

II-286 - ALTERNATIVAS PARA LA ADECUACIÓN DE EFLUENTES PROVENIENTES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS CÁRNICOS ENLATADOS

Adrián Dagoberto Sierra Fernández⁽¹⁾

Ingeniero Químico, diciembre de 2003. Maestría en Ingeniería Industrial culminación por tesis. Cursos: Matlab, Tratamiento de gas natural, Prevención de riesgos en el trabajo de laboratorio, ingeniería de alimentos. Experiencia Laboral: Instructor Universidad de Carabobo adscrito a la cátedra de Físicoquímica.

Jeanet Cristina Finol Valdívieso⁽²⁾

Ingeniero Químico, diciembre de 2005. Maestría en Administración de Empresas culminación por tesis. Cursos: Diplomado en Mejora Continua de Procesos / Inglés avanzado. Experiencia Laboral: Docente Instructor Universidad de Carabobo, adscrita a la cátedra de Físicoquímica.

Dirección⁽¹⁾: Av. Montes de Oca, Resid. "La Arboleda". Torre B. Piso 9. Apto 9-1, Valencia, Edo. Carabobo. Teléfonos: (+58) 0416-4468172. E-mail: adrian.sierra@gmail.com

Dirección⁽²⁾: Urb. Trigal Norte Calle Mercurio Qta. Fanny #90-101 Valencia, Edo. Carabobo. Teléfonos: (+58) 0426-2074577. E-mail: jeanet_finol@yahoo.com

RESUMEN

Con la presente investigación se realizó la selección y diseño de la mejor alternativa para un sistema de tratamiento de efluentes industriales procedentes de la producción de alimentos enlatados derivados de productos cárnicos; esto con la finalidad de adecuar dichas aguas a los límites establecidos en la normativa legal vigente en Venezuela. En el proceso de producción se elaboran conservas en envases de hojalata, de productos tales como sardinas, atún, pepitonas, pollo y carnes, haciendo uso intensivo de agua en distintas etapas: durante la etapa de lavado (alimentos, recipientes, moldes y pisos), en la etapa de cocción, en equipos y materiales (como calderas y autoclaves), en la limpieza de líneas de producción y por último en la etapa de preparación de salsas; generando efluentes cuyos parámetros físicoquímicos se encuentran fuera de los límites establecidos por la norma ambiental (Decreto 3219, cuenca del Lago de Valencia). El trabajo se desarrolla a partir del diagnóstico de operaciones y procesamiento de alimentos, caracterización de aguas residuales, generación de alternativas para ajustar los parámetros fuera de norma y selección de la alternativa más conveniente, de lo cual resultó como propuesta viable un sistema que incluye como etapa primordial la precipitación química, además de unidades de desbaste, trampa de grasas y aceites, tanque de igualación, sedimentador de lodo y filtro de arena, entre otros; realizando el diseño de todos estos equipos involucrados en la alternativa, para asegurar que sea económicamente factible. De igual manera, se encontró luego de la realización de las pruebas de jarra que para las dosis correspondientes del tratamiento de coagulación-floculación con el MQ 159C (una poliacrilamida catiónica floculante), y el sulfato de aluminio (coagulante) a concentraciones de 0,1 y 20 mg/L respectivamente, se obtienen porcentajes de remoción desde 51,1% hasta 90% en parámetros como DBO, DQO, fósforo, sólidos totales, entre otros.

PALABRAS CLAVE: Efluentes, Normativa Legal, Productos Cárnicos, Coagulación – Floculación.

INTRODUCCIÓN

La empresa utilizada como muestra para el desarrollo de esta investigación es una PyME con proyecciones de crecimiento a corto plazo; de ahí la importancia de cumplir con todas las normativas legales vigentes y asegurar que su impacto en el ambiente sea positivo. El problema que presentaba esta empresa con los efluentes generados, radicaba en el almacenaje de los mismos (para evitar la contaminación ambiental y posible penalización al disponerlos libremente); de ahí que sea necesario establecer un sistema de tratamiento de las aguas que permita asegurar que al verterlos, sus parámetros se encuentren dentro de los límites establecidos por la ley.

