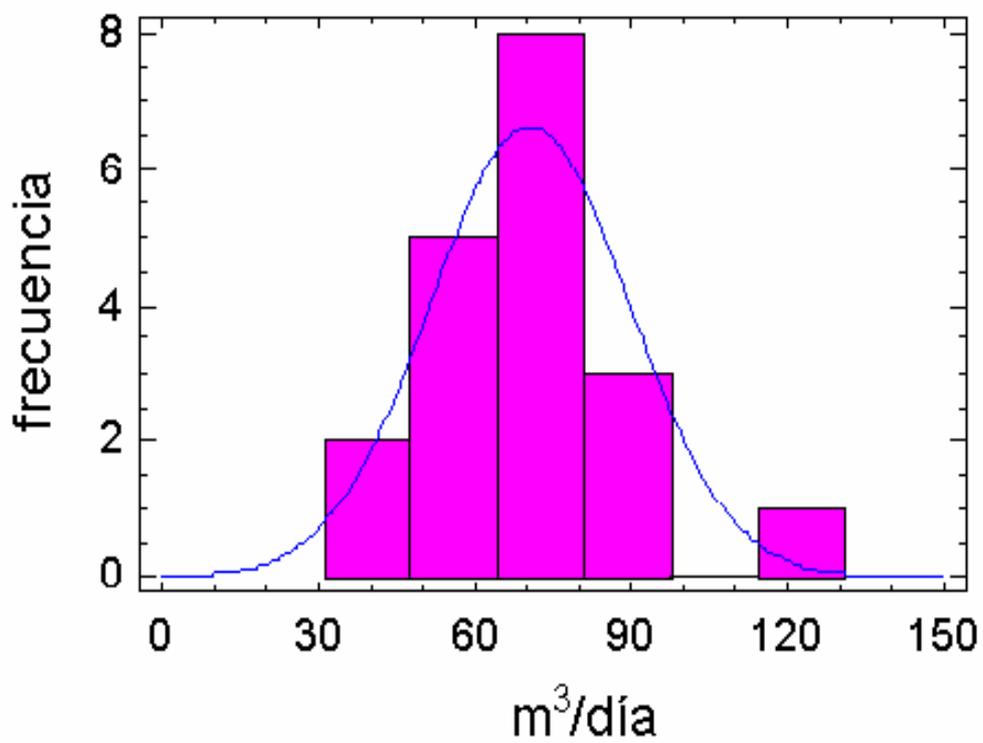
Histograma para caudal doméstico



Histograma para caudal de entrada

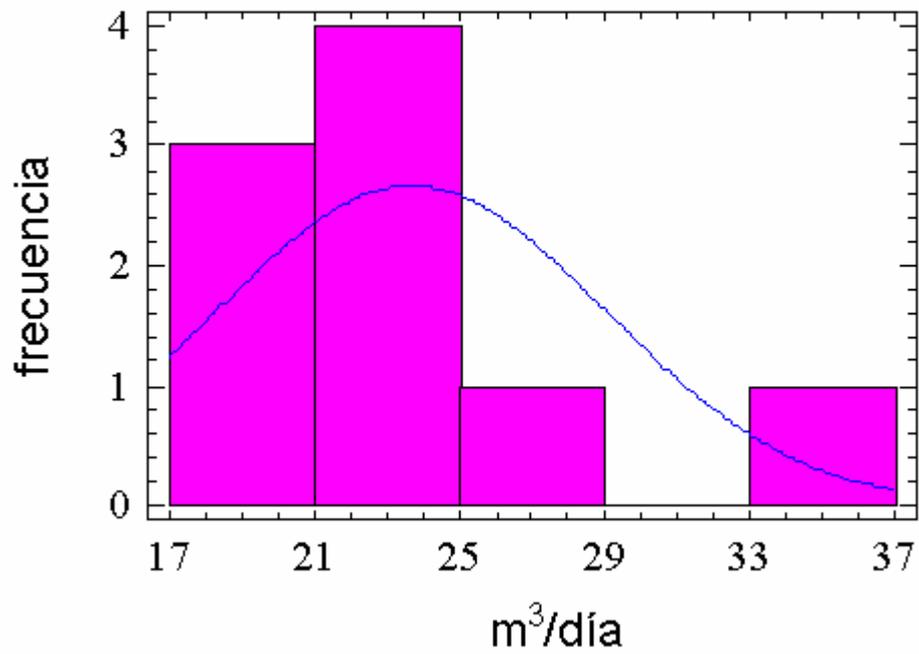


Histograma para caudal tratado

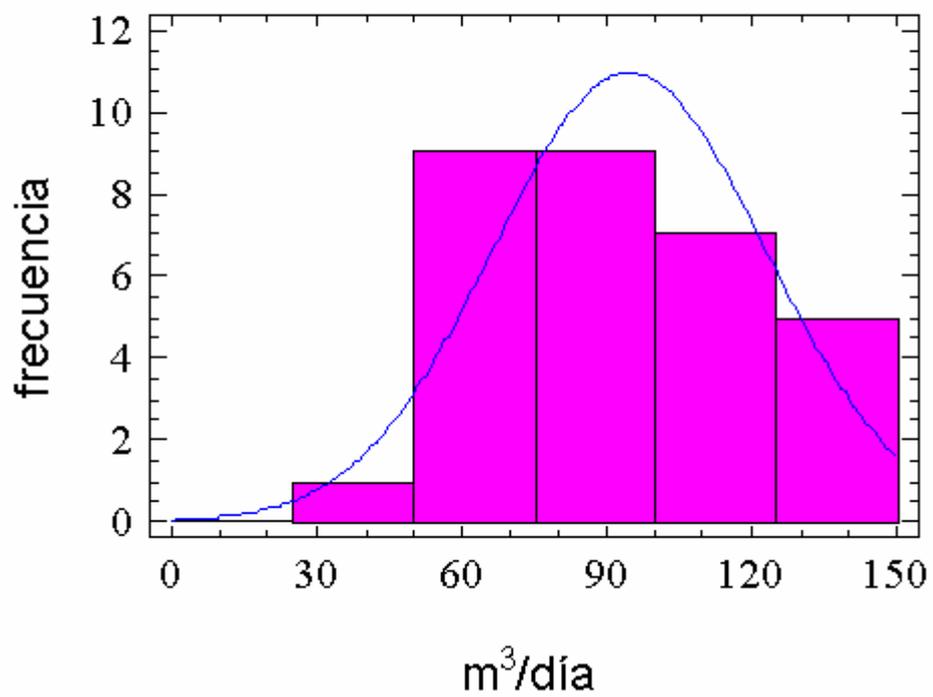


ENERO:

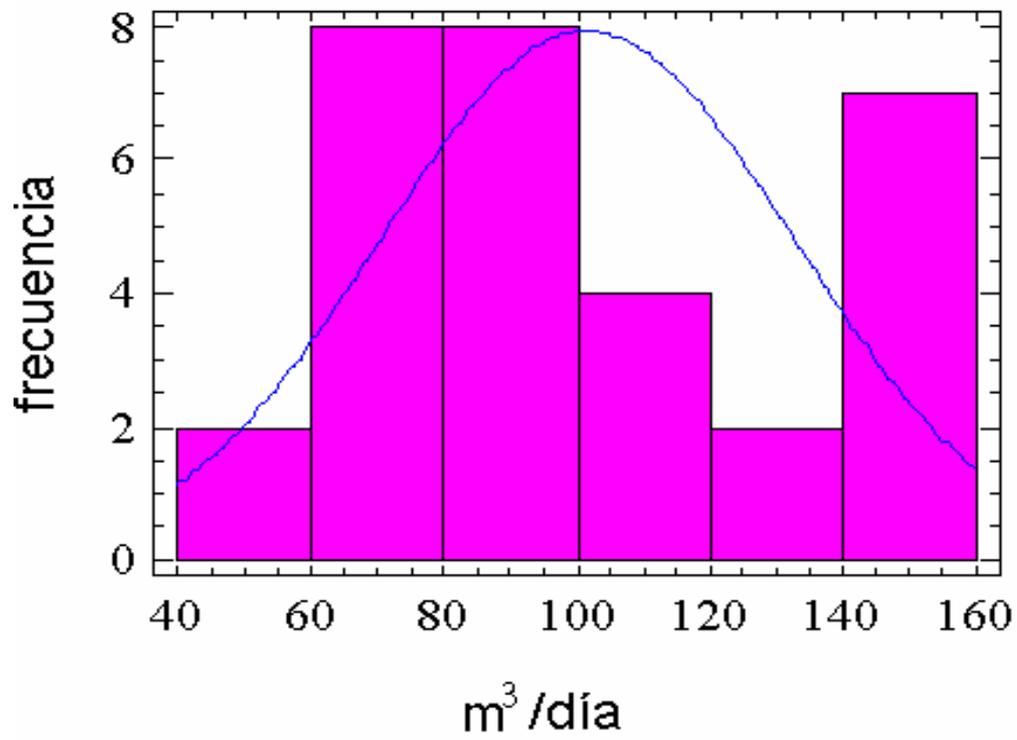
Histograma para caudal industrial



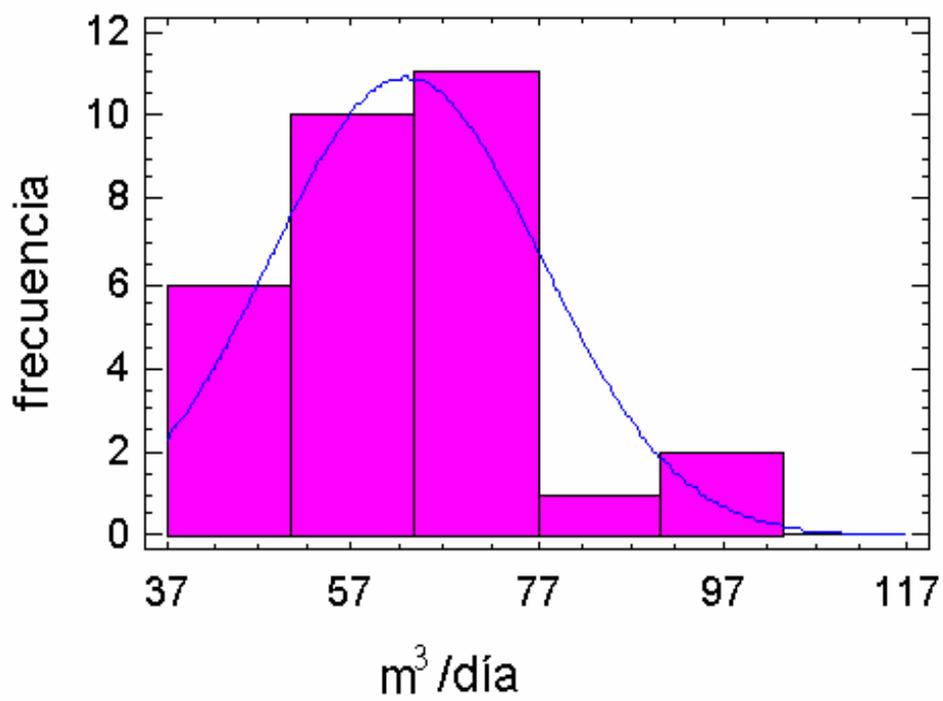
Histograma para caudal doméstico



Histograma para caudal de entrada

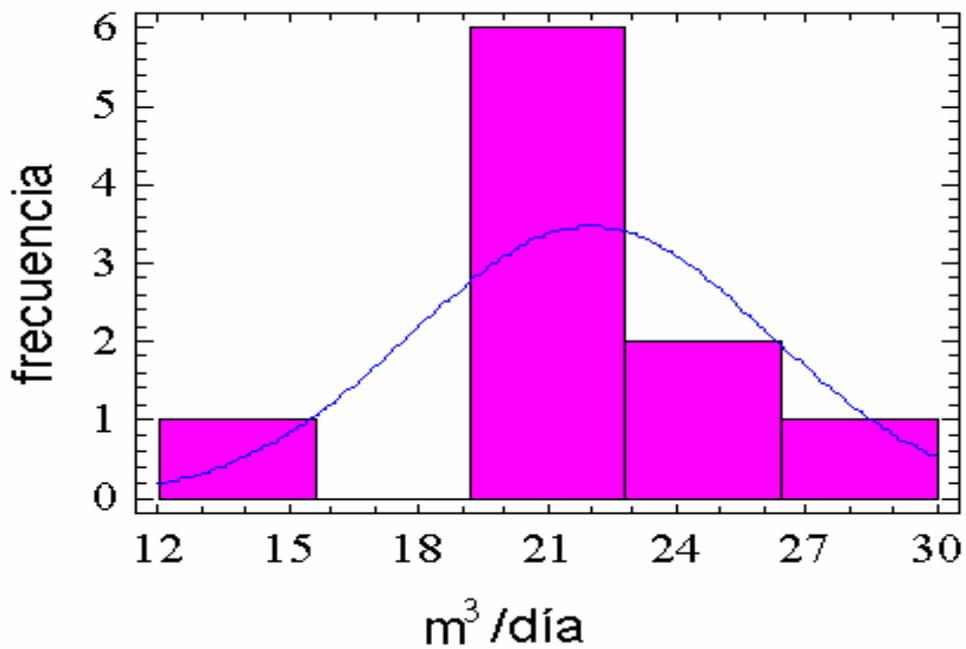


Histograma para caudal tratado

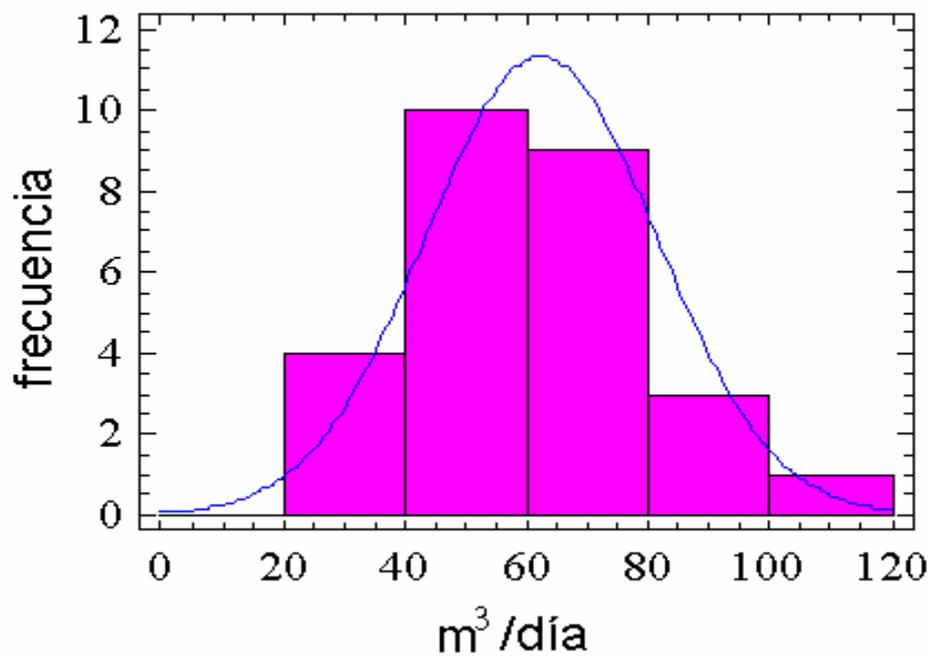


FEBRERO:

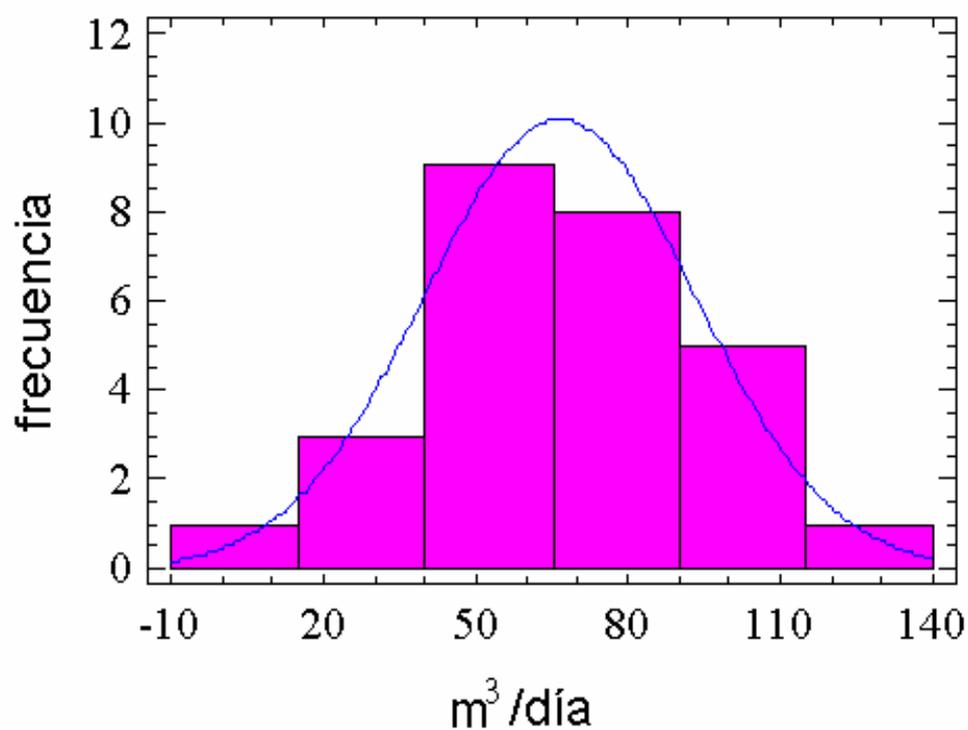
Histograma para caudal industrial



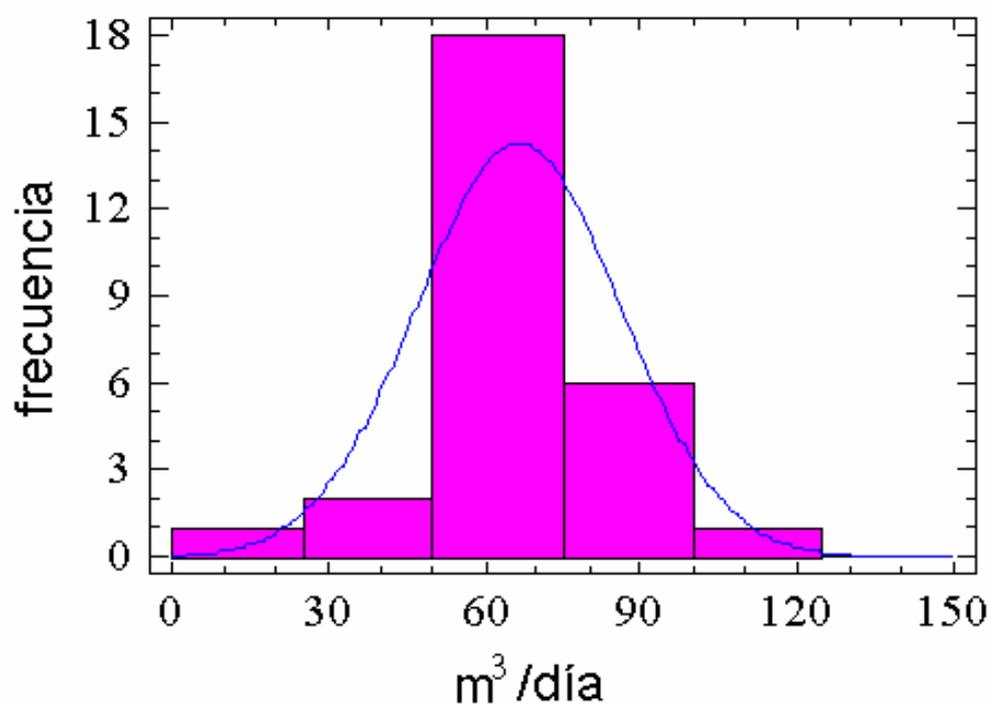
Histograma para caudal doméstico



Histograma para caudal de entrada

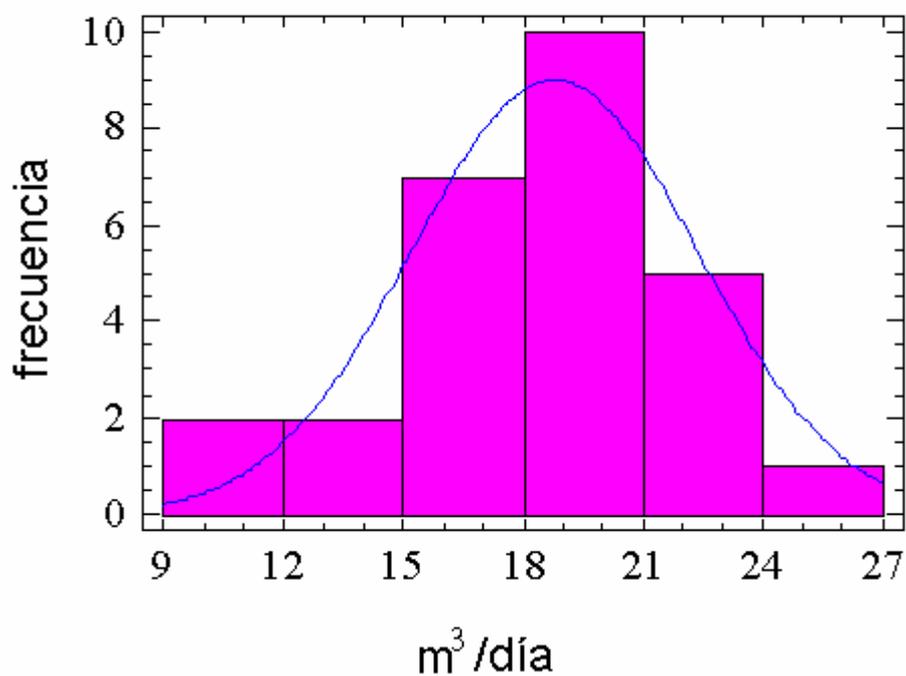


Histograma para caudal tratado

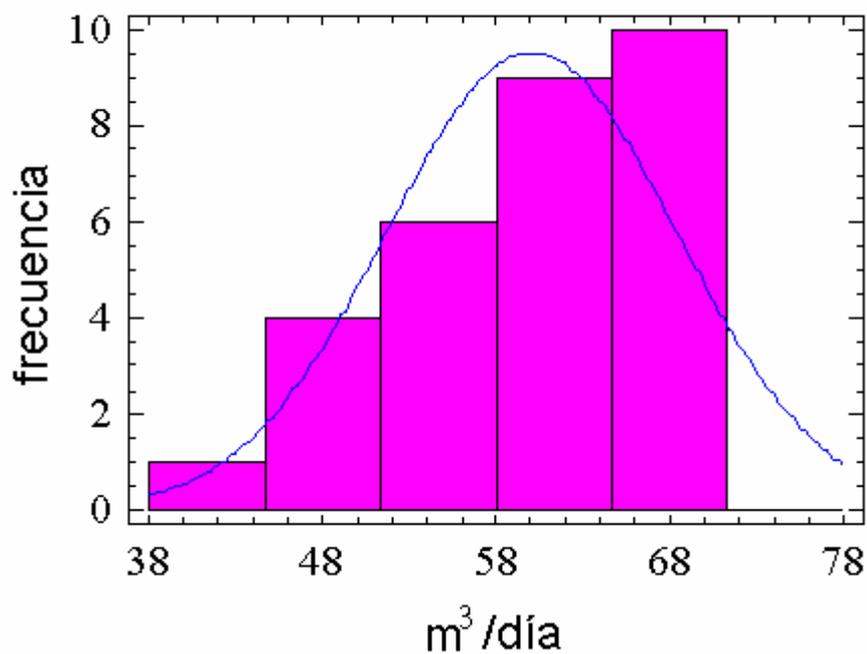


MARZO:

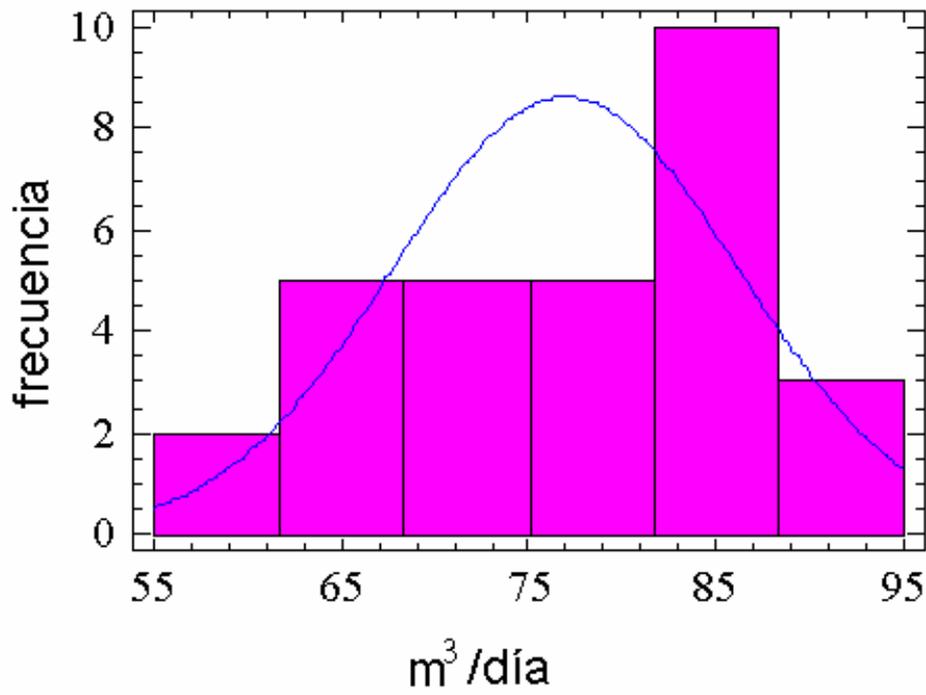
Histograma para caudal industrial



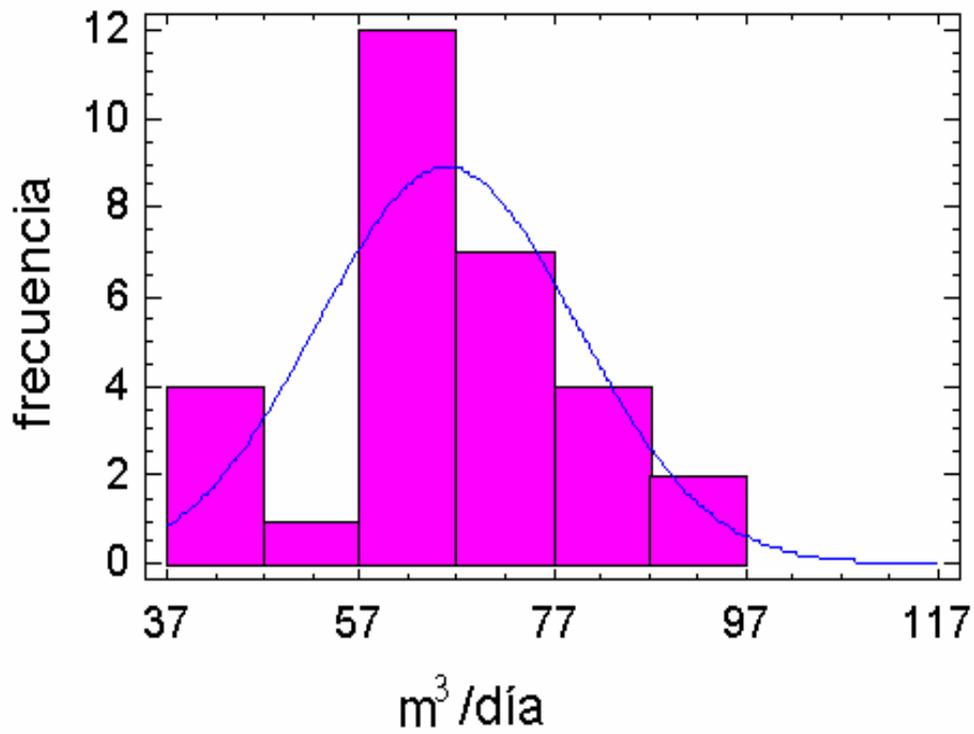
Histograma para caudal doméstico



Histograma para caudal de entrada

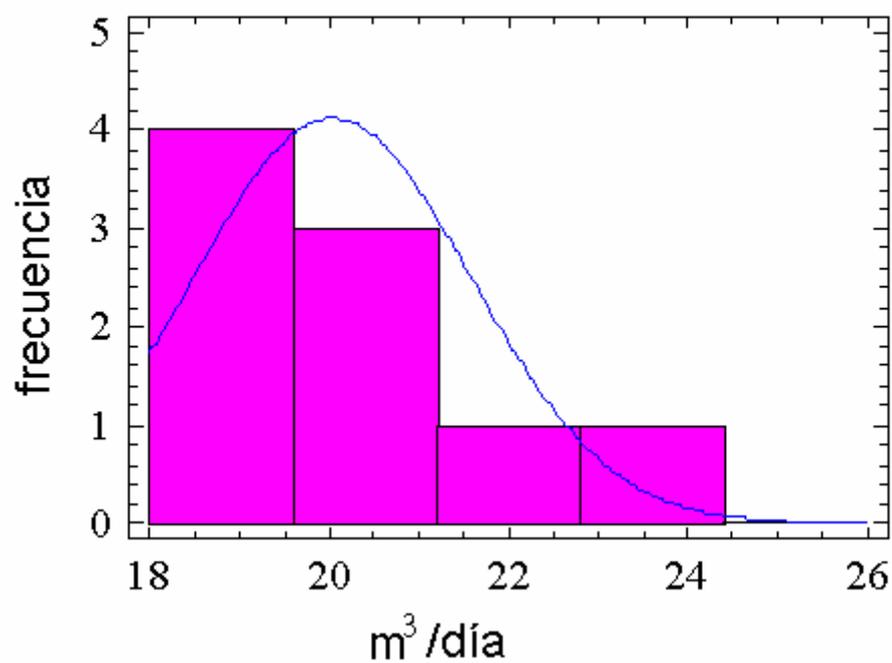


Histograma para caudal tratado

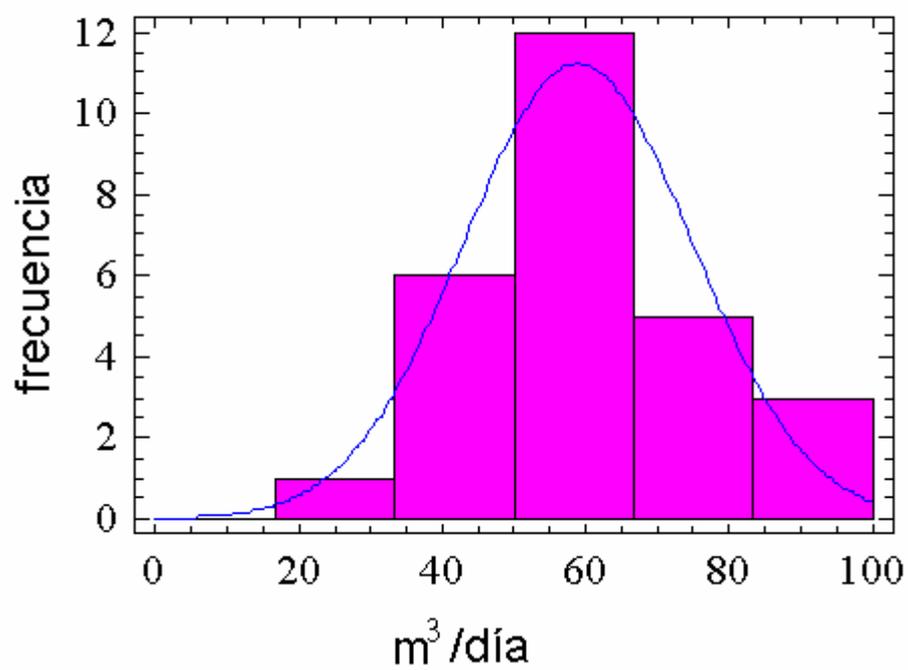


ABRIL:

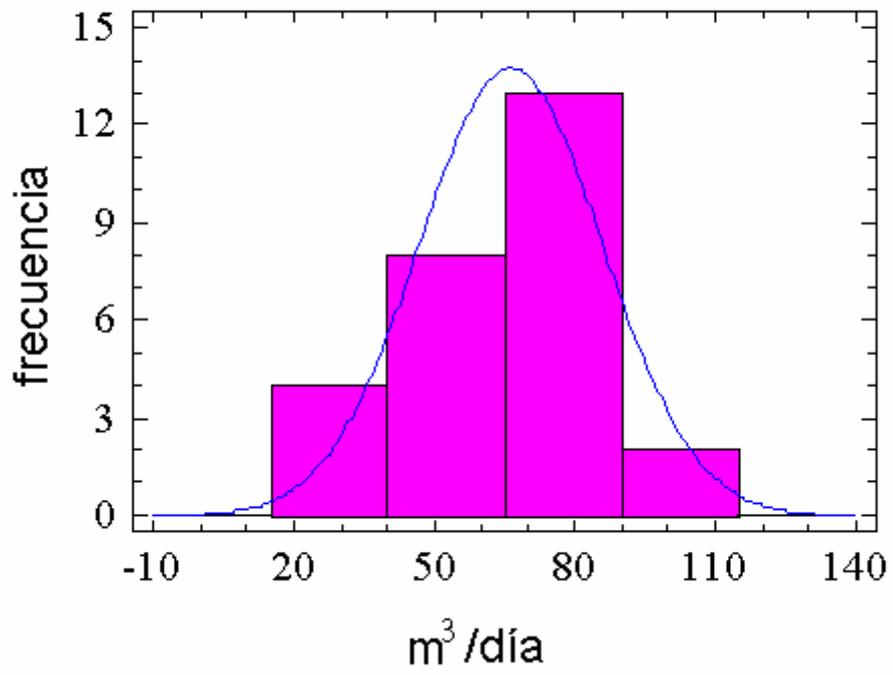
Histograma para caudal industrial



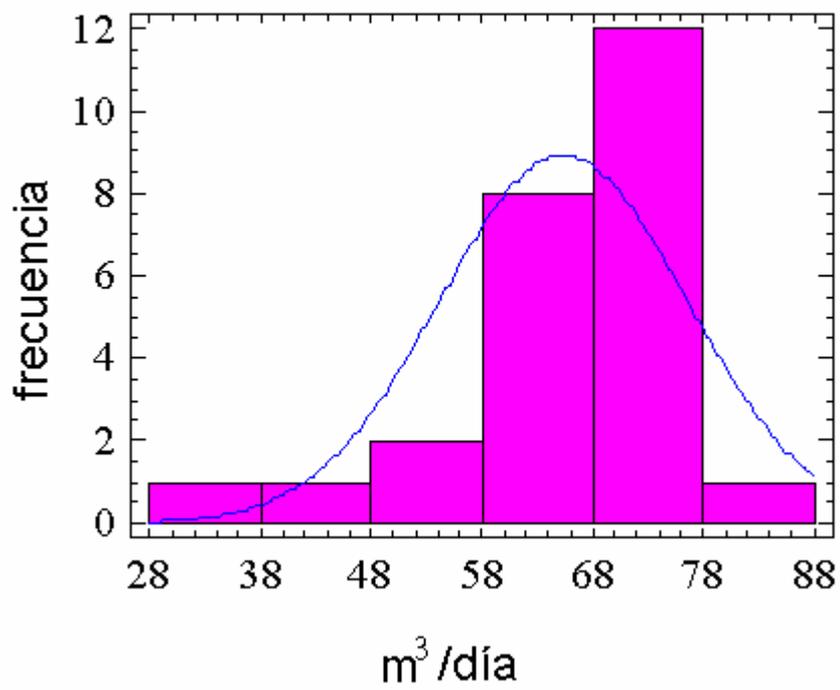
Histograma para caudal doméstico



Histograma para caudal de entrada



Histograma para caudal tratado



Anexo 8: Resultados de la Media (X), Desviación (S) y Coeficiente de Variación (CV) de los caudales.

Mes	Total Industrial			Residual Doméstico			Agua Entrada			Agua Tratada		
	X	S	C.V (%)	X	S	C.V (%)	X	S	C.V (%)	X	S	C.V (%)
Diciembre	10,6710	10,4132	97,5841	62,8487	30,3308	48,2600	73,5196	34,1876	46,5013	43,2554	37,9318	87,6927
Enero	6,8706	11,2678	163,9992	94,6629	28,2194	29,8104	101,5335	31,1656	30,6949	60,8226	18,2849	30,0627
Febrero	7,8571	10,9974	139,9663	60,1668	22,0704	36,6820	68,0239	27,3709	40,2371	66,4882	19,5870	29,4594
Marzo	16,7356	6,7120	40,1059	60,6658	8,4680	13,9585	76,9548	9,2510	12,0214	66,0556	13,4532	20,3665
Abril	6,6783	9,6447	144,4173	53,0333	23,5119	44,3342	59,7117	27,4564	45,9817	54,4667	26,7860	49,1787

Anexo 9: Resultados de la prueba de anormalidad.

Día	DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO			
	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado
1	-	64,98	64,98	76,25	--	111,00	--	63,50	--	46,67	-	-
2	-	78,00	78,00	69,00	-	100,00	100,00	63,50	25,00	--	-	-
3	14,00	73,00	87,00	54,00	-	90,00	90,00	63,50	--	54,00	54,00	78,00
4	11,00	80,00	91,00	81,00	-	80,00	80,00	63,50	--	56,00	56,00	70,00
5	19,00	64,00	83,00	77,00	-	73,00	73,00	63,50	20,00	82,00	--	74,00
6	21,00	72,40	93,40	--	-	73,00	73,00	63,50	21,00	--	60,00	52,00
7	24,02	--	122,55	93,67	19,00	113,00	132,00	68,00	-	-	-	52,00
8	-	95,00	95,00	85,00	-	117,00	117,00	64,40	-	-	-	52,00
9	-	90,00	90,00	78,00	-	117,00	117,00	64,40	22,00	52,00	74,00	58,00
10	-	66,00	66,00	61,00	-	98,00	98,00	64,40	--	52,00	52,00	59,00

11	-	-	62,00	-	-	-	-	64,40	-	50,00	50,00	53,00
12	20,00	58,00	78,00	-	-	100,00	100,00	64,40	-	51,00	64,00	53,00
13	--	-	-	-	22,00	-	-	80,00	25,00	54,33	79,33	65,00
14	26,00	61,10	87,10	44,00	21,00	105,50	126,50	-	-	54,33	54,33	65,00
15	-	-	-	-	--	105,50	105,50	-	-	54,33	54,33	65,00
16	-	-	-	-	22,00	132,00	--	46,00	-	-	-	-
17	-	61,30	61,30	-	-	-	142,67	58,00	29,00	64,00	--	67,00
18	--	85,00	115,00	-	-	-	-	58,00	--	72,00	72,00	--
19	19,00	84,00	103,00	-	-	-	-	58,00	22,00	77,00	--	81,00
20	-	-	-	-	25,00	--	-	72,00	-	68,00	68,00	69,00
21	19,00	83,00	102,00	65,00	-	97,00	97,00	64,00	-	68,00	68,00	69,00
22	-	90,00	90,00	70,00	-	-	83,00	58,00	-	68,00	68,00	69,00
23	-	70,00	70,00	58,00	23,00	-	-	-	-	76,00	76,00	70,00
24	19,00	43,00	62,00	-	-	-	-	-	-	--	--	53,00

25	19,00	-	-	50,00	-	70,00	-	-	22,00	-	-	-
26	21,00	55,00	76,00	86,00	-	90,00	90,00	-	-	-	-	-
27	--	60,00	72,70	-	-	90,00	90,00	40,20	21,00	73,50	--	85,00
28	17,00	-	-	-	27,00	75,00	102,00	72,00	--	73,50	73,50	85,00
29	-	75,00	75,00	-	-	78,00	-	-				
30	-	81,00	81,00	-	-	-	-	76,25				
31	17,08	70,00	87,08	79,00	-	-	-	76,25				

Día	MARZO				ABRIL			
	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado	Residual Industrial	Residual Doméstico	Residual Total de Entrada	Residual Tratado
1	--	52,00	77,33	-	--	69,00	69,00	74,00
2	21,00	45,00	66,00	-	20,10	69,00	--	70,00
3	23,00	45,00	68,00	-	-	69,00	69,00	69,00
4	--	58,00	58,00	60,00	-	-	-	-
5	17,00	--	57,00	64,67	-	-	-	-

6	19,00	51,33	70,33	70,00	–	–	70,00	75,00
7	22,00	61,40	83,40	70,00	–	–	70,00	82,00
8	–	66,60	66,60	59,00	19,00	50,00	69,00	52,00
9	–	65,00	65,00	73,00	–	62,00	62,00	62,00
10	18,00	70,08	88,08	83,00	–	54,33	54,33	59,00
11	17,00	65,00	82,00	60,00	–	54,33	54,33	59,00
12	19,00	63,00	82,00	63,00	–	54,33	54,33	59,00
13	23,00	67,00	90,00	79,00	–	59,00	59,00	–
14	21,00	70,08	91,08	61,00	–	42,00	–	–
15	20,00	63,00	83,00	75,00	20,00	–	–	75,00
16	23,00	60,00	83,00	63,00	--	–	–	75,00
17	18,00	70,08	88,08	79,00	23,00	40,00	63,00	64,75
18	21,00	63,00	84,00	71,00	–	40,00	–	64,75
19	19,00	55,00	74,00	65,00	–	40,00	–	64,75

20	13,00	70,08	83,08	77,00	--	40,00	–	64,75
21	17,00	57,00	74,00	67,00	19,00	60,17	79,17	72,50
22	16,00	60,00	76,00	--	19,25	60,17	79,42	72,50
23	20,00	57,00	77,00	68,00	18,00	60,17	78,17	72,50
24	20,00	69,33	89,33	65,00	19,00	60,17	79,17	72,50
25	20,00	64,00	84,00	65,00	22,00	60,17	82,17	72,50
26	–	69,33	79,33	81,00	21,00	60,17	81,17	72,50
27	–	60,00	72,00	–	–	54,00	54,00	47,00
28	15,00	61,00	76,00	50,00	–	–	87,00	--
29	16,00	58,00	74,00	60,00	–	–	–	51,00
30	22,00	45,00	67,00	92,00	–	–	–	–

Anexo 10: Resultados del muestreo de parámetros en diferentes puntos.

Punto 1: Afluente Industrial.

Alc.	Cond.	PH	DQO	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
330,00	450,00	7,10	1011,23	1020,00	334,00	686,00	50,00
320,00	550,00	7,12	1008,24	1080,00	240,00	840,00	40,00
300,00	580,00	7,08	1000,00	1000,00	320,00	680,00	60,00
350,00	530,00	7,11	1010,00	1010,00	298,00	712,00	55,00
340,00	500,00	7,06	1015,00	1060,00	301,00	759,00	57,00

Punto 2: Efluente Industrial.

