

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UN CONJUNTO RESIDENCIAL**

Realizado por:

Br. Karla Patricia Mata

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar al título de Ingeniero Químico.

Barcelona, diciembre de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UN CONJUNTO RESIDENCIAL**

ASESORA

Ing. Químico Milena Amundarain (M.Sc)
Asesor académico

Puerto La Cruz, diciembre de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UN CONJUNTO RESIDENCIAL**

JURADO

Ing. Quím. Milena Amundaraín, MSc

Asesor académico

Ing. Quím. Maritza Millán Silva, MSc.

Jurado principal

Ing. Quím. Yraima Salas, MSc

Jurado principal

Puerto La Cruz, diciembre de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado

Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.

DEDICATORIA

A mi Dios y mi Virgencita del Valle, por iluminar cada uno de mis pasos y acompañarme a lo largo del camino.

A mis padres Natacha y José, por ser los mejores padres, amigos y confidentes que la vida me pudo regalar. Los amo!!

A quien considero más que un tío, un padre, Igor Mata, por su cariño incondicional, apoyo y confianza.

A mis hermanitas Rayloren y Mercedes, por alegrar todos mis días y brindarme siempre su apoyo.

A mi abuelita Carmen por ser el ángel que guía mis pasos y ser el pilar fundamental de nuestra familia.

Karla Mata

AGRADECIMIENTOS

Gracias Diosito y Virgencita del Valle por darme la oportunidad de vivir esta maravillosa experiencia y por poner en mi camino a personas incondicionales que de ahora en adelante formarán parte de mi vida.

Mami, no me alcanzarían las palabras para decirte lo mucho que te amo. Tu esfuerzo constante, palabras de aliento y amor son los pilares que sostienen este triunfo, que no es solo mío, es nuestro. Estoy orgullosa de ser tu hija y espero Dios nos regale muchos años de vida para retribuirte todo el amor que me has brindado.

A mi papi, gracias por quererme tanto, por el esfuerzo que has hecho para que yo alcanzara este sueño. Gracias por demostrarme que siempre puedo contar contigo. Te amo!

Agradezco a la vida por el tío tan maravilloso que me regaló, gracias por ser ejemplo de dedicación, superación y una gran inspiración para mí. Nunca podre terminar de darte gracias por todo lo que me has dado y lo mucho que me has enseñado. Eres uno de los pilares sobre los cuales se levanta este gran sueño y un millón de gracias tío por recorrer este camino conmigo. Te amo!!

Abuelita, gracias porque aunque no estés físicamente a mi lado, siempre te llevo presente en mi corazón y estoy segura que aunque te fuiste jamás me dejaste sola. Te amo mucho.

A mis hermanitas, espero estén tan orgullosas de mí como yo lo estoy de ustedes. Las amo mucho, ustedes han sido mi principal motivación.

A mi novio Rodolfo Núñez (FITO) por su infinita paciencia, por estar a mi lado cada vez que te necesité y por brindarme todo tu cariño. Estoy segura que este camino habría sido muy difícil si no hubiese contado con tu ayuda y tu apoyo incondicional.

A mis tías Ruthceleny, Niuskha y mis primos Khaly, Keka, Jesus, Alejandra y la bebé Alisson, por hacerme parte de su familia, nunca dejar que me sintiera sola y por hacerme sentir siempre como en mi casa.

A mi súper ami bella, Jadys Vanessa Calderón, amiga incondicional. Para mi eres mi hermana y estoy agradecida con la vida por permitirme conocer personas tan especiales como tú. Nunca olvidaré los momentos que compartimos durante esta etapa de nuestra vida y espero tenerte a mi lado, acompañándome y compartiendo nuestras tristezas y alegrías las experiencias futuras. Te quiero mucho ami.

A mis loquillas Yolimar y Rosío por todos los momentos compartidos y por hacer más ameno mi paso por la universidad.

A la familia Núñez Marcano, por recibirme en su casa siempre con mucho cariño y hospitalidad. Siempre estaré agradecida.

A mi tutora académica, Milena Amundaraín, no solo por ser una excelente profesora sino también por brindarme siempre cariño, apoyo y comprensión. Todos los conocimientos que me impartió los atesoraré por siempre.

Al personal que labora en el área de postgrado de la Universidad de Oriente, secretarias y personal de limpieza por prestarme su ayuda mientras estuve realizando mi trabajo de investigación y por colaborar conmigo en todo lo posible.

A la Universidad de Oriente, por formarme como profesional y darme la oportunidad de conocer profesores maravillosos y personas especiales.

Karla Mata

RESUMEN

La evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del conjunto residencial Nueva Guaica consistió primeramente en la caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento, lo que permitió clasificar el agua de entrada a la planta como “débil” debido a que el promedio de la concentración de sólidos totales a la entrada fue de 680 mg/l. Se pudo observar en las inspecciones realizadas a la planta que esta presenta problemas de espuma y de abultamiento de lodos por lo que se estudiaron los factores que podían estar afectando el sistema (caudal, tiempo de retención hidráulica, índice volumétrico de lodos, velocidad de sedimentación, DQO, pH y temperatura) obteniéndose que el caudal de entrada del agua residual es 85,54 m³/día, lo que indicó que la planta está operando a un 50,32% de su caudal de diseño lo que a su vez incrementa el tiempo de retención hidráulica en el reactor biológico a 14,25 horas y trae como consecuencia que el IVL se mantuviera el 60% del tiempo de muestreo por encima del límite recomendado en los procesos de lodo activado convencional. La eficiencia obtenida en los procesos de remoción de sólidos totales y remoción de la demanda química de oxígeno fue menor al 50%. Entre las alternativas de mantenimiento se estableció que la planta debe contar con un operador permanente con conocimientos en el mantenimiento y operación de los procesos de lodo activado convencional.

TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Conocimientos generales sobre aguas residuales	8
2.2.1 Composición de las aguas residuales	9
2.3 Tratamiento de aguas residuales	10
2.4 Procesos biológicos	12
2.4.1 Tratamiento biológico de las aguas residuales	12
2.4.2 Importancia de los microorganismos en los procesos biológicos	13
2.4.3 Proceso de lodos activados	15
2.4.3.1 Sistema convencional	16
2.4.3.2 Aireación extendida	16
2.5 Sedimentación de lodos	17
2.5.1 Factores que afectan la capacidad de sedimentación de los lodos	19

2.6 Eficiencia de los sistemas de lodos activados.....	22
2.7 Parámetros significativos en el tratamiento de aguas residuales.....	23
2.7.1 Parámetros físicos	23
2.7.2 Parámetros químicos	24
2.8 Caudales de agua residual de pequeñas comunidades.....	26
2.9 Proceso de tratamiento del agua residual del conjunto residencial Nueva Guaica.....	28
2.10 Mantenimiento de las plantas de tratamiento.....	32
2.11 Problemas operacionales en plantas de tratamiento	35
2.11.1 Problemas en el sistema de aireación	35
2.11.2 Problemas de espumas	35
2.11.3 Arrastre de sólidos	37
2.11.4 Abultamiento de lodo	37
2.11.5 Barro ascendente	38
2.11.6 Efluente secundario turbio	38
2.12 Muestreo de aguas residuales	38
2.13 Disposiciones legales sobre las aguas.....	39
2.14 Análisis estadístico.....	41
CAPÍTULO III.....	43
DESARROLLO DEL TRABAJO.....	43
3.1 Caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento	43
3.1.1 Determinación de los sólidos totales y sólidos totales volátiles	45
3.1.2 Determinación de pH	48
3.1.3 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)	49
3.1.4 Determinación de temperatura	50
3.2 Determinación de los parámetros operacionales de la planta de tratamiento	51
3.2.1 Cálculo del caudal de entrada a la planta de tratamiento	52

3.2.2 Determinación de sólidos suspendidos y sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación y la tubería de recirculación de la planta	54
3.2.3 Determinación de sólidos sedimentables.....	57
3.2.4 Cálculo del índice volumétrico de lodo (IVL).....	58
3.2.5 Cálculo de la velocidad de sedimentación (Vs)	60
3.2.6 Cálculo del tiempo de retención hidráulica	60
3.2.7 Cálculo de la relación alimento/ microorganismo (F/M)	61
3.3 Cálculo de la eficiencia del sistema de tratamiento.....	62
3.4 Propuesta de alternativas que mejoren el funcionamiento y la eficiencia de la planta de tratamiento	63
3.5 Análisis estadístico de los resultados.....	64
3.6 Equipos, materiales, sustancias y herramientas	68
CAPÍTULO IV.....	71
RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
4.1 Caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento	71
4.2 Determinación de los parámetros operacionales de la planta de tratamiento: caudal, índice volumétrico de lodos (IVL), relación alimento/ microorganismo (F/M), velocidad de sedimentación (Vs).....	77
4.3 Cálculo de la eficiencia del sistema de tratamiento.....	89
4.4 Propuesta de alternativas que mejoren el funcionamiento y eficiencia de la planta de tratamiento	91
4.5 CONCLUSIONES	94
4.6 RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	96
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	100

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Mediante el tratamiento de las aguas residuales se pretende minimizar los problemas de contaminación presentes en mares, lagos y ríos los cuales sirven de vertederos para estas aguas de desecho. En la actualidad existen diversos métodos que permiten encontrar soluciones a los cada vez más extensos y complejos problemas originados por la falta, el incorrecto o el insuficiente tratamiento de las aguas residuales. Esta búsqueda origina el uso de cultivos orgánicos en suspensión para eliminar la materia orgánica carbonosa, cultivos que deben ser estudiados para garantizar, que ciertamente son procesos simples que alcanzan niveles de clarificación en las aguas residuales tratadas.

El proceso de lodos activados para el tratamiento de aguas servidas está basado en proporcionar un contacto íntimo entre estas aguas y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar materia orgánica. Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez.

La eficiencia del proceso de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales, entre otros, está determinado por el desempeño adecuado de los clarificadores, los cuales deben producir un efluente con baja concentración de sólidos suspendidos y un lodo con suficiente concentración de biomasa para su retorno al reactor y así mantener la concentración de biomasa deseada en el mismo. Su evaluación se hace a partir del índice volumétrico de lodos (IVL) y algunos índices cualitativos y cuantitativos como la calidad del lodo (granulometría) o flóculos consistentes y la presencia de organismos filamentosos.

En Barcelona, estado Anzoátegui, el crecimiento urbano ha impulsado a las constructoras a incluir en el diseño de sus edificaciones plantas de tratamiento que permitan mejorar la calidad de las aguas residuales procedentes de sus instalaciones ya que sus vertidos deben descargar al río Neverí como consecuencia de la falta de sistemas de cloacas en el sector de Nueva Barcelona, esto debido a que la subestación de Bienestar no tiene la capacidad para recibir las aguas servidas procedentes de los nuevos desarrollos habitacionales en el sector.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en la modalidad de lodos activados son las más utilizadas en comunidades con poblaciones iguales o inferiores a mil habitantes ya que con bajos costos de operación se puede obtener una buena remoción de la carga orgánica. Estas instalaciones deben ser vigiladas por el Ministerio de Poder Popular para el Ambiente para garantizar que el efluente de las plantas de tratamiento cumpla con la normativa ambiental vigente.

Como respuesta a la situación antes mencionada, se presenta este proyecto que tiene como objetivo evaluar la planta de tratamiento de aguas

residuales de un conjunto residencial, lo cual permitirá conocer las condiciones de operación, mantenimiento y funcionamiento que presenta actualmente la planta de tratamiento, para ello se procederá a caracterizar el afluente y efluente procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales por medio de parámetros fisicoquímicos lo que permitirá conocer la eficiencia del proceso de tratamiento, igualmente se verificarán variables operacionales como caudal, índice volumétrico de lodos, velocidad de sedimentación de lodos entre otras y su influencia en la eficiencia del proceso con la finalidad de proponer alternativas que permitan mejorar la calidad del agua tratada y así cumplir con la normativa ambiental vigente que establece los límites máximos para la descarga a cuerpos de agua, en este caso al río Neverí.

Es importante destacar que desde la puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales del conjunto residencial Nueva Guaica, en el año 2007, es la primera vez que se le realizará una evaluación externa a su operación y funcionamiento. Con esta evaluación se pretende vincular a la Universidad de Oriente con la problemática existente en el tratamiento de las aguas residuales y a su vez brindar información que le permita a los habitantes de esta comunidad mejorar la calidad de del agua que es vertida al río Neverí el cual se encuentra en sus adyacencias.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales del conjunto residencial “Nueva Guaica”, ubicado en la ciudad de Barcelona.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar la caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento.
2. Determinar los parámetros operacionales de la planta de tratamiento, como: caudal, índice volumétrico de lodos (IVL), relación carga/masa (F/M), velocidad de sedimentación (Vs).
3. Calcular la eficiencia del sistema de tratamiento.
4. Proponer alternativas que mejoren el funcionamiento y eficiencia de la planta de tratamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A continuación se exponen varias investigaciones relacionadas con el tema central de este proyecto, a fin de tener referencias sobre las bases teóricas y métodos a utilizar.

Osorio (2008) estudió el tratamiento de aguas residuales domésticas, por el proceso de lodos activados como alternativa para Centroamérica, concluyendo que éste no es un tratamiento eficiente y fácil de operar para países centroamericanos donde el nivel de mantenimiento y operación no es actualmente considerado al diseñar y construir una planta de este tipo lo que ocasiona más gastos a largo plazo y la baja calidad del agua tratada.

Suárez (2008) evaluó la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, ubicada en la unidad de almacenamiento flotante que opera en el campo Corocoro, estableciendo que la planta no cumple con el Decreto 883 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”. Este resultado se obtuvo mediante análisis fisicoquímicos realizados a la planta donde se determinó que el caudal de entrada era inferior al caudal de diseño lo que trajo como consecuencia que el tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación fuese superior al establecido para este proceso.

Vallejos (2008) realizó el estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico, estableciendo que el conocer la velocidad de sedimentación de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento permite mejorar el diseño de los sedimentadores ya que se pueden obtener valores de la velocidad de sedimentación con un margen de error no mayor al 20 %.

Martínez (2007) evaluó la instalación de un clarificador secundario en la planta de tratamiento “Noreste” en la ciudad de México, concluyendo que para que el proceso de lodos logre ser efectivo son dos las variables que el operador debe controlar para obtener un buen desempeño del proceso: la tasa de retorno y la concentración del licor mezclado vía purga.

Delgado (2005) evaluó el sistema de tratamiento de aguas residuales del terminal de almacenamiento y embarque de crudo de José por medio de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos concluyendo que la eficiencia del proceso de lodos activados en la planta de tratamiento de aguas residuales del TAECJ era del 53%.

Inojosa (2004) determinó la calidad fisicoquímica de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales Dos Cerritos, estado Nueva Esparta. Este estudio se realizó con el fin de determinar un posible uso de los lodos que se encontraban en los lechos de secado, los cuales estaban totalmente colapsados. Se realizó un estudio operacional de la planta, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, metales, aceites al lodo secundario y al agua cruda y tratada proveniente de la planta. Obteniéndose que los lodos pueden ser utilizados en la siembra de vegetales, pero sólo en plantas ornamentales y forestales que sean tolerantes a la salinidad.

González y Mitchell (2003) realizaron un estudio en la planta de tratamiento de aguas residuales de Guanta en las lagunas de pulimento que están dentro de las instalaciones, encontrando parámetros como aceites y grasas, sulfatos, DBO y coliformes totales que superaban los límites establecidos de descarga por la legislación vigente, a este estudio también demostró que las lagunas no tenían la capacidad necesaria para digerir la carga orgánica recibida. Entre las propuestas para el mejoramiento de la planta está la colocación de cortinas en forma de mamparas para la uniformidad de las aguas residuales de la laguna.

Aguirre (2003) realizó mejoras en el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas compactas, por medio de análisis fisicoquímicos, microbiológicos y el cálculo de variables operacionales demostró que a pesar de que el caudal de entrada a la planta es inferior al caudal de diseño, la eficiencia en la remoción de sólidos totales se mantiene dentro del rango establecido por el fabricante lo que indicó que la planta era capaz de satisfacer a la población para la cual fue diseñada.

Castillo (2002) realizó una evaluación de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas servidas del sector este Punta Baja (Cumaná), con miras a su reutilización. Para ello determinó algunos de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del efluente tratado, así como también algunas características del lodo residual a fin de verificar si los efluentes pueden ser utilizados como agua de riego y acondicionador de suelo. Obteniéndose que el efluente tratado puede ser reutilizado, llevando el control adecuado de la salinidad y que el lodo estudiado puede ser utilizado como acondicionador de suelo.

Prada (2000) evaluó el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento “Punta Baja” de Cumaná, sus estudios se basaron en análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del efluente proveniente de la planta, estableciendo una eficiencia del proceso del 95 % aproximadamente.

El presente proyecto se diferencia de los antes expuestos en que se evaluará una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, por medio de parámetros operacionales y estudios fisicoquímicos, con la finalidad de proponer alternativas para mejorar la calidad del agua tratada.