La industria en particular se encarga de la elaboración enlatados de sardinas (en aceite vegetal, en salsa de tomate y en salsa picante), atún, pepitonas (en salsa picante), pollo y carnes como materia prima, los cuales por su origen y por las diferentes presentaciones de los productos finales enlatados (en salsas y aceites), convierten el agua utilizada en las distintas etapas de la planta, primordialmente la usada en el proceso de lavado de los alimentos, en un agua residual de la cual se prevé contiene cantidades de DBO, DQO, sólidos

totales y aceites y grasas, que posiblemente no se adecuan a la normativa ambiental vigente, y que por el hecho de encontrarse en la cuenca del Lago de Valencia se rige por Decreto 3219 para aguas residuales descargadas a las redes cloacales. Estas aguas de lavado se unen a las generadas en otras etapas, tales como la de cocción, la utilizada en equipos (caldera y autoclaves), la proveniente de la limpieza de líneas de producción y de la preparación de salsas, con un caudal y composición desconocidos, las cuales son finalmente enviadas a una trampa de grasa y posteriormente vertidas en las tanquillas, bajo ningún control y en total desconocimiento de sus características por parte de la empresa. Por tal motivo, se estableció un plan de trabajo que inició con la caracterización de muestras de los efluentes para su posterior comparación con los valores de la normativa, y así en función de los parámetros de mayor gravedad establecer alternativas de sistemas de tratamiento de aguas que permitan mejorar dichos valores, seleccionando y diseñando cada uno de los equipos necesarios de la alternativa que sea económicamente factible para la empresa.

OBJETIVO

La empresa utilizada para el estudio, es una PyME que elabora enlatados de sardinas (en aceite vegetal, en salsa de tomate y en salsa picante), atún, pepitonas (en salsa picante), y otros productos utilizando como materia prima pollo y carne; los cuales por su origen y por las diferentes presentaciones de los productos finales enlatados (en salsas y aceites), convierten el agua utilizada en las distintas etapas, en aguas residuales que contienen cantidades probablemente altas de DBO, DQO, sólidos totales, aceites y grasas; lo cual implica que se encuentran fuera de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. Estas aguas residuales se obtienen con caudal y composición desconocidos, ya que provienen del lavado de la materia prima, cocción, limpieza de líneas de producción, preparación de salsas y utilización de equipos (caldera y autoclaves), para posteriormente ser enviadas a una trampa de grasa y finalmente vertidas en las tanquillas, sin ningún control y en total desconocimiento de sus características por parte de la empresa.

La finalidad de la presente investigación fue realizar un diseño de un sistema de tratamiento que permita adecuar este efluente, ya que es una PyME que por su crecimiento sostenido, supone un futuro incremento de producción y por ende de la cantidad de efluente generado; acarreando problemas de almacenaje de efluentes, contaminación ambiental y posible penalización, que entre otros requieren de una especial atención.

METODOLOGÍA

El procedimiento aplicado para desarrollar la investigación se clasificó en varias etapas como se indica a continuación:

- Primera Fase: Se realizó una *etapa de diagnóstico* a través de la cual se llevó a cabo el reconocimiento y análisis de las operaciones llevadas a cabo en las líneas y del procesamiento de alimentos, a través de visitas periódicas, observación directa, entrevistas con el personal, entre otros. Esta actividad permitió identificar fácilmente los puntos y zonas críticas del proceso para la generación de los efluentes en estudio.

- Segunda Fase: Corresponde a la etapa de *toma de muestras* en forma puntual. Las mismas fueron muestras compuestas que se tomaron de forma manual de los puntos críticos establecidos en la fase anterior (tanquillas) cada media hora hasta completar cuatro horas; tal como lo indica la norma COVENIN 2709-90. En cada etapa del muestreo, se realizaron las mediciones al momento de la toma de los parámetros de: pH, temperatura y conductividad. Con estas muestras tomadas se llevó a cabo la *caracterización de las aguas residuales* para obtener información detallada de la condición actual de la calidad de las aguas en el proceso de producción de cárnicos en la empresa. De esta manera se identificaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se encuentran fuera de las especificaciones, específicamente aceites y grasas, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno, detergentes, demanda química de oxígeno, hierro total, manganeso total, nitrógeno total, fósforo total, pH, sólidos flotantes, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, sulfatos y temperatura. Los valores obtenidos de estos parámetros fueron comparados con los límites dispuestos en la gaceta oficial N° 5035, decreto 3219 de la normativa ambiental vigente, sección VII de las descargas a redes cloacales.