Alc.	Cond.	PH	DQO	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
190,00	873,00	6,12	351,41	1210,00	724,00	486,00	20,00
180,00	973,00	6,13	343,41	1480,00	640,00	840,00	10,00
200,00	865,00	6,20	368,13	1080,00	400,00	680,00	20,00
253,00	810,00	6,23	378,13	1090,00	381,00	709,00	15,00
240,00	815,00	6,18	382,13	1141,00	381,00	760,00	16,00

Punto 3: Afluente Doméstico.

Alc.	Cond.	PH	DQO	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
360,00	539,00	7,01	691,40	750,00	250,00	500,00	130,00
350,00	615,00	6,82	684,07	880,00	280,00	600,00	120,00
320,00	640,00	6,72	664,84	920,00	320,00	600,00	140,00
365,00	575,00	6,75	674,84	930,00	301,00	629,00	135,00
360,00	590,00	6,70	678,84	981,00	300,00	681,00	136,00

Punto 4: Afluente Biológico.

Alc.	Cond.	PH	DQO	DBO5	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
330,00	662,00	7,21	279,48	167,70	535,00	125,00	410,00	145,00
320,00	762,00	7,07	271,98	163,20	560,00	80,00	480,00	160,00
310,00	742,00	7,12	280,22	168,13	520,00	110,00	410,00	160,00
354,00	675,00	7,15	290,22	174,13	530,00	93,00	437,00	155,00
350,00	692,00	7,10	294,22	176,50	580,00	85,00	495,00	156,00

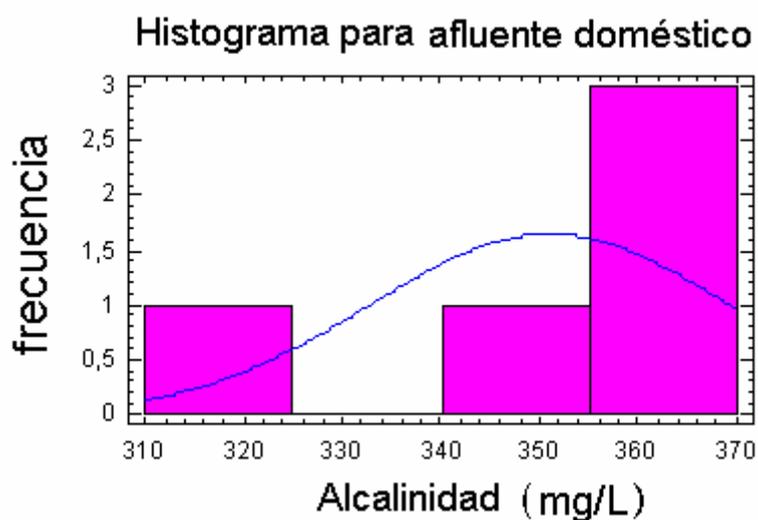
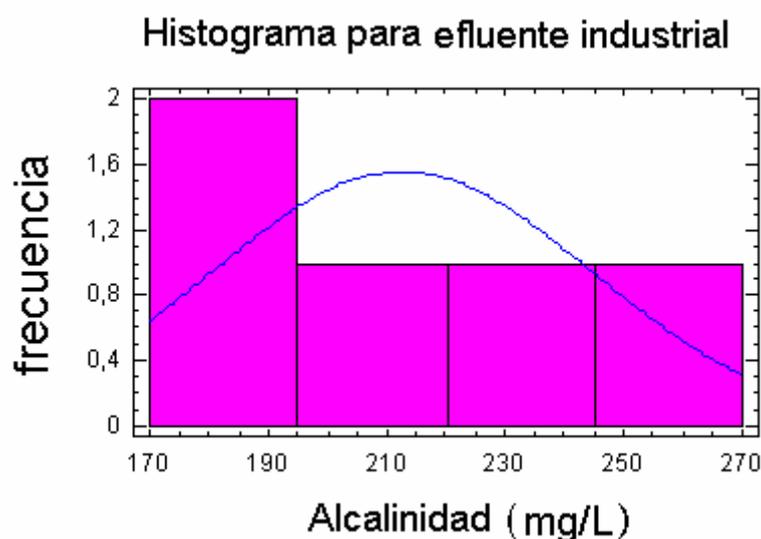
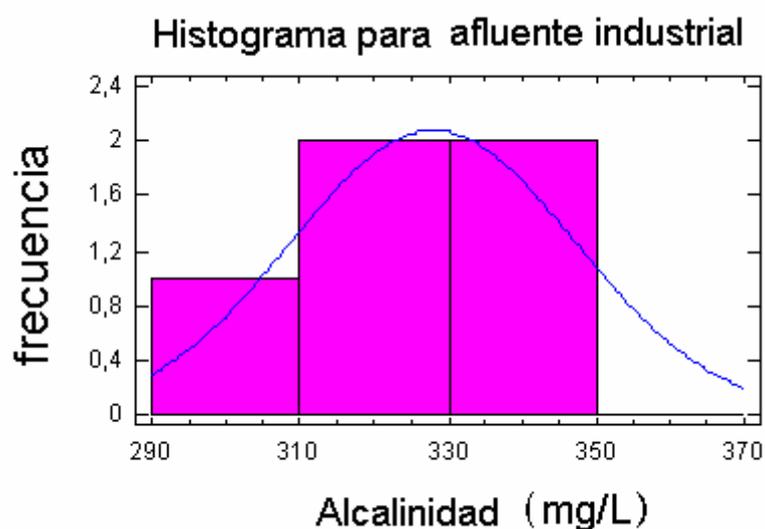
Punto 5: Efluente Biológico.

Alc.	Cond.	PH	DQO	DBO5	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.	S.S.V
170,00	385,00	7,79	57,48	34,49	440,00	100,00	340,00	30,00	30,00
160,00	408,00	7,94	49,45	29,67	400,00	80,00	320,00	20,00	20,00
140,00	410,00	8,00	49,45	29,67	360,00	80,00	280,00	40,00	40,00
185,00	345,00	8,03	59,45	35,67	370,00	75,00	295,00	35,00	35,00
180,00	356,00	7,98	55,45	33,27	420,00	60,00	360,00	35,00	35,00

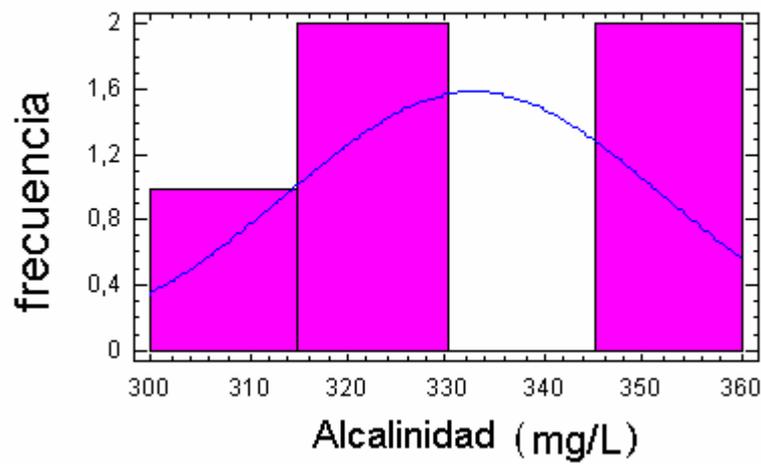
Punto 6: Efluente Tratado.

Alc.	Cond.	PH	DQO	DBO5	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
170,00	381,00	7,80	38,48	10,00	440,00	100,00	340,00	30,00
160,00	400,00	7,20	35,15	12,00	440,00	80,00	360,00	20,00
140,00	400,00	7,50	38,46	12,00	360,00	80,00	280,00	40,00
185,00	335,00	7,00	40,46	10,00	370,00	75,00	295,00	35,00
180,00	346,00	8,00	42,46	12,00	420,00	60,00	360,00	35,00

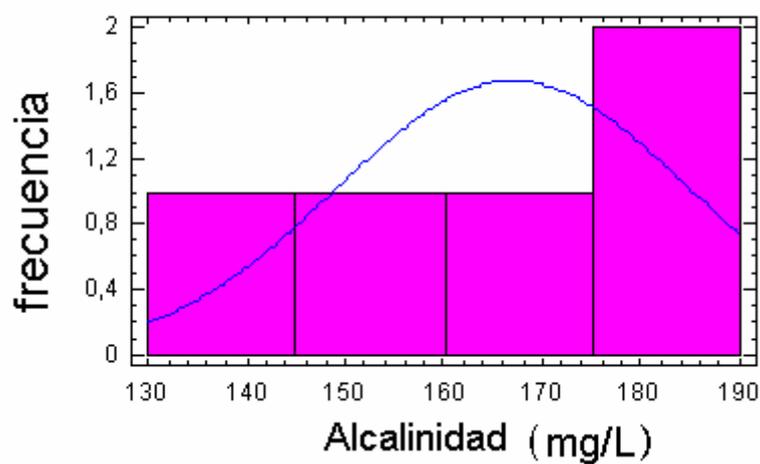
Anexo 11: Gráficos de la prueba de normalidad en los muestreos puntuales.