2.2 Conocimientos generales sobre aguas residuales

Las aguas de abastecimiento cuya composición original ha sido alterada desde el punto de vista fisicoquímico y/o microbiológico, producto de su uso en actividades industriales o domésticas se conocen como aguas residuales. Estas aguas están constituidas por contaminantes químicos orgánicos e inorgánicos que pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión (Metcalf y Eddy, 2003).

Las aguas residuales pueden ser de diversas procedencias (domésticas, industriales, institucionales y agrícolas). Las **aguas residuales domésticas**, son líquidos turbios que contienen sólidos en suspensión y una gran variedad de materia flotante en términos de materia fecal, papel, trozos de alimento, grasas y otros residuos producto de actividades cotidianas de los habitantes de las comunidades (Vallet, 2007). Debido a la necesidad de clarificar estas aguas residuales, se diseñaron instalaciones denominadas plantas de tratamiento las cuales se encargan de purificar las aguas antes de ser

vertidas a los diferentes cuerpos de agua y así preservar el medio marino (Metcalf y Eddy, 2003).

2.2.1 Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales domésticas se componen principalmente de materia orgánica residual a base de proteínas, carbohidratos, grasas y aceites y urea, cuyos elementos constitutivos son: carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, hierro y fósforo. Compuestos orgánicos sintéticos como detergentes, cuyo principal elemento constitutivo son el ácido sulfúrico y fenoles (Metcalf y Eddy, 2003).

Cuando las aguas residuales presentan una coloración gris y un olor a moho razonablemente soportable se está en presencia de líquidos residuales frescos y permanecen así si la descomposición es aeróbica. Posteriormente con el transcurso del tiempo su color se torna negro y su olor es desagradable; típico de agua residual vieja o séptica, ocurre debido a la formación de sulfuro de hidrógeno que proviene de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos.

En la tabla 2.1 se muestran los datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica cruda.

Tabla 2.1 Composición típica de algunos constituyentes del agua residual doméstica cruda (Metcalf, Eddy, 2003).

Contaminantes	Concentración (mg/l)		
	Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales	350	720	1.200
Sólidos disueltos	250	500	850
Sólidos en suspensión	100	220	350
Sólidos sedimentables	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	110	220	400
Demanda química de oxígeno (DQO)	250	500	1000
Nitrógeno total	20	40	85
Fósforo total	15	4	8
Cloruros	30	50	100

2.3 Tratamiento de aguas residuales

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pretratamiento, primario, secundario y terciario, (Metcalf y Eddy, 2003):

- **Pretratamiento**

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Algunos ejemplos de pretratamiento son el desbaste para eliminación de sólidos gruesos, la flotación para eliminar grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa.

- **Tratamiento primario**

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual que no pudo ser separada el proceso de pretratamiento para evitar su interferencia en el tratamiento secundario. Esta eliminación debe llevarse a cabo mediante operaciones físicas como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica.

- **Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables. Se define el tratamiento secundario como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje y sedimentación.

- **Tratamiento terciario**

Más de un proceso terciario puede ser usado en una planta de tratamiento, dentro del cual se puede mencionar la desinfección, eliminación de nitrógeno y fósforo y filtración. Este proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.)

2.4 Procesos biológicos

Son los procesos de tratamiento en los que la eliminación de contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma, tanto coloidal, como en disolución. Básicamente estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico eliminable por sedimentación (Metcalf y Eddy, 2003).

2.4.1 Tratamiento biológico de las aguas residuales

- **Digestión anaeróbica**

En el proceso anaeróbico, la materia orgánica presente en las mezclas de lodos biológicos y sedimentadores primarios se convierte biológicamente, en una variedad de productos finales dentro de los que se incluye el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2). El proceso se desarrolla dentro de un reactor libre de oxígeno por periodos variables de tiempo para que así el lodo que sale del reactor contenga un bajo contenido orgánico (Crites, Tchobanoglous, 2000).

- **Digestión aeróbica**

La digestión aeróbica es un proceso en el cual se produce una aireación por un periodo significativo de tiempo, de una mezcla de lodo digerible de la clarificación primaria y lodo del tratamiento biológico aerobio, con el resultado de una destrucción de células, y una disminución de sólidos en suspensión

volátil (SSV). El objetivo principal es reducir el total de lodo que debe evacuar posteriormente. Esta reducción es resultado de la conversión por oxidación de una parte del lodo en productos volátiles (CO_2 , NH_3 , H_2) (Ramalho, 1996).

2.4.2 Importancia de los microorganismos en los procesos biológicos

La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica se consiguen biológicamente gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa en diferentes gases y tejido celular. Dado que el tejido celular tiene un peso específico ligeramente mayor al del agua, se puede eliminar por sedimentación (Metcalf y Eddy, 2003). En la tabla 2.2 se muestran los principales grupos de microorganismos presentes en aguas residuales

Tabla 2.2 Clasificación de los microorganismos (Metcalf y Eddy, 2003).

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota	Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido Unicelular o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). Animales (vertebrados e invertebrados). Protistas (algas, hongos, protozoos).
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva.	Metanógenos, halófilos, termacidófilos

Para poder reproducirse y funcionar de manera correcta, un microorganismo necesita: (1) una fuente de energía; (2) carbono para la síntesis de la materia celular nueva; (3) elementos inorgánicos (nutrientes) tales como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio. Entre los microorganismos eucariotas importantes en el tratamiento biológico de las aguas residuales, se pueden mencionar (Metcalf y Eddy, 2003):

- **Bacterias:**

Son organismos procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos. Las bacterias esferoidales que reciben el nombre de cocos, tienen un diámetro aproximadamente de entre 1 y 3 micras. Las bacterias de forma bastón, conocidas como bacilos, tienen tamaños muy variables, entre 0,5 y 2 micras por entre 1 y 10 micras de largo. Las bacterias del tipo bastón curvado pueden variar entre 0,6 y 1,0 micras de ancho por entre 2 y 6 micras de longitud, mientras que las bacterias filamentosas pueden llegar a superar las 100 micras.

- **Hongos**

Son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterotrofos. Muchos de los hongos son saprófitos; basan su alimentación en materia orgánica muerta; junto con las bacterias los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ventajas sobre las bacterias ya que pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y con bajos niveles de pH.

- **Algas**

Pueden representar ciertos inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno se conoce como crecimiento explosivo y puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su tasa de eutrofización.

- **Protozoos**

Son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. La mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimioheterótrofos anaerobios. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tienen una gran importancia tanto en el funcionamiento de los procesos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.

2.4.3 Proceso de lodos activados

El tratamiento se proporciona mediante difusión de aire por medios mecánicos en el interior de tanques. Durante el tratamiento los microorganismos forman flóculos que, posteriormente, se dejan sedimentar en un tanque, denominado tanque de clarificación. El sistema básico comprende, pues, un tanque de aireación y un tanque de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces. Los dos objetivos principales del

sistema de lodos activados son (1°) la oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y (2°) la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Estos sistemas permiten una remoción entre 60-95% de la carga orgánica, (Metcalf y Eddy, 2003).

Existen modificaciones particulares del sistema de lodos activados para los diferentes valores de los parámetros del proceso, los cuales ofrecen diferentes calidades del efluente, y por lo tanto difieren en la eficiencia de la remoción. Los sistemas de baja carga operan a una baja relación de sustrato/microorganismo (F/M) y altos niveles de edad del lodo. Por lo contrario los sistemas de alta carga operan a una alta relación (F/M) y bajo valores de edad del lodo. Entre los sistemas de lodo activado más utilizados se encuentran (AJC, WPCF, ASCE, 1977):

2.4.3.1 Sistema convencional

El sistema convencional de lodos activados ha sido el modelo que ha trabajado con mayor amplitud de cargas en el tratamiento de aguas residuales domésticos e industriales. Ha sido empíricamente establecido para obtener eficiencias cercanas al 90% o mayores. Durante el periodo de aireación se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica.

2.4.3.2 Aireación extendida

La aireación extendida es la modificación de baja carga del sistema de lodos activados, caracterizada por altos tiempos de retención del licor mezclado, y un alto contenido de sólidos en suspensión. Esta modificación produce relativamente bajos niveles de biomasa en exceso con

un buen grado de estabilización. En el proceso e aireación prolongada se producen condiciones de respiración endógena lo que reduce la producción de sólidos suspendidos volátiles, con lo que se consigue una disminución de la acumulación de lodos (Ramalho, 1996). La tabla 2.3 muestra la diferencia de los parámetros de diseño y operación entre el sistema de aireación extendida y lodo activado convencional.

Tabla 2.3 Parámetros de diseño y operación en los procesos de aireación extendida y lodo activado convencional (AJC, WPCF, ASCE, 1977).

Procesos	F/M (lb DBO/lb SSLM)	Tiempo retención celular (días)	% DBO removido	Tiempo retención hidráulica (h)	% sólidos recirculación	Sólidos Suspendidos en el licor mezcla (mg/l)
Aireación extendida	≤ 0,05	≥ 30	90	16-24	100-300	2000-3000
Lodo activado convencional	0,15-0,4	4-8	90-95	4-8	30-100	1500-4000

2.5 Sedimentación de lodos

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión. En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual, esta puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento.

En una planta típica de lodos activados, la sedimentación se utiliza en tres de las fases de tratamiento: (1) los desarenadores, en los cuales la materia inorgánica (arena), a veces se elimina del agua residual; (2) en los clarificadores o sedimentadores primarios, que proceden al reactor biológico, y en el cual los sólidos orgánicos e inorgánicos se separan; (3) en los clarificadores o sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales los lodos biológicamente activos se separan del efluente tratado (Ramalho, 1996).

Entre los tipos de sedimentación se encuentran (Crites, Tchobanoglous, 2000):

- **Sedimentación de partículas discretas:** se refiere a la sedimentación por gravedad de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos en un campo de aceleración constante. Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, es decir, no se someten a un proceso de coalescencia con otras partículas. La deposición de partículas de arena en los desarenadores es un ejemplo típico de sedimentación discreta.
- **Sedimentación con floculación:** la aglomeración de partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación. La sedimentación que se lleva a cabo en los clarificadores o sedimentadores primarios en los procesos de tratamiento de aguas residuales es un ejemplo de este proceso.
- **Sedimentación por zonas:** las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una interfase

distinta con la fase líquida. Ejemplos de este proceso incluyen la sedimentación de lodos activados en los clarificadores secundarios y la de los flóculos de alúmina en los procesos de tratamiento de aguas.

- **Sedimentación por compresión:** es la sedimentación en donde la concentración de partículas es tan alta que promueve la formación de una estructura, y la misma ocurre solo por compresión de dicha estructura. Se presenta generalmente en la capa inferior de lodos espesos.

2.5.1 Factores que afectan la capacidad de sedimentación de los lodos

Para que el proceso de lodos activados sea efectivo es necesario que exista una buena floculación y una rápida sedimentación de los lodos en el clarificador secundario. Los principales factores que intervienen en la efectividad del proceso son (Ramalho, 1996):

- **Cambios en el caudal y características de las aguas residuales**

Se debe estar siempre alerta frente a la posibilidad de que se viertan tóxicos, a los vertidos accidentales y frente a las tormentas o cualquier otro factor que pueda causar una variación en el caudal del influente o en sus características. Para compensar los excesos de sólidos y aumento de caudal en épocas de lluvia, se reajustan los caudales de recirculación y purga de fangos para mantener la máxima concentración de fangos activos en el tanque de aireación.

- **Relación alimento/ microorganismo (F/M)**

Los niveles de microorganismos a mantener en el tanque de aireación varían considerablemente dentro del rango de operación, los términos de carga se expresan en función de los sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado. La relación F/M baja, indica que la cantidad de alimento (sustrato) es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos y el lodo obtenido bajo estas condiciones corresponde a flóculos dispersos.

Las relaciones F/M elevadas (valores superiores a 0,6) indican predominio de un tipo de microorganismo de naturaleza filamentosa (*Sphaerotilus*). Este tipo de colonia no decanta bien permaneciendo en suspensión casi continuamente. Para valores de la relación F/M comprendidos entre los extremos (0,3-0,6), el lodo tiene buenas características de sedimentación. El lodo bajo estas condiciones se denomina **floculante**.

- **Efecto de la temperatura**

Es uno de los parámetros más significativos ya que un incremento de la temperatura en el proceso de lodos activados disminuye la viscosidad del agua y su tensión superficial: por lo que mejoran los fenómenos de mezcla y difusión molecular del sustrato y los productos de las reacciones bioquímicas, de igual forma mejora la difusión molecular del oxígeno. La temperatura es un factor determinante en la velocidad de los lodos por lo cual influye en el dimensionamiento de los sedimentadores.

- **Índice volumétrico de lodos (IVL)**

El índice volumétrico de lodos se define como el volumen en mililitros ocupado por un gramo de sólidos en suspensión del licor de mezcla (MLSS), expresado en peso seco, después de sedimentar durante 30 minutos en una probeta graduada de 1000 ml (cono Imhoff). Un IVL menor a 300 ml/g indica lodos bien compactados y densos, y un IVL superior a ese valor significa que los lodos presentan baja capacidad de sedimentación. En la mayoría de las aguas residuales el valor óptimo del índice volumétrico de lodos está comprendido dentro del intervalo 35 – 150 mg/l.

- **Velocidad de sedimentación**

La velocidad de sedimentación es función de la concentración de sólidos existente inicialmente en la suspensión. Este parámetro permite conocer la velocidad con que los lodos presentes en el clarificador secundario logran sedimentar. Un lodo fácilmente sedimentable presenta una velocidad de sedimentación zonal (VS) elevada, de aproximadamente 6 m/h. En la figura 2.1 se puede observar la relación existente entre la velocidad de sedimentación, el IVL, la relación (F/M) y los valores óptimos para una adecuada sedimentación.

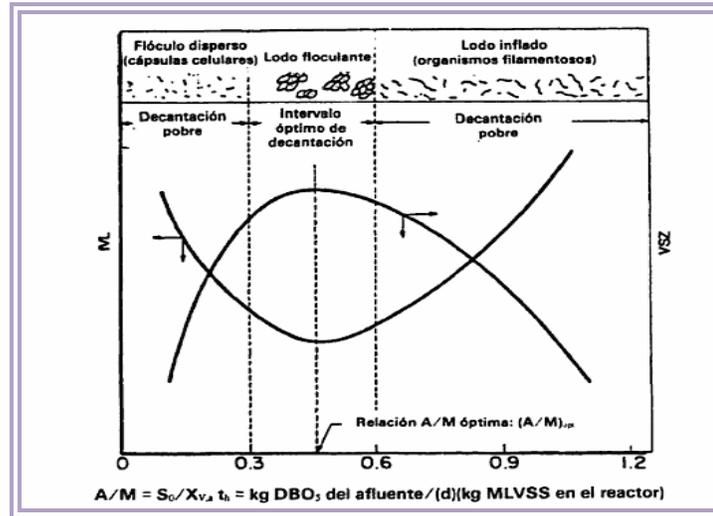


Figura 2.1 Correlación típica entre VS, IVL y la relación F/M (Ramalho, 1996)

- **Tiempo de retención hidráulica**

El tiempo de retención hidráulica es fundamental para el buen dimensionamiento de tanque de aireación y el sedimentador secundario. Se define como el periodo de tiempo durante el cual el agua residual se encuentra en contacto con el lodo biológico. Su cálculo se basa en el caudal de agua residual ignorando el flujo de recirculación de lodos proveniente del sedimentador secundario. El tiempo de retención hidráulica es determinante en la selección del proceso de tratamiento.

2.6 Eficiencia de los sistemas de lodos activados

La eficiencia de los procesos de lodos activados se mide en función de la calidad esperada del efluente con respecto al afluente. El efluente debe cumplir con las características esperadas, basadas en la remoción que se

realiza en cada operación y debe estar de acuerdo con los límites establecidos para vertido de efluentes.

El rendimiento del proceso se expresa de la siguiente manera (Metcalf, Eddy, 2003):

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde:

E= eficiencia del sistema de tratamiento, %.

S₀=concentración de DQO en el afluente, mg/l.

S= concentración de DQO en el efluente, mg/l.

2.7 Parámetros significativos en el tratamiento de aguas residuales

2.7.1 Parámetros físicos

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia orgánica en suspensión, la materia sedimentable y la materia disuelta. Otra característica importante es la temperatura. Todos estos parámetros permiten conocer la calidad del agua tratada (Metcalf, Eddy, 2003).

- **Sólidos totales**

Se refiere a la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación y subsecuente secado a una

temperatura comprendida entre 103 y 105 C. Los sólidos sedimentables, se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodo que se obtendrá de la decantación primaria del agua residual.

Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión), este se define como el material retenido en un filtro de fibra de vidrio después de la filtración de una muestra homogénea y posterior secado a (103-105 C). La fracción filtrable de los sólidos corresponde a los sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0,001 y micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua.

- **Temperatura**

Debido a su gran influencia en la velocidad de las reacciones y en el desarrollo de la vida acuática, la temperatura es fundamental en la caracterización de las aguas. La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro debido a la incorporación de agua caliente procedentes de las casas y diferentes usos industriales.