- Tercera Fase: En esta fase se llevó a cabo la *prueba de jarras*; esto debido a que se detectaron como parámetros críticos en el efluente los valores de DBO, DQO, fósforo total, sólidos totales, sólidos flotantes y cloruros. Se tomaron en cuenta estrategias como el diseño experimental de las pruebas de jarra según Clescery,

Greenberg y Rusell (1989), que establecen los reactivos a utilizar, la determinación de las dosis mínimas y recomendadas de coagulante y floculante, etc. De esta manera, los reactivos utilizados fueron: sulfato de aluminio como reactivo coagulante, una poliacrilamida catiónica y una mezcla fosfato-termopolimérica como lo son el MQ-159C y MQ-785, que actúan como reactivos floculantes, además de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio como neutralizantes.

- Cuarta Fase: En esta etapa se plantean todas *las posibles soluciones de disposición o tratamiento de los efluentes industriales* que se generan en la mencionada empresa, para seleccionar la mejor alternativa de solución a la problemática planteada. Estas alternativas provienen del análisis documental referente a los distintos sistemas de tratamiento, a partir de la evaluación de la relación DBO/DQO, para identificar el tipo de tratamiento y evaluar a posterior los resultados alcanzados experimentalmente en la etapa determinante del tratamiento fisicoquímico del efluente. Una vez señaladas las alternativas para el tratamiento de las aguas del efluente, se presentan las características generales de operación de los equipos involucrados en las mismas, costos y los resultados esperados de cada una de estas alternativas, con la finalidad de establecer comparaciones.

- Quinta Fase: En esta última etapa se realizó la *selección de la alternativa más adecuada*, a partir del método de los factores determinantes, empleando una matriz de ponderación de los factores en base a criterios preestablecidos (confiabilidad, operación, mantenimiento, espacio físico disponible, inversión inicial y construcción sencilla, disponibilidad del equipo en planta, nivel de habilidad del personal y uso de energía), para su posterior dimensionamiento de acuerdo con modelos obtenidos en fuentes bibliográficas confiables. Metcalf & Eddy (1996), y Parra (2004). Una vez realizado el dimensionamiento de todos los equipos involucrados en esta alternativa seleccionada se realizó el análisis costo – beneficio, basándose en los costos de compra e instalación de estos equipos.

RESULTADOS

El diagnóstico de las operaciones y procesamiento de alimentos, permitió establecer las zonas críticas como resultado de las inspecciones visuales en todas las áreas, identificándose que 15 etapas proceso de producción de conservas estaban desorganizadas, de las cuales 6 etapas eran críticas en la generación de efluentes, principalmente la etapa de limpieza de la materia prima, utensilios e instalaciones y la otra etapa involucra la recepción de la materia prima, pues las cavas contentivas del material eran descargadas y drenadas directamente en las tanquillas. A continuación se presenta un diagrama de generación de los efluentes del proceso:

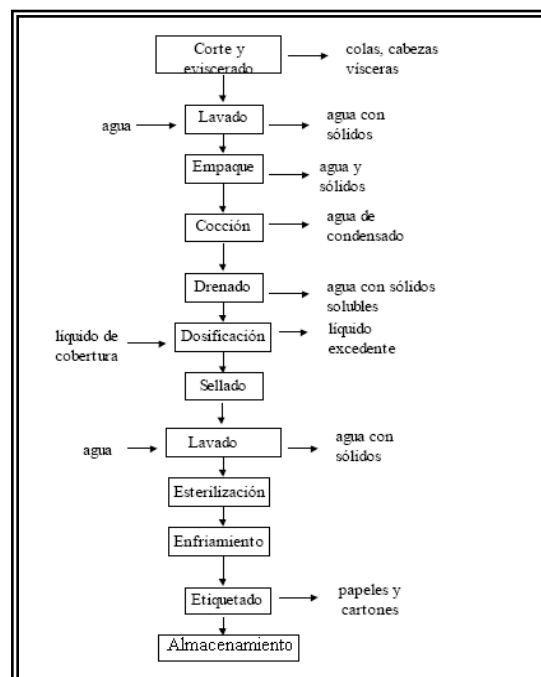


Figura 1. Diagrama de Bloques de las Etapas Donde se Generan Efluentes en el Proceso

La caracterización de aguas residuales se desarrolló con la ayuda de laboratorios industriales ANMIPROQUIM, con reproducibilidad propia de los análisis de las aguas residuales para un proceso de recolección y muestreo de tipo compuesto, resultando de interés los valores reportados en la Tabla 1. Es necesario acotar que estos valores se obtuvieron para un caudal de efluente de 0,5 m³/h.