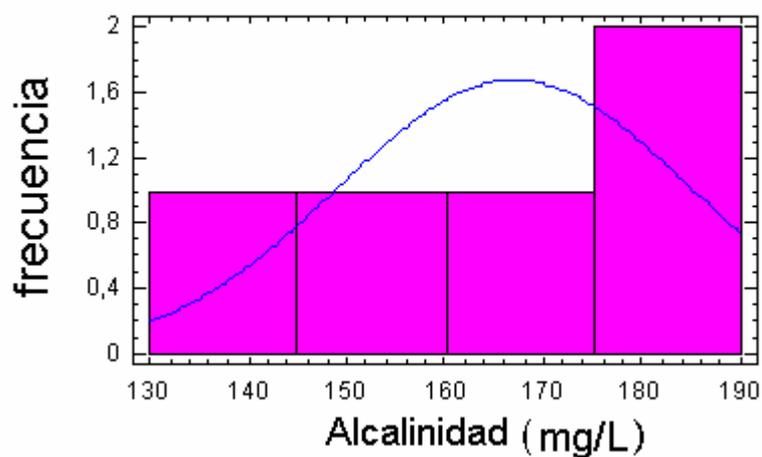
Histograma para afluente biológico



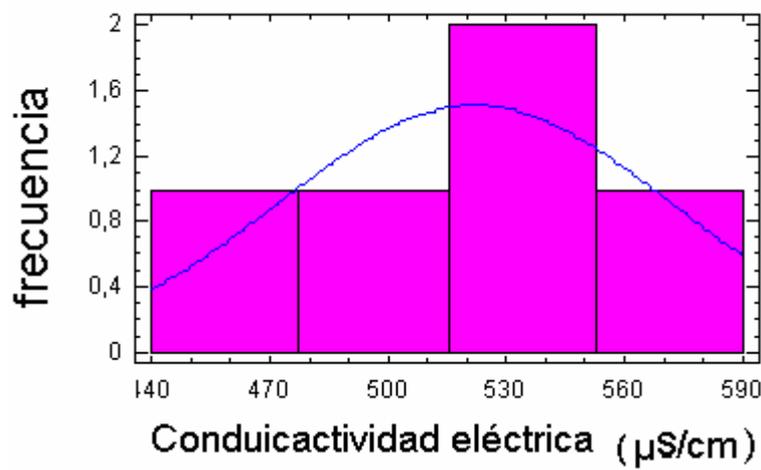
Histograma para efluente biológico



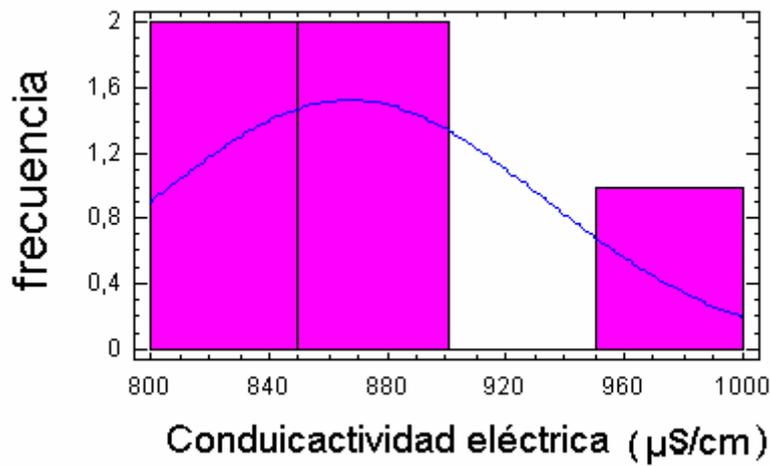
Histograma para efluente tratado



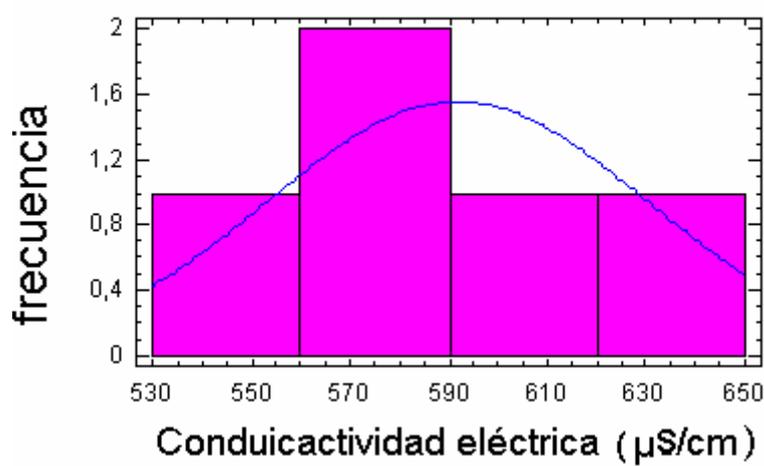
Histograma para afluente industrial



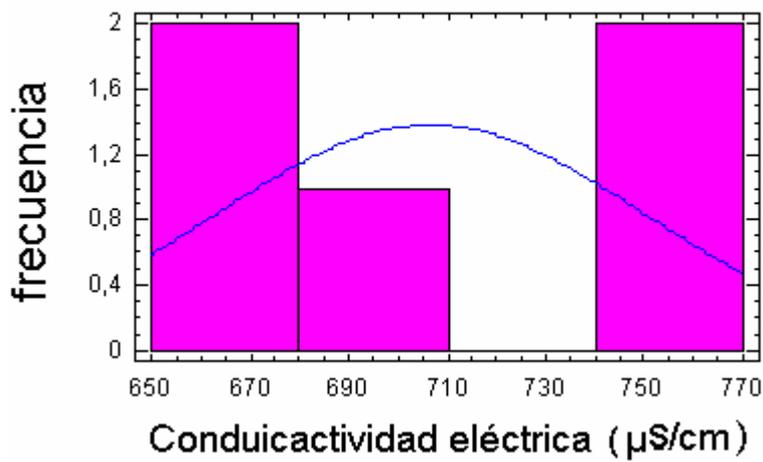
Histograma para efluente industrial



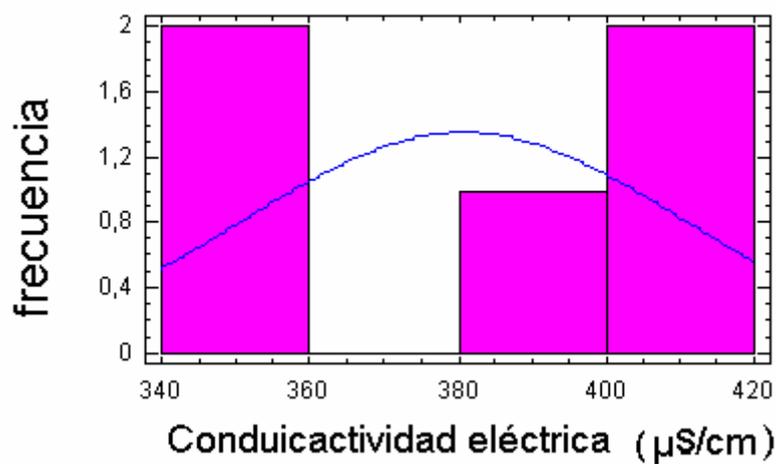
Histograma para afluente doméstico



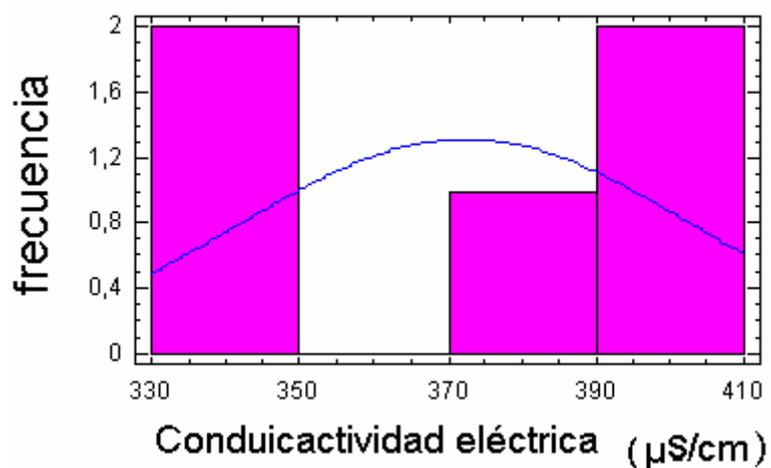
Histograma para afluente biológico



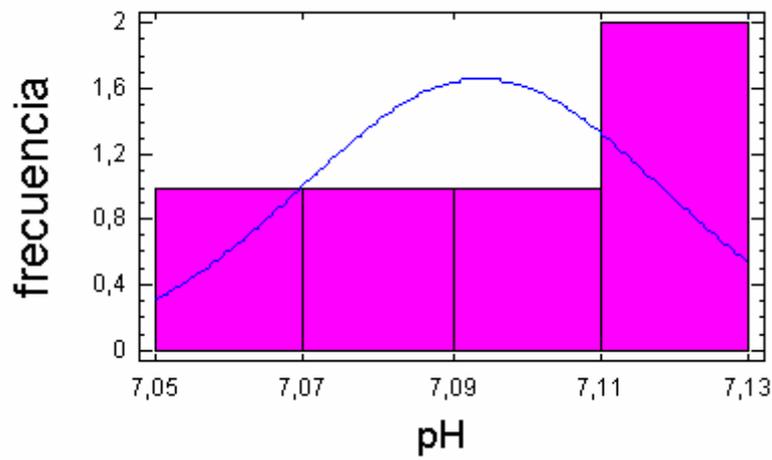
Histograma para efluente biológico



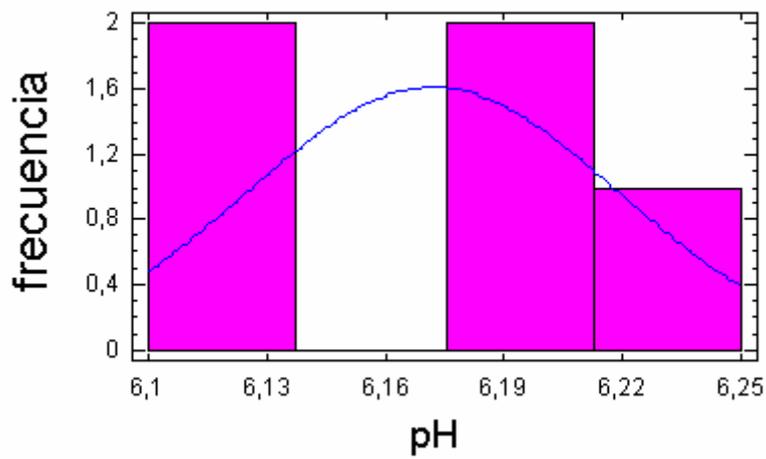
Histograma para efluente tratado



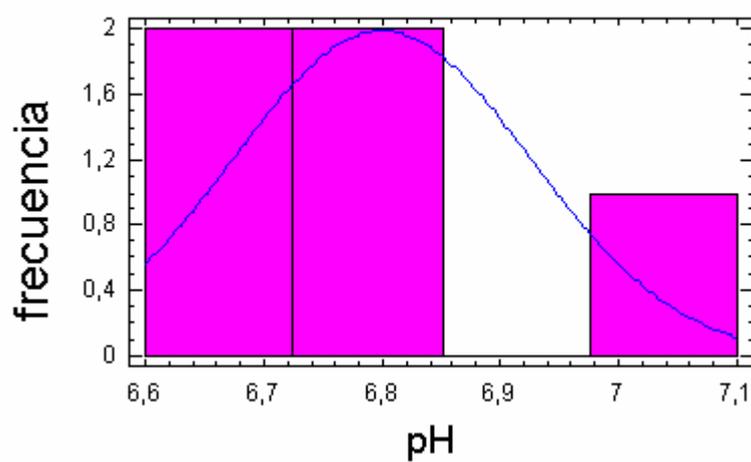
Histograma para afluente industrial



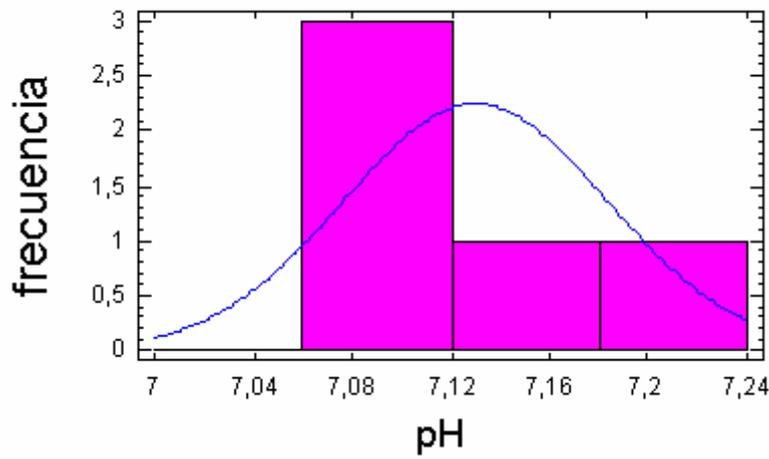
Histograma para efluente industrial



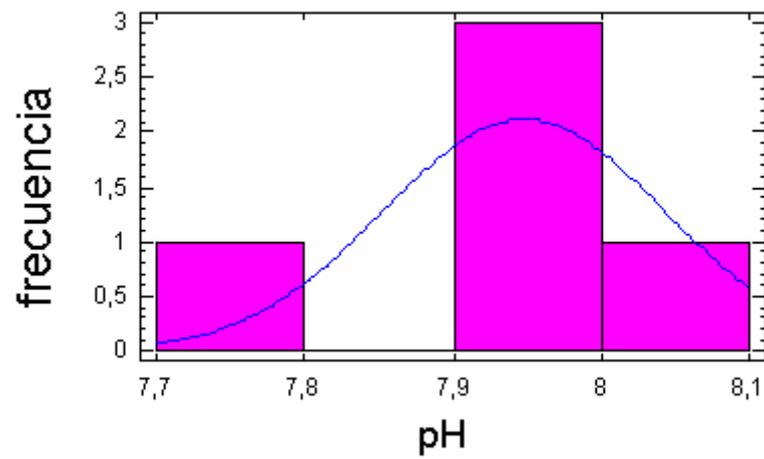
Histograma para afluente doméstico



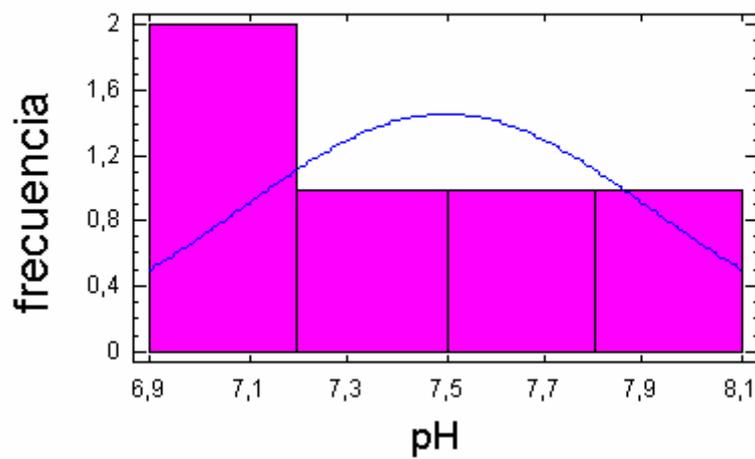
Histograma para afluente biológico



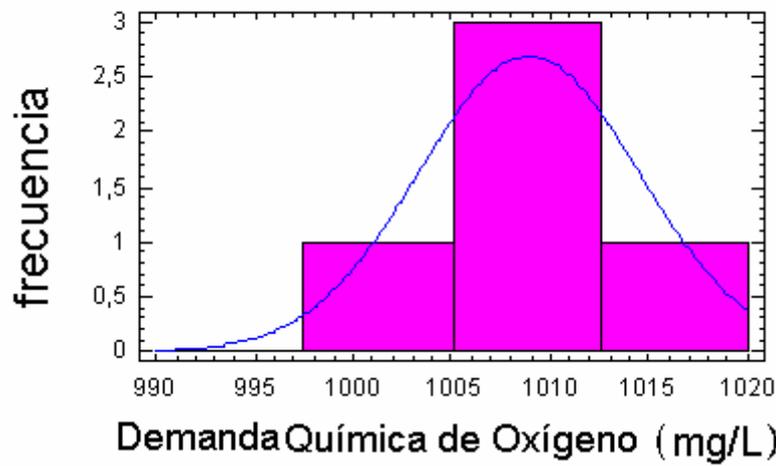
Histograma para efluente biológico



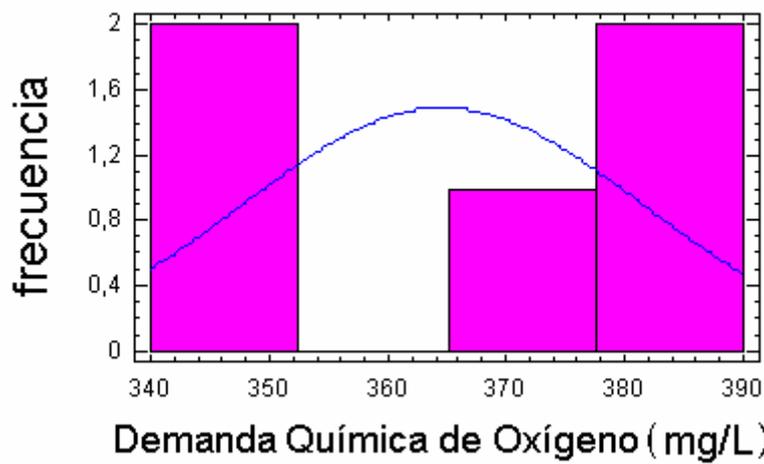
Histograma para efluente tratado



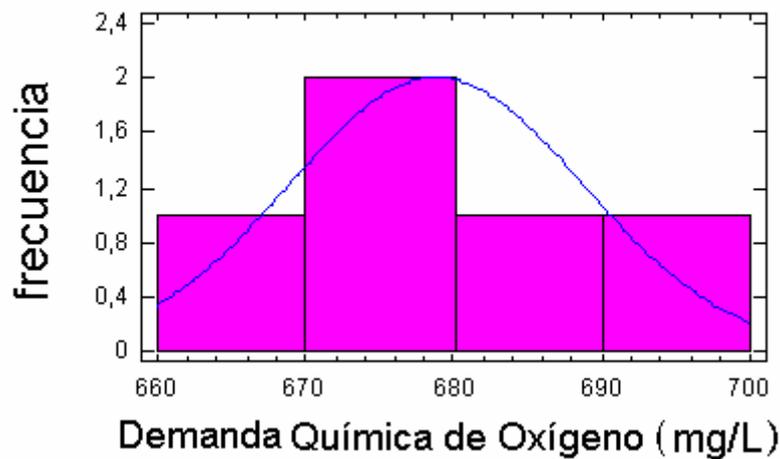
Histograma para afluente industrial



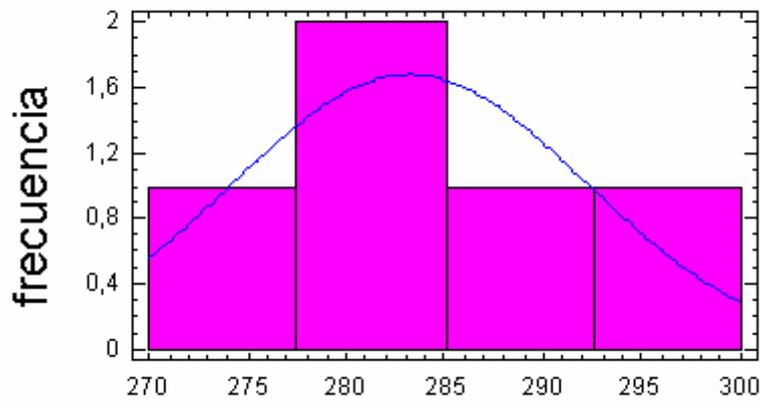
Histograma para efluente industrial



Histograma para afluente doméstico

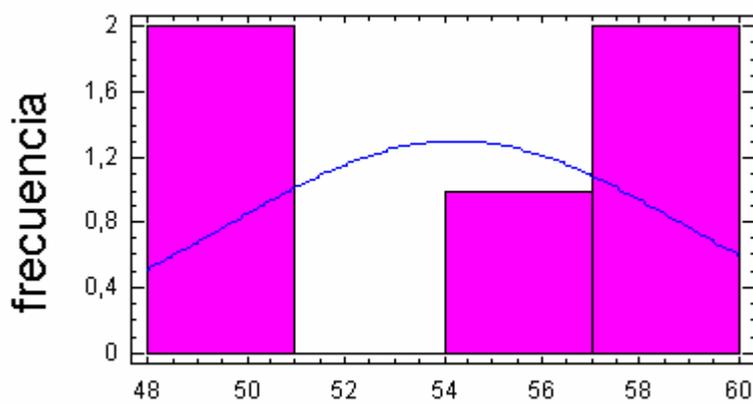


Histograma para afluente biológico



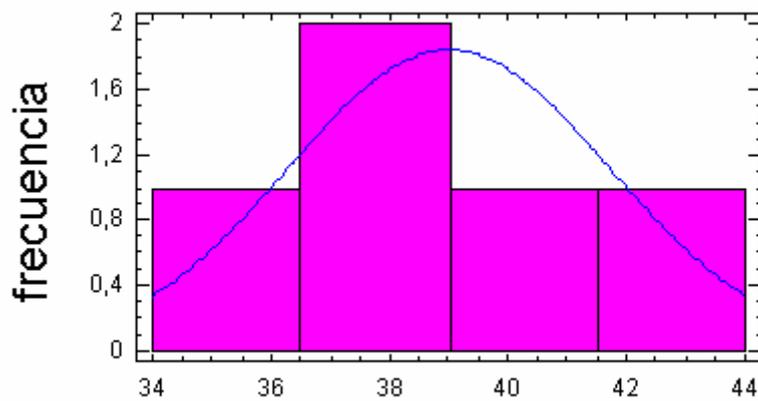
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)