2.7.2 Parámetros químicos

El estudio de las características químicas del agua residual es fundamental para poder conocer la eficiencia del proceso de tratamiento que

se le está aplicando al agua y a su vez constituyen un factor determinante para el dimensionamiento de las instalaciones de tratamiento. Entre los parámetros más significativos están (Metcalf, Eddy, 2003):

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

Mide el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica en presencia de un oxidante químico fuerte en condiciones ácidas. El dicromato de potasio proporciona excelentes resultados, oxida la materia orgánica carbonacea biodegradable y no biodegradable. La DQO en un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

En muchos tipos de agua es posible establecer una relación entre la DBO y DQO. Una vez establecida esta correlación entre ambos parámetros, puede emplearse la medida de DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento. Las muestras con contenidos de cloruros mayores a los 2000 mg/l deben ser diluidas para que no interfieran en el ensayo de la DQO.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es el parámetro de contaminación orgánica más empleado, tanto para aguas residuales como para aguas industriales. La determinación del mismo está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. El periodo de incubación es, normalmente, de 5 días a 20 °C,

aunque también se pueden adoptar diferentes periodos de tiempo y temperatura. Este parámetro permite dimensionar las instalaciones de tratamiento, determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

- **pH**

La concentración del ión hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia para el caso de las aguas residuales y naturales, ya que el intervalo de concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos.

2.8 Caudales de agua residual de pequeñas comunidades

El agua residual doméstica vertida en sistemas de recolección proviene de zonas residenciales, comercios, instituciones, espacios recreacionales y zonas industriales. En las zonas residenciales el agua que se consume se emplea tanto en uso de interiores como por ejemplo lavabos y duchas, como para usos exteriores como regar el jardín. El caudal de agua residual de las zonas residenciales se mide principalmente en función del número de habitantes. (Crites, Tchobanoglous, 2000).

Los caudales y las características de las aguas residuales de pequeñas comunidades difieren notablemente de los sistemas de grandes dimensiones, por lo que es fundamental conocer los caudales y características previsibles de las aguas residuales a tratar. La capacidad de las plantas suele calcularse

en función del caudal medio diario correspondiente al año del proyecto, sin embargo es fundamental analizar todos los datos de caudales ya que son necesarios para el dimensionamiento de diversas instalaciones del proceso. En la tabla 2.4 se presentan las terminologías empleadas para cuantificar las variaciones de caudal.

Tabla 2.4 Terminología empleada para cuantificar las variaciones de caudales (Crites, Tchobanoglous, 2000)

Términos	Definición
Caudal promedio anual diario	Caudal promedio en periodo de 24 horas basado en datos anuales de caudal
Pico instantáneo	En muchos casos, caudal pico registrado puede ser considerablemente menor que el caudal pico real debido a limitaciones en los equipos de medición y de registro
Mínimo (promedio) horario	Promedio de los caudales mínimos permanentes por un periodo de una hora en el registro examinado
Mínimo (promedio) diario	Promedio de caudales mínimos permanentes por un periodo de un día en el registro examinados
Mínimo (promedio) semanal	Promedio de los caudales mínimos permanentes por un periodo de una semana en el registro examinado
Mínimo (promedio) mensual	Promedio de caudales mínimos permanentes en un periodo de un mes en el registro examinado
Máximo (promedio) horario	Promedio de caudales máximos permanentes en un período de una hora en el registro examinado
Máximo (promedio) diario	Promedio de caudales máximo permanente en un periodo de un día en el registro examinado
Máximo(promedio) semanal	Promedio de caudales máximos permanentes por un periodo de una semana en el registro

2.9 Proceso de tratamiento del agua residual del conjunto residencial Nueva Guaica

En la figura 2.2 se muestra el diagrama de flujo del proceso de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica.

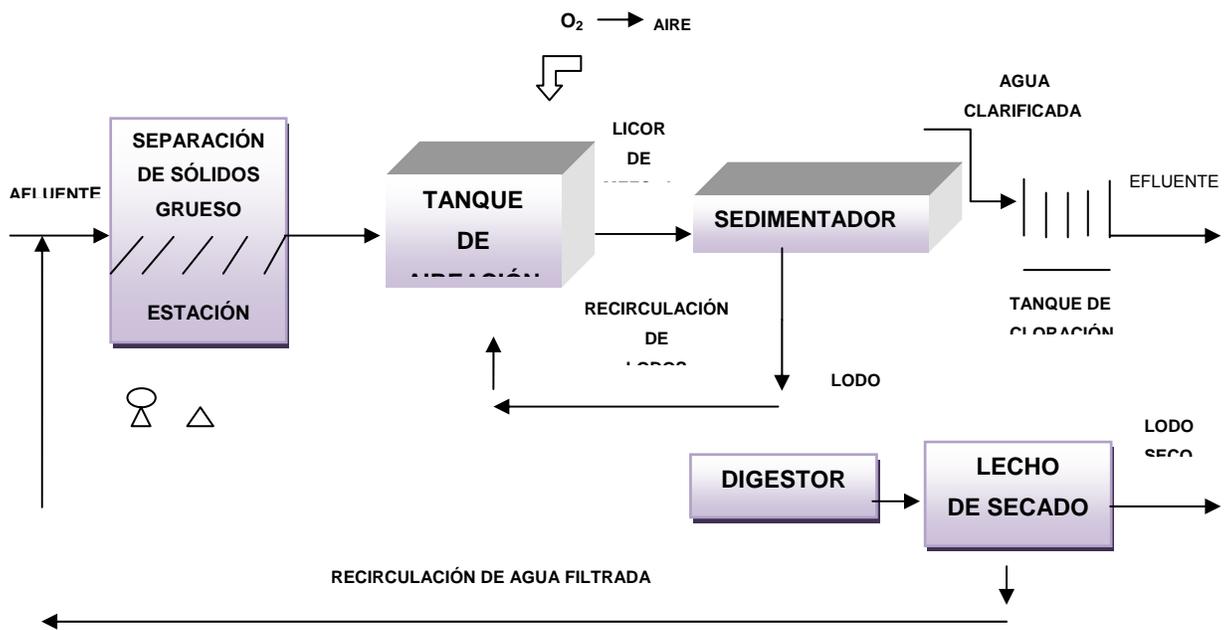


Figura 2.2 Diagrama de flujo del proceso de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica.

Como se observa en la figura 2.2 el proceso de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica comprende cinco etapas:

1. Pretratamiento
2. Aireación
3. Sedimentación
 - Desnatado Superficial
4. Digestión

- Lecho de secado

5. Cloración

El tratamiento se inicia en la etapa preliminar o pretratamiento, en la cual los sólidos gruesos provenientes del afluente de la planta son retenidos en una rejilla metálica ya que no pueden ser tratados biológicamente, como trapos, plásticos, etc. Estos sólidos son posteriormente retirados manualmente y son dispuestos junto con la recolección de residuos sólidos del conjunto residencial. El líquido residual libre de sólidos gruesos pasa a la estación de bombeo de donde es enviada al aireador.

El tratamiento biológico consiste en la oxidación biológica de la materia orgánica en el tanque de aireación o reactor biológico, donde el líquido residual proveniente de la estación de bombeo entra en contacto con el lodo de alta concentración bacteriana proveniente del sedimentador, por medio de una bomba sumergida que toma los lodos del fondo del sedimentador y los recircula al tanque de aireación para su mezcla.

En el tanque de aireación se le suministra a la mezcla oxígeno por inyección de aire, mediante eyectores. Los eyectores son activados por medio de bombas sumergibles, instaladas en el fondo del reactor biológico (figura 2.2). El proceso permite la estabilización de la materia orgánica y transformándola en dióxido de carbono, agua y formas estables de nitrógeno, a través de la oxidación bioquímica realizada por los microorganismos presente en la biomasa recirculada y el oxígeno suministrado por los eyectores.

El licor mezcla proveniente del aireador, pasa a un sedimentador donde se controla la velocidad de sedimentación a través de separadores y el conducto de trasvase para que no hay turbulencia, por lo cual, los sólidos que sedimentan en el fondo del tanque una porción debe regresar al tanque de aireación por medio del sistema de retorno de lodos. Este proceso de sedimentación debe dejar en la superficie un líquido tratado, claro que por rebose pasa al vertedero y de ahí a la línea final desinfección con cloro en una cámara de contacto, para luego su descarga al río Neverí como disposición final del efluente tratado

El sedimentador dispone de un desnatador que se utiliza para remover cualquier partícula o material flotante en la superficie del tanque de sedimentación. Después que se extrae, ese material sobrenadante, es descargado al digester de lodo. El desnatador consiste en una tubería de succión y un eyector de aire, el cual actúa como dispositivo de bombeo. La tubería de succión se coloca al nivel superficial del agua para tomar cualquier partícula en flotación, mientras que el eyector las descarga a la cámara de digestión aeróbica.

Una vez que los lodos son digeridos aproximadamente por el tiempo de una semana información suministrada por el operador de la planta, son descargados por gravedad al lecho de secado de lodos. El procedimiento consiste en detener la aireación del digester por sesenta minutos, para luego abrir la llave de paso que se encuentra a 1,0 metro por debajo del nivel del agua y por la tubería de succión del fondo del digester se extraen los lodos concentrados en el fondo del mismo, los cuales son enviados a los lechos de secado de lodos, que funcionan como un filtro por gravedad, que tiene una capa de grava o piedra picada #1 y una capa de arena lavada gruesa, donde los lodos se quedan en la superficie para su secado y posterior disposición

final como basura y el lixiviado filtrado (altamente contaminado) es conducido nuevamente al inicio del proceso que es la estación de bombeo para ser tratado nuevamente.

Por último, el efluente clarificado es descargado al tanque de contacto (cámara de cloración) y es desinfectado con una solución de hipoclorito de calcio. Este tanque dispone de una serie de pantallas tipo serpentín, para mantener un periodo de retención adecuado. Al principio del tanque donde se descarga el agua clarificada, se dosifica la solución de cloro desde un tanque de dosificación de químico, mediante un sistema de goteo para mantener la concentración de solución en un periodo de retención de treinta minutos, este periodo de tiempo nos garantiza que a la salida del tanque de cloración se tenga 1ppm de cloro residual y así el efluente clorado podrá ser descargado al río Neverí cumpliendo con la normativa ambiental vigente en su decreto 883 (1995) para la descarga a cuerpos de agua (Anexo A).

En la figura 2.3 se puede observar que la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en las instalaciones del conjunto residencial Nueva Guaica es una planta alzada hay que subir la escalera para poder visualizar las unidades que la conforman y su funcionamiento, es de hacer notar que el suministro de oxígeno que se realiza a través de eyectores está automatizado, para lo cual cuenta con una sala pequeña en donde están los controles y espacio disponible para que el operador realice sus actividades



Figura 2.3 Vista lateral de la planta de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica

2.10 Mantenimiento de las plantas de tratamiento

Una planta de tratamiento correctamente diseñada debe estar en capacidad de producir un efluente aceptable, a pesar de las variaciones en las características del afluente. Los procesos de tratamiento requieren equipos de diferentes tipos, tanto mecánicos como eléctricos, que deben estar supuestos a prestar servicio en forma continua, a lo largo de los años sin interrupción.

Es de gran importancia que en la selección de los equipos intervengan operadores experimentados, que a su vez puedan colaborar con la elaboración de un programa de mantenimiento preventivo. Este programa junto con las actividades operacionales son complementos inseparables.

El programa de mantenimiento debe ser tan complejo como los equipos cubiertos. Los requerimientos de mantenimiento deben ser condensados en un calendario de actividades. En forma resumida según lo establecido en el manual de operación de la Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria y

Ambiental (1986) un sistema de mantenimiento completo comprende los siguientes elementos:

- **Personal de mantenimiento**

El personal de mantenimiento debe estar debidamente entrenado y conocer la función de cada uno de los equipos de operación. Una planta pequeña debe tener por lo menos un operador de forma permanente durante el día y la noche que se encuentre en la capacidad de enfrentar cualquier emergencia que se presente durante el proceso. Plantas más grandes requieren de mínimo dos operadores para verificar el funcionamiento de la planta.

- **Instrucciones**

El operador de la planta debe contar con un manual que contenga los instructivos generales de mantenimiento y que cubra los aspectos de menor y mayor envergadura. También es necesario que el operador cuente con varios juegos de planos de todas las instalaciones y memoria descriptiva. Las modificaciones ejecutadas en el transcurso de la vida de la planta, deben ser asentadas en los planos y en la memoria descriptiva.

- **Registro de los equipos**

El registro de los equipos puede ser llevado en forma de libros o en forma de tarjetas individuales para cada pieza. En este documento debe estar la descripción exacta, marca, modelo, capacidad y otras características

que permitan referenciar la unidad. También debe contener las fechas en las que se haya inspeccionado el equipo y cualquier reposición de piezas.

- **Planificación y programación**

Se debe planificar y programar las actividades de mantenimiento para que no interfiera con las actividades operacionales del personal. El plan de trabajo debe incluir la lista de actividades, prioridades, asignación de personal y fecha de ejecución. De igual manera incluye actividades periódicas según la frecuencia aplicable: diario, semanal, quincenal, mensual, semestral y anual.

- **Planes para enfrentar emergencias**

Uno de los deberes importantes del operador es estar preparado para encarar situaciones de emergencia, generadas por condiciones inesperadas como: la falta de energía eléctrica, inundación, conmoción civil, incendio, etc. La planificación eficiente para contingencia tiene las siguientes fases:

1. Elaboración de un plan de acción, considerando todas las alternativas de condiciones de emergencia.
2. Entrenar al personal para la aplicación de los planes.
3. Actualización de los planes de emergencia de forma periódica.
4. Revisión periódica del funcionamiento de los equipos de emergencia.
5. Realizar prácticas de simulación de emergencia a intervalos razonables.

2.11 Problemas operacionales en plantas de tratamiento

En general los problemas operacionales pueden clasificarse por condiciones que el operador puede determinar visualmente en el tanque de aireación o en el sedimentador secundario. Los problemas en el tanque de aireación incluyen problemas en el sistema de aireación y problemas de espuma. Estos problemas pueden ser corregidos lógicamente usando prácticas de control operacional y mediante el mantenimiento adecuado de los equipos.

Los problemas en el sedimentador secundario incluyen entre otras cosas arrastre de sólidos, abultamiento de barro, coagulación de barro, efluente turbio etc. (Florencia, 2003).

2.11.1 Problemas en el sistema de aireación

El licor mezclado debe ser aireado de modo que los microorganismos aeróbicos reciban suficiente oxígeno para permanecer activos y saludables. Además el contenido del tanque debe ser mezclado para mantener a los microorganismos en contacto con toda la materia orgánica presente en el líquido a tratar. El principal problema en los sistemas de aireación es que las velocidades de aireación son muy altas o muy bajas lo que ocasiona que no llegue oxígeno de manera uniforme a todo el licor de mezcla o que los flóculos se rompan.

2.11.2 Problemas de espumas

La presencia de algo de espuma en el tanque de aireación es normal en los procesos de lodos activados convencional. Normalmente en una planta

bien operada del 10 al 25 % de la superficie del tanque de aireación se encuentra cubierta de espuma. Bajo ciertas condiciones de operación la espuma puede volverse excesiva y afectar las operaciones. Generalmente se presentan tres tipos de espuma (Florencia, 2003).

- **Espuma blanca y consistente**

Indica un barro joven y se encuentra normalmente tanto en plantas nuevas como en plantas sobrecargadas. Significa que la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla es muy baja y la relación F/M es muy alta. La espuma puede consistir en detergentes y proteínas que no pueden ser convertidas en alimento por las bacterias que crecen en el licor mezcla.

Entre las causas más probables de esta espuma se encuentran: lodos activados no retornados al tanque de aireación, bajo contenido de sólidos suspendidos en el licor mezcla resultante del proceso de puesta en marcha, bajo contenido de sólidos suspendidos en el licor mezcla causado por el excesivo desecho de lodos o la alta carga orgánica del afluente.

- **Espumas marrones**

Este tipo de espuma se asocia a plantas que operan en rangos de baja carga. Algunas de las causas de la aparición de esta espuma son: el tanque de aireación está siendo operado a baja F/M, crecimiento de una alta concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla como resultado de un insuficiente desecho de lodos. Si la espuma marrón es muy espesa indica la presencia de un lodo viejo.

- **Espumas muy oscuras o negras**

La presencia de espumas muy oscuras o negras pueden ser indicio tanto de una aireación insuficiente lo que resulta en las condiciones anaeróbicas o de la presencia de desechos industriales como pinturas o tintas. En el primero de los casos se recomienda aumentar la aireación y disminuir la concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla.

2.11.3 Arrastre de sólidos

La condición de arrastre de sólidos puede ser fácilmente detectada cuando se observa una buena sedimentación en la prueba de sedimentación de 30 minutos del licor mezclado pero los sólidos homogéneos se encuentran flotando cerca de los vertederos del sedimentador secundario aun cuando el manto de lodos se encuentre en la parte inferior del sedimentador.

2.11.4 Abultamiento de lodo

El abultamiento de lodos es uno de los problemas operacionales más comunes y se manifiesta cuando el lodo gana volumen en el sedimentador secundario y se transforma en liviano y esponjoso, este fenómeno se conoce con el nombre de abultamiento de lodo. Una de las causas de este fenómeno es la presencia de microorganismos filamentosos en cantidades superiores a las bacterias formadoras de los flóculos. Si no hay presencia de organismos filamentosos la presencia de este lodo se puede deber a cargas orgánicas inadecuadas (muy altas o muy bajas) o a la sobre aireación.