Tabla 1: Parámetros Fuera de Norma en los Efluentes del Proceso

Parámetros	Unidades	Valores máximos	Límites permisibles Decreto 3219	Observaciones
DBO	(mg/L)	944,4	350	INCUMPLE
DQO	(mg/L)	1927,7	700	INCUMPLE
Fósforo total	(mg/L)	92,29	10	INCUMPLE
Cloruros	(mg/L)	451,21	300	INCUMPLE
Sólidos totales	(mg/L)	2980	1600	INCUMPLE
Sólidos flotantes	--	PRESENTES	AUSENTES	INCUMPLE

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se estimó como la diferencia del oxígeno disuelto presente en el blanco (muestra de agua destilada) y el oxígeno disuelto presente en la muestra de efluente incubadas en cinco días a 20°C, a través de la titulación con tiosulfato de sodio; para muestras incubadas y diluidas previamente, tomando en cuenta el factor de dilución. La ecuación 1 se emplea para el cálculo de este parámetro. (Clescery, 1989).

$$DBO = (OD_b - OD_{EF}) \times Fd_{DBO} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

OD_b: oxígeno disuelto en el blanco o agua destilada (mg/L).

OD_{EF}: oxígeno disuelto en la muestra de efluente (mg/L).

Fd_{DBO}: factor de dilución para preparar las muestras de blanco y efluente para la medición de DBO (adim).

Mientras que la demanda química de oxígeno (DQO) se determina haciendo uso de un espectrofotómetro. Todas las muestras incluyeron en campo los registros de pH, temperatura y conductividad correspondientes, y la preservación por acidificación y refrigeración.

Al observar las características de utilidad del efluente, y luego por medio de la relación DBO_{5,20}/DQO y la relación de nutrientes DBO:N:P analizados, cuyos valores fueron 0,5 y 100:1.2:9.8 respectivamente, se estableció que el tratamiento que se debe seguir puede ser fisicoquímico/biológico.

En la Tabla 2, se muestran otros parámetros analizados durante la caracterización que se encuentran dentro de la normativa vigente, para así tener una referencia más completa de los efluentes obtenidos en el muestreo.

Tabla 2: Parámetros Dentro de los Límites de la Norma en los Efluentes del Proceso

Parámetros	Unidades	Valores máximos	Límites permisibles Decreto 3219	Observaciones
Aceite y Grasa Vegetal y Animal	(mg/L)	40	100	CUMPLE
Hierro Total	(mg/L)	7,50	25	CUMPLE
Manganeso Total	(mg/L)	2,68	10	CUMPLE
Detergentes	(mg/L)	0,82	8	CUMPLE
Nitrógeno Total	(mg/L)	10,98	40	CUMPLE
pH	Adim	7,06	6 – 9	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)	110	400	CUMPLE
Sólidos Sedimentables	(mg/L)	8	100	CUMPLE
Sulfatos	(mg/L)	200	400	CUMPLE

La etapa de generación de alternativas, tuvo como principal función ajustar los valores de los parámetros de los efluentes fuera de norma, para así mejorar el desempeño ambiental de la organización. Se plantearon 2 alternativas excluyentes, la primera que en resumen incluye una unidad de coagulación-floculación y una unidad biológica (lodos activados para reducir la DBO); la segunda alternativa, corresponde a la unidad de precipitación química-coagulación-floculación contemplando la adición de cal, que si bien se pensó que sería menos viable, resultó ser recomendable.