Histograma para efluente biológico



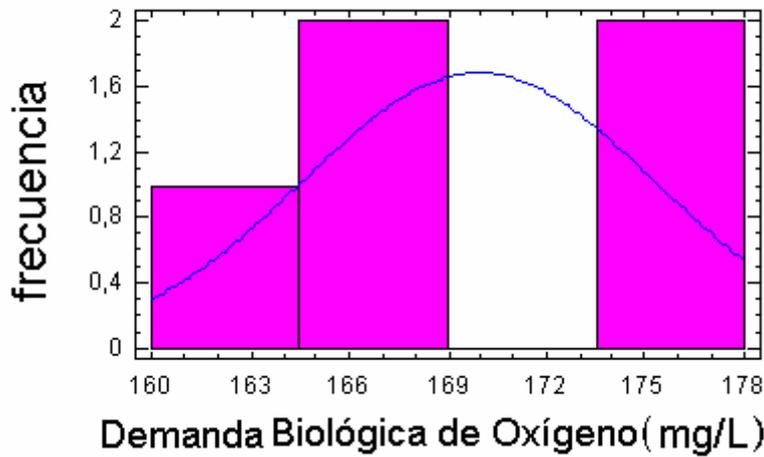
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)

Histograma para efluente tratado

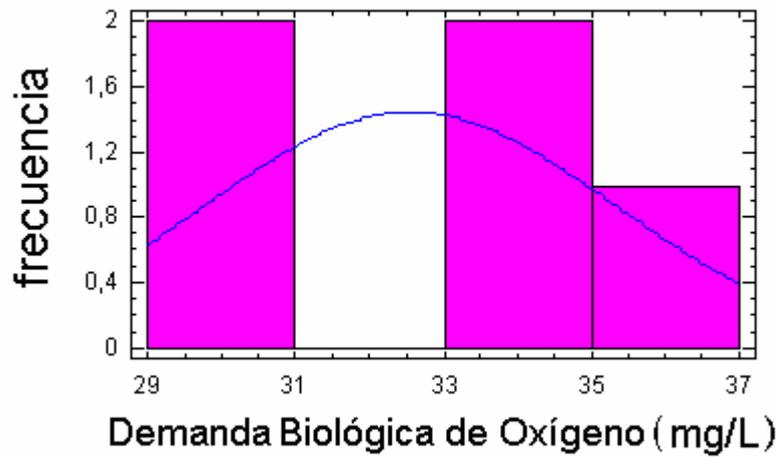


Demanda Química de Oxígeno (mg/L)