2.11.5 Barro ascendente

Ocasionalmente, un barro que en otro momento tendría una buena sedimentación, podría flotar hasta la superficie del sedimentador. Esto puede ocurrir incluso si algún coadyuvante, como polímeros, etc., están siendo suministrados. Se observan pequeños terrones flotantes de sólidos y finas burbujas ascendentes. La causa de este fenómeno es la desnitrificación.

2.11.6 Efluente secundario turbio

Durante periodos de alta turbiedad en el efluente, la sedimentabilidad del licor de mezcla debe ser evaluada varias veces al día hasta que el problema pueda ser identificado y corregido. Cuando el licor de mezcla sedimenta muy poco, dejando un sobrenadante turbio se debe observar la muestra en un microscopio para determinar la presencia de protozoos lo que indicaría que algún compuesto tóxico está entrando al sistema.

2.12 Muestreo de aguas residuales

Para que una muestra de agua sea satisfactoria, debe representar con precisión la masa de muestreada grande o pequeña, y tener un tamaño adecuado para análisis subsecuentes. Puesto que el agua puede muestrearse bajo diversas condiciones, no existe un procedimiento único que pueda aplicarse de modo universal. El método, lugar y tiempo de muestreo debe combinarse de tal manera que los resultados obtenidos satisfagan el propósito para el que se decidió captar la muestra (COVENIN 2709, 2002).

Las aguas residuales domésticas tienen una variación horaria semanal y estacional. Al caracterizarlas se deben captar muestras compuestas que

permitan obtener valores representativos. Las estaciones o puntos de muestreo deben ser ubicados donde las características del flujo sean tales que favorezcan al máximo las condiciones de mezclas de las aguas. Los equipos de muestreo pueden ser manuales o automáticos, dependiendo de la localización de la muestra, de las condiciones hidráulicas del sistema, de la naturaleza del desecho, del tipo de análisis, del periodo de muestra, de la preservación de la muestra, etc.

Por último al finalizar el muestreo se deben señalar los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos que se van a realizar, los cuales dependen del tipo de sustancias utilizadas en el proceso. Todos los análisis se deben llevar a cabo siguiendo la metodología establecida por los procedimientos de los métodos normalizados para cada parámetro a estudiar (Metcalf, Eddy, 2003).

2.13 Disposiciones legales sobre las aguas

El manejo del recurso agua que incluye la disposición de las aguas residuales representa un asunto de vital importancia para la sociedad moderna, por cuya razón el hombre se ha visto en la necesidad de crear una serie de normativas legales, con el objeto de crear una concepción de índole conservacionista sobre este recurso. Basado en esto y a raíz de la firma de acuerdos internacionales sobre medidas ambientales, en nuestro país comienza a surgir una legislación sobre el ambiente (Listado de Legislación Ambiental Venezolana, 2007)

- **Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)**

Artículo 127. Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia.

Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.

- **Ley Orgánica del Ambiente, LOA (2006)**

Tiene como objeto establecer las disposiciones y desarrollar los principios rectores para la gestión del ambiente en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad del estado y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta en interés de la humanidad. De igual forma establece las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales a un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado.

- **Ley Penal del Ambiente, LPA (1992)**

Tiene como objeto tipificar como delitos, aquellos hechos que violen las disposiciones relativas a la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y establece las sanciones penales correspondientes. Asimismo, determina las medidas precautelarias de restitución y de reparación a que haya lugar.

- **Decreto 883 (1995)**

Rige los aspectos como normas de clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.

2.14 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos de caudal y concentración de constituyentes de las aguas residuales, involucra la determinación de parámetros estadísticos utilizados para cuantificar una serie de mediciones. Los parámetros estadísticos y técnicas comúnmente utilizadas para el análisis de aguas residuales son: media, mediana, moda, desviación estándar y el coeficiente de variación es común, bajo el supuesto que los datos se ajusten a una distribución normal. Existen dos métodos estadísticos adicionales de fundamental importancia para cuantificar la naturaleza de una distribución, el coeficiente de curtosis y el coeficiente de asimetría (Crites, Tchobanoglous, 2000):

- **Media aritmética** (\bar{X}), es la sumatoria de todos los datos obtenidos entre el número total de mediciones. Se expresa como (Cermeño, 2000):

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

- **Desviación estándar**, mide en cuanto se alejan los datos con respecto a la media. Se expresa como (Cermeño, 2000):

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Cuando se trata de fenómenos estadísticos que se adaptan a curvas en forma de campana que son tan conocidas de los estadísticos, se puede utilizar papel probabilístico. Cuando los datos obtenidos se presentan en papel probabilístico, la curva se aproxima a una recta. Estos datos se pueden linealizar trazando la recta que más se acerque a los puntos que tenemos. La línea recta obtenida se conoce como línea de Henry.

La fórmula más recomendada para número de datos menores a 20 es la de frecuencia, la cual equivale al porcentaje de veces que se presenta dicho valor señalado en ordenadas (Ramalho, 1996):

$$\% \text{ Frecuencia} = \left(\frac{100}{n} \right) \times (m - 0,5) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO

Con la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del conjunto residencial Nueva Guaica se pretenden evaluar las variables operacionales que influyen en el buen funcionamiento del proceso de lodos activados. Para ello, fue necesario caracterizar ciertos parámetros fisicoquímicos en la entrada, tanque de aireación y salida de la planta de tratamiento, calcular la eficiencia del sistema de tratamiento, realizar inspecciones frecuentes, etc.; todo esto con la finalidad de emitir un diagnóstico del funcionamiento de la planta y por consiguiente proponer opciones para un mejor manejo y mantenimiento de la misma.

3.1 Caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento

El muestreo se realizó por un período de dos meses y medio, tomando una muestra compuesta una vez a la semana en la entrada a la planta (afluente), tanque de aireación y en la tanquilla de descarga de la planta de tratamiento (efluente). La metodología empleada para la toma de las muestras consistió en tomar una botella de vidrio con tapa de rosca, con capacidad de 1,0 litros. Para tomar la muestra del afluente, se introduce la botella tapada en la tubería de descarga del afluente hacia el tanque de aireación para evitar la entrada de aire a la botella o cualquier agente externo que pueda variar la concentración de la muestra. Posteriormente se destapa la botella, se llena y se tapa nuevamente.

Las muestras de agua del efluente se toman siguiendo el mismo procedimiento, pero la muestra es tomada directamente de la tanquilla de descarga de la planta. Inmediatamente después de tomar las muestras, se colocan bajo refrigeración (cava con hielo) a aproximadamente 5 °C, para evitar su descomposición en el trayecto desde el punto de muestreo hasta el laboratorio de Estudios Ambientales del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente, donde se introducen las muestras en una nevera para su posterior caracterización. El análisis de las muestras se realiza por triplicado para asegurar los datos representativos. En la figura 3.1 se muestran los puntos de muestreo.



Figura 3.1 Afluente y efluente de la planta de tratamiento

La caracterización fisicoquímica se efectuó empleando los procedimientos establecidos en los Métodos Estándar (1995), para la

determinación de pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales y sólidos totales volátiles. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.1. A continuación se describen los procedimientos utilizados:

3.1.1 Determinación de los sólidos totales y sólidos totales volátiles

La determinación de sólidos totales y totales volátiles se determinó según lo establecido en el método SM-209A.

Procedimiento:

1. Se lava cápsula de porcelana, se seca y se coloca en un horno a un intervalo de temperatura (103°C-105°C) por 2 horas. Se deja enfriar en un desecador, se pesa y se repite el procedimiento hasta obtener peso constante.
2. Se añaden 50 ml de la muestra en la cápsula y se evapora en un baño de vapor.
3. Finalmente se seca la muestra en un horno a temperatura (103°C-105°C) por una hora. Posteriormente se enfría la cápsula en un desecador y se pesa. Se repite el ciclo de secado hasta obtener peso constante.

Para el cálculo de los sólidos totales volátiles, una vez que la cápsula tiene peso constante se introduce en una mufla a 550 °C por 20 minutos, se deja enfriar en un desecador, se pesa y se anota el valor. Los resultados se muestran en la tabla 4.1.

Los sólidos totales y totales volátiles en el afluente y efluente se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$ST = \frac{(A - B) \times 1000}{C} \quad (\text{Ec.3.1})$$

donde:

ST= concentración de sólidos totales, mg/l

A= masa del crisol con residuo, mg.

B= masa del crisol, mg.

C= volumen de muestra analizada, ml.

1000= factor de conversión.

(Ec.3.2)

$$ST = \frac{(A - B) \times 1000}{C}$$

donde:

STV= concentración de sólidos totales volátiles, mg/l.

A= masa del crisol con residuo (103°C-105°C), mg.

B= masa del crisol con residuo 550°C, mg.

C= volumen de muestra analizada, ml.

1000= factor de conversión.

Tabla 3.1 Datos experimentales utilizados para la determinación de los sólidos totales y totales volátiles en el afluente y efluente de la planta.

Fecha análisis	AFLUENTE			EFLUENTE		
	Peso del crisol (mg)	Peso del crisol + residuo (103°C-105°C) (mg)	Peso del crisol + residuo (550 °C) (mg)	Peso del crisol (mg)	Peso del crisol + residuo (103°C-105°C) (mg)	Peso del crisol + residuo (550 °C) (mg)
21/05/10	50.360	50.420	50.400	50.360	50.370	50.360
28/05/10	50.360	50.380	50.370	52.400	52.420	52.410
04/06/10	105.020	105.040	105.030	47.010	47.030	47.020
11/06/10	105.020	105.070	105.060	47.010	47.030	47.020
18/06/10	105.020	105.060	105.050	50.360	50.380	50.370
25/06/10	87.440	87.480	87.470	50.360	50.380	50.380
02/07/10	87.440	87.470	87.460	52.400	52.420	52.400
09/07/10	50.360	50.390	50.370	52.400	52.420	52.410
16/07/10	50.360	50.380	50.370	52.400	52.410	52.400
23/07/10	50.360	50.390	50.380	52.400	52.410	52.400

- **Sólidos totales y totales volátiles en el afluente**

Se emplearon los valores experimentales reportados en la tabla 3.1 correspondientes a la masa del crisol vacío y con residuo, se obtiene lo siguiente:

$$ST = \frac{(50.420 \text{ mg} - 50.360 \text{ mg}) \times 1000}{50 \text{ ml}}$$

$$ST = 1200 \text{ mg/l}$$

$$STV = \frac{(50.420 \text{ mg} - 50.400 \text{ mg}) \times 1000}{50 \text{ ml}}$$

$$STV = 400 \text{ mg/l}$$

- **Sólidos totales y totales volátiles en el efluente**

Se emplearon los valores experimentales reportados en la tabla 3.1 correspondientes a la masa del crisol vacío y con residuo, se obtiene lo siguiente:

$$ST = \frac{(50.370 \text{ mg} - 50.360 \text{ mg}) \times 1000}{50 \text{ ml}}$$

$$ST = 200 \text{ mg/l}$$

$$STV = \frac{(50.370 \text{ mg} - 50.360 \text{ mg}) \times 1000}{50 \text{ ml}}$$

$$STV = 200 \text{ mg/l}$$

3.1.2 Determinación de pH

La determinación de pH en el afluente y efluente de la planta se llevó a cabo según lo establecido en el método SM-429.

Procedimiento:

1. Verificar que el equipo se encuentra calibrado, sumergiendo los electrodos en una solución patrón de pH conocido (en medio ácido, $\text{pH} < 7$, y básico, $\text{pH} > 7$). Se lavan los electrodos con suficiente agua destilada y se secan con un papel suave.
2. Se toma la muestra en un vaso de precipitado de 100 ml y se sumergen los electrodos. Se agita la muestra para homogeneizar y mantener los sólidos en suspensión.
3. Se lee directamente el valor que aparece en la pantalla del instrumento y se anota el valor de pH. El valor obtenido para el pH en el afluente el día 21/05/2010 fue 7,2.

Siguiendo el mismo procedimiento se determinó el pH en el efluente y en el tanque de aireación y los resultados se muestran en la tabla 4.1.

3.1.3 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

La determinación de la DQO en la muestra del afluente y el efluente de la planta se llevó a cabo según lo establecido en el método SM-508C.

Procedimiento:

1. La muestra para la DQO se preserva previamente en un ambiente frío, pero para el análisis es necesario igualar la temperatura de la muestra a la temperatura ambiente.
2. Se verifica que el equipo a utilizar (espectrofotómetro) se encuentre calibrado, para ello se utiliza una muestra (blanco) para estabilizar el equipo colocando la longitud de onda en 600 nm y la transmitancia en un 100 %.
3. Se agregaron 1,5 ml de solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0,0417M en un tubo de digestión.
4. Se añadieron 3,5 ml del reactivo de ácido sulfúrico (H_2SO_4) Ag_2SO_4 .
5. Se adicionaron 2,5 ml de muestra
6. Se colocaron los tubos de digestión en un termoreactor durante 2 horas a 148 °C
7. Se deja enfriar la muestra a temperatura ambiente, se introduce en el espectrofotómetro digital previamente calibrado a 600 nm, 100 % transmitancia y 0 % absorbancia.
8. Se lee el valor de la absorbancia el cual fue de 0,051 para la muestra del afluente del día 21/05/2010. Por último con este valor se entra a la grafica que se muestra a continuación y se lee el valor de DQO= 133 mg/l.

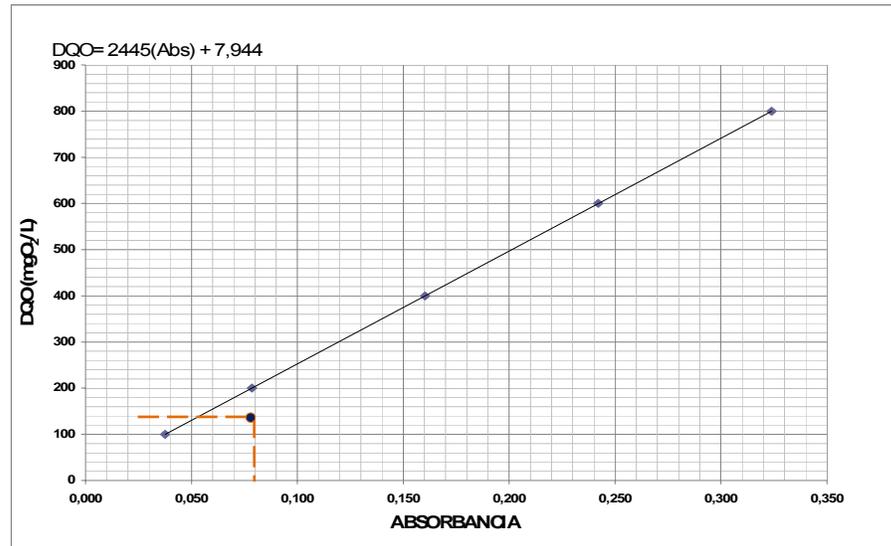


Figura 3.2 Grafica de absorbancia Vs DQO

Siguiendo el mismo procedimiento se obtuvo la demanda química de oxígeno del resto de las muestras y los resultados se muestran en la tabla 4.1.

3.1.4 Determinación de temperatura

Para el medir la temperatura de las muestras de la planta de tratamiento se utilizó el método SM-2550E.

Procedimiento:

1. Se toma la muestra en un vaso de precipitado de 100 ml y se introduce un termómetro de mercurio con rango de temperatura de (0°C -150°C).
2. Se deja reposar hasta que la temperatura sea constante en un valor, se anota directamente el valor observado. Para el día 21/05/2010 se obtuvo una temperatura en el afluente de 28 °C.

Se repitió este procedimiento para el resto de las muestras y los resultados se muestran en la tabla 4.1.

3.2 Determinación de los parámetros operacionales de la planta de tratamiento

La eficiencia del proceso de lodos activados en el tratamiento del agua residual, está determinado por la eficiencia de los clarificadores los cuales deben producir un lodo espeso para su retorno al reactor biológico. Entre los criterios a considerar en el diseño de los clarificadores se encuentran, la carga hidráulica y el tiempo de retención y profundidad para asegurar cierta capacidad de almacenamiento, sin embargo su eficiencia se determina solo hasta que está en operación.

Para poder calcular los parámetros operacionales de la planta fue necesario determinar ciertos parámetros fisicoquímicos en el licor mezcla del aireador y la recirculación del sedimentador. Las muestras en el aireador y la recirculación fueron tomadas siguiendo la misma metodología utilizada para las muestras del afluente y efluente de la planta, de igual forma las muestras se tomaron una vez a la semana por un período de dos meses y medio.