Se desarrollan *las pruebas de jarra*, que permiten el diseño del proceso de coagulación/floculación, con un coagulante y dos floculantes de diferente tipo, que fueron evaluados de manera combinada. El coagulante fue sulfato de aluminio y los floculantes empleados el MQ 159C y el MQ 785, trabajando bajo dosis de 20 mg/L y 100 mg/L de coagulante, y dosis de 0,1 y 1,0 mg/L del floculante correspondiente, y simultáneamente se evaluó la adición de 150ppm de solución de cal (1%p/v), condiciones tomadas según Ramírez y Duran (2001). Luego de realizados los experimentos, los valores de la mejor condición hallada se resumen en la tabla 2, verificando el cumplimiento de la norma (no siendo imprescindible el sistema biológico planteado).

Tabla 2: Resultados de los parámetros fuera de norma luego de las pruebas de jarra

Parámetros	Unidades	Sobrenadante de jarra	Método estándar utilizado	Reactivos
Cloruros	(mg/L)	210	SM-4500-Cl-B	Sulfato de Aluminio 1%p/v Dosis: 20 mg/L MQ 159C (0,1%p/v) Dosis: 0,1 ppm Cal (1%p/v). Dosis: 150ppm
DBO _{5,20}	(mg/L)	290	SM-5210-B	
DQO	(mg/L)	618,9	SM-5220-C	
Fósforo Total	(mg/L)	9,2	SM-4500-P-E	
Sólidos Totales	(mg/L)	1450	SM-2540-B	

La selección de la alternativa más adecuada se basa en la evaluación de los criterios técnicos y económicos descritos anteriormente a partir de una matriz, cada uno valorado con puntuaciones que expresan la cualidad del criterio, desde 0-Muy poca, hasta 5-Muy bueno, con sus respectivas ponderaciones (nivel de importancia):

- a) La Confiabilidad (10%) se refiere a la capacidad de funcionamiento sin probables incidentes y cumpliendo con los objetivos de calidad del agua.
- b) La Operación (10%) de los equipos, que debe ser sencilla y ofrecer un tratamiento estable.
- c) El Mantenimiento (15%) vinculado a la simplicidad y posibilidad de realizarlo otorgando aspectos operativos de seguridad y funcionalidad.
- d) El Espacio Físico Disponible (10%), que es un área de determinadas dimensiones dentro de los límites físicos de la empresa.
- e) La Inversión Inicial y Construcción Sencilla (20%) referente al desembolso de capital limitado por la disponibilidad de la empresa.
- f) La Disponibilidad del equipo (15%), ya sea en la local o regionalmente debe ser asequible.
- g) La Habilidad del Personal (10%) que se refiere al grado de capacitación requerido por el personal para manejar los equipos y saber entender los resultados que estos proporcionan.
- h) El Uso de Energía (10%), asumiendo que de preferencia sea poca o ninguna.

Después de esta evaluación resulta favorecida la alternativa 2, que posee la disposición mostrada en la figura 1.

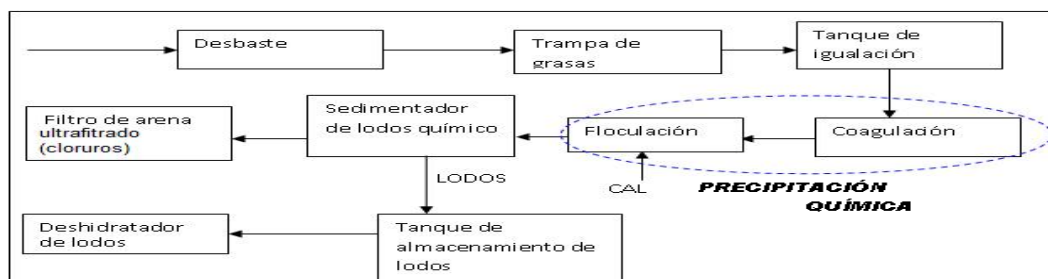


Figura 2. Diagrama de bloques de la alternativa de tratamiento seleccionada

Una vez que se diseñaron todos los equipos involucrados en esta alternativa de tratamiento, se ubicaron los proveedores y se identificaron los costos asociados. También se tomaron en cuentas los costos asociados a acondicionamiento del terreno, reactivos, supervisión y entrenamiento del personal, instrumentación y control, y costos de laboratorio. Tal como se especifica en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3: Costos asociados a equipos e instalación de la alternativa seleccionada