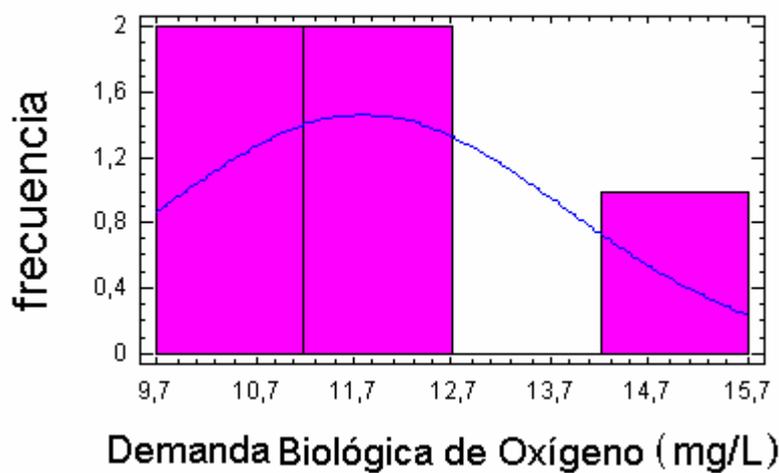
Histograma para afluente biológico



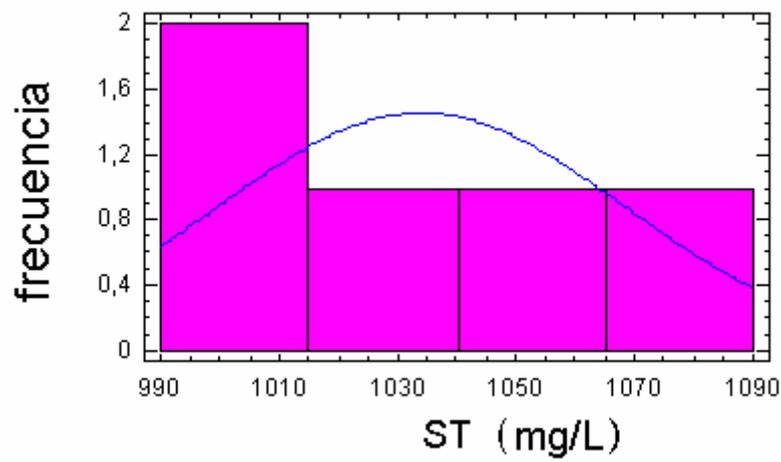
Histograma para efluente biológico



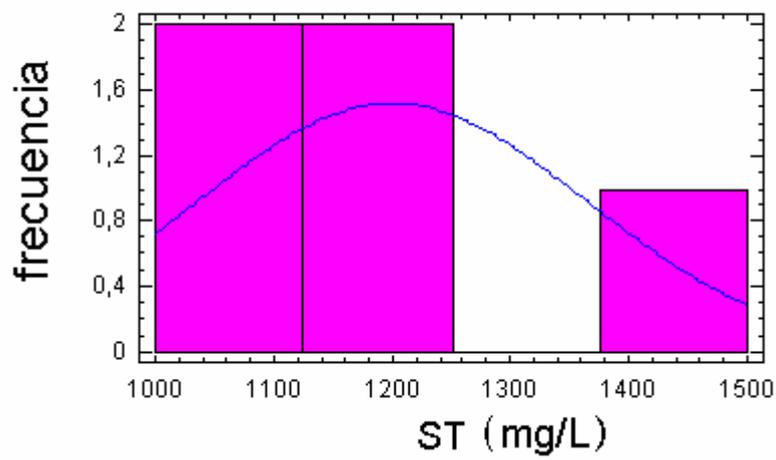
Histograma para efluente tratado



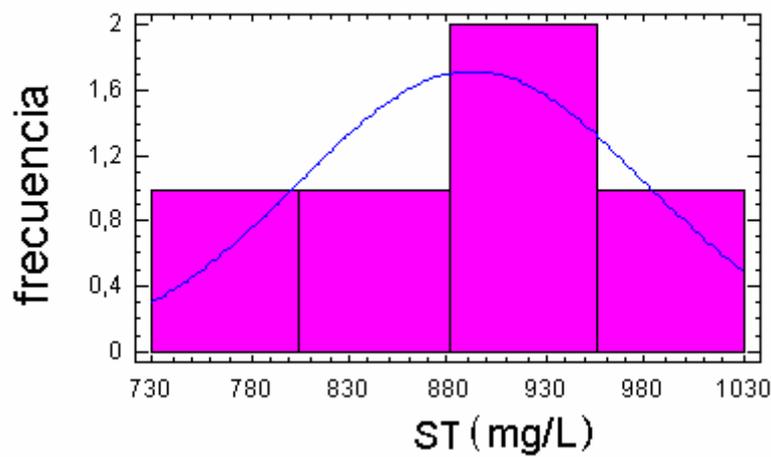
Histograma para afluente industrial



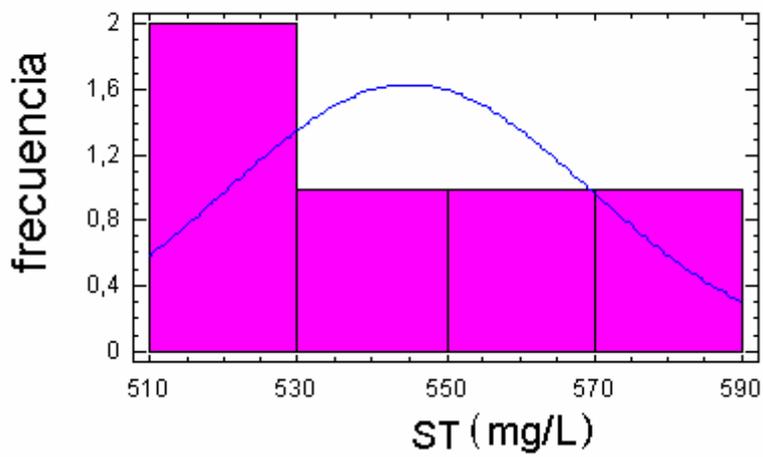
Histograma para efluente industrial



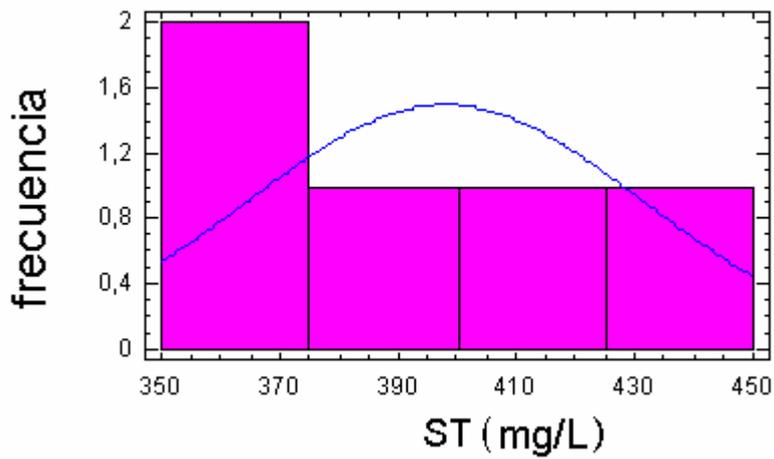
Histograma para afluente doméstico



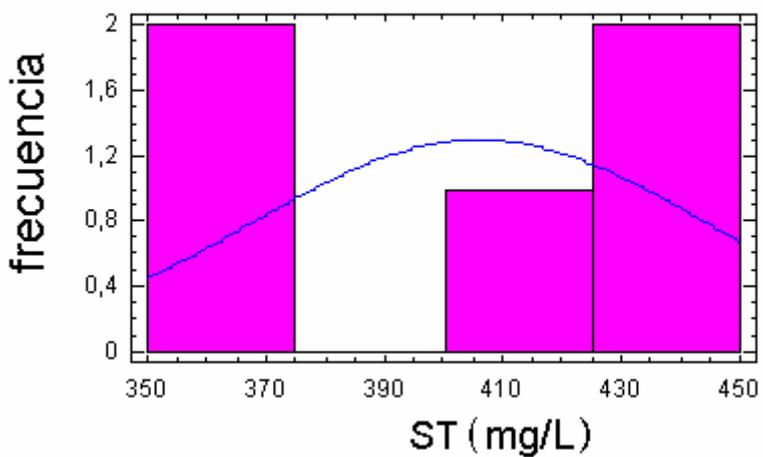
Histograma para afluente biológico



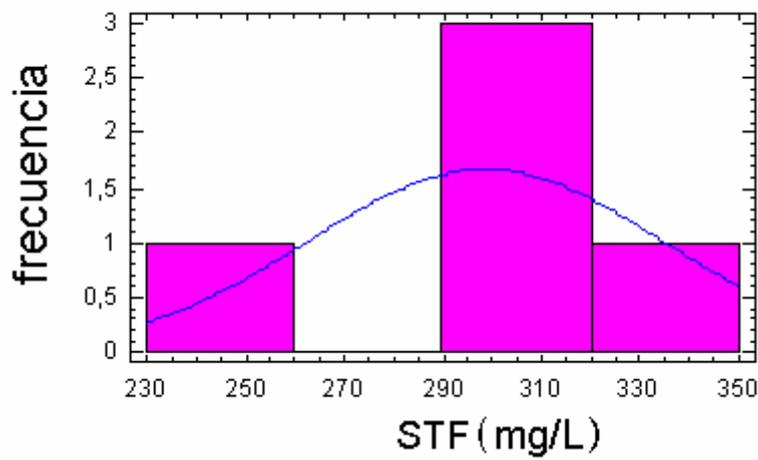
Histograma para efluente biológico



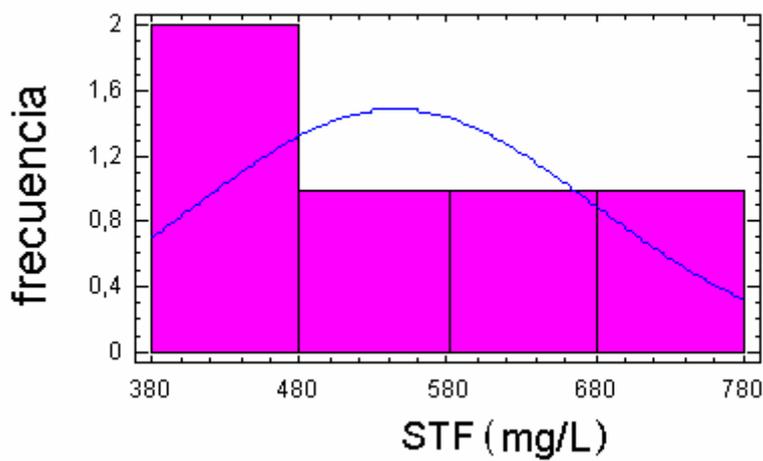
Histograma para efluente tratado



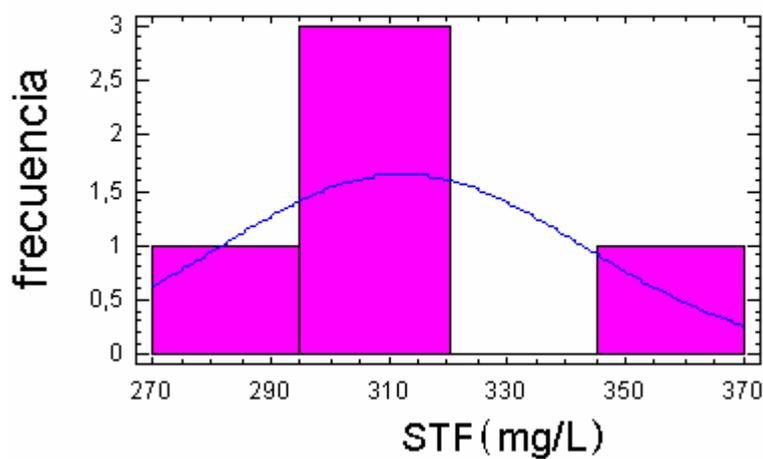
Histograma para afluente industrial



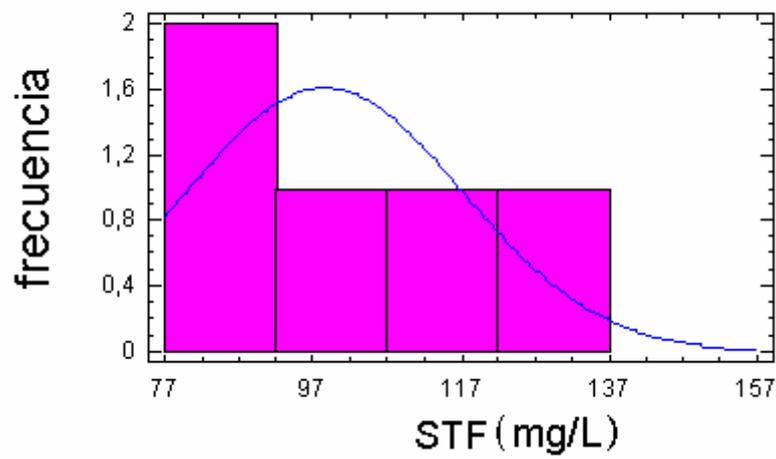
Histograma para efluente industrial



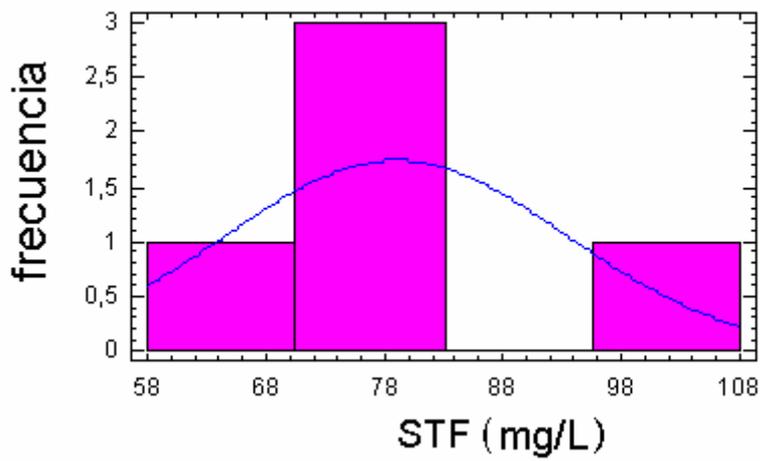
Histograma para afluente doméstico



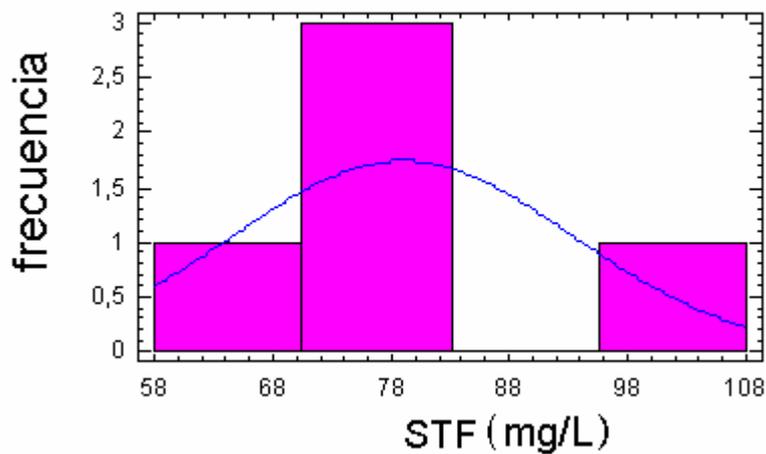
Histograma para afluente biológico



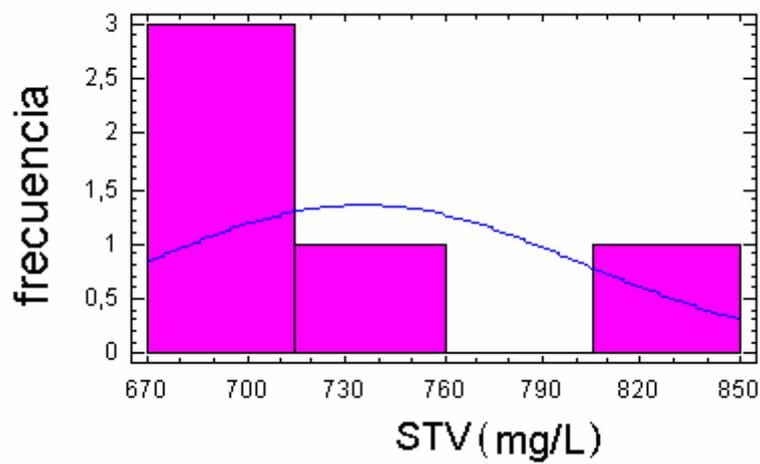
Histograma para efluente biológico



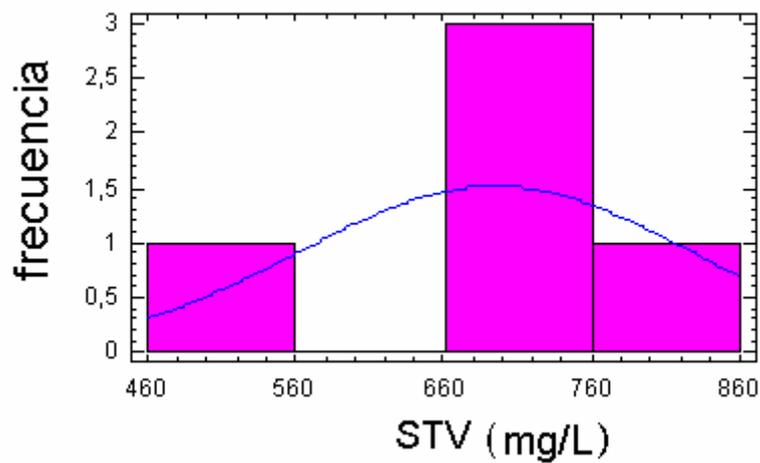
Histograma para efluente tratado



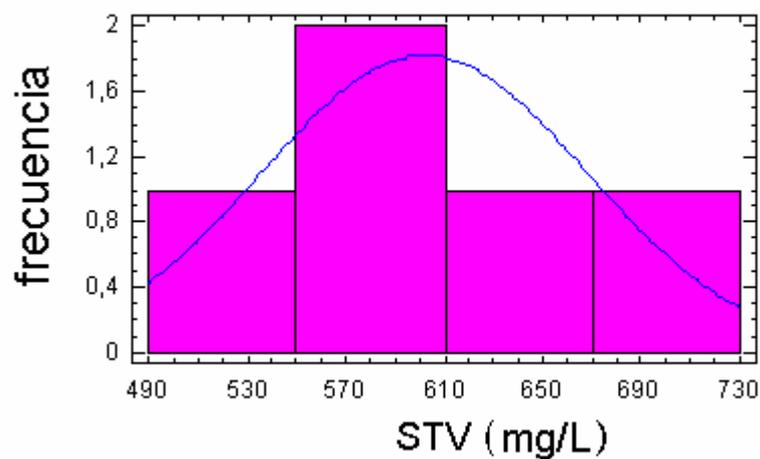
Histograma para afluente industrial



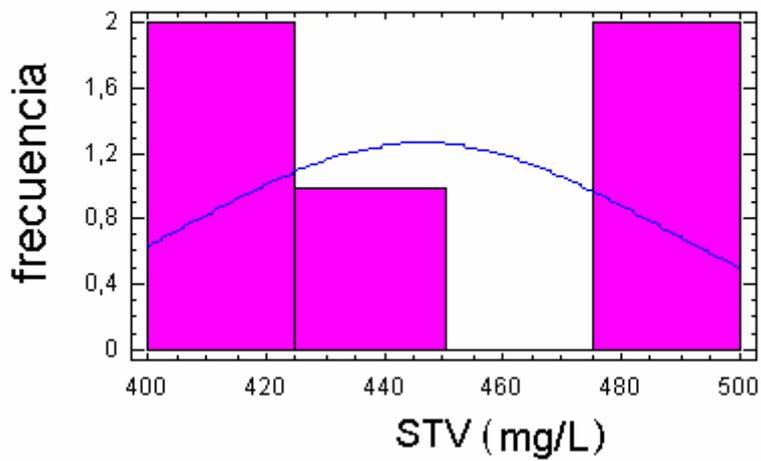
Histograma para efluente industrial



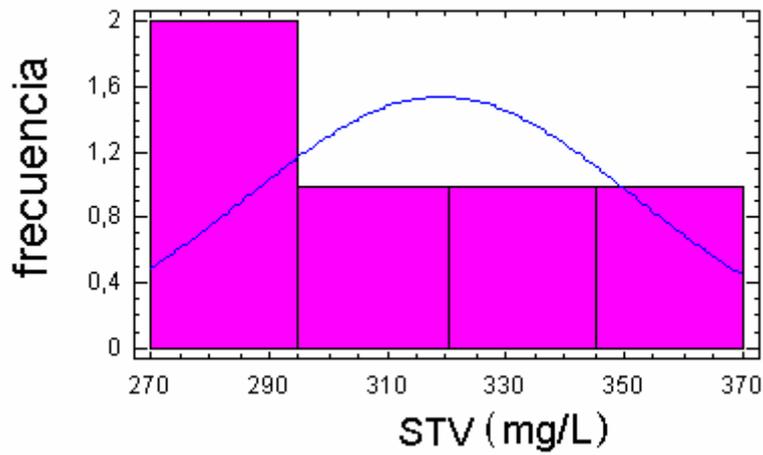
Histograma para afluente doméstico



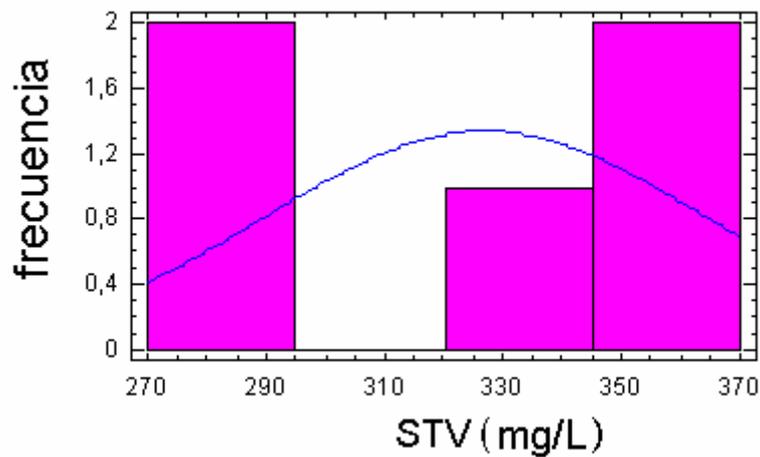
Histograma para afluente biológico



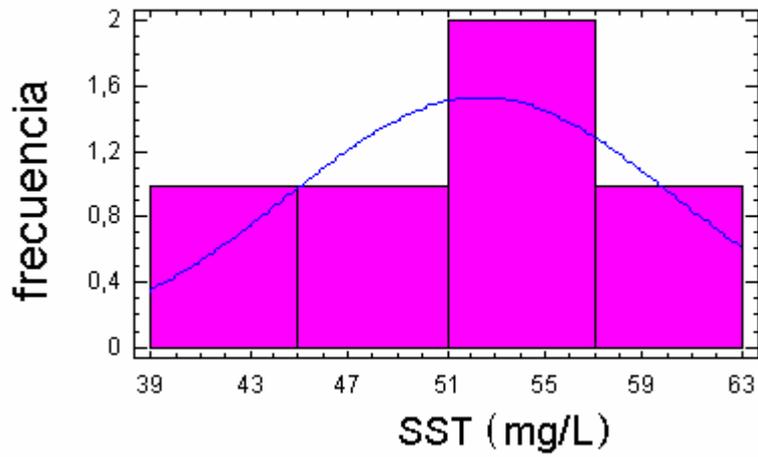
Histograma para efluente biológico



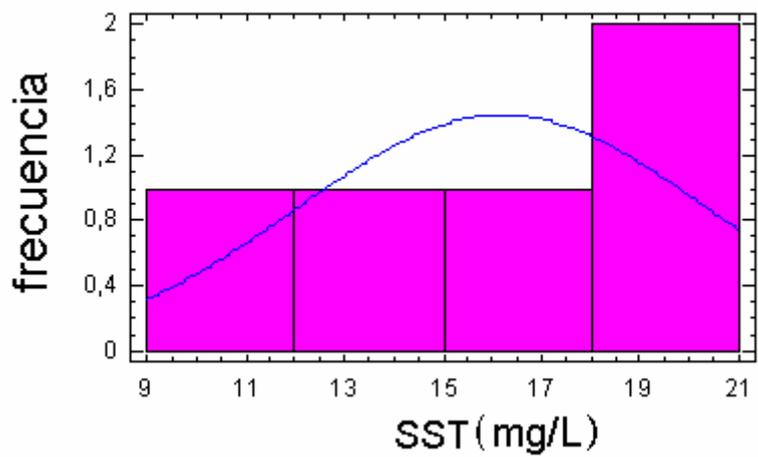
Histograma para efluente tratado



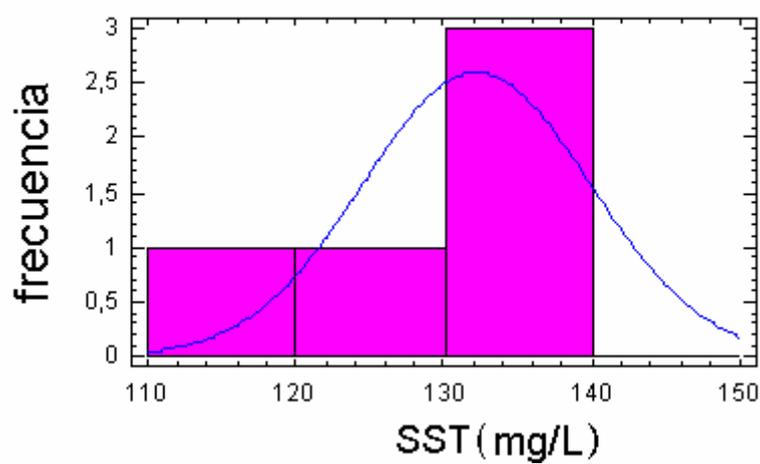
Histograma para afluente industrial



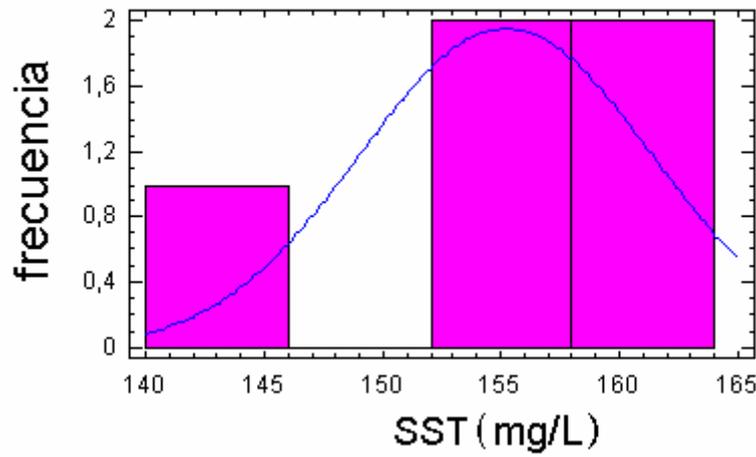
Histograma para efluente industrial



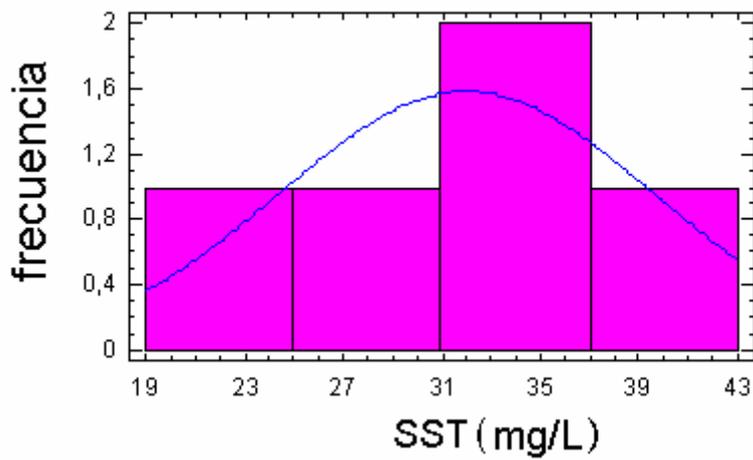
Histograma para afluente doméstico



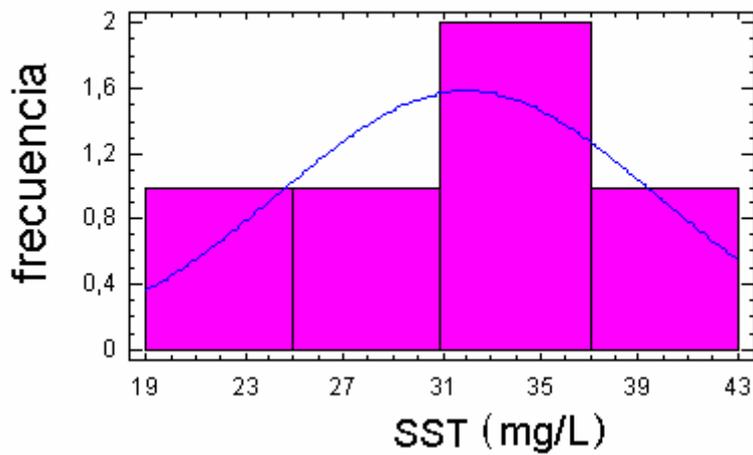
Histograma para afluente biológico



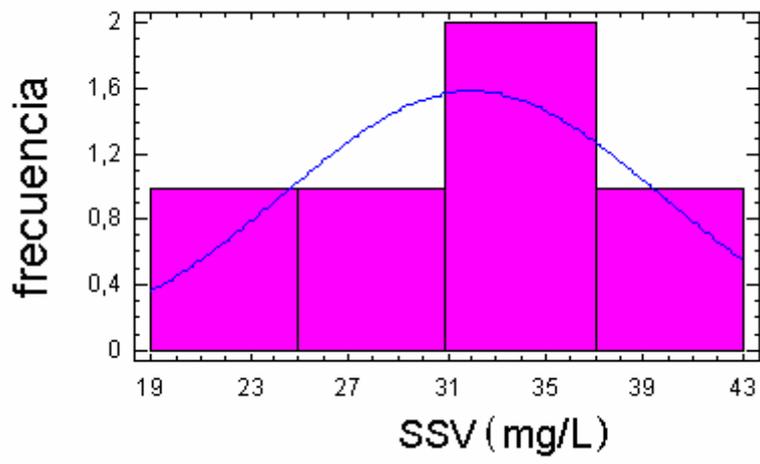
Histograma para efluente biológico



Histograma para efluente tratado



Histograma para efluente biológico



Anexo 12: Resultados de la Media (X), Desviación (S) y Coeficiente de Variación (CV) del muestreo puntual.

Variables	Puntos	1			2			3		
	Unidad	X	S	Cv(%)	X	S	Cv(%)	X	S	Cv(%)
Alc.	mg/L	328,00	19,24	5,86	212,60	32,07	15,09	351,00	18,17	5,18
Cond.	µS/cm	522,00	49,70	9,52	867,20	65,63	7,57	591,80	38,52	6,51
PH		7,09	0,02	0,34	6,17	0,05	0,75	6,80	0,13	1,85
DQO	mg/L	1008,89	5,56	0,55	364,64	16,78	4,60	678,79	9,97	1,47
S.T.	mg/L	1034,00	34,35	3,32	1200,20	164,68	13,72	892,20	87,26	9,78
S.T.F	mg/L	298,60	35,89	12,02	505,20	164,29	32,52	290,20	26,56	9,15
S.T.V	mg/L	735,40	66,25	9,01	695,00	131,67	18,95	602,00	65,92	10,95
S.S.T.	mg/L	52,40	7,83	14,94	16,20	4,15	25,60	132,20	7,69	5,82

Variables	Puntos	4			5			6		
	Unidad	X	S	Cv(%)	X	S	Cv(%)	X	S	Cv(%)
Alc.	mg/L	332,80	18,95	5,69	167,00	17,89	10,71	167,00	17,89	10,71
Cond.	µS/cm	706,60	43,37	6,14	380,80	29,61	7,78	372,40	30,39	8,16
PH		7,13	0,05	0,75	7,95	0,09	1,18	7,50	0,41	5,50
DQO	mg/L	283,22	8,94	3,15	54,26	4,61	8,50	39,00	2,72	6,96
DBO5	mg/L	169,93	5,35	3,15	32,55	2,77	8,50	11,20	1,10	9,78
S.T.	mg/L	545,00	24,49	4,49	398,00	33,47	8,41	406,00	38,47	9,48
S.T.F.	mg/L	98,60	18,64	18,90	79,00	14,32	18,12	79,00	14,32	18,12
S.T.V.	mg/L	446,40	39,46	8,84	319,00	32,48	10,18	327,00	37,35	11,42
S.S.T.	mg/L	155,20	6,14	3,96	32,00	7,58	23,70	32,00	7,58	23,70
S.S.V.	mg/L				32,00	7,58	23,70			

Anexo 13: Resultados de la prueba de anormalidad en las muestras puntuales.

Punto 1 Afluente Industrial.							
Alc.	Cond.	PH	DQO	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
330,00	450,00	7,10	1011,23	1020,00	334,00	686,00	50,00
320,00	550,00	7,12	1008,24	1080,00	240,00	840,00	—
300,00	580,00	7,08	1000,00	1000,00	320,00	680,00	60,00
350,00	530,00	7,11	1010,00	1010,00	298,00	712,00	55,00
340,00	500,00	7,06	1015,00	1060,00	301,00	759,00	57,00

Punto 2 Efluente Industrial.							