El cálculo de algunas variables operacionales y análisis fisicoquímicos como, sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables, índice volumétrico de lodo (IVL) se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en los Métodos Estándar (1995), para la determinación de la velocidad de sedimentación (V_s), relación carga/ masa (F/M), tiempo de retención hidráulica y caudal, se evaluaron las diferentes técnicas de cálculo existentes y se tomaron las que más se ajustaban a los

materiales y equipos que se encontraban en el laboratorio de Aguas Residuales del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente. A continuación se describen los procedimientos utilizados:

3.2.1 Cálculo del caudal de entrada a la planta de tratamiento

El cálculo del caudal medio diario se realizó 3 veces a la semana durante una semana, para ello se midió cuanto volumen de agua residual cruda se podía recoger en un tiempo de 3 segundos. Las mediciones fueron realizadas cada hora desde las 6 am hasta las 6 pm. Los volúmenes registrados para el cálculo del caudal se muestran en la tabla 3.2 y los resultados del caudal medio diario se muestran en la tabla 4.2.

Tabla 3.2 Volúmenes obtenidos para la determinación del caudal del afluente de la planta

Horas	02/08/2010	04/08/2010	06/08/2010
	V (L)	V (L)	V (L)
6:00 am	4,17	4,38	4,29
7:00 am	2,13	2,07	2,19
8:00 am	2,49	2,31	2,37
9:00 am	2,31	1,81	2,22
10:00 am	3,69	3,51	3,6
11:00 am	4,11	4,41	4,14
12:00 pm	3,81	3,39	3,96
1:00 pm	2,46	3,81	2,76
2:00 pm	2,19	2,19	2,34
3:00 pm	1,95	2,25	2,22
4:00 pm	2,25	2,19	2,37
5:00 pm	2,49	2,22	2,94
6:00 pm	4,35	3,84	3,96

Para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente fórmula (Ramalho, 1996):

$$Q = \frac{V (l)}{t (s)} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$\bar{Q} = \frac{4,17 l}{3 s}$$

$$\bar{Q} = 1,39 l/s$$

donde:

Q= caudal de entrada a la planta (l/s).

V= volumen de agua residual (l)

T= tiempo (s)

Los valores de los caudales promedio horarios y el caudal promedio semanal se determinaron utilizando la siguiente fórmula (Cermeño, 2000):

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q}{n^o} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$\bar{Q} = \frac{1,39 + 1,46 + 1,43 (l/s)}{3}$$

$$\bar{Q} = 1,43 l/s$$

$$Q_p = \frac{\sum \text{Caudal medio diario}}{n} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$Q_p = \frac{(0,98 l/s) + (1,01 l/s) + (1,01 l/s)}{3}$$

$$Q_p = 0,99 l/s$$

donde:

Q_p = caudal promedio semanal del afluente de la planta (l/s).

n = número de veces que se repite la prueba.

3.2.2 Determinación de sólidos suspendidos y sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación y la tubería de recirculación de la planta

Para la determinación de los sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles se utilizó el método SM-209C.

Procedimiento:

1. Se lava el crisol de porcelana, se seca y se coloca en un horno a un intervalo de temperatura (103°C-105°C) por 2 horas. Se deja enfriar en un desecador, se pesa y se repite el procedimiento hasta obtener peso constante.
2. Se monta el equipo de filtración con el crisol y el papel de filtro previamente pesados, se añaden 100 ml de muestra y se aplica vacío hasta eliminar toda traza de agua.
3. Se coloca el crisol y el filtro en un horno a temperatura (103°C-105°C) por una hora y se deja enfriar en un desecador.
4. Se pesa el crisol y el filtro, se anota el valor y se repite el ciclo de secado hasta obtener peso constante.

Para obtener los sólidos suspendidos volátiles el crisol y el filtro se introducen en una mufla a 550 °C por 20 minutos, se deja enfriar en un desecador y por último se pesa. Los resultados se muestran en la tabla 4.3.

Los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles se calcularon utilizando las siguientes fórmulas:

$$SS = \frac{(A - B) \times 1000}{C} \quad (\text{Ec.3.6})$$

donde:

SS= concentración de sólidos suspendidos, mg/l.

A= masa del filtro con residuo, mg.

B= masa del filtro, mg.

C= volumen de muestra analizada, ml.

1000= factor de conversión.

$$SSV = \frac{(A - B) \times 1000}{C} \quad (\text{Ec.3.7})$$

donde:

SSV= concentración de sólidos suspendidos volátiles, mg/l.

A= masa del filtro con residuo (103°C-105°C), mg.

B= masa del filtro con residuo 550°C, mg.

C= volumen de muestra analizada, ml.

1000= factor de conversión.

La tabla 3.3 muestra los datos experimentales utilizados en la determinación de los sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación y en la tubería de recirculación.

Tabla 3.3 Datos experimentales utilizados para la determinación de los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en el tanque de aireación y la recirculación.

Fecha análisis	TANQUE DE AIREACIÓN			RECIRCULACIÓN		
	Peso del filtro (mg)	Peso del filtro + residuo (103°C-105°C) (mg)	Peso del filtro + residuo 550°C (mg)	Peso del filtro (mg)	Peso del filtro + residuo (103°C-105°C) (mg)	Peso del filtro + residuo 550°C (mg)
21/05/10	24.170	24.400	24.330	nr	nr	nr
28/05/10	24.170	24.260	24.200	26.390	26.460	26.420
04/06/10	24.170	24.250	24.190	26.390	26.640	26.400
11/06/10	24.170	24.200	24.170	26.390	26.440	26.390
18/06/10	24.170	24.200	24.180	26.390	26.430	26.390
25/06/10	24.490	24.570	24.510	nr	nr	nr
02/07/10	24.170	24.360	24.220	nr	nr	nr
09/07/10	24.490	24.670	24.590	nr	nr	nr
23/07/10	24.170	24.280	24.200	nr	nr	nr

nr= no se realizó

- **Sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en el tanque de aireación**

Se emplearon los datos experimentales reportados en la tabla 3.3 correspondientes a la masa del crisol vacío y con residuo, se obtiene lo siguiente:

$$SS = \frac{(24.400 \text{ mg} - 24.170 \text{ mg}) \times 1000}{100 \text{ ml}}$$

$$SS = 2300 \text{ mg/l}$$

$$SSV = \frac{(24.400 \text{ mg} - 24.330 \text{ mg}) \times 1000}{100 \text{ ml}}$$

$$SSV = 700 \text{ mg/l}$$

- **Sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en la recirculación**

Se emplearon los datos experimentales reportados en la tabla 3.3 correspondientes a la masa del crisol vacío y con residuo, se obtiene lo siguiente:

$$SS = \frac{(26.460 \text{ mg} - 26.390 \text{ mg}) \times 1000}{100 \text{ ml}}$$

$$SS = 700 \text{ mg/l}$$

$$SSV = \frac{(26.460 \text{ mg} - 26.420 \text{ mg}) \times 1000}{100 \text{ ml}}$$

$$SSV = 400 \text{ mg/l}$$

3.2.3 Determinación de sólidos sedimentables

Para el cálculo de los sólidos sedimentables se utilizó el método SM-2540F.

Procedimiento:

1. Se llena el cono Imhoff hasta la marca de 1 litro con muestra bien mezclada.

2. Se deja sedimentar por 45 minutos, se rota con cuidado el cono y se deja sedimentar por 15 minutos más.
3. Por último se anota el volumen del material sedimentable en el cono como ml/l. Para el día 21/05/2010 se obtuvo 800 mg/l. los demás resultados se muestran en la tabla 4.3.

El laboratorio donde se realizaron los análisis no contaba con un cono Imhoff por lo que se recurrió a un cono similar el cual se enraso para simular el proceso. En la figura 3.3 se muestra el cono diseñado para la simulación del proceso.



Figura 3.3 Cono utilizado para determinar los sólidos sedimentables

3.2.4 Cálculo del índice volumétrico de lodo (IVL)

Este cálculo se realizó siguiendo el método descrito (SM-213C). Para la determinación del IVL fue necesario determinar previamente el volumen sedimentable en 30 minutos en una muestra de licor mezcla. Para ello se llevó a cabo el siguiente procedimiento y los valores se encuentran reportados en la tabla 4.3.

1. Se llena un cilindro graduado de 1litro con muestra bien mezclada.

2. Dejar sedimentar durante 30 minutos y anotar el volumen ocupado por el material sedimentado. Estos valores se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Datos experimentales obtenidos en la determinación de los sólidos sedimentables en el aireador en un tiempo de 30 minutos para el cálculo del índice volumétrico de lodos.

Fecha análisis	Sólidos sedimentables 30 min (ml)
28/05/10	470
04/06/10	570
11/06/10	160
18/06/10	150
25/06/10	220
02/07/10	250
09/07/10	780
16/07/10	800
23/07/10	950

3. Por último con los valores reportados en la tabla 3.2 referidos a los sólidos suspendidos en el tanque de aireación para el día 28/05/2010 se aplicó la siguiente fórmula establecida en los Métodos Estándar (1995).

$$IVL = \frac{\text{Sólidos sedimentables (30 min)ml}}{\text{Sólidos suspendidos en el tanque de aireación}} \quad (\text{Ec.3.8})$$

$$IVL = \frac{470 \text{ ml}}{5220 \text{ mg}}$$

3.2.5 Cálculo de la velocidad de sedimentación (Vs)

Para conocer la velocidad de sedimentación se realizó un ensayo de laboratorio a modo experimental. Los Valores obtenidos se muestran a continuación en la tabla 3.5.

Procedimiento:

1. Llenar un cilindro graduado de un litro con muestra bien mezclada.
2. Anotar el tiempo que tarda la interfase en bajar cada 100 ml.
3. Realizar una gráfica de la altura de la interfase en función del tiempo (figura 4.11).

Tabla 3.5 Valores obtenidos en el estudio de la velocidad de sedimentación

Alturas (ml)	28/05/2010	25/06/2010	02/07/2010	23/07/2010
	T(min)	T (min)	T (min)	T (min)
1000	0	0	0	0
900	14	1	4	13
800	19	1	4	17
700	26	1	6	37
600	36	1	6	39
500	70	1	20	52
400	72	3	25	61
300	82	24	56	74

3.2.6 Cálculo del tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación se calculó siguiendo la siguiente ecuación (Ramalho, 1996):

$$\theta = \frac{V_r}{Q} \quad (\text{Ec.3.9})$$

$$\theta = \frac{50,778 \text{ m}^3}{3,564 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\theta = 14,25 \text{ horas}$$

donde:

θ : tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación, horas.

Vr: volumen del reactor biológico o tanque de aireación obtenido de los planos de diseño de la planta de tratamiento (50,778 m³, valor suministrado por la empresa contratista VITOMARCA)

Q: caudal del afluente de la planta, m³/s. (determinado en la ecuación 3.5)

3.2.7 Cálculo de la relación alimento/ microorganismo (F/M)

Para determinar este parámetro fue necesario conocer primero el tiempo de retención hidráulica, demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación. La relación alimento/ microorganismo se calculó con la siguiente ecuación (Ramalho, 1996):

$$\frac{F}{M} = \left(\frac{S_o}{\theta \times C_a} \right) \quad (\text{Ec.3.10})$$

$$\frac{F}{M} = \left(\frac{38,57 \text{ mgDBO/l}}{0,59 \text{ días} \times 700 \text{ mg/l}} \right)$$

$$\frac{F}{M} = 0,093 \frac{1}{\text{días}}$$

donde:

F/M: relación alimento/ microorganismo, 1/días.

θ : tiempo de retención hidráulica, días.(determinado en la ecuación 3.9).

S_0 : concentración de sustrato en el afluente (38,57 mg DBO/l). (anexo B).

X_a : concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación mg/l. (valor tomado de la tabla 4.3)

En el laboratorio de aguas residuales no se cuenta con los equipos adecuados para el cálculo de la DBO. Este análisis es muy complejo por lo que la muestra de licor de mezcla del reactor biológico se envió al laboratorio de aguas residuales (AMBIOLAB) para que se le realizara a la muestra el análisis de DBO correspondiente (anexo B).

3.3 Cálculo de la eficiencia del sistema de tratamiento

Los sólidos totales y la demanda química de oxígeno permiten conocer de la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el sistema y son fundamentales para conocer si un proceso está funcionando de manera adecuada. La eficiencia del sistema de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica se determinó en función de estos dos parámetros y su concentración en el afluente y efluente de la planta. Estos valores fueron tomados de la tabla 4.1 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.4.

Para el cálculo de la eficiencia el día 21/05/2010 se utilizó la siguiente fórmula (Ramalho, 1996):

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100$$

(Ec. 3.11)

$$E = \left(\frac{133 \text{ ml/g} - 62 \text{ ml/g}}{133 \text{ ml/g}} \right) \times 100$$

$$E = 53,4 \%$$

En función de los sólidos totales

$$E = \left(\frac{1200 \text{ mg/l} - 200 \text{ mg/l}}{1200 \text{ mg/l}} \right) \times 100$$

$$E = 83,33 \%$$

donde:

E= eficiencia del sistema de tratamiento

S_o=concentración de DQO en el afluente, concentración de sólidos totales afluente mg/l

S= concentración de DQO en el efluente, concentración de sólidos totales efluente mg/l

3.4 Propuesta de alternativas que mejoren el funcionamiento y la eficiencia de la planta de tratamiento

Al proponer alternativas de mantenimiento en la planta de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica, se toma en cuenta la evaluación de las variables operacionales que influyen en la eficiencia del sistema. En función de los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y las observaciones realizadas en las inspecciones a la planta; se debe establecer una secuencia de actividades de mantenimiento y de limpieza que deben ser ejecutadas por el personal dispuesto para esta labor (operador de la planta) y por los organismos públicos encargados de la supervisión de la planta. Esta

secuencia de actividades estarán orientadas hacia el mantenimiento de equipos y unidades para así garantizar el buen funcionamiento del sistema, estableciendo los parámetros a medir y su frecuencia de medición.

Las alternativas propuestas pretenden incrementar las medidas que garanticen mejoras en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas, lo que conlleva a obtener una óptima calidad del agua y a su vez al resguardo del ambiente, ya que para el conjunto residencial Nueva Guaica al igual que para muchas edificaciones es imprescindible el manejo y disposición de vertidos cloacales debido a la falta de sistema de cloacas en el sector de Nueva Barcelona, donde se encuentra ubicada la planta.

3.5 Análisis estadístico de los resultados

A todos los resultados obtenidos se les determino su valor promedio y desviación estándar. Para el cálculo del promedio y la desviación estándar en los sólidos totales se utilizaron las ecuaciones 2.2 y 2.3 y los valores fueron tomados de la tabla 4.1.

Promedio:
$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$$

$$\bar{X} = \left(\frac{1200 + 400 + 400 + 1000 + 800 + 800 + 600 + 600 + 400 + 600}{10} \right)$$

$$\bar{X} = 680 \text{ mg / l}$$

Desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{(1200 - 680)^2 + (400 - 680)^2 + (400 - 680)^2 + (1000 - 680)^2 + \dots + (600 - 680)^2}{10 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S = 269$$

El mismo procedimiento se repitió para el cálculo del promedio y la desviación estándar de los demás resultados obtenidos y los valores se muestran en la tabla 4.1.

Al índice volumétrico de lodos (IVL), sólidos totales y demanda química de oxígeno en el efluente se le realizaron pruebas de frecuencia para determinar el porcentaje del tiempo en que se encontraban fuera del rango deseado. Para el cálculo de la frecuencia o porcentaje de tiempo igual o menor se aplicó la ecuación 2.4.

$$\% \text{ Frecuencia} = \left(\frac{100}{n}\right) \times (m - 0,5)$$

$$\% \text{ Frecuencia} = \left(\frac{100}{8}\right) \times (1 - 0,5)$$

Este procedimiento se repite $\% \text{ Frecuencia} = 6,25$ para los demás parámetros y los resultados obtenidos y gráficas utilizadas se muestran a continuación.

Tabla 3.6 Resultados obtenidos del análisis estadístico del índice volumétrico de lodos

IVL (ml/g)	Valor de m	% de tiempo igual o menor que
132	1	6,25
275	2	18,75
431	3	31,25
433	4	43,75
500	5	56,25
522	6	68,75
533	7	81,25
712	8	93,75

La figura 3.4 muestra el porcentaje de frecuencia determinado para el IVL

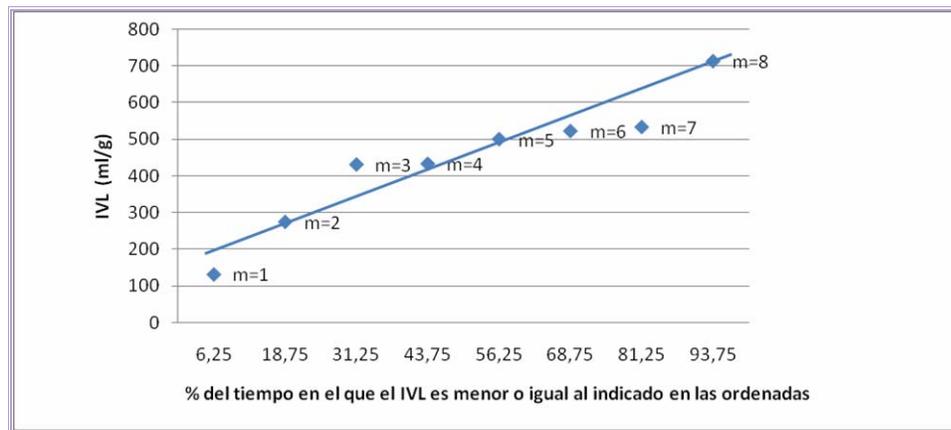


Figura 3.4 Frecuencia utilizada para el análisis estadístico del IVL

Tabla 3.7 Resultados obtenidos en el análisis estadístico de los sólidos totales en el efluente

Sólidos totales (mg/l)	Valor de m	% de tiempo igual o menor que
200	1	5
200	2	15
200	3	25
400	4	35
400	5	45
400	6	55
400	7	65
400	8	75
400	9	85
400	10	95

La figura 3.5 muestra el porcentaje de frecuencia determinado para los sólidos totales en el efluente de la planta.