<i>Unidad / Factor</i>	<i>Costo Asociado (\$)</i>
Desbaste	85,26
Trampa de Grasas	160,92
Tanque de igualación	855,23
Tanque de Coagulación	317,84
Tanque de Floculación	374,74
Tanque Sedimentador de lodos	14.422,79
Filtro de Arena	266,00
Deshidratador de Lodos (Filtro Prensa)	9.088,36
Tanque de Almacenamiento de Lodos	114,68
Acondicionamiento del Terreno	3.852,87
Instrumentación y Control	3.339,15
Tuberías	14.127,20
Servicios Industriales	56.299,06
Supervisión y Entrenamiento	1.798,00
Costos de Laboratorio	418.604
<i>Total</i>	<i>58.999,60</i>

Tabla 4: Costos asociados a los reactivos de la alternativa seleccionada

<i>Reactivo</i>	<i>Costo Asociado (\$/Kg)</i>
Ácido Sulfúrico	0,18
Coagulante (MQ-159C)	112
Floculante (Sulfato de Aluminio)	675
Hidróxido de Sodio	0,14
Hidróxido de Calcio	0,27
Hipoclorito de Sodio	0,31

La evaluación de los costos y beneficios generados con la propuesta se lleva a cabo a partir de la determinación de los beneficios asociados a cada uno de los equipos diseñados, así como cada uno de los costos que implica la instalación y puesta en marcha de estos.

Según los requerimientos de la empresa, los beneficios se resumen en la Tabla 5. Estos parámetros favorecen económicamente a la empresa al implementar la alternativa propuesta, generando una ganancia que se transforma en dinero, y por ende en ingresos y en un beneficio para la empresa.

Tabla 5: Beneficios asociados a la implementación de la alternativa de tratamiento de efluentes

<i>Beneficios</i>	<i>Costo Asociado (\$)</i>
Adecuación de los efluentes provenientes del proceso de producción	12.410,10
Costo de cierre de la planta por incumplimiento de la norma ambiental	13.953,48
Reutilización de las aguas	4.238,66
Disminución de riesgos a la salud	46.511,62
Costos de limpieza	8.517,36
Transporte de residuos	9.733,92
<i>Total</i>	<i>95.365,14</i>

Sumando todo esto, se obtiene que el costo total de la implementación de esta alternativa es \$58.999,60 mientras que el beneficio total sería aproximadamente de \$95.365,14; tomando en cuenta este valor se determina la relación costo – beneficio generando un valor de 0,62; lo cual indica que se cumple con la condición mínima para realizar la inversión en el sistema propuesto, garantizando la recuperación de los

gastos necesarios para el proyecto y estableciendo la factibilidad de su aplicación dentro del proceso productivo de la empresa.

CONCLUSIONES

En conclusión, se selecciona una alternativa de sistema de tratamiento que proporciona porcentajes de remoción total de acuerdo a los parámetros DBO, DQO, fósforo total y sólidos totales de 69,3 %, 67,9%, 90,0%, y 51,1% respectivamente, lo que evidencia que el sistema opera eficientemente. Esta alternativa estará formada por una etapa de desbaste, trampa de grasas y aceites, sedimentador de lodo, tanque de igualación, precipitación química y filtro de arena; y se utilizarán como reactivos para el tratamiento de coagulación – floculación el MQ-159C y el sulfato de aluminio en dosis de 0.1 y 20 mg/L respectivamente. Utilizando esta alternativa se genera una relación costo – beneficio de aproximadamente 0,62 (lo cual indica que la propuesta es rentable), estimando unos costos asociados a la inversión inicial de aproximadamente \$58.999,60.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Clescery, L., Greenberg, A. y Rusell, R. (1989). Standard Methods for the examination of water and wastewater. (17a. ed.). Estados Unidos: APHA-AWWA-WPCF.
2. Metcalf & Eddy (1996). Ingeniería de aguas residuales. (2da. ed.). México: McGraw Hill.
3. Parra, I. (2004). Guía para el diseño de unidades de tratamiento de aguas. Universidad de Carabobo. Facultad de ingeniería. Venezuela.
4. Perry, R. (1998). Manual del ingeniero químico. (7ma. ed.). México: McGraw Hill.
5. Ramírez R., Duran A. (2001). Proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales: desarrollo y utilización de nuevos compuestos para la reducción de lodos. En memorias del instituto de ingeniería, UNAM coordinación de ingeniería ambiental, México.