Alc.	Cond.	PH	DQO	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
190,00	873,00	6,12	351,41	1210,00	—	—	20,00
180,00	973,00	6,13	343,41	—	—	840,00	—
200,00	865,00	6,20	368,13	1080,00	400,00	680,00	20,00
253,00	810,00	6,23	378,13	1090,00	381,00	709,00	—
240,00	815,00	6,18	382,13	1141,00	381,00	760,00	16,00

Punto 3 Afluente Doméstico.							
Alc.	Cond.	PH	DQO	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
360,00	539,00	7,01	691,40	750,00	250,00	500,00	130,00
350,00	615,00	6,82	684,07	880,00	280,00	600,00	120,00
320,00	640,00	6,72	664,84	920,00	320,00	600,00	140,00
365,00	575,00	6,75	674,84	930,00	301,00	629,00	135,00
360,00	590,00	6,70	678,84	981,00	300,00	681,00	136,00

Punto 4 Afluente Biológico								
Alc.	Cond.	PH	DQO	DBO5	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
330,00	662,00	7,21	279,48	167,70	535,00	—	410,00	145,00
320,00	762,00	7,07	271,98	163,20	560,00	80,00	480,00	160,00
310,00	742,00	7,12	280,22	168,13	520,00	—	410,00	160,00
354,00	675,00	7,15	290,22	174,13	530,00	93,00	437,00	155,00
350,00	692,00	7,10	294,22	176,50	580,00	85,00	495,00	156,00

Punto 5 Efluente Biológico.									
Alc.	Cond.	PH	DQO	DBO5	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.	S.S.V.
170,00	385,00	7,79	57,48	34,49	440,00	—	340,00	30,00	30,00
160,00	408,00	7,94	49,45	29,67	400,00	80,00	320,00	—	—
140,00	410,00	8,00	49,45	29,67	360,00	80,00	280,00	40,00	40,00
185,00	345,00	8,03	59,45	35,67	370,00	75,00	295,00	35,00	35,00
180,00	356,00	7,98	55,45	33,27	420,00	60,00	360,00	35,00	35,00

Punto 6 Efluente Tratado								
Alc.	Cond.	PH	DQO	DBO5	S.T.	S.T.F.	S.T.V.	S.S.T.
170,00	381,00	7,80	38,48	10,00	440,00	—	340,00	30,00
160,00	400,00	7,20	35,15	12,00	440,00	80,00	360,00	—
140,00	400,00	7,50	38,46	12,00	360,00	80,00	280,00	40,00
185,00	335,00	7,00	40,46	10,00	370,00	75,00	295,00	35,00
180,00	346,00	8,00	42,46	12,00	420,00	60,00	360,00	35,00

Anexo 14: Límites Máximos Permisibles Promedio para las Descargas de Aguas Residuales (acuíferos vertimiento en suelo).

		Acuífero vertimiento en suelo.		
Parámetros	UM	(A)	(B)	(C)
pH	Unidades	6-9	6-9	6-10
Conductividad eléctrica	μ S/cm	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	5	10	30
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	mg/L	1,0	3,0	5,0
DBO₅	mg/L	40	60	100
DQO (Dicromato)	mg/L	90	160	250
Nitrógeno total (Kjd)	mg/L	5	10	15
Fósforo total	mg/L	5	5	10

Clasificación cualitativa de los cuerpos receptores.

Clase (A): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.

Clase (B): Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la Clase (A)

Clase (C): Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros.

Anexo 15: Valores medios de los diferentes parámetros de calidad del agua de la muestra #2.

	Muestra	2
Variables	Unidad	X
Alcalinidad	mg/L	213,00
Conductividad	μS/cm	863,20
pH		6,10
DQO	mg/L	365,64
Sólidos Totales	mg/L	1010,20
Sólidos Totales Fijos	mg/L	502,20
Sólidos Totales Volátiles	mg/L	598,00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	17,10

NOMENCLATURA

AEAS	Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas
Alc	Alcalinidad
Bv	Carga orgánica ó volumétrica
Bx	Factor de carga
c(x)	Concentración de una sustancia (x)
Cond	Conductividad eléctrica
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
E	Eficiencia
EDARs	Estaciones depuradas de agua residual
FOB	Free On Borrada, Libre en Puerto
m(x)	Masa de una sustancia (x)
M(x)	Masa molar de una sustancia (x)
MINIL	Ministerio de la Industria Ligera
MLC	Moneda Libremente Convertible
MN	Moneda Nacional
p(x)	Densidad de una sustancia (x)
rpm	Revoluciones por minuto
SST	Sólidos suspendidos totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
SSVLM	Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado
ST	Sólidos totales
STF	Sólidos totales fijos
STV	Sólidos totales volátiles
UEB	Unidad Empresarial Básica
V(x)	Volumen de una sustancia (x)
Vind.	Volumen de residual industrial.
Vsol.(x)	Volumen de solución de una sustancia (x)
θ	Tiempo de residencia hidráulica
θx	Edad del lodo