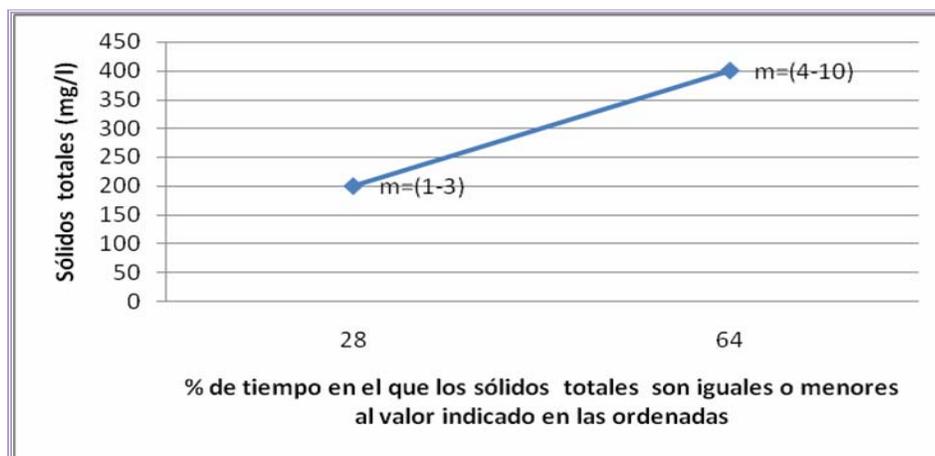


Figura 3.5 Frecuencia utilizada para el análisis estadístico de los sólidos totales en el efluente

Tabla 3.8 Resultados obtenidos de los análisis estadísticos de la demanda química de oxígeno en el efluente

DQO (mg/l)	Valor de m	% de tiempo igual o menor que
------------	------------	-------------------------------

50	1	5
51	2	15
62	3	25
85	4	35
90	5	45
90	6	55
117	7	65
130	8	75
135	9	85
194	10	95

La figura 3.6 muestra el porcentaje de frecuencia determinado para la demanda química de oxígeno en el efluente de la planta.

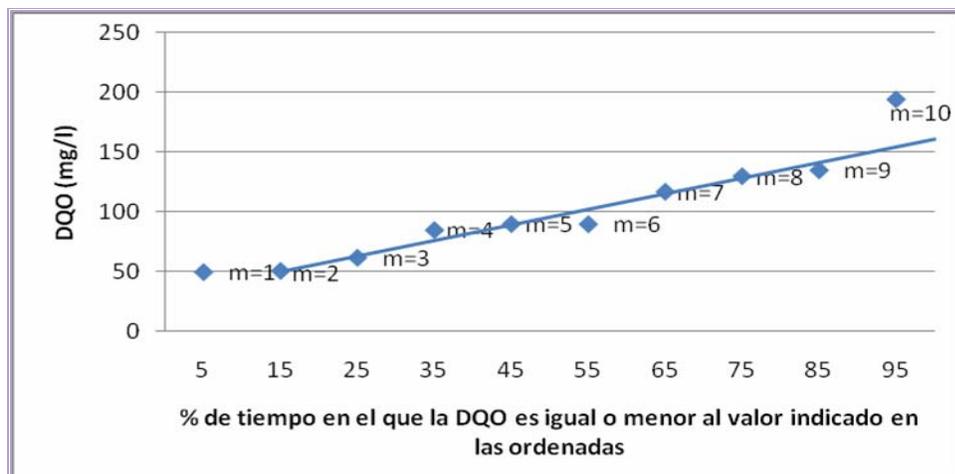


Figura 3.6 Frecuencia utilizada para el análisis estadístico de la DQO

3.6 Equipos, materiales, sustancias y herramientas

Equipos

- Espectrofotómetro Spectronic 20 Genesys, rango de 325 a 1100nm, precisión : $\pm 2,0$ nm, exactitud: $\pm 0,003A$ de 0,0 a 0,3A/ $\pm \% 0,301A$ a 2,5A.
- Termoreactor marca HACH, modelo 16500-10, capacidad 120 V.
- Mufla eléctrica marca Blue M, rango de operación de 0-1000 °C, precisión $\pm 0,1$.
- Medidor de pH digital, marca Oaklon , pH 2100, rango de 0-14, precisión $\pm 0,1$.
- Refrigerador marca Regina, modelo semi-automático RMS30, capacidad para 239 litros, voltaje 110.
- Balanza analítica electrónica marca Denver Instrument, capacidad máxima 200 g, precisión 0,001.
- Bomba de vacío marca Gast, 110-115 V.
- Horno, marca Precisión, modelo 19, voltaje 110, rango de temperatura hasta 200 °C, precisión $\pm 0,1$.

Materiales

- Tubos de ensayo
- Etiquetas autoadhesivas para enumerar los tubos de ensayo
- Pipetas graduadas de 5, 10 ml
- Cápsulas de porcelana
- Papel de filtro de fibra de vidrio de 4,7 cm
- Pinza de metal
- Quitasato 250 ml
- Desecador marca Malgene
- Vaso de precipitado de 250 ml
- Termómetro, escala 0-150
- Cronómetro
- Embudo

- Cilindro graduado 50,100,250,1000 ml
- Guantes de látex
- Cronometro
- Varilla de agitación
- Espátula
- Enlermeyer de 50 y 100 ml.
- Soporte universal.
- Gradillas metálicas y de plástico.

Sustancias

- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- Sulfato de mercurio ($HgSO_4$)
- Acido sulfúrico concentrado 98% (H_2SO_4)
- Biftalato de potasio anhidro
- Sulfato de plata (Ag_2SO_4)
- Azida de sodio
- Tiosulfato de sodio
- Solución estándar de pH 10,00 +/- 0,01.
- Solución estándar de pH 4,01 +/- 0,01.
- Agua destilada
- Agua residual

Herramientas

- Microsoft Office XP (Word, Excel, PowerPoint).
- Internet Explorer. Computador, disco duro 2,53GHz. Memória RAM: 248 MB.

Todos los equipos, materiales y sustancias mencionados se encuentran disponibles en el laboratorio de Análisis Químicos y el laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad de Oriente, núcleo Anzoátegui.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La caracterización fisicoquímica del afluente y del efluente, así como el estudio de las variables operacionales realizado a la planta de tratamiento de aguas residuales del conjunto residencial Nueva Guaica permitieron conocer los problemas que presenta el proceso de tratamiento de las aguas residuales procedentes de sus instalaciones. La evaluación en cuanto a las labores de mantenimiento y operación de la planta, se realizó para verificar si el plan de mantenimiento que lleva la planta es el adecuado y si permite que el proceso de tratamiento se lleve a cabo de forma correcta para de esta manera reducir la carga contaminante del vertido.

4.1 Caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento

En la figura 4.1 se muestra el comportamiento de la concentración de pH durante los dos meses y medio de evaluación.

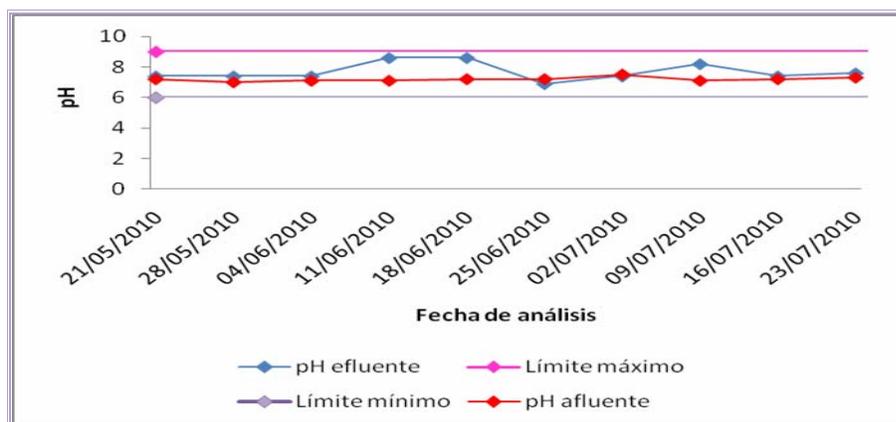


Figura 4.1 Comportamiento de la concentración de pH en el afluente y efluente de la planta.

- **pH**

Los valores óptimos de pH en los procesos biológicos están dentro del rango (6,5 -8) mg/l, ya que valores por encima o debajo de este rango pueden ocasionar problemas en la proliferación de los microorganismos necesarios para que ocurra el proceso (Carceller, 2003). En la figura 4.2 se muestra que la variación de pH se mantuvo siempre dentro el rango de (6-9) exigido por la normativa ambiental vigente (anexo B) con un valor promedio a la entrada de 7,2 mg/l y a la salida de 7,7 mg/l (tabla 4.1). El pH a la salida es mayor que a la entrada por el crecimiento del fitoplancton y estos organismos utilizan dióxido de carbono en su actividad fotosintética.

En la tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos en el afluente y efluente de la planta, con sus valores promedios, desviación estándar y límite establecido en la normativa ambiental vigente.

Tabla 4.1 Resultados obtenidos en la caracterización del afluente y efluente de la planta de tratamiento.

PARAMETROS	FECHA DE ANÁLISIS (2010)										X	S	Límite Establecido (mg/l)
	21/05	28/05	04/06	11/06	18/06	25/06	02/07	09/07	16/07	23/07			
Sólidos totales (mg/l)	1200	400	400	1000	800	800	600	600	600	600	680	269	nr
Sólidos volátiles (mg/l)	400	600	600	600	600	600	600	400	200	200	240	99	nr
pH	7,2	7	7,1	7,1	7,2	7,2	7,5	7,1	7,2	7,3	7,2	0,14	nr
T °(C)	28	28	28	28	29	29	29	27	28	27	28,1	9,2	nr
DQO (mg/l)	133	152	199	120	151	232	120	308	269	281	197	71,4	nr
Sólidos totales (mg/l)	200	400	400	400	400	400	400	400	200	200	340	97	nr
Sólidos volátiles (mg/l)	200	200	200	200	200	0	400	200	200	200	200	115	nr
pH	7,4	7,4	7,4	8,6	8,6	6,9	7,4	8,2	7,4	7,6	7,7	22	(6-9)
T °(C)	28	26	28	28	28	29	29	27	28	28	27,9	0,88	nr
DQO (mg/l)	62	51	194	85	90	50	90	117	130	135	100,4	44,7	350

nr= no reportado

Cada uno de los parámetros determinados en la tabla 4.1 se analizaron de manera individual por medio de análisis gráfico. En figura 4.2 se muestra el comportamiento de la temperatura en el afluente y efluente de la planta de tratamiento durante los dos meses y medio de evaluación.

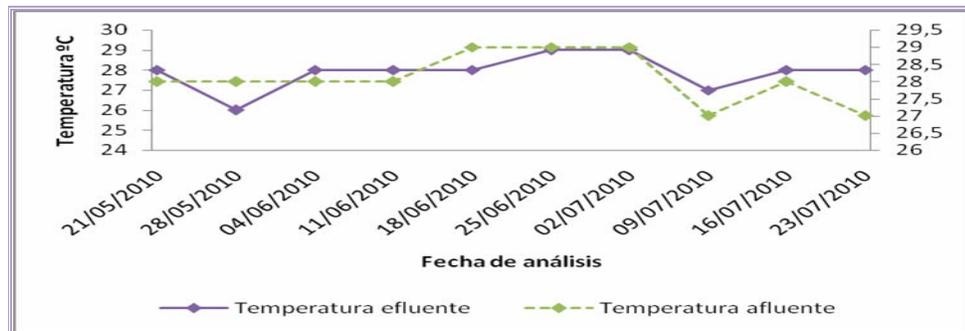


Figura 4.2 Comportamiento de la temperatura en el afluente y efluente de la planta.

- **Temperatura**

En la figura 4.2 se muestra que la temperatura a la entrada y a la salida fue semejante a lo largo de los dos meses y medio de evaluación de la planta, con valores promedio a la entrada de 28,1 °C y 27,9 °C a la salida (tabla 4.1). Estos valores se encuentran dentro del rango de (25°C - 35°C) recomendado para los procesos de lodo activado convencional (Ramalho, 1996). Dentro de este rango las reacciones químicas ocurren de manera efectiva.

- **Sólidos totales y totales volátiles en el afluente y efluente de la planta**

En la figura 4.3 se puede observar que la concentración de sólidos totales a la entrada de la planta varió en un intervalo de (400-1200 mg/l) con un valor promedio de 680 mg/l y una desviación con respecto a su valor promedio de 269 (tabla 4.1); lo que demuestra que la concentración de las muestras varia considerablemente durante los períodos de muestreo. De acuerdo al promedio de la concentración de sólidos totales a la entrada se puede clasificar el agua residual de tipo “débil” comparándola con la tabla 2.1.

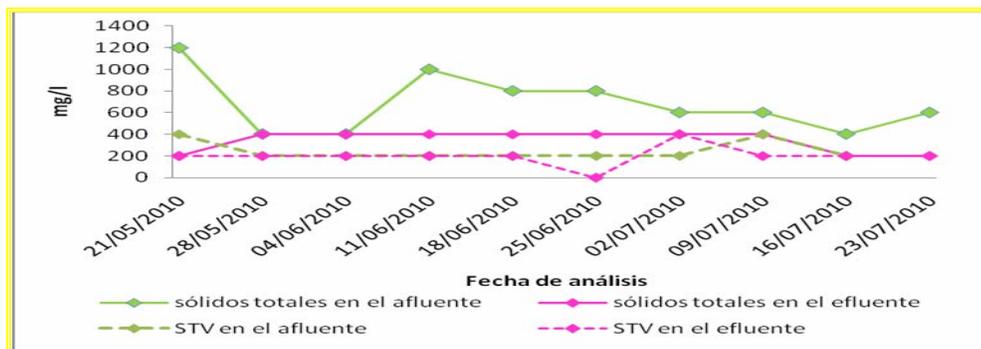


Figura 4.3 Comportamiento de los sólidos totales y totales volátiles en el afluente y efluente de la planta.

Los sólidos totales a la salida se encontraron en un rango de (200-400 mg/l) , con un valor promedio de 340 mg/l y una desviación de 97 (tabla 4.1); con respecto a su valor promedio. Los sólidos totales en el efluente no tienen un límite específico establecido para su descarga a los cuerpos de agua pero ellos contribuyen en la determinación de la DBO y DQO del efluente y también son un indicativo del buen o mal funcionamiento del sedimentador.

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

El análisis estadístico realizado a este parámetro (figura 3.2) demuestra que el 100 % del tiempo de evaluación de la planta, los valores de DQO en la entrada y salida de la planta se encontraron muy por debajo de los valores que caracterizan a un agua residual tipo doméstica, cabe resaltar que estos valores ya cumplen con el límite exigido para la descarga a cuerpos de agua (anexo D)

La figura 4.4 muestra que la demanda química de oxígeno del afluente y efluente a la planta, presentan un valor promedio a la entrada de 197 mg/l y a la salida de 100,4 mg/l con una desviación de 71,4 y 44.7 (tabla 4.1); con respecto a sus valores promedio. Cabe resaltar que por razones del logística las tomas de muestras para estos análisis se realizaron en un horario comprendido entre (7:30 – 9:00) am, esta sería una de las razones valederas para aceptar estos resultados. Durante los días 25/06/2010 y 09/07/2010 las muestras fueron captadas en un horario comprendido entre 10 y 12 pm y se puede observar un aumento significativo en los valores de DQO lo que demuestra que el horario fue un factor determinante en los resultados obtenidos.

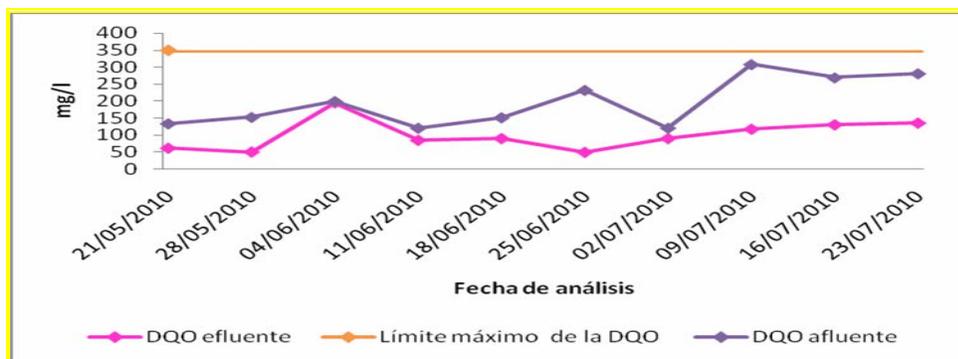


Figura 4.4 Comportamiento de la demanda química de oxígeno en el afluente y efluente de la planta.

También se puede observar en la figura 4.4 que existe remoción de materia orgánica en función de la demanda química de oxígeno a excepción del día 04/06/2010, cuyos valores de entrada y salida resultaron iguales, es de hacer notar que el día de esta inspección y tomas de muestras se pudo observar material sólido resuspendido en el sobrenadante del sedimentador, trayendo como consecuencia arrastres de sólidos a la cámara de desinfección (punto de toma de muestra del efluente) lo que ocasionó un incremento en el valor de la DQO. En la figura 4.5 se puede observar el material resuspendido en la cámara de cloración.



Figura 4.5 Sólidos suspendidos en la cámara de cloración

4.2 Determinación de los parámetros operacionales de la planta de tratamiento: caudal, índice volumétrico de lodos (IVL), relación alimento/ microorganismo (F/M), velocidad de sedimentación (Vs)

- **Caudal del afluente**

En la tabla 4.2 se muestran los valores obtenidos para el caudal de entrada a la planta de tratamiento durante tres días a la semana en un horario de 6: am a 6:00 pm. En ella se muestra que el caudal promedio diario de entrada a la planta de tratamiento del conjunto residencial Nueva

Guaica es de 85,54 m³/día. Este valor se encuentra por debajo del caudal de diseño de la planta 170 m³/día (valor reportado por la empresa contratista VITOMARCA), esto se debe a que de los 192 apartamentos existentes en el conjunto residencial, solo se encuentran habitados 100 apartamentos.

Tabla 4.2 Caudales de entrada a la planta del conjunto residencial Nueva Guaica.

Hora	Caudal (l/s)			Promedio horario
	02/08/2010	04/08/2010	06/08/2010	
6:00 am	1,39	1,46	1,43	1,43
7:00 am	0,71	0,69	0,73	0,71
8:00 am	0,83	0,77	0,79	0,80
9:00 am	0,77	0,63	0,74	0,71
10:00 am	1,23	1,17	1,2	1,2
11:00 am	1,37	1,47	1,38	1,5
12:00 pm	1,27	1,33	1,32	1,31
1:00 pm	0,82	1,27	0,92	1,0
2:00 pm	0,73	0,73	0,78	0,75
3:00 pm	0,65	0,75	0,74	0,71
4:00 pm	0,75	0,73	0,79	0,76
5:00 pm	0,83	0,74	0,98	0,85
6:00 pm	1,45	1,28	1,32	1,35
Promedio	0,98	1,0	1,01	0,94
Caudal Promedio Diario (m ³ /día)	85,54			

La figura 4.6 muestra que la variación de los caudales de entrada a la planta durante las horas del día. Se puede observar que los caudales máximos se presentan a las 6: am, 11:00 am y 6:00 pm con promedios de 1,43 l/s, 1,5 l/s y 1,35 l/s, mientras que los caudales mínimos se registran a 9: 00 am y 3:00 pm ambos con un valor promedio de 0,71 l/s (tabla 4.2). Estas variaciones se deben a que en un conjunto residencial sus habitantes

consumen mayor cantidad de agua durante las primeras horas de la mañana y las últimas horas de la tarde ya que los miembros de esta comunidad laboran durante el día y retornan a sus hogares al final de la tarde.

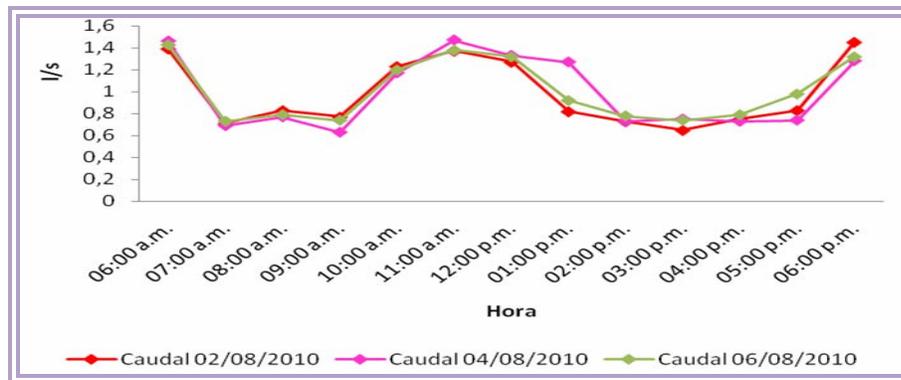


Figura 4.6 Variación del caudal de entrada a la planta

- **Sólidos suspendidos y suspendidos volátiles**

Para el cálculo de los parámetros operacionales de la planta fue necesario realizar previamente el cálculo de los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en el tanque de aireación y la tubería de recirculación. Se hace resaltar que por razones de instrumentación y equipos no se pudo realizar un control sobre la cantidad de oxígeno disuelto en el tanque de aireación, control necesario para este tipo de planta que es una planta que funciona con metabolismo aeróbico. La tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos en los análisis de sólidos realizados en el tanque de aireación y en la tubería de recirculación de la planta de tratamiento.

Tabla 4.3 Valores obtenidos en el cálculo de los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en el tanque de aireación y tubería de recirculación

Fecha análisis	Tanque de aireación			Tubería de recirculación		IVL (ml/g)
	Sólidos suspendidos (mg/l)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	Sólidos sedimentables (mg/l)	Sólidos suspendidos (mg/l)	Sólidos suspendidos volátiles(mg/l)	
21/05/10	2300	700	800	nr	nr	Nr
28/05/10	900	600	470	700	400	522
04/06/10	800	600	400	2500	2400	712
11/06/10	300	300	100	500	500	533
18/06/10	300	200	120	400	400	500
25/06/10	800	600	150	nr	nr	275

Tabla 4.3 Valores obtenidos en el cálculo de los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en el tanque de aireación y tubería de recirculación (continuación)

Fecha análisis	Tanque de aireación			Tubería de recirculación		IVL (ml/g)
	Sólidos suspendidos (mg/l)	Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)	Sólidos sedimentables (mg/l)	Sólidos suspendidos (mg/l)	Sólidos suspendidos volátiles(mg/l)	
02/07/10	1900	1400	180	nr	nr	132
09/07/10	1800	800	650	nr	nr	433
16/07/10	nr	nr	850	nr	nr	Nr
23/07/10	2300	700	800	3200	1400	431
Promedio	1267	656	452	1460	1020	442
Desviación						

nr= no se realizó

Los valores que se muestran en la tabla 4.3 se estudiaron de manera individual por medio de análisis gráficos. La figura 4.7 muestra el comportamiento de la concentración de sólidos suspendidos, suspendidos volátiles y sólidos sedimentables en el tanque de aireación.

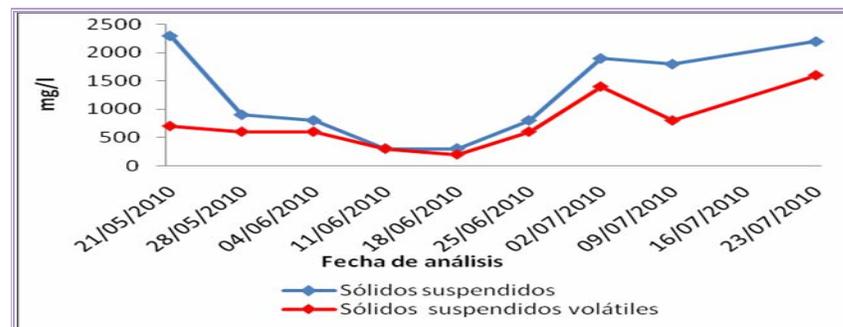


Figura 4.7 Comportamiento de los sólidos suspendidos, sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación

- **Sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en el tanque de aireación**

En la figura 4.7 se observa que los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en el licor mezcla presenta valores extremos de (300 – 2300 mg/l) y (200 – 1400 mg/l) con valores promedio de 1267 mg/l y 656 mg/l respectivamente (tabla 4.3). Estos valores se encuentran por debajo del rango recomendado para los procesos de lodo activado convencional, siendo los valores más óptimos (2000 – 4000 mg/l) y (1500 – 3000 mg/l) para los sólidos suspendidos volátiles (Ramalho, 1996).

Estos últimos, se utilizan como una medida de los microorganismos presentes en el proceso, y cuya concentración debe ser suministrada por la recirculación de los lodos provenientes del sedimentador (Ramalho, 1996)

por lo que esta baja concentración se debe a que el tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación es muy alto lo que ocasiona que los microorganismos se oxiden y mueran (fase endógena).

El día 16/07/2010 no se reportaron valores para los sólidos suspendidos ni para los suspendidos volátiles debido a que la operación de filtración realizada no proporcionó resultados, producto que el lodo obtenido presentó apariencia gelatinosa y esto no permitió obtener una muestra filtrada, cabe destacar que para esa misma muestra se realizó la prueba de sedimentabilidad de los lodos resultando un valor de 850 ml/l (tabla 4.3).

- **Sólidos sedimentables**

En la figura 4.8 se puede observar que los sólidos sedimentables variaron en un intervalo entre (100 – 850 mg/l) durante el período de muestreo, de igual manera se observa que hubo días donde los lodos no sedimentaron de manera adecuada. Estos resultados se deben a que la planta presentaba graves problemas de operación que se evidenciaron en la presencia de un lodo inflado, poco compacto y disperso lo que ocasionaba una mala sedimentación de los mismos.

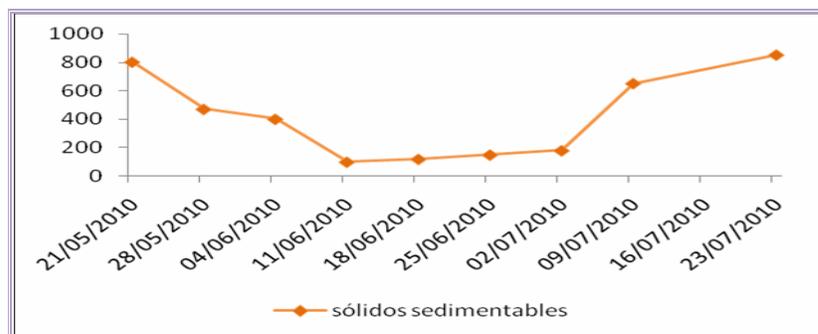


Figura 4.8 Sólidos sedimentables en el tanque de aireación

En la figura 4.9 se puede observar el volumen de sólidos sedimentables después de haber transcurrido una hora.



Figura 4.9 Volumen de sólidos después de sedimentar durante una hora

- **Sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en la recirculación**

En la figura 4.10 se observa que los valores de los sólidos suspendidos y suspendidos volátiles varían entre (400 – 3200 mg/l) y (400 – 2400 mg/l) con valores promedio de 1460 mg/l y 1020 mg/l respectivamente. Estos valores son mayores a los obtenidos en el tanque de aireación debido a que ha ocurrido la sedimentación. Los valores de la concentración en ambos sólidos tienden a subir y a bajar de forma repentina en el intervalo comprendido entre el 18/06/2010 y 23/07/2010 esto es producto que de que el operador de la planta decidió abrir la llave que lleva los lodos del sedimentador hacia el digester para así disminuir el contenido de lodo presente en el sedimentador ya que estaba causando graves problemas de arrastre de sólidos hacia la cámara de cloración.

Durante el periodo de muestreo se presentaron muchos problemas de electricidad en el sector donde se encuentra la planta de tratamiento lo que

ocasionó que se dañara la bomba encargada de recircular los lodos hacia el tanque de aireación por lo que hay días que no se pudieron realizar análisis fisicoquímicos en la recirculación de la planta.

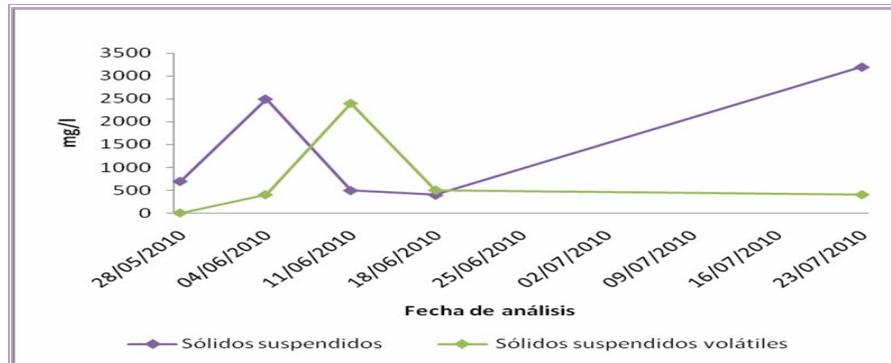


Figura 4.10 Comportamiento de sólidos suspendidos y suspendidos volátiles en la recirculación

- **Índice volumétrico de lodos y velocidad de sedimentación**

El índice volumétrico de lodos y la velocidad de sedimentación son parámetros altamente relacionados entre sí ya que son una medida de la capacidad de sedimentación que tienen los lodos. Las figuras 4.11 y 4.12 muestran la variación del índice volumétrico de lodos (tabla 4.3) y la velocidad de sedimentación (tabla 3.5), en una misma muestra de licor de mezcla.

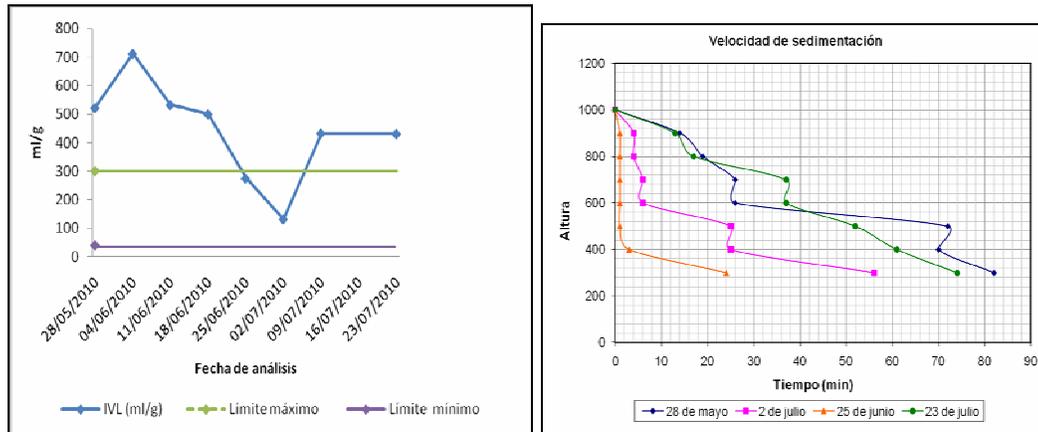


Figura 4.11 Variación del IVL en el licor de mezcla **Figura 4.12 Variación de la VS en el licor de mezcla**

Se puede observar en la figura 4.12 que las muestras que fueron tomadas el día 25 de junio y el 2 de julio sedimentaron mucho más rápido que las demás muestras, así mismo se evidencia en la figura 4.11 que para estas fechas el valor del IVL se encuentra por debajo de 300 ml/g lo que indica lodos bien compactos y densos lo que les permite sedimentar más rápido. El 28 de mayo y el 23 de julio los lodos no tuvieron buena sedimentación y se evidenció en un IVL muy elevado característico de los lodos con flóculos dispersos (Ramalho, 1996), estos valores pueden ser resultado de una baja carga orgánica en la alimentación de la planta o una mala operación en el sistema de recirculación de los lodos. Los análisis estadísticos realizados al IVL (tabla 3.6) demuestran que el 60 % del tiempo las muestras se encontraron fuera de los valores óptimos para este parámetro (figura 3.4).

- **Relación alimento/ microorganismo (F/M)**

La relación alimento microorganismo (F/M) según los cálculos realizados es de $0,093 \text{ d}^{-1}$. Este valor se encuentra muy por debajo de los valores recomendados los cuales se encuentran en el intervalo $(0,3 - 0,6 \text{ d}^{-1})$ (Ramalho, 1996). Las relaciones F/M bajas indican que la cantidad de alimento (sustrato) presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos, por lo que se ven obligados a vivir bajo el sistema de respiración endógena (Ramalho, 1996). El lodo obtenido bajo estas características tiene condiciones bajas de sedimentación y presenta flóculos dispersos y es consecuencia de la insuficiencia de alimento, baja concentración de microorganismos y el largo tiempo de retención hidráulica.

- **Problemas de espuma en la planta de tratamiento**

Es de hacer notar que el 100 % de las visitas realizadas a la planta se constataba un problema considerable de espuma presente en la planta. El estudio de este parámetro solo se realizó de manera visual ya que no se contaba en el laboratorio de aguas residuales de la Universidad de Oriente con los materiales necesarios para realizar análisis sobre la incidencia de los detergentes en la presencia de esta espuma. En las figuras 4.13 y 4.14 se pueden visualizar los diferentes tipos de espuma presentes en el tanque de aireación y sedimentador de la planta de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica y la coloración de las mismas.



Figura 4.13 Espumas presentes en el tanque de aireación



Figura 4.14 Espumas presentes en el sedimentador secundario

La presencia de espuma en el aireador y el sedimentador fueron factores determinantes en los resultados obtenidos de los análisis realizados. Se puede observar que la figura 4.13 que la espuma fue incrementándose a medida que se realizaron las inspecciones hasta llegar a abarcar más del 25 % de la superficie del aireador lo que ya se considera un exceso de espuma. Se pudo constatar que los habitantes del conjunto residencial no siguen las exigencias dispuestas por el operador de la planta en cuanto al uso de detergentes no biodegradables, por lo que se considera una de las razones principales de este problema.

En la figura 4.14 se observa que en el sedimentador secundario se presentaron varios tipos de espuma durante el periodo de inspección de la

planta, se puede diferenciar una espuma blanca y consistente lo que indica que la concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla era baja y esto puede ser causado por la pérdida no intencional de biomasa en el clarificador producto entre otros factores a la excesiva carga orgánica (Florencia, 2003)

También se puede evidenciar en la superficie del sedimentador una espuma marrón espesa indicativo de un lodo viejo ya que al no ser removida esta espuma se va asentado en el clarificador. Esto es resultado de que el aireador se encuentra operando a muy baja carga y la planta no cuenta con un personal operativo permanente encargado de remover la espuma causada por la insuficiencia de carga orgánica, por lo que ocurre la proliferación de la misma. De igual forma se observó durante las inspecciones que la planta de tratamiento no cuenta con un sistema de riego que permita disminuir la cantidad de espuma que se forma durante el proceso.

- **Tiempo de retención hidráulica**

El tiempo de retención hidráulica es uno de los parámetros más importantes ya que permite conocer el tiempo durante el cual el agua residual va a estar en contacto con el lodo biológicamente activo. Según los cálculos realizados el tiempo de retención hidráulica es de 14,25 horas, este valor se encuentra fuera de los límites recomendados para los procesos de lodo activado convencional los cuales oscilan de (4 – 8 h) (AJC,WPCF,ASCE,1997). Esto se debe a que el caudal de entrada de agua residual es menor al caudal de diseño por lo tanto el reactor biológico tarda

más tiempo en alcanzar el nivel de lodo necesario para que este pase al sedimentador secundario.

4.3 Cálculo de la eficiencia del sistema de tratamiento

En la figura 4.15 se observa que la planta presenta una eficiencia promedio por debajo del 50 % con un valor promedio en la remoción de sólidos del 42,7 % y de 46,1 para la remoción de DQO (tabla 4.4). Estos porcentajes se deben a la presencia de espuma en el sedimentador lo que ocasiona que los sólidos suspendidos pasen por encima del vertedero hacia la cámara de cloración, aumentando el número de sólidos totales en la salida de la planta lo que conlleva a un aumento de la demanda química de oxígeno.

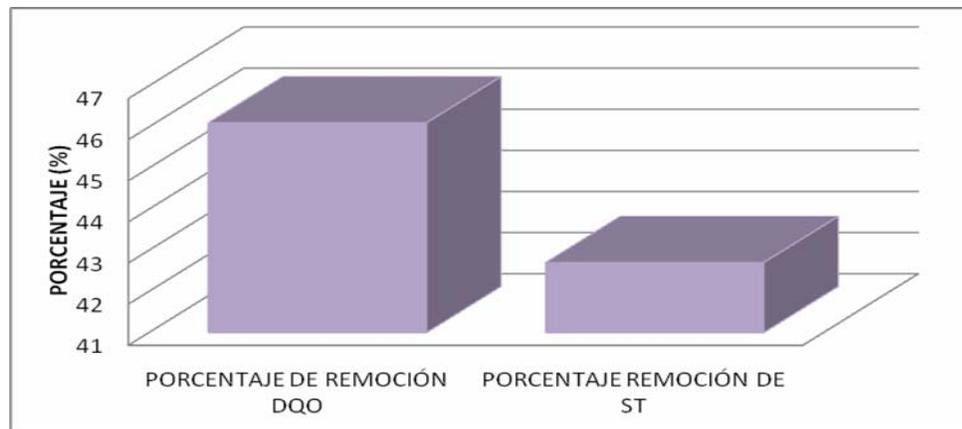


Figura 4.15 Porcentajes de eficiencia de la planta de tratamiento

En la tabla 4.4 se muestran los porcentajes de eficiencia obtenidos en función de los sólidos totales y la demanda química de oxígeno (tabla 4.1), durante los dos meses y medio de evaluación.

Tabla 4.4 Porcentajes de eficiencia en función de los sólidos totales y la demanda química de oxígeno

Fecha de análisis	% Eficiencia Sólidos totales	% Eficiencia DQO
21/05/10	83,3	53,4
28/05/10	0	66,5
04/06/10	0	2,5
11/06/10	60	29,2
18/06/10	50	40,4
25/06/10	50	78,5
02/07/10	33,3	25
09/07/10	33,3	62
16/07/10	50	51,7
23/07/10	66,7	51,9
Promedio	42,7	46,1

En la figura 4.16 se pueden observar las variaciones de la eficiencia durante los periodos de muestreo. El abultamiento del lodo en el sedimentador fue la principal causa de que los días 28/05/2010 y 04/06/2010 no hubiera remoción de sólidos totales, ya que estos pasaban hacia el efluente de la planta aumentando la concentración de sólidos.

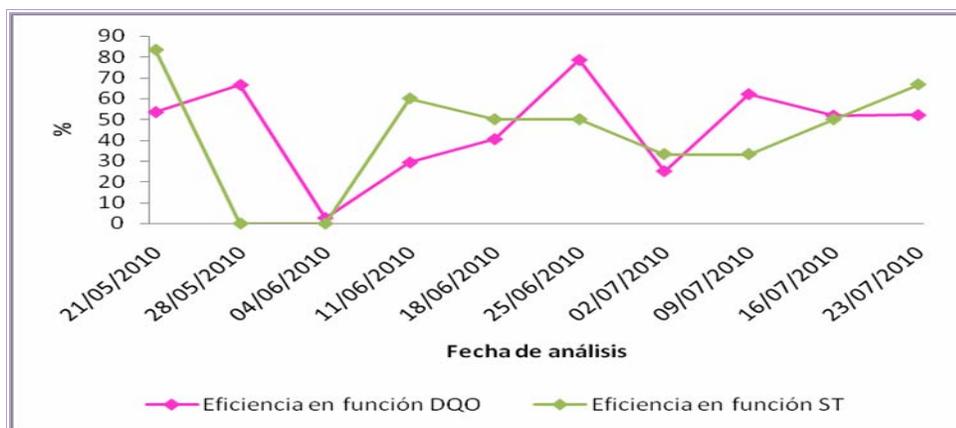


Figura 4.16 Porcentajes de eficiencia durante los periodos de muestreo

4.4 Propuesta de alternativas que mejoren el funcionamiento y eficiencia de la planta de tratamiento

En las plantas de tratamiento de lodos activados es posible detectar los problemas operacionales y de mantenimiento que presenta por medio de una inspección visual del tanque de aireación y del sedimentador secundario.

En la evaluación de la planta de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica se pudo observar la presencia de sólidos suspendidos en el efluente, estos sólidos son arrastrados desde el sedimentador secundario hacia la tanquilla de descarga de la planta. También se pudo observar la presencia de lodo liviano y esponjoso en la superficie del sedimentador lo que indica que la sedimentación no se está dando de manera adecuada. De igual manera se pudo constatar que la planta no cumple con un personal operativo que se encargue del mantenimiento y operación de la planta diariamente

Por último se permitió visualizar el problema de espuma; este problema es muy general en planta de lodos activados causados por la concentración de detergentes que forman parte de la composición de este tipo de agua residual ya que tiene un contenido importante de agentes tensoactivos presentes en jabón, desinfectantes, enjuague, entre otros (el análisis de detergentes por falta de equipos y reactivos no se pudo realizar)

En función de los análisis fisicoquímicos y cálculos operacionales realizados se propone un plan de mantenimiento y limpieza, a ejecutarse por un personal calificado y la frecuencia del mismo. Con la finalidad de aumentar la eficiencia del sistema de tratamiento se proponen las siguientes alternativas:

- Emplear una persona preparada para indicar las labores diarias a ejecutar con un plan bien diseñado para llevar a cabo un buen mantenimiento y funcionamiento de la planta.
- Realizar una inspección rutinaria de los equipos y estructuras que conforman la planta de tratamiento.
- Para mantener el control de la planta se deben realizar análisis fisicoquímicos (pH, DBO, DQO, cloro residual, oxígeno disuelto, sólidos totales, sólidos suspendidos), para la caracterización bacteriológica se determinarán las coliformes totales y fecales.
- Elaborar un manual de mantenimiento de la planta, donde se indique el funcionamiento y operación de cada uno de los equipos y las acciones que deben tomarse al presentarse una emergencia en cualquiera de las unidades que conforman la planta de tratamiento.
- Debe evitarse el uso de detergentes que no sean biodegradables para reducir la presencia de espuma en el tanque de aireación.
- Las labores de mantenimiento, limpieza y toma de muestras deben ser realizadas por un personal calificado con conocimientos en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Colocar rociadores de agua en el tanque de aireación para minimizar el problema de espuma.

La tabla 4.5 muestra las labores de mantenimiento y limpieza recomendadas para la planta de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaca.

Tabla 4.5 Labores de mantenimiento propuestas para la planta de tratamiento del conjunto residencial Nueva Guaica.

Mantenimiento	Frecuencia		
	Diario	Semanal	Mensual
Limpiar la superficie del sedimentador	✓		
Limpiar la superficie del desnatador	✓		
Adición de hipoclorito de calcio	✓		
Limpiar el vertedero del efluente	✓		
Revisar el promedio de retorno de lodos		✓	
Muestrear el efluente		✓	
Limpiar la planta		✓	
Raspar la tolva de sedimentación		✓	
Revisar el funcionamiento de los motores		✓	
Reemplazar fusibles quemados			✓
Recolección de espuma	✓		

4.5 CONCLUSIONES

1. El agua residual de entrada a la planta se clasifica como débil, debido a que el valor promedio de la concentración de sólidos totales a la entrada se encuentra entre (350 – 720) mg/l. Mientras que el efluente de la planta se encuentra dentro de los límites exigidos en el decreto 883.
2. El caudal de entrada a la planta actual es 85,54 m³/día el cual se encuentra muy por debajo del caudal de diseño, lo que ocasionó que se obtuviera una relación (F/M) de 0,093 d⁻¹.
3. El índice volumétrico de lodos presentó un valor promedio de 422 ml/g encontrándose el 60% del tiempo por encima de los valores recomendados en los procesos de lodo activado convencional.
4. El tiempo de retención hidráulica está por encima del límite recomendado para los procesos de lodos activados convencional con un valor de 14,25 horas.
5. Los lodos tratados en la planta son poco compactos y con baja capacidad de sedimentación.
6. La eficiencia del sistema en cuanto a la remoción de sólidos totales y la remoción de la demanda química de oxígeno tiene un valor promedio por debajo del 50 %.

4.6 RECOMENDACIONES

1. Mantener un operador permanente en la planta con conocimientos en procesos de lodos activados.
2. Realizar una investigación más a fondo que permita determinar los factores que originan las grandes cantidades de espuma presentes en la planta, con la finalidad de solventar este problema ya que la planta se encuentra en una zona residencial y el viento ocasiona que la espuma

con alto contenido de microorganismo se libere y puede ocasionar daños a los miembros de la comunidad.

3. Realizar nuevos estudios sobre los valores de DQO y DBO permisibles para la descarga a cuerpos de agua para así actualizar los límites establecidos en el decreto 883 y mejorar la calidad de las aguas vertidas.
4. Realizar modificaciones al diseño de la planta que permitan facilitar las medidas de caudal y la toma de muestras.
5. Bajar el nivel del tanque de aireación o ajustar el caudal de entrada a la planta para disminuir en tiempo de retención hidráulica.
6. Determinar nuevamente la cantidad de lodo que debe ser recirculado para aumentar la concentración de biomasa en el reactor biológico.
7. Realizar campañas de educación ambiental, dirigidas al manejo de los detergentes en las comunidades.

BIBLIOGRAFÍA

Aguas naturales, industriales y residuales (2002). *Guía para las técnicas de muestreo*. Norma COVENIN 2709. Caracas.

APHA, AWWA, WPCF. (1995). *Standard methods for the examination of water and Wastewater*. Edición N° 16. New York: Editorial Board.

Aguirre, A. (2003). *Mejoras en el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas compacta*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

AJC, ASCE, WPCF. (1977). *Wastewater treatment plants desing*. New York

Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (1986). *Manual de operación de plantas de tratamiento*. Venezuela.

Carceller, J. (2003). *Experiencias prácticas en la optimización y mantenimiento de un sistema de depuración físico- químico y biológico*. Recuperado de <http://www.Asecorp-online.pdf>

Castillo, D. (2002). *Evaluación de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas servidas del sector este Punta Baja (Cumana), con miras a su reutilización*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

Cermeño, J. (2000). *Diseños de experimentos estadísticos*. Fondo Editorial UDO Anzoátegui, Barcelona, Venezuela.

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.860, Caracas.

Crites, R y Tchobanoglous, G. (2000). *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Colombia: Editorial McGraw-Hill.

Delgado, L. (2005). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, ubicada en el terminal de almacenamiento y embarque de crudo de José*. (Tesis de Grado). Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

Decreto 883. (1995). *Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5021. Caracas.

Florencia, M. (2003). *Problemas operacionales en plantas de tratamiento*. (Tesis doctoral, Universidad Católica de Argentina). Recuperado de <http://www.puntoambiental.com/.../>.

FUNDAUDO. (2002). *Tratamiento biológico de aguas residuales urbanas e industriales*. Puerto La Cruz.

González, R y Mitchell, G. (2003). *Evaluación técnica del proceso de tratamiento en las lagunas de pulimento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guanta*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

Inojosa, J. (2004). *Determinación de la calidad fisicoquímica de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales Dos Cerritos, estado Nueva Esparta*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

Ley Orgánica del Ambiente (2006), Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5830 extraordinario. Caracas.

Ley Penal del Ambiente (1992), Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.358, Caracas.

Listado de Legislación Ambiental Venezolana (2007). Recuperado de [http://www.planigestion.com/..](http://www.planigestion.com/)

Martínez, L. (2007). *Evaluación de un clarificador secundario en una planta de tratamiento de aguas residuales en México*. Recuperado de <http://www.Ingenierias.Uanl.mx/35/35>

Metcalf, L y Eddy, H. (2003). *Ingenierías de aguas residuales, Tratamiento, vertido y reutilización*. México: Editorial McGraw-Hill.

Norma Venezolana, Aguas naturales, residuales e industriales. Guía para las técnicas de muestreo, Norma COVENIN 2709. Caracas 2002.

Osorio, H. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domésticas, por el proceso de lodos activados*. (Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ponencia1.pdf>

Prada, J. (2000). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales en el criogénico de Santa Bárbara*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Editorial Reverte.

Rivas, G. (1978). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Ediciones Vega.

Suárez, H. (2008). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en la unidad de almacenamiento flotante que opera en Campo Corocoro*. (Tesis de grado). Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

Vallejos, G. (2008). *Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante un sistema óptico*. (Tesis doctoral, Centro de Investigaciones en Óptica de Guanajuato). Recuperado de <http://www.ingenieria.uady.mx/>

Vallet, L. (2007). *Tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de http://www.ambientum.com/enciclopedia/aguas/2.01.16.16_1

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN CONJUNTO RESIDENCIAL
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Mata., Karla P.	CVLAC: 18.112.520 E MAIL: kaita_p27@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Planta de tratamiento

Aguas residuales

Conjunto residencial

Efluente

Parámetros operacionales

Eficiencia

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

La evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del conjunto residencial Nueva Guaica consistió primeramente en la caracterización fisicoquímica del afluente y efluente de la planta de tratamiento, lo que permitió clasificar el agua de entrada a la planta como “débil” debido a que el promedio de la concentración de sólidos totales a la entrada fue de 680 mg/l. Se pudo observar en las inspecciones realizadas a la planta que esta presenta problemas de espuma y de abultamiento de lodos por lo que se estudiaron los factores que podían estar afectando el sistema (caudal, tiempo de retención hidráulica, índice volumétrico de lodos, velocidad de sedimentación, DQO, pH y temperatura) obteniéndose que el caudal de entrada del agua residual es 85,54 m³/día, lo que indicó que la planta está operando a un 50,32% de su caudal de diseño lo que a su vez incrementa el tiempo de retención hidráulica en el reactor biológico a 14,25 horas y trae como consecuencia que el IVL se mantuviera el 60% del tiempo de muestreo por encima del límite recomendado en los procesos de lodo activado convencional. La eficiencia obtenida en los procesos de remoción de sólidos totales y remoción de la demanda química de oxígeno fue menor al 50%. Entre las alternativas de mantenimiento se estableció que la planta debe contar con un operador permanente con conocimientos en el mantenimiento y operación de los procesos de lodo activado convencional.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Mundaraín, Milena	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Millán, Maritza	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Yraima Salas	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	12	10
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Evaluacion.planta.conjunto.residencial.doc	Application/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p
q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de ingeniería química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Mata, Karla P

AUTOR

Ing. Milena Mundaraín MSc.

TUTOR

Ing. Maritza Millán Silva MSc.

JURADO

Ing. Yraima Salas MSc.

JURADO

Ing. Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS