UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS EN EL LABORATORIO CARABOBO DE LA EMPRESA HIDROLÓGICA DEL CENTRO, C.A

Autores:

María, A. Acosta, A.

José, G. Hernández, A.

Valencia, Mayo 2017

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS EN EL LABORATORIO CARABOBO DE LA EMPRESA HIDROLÓGICA DEL CENTRO, C.A

Trabajo Especial de Grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo, para optar por el título de Ingeniero Químico

Tutor Académico:

Msc. María Cristina Colmenares

Tutor Industrial:

Ing. Arlinys Pinto

Autores:

María, A. Acosta, A.

José, G. Hernández, A.

Valencia, Mayo 2017

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **"DESARROLLO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS EN EL LABORATORIO CARABOBO DE LA EMPRESA HIDROLÓGICA DEL CENTRO, C.A.",** realizado por los bachilleres **María Antonieta Acosta Almeida**, titular de la cédula de identidad **C.I. 21.476.641** y **José Gregorio Hernández Arias**, titular de la cédula de identidad **C.I. 24.327.771**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en forma y presentación.

Prof. María Cristina Colmenares
Tutor presidente

Prof. Iván Parra
Jurado

Prof. Cristina De Sousa
Jurado

Valencia, Mayo 2017
..

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme en cada paso de mi vida. Por colmarme de constancia y dedicación a lo largo de este camino, por iluminar cada uno de mis días y por permitirme culminar esta etapa tan anhelada.

A mi familia, que sin su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida nada hubiese sido posible. Especialmente a mi madre, por su admirable dedicación y entendimiento. A mi padre, por estar siempre a mi lado cada vez que lo necesitaba. A mis hermanos, por ser mi ejemplo a seguir en el ámbito profesional.

A mis amigos por su invaluable compañía a lo largo de este camino.

María Antonieta Acosta.

DEDICATORIA

A Dios, mi guía y sustento en este largo transitar llamado Ingeniería Química.

A mis padres y mi hermano, de quienes he recibido un apoyo y consejos.

Al resto de mi familia con quienes siempre he contado.

José Hernández.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por todas sus bendiciones.

A mis padres, por ser mis guías a lo largo de este camino.

A mis amigos, por hacer de esta etapa la más bonita.

A Julio Zavala, por creer en todo lo que hago y siempre hacer de los días oscuros los más felices.

A mi compañero de tesis, por perseverar y siempre ser positivo en los momentos de adversidad. Por preservar la amistad antes de todo. A sus padres, por toda la ayuda brindada.

A la profesora María Cristina Colmenares, nuestra tutora, por permitirnos estar bajo su asesoramiento y apoyarnos durante toda la realización de este proyecto.

A todo el personal de Hidrocentro, por tendernos la mano cuando más lo necesitábamos y su constante contribución en el desarrollo de nuestro trabajo.

A todas las bellas técnicos de laboratorio de la Facultad de Ingeniería. Especialmente a Herminia Arvelo, por ser más que una compañera de trabajo, una amiga.

A todos los profesores que participaron en nuestra formación. A la Universidad de Carabobo por ser la mejor casa de estudios, sobre todo al Departamento de Química General por ser un segundo hogar para mí.

María Antonieta Acosta.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por estar en cada momento adverso y por siempre contar con su consuelo, por brindarnos una vía de acción a este, nuestro último peldaño para ser profesionales.

Agradezco a mis padres José y Berdume, y mi hermano Andrés por brindarme su ayuda en todo momento, por las horas de espera, de transporte, de consuelo y de consejos para lograr la finalización de esta meta.

Agradezco mi compañera de tesis; Antonieta de quien he recibido mucho y hemos podido afrontar momentos duros durante este experiencia.

Agradezco a nuestra tutora; María Cristina, por su ayuda en el desarrollo de la investigación.

Agradezco a cada técnico del Laboratorio Carabobo de Hidrocentro C.A; a Dubraska, Junior, Eydimar, Luissay, José y Rafael por su paciencia. A la Ingeniero María y a la Ingeniero Arlinys por su comprensión y ayuda. A la técnico del Laboratorio de Química General, Herminia.

Gracias Mary y Trina por la ayuda en la tramitación de esta investigación. Por supuesto debo incluir a Deborah y Karyn, quienes fueron claves para el desarrollo experimental de esta.

Agradezco a cada profesor que participo en mi formación como Ingeniero y a todos los compañeros que gane en esta carrera

José Hernández.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO PARA LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS EN EL LABORATORIO CARABOBO DE LA EMPRESA HIDROLÓGICA DEL CENTRO, C.A

Autores: Acosta María y Hernández José
Tutor: María Cristina Colmenares
Mayo, 2017

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad proponer alternativas de tratamiento para la disposición final de los desechos líquidos peligrosos producidos por el Laboratorio Carabobo de la empresa Hidrológica del Centro, permitiendo de esta manera que los desechos puedan cumplir con la normativa vigente. El tipo de investigación utilizada fue evaluativa, de campo y documental. El tiempo de recolección de datos fue de tres meses en el cual se utilizaron herramientas tales como: entrevistas no estructuradas, revisión de información pertinente y muestreo. Se diagnosticó la situación actual del laboratorio en cuanto a sus aspectos ambientales y se clasificaron los desechos generados por el laboratorio, según su peligrosidad. Se caracterizaron los desechos seleccionados en cuanto a peligrosidad tomando en cuenta parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez, sólidos totales, disueltos y suspendidos, al igual que el parámetro de DQO como el de estudio. Luego de comprobar que según el Decreto 3219 los vertidos líquidos no cumplen con lo estipulado para las descargas a cuerpos de agua se proponen alternativas de tratamiento como la coagulación-floculación y adsorción, comprobando su eficiencia en los desechos a nivel de laboratorio. Por último se dimensionaron los equipos necesarios para llevar a cabo estas alternativas y se estiman los costos asociados, con el fin de comprobar la relación beneficio-costo mayor y seleccionar la alternativa adecuada.

Palabras claves: desechos, alternativas, tratamiento, caracterización, beneficio-costo.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DEVELOPMENT OF TREATMENT ALTERNATIVES FOR LIQUID WASTE GENERATED IN THE CARABOBO LABORATORY OF THE CENTRAL HYDROLOGICAL COMPANY, C.A

Authors: Acosta María y Hernández José
Tutor: María Cristina Colmenares
May, 2017

ABSTRACT

This present research aims to propose alternative treatment for the final disposal of hazardous liquid wastes produced by the Laboratory Carabobo of the company Hydrological Center, thus allowing the waste to comply with current regulations. The type of research used was evaluative, field and documentary. Data collection time was three months in which tools such as unstructured interviews, review of relevant information and sampling were used. The current situation of the laboratory was diagnosed in terms of its environmental aspects and the waste generated by the laboratory was classified according to its dangerousness. The selected wastes were characterized in terms of hazardousness taking into account physicochemical parameters such as pH, turbidity, total solids, dissolved and suspended, as well as the parameter DBO as the study. After verifying that according to Decree 3219 liquid discharges do not comply with what is stipulated for discharges to water fills, treatment alternatives such as coagulation-flocculation and adsorption was proposed, conprobating their efficiency in waste at the laboratory level. Finally, the necessary equipment is dimensioned to carry out these alternatives and the associated costs are estimated, in order to verify the greater benefit-cost ratio and to select the appropriate alternative.

Keywords: waste, alternatives, treatment, characterization, benefit-cost.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA iii
AGRADECIMIENTOS v
RESUMEN vii
ABSTRACT viii
ÍNDICE GENERAL ix
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
ÍNDICES DE TABLAS xv
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 4
1.2.1. Situación actual 5
2.2.4. Situación deseada 5
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 5
1.3.1. Objetivo general 5
1.3.2. Objetivos específicos 6
1.4. JUSTIFICACIÓN 6
CAPITULO II. MARCO REFERENCIAL 7
2.1. ANTECEDENTES 7
2.2. BASES TEORICAS 10
2.2.1. Herramientas empleadas la identificación de problemas 10
2.2.2. Sustancias peligrosas 11
2.2.3. Desechos químicos peligrosos 11
2.2.4. Características de los desechos líquidos 18
2.2.5. Tratamientos de desechos líquidos 20
2.2.6. Clasificación del tratamiento de desechos líquidos 20

2.2.7. Tratamiento preliminar 20
2.2.8. Tratamiento primario 20
2.2.9. Tratamiento secundario 29
2.2.10. Tratamiento terciario 29
2.2.11. Desinfección 29
2.2.12. Manejo de lodos 29
2.2.13. Evaluación económica 30
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 31
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 31
3.2. METODOLOGÍA EMPLEADA 31
3.2.1. Diagnóstico de la situación actual de los desechos líquidos generados de los análisis del agua del estado Carabobo en el Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A. 31
3.2.2. Clasificación de los desechos líquidos generados de acuerdo a la normativa ambiental vigente 33
3.2.3. Caracterización de los desechos líquidos generados para realizar la selección de los más contaminantes de acuerdo a su peligrosidad 37
3.2.4. Propuestas de alternativas para el manejo adecuado de los desechos seleccionados para mitigar el impacto ambiental que estos generan 38
3.2.5. Diseño de las alternativas de tratamiento de los desechos que presenten mayores características de peligrosidad para que sus parámetros cumplan con la normativa vigente…… 40
3.2.6 Evaluación de la relación costo-beneficio de las alternativas diseñadas para la selección de la alternativa más viable a ser implementada 41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 43
4.1. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS DE LOS ANÁLISIS DEL AGUA DEL ESTADO CARABOBO EN EL LABORATORIO CARABOBO DE LA HIDROLÓGICA DEL CENTRO C.A. 43
4.1.1. Identificación de los aspectos ambientales 45

4.1.2. Selección de los aspectos que contribuyen más significativamente a la contaminación por parte de los desechos líquidos del Laboratorio Carabobo 53
4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS DE ACUERDO A LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE 55
4.2.1. Clasificación del Laboratorio Carabobo 55
4.2.2. Clasificación de los Áreas que conforman al Laboratorio Carabobo 57
4.2.3. Clasificación de los desechos según su peligrosidad 61
4.2.4. Frecuencia de descarga de los desechos líquidos generados 62
4.2.5. Selección de los análisis para la caracterización del desecho generado 64
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS PARA REALIZAR LA SELECCIÓN DE LOS MÁS CONTAMINANTES DE ACUERDO A SU PELIGROSIDAD 66
4.4. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS DESECHOS SELECCIONADOS PARA MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTOS GENERAN 70
4.4.1. Desarrollo experimental 71
4.4.2. Descripción de las alternativas de tratamiento propuestas 76
4.4.3. Selección de las alternativas a diseñar 79
4.5. DISEÑO LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS QUE PRESENTEN MAYORES CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD PARA QUE SUS PARÁMETROS CUMPLAN CON LA NORMATIVA VIGENTE 81
4.6. EVALUAR LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS DISEÑADAS PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE A SER IMPLEMENTADA 83
CONCLUSIONES 86
RECOMENDACIONES 87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88
APÉNDICE A 94
APÉNDICE B 105

APÉNDICE C 132
APÉNDICE D 133
ANEXOS 135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ejemplo típico de un diagrama de causa y efecto. 11
Figura 2.2. Tanque de neutralización, operando en continuo.. 21
Figura 2.3. Equipo de prueba de jarras.. 26
Figura 2.4. Esquema de los mecanismos de adsorción de polímeros y partículas coloidales. .. 27
Figura 4.1. Estructura organizativa del Laboratorio Carabobo..... 44
Figura 4.2. Diagrama de Paretto de disposición final de los desechos del laboratorio Carabobo. 46
Figura 4.3. Disposición inadecuada de los reactivos en los estantes..... 47
Figura 4.4. Inventario de reactivos vencidos en el almacén. 49
Figura 4.5. Volúmenes de desecho producidos por cada ensayo realizado en las secciones del Laboratorio Carabobo. 52
Figura 4.6. Diagrama causa – efecto de los aspectos ambientales del Laboratorio Carabobo. 54
Figura 4.7. Clasificación del Laboratorio Carabobo según su peligrosidad..... 55
Figura 4.8. Clasificación del Laboratorio Carabobo según el sistema de ONU..... 56
Figura 4.9. Clasificación del Laboratorio Carabobo según el sistema NFPA. 56
Figura 4.10. Clasificación de peligrosidad del Área de Bacteriología. 58
Figura 4.11. Clasificación de peligrosidad del Área de Plancton. 58
Figura 4.12. Clasificación de peligrosidad del Área de Fisicoquímica. 60
Figura 4.13. Clasificación de peligrosidad del Área Químico Sanitario. 60
Figura 4.14. Clasificación de peligrosidad del Área de Química Instrumental. 61
Figura 4.15. Frecuencia de descarga desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo. 62
Figura 4.16. Frecuencia de descarga de los desechos líquidos en el Área de Fisicoquímica.... 63
Figura 4.17. Frecuencia de descarga de los desechos líquidos en el Área de Químico Sanitario. 64
Figura 4.18. Desechos líquidos generados de los análisis seleccionados. 67
Figura 4.19. Estructura molecular del EDTA. 68
Figura 4.20. Estructura molecular del negro de eriocromo T (NET). 68
Figura 4.21. Estructura molecular del eriocromocianina R.. 69
Figura 4.22. Desechos mezclados en las proporciones establecidas. 70
Figura 4.23. Ensayo de prueba de jarras..... 71
Figura 4.24. Lodo del desecho tratado con PAC..... 72

Figura 4.25. Desecho inicial y desecho tratado con PAC. 73
Figura 4.26. Filtración con carbón activado. 74
Figura 4.27. Desecho tratado por un filtro de carbón activado. 74
Figura 4.28. Desecho crudo tratado por un filtro de carbón activado. 75
Figura 4.29. Diagrama de bloques de la alternativa 1. 76
Figura 4.30. Diagrama de bloques de la alternativa 2. 77
Figura 4.31. Diagrama de bloques de la alternativa 3. 78
Figura 4.32. Diagrama de bloques de la alternativa 4. 79
Figura 4.33. Diagrama de bloques de la alternativa 5. 79

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de la ONU de los riesgos de sustancias peligrosas. 13
Tabla 2.2. Resumen del sistema de clasificación de riesgos NFPA. 16
Tabla 2.3. Sistema de identificación de desechos SAF-T-DATA. 17
Tabla 4.1. Diagnóstico del Laboratorio Carabobo. 45
Tabla 4.2. Compatibilidades en el almacenamiento de productos químicos según la ONU 48
Tabla 4.3. Matriz de selección de los análisis para la caracterización de los desechos. 65
Tabla 4.4. Caracterización de los desechos seleccionados 66
Tabla 4.5. Dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC). 72
Tabla 4.6. Caracterización del desecho obtenido de la prueba de jarras. 72
Tabla 4.7. Caracterización del desecho tratado con el filtro de carbón activado. 74
Tabla 4.8. Caracterización del desecho crudo tratado con el filtro de carbón activado. 75
Tabla 4.9. Discriminación de las alternativas de tratamiento de la mezcla de desechos generados. 80
Tabla 4.10. Especificaciones técnicas del tanque de agitación. 81
Tabla 4.11. Especificaciones técnicas del tanque de sedimentación. 82
Tabla 4.12. Especificaciones técnicas del filtro de carbón activado. 82
Tabla 4.13. Costos de la alternativa 2 propuesta. 83
Tabla 4.14. Costos de la alternativa 3 propuesta. 83
Tabla 4.15. Beneficios de la puesta en marcha de una alternativa propuesta. 84
Tabla 4.16. Relación costo-Beneficios de las alternativas propuestas. 84

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha crecido la importancia del factor ambiental como forma de desarrollo sostenible y administración adecuada de los recursos a la disposición del ser humano. De esta manera la protección al ambiente se ha planteado como un elemento básico para el desarrollo en el nuevo siglo. Un desarrollo sostenible debe originar la conservación de los recursos naturales, a la vez que económicamente debe ser aceptable y viable.

El uso de sustancias químicas en usos investigativos, fabricación de productos, tratamientos químicos y para diferentes tipos de ensayos ha aumentado en los últimos años. La Hidrológica del Centro (Hidrocentro C.A) con el fin de tratar las aguas de la región central de Venezuela hace uso de diferentes ensayos para la determinación de parámetros específicos. Los ensayos utilizados en este rubro tienen la desventaja de convertirse en desechos peligrosos luego de su uso, los cuales se definen como "desecho en cualquier estado físico sólido, líquido o gaseoso que presenta características peligrosas o que está constituido por sustancias peligrosas y que no conserva propiedades físicas ni químicas útiles y por lo tanto no puede ser reusado, reciclado, regenerado u otro diferente*" (Decreto N° 2.635, 1998).

Con la finalidad de disminuir los daños ocasionados a la salud de los trabajadores o al ambiente y prevenir los riesgos presentados por estos, se debe establecer la disposición final de estos desechos, la cual es una operación que permite mantener minimizadas las posibilidades de migración de los componentes de un desecho peligroso al ambiente en forma permanente, de conformidad con las normas establecidas (Decreto N° 2635, 1998). Esta se realiza tomando en cuenta la posible minimización, identificación, caracterización, segregación, recolección, almacenamiento, transporte y tratamiento de los desechos. De esta manera se garantizan planes de manipulación adecuada, con el fin de aplacar el daño al ambiente o a personas involucradas en este ambiente.

Esta investigación tuvo como objetivo la propuesta de alternativas para el tratamiento de los desechos líquidos peligrosos de mayor relevancia en el Laboratorio Carabobo de la empresa Hidrológica del Centro, con el fin de disminuir los parámetros que puedan afectar al ambiente y a la población alrededor del mismo en cuanto estos se les dé una adecuada disposición final.

Para llevar a cabo el objetivo de la investigación fue necesario diagnosticar los aspectos

ambientales del laboratorio, para luego clasificar de forma cualitativa los desechos generados por el laboratorio según su peligrosidad, y a partir de estos seleccionar los que se estudiaron en la investigación. Seguidamente estos desechos sin tratamiento previo fueron caracterizados, para esto se determinaron los parámetros fisicoquímicos tales como: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Potencial de Hidrógeno (pH), turbidez, sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Para luego proporcionar alternativas de tratamiento a estos desechos con el fin de disminuir los daños ambientales que estos generan. Luego se diseñaron cada una de estas alternativas, y en ellas cada equipo que esta contenga con el fin de precisar las dimensiones adecuadas de los equipos y estimar la relación costo beneficio de cada alternativa y de esta manera seleccionar la más viable de estas en cuanto a los beneficios que presentan, de acuerdo a las multas que pueden contraerse según la Ley Penal del Ambiente.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se realiza la descripción del problema, situación actual y deseada, formulación del problema, justificaciones y limitaciones que comprenden la presente investigación.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental representa uno de los grandes problemas de la sociedad actual, donde se ha evidenciado un notablemente incremento a través de los años dejando huellas imborrables en la naturaleza, que atentan contra el equilibrio biológico de la tierra. La actividad del hombre y el poder que ejerce sobre la naturaleza para satisfacer sus necesidades como consecuencia de la vida en sociedad, el medio ambiente que lo rodea lo deteriora cada vez más, propiciando una acelerada degradación del entorno colocando en peligro las especies que lo habitan.

La utilización de productos químicos se ha extendido a prácticamente todas las ramas de la industria. Para la disposición final de los desechos generados por su manipulación se requiere contar con un adecuado flujo de información sobre sus peligros y medidas de seguridad. A este flujo de información debe sumársele el esfuerzo diario de la empresa para que se adopten y se apliquen las medidas necesarias con el fin de proteger a los trabajadores y al medio ambiente.

En vista de esto, hoy en día se puede contar con regulaciones ambientales que no son más que un conjunto de leyes que buscan promover el uso y manejo adecuado de los recursos naturales, así como la regulación de los desechos que son vertidos al ambiente con la finalidad de lograr mejor calidad ambiental y desarrollo social. En consecuencia, es de vital importancia clasificar los reactivos empleados y desechos generados en cada organización, independientemente su naturaleza, para determinar su nivel de peligrosidad y en función a esto establecer una adecuada disposición de los mismos donde no se afecte significativamente al medio ambiente.

Muchos de los laboratorios de nuestro país no cuentan con la clasificación de los desechos generados en sus instalaciones, por lo que no tienen a su disposición un plan que los oriente a realizar un buen ejercicio de sus actividades sin perjudicar al ambiente. Tal es el caso del Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A, que al no tener clasificado los desechos acorde su peligrosidad, muchos de estos no tienen una disposición final apropiada. Siendo algunos almacenados y otros vertidos directamente al desagüe sin tener un tratamiento previo

que mitigue el impacto ambiental que genera esta acción, incumpliendo con las restricciones establecidas en la normativa ambiental.

En el Laboratorio Carabobo, se llevan a cabo análisis fisicoquímicos, bacteriológicos, metales, entre otros, para determinar la calidad del agua proveniente de pozos, ríos, embalses, redes y plantas de tratamiento recolectados en los estados Aragua, Carabobo y Cojedes. Considerando que el agua recolectada para los análisis está destinada para el consumo humano, la carga de contaminación de los desechos generados de dichos análisis depende principalmente de los reactivos empleados, entre los cuales se tienen diversos ácidos, bases, reactivos para cultivos, compuestos orgánicos e inorgánicos, entre otros. Debido a esto, se considera necesario proponer alternativas para el tratamiento de los desechos líquidos generados, basándose en una clasificación previa acorde su peligrosidad, con el propósito de lograr una adecuada disposición final de los mismo y dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, el Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A, no tiene precisado un plan para el manejo adecuado o tratamiento de los desechos líquidos generados de los diversos análisis para determinar la calidad agua que en él se realizan, ya que estos son vertidos directamente en el desagüe. Esta acción genera un impacto negativo al ambiente, debido a que estos desechos contienen trazas de los reactivos empleados en los análisis. Estos desechos por estar constituidos por sustancias peligrosas (reactivos), se consideran como desechos peligrosos y ameritan una adecuada disposición final, con el propósito de minimizar las posibilidades de dispersión de sus componentes en el ambiente, en conformidad con las normas establecidas.

En vista de que los desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo tienen esta particularidad, es necesaria la clasificación según su peligrosidad para establecer una metodología adecuada para la disposición final y tratamiento de los mismos. Tomando en cuenta esta situación, se plantea realizar la clasificación de los desechos líquidos acorde su peligrosidad siguiendo las normativas ambientales vigentes, con la finalidad de proponer alternativas de tratamiento que permitan adaptar los parámetros de los desechos con lo establecido en dicha normativa y de esta forma lograr una mejor disposición de los mismos, disminuyendo el impacto ambiental que pudieran generar, así como mantener la integridad física de los trabajadores que laboran en el área.

Adicionalmente, se realizará el diseño de las alternativas, donde se determinará el costo-beneficio de las mismas, para la selección de la alternativa que mejor contribuya con la solución de la problemática ambiental suscitada en el Laboratorio Carabobo y de esta forma dar cumplimiento a los requerimientos de las leyes ambientales.

1.2.1. Situación actual

El Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A se lleva a cabo diversos análisis para determinar la calidad del agua que está destinada al consumo humano, por lo que se emplea una variedad de reactivos con características de peligrosidad específicas. La mayoría de los desechos generados de estos análisis son vertidos directamente en el desagüe sin algún tratamiento previo.

Debido a que actualmente el Laboratorio Carabobo no posee un sistema de tratamiento para los desechos líquidos generados de los análisis, éste se encuentra incumpliendo las normativas ambientales. Generar alternativas para el tratamiento de dichos desechos conlleva a una disposición final adecuada de los mismos y a su vez, promueve el cumplimiento de las mencionadas normativas contribuyendo positivamente al ambiente.

1.2.2 Situación deseada

El Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A requiere disponer de un sistema de tratamiento para los desechos líquidos generados en sus instalaciones con el propósito cumplir con la normativa ambiental vigente disminuyendo así el impacto ambiental causado por las actividades que en él se realizan, mediante el desarrollo de alternativas de tratamiento para el diseño de estas y destinadas a los desechos que presenten mayores características de peligrosidad, permitiendo así la realización de un análisis de costo-beneficio para la selección alternativa diseñada más conveniente para su posterior implementación en el laboratorio.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar alternativas de tratamiento para los desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo de la empresa Hidrológica del Centro C.A

1.3.2. Objetivos específicos

1) Diagnosticar la situación actual de los desechos líquidos generados de los análisis del agua del estado Carabobo en el Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A.
2) Clasificar los desechos líquidos generados de acuerdo a la normativa ambiental vigente.
3) Caracterizar los desechos generados para realizar la selección de los más contaminantes de acuerdo a su peligrosidad.
4) Proponer alternativas para el manejo adecuado de los desechos seleccionados para mitigar el impacto ambiental que estos generan.
5) Diseñar las alternativas de tratamiento de los desechos que presenten mayores características de peligrosidad para que sus parámetros cumplan con la normativa vigente.
6) Evaluar la relación costo-beneficio de las alternativas diseñadas para la selección de la alternativa más viable a ser implementada.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La problemática ambiental se ha intensificado en los últimos años, disponer de regulaciones ambientales proporciona limitaciones indispensables para el desarrollo de alternativas que permitan contribuir a la disminución de la contaminación y de esta forma preservar el entorno garantizando el continuo desarrollo de la vida en el planeta.

El Laboratorio Carabobo, no cuenta con un plan de recolección de los efluentes, almacenamiento ni disposición final de los desechos líquidos generados durante la realización de los diversos análisis del agua, incumpliéndose con las normas ambientales contenidas en el Decreto 2.635 en cuanto a la clasificación y manejo de los desechos peligrosos.

En vista de lo planteado, se hace indispensable proponer y diseñar alternativas de tratamiento que permitan la disminución del impacto ambiental generado por las actividades desarrolladas en el mencionado laboratorio, propiciando el cumplimiento de las normativas ambientales. Además, de las alternativas diseñadas podría seleccionarse la más conveniente para ser aplicada en los diversos laboratorios de las plantas de tratamiento de la Hidrológica del Centro C.A, sirviendo este trabajo como plataforma para estudios posteriores.

CAPITULO II. MARCO REFERENCIAL

En esta sección se describe brevemente los antecedentes de la actual investigación además se ofrece un resumen de la información extraída para el desarrollo del presente trabajo.

2.1. ANTECEDENTES

RIASCOS y TUPAZ. (2015) en su investigación titulada **"Propuesta para el manejo de residuos químicos en los laboratorios de química de la Universidad de Nariño"** se aborda los procedimientos para el manejo de desechos peligrosos desde su generación hasta su almacenamiento, la metodología utilizada involucra diagnósticos, caracterización y por último la disposición final de los mismos con el fin de cumplir con la normativa vigente del estado propio.

La presente investigación posee un marco metodológico muy similar al trabajo presentado por los autores. Además aporta las pautas para el proceso de desarrollo para una investigación de esta índole, asimismo contiene una especificad importante a la hora de establecer comparaciones en los resultados obtenidos.

BLANCO y TRAVIESO. (2013) en el estudio que lleva por título **"Propuestas para mejorar el manejo de sustancias peligrosas en los laboratorios del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Carabobo"** expusieron una serie de propuestas para el manejo adecuado de las sustancias peligrosas generadas en el Departamento de Biología de la Universidad de Carabobo, tomando como herramientas la aplicación de entrevistas y encuestas para el levantamiento de un diagnóstico, además de un muestreo de dichas sustancias con el propósito de caracterizarlas y determinar si estos desechos cumplen con la normativa vigente. Finalmente, los autores proponen mejorar el plan de manejo de sustancias peligrosas mediante el acondicionamiento del depósito de desechos, elaboración de hojas de seguridad y etiquetas, la señalización adecuada dentro de las instalaciones, la incineración de los desechos almacenados en el depósito destinado para ello y el reuso del formol y etanol.

El trabajo desarrollado por los autores se relaciona notablemente con el enfoque de la presente investigación, donde el diagnóstico de la situación ambiental del laboratorio arroja los aspectos más importantes y críticos a tratar, como lo son el vertido de los efluentes fuera de la normativa.

También proporciona la metodología a seguir en la caracterización de los desechos y el planteamiento de las posibles alternativas de tratamiento.

CAMACHO, G. (2013) en la investigación titulada **"Diseño de un sistema de manejo de desechos peligrosos generados en los Departamentos de Biología y Química"** diagnosticaron la situación ambiental de los desechos generados en los departamentos de biología y química de FACYT de la Universidad de Carabobo. Luego procedieron a la recolección de los mismos y calcularon el volumen generado anualmente. Una vez realizada la investigación lograron determinar que estos departamentos no cuentan con un sistema adecuado para el manejo de desechos peligrosos, por lo cual se propone la implementación de un sistema sujeto a la normativa ambiental vigente. El diseño propuesto es de naturaleza factible.

El presente trabajo proporciona las herramientas empleadas en el diagnóstico de las áreas involucradas, normativa ambiental empleada y metodología utilizada para la cuantificación de los desechos generados. Sin embargo, existen discrepancias en cuanto al enfoque y al desarrollo de los objetivos.

GIL y PINTO. (2013) en el estudio titulado **"Propuesta de lineamientos para el diseño de almacenes para sustancias peligrosas"** iniciaron su investigación con un diagnóstico de la situación actual de los almacenes, utilizando como técnicas inmediatas la observación indirecta y participativa. De la información obtenida se determinó la necesidad de proponer lineamientos para el diseño de almacenes de sustancias peligrosas. Luego procedieron a determinar si este diseño de lineamientos era factible, siendo afirmativo el resultado obtenido de esta. Por último, esta propuesta se diseñó bajo las normativas requeridas que garantizan la prevención y atención a los riesgos que puedan causar daños a la salud humana y al ambiente.

Este trabajo posee gran similitud con la presente investigación, en cuanto al abordaje de la situación ambiental suscitada. Proporciona los lineamientos a seguir para el almacenaje de sustancias peligrosas en conformidad a lo establecido en la normativa ambiental vigente.

PEREZ y PULGAR. (2013) en la investigación que lleva por título **"Diseño de un sistema de manejo de los desechos peligrosos para las áreas administrativas de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Carabobo"** desarrollaron la investigación en tres fases. La primera corresponde al diagnóstico, donde queda evidenciado

que no existe un sistema para el manejo de los desechos peligrosos generados en áreas administrativas dentro de la facultad. En la segunda fase, realizaron el estudio técnico para determinar la factibilidad del proyecto, resultando esta positiva y, por último, la tercera fase que constituye la realización del diseño del sistema de manejo de desechos peligrosos, tomando como normativa la ley vigente para la fecha.

El trabajo desarrollado por los autores posee gran similitud con lo que se quiere realizar en la presente investigación, por lo que representa una fuente bibliográfica en cuanto a metodología empleada en el diagnóstico de la situación ambiental, normativa ambiental utilizada y procedimiento empleado para la determinación de la factibilidad económica del proyecto.

GAZQUEZ, M. (2011) en el estudio titulado **"Caracterización y valorización de residuos generados en la industria de producción de dióxido de titanio"** enfocaron su gestión en valorar y caracterizar desechos generados en la industria con el fin de llegar al cumplimiento de un basamento legislativo, como también adquirir factibilidad operacional y económica, para ello se preside el desarrollo de nuevas tecnologías u otras ya existentes para el reciclo de los desechos.

Es imprescindible el impacto de esta investigación ya que muestra como el trato de los desechos generados de una industria, o ya sea el caso de cualquier objeto de trabajo, se pueden reutilizar con el fin de obtener una fuente lucrativa, además de presentar un enfoque rico para el análisis de tecnologías que se puedan aplicar a los diferentes desechos, a pesar de no ser los mismos encontrados en la investigación actual.

HIZA y SAAVEDRA. (2010) en la investigación que lleva por título **"Desarrollar un sistema para el tratamiento de los efluentes líquidos generados en el Laboratorio de Físico-química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo"** tuvieron tiene como objetivo principal desarrollar un sistema de tratamiento de los efluentes líquidos generados en el Laboratorio de Físico-química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo proponiendo una experiencia práctica de dicho sistema. Dicho trabajo representa una referencia bibliográfica de la metodología a emplear para el desarrollo de una alternativa de tratamiento de los desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo, que al igual que el trabajo mencionado en la presente investigación se busca disminuir el impacto ambiental causado por la disposición incorrecta de los desechos líquidos mediante el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. Herramientas empleadas la identificación de problemas

Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto constituye un sencillo y gráfico método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales) y las que lo son menos (los muchos y triviales). Este tipo de análisis una forma de identificar y diferenciar los pocos “vitales”, de los muchos “importantes” o bien dar prioridad a una serie de causas o factores que afectan a un determinado problema, mediante una representación gráfica o tabular se identifican en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o bien que tienen una incidencia o peso mayor, (Domenech, 2017).

Las ventajas del Diagrama de Pareto pueden resumirse en:

- ✓ Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando por tanto los esfuerzos.
- ✓ Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- ✓ Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras y ser resueltas.
- ✓ Su visión gráfica del análisis es fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora.

Diagrama de Ishikawa o diagrama causa – efecto

Es una herramienta utilizada para el análisis de problemas y sus posibles soluciones, consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional un eje central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha. En dicho eje central convergen líneas oblicuas, representando estas las causas del problema, convergiendo en estas las causas principales de esa familia y a su vez en estos las causas secundarias, de esta manera se forman familias de causas con una naturaleza en común. Tal como se observa en la figura 2.1 Las familias de causas más comunes en problemas ingenieriles son: mano de obra (hombre), maquinaría, materiales, medición (medida), medio ambiente (entorno) y método, (González, 2008).

La primera parte de este diagrama muestra todos aquellos posibles factores que puedan estar originando alguno de los problemas que se presentan, la segunda fase es centralizarse específicamente sobre los problemas principales, (Méndez, 2002).

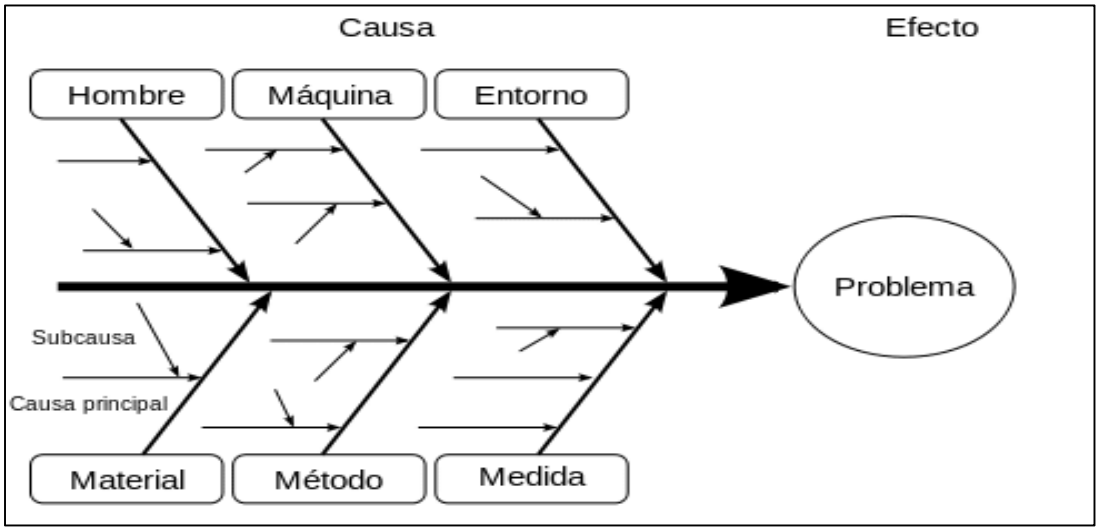


Figura 2.1. Ejemplo típico de un diagrama de causa y efecto. Fuente: Méndez, 2002.

2.2.2. Sustancias peligrosas

Las sustancias peligrosas son elementos, compuestos, mezclas, soluciones y sustancias, las cuales al ser liberadas al ambiente ocasionan peligrosos sustanciales a la salud pública y al ambiente. La peligrosidad de las sustancias químicas constituye una propiedad inherente o intrínseca que las puede hacer corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables, (Meyer, 1996).

La liberación al ambiente de las sustancias peligrosas, así como la exposición a ellas de seres humanos o de organismos de la biota acuática y terrestre, puede ocurrir en cualquiera de las fases de su ciclo de vida, tanto a partir de emisiones al aire, como de descargas al agua o la ocurrencia de fugas y derrames, (Cortinas, 2000).

2.2.3. Desechos químicos peligrosos

Se entiende por desecho, cualquier sustancia en estado físico sólido, líquido o gaseoso que presenta características peligrosas o que está constituido por sustancias peligrosas y que no conserva propiedades físicas ni químicas útiles y por lo tanto no puede ser reusado, reciclado, regenerado u otro diferente, (Decreto 2.635).

Los residuos o desechos químicos peligrosos comprenden todos aquellos materiales que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables, representan un peligro para la salud humana y el ambiente, cuando son manejados o dispuestos en forma inadecuada, (Domenech, 2017).

Los desechos químicos en estado líquido, o desechos líquidos, pueden ser descargados en el sistema de alcantarillado, si su volumen es pequeño y si han sido sometidos a un tratamiento adecuado. Dichos desechos, pueden contener materia mineral en suspensión, coloidal y disuelta; sólidos orgánicos; ser excesivamente ácidos o alcalinos; con concentraciones altas y bajas de colorantes; materiales inertes; agentes tóxicos y bacterias patógenas, (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009).

Al verter los desechos líquidos en un curso de agua pueden provocar en éste alteraciones físicas, químicas y biológicas en el agua, consecuencias que se reducirán si los desechos crudos se someten a un tratamiento previo.

Clasificación de los desechos químicos

Los desechos químicos presentan la siguiente clasificación, (Decreto 2.635):

- **Corrosivos:** sustancias o desechos que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan o que en caso de fuga, puedan dañar gravemente o hasta destruir otras mercaderías o los medios de transporte, o pueden también provocar otros peligros.
- **Oxidantes:** Sustancias o desechos que sin ser necesariamente combustibles, pueden en general al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.
- **Tóxicos:** Sustancias o desechos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.
- **Inflamables:** Líquidos, o mezclas de líquido o líquidos con sólidos en solución o suspensión que emiten vapores inflamables a temperaturas no mayores de 60,5ºC, en ensayos con cubeta cerrada, o no más de 65,6ºC, en ensayos con cubeta abierta.

Normativas internacionales para la clasificación de sustancias y desechos peligrosos

- *Código IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU)*

Este sistema divide los productos, materiales o desechos peligrosos en nueve clases, las cuales están segregadas en diferentes divisiones según sus características físicas y químicas, (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2002), tal y como se ilustra en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Clasificación de la ONU de los riesgos de sustancias peligrosas.

Clasificación	Subclase	Símbolo	Definiciones
Clase 1 Explosivos	**1.1**		Sustancias y materiales con riesgo de explosión en masa.
	1.2		Sustancias y materiales con riesgo de proyección, pero sin riesgo de explosión en masa.
	1.3		Sustancias y materiales con riesgo de incendio y con un pequeño risco de explosión o proyección, o ambos, pero sin riesgo de explosión en masa.
	1.4		Sustancias y materiales sin riesgo significativo.
	1.5		Sustancias muy sensibles, con riesgo de explosión en masa.

Tabla 2.1. Clasificación de la ONU de los riesgos de sustancias peligrosas (Continuación).

Clasificación	Subclase	Símbolo	Definiciones
Clase 1 Explosivos	**1.6**		Materiales extremadamente insensibles, sin riesgo de explosión en masa.
Clase 2 Gases	**2.1**		Gases inflamables: son gases que a 20ºC y a presión normal son inflamables.
	2.2		No tóxicos: son gases asfixiantes y oxidantes, que no se encuentra en otra subclase.
	2.3		Gases tóxicos: son gases tóxicos y corrosivos que construyen un riesgo para la salud de las personas
Clase 3 Líquidos inflamables	**--**		Líquidos, mezclas de líquidos o líquidos que contengan sólidos en solución o suspensión, que produzcan vapor inflamable a temperaturas hasta 60,5 ºC.
Clase 4 Sólidos Inflamables	**4.1**		Sustancias auto-reactivas y explosivos sólidos insensibilizados: sólidos que, en condiciones de transporte, son fácilmente combustibles..
	4.2		Sustancias sujetas a la combustión espontánea: sustancias sujetas al calentamiento espontáneo.
	4.3		Sustancias, que en contacto con el agua, emiten gases inflamables: sustancias que por interacción con el agua pueden volverse espontáneamente inflamables o liberar gases inflamables.

Tabla 2.1. Clasificación de la ONU de los riesgos de sustancias peligrosas (Continuación).

Clasificación	Subclase	Símbolo	Definiciones
Clase 5 Sustancias oxidantes y peróxidos	**5.1**		Sustancias oxidantes: sustancias que pueden causar la combustión de otros materiales o contribuir para eso.
	5.2		Peróxidos orgánicos: son poderosos agentes oxidantes, periódicamente inestables que pueden sufrir descomposición.
Clase 6 Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas	**6.1**		Sustancias tóxicas: son sustancias capaces de provocar la muerte, lesiones graves.
	6.2		Sustancias infecciosas: son sustancias que pueden provocar enfermedades infecciosas en seres humanos o en animales.
Clase 7 Material radioactivo			Todo material o sustancia que emite radiación
Clase 8 Sustancias corrosivas			Son sustancias que, por acción química, causan severos daños cuando entran en contacto con tejidos vivos.
Clase 9 Sustancias y materiales peligrosos diversos			Esta clase no está incluida en las clasificaciones anteriores.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2002.

- *Sistema estandarizado para la identificación de riesgos de incendio de sustancias peligrosas, NFPA, (National Fire Protection Association 704, 2012)*

El sistema de información se basa en el “capítulo de 704” que representa visualmente la información sobre tres categorías de riesgo: para la salud, inflamabilidad y reactividad además del nivel de gravedad de cada uno. También indica dos riesgos especiales: la reacción con el

agua y su poder oxidante, (Haddad *et al*, 2013). El sistema estandarizado usa números y colores como aviso para definir los riesgos básicos de una sustancia peligrosa. La salud, la inflamabilidad y la reactividad están identificadas y clasificadas en una escala de 4 a 0, de acuerdo con el grado de riesgo que presenten, donde cero indica el menor riesgo. La información representada en sistema NFPA, se resume en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Resumen del sistema de clasificación de riesgos NFPA.

Color	Escala	Descripción	Ejemplo
AZUL (peligros a la salud)	**4**	Productos que en poco tiempo pueden causar la muerte o daños permanentes.	Acrilonitrilo, bromo, paratión
	3	Pueden causar daños temporales o residuales.	Hidróxidos, ácidos.
	2	Bajo exposición intensa o constante pueden causar incapacidad temporal o posibles daños residuales.	Bromobenceno, piridina.
	1	Causan irritación, pero solamente lesiones residuales leves.	Acetona.
	0	No presentan peligro alguno.	
ROJO (peligros de inflamabilidad)	**4**	Se evaporan rápida o totalmente a condiciones estándar. Se queman fácilmente con el aire.	1,3-Bitadieno, propano.
	3	Líquidos y sólidos que pueden causar combustión a temperatura ambiente.	Fósforo, acrilonitrilo.
	2	Se deben calentar moderadamente para que produzca la ignición.	2-Butanota, queroseno.
	1	Productos que se deben precalentar para que se produzca la ignición.	Sodio, fósforo rojo.
	0	Productos que no arderán.	
AMARILLO (peligros de reactividad)	**4**	Detonan fácilmente. Pueden descomponerse de manera explosiva o reaccionar a temperatura y presiones normales.	Peróxido de benzoilo, ácido pícrico.
	3	Pueden tener una reacción de detonación o explosión pero requieren una fuente de ignición, se debe precalentar o reaccionan explosivamente con el agua.	Diborato, óxido de etileno, 2-nitro propadineno.
	2	Normalmente inestables y sufren fácilmente un cambio químico violento, pero no detonan ni pueden reaccionar violentamente con el agua.	Acetaldehído, potasio.
	1	Son estables, pero pueden hacerse inestables a temperaturas altas.	Éter etílico sulfúrico.
	0	Normalmente estables, incluso cuando se exponen al fuego. No reaccionan con el agua.	

Fuente: Haddad *et al*, 2013.

El rombo blanco está designado para ofrecer información especial sobre la sustancia química. Por ejemplo, puede indicar que el material es radioactivo, en cuyo caso se emplea el símbolo correspondiente e internacionalmente aceptado. Si el material es reactivo se usa una W atravesada por una raya para indicar que un material puede tener una reacción peligrosa al entrar en contacto con el agua, este signo quiere decir que el agua puede originar ciertos riesgos, por lo que se deberá usar con cuidado hasta que se esté debidamente informado. Las letras OX indican la existencia de un oxidante, ALC indican materiales alcalinos y ACID ácido, CORR indica corrosivos y el símbolo internacional para los materiales radioactivos, (Haddad *et al*, 2013).

- *SAF T DATA*

El sistema SAF-T-DATA creado en 1982 por J. T BAKER, incluye un método codificado en colores para organizar adecuadamente las áreas de almacenamiento de sustancias químicas, (Haddad *et al*, 2013).

El color de la etiqueta indica el tipo de almacenamiento requerido, para que simplemente se almacenen junto a los productos de igual color, todo de acuerdo a la siguiente tabla de clasificación:

Tabla 2.3. Sistema de identificación de desechos SAF-T-DATA.

Color	Tipo de reactivo	Detalle de almacenamiento
Amarillo	**Oxidante**	Riesgo de oxidación y reactividad, puede reaccionar violentamente con el aire, agua u otra sustancia.
Blanco	**Corrosivo**	Produce deterioro al contacto con algún objeto, puede ocasionar en esta destrucción total o parcial.
Azul	**Tóxico**	Riesgoso para la salud, sustancia tóxica e irritante.
Verde	**No Peligroso**	No representa ningún riesgo importante. Puede almacenarse sin restricciones específicas.
Rojo	**Inflamable**	Riesgo de inflamación, incendio, almacenar lejos de reactivos oxidante, aislar de materiales de combustión.
Blanco con rayas	**Incompatible**	Sustancias que presentan incompatibilidad con otras de características similares

Fuente: Haddad *et al*, 2013.

2.2.4. Características de los desechos líquidos

Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o el solución; el contacto del agua con desechos orgánicos en diferentes estados o la presencia de taninos y residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el aluminio o hierro, (Castrillón y Giraldo, 2012).

El efecto del color en los desechos líquidos, más allá de que puede afectar estéticamente, puede tener una acción negativa porque reduce la penetración de los rayos solares en el curso del agua y en consecuencia puede reducir la vida acuática en el mismo. Durante el tratamiento de un residuo coloreado se debe prestar atención a la reducción o eliminación del color, contribuyendo de esta forma a reducir el impacto sobre los ecosistemas donde son vertidos, (Rodríguez *et al*, 2003).

Demanda química de oxígeno (DQO)

Representa una medida de la cantidad de materia carbonosa contenida en los diferentes tipos de materia orgánica presentes en las aguas residuales, es utilizada como una expresión del poder polucional de un agua. Se basa en que todos los compuestos orgánicos pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua mediante la acción de agentes fuertemente oxidantes. Para tratamientos de efluentes líquidos industriales es de gran interés este parámetro, (Rivas Mijares, 1978).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Se define como D.B.O de un líquido a la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillius), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg/L. Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla), (Rodríguez *et al*, 2003).

Sólidos totales

Analíticamente, el contenido de sólidos de un agua residual se define como toda la materia que queda como residuo de evaporación a 103-105°C. Los sólidos o residuo de evaporación, se clasificarían entonces como sólidos suspendidos o sólidos filtrables; la fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

La fracción de sólidos filtrables se compone de sólidos coloidales y disueltos. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones que se encuentran presentes en disolución verdadera en el agua. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación. Por lo general, se requiere una coagulación u oxidación biológica seguida de sedimentación para eliminar estas partículas en suspensión, (Gómez, 2005).

Sólidos suspendidos

Partículas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en una solución, se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua. Este tipo de sólidos son difíciles de eliminar siendo necesaria la adición de agentes coagulantes y floculantes que modifiquen la carga eléctrica de estas partículas consiguiendo que se agrupen en flóculos de mayor tamaño para así poder separarlos mediante filtración, (Soto, 2007).

Potencial de hidrógeno (pH)

Es una manera de expresar la concentración de los iones hidrógeno, pudiendo ser soluciones ácidas, básicas o neutras. Este permite predecir, de una forma cualitativa, el comportamiento esperado por el líquido residual cuando es sometido a tratamiento, además de la oportunidad de neutralización de las descargan que provocan el fenómeno, (Rivas Mijares, 1978).

Turbidez

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de la suspensión, (Castrillón y Giraldo, 2012).

2.2.5. Tratamientos de desechos líquidos

El tratamiento de un desecho líquido peligroso es un método, técnica o proceso dirigido a cambiar las características físicas, químicas o biológicas de manera que se produzca un desecho no peligroso o menos peligroso para su disposición final, (Quesada *et al*, 2007).

2.2.6. Clasificación del tratamiento de desechos líquidos

Los tratamientos que existen para los desechos líquidos, se clasifican, según el grado de reducción de la contaminación y del mecanismo del proceso en los siguientes grupos, (Quesada *et al*, 2007):

- Tratamiento preliminar: está destinado al acondicionamiento de los residuos líquidos.
- Tratamiento primario: elimina las materias sólidas que sedimentan o flotan y reduce moderadamente la materia orgánica biodegradable.
- Tratamiento secundario: elimina la materia orgánica biodegradable no retirada en el tratamiento primario.
- Tratamiento terciario: elimina la materia orgánica no biodegradable, los sólidos en suspensión y las sales inorgánicas.
- Desinfección
- Disposición de lodos.

2.2.7. Tratamiento preliminar

Está destinado a la preparación del desecho líquido, con el objetivo específico de proteger las instalaciones, el funcionamiento de los equipos de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la estética de la planta de tratamiento, (Rojas, 2002).

2.2.8. Tratamiento primario

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. El tratamiento primario es capaz de remover una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Los tratamientos fisicoquímicos o primarios se utilizan para la eliminación de partículas sólidas en suspensión, coloidales, material flotante, color y compuestos tóxicos, (Rojas, 2002).

Homogenización

El tanque de homogenización permite amortiguar las variaciones del caudal. Con ello se logra un desecho líquido lo suficientemente uniforme en cuanto a características y caudal, a partir de unos residuos discontinuos y variables en calidad y cantidad. Se produce por una parte una igualación de caudales que tiene como efecto secundario una disminución en la concentración de contaminantes, se realiza comúnmente en tanques agitados, (Castro, 2012).

Neutralización

Se emplea cuando las aguas de desecho contienen productos ácidos o alcalinos, con el fin de obtener un desecho que tenga un pH entre 6 y 9, (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009). Son utilizados tanques mezcladores, cuando la capacidad de la planta y carga de contaminante es pequeña, es recomendable un proceso por carga o batch. Para volúmenes grandes, el proceso típicamente empleado es la neutralización en continuo tal como se observa en la figura 2.2.

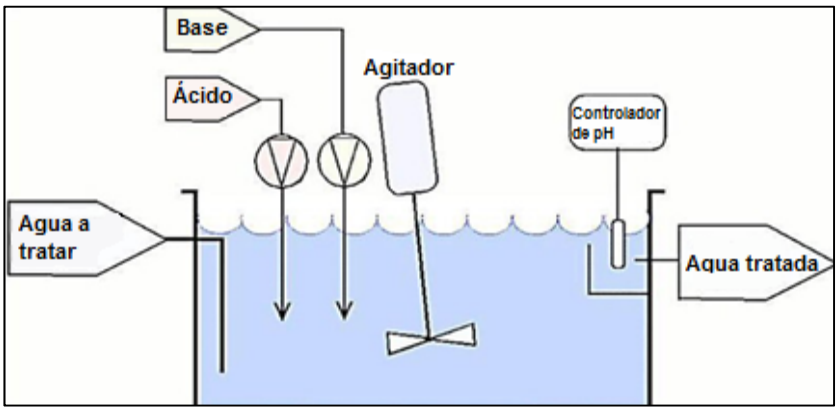


Figura 2.2. Tanque de neutralización, operando en continuo. Fuente: (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009).

Normalmente, la neutralización se logra mediante la dosificación de productos químicos tales como: Lechada de cal o sosa caustica para aguas ácidas y ácido Sulfúrico o dióxido de carbono para aguas alcalinas, (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009).

Sedimentación

Por este proceso se separa la mayor parte de los sólidos suspendidos en los desechos líquidos, en un orden de 40 a 60%. Consiste en la remoción ocurrida por efecto gravitacional e las partículas en suspensión en un fluido y que tengan peso específico mayor que el fluido,

(Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009). En un determinado intervalo de tiempo no todas las partículas en suspensión sedimentan. Justamente las que sedimentan en un intervalo de tiempo elegido son llamados “sólidos sedimentables”, dependiendo a su forma de sedimentación se puede clasificar en:

1) Partículas discretas: Son aquellas partículas que no cambian de características, forma, tamaño y densidad durante la caída.
2) Partículas floculentas: Son aquellas producidas por la aglomeración de coloides desestabilizados y por la acción de agentes químicos. Estas cambian de forma, tamaño y densidad durante la caída.

Esta operación será más eficaz a medida que sea mayor el tamaño y densidad de las partículas a separar del agua. En cuanto a la sedimentación de partículas floculentas, a medida que ocurre la coalescencia o floculación, la masa de partículas aumenta y se sedimentan más rápido. El desarrollo de la floculación depende de la colisión entre las partículas, que a su vez en función de la carga superficial, de la profundidad del sedimentador, del gradiente de velocidad del sistema, de la concentración de partículas y el tamaño de las mismas, (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Flotación

La flotación se emplea para separar sólidos o líquidos no miscibles y de baja densidad de una corriente líquida, introduciendo en el sistema una fase gaseosa, que generalmente es aire. Las burbujas de aire que se producen se adhieren o son atrapadas en las partículas, consiguiendo que éstas se mantengan a flote, y formando una capa de espuma que se elimina por procedimientos manuales, (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009).

Precipitación química

La precipitación química es la técnica más utilizada para eliminar los metales (iónicos) de las soluciones que contienen metales tóxicos, como es el caso de las aguas residuales de proceso. Los metales iónicos se convierten a una forma insoluble (partículas) por medio de la reacción química entre los compuestos metálicos solubles y el reactivo precipitante. Las partículas resultantes de esta reacción pueden eliminarse de la solución mediante precipitación y/o filtración.

Los factores que afectan a la eficacia del proceso de precipitación química son diversos, e incluyen, entre otros, el tipo y la concentración de los metales iónicos presentes en la solución, el agente precipitante utilizado, las condiciones de reacción (especialmente, el pH de la solución) o la presencia de otros constituyentes susceptibles de inhibir la reacción de precipitación, (Grupo Lhoist, 2013).

Oxidación química

En algunos casos la reducción de toxicidad puede ser lograda mediante la oxidación química. Los oxidantes más comunes incluyen permanganato, ozono y peróxido de hidrógeno. La degradación química de compuestos orgánicos resistentes. Puede tomar varias formas: degradación primaria, en la cual ocurre un cambio estructural en el compuesto primario, resultando en una biodegradabilidad mejorada; degradación aceptable, en la cual la degradación ocurre hasta un punto donde la toxicidad es reducida y degradación última, la que resulta de una degradación completa a CO_2 y H_2O y otros compuestos orgánicos.

- *Oxidación húmeda (WAO)*

La oxidación húmeda es un proceso clásico de tratamiento directo en el cual los compuestos orgánicos e inorgánicos se oxidan en fase acuosa, con oxígeno o aire, en condiciones de alta presión (20–200) bar y temperatura (150–350) ºC. Es utilizable para valores de DQO inicial entre 500–15.000 mg/L, (Area *et al*, 2010).

- *Oxidación húmeda supercrítica (WAO)*

En la oxidación húmeda supercrítica se utiliza aire u oxígeno puro como fuente de oxígeno y opera en condiciones de presión y temperatura superiores al punto crítico del agua (400 a 650 ºC y presiones mayores a 250 bar), (Area *et al*, 2010).

- *Oxidación húmeda catalítica (CWAO)*

La eficacia del proceso en cuanto a la reducción de DQO puede oscilar entre el 75 % y el 99 %. La oxidación húmeda catalítica está particularmente indicada en el caso de desechos líquidos o efluentes concentrados (DQO>10.000 mg/L) o que contengan compuestos no biodegradables o tóxicos para los sistemas de tratamiento biológico. La presencia del catalizador hace posible la operación en condiciones de temperatura y presión más moderadas (120 a 250°C, 5 a 25bar), (Area *et al*, 2010).

- *Oxidación Avanzada (AOP)*

Los procesos de oxidación avanzada (Advanced Oxidation Processes) utilizan la fuerte capacidad oxidante del radical hidroxilo. Implican la generación de cantidades suficientes del radical, con el fin de oxidar los compuestos orgánicos del medio. Los AOP utilizan combinaciones de Ozono, Peróxido de Hidrógeno, Radiación Ultravioleta (UV) y catalizadores. Pueden clasificarse en procesos homogéneos (con o sin aporte de energía externa) y heterogéneos, (Area *et al*, 2010).

- *Fotofenton*

Es una alternativa de tratamiento con agentes químicos que transforman los contaminantes orgánicos en compuestos inocuos, dióxido de carbono y agua, por un proceso de oxidación. En ella se desea producir radicales libres hidroxilo (^{-}OH) los cuales son altamente reactivos en solución acuosa, a través de reacciones de peróxido de hidrógeno con sales ferrosas, lo cual es conocido como reacción fenton. Además se ha demostrado el incremento del poder oxidante de la reacción aplicando radiación UV o UV-visible, a esta última configuración se le conoce como reacción foto-fenton. El radical $HO^{\cdot}$ puede reaccionar por dos vías, la oxidación de Fe (II) y el ataque a la materia orgánica:

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + HO^{-} + HO^{\cdot} \quad (2.1)$$

$$Fe^{2+} + HO^{\cdot} \rightarrow Fe^{3+} + HO^{-} \quad (2.2)$$

$$RH + HO^{\cdot} + H_2O \rightarrow ROH + H_3O^{+} \quad \text{Productos oxidados} \quad (2.3)$$

El proceso es potencialmente útil para destruir contaminantes, ya que es muy efectivo para generación de $HO^{\cdot}$, pero un exceso de iones Fe^{2+}, puede atraparlos, al igual que el mismo H_2O_2, (Castrillón y Giraldo, 2012).

- *Tratamiento con ozono*

El proceso de ozonización es un tratamiento de oxidación química muy eficiente, produciendo subproductos de bajo peso molecular, que a menudo son menos tóxicos y más fáciles de biodegradar. El ozono reacciona de manera indiscriminada con casi todos los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el medio y no produce compuestos nocivos, es efectivo para la destrucción de grupos cromóforos, (Area *et al*, 2010).

Coagulación-Floculación

Es un proceso de tres pasos que consiste en la coagulación, la floculación y la sedimentación. Las fuerzas entre las partículas de los contaminantes se reducen o eliminan mediante la adición de productos químicos, lo que permite la interacción de partículas mediante el movimiento molecular y la agitación física. La mezcla rápida permite la dispersión del producto químico utilizado en el tratamiento y promueve el choque de partículas, lo que hace que las partículas se agrupen para formar otras de mayor tamaño, es decir la coagulación. Después de un período de mezcla rápida es necesario disminuir la velocidad de la mezcla para que se formen flóculos más grandes, que sedimentaran rápidamente, (Rojas, 2002).

- *Coagulación*

Consiste en la desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. La adición de un coagulante neutraliza las cargas, produciendo un colapso de la “nube de iones” que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse. Los coagulantes más utilizados son las sales de aluminio y de hierro, cuando se adicionan estas sales se produce una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos, estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman precipitados.

El grado de agitación durante la adición del coagulante determina si la coagulación es completa, turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes. La coagulación se debe ejercer en una mezcla rápida con el propósito de dispersar diferentes sustancias químicas y gases, sin embargo, una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos.

La dosis de coagulante adecuada es de suma importancia ya que presenta el mayor impacto económico en la operación del proceso, y conlleva a los siguientes problemas:

1) Poca cantidad de coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
2) Alta cantidad de coagulante puede producir la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños

cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto la turbiedad residual es igualmente elevada.

3) La selección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación; se determina mediante los ensayos de pruebas de jarra.

La dosis de coagulante se debe experimentalmente a través de una prueba llamada “prueba de jarras”, el equipo utilizado se muestra en la figura 2.3. En la cual los flóculos formados por diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes, el objetivo es determinar las variedades físicas y químicas del sistema para la selección del coagulante, pH óptimo, tiempos de mezcla, velocidades de sedimentación y eficiencia de remoción, (Castrillón y Giraldo, 2012).

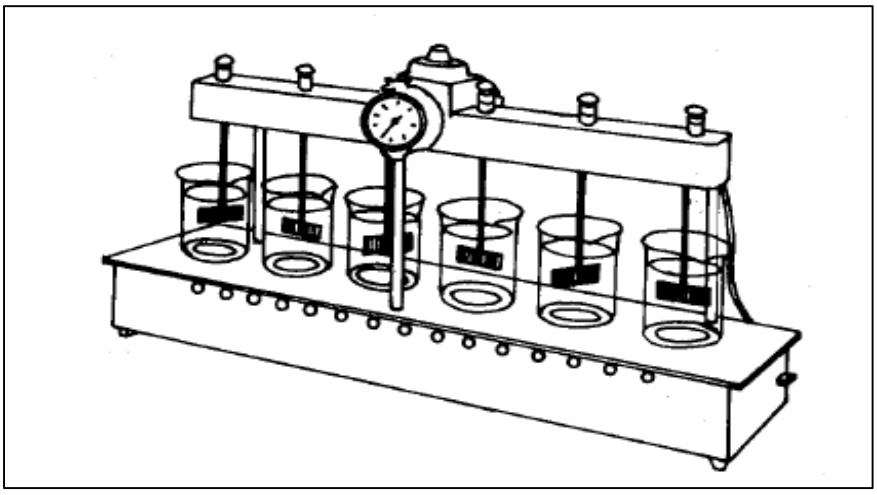


Figura 2.3. Equipo de prueba de jarras. Fuente: Castrillón y Giraldo, 2012.

- *Floculación*

Consiste la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y la aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar la facilidad. Los flóculos inicialmente pequeños, al juntarse crean aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido, esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos. Puede ser que la aglomeración de varios coloides no sea lo suficientemente grande como para sedimentar, por lo cual, se utiliza un floculante para reunir los coloides en forma de red,

formando puentes de una superficie a otra. La floculación se favorece en mezclado lento, lo cual permite juntar poco a poco los flóculos, un mezclado demasiado intenso los rompe. En la figura 2.4 se muestra el proceso de floculación.

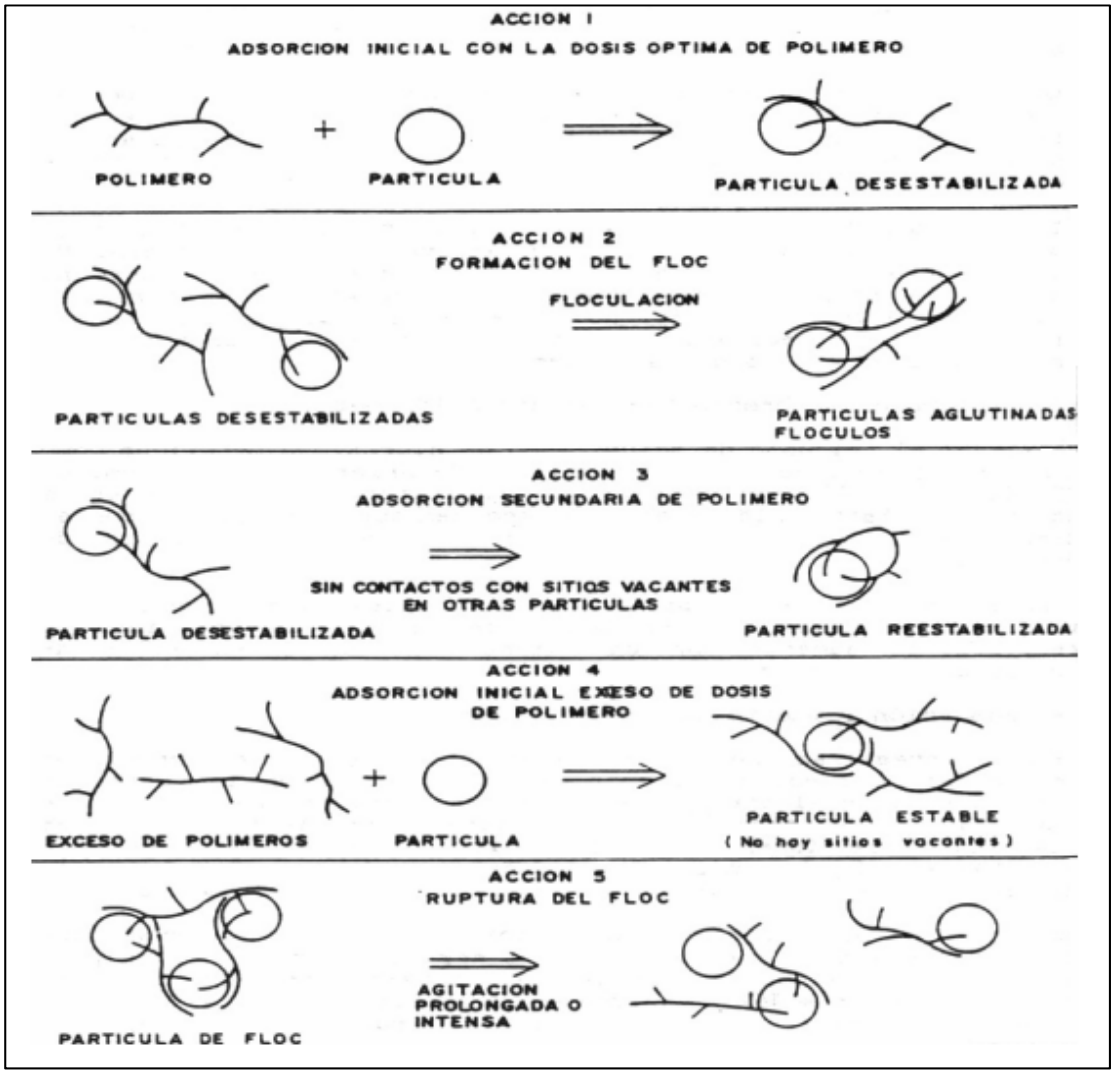


Figura 2.4. Esquema de los mecanismos de adsorción de polímeros y partículas coloidales. Fuente: Castrillón y Giraldo, 2012.

La floculación puede ser ortocinética, que es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas y los contactos son producidos por el movimiento del fluido, o puede ser pericinética, que es la promovida dentro del líquido por el movimiento que tienen las partículas en él, debido a la agitación y por la gravedad y el peso de las partículas, las que se aglomeran al caer y es cuando el contacto entre las partículas es por el movimiento Browniano, (Castrillón y Giraldo, 2012).

- *Electrocoagulación*

Es un método electroquímico donde un ánodo de sacrificio se oxida para que se lleve a cabo coagulación. Los electrodos empleados en la electrocoagulación suministran los iones necesarios para la clarificación del agua residual. Este proceso involucra tres etapas:

1) Formación de los coagulantes por oxidación electrolítica del electrodo de sacrificio.

2) Desestabilización de los contaminantes y partículas en suspensión.

3) Agregación de las fases desestabilizadoras para formar flóculos.

Cuando un potencial es aplicado por una fuente externa de energía, en el ánodo se lleva a cabo una oxidación mientras que en el cátodo ocurre una reducción. La reacción electroquímica con el metal (M) como ánodo se puede resumir.

En el ánodo $M_{(s)} \rightarrow M^{n+}{}_{(ac)} + ne^-$ (2.4)

$2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^+_{(ac)} + O_{2\,(g)} + 4e^-$ (2.5)

En el cátodo: $2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2\,(g)} + 2OH^-$ (2.6)

En el ánodo metálico, fabricado generalmente de hierro o aluminio, se lleva a cabo dos reacciones. Se disuelve el ánodo y produce hidróxidos metálicos que actúan como agentes coagulantes; las especies catódicas aportadas se unen con un enlace iónico a los coloides cargados opuestamente y ocurre coagulación. También se lleva a cabo una electrolisis del agua paralelamente, produciendo oxigeno gaseoso en el ánodo e hidrogeno gaseoso en el cátodo, proporcionando el movimiento de las partículas floculadas y mayor área superficial resultando así una separación eficiente. El lodo generado puede ser removido por flotación o sedimentación, (Aristizábal y Bermúdez, 2007).

Filtración

Es una operación que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. Los materiales filtrantes utilizados son arena, carbón, tierras diatomáceas, grava, piedra triturada, escorias de alto horno, (Soto, 2007).

2.2.9. Tratamiento secundario

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%, (Rivas Mijares, 1978).

2.2.10. Tratamiento terciario

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr una menor carga contaminante. Las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: fosfatos y nitratos, huevos y quistes de parásitos, sustancias tenso activas, bacterias, sólidos totales y disueltos, (Area *et al*, 2010).

Adsorción

El tratamiento de adsorción consiste en la retención de átomos, iones y moléculas en la superficie de un material sólido. Se puede utilizar carbón activado, coke activado y resinas poliméricas, y se aplica como tratamiento terciario, (Area *et al*, 2010).

2.2.11. Desinfección

Se emplea para reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final. Suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro, (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009).

2.2.12. Manejo de lodos

Los lodos, surgen como residuo de las rejas, desarenadores, sedimentadores que antes de su disposición final deben ser acondicionados a causa del alto contenido de materia orgánica. Los procesos típicos de manejo de lodos son: concentración (espesamiento, digestión, acondicionamiento, deshidratación o secado, incineración y oxidación). De éstos, la digestión, incineración u oxidación por vía húmeda son los más empleados para la reducción de la materia

orgánica, y la concentración, acondicionamiento y deshidratación para la eliminación de la humedad, (Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2009).

2.2.13. Evaluación económica

Evaluación económica

Es una forma de evaluación económica en la cual se comparan los costos de cualquier tipo de proyecto, programa u opción con sus respectivos beneficios, tanto los costos como los beneficios son expresados en moneda. La técnica de evaluación económica en el análisis de costo-beneficio, es básicamente una contabilización de costos y resultados en términos monetarios.

Este análisis permite confrontar el beneficio neto de un proyecto determinado con la opción de no hacer nada, solo se puede llamar un análisis costo-beneficio si todos los efectos relevantes se han valorado en términos monetarios.

Según los estudios de A.J. Dupuit a través de este análisis se puede identificar la opción que maximiza la diferencia entre beneficios y costos, que es, en teoría la opción que maximiza el bienestar de la sociedad, lo cual nos ofrece un criterio de decisión claro, (Navarro, 2011).

Este análisis tiene como objetivo encontrar un conjunto de posibles soluciones o propuestas que generen un beneficio neto óptimo. El beneficio neto de la solución es el costo del problema menos el costo de la solución, es decir, no solo se calcula el costo de la solución, sino que es importante también el beneficio neto, (Comisión Europea, 2006).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se define el marco metodológico en que se fundamenta la presente investigación, en el cual se define el uso de métodos, estrategias y procedimientos a utilizar en el estudio que se desarrolla.

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo al problema planteado y los objetivos a alcanzar en la investigación, la misma es de tipo evaluativa, de campo y documental ya que tiene como finalidad comparar, mediante la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos químicos realizados, los distintos parámetros y características de los desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A, permitiendo proponer alternativas que solventen la problemática. El diseño de la investigación es de campo debido a que la recolección de datos se efectúa directamente en el lugar a realizar la investigación, los cuales posteriormente serán analizados e interpretados debidamente, (Arias, 2012).

3.2. METODOLOGÍA EMPLEADA

En la siguiente sección se exponen el procedimiento metodológico empleado para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos de la investigación:

3.2.1. Diagnóstico de la situación actual de los desechos líquidos generados de los análisis del agua del estado Carabobo en el Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A.

Recopilación de información bibliográfica

Se consultaron diferentes trabajos de investigación, manuales, normativas ambientales vigentes, expertos en el área, y conjunto a los requerimientos de la empresa, se seleccionó la estrategia más adecuada para abordar la situación particular del Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro, C.A.

Se empleó herramientas para la identificación de problemas, tales como diagrama de causa-efecto y diagrama de Pareto, para determinar de la situación actual del Laboratorio Carabobo. Para ello, se consideró su estructura organizativa y áreas que lo conforman, empezando por la distribución de los laboratorios, almacén de reactivos y por último el almacén de desechos.

Identificación de las áreas que conforman el Laboratorio Carabobo

Mediante un recorrido exploratorio brindado por el personal autorizado de la empresa, se llevó a cabo el reconocimiento de las diversas áreas que conforman el Laboratorio Carabobo de la Hidrológica del Centro C.A, se identificó la distribución de los laboratorios, ubicando en cada uno los puntos de descarga de líquidos o desagües. Así mismo, se visualizaron las actividades y los análisis que son realizados en los laboratorios, almacenes de reactivos y desechos, lo que permitió establecer las condiciones de funcionamiento de los mismos.

Revisión de la disposición final de los desechos líquidos producidos

Para conocer la disposición final de los desechos líquidos producidos en el Laboratorio Carabobo, se llevó la secuencia de los análisis realizados en los laboratorios de Fisicoquímica, Plancton, Instrumental, Químico Sanitario y Bacteriología, mediante la visualización del desarrollo de los mismos y entrevistas no estructuradas a los analistas de cada área. Se identificaron y registraron los análisis cuyos desechos líquidos generados son tratados, almacenados o descargados directamente al desagüe.

Realización de un inventario de reactivos utilizados y desechos almacenados

Para el inventario de los reactivos utilizados, se inspeccionó el área destinada a su almacenamiento y se realizó una lista de chequeo de los reactivos con sus respectivas fechas de vencimientos y así verificar si se encontraban vigentes o vencidos. Siguiendo esta misma metodología, se identificaron y cuantificaron los desechos de los análisis realizados que son dispuestos en el almacén de desechos. Se evaluaron las condiciones de almacenamiento de los reactivos y desechos, con lo establecido en el Decreto 2.635 para presentar alternativas de ser necesario, que contribuyan al cumplimiento de dicho decreto.

Revisión de las metodologías empleadas para estimar el volumen de los análisis realizados en el Laboratorio Carabobo

Para estimar el volumen de las muestras de los desechos por análisis, se empleó el siguiente procedimiento:

1) Se identificó la metodología de trabajo utilizada por análisis en el laboratorio de Fisicoquímica, Bacteriología, Instrumental, Plancton y Químico Sanitario.

2) Se identificaron los reactivos involucrados en los análisis, mediante la revisión bibliográfica de los Métodos Estandarizados para el Examen de Aguas y Aguas residuales, 2011 o Método Comercial HACH, 2008 según el caso.
3) Se extrajo los volúmenes de los reactivos y volumen de la muestra de agua a evaluar por análisis, de acuerdo a la metodología empleada en cada caso.
4) Se estimó el volumen de muestra de desecho a través de la cantidad en litros de reactivos y muestra de agua determinados con anterioridad.
5) Se corroboró el volumen estimado mediante entrevistas no estructuradas con el personal de cada área.

Análisis de los aspectos ambientales suscitados en el Laboratorio Carabobo

Por medio de la elaboración de un diagrama de causa-efecto se determinaron las posibles causas que ocasionan los aspectos ambientales considerados para el Laboratorio Carabobo. Se establecieron como prioritarios aquellos aspectos que generan mayor impacto ambiental en las actividades realizadas en el laboratorio en lo concerniente al Decreto 3.219.

Variables consideradas en la elaboración del diagrama fueron:

- Medición: se refiere a los desechos líquidos a evaluar.
- Materiales: involucra a los reactivos o sustancias peligrosas empleadas, gasto de energía, detergentes y suministro de agua.
- Método: contiene la metodología utilizada en los análisis, disposición final y tratamiento de los desechos líquidos generados.
- Maquinaria: se relacionaron los equipos e instrumentos utilizados en los análisis que se llevan a cabo en el Laboratorio Carabobo.
- Medio ambiente: se consideraron las variables ambientales que pueden afectar las actividades realizadas en el Laboratorio Carabobo.

3.2.2. Clasificación de los desechos líquidos generados de acuerdo a la normativa ambiental vigente

Identificación de la peligrosidad de los reactivos utilizados en el Laboratorio Carabobo

Con el inventario de reactivos utilizados en el Laboratorio Carabobo, se identificó la peligrosidad de los mismos según lo estipulado en el Decreto 2.635 y Norma Covenin 3060:2002.

A través de la revisión de las hojas de seguridad de los reactivos, se estableció la clasificación NFPA 704. Adicionalmente, se clasificaron mediante la metodología del sistema SAF-T-DATA, que incluye la codificación de reactivos por colores según su peligrosidad.

Clasificación del laboratorio según su peligrosidad

Para la clasificación del Laboratorio Carabobo, se partió de los reactivos o sustancias peligrosas dispuestas en el área de almacén, que fueron determinados con anterioridad y la información extraída de las hojas de seguridad. Se efectuó la clasificación siguiendo las especificaciones del Sistema de las Naciones Unidas (ONU) para dar cumplimiento al Decreto 2.635. Adicionalmente, se clasificó según el sistema la Asociación Nacional de Protección contra Incendios "National Fire Protection Association" (NFPA) y por último, se clasificaron los reactivos por colores de acuerdo con el SAF-T-DATA, sistema estándar de identificación y seguimiento de reactivos por peligrosidad.

Siguiendo la misma metodología, se clasificaron según su peligrosidad las áreas de Fisicoquímica, Plancton, Instrumental, Químico Sanitario y Bacteriología. Para ello se partió de los reactivos utilizados en los análisis efectuados en cada área y de las características que presentaron.

Clasificación de los desechos según su peligrosidad

Se realizó según lo establecido en el Decreto 2.635. Lográndose a través de la identificación de los reactivos o sustancias peligrosas involucradas en los análisis, que fueron extraídas previamente de la metodología de análisis y de las características de peligrosidad suministradas en las hojas o fichas de seguridad de los reactivos. Con esta información se determinó la peligrosidad global del desecho en cuestión.

Adicionalmente, se calculó el porcentaje en volumen de los reactivos involucrados en el desecho (ecuación B.1, apéndice B). Para dicho cálculo, se partió del volumen total de la muestra de desecho y de los volúmenes de los reactivos utilizados por análisis, los cuales fueron determinados anteriormente mediante la identificación y revisión de las metodologías empleadas.

Determinación de la frecuencia de descarga de los desechos líquidos en los drenajes

La frecuencia de descarga o caudal de los desechos líquidos se determinó con el volumen estimado de las muestras de desecho por análisis y la programación correspondiente al número de muestras del estado Carabobo. La programación es distinta para cada parámetro evaluado y varía en función de los requerimientos de la empresa, por lo general cambia de forma anual. En consecuencia, para este cálculo se utilizó la que coincidía con el tiempo de elaboración de la presente investigación.

La frecuencia de descarga de los desechos líquidos se determinó de forma anual y se dividió entre doce meses para tener un estimado mensual. Logrando obtener una visión general de la contaminación propiciada por los mismos y de esta forma, generar alternativas que mitiguen el impacto ambiental causado.

Selección de los desechos líquidos más contaminantes

Se seleccionaron los análisis cuyos desechos líquidos generados fueron los más contaminantes. Los criterios de selección fueron la peligrosidad del desecho y la frecuencia de descarga del mismo. Se establecieron como prioritarios, o más contaminantes, aquellos desechos cuyas características de peligrosidad generen mayor impacto ambiental y que sean descargados a los desagües con mayor frecuencia.

Elaboración de la matriz para los desechos líquidos a caracterizar

Para ello se empleó una matriz de selección, en la cual se estableció como criterios de selección: la peligrosidad del desecho, frecuencia de descarga, facilidad de recolección de la muestra y posible tratamiento; donde se fijó una escala de valores que permitió ponderar cada criterio y así realizar comparaciones entre los resultados obtenidos de cada desecho, para la selección de aquellos que ameriten ser caracterizados.

Mediante una matriz de selección, se evaluaron los análisis para la sección de los desechos a caracterizar. Se empleó una ponderación del 1 al 3, siendo este último el valor más alto, de los siguientes criterios:

- *Peligrosidad del desecho*

Con la clasificación de peligrosidad y porcentaje en volumen de los reactivos o sustancias peligrosas en el desecho. Se ponderó con 1 aquellos cuya sumatoria fue menor a 10% v/v, entre (10- 20) %v/v se le fijó el valor 2 y por encima de 30%v/v se le asignó 3.

- *Frecuencia de descarga*

Los desechos cuya frecuencia de descarga mensual se encontraba por debajo de 1 L se le asignó el valor de 1, entre 1 L y 10 L le corresponde el valor de 2 y por encima de 10 L se asignó con 3.

- *Facilidad de recolección de la muestra*

Consiste en el material y disponibilidad del recipiente para la recolección y preservación de la muestra a caracterizar. El material del recipiente se determinó con lo establecido en la Norma Covenin 2709:2002. Se le asignó el valor de 1 a recipientes de vidrio ámbar, el valor de 2 a recipientes de plástico y 3 cualquiera de los anteriores.

- *Posible tratamiento*

Se enfoca en las características de peligrosidad del desecho. Mientras mayor sea la peligrosidad, más complejo será el posible tratamiento. Se le otorgó el valor de 1 a los análisis cuyos desechos contenían 1 característica de peligrosidad, 2 y 3 a aquellos que tenían 2 y 3 características de peligrosidad respectivamente.

Así mismo, se asignó un porcentaje a los criterios a evaluar. Finalmente, los análisis cuyos desechos ameritaban ser caracterizados, fueron aquellos que arrojaron mejores resultados, es decir, los que presentaron el total más alto.

Análisis de resultados

El análisis de resultados se basó en la interpretación de los criterios establecidos en la matriz, basado en la ponderación obtenida, limitaciones de la investigación y necesidades de la empresa.

3.2.3. Caracterización de los desechos líquidos generados para realizar la selección de los más contaminantes de acuerdo a su peligrosidad

Selección del tipo y tiempo de recolección de las muestras

El tipo de recolección de muestras fue de tipo compuesta a volumen constante, según lo establecido en la Norma Covenin 2709:2002. Para la preparación de la muestra compuesta, se tomaron submuestras durante el período de muestreo. El tiempo de muestreo se basó en la frecuencia de descarga del desecho al drenaje.

El período de recolección se pautó para un mes, ya que en ese período se evaluaban los parámetros de calidad del agua de diversas zonas pertenecientes al estado Carabobo. Seguidamente, se unieron las muestras individuales recolectadas de forma semanal, para formar una muestra compuesta por cada desecho, y así efectuarle su respectiva caracterización. Las muestras individuales fueron refrigeradas en una nevera para lograr su preservación durante el tiempo de captación.

Recolección de la muestra

La modalidad de recolección de la muestra fue de tipo manual, debido a que no requirió ningún equipo para su realización y fue ejecutada directamente por los analistas de los laboratorios. La cantidad de muestra recolectada depende del número de parámetros a evaluar. Los recipientes utilizados fueron envases de plástico, los cuales fueron almacenados a condiciones adecuadas durante la recolección de las muestras.

Selección de los análisis a realizar de acuerdo a lo establecido en la normativa ambiental

Los parámetros a evaluar de los desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo, se determinaron mediante el análisis de las características de peligrosidad del desecho y lo establecido en el Decreto 3.219.

Los parámetros seleccionados fueron los mínimos necesarios para comprobar que dichos desechos son contaminantes, para ello se consideró la disponibilidad de materiales, reactivos y equipos para la ejecución de los mismos, así como la facilidad de acceso a los laboratorios en la empresa.

Realización de los análisis

Se contó con el apoyo de Hidrocentro, donde se efectuaron los análisis correspondientes a la caracterización de los desechos líquidos. La determinación de los metales se hizo en el Laboratorio de Análisis Instrumental. Los parámetros fisicoquímicos, tales como color, pH y turbidez se realizaron en el Laboratorio de Fisicoquímica, mientras que los sólidos totales, disueltos, suspendidos y DQO se hicieron en el Laboratorio Químico Sanitario.

Comparación y análisis de los resultados obtenidos

Para la comparación de los resultados obtenidos, se realizó un cuadro comparativo de los resultados arrojados en la caracterización de los desechos con respecto a los valores permitidos en el Decreto 3.219. Mediante el análisis de las discrepancias encontradas, se procedió a la generación de las alternativas de tratamiento para los desechos líquidos en estudio.

3.2.4. Propuestas de alternativas para el manejo adecuado de los desechos seleccionados para mitigar el impacto ambiental que estos generan

Revisión bibliográfica de las diversas tecnologías de tratamiento de desechos líquidos

Para ello se realizó una investigación detallada en diversos textos universitarios de tratamiento de aguas residuales, tales como el Rivas Mijares, 1978 y Arboleda, 2000; revisión de revistas tecnológicas sobre el tratamiento de desechos químicos y por último, consultas con expertos en el área y tutores, sobre las tecnologías adecuadas para el tratamiento, almacenamiento y recuperación de los desechos líquidos seleccionados.

Interpretación y contextualización de la información obtenida

Mediante el análisis de las tecnologías de tratamiento y otras alternativas, se estableció cuáles de estas se adaptaban a las características los desechos líquidos seleccionados y requerimientos de la empresa acorde lo establecido en el Decreto 3.219.

Desarrollo experimental de las alternativas de tratamiento

De acuerdo a la disponibilidad de reactivos, equipos y laboratorios, se procedió a realizar la evaluación experimental de algunas de las alternativas de tratamiento planteadas. Se realizó una prueba de simulación físico-química o prueba de jarras de los desechos mezclados en

proporciones establecidas. Esta mezcla fue caracterizada inicialmente considerando los parámetros de interés. Posteriormente, el desecho resultante de la prueba fue nuevamente evaluado y vuelto a tratar mediante una filtración con carbón activado. Este procedimiento se realizó por triplicado y el resultado que presentó menor turbidez y remoción de color, se le determinó la DQO. Siguiendo este mismo procedimiento, se evaluó una mezcla de desecho sin previo tratamiento.

Generación de alternativas de tratamiento para los diferentes desechos seleccionados

Para la generación de alternativas de tratamiento de los desechos líquidos, se consideró el volumen y características peligrosidad del desecho, contaminantes que se desean remover, tecnología de tratamiento para la adecuada disposición final del mismo, procedimientos de la tecnología, insumos necesarios para la misma, mantenimiento y espacio físico disponible.

Se verificó los procedimientos existentes de las pruebas de simulación físico-química de las alternativas generadas, para la obtención de los parámetros operativos a considerar en el diseño de la misma. Así como, la determinación de la eficiencia de las alternativas en cuanto la eliminación de la carga contaminante de los desechos, con la finalidad de adaptar los parámetros de los desechos líquidos descargados a los requerimientos ambientales establecidos en el Decreto 3.219.

Presentación de las alternativas de tratamiento

Se presentaron las características generales de las alternativas de tratamiento planteadas y mediante un cuadro comparativo se identificaron las ventajas y desventajas de las mismas.

Análisis de los resultados

Se realizó el análisis de los resultados obtenidos en el cuadro comparativo, los requerimientos de la empresa y alcance del presente trabajo, para la selección de las alternativas a ser diseñadas.

3.2.5. Diseño de las alternativas de tratamiento de los desechos que presenten mayores características de peligrosidad para que sus parámetros cumplan con la normativa vigente

Revisión bibliográfica del proceso adecuado para la alternativa seleccionada

Mediante el análisis de las características de los desechos estudiados y las alternativas seleccionadas, se empleó el Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes PDVSA, 1996, para el diseño del sistema de tratamiento. Se utilizaron los parámetros operativos arrojados de las pruebas de simulación físico-químico realizadas, indispensable para el dimensionamiento de los equipos a utilizar. Se consideraron a su vez, las variables que afectan su dimensionamiento y la eficiencia de los mismos.

Selección de las características y variables de los equipos que conforman el sistema de tratamiento

Mediante el análisis de la información bibliográfica recolectada, se seleccionaron los equipos que conformaron los sistemas de tratamiento. Se estableció la secuencia de los mismos dentro de cada sistema, importancia de cada uno y su eficiencia, la cual fue extraída de la bibliografía y obtenida de forma experimental. Adicionalmente, se determinaron las características y variables de diseño de los equipos, a partir de su funcionamiento y resultados obtenidos de la prueba de jarras.

Diseño de los equipos requeridos

Las características de los equipos se determinaron mediante la información obtenida de la revisión bibliográfica sobre las ecuaciones de diseño de los equipos, datos experimentales, teóricos y supuestos.

Presentación del diseño de los equipos requeridos

Se presentaron las características generales de los equipos diseñados de las alternativas de tratamiento propuestas mediante un cuadro descriptivo. Adicionalmente, se menciona la secuencia de los equipos diseñados dentro de los sistemas de tratamiento.

Evaluación técnica de la posible puesta en marcha del proceso

Para ello se consideraron los materiales necesarios para la puesta en marcha de las alternativas de tratamiento y los recursos disponibles por Hidrocentro para la ejecución del mismo.

3.2.6 Evaluación de la relación costo-beneficio de las alternativas diseñadas para la selección de la alternativa más viable a ser implementada

Revisión bibliográfica del procedimiento empleado para la estimación de factibilidad de proyectos lineamientos legales correspondiente al tópico tratado

Mediante la revisión bibliográfica en diversos textos especializados y consultas con expertos en el área, se determinó el procedimiento más adecuado para la estimación costo-beneficio de proyectos. Adicionalmente, se consultó la Ley Penal del Ambiente para determinar las multas y sanciones otorgadas debido al incumpliendo de los parámetros establecidos en la misma.

Determinación de los costos de los equipos a utilizar en la alternativa de tratamiento

Mediante consultas con el personal de la empresa se determinaron los equipos que tienen a su disposición para la ejecución de las alternativas de tratamiento. A partir de esta información se determinaron los costos de los equipos que no tenían a su disposición mediante cotizaciones a diversas empresas e información extraída de fuentes virtuales confiables.

Estimación de la relación costo – beneficio de la alternativa de tratamiento planteada

La relación costo-beneficio, se determinó considerando como costo la inversión inicial para la construcción de la alternativa de tratamiento y como beneficio: los costos asociados a las multas y sanciones otorgados establecidos en la Ley Penal del Ambiente en cuanto el vertido de sustancias contaminantes al ambiente.

Estimación los beneficios económicos y técnicos a corto, mediano y largo plazo de las alternativas

Para la estimación de los beneficios económicos y técnicos, se realizó un cuadro comparativo, en el cual se proyectaron las características técnicas y económicas de las alternativas diseñadas a corto, mediano y largo plazo.

Análisis de los resultados para la selección de la alternativa más viable a ser implementada

Mediante las características del proceso, el análisis de costos-beneficios de las alternativas diseñadas, así como los beneficios técnicos a corto, mediano y largo plazo se seleccionó la alternativa más viable a ser implementada por Hidrocentro. La relación de costo-beneficio se determinará mediante la ecuación B.47, contenida en el apéndice B.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de cada una de los procedimientos realizados, con el fin de analizarlos, y cumplir así con cada uno de los objetivos planteados en la investigación.

4.1. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS DE LOS ANÁLISIS DEL AGUA DEL ESTADO CARABOBO EN EL LABORATORIO CARABOBO DE LA HIDROLÓGICA DEL CENTRO C.A.

Hidrológica del centro C.A es una empresa pública de abastecimiento de agua potable y recolección de aguas servidas, la cual presta servicios a la Región Central de Venezuela, específicamente en los estados Aragua, Carabobo y Cojedes, y se encuentra distribuida físicamente en estos estados. Las muestras de aguas crudas y residuales de los tres estados son analizadas en el Laboratorio Carabobo, ubicado en la Urb. Terrazas de los Nísperos, Valencia.

En el Laboratorio Carabobo se realizan análisis de muestras de los pozos, ríos, embalses, redes y plantas de tratamiento concernientes a la empresa. Estos análisis son indispensables para aplicar el tratamiento necesario y mantener un control adecuado para garantizar la calidad del agua. En consecuencia, dicho laboratorio se compone de cinco áreas en los cuales se realizan análisis de naturaleza química, esta distribución se presenta en la figura 4.1.

Para que la estructura organizativa del Laboratorio Carabobo disponga de un adecuado funcionamiento, se cuenta con diversas áreas, estas son:

- *Área de balanzas*

Es el área destinada al pesaje de muestras. Se encuentra aislado de las corrientes de aire y vibraciones que entorpezcan el pesaje, con el propósito de garantizar la veracidad y confiabilidad de las mediciones realizadas. Además, se cuenta con una programación de calibración interna de las balanzas y se lleva un registro de las pesadas realizadas, con la finalidad de detectar y solucionar las averías que pudieran presentarse.

- *Almacén de los reactivos*

El almacén de reactivos cumple con las normativas de seguridad establecidas por la ley, en cuanto al espacio, ventilación y disposición de extintores, todo esto avalado por los bomberos. Sin embargo carece de salidas de emergencias, kit de absorbentes, ducha lava ojos, entre otros.

- *Almacén de desechos peligrosos*

Se encuentra alejado del almacén de reactivos y en él se dispone de los desechos que son almacenados por ser severamente contaminantes.

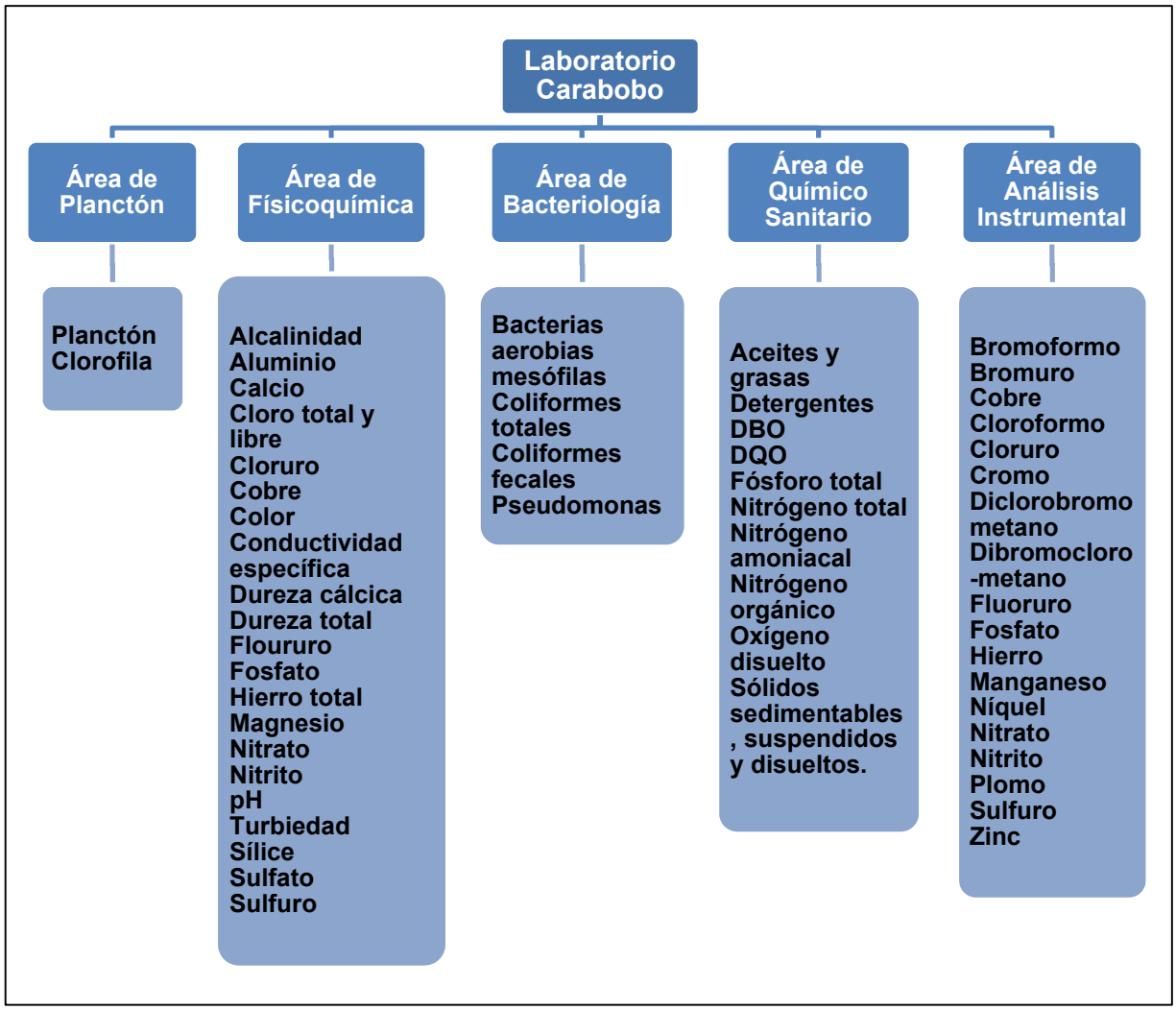


Figura 4.1. Estructura organizativa del Laboratorio Carabobo. Fuente: Manual de Gestión de la Calidad, 2011.

4.1.1. Identificación de los aspectos ambientales

Áreas que conforman al Laboratorio Carabobo

Debido a las limitadas importaciones de reactivos a nivel nacional, alto costos de los mismos y disminución de presupuestos a la empresa, muchos de los análisis que se realizaban con antelación en los laboratorios disminuyeron su frecuencia o dejaron de realizarse, lo cual se detalla en la tabla 4.1, así como el estudio de cada laboratorio.

Tabla 4.1. Diagnóstico del Laboratorio Carabobo.

Diagnóstico Área	Disposición de los desechos líquidos	Análisis que no se están realizando en la actualidad	Limitaciones
Fisicoquímica	Los desechos líquidos generados de todos los análisis son desechados en un mismo desagüe.	Cloruro, cobre, fluoruro, magnesio, manganeso, sulfuros y zinc.	-Fuera de servicio: la campana de extracción y el acuatester productor de agua destilada. -Curvas de calibración del espectrofotómetro obsoletas.
Bacteriología	Son desechados en el desagüe, pero previamente son tratados en un autoclave (a 120 ºC) con el fin de esterilizar los desechos.		
Químico Sanitario	Los desechos producidos de los análisis: de aceites y grasas, detergentes y DQO son almacenados. El resto son vertidos al desagüe, al igual que las soluciones patrones utilizadas para las curvas de calibración, las cuales se realizan una vez al mes.	Nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico.	
Análisis Instrumental	Los análisis son realizados una vez al mes. Adicionalmente, por cada análisis se preparan soluciones patrones que son vertidos al desagüe.	Bromuro, cloroformo, cloruro, diclorobromometano, dibromoclorometano, fluoruro, fosfato, níquel, nitrato, nitrito y sulfuro.	
Plancton	Los desechos líquidos de todos los análisis son vertidos al desagüe.		Falta de espacio para el almacenamiento de las muestras.

En vista de que la gran mayoría de los desechos líquidos de los diversos análisis realizados en el Laboratorio Carabobo son desechados en el drenaje, se realizó una lista de chequeo donde se especificaron los análisis cuyos desechos líquidos son almacenados, tratados en el autoclave o son descargados directamente al desagüe (ver tabla A.1 apéndice A), con el propósito de tener una visión general de la situación ambiental actual en dicho laboratorio.

En consecuencia a la información recolectada, se logró levantar un análisis de las causas críticas de la contaminación producida en el laboratorio, por un Diagrama de Pareto. Originando que la descarga de desechos líquidos al drenaje es una causa crítica de contaminación ambiental, representando un 78% de los desechos generados en los laboratorios, tal como se presenta en la figura 4.2.

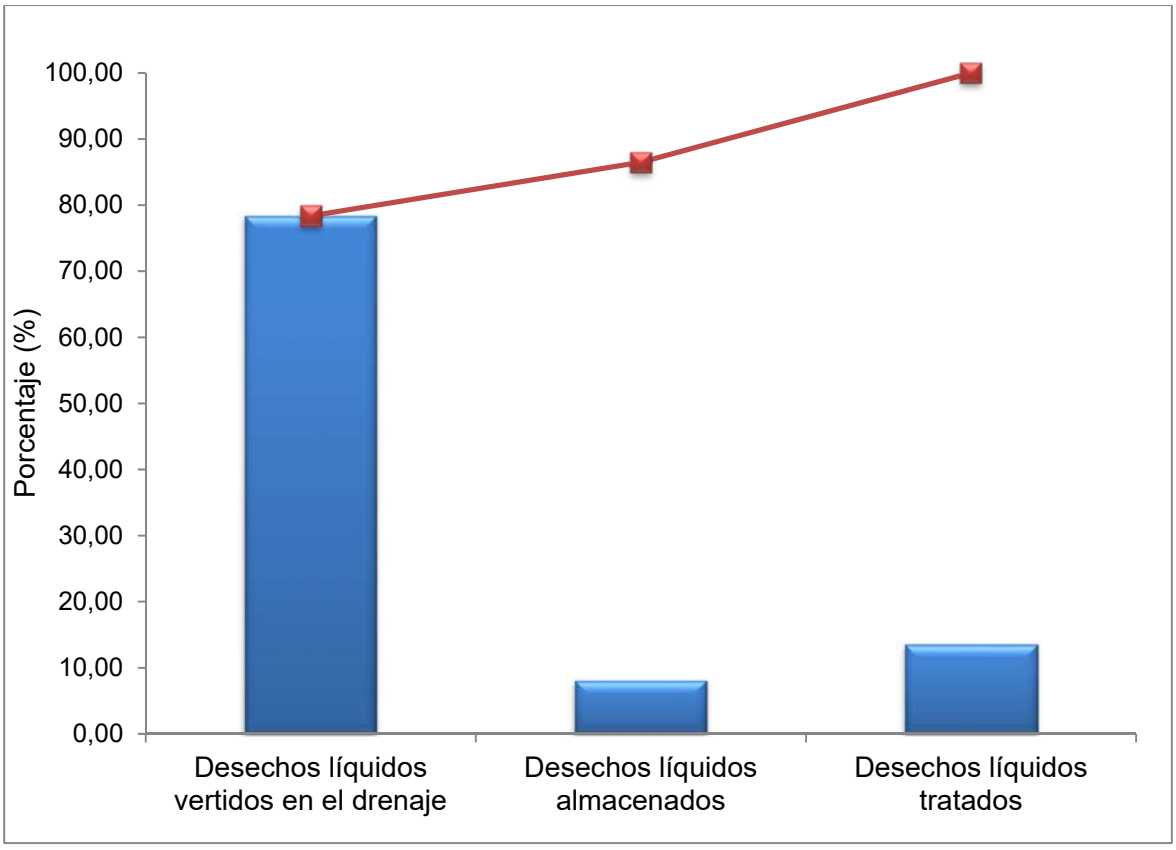


Figura 4.2. Diagrama de Paretto de disposición final de los desechos del laboratorio Carabobo.

A través de la figura 4.2 se hace notar el gran impacto proporcionado por los desechos vertidos al desagüe, sugiriendo de esta manera el desarrollo de alternativas para la adecuada

disposición final de estos con el fin del mejoramiento de la situación ambiental del laboratorio, así mismo se prioriza los desechos líquidos de interés para seguir el rumbo de la investigación.

Almacén de reactivos

Siguiendo el diagnóstico de las áreas que conforman el Laboratorio Carabobo, se inspeccionó el almacén de reactivos. A primera instancia se observó que dicha área se encuentra sucia, desordenada y tiene una disposición inadecuada de los envases, donde los recipientes más grandes se encuentran en las partes superiores de los estantes y más pequeños en la inferior, como se muestra en la figura 4.3.

Figura 4.3. Disposición inadecuada de los reactivos en los estantes.

Esta disposición inadecuada de reactivos, promueve la ocurrencia de accidentes laborales, debido a las condiciones inseguras del área. Para ello se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Colocar bandejas colectoras en los estantes.
- ✓ Asegurar el estante a la pared, para evitar el desplazamiento de los recipientes.
- ✓ Llenar el estante de tal manera que los recipientes que contienen líquidos y sean de mayor capacidad vayan en la parte de abajo, los frascos altos hacia atrás y los pequeños adelante. Los productos más peligrosos abajo y los menos peligrosos arriba.
- ✓ Disponer de una ventilación adecuada en el área de almacenamiento y procurar que la luz solar no incida directamente en los reactivos.

Además se observó que el método de almacenamiento de los reactivos no cumple con lo exigido en el decreto 2.635, que corresponde al sistema de las Naciones Unidas denominado Sistema Global Armonizado, el cual consiste en asignar a cada producto químico una clasificación que determina su peligrosidad, (Haddad *et al*, 2013).

El almacenamiento de sustancias peligrosas establecido por la ONU indica que se debe almacenar los reactivos según su compatibilidad, tal como se especifica en la tabla 4.2. Debido al limitado espacio y al stock voluminoso del almacén de reactivos, se propone utilizar un sistema de estanterías intercalado. Empleando como separadores las sustancias inertes de las incompatibles, además de reservar estanterías para reactivos clasificados bajo una misma peligrosidad critica, tales como las sustancias inflamables, explosivas, entre otros.

Tabla 4.2. Compatibilidades en el almacenamiento de productos químicos según la ONU

Clase	1	2.1	2.2	2.3	3.1	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6	7	8	9
1														
2.1														
2.2														
2.3														
3.1														
4.1														
4.2														
4.3														
5.1														
5.2														
6														
7														
8														
9														
	Pueden almacenarse juntos.													
	Precaución. Revisar incompatibilidades individuales.													
	Puede requerirse almacenarse separados. Son incompatibles.													

Fuente: Asociación de Consejeros de Seguridad de Navarra, 2014.

Seguidamente, se inició con una revisión del etiquetado de los reactivos, donde algunos de ellos carecían de pictogramas de riesgo o fecha de vencimiento; otros contaban con una fecha de expedición ya caducada. En la figura 4.4 se muestra que el 81% de los reactivos no indica fecha de vencimiento, el 18% de los reactivos se encuentran vencidos y solo 1% están vigentes.

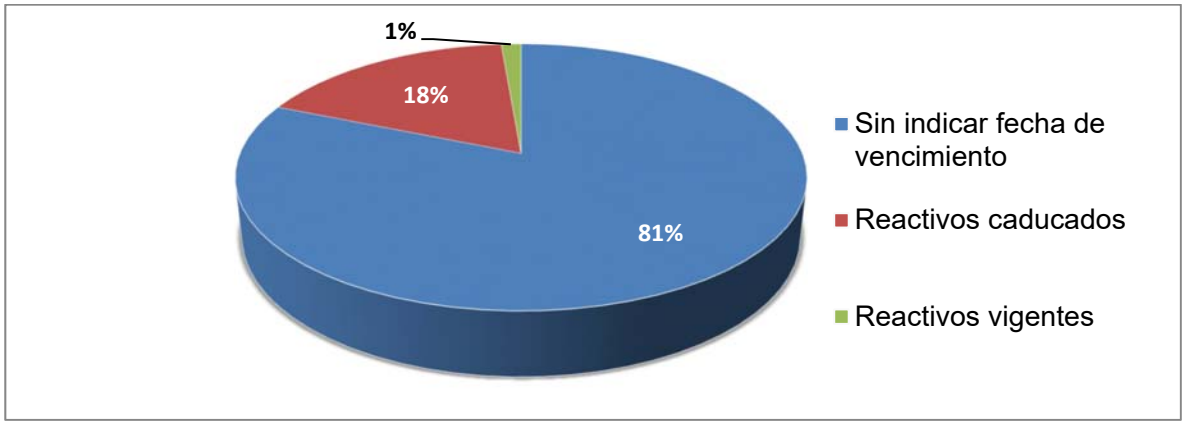


Figura 4.4. Inventario de reactivos vencidos en el almacén.

Para los reactivos cuya fecha de vencimiento se encuentra expirada o no posea fecha de vencimiento, deben identificarse, inspeccionarse y ser trasladados a un almacén provisional, mientras se realiza la gestión necesaria para su reubicación a otras instituciones. En el caso de reactivos que se encuentren contaminados, deben tratarse como desecho peligroso y seguir las indicaciones establecidas en el de Decreto 2.635.

Para evitar la acumulación de reactivos vencidos en el almacén, se sugiere elaborar un control digital de las cantidades existentes en stock y realizar un estudio de trazabilidad de los reactivos almacenados, con la finalidad de evaluar la eficiencia de los mismos, y en función a esto proponer fechas tentativas para su disposición final.

Almacén de desechos

El almacén de desechos se encuentra en la parte superior del edificio de la empresa, como no se lleva ningún seguimiento de las cantidades de desechos almacenados, se elaboró un inventario de los desechos que son almacenados para determinar su situación actual (ver tabla A.2, apéndice A). Obteniéndose que en dicha área, se almacenan los residuos de los análisis realizados con la metodología comercial HACH, muchos de estos ya vencidos. También se almacenan de los desechos de los ensayos de DQO y detergentes, los cuales carecían de identificación.

En vista de esto, se recomendó llevar un control de los desechos almacenados para verificar su disposición final acorde a lo estipulado en el Decreto 2.635:

- ✓ Siguiendo las exigencias del artículo 12, cuando el material peligroso no esté envasado, ni plenamente identificado o presente contaminación, se exigirá una caracterización donde se determine la factibilidad para su recuperación.
- ✓ Los desechos se pueden reusar, reciclar o regenerarse, siempre y cuando sea bajo condiciones seguras, artículo 13. Teniéndose los siguientes casos:

  -Lubricantes, grasas o solventes pueden ser estudiados para su reuso.

  -Aceites y solventes se pueden aprovechar para fabricar otras sustancias.

  -En caso de vertidos líquidos, solventes halogenados o cualquier otro desecho podrán ser recuperados en caso de demostrar su posible regeneración.

- ✓ Cuando se ha demostrado que el desecho no es recuperable o al cabo de tres años de su generación no se haya procedido a reutilizar, reciclar o aprovechar de cualquier manera, será tratado como un desecho peligroso. Por lo cual, se deberán estudiar la disposición final de estos por medio de operaciones como: deposición en suelo teniendo previo tratamiento, vertidos o depósito en el mar, con previo tratamiento, tratamiento biológico, tratamiento físico-químico, incineración (destrucción térmica), almacenamiento o confinamiento permanente, entre otros (según artículo 14, 15 y 30).

También se deben tomar ciertas consideraciones en el almacenamiento temporal de desechos, para dar cumplimiento al artículo 40 del mencionado Decreto.

- ✓ Los desechos que son almacenados deben estar de envasados en recipientes que se adapten a sus características. Deben estar rotulados con la identificación del desecho, nombre del generador, fecha en la cual fueron envasados, cantidad contenida y símbolo de peligrosidad.
- ✓ El área de almacenamiento debe estar provista de señalización de peligros y estar separada de las áreas de producción, servicios, oficinas, almacenes de materia prima y productos terminados. Así como, estar alejados de fuentes de calor y áreas propensas a derrumbes, inundaciones, entre otros.
- ✓ Si se trata de desechos líquidos, el almacén debe contar con muros de contención, sistemas de drenaje, fosas de captación para impedir derrames y pisos de material

impermeable. Así mismo, debe estar provisto con un sistema de detección y extinción de incendios.

- ✓ La ventilación del área de almacenamiento debe ser preferiblemente natural con un sistema de iluminación, lejos de la intemperie.
- ✓ La disposición de los envases debe ser acorde con la incompatibilidad de los desechos. Los incompatibles, deben almacenarse en áreas aisladas o separadas físicamente para evitar accidentes.

Aunado al estudio de las áreas ya tratadas, se recolectó y procesó información acerca de la metodología empleada para cada ensayo en los laboratorios, a fin de conocer los reactivos constituyentes de los posibles desechos a tratar, se determinó que utilizan dos tipos de metodologías:

- o *Metodología comercial HACH (HACH Company, 2008)*

Emplea dosis exactas de reactivos, concentrados en empaques (sobres o viales) que permiten determinar ciertos parámetros del agua siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante.

- o *Metodología estandarizada para el examen de agua y aguas residuales (American Public Health Association, 2011)*

Es un compendio de metodologías recomendadas para el análisis de los parámetros del agua. Contiene la dosificación de reactivos e instrumentos y equipos a utilizar según sea el caso. En la tabla A.3 del apéndice A, se muestra los diferentes análisis desarrollados con las metodologías, a partir de los cuales se analizaron los reactivos constituyentes del desecho por análisis realizado.

A partir de los reactivos utilizados y dosificación de los mismos según la metodología utilizada en cada análisis, se obtuvo el volumen en litros del desecho generado en cada análisis tal como se logra ver en la figura 4.5. Adicionalmente, se levantó un inventario del almacén de reactivos, con la finalidad de determinar las características de peligrosidad del Laboratorio Carabobo.

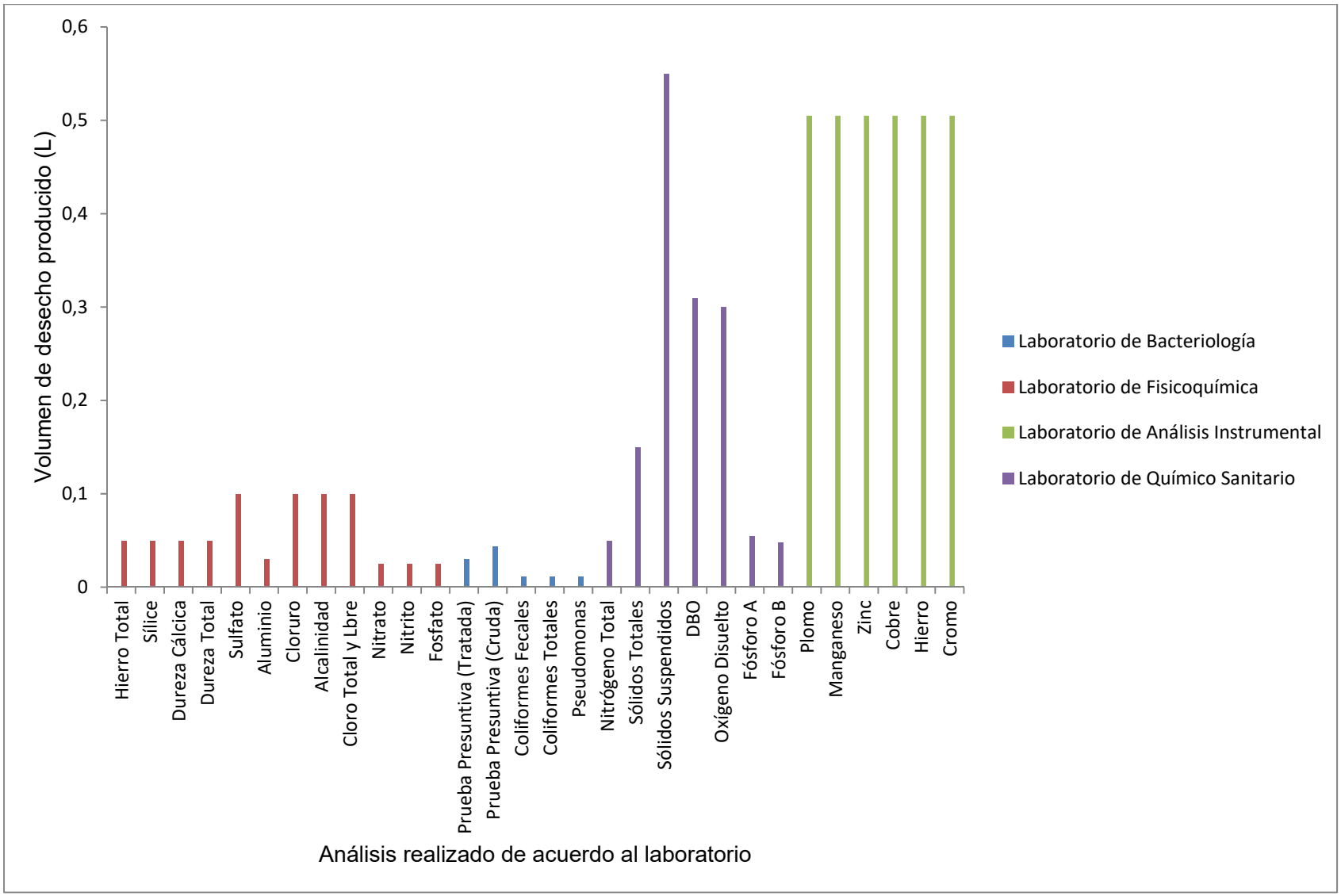


Figura 4.5. Volúmenes de desecho producidos por cada ensayo realizado en las secciones del Laboratorio Carabobo.

Con la figura anterior se logra observar que los desechos con mayor descarga en cuanto al volumen producido por ensayo, son los de los laboratorios de Químico Sanitario y Análisis Instrumental, en el primero los ensayos de sólidos suspendidos, DBO y oxígeno disuelto presentan volúmenes de 0,55; 0,31 y 0,30 litros respectivamente. Mientras que en el segundo laboratorio mencionado todos los ensayos que se realizan producen volúmenes de 0,55 litros aproximadamente. Se podría decir que los volúmenes producidos por ensayo en los laboratorios de Fisicoquímica y Bacteriología no son representativos en comparación a los demás.

Cabe destacar que los desechos producidos en el laboratorio de Plancton no son tomados en cuenta en el gráfico debido a que los volúmenes sobrepasan exponencialmente a los presentes en este, por lo cual supondría una herramienta poco adecuada para la observación de los volúmenes por desecho. Los ensayos hechos en este laboratorio son el de Fitoplancton, el cual produce un volumen de desecho de 0,90 litros por cada punto realizado aproximadamente, mientras que el segundo ensayo realizado es el de Clorofila, el cual produce un volumen de desecho aproximado 5 litros.

4.1.2. Selección de los aspectos que contribuyen significativamente a la contaminación por parte de los desechos líquidos del Laboratorio Carabobo

Con el fin de seleccionar los aspectos ambientales más críticos o significativos en la contaminación del laboratorio, se elaboró un diagrama causa efecto, con el cual se analizaron las causas que generan el problema de contaminación en el laboratorio, es decir, se estudió la relación existente entre los aspectos ambientales y el impacto generado por estos. De esta forma se estableció como aspecto crítico la descarga directamente en el desagüe de los desechos líquidos y los reactivos utilizados en los análisis o ensayos que se realizan, ya que esta acción no tienen control ni regulación por la empresa, ocasionando un impacto negativo al ambiente y a la salud de los trabajadores. Este diagrama se puede observar en la figura 4.6.

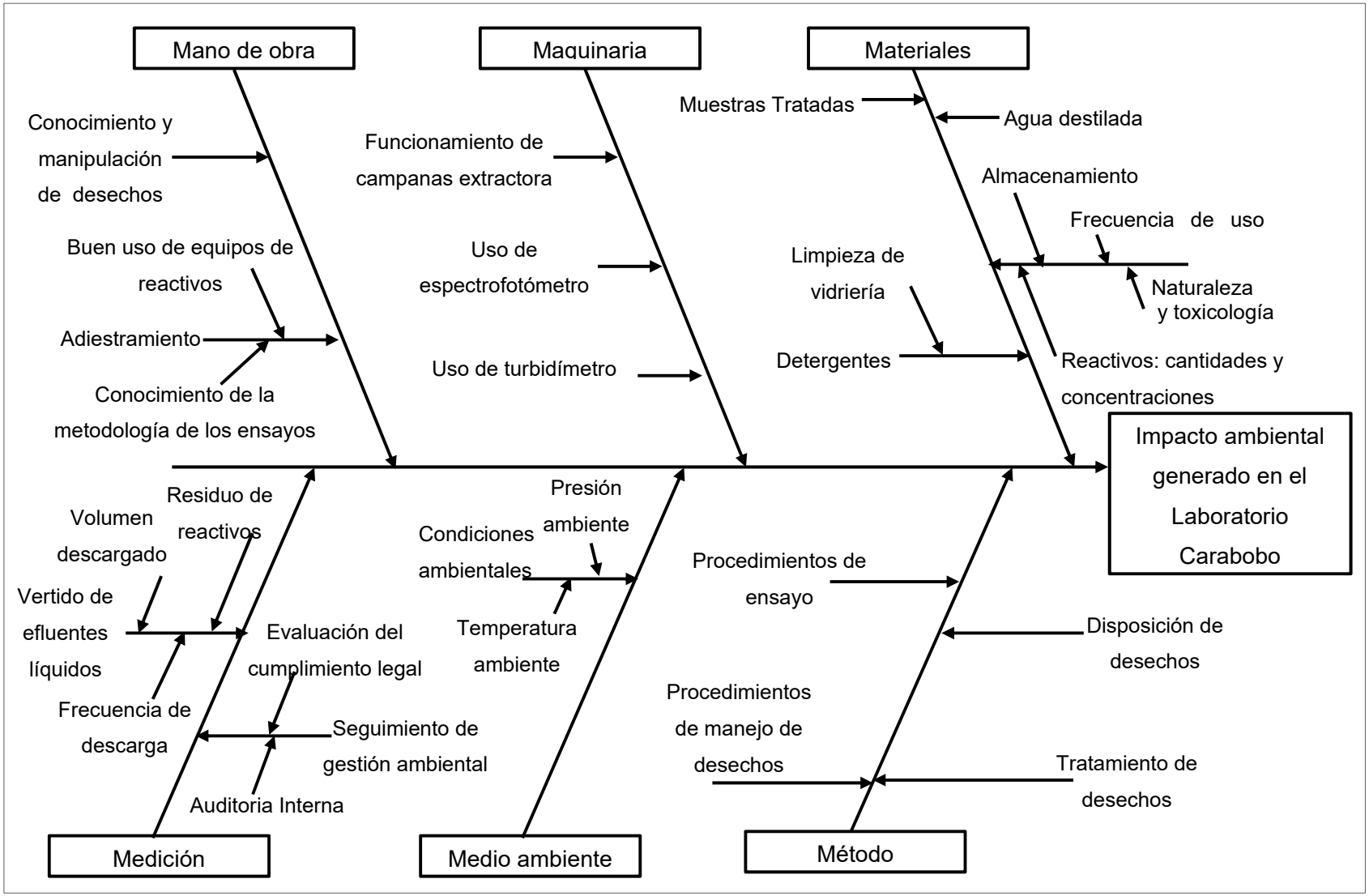


Figura 4.6. Diagrama causa – efecto de los aspectos ambientales del Laboratorio Carabobo.

4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS DE ACUERDO A LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE

4.2.1. Clasificación del Laboratorio Carabobo

Mediante la clasificación de peligrosidad de los reactivos utilizados en los análisis realizados en el Laboratorio Carabobo, se obtiene la clasificación general de peligrosidad de dicho laboratorio mostrado en la figura 4.7. Donde se puede observar que el 48% de los reactivos utilizados son de bajo riesgo, el 45% de los reactivos poseen características propias de los materiales o sustancias peligrosos, por lo que representan un riesgo para el personal de la empresa y el ambiente, por último el 7% de los reactivos no se encuentran regulados por la ley.

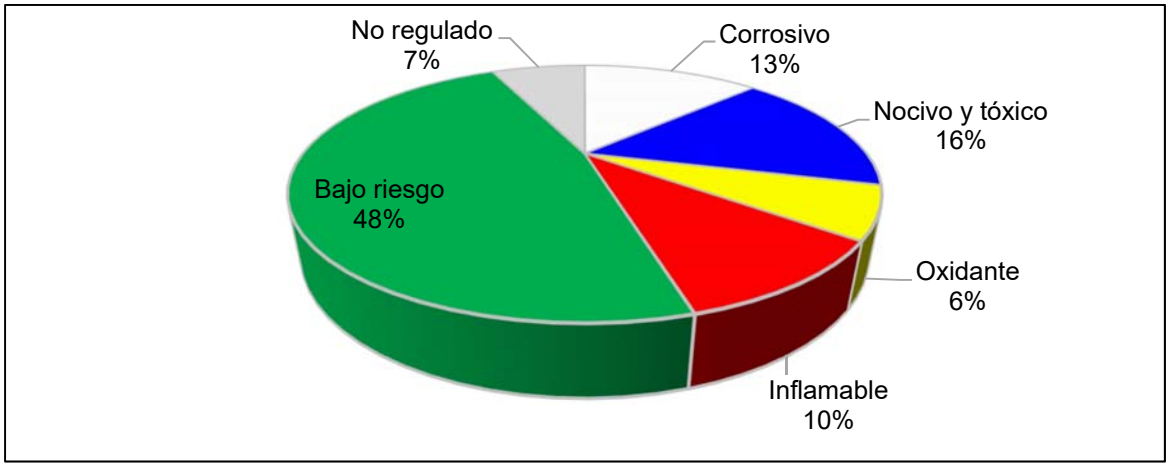


Figura 4.7. Clasificación del Laboratorio Carabobo según su peligrosidad.

A pesar de que gran parte de los reactivos empleados presentan bajo riesgo, se debe garantizar el uso y manejo de tales sustancias en salvaguarda de la salud y el ambiente. Disponiendo procedimientos que permitan reducir al mínimo los riesgos. De la misma forma, elaborar procedimientos de prevención que minimicen la generación de desechos o realizar una disposición adecuada de los mismos, tal como se indica en la Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, y el Decreto 2.635.

En la clasificación respectiva al sistema de las Naciones Unidas mostrada en la figura 4.8, el 90% de los reactivos empleados en el Laboratorio Carabobo no poseen regulación alguna. Sin embargo, se obtiene mayor frecuencia en la clase 6.1, que corresponde a las sustancias tóxicas. Estas son capaces de provocar la muerte, lesiones graves o daños a la salud humana

cuando se ingieren, inhalan o si entran en contacto con la piel, de la misma forma son sustancias que perjudican potencialmente al ambiente, (Hadded et al, 2013).

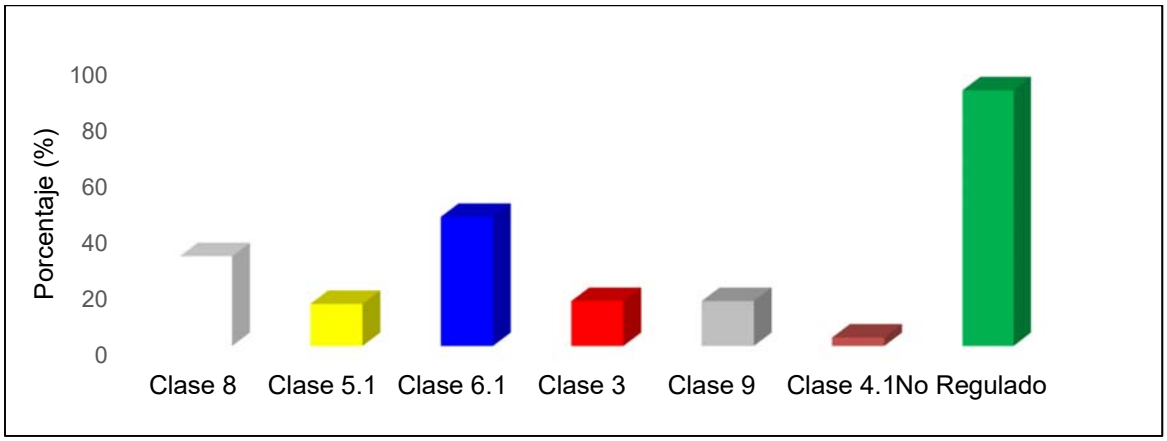


Figura 4.8. Clasificación del Laboratorio Carabobo según el sistema de ONU.

Los reactivos con clases 5.1, 3 y 9 ocupan alrededor del 10% de las sustancias peligrosas utilizadas en el Laboratorio Carabobo, esta clasificación corresponde a sustancias oxidantes, líquidos inflamables y materiales peligrosos diversos respectivamente. Así mismo, el 30% de los reactivos tienen clase 8 correspondiente a las sustancias corrosivas.

La clasificación del Laboratorio Carabobo en lo concerniente al NFPA 704, se presenta en la figura 4.9.

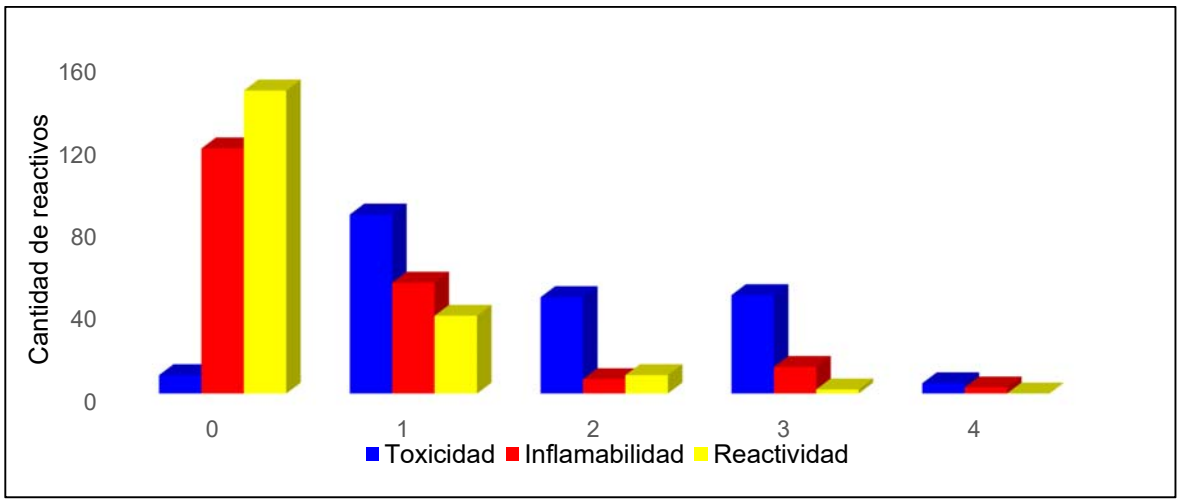


Figura 4.9. Clasificación del Laboratorio Carabobo según el sistema NFPA.

En esta clasificación se representa visualmente la información de peligrosidad del Laboratorio Carabobo en función de tres categorías de riesgo: para la salud, inflamabilidad y reactividad. Adicionalmente, se presenta una escala numérica siendo 0 el valor más bajo (representa menos riesgo) y 4 el valor más alto (representa mayor riesgo). Las características de peligrosidad de la mayoría de los reactivos en el Laboratorio Carabobo son de bajo riesgo, sin embargo se observa un número significativo de reactivos con características de peligrosidad, con tendencia de riesgo a la salud y por supuesto, al ambiente.

4.2.2. Clasificación de las Áreas que conforman al Laboratorio Carabobo

El Laboratorio Carabobo, es una entidad donde se lleva a cabo gran variedad de análisis para la determinación de la calidad del agua, para ello cuenta con diversas áreas donde se efectúan cada uno de estos. Dependiendo del área y los parámetros que en él se determinan, se emplea reactivos específicos, que son considerados sustancias peligrosas. Debido a esto, clasificarlos según su peligrosidad permite identificar aquellos cuyo manejo sean más perjudiciales al ambiente y a la salud de los trabajadores que laboran en el área.

Siguiendo la misma metodología de clasificación empleada para el Laboratorio Carabobo, se catalogaron según su peligrosidad a las diferentes áreas que lo conforman, para dar cumplimiento al Decreto 2.635. La clasificación de los laboratorios por el sistema de la ONU y NFPA se encuentra en el en el apéndice A.

Área de Bacteriología

Se determinó las características de peligrosidad del Área de Bacteriología según el Decreto 2.635, resultando que se encuentra en la clase 2 en los niveles de riesgos otorgados en el dicho decreto. Este corresponde a las sustancias líquidas que no son inflamables, ni reactivos, ni tóxicos, ni perdurable en el ambiente, es decir son sustancias de bajo riesgo que representan el 88% de los reactivos usados. Así mismo, solo el 4% corresponde sustancias corrosivas y el 8% sustancias no reguladas, como se muestra en la figura 4.10. También se efectuó la clasificación según el sistema de ONU, obteniéndose que en dicho laboratorio se trabaja mayormente con sustancias no reguladas.

En el laboratorio de bacteriología, las sustancias utilizadas son medios de cultivo para bacterias, que según sus características de peligrosidad no proporcionan daños significativos al ambiente. Los desechos generados por su utilización en los análisis realizados son tratados en una autoclave, a una temperatura de 120 °C con el fin de esterilizarlos antes de ser vertidos en el

drenaje, eliminando el riesgo biológico que pudieran generar. En consecuencia, este laboratorio fue descartado ya que no presenta las características de peligrosidad requeridas para el diseño de la alternativa de tratamiento deseada.

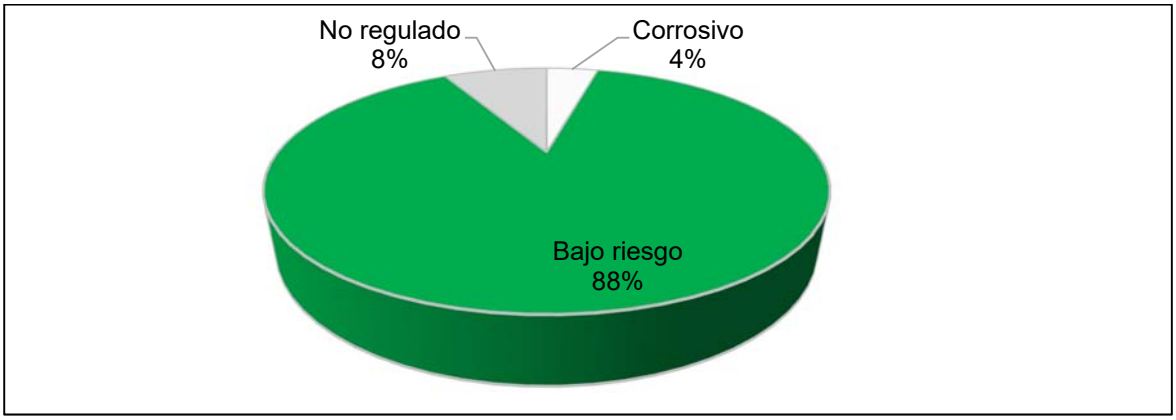


Figura 4.10. Clasificación de peligrosidad del Área de Bacteriología.

Área de Plancton

En esta Área se efectúan los análisis de fitoplactón y clorofila. Entre los reactivos empleados para el análisis de fitoplactón se encuentra el lugol, que se usa como un colorante para células, haciendo el núcleo celular más visible en microscopías y además, ayuda a preservar las muestras de fitoplancton (González, 2008). Por otra parte, para el análisis de clorofila se utiliza 0,2 mL de etanol que es una sustancia inflamable. Por último, se agrega aproximadamente 2 mL de ácido acético glacial concentrado para preservar las muestras de 1 L de agua, que ingresan en el mismo. La clasificación de peligrosidad de esta área se muestra a continuación en la figura 4.11:

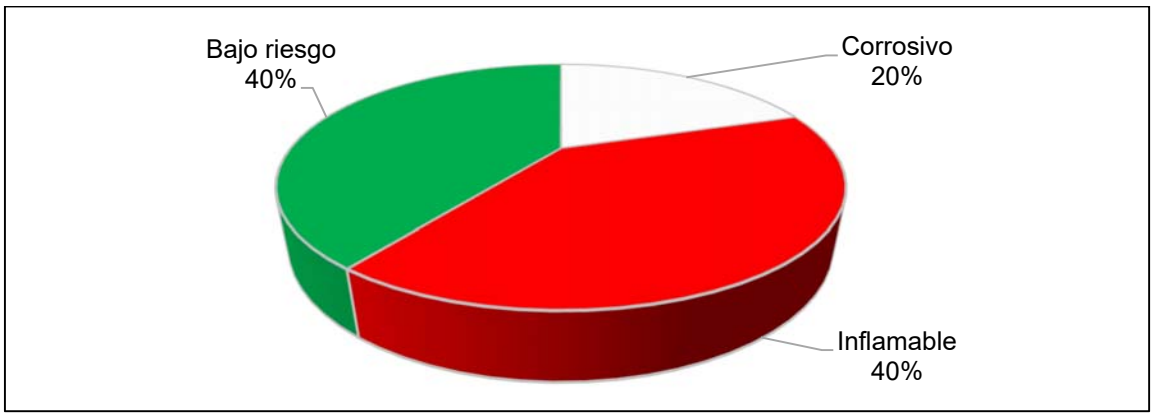


Figura 4.11. Clasificación de peligrosidad del Área de Plancton.

El Área de Plancton se encuentra en la clase 2 y 3 en los niveles de riesgos establecidos en el Decreto 2.635. La clase 3, corresponde a las sustancias o materiales peligrosos que pueden ser inflamables, corrosivas o tóxicas, que generan daños moderados en la salud sin efectos perdurables en el ambiente.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente se emplea pequeños volúmenes de reactivos, siendo apenas 2 mL de ácido acético glacial para preservar 1 L de muestra de agua y 0,2 mL de etanol para el análisis de clorofila. Por esta razón, se considera que los desechos líquidos de estos análisis cuentan con características de peligrosidad de bajo riesgo al medio ambiente, no siendo necesario el tratamiento para sus desechos.

No obstante, debido a la utilización del ácido acético que es un reactivo corrosivo e inflamable, se recomienda neutralizar el desecho con hidróxido de sodio hasta un pH de 6 a 9, antes de ser vertido en el desagüe, con la finalidad de otorgarle una disposición final adecuada y así mismo, dar cumplimiento a lo establecido en el Decreto 3.219.

Área de Fisicoquímica

En el Área de Fisicoquímica se efectúan diversos análisis para determinar la calidad del agua, donde se emplea una variedad de reactivos químicos dependiendo del procedimiento descrito en la metodología utilizada. Esta diversidad de sustancias empleadas en el laboratorio, le otorgó una clasificación de peligrosidad mixta, encontrándose en las clases 2, 3 y 4 en los niveles de riesgos establecidos en el decreto 2.635 (Gaceta oficial 5.245,1998). La clase 4 corresponde a las sustancias que son corrosivas, reactivas o tóxicas con efectos potenciales peligrosos y perdurables en las personas o el ambiente.

En la figura 4.12, se presenta la clasificación de peligrosidad de esta área, donde se obtuvo que el 55% de los reactivos empleados tienen bajo riesgo y el 35% poseen características de peligrosidad que son perjudiciales a la salud y al ambiente tales como sustancias nocivas, oxidantes e inflamables, mientras que el 10% corresponde a sustancias no reguladas por la ley.

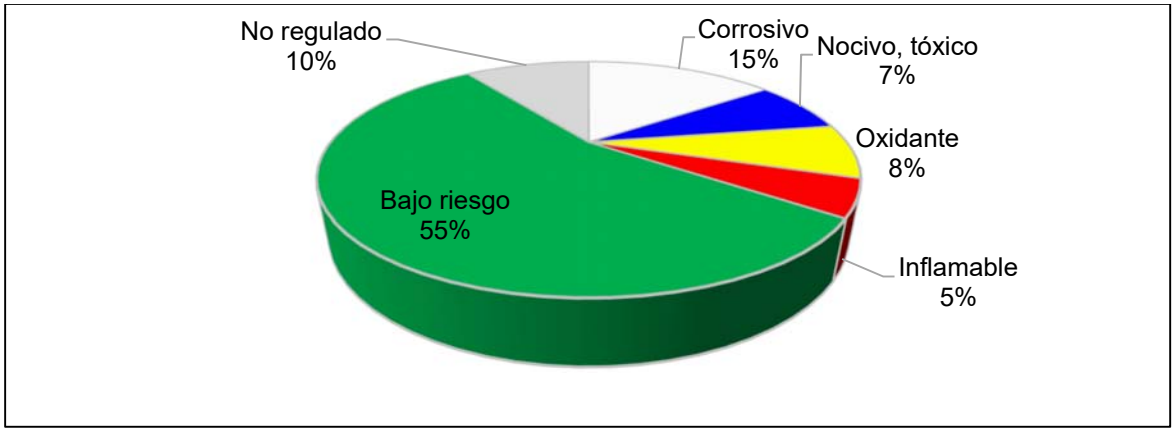


Figura 4.12. Clasificación de peligrosidad del Área de Fisicoquímica.

Área de Químico Sanitario

El Área de Químico Sanitario, así como la de Fisicoquímica, tiene una clasificación de peligrosidad mixta, encontrándose en las clases 2, 3 y 4 en los niveles de riesgos establecidos en el Decreto 2.635. Debido a esto, se tienen tanto reactivos con bajo riesgo y como reactivos con distintas especificaciones de peligrosidad que son altamente perjudiciales de la salud y medio ambiente

En la figura 4.13, se tiene que en el área se emplea un 59% de sustancias con bajo riesgo, sin embargo el 37% de tienen características de peligrosidad dañinas a la salud y medio ambiente; el 4% de los reactivos no tienen regulaciones por la ley. Además, gran parte de los reactivos empleados son de carácter tóxico, correspondiente a la clase 6 del sistema de la ONU (ver figura A.7, apéndice A).

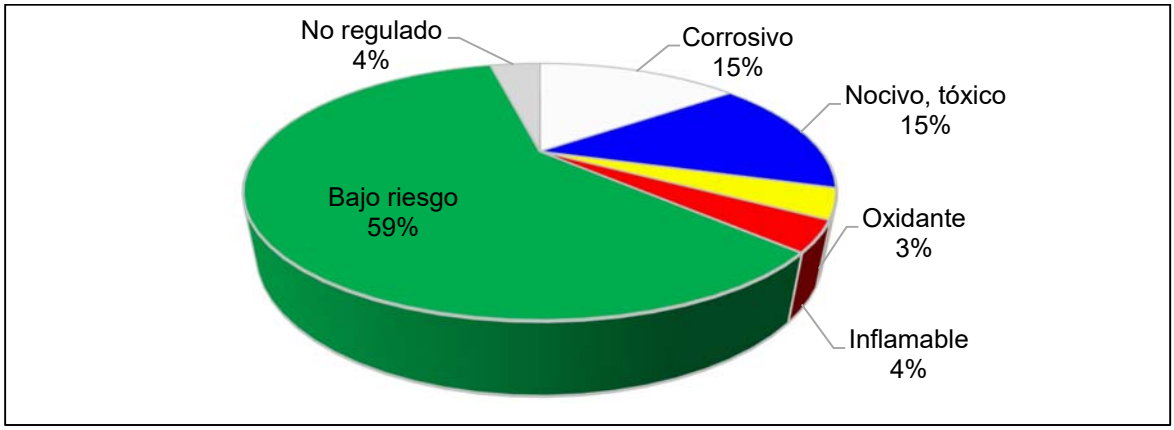


Figura 4.13. Clasificación de peligrosidad del Área de Químico Sanitario.

Área de Análisis Instrumental

En el Área de Análisis Instrumental, se realizó la clasificación de peligrosidad tomando en consideración solamente los análisis que son realizados en la actualidad, puesto que gran parte de estos ya no se realizan por el déficit de reactivos. Para esta área, se obtuvo que gran parte de los reactivos empleados presentan características de peligrosidad más influyentes que el resto de los laboratorios estudiados, encontrándose en la clase 3 y 4 en los niveles de riesgos establecidos en el Decreto 2.635.

En la figura 4.14, se muestra la clasificación correspondiente, donde se tiene que 12% de los reactivos son corrosivos, el 25% son tóxicos, el 12% son oxidantes, el 13% son inflamables y 38% son de bajo riego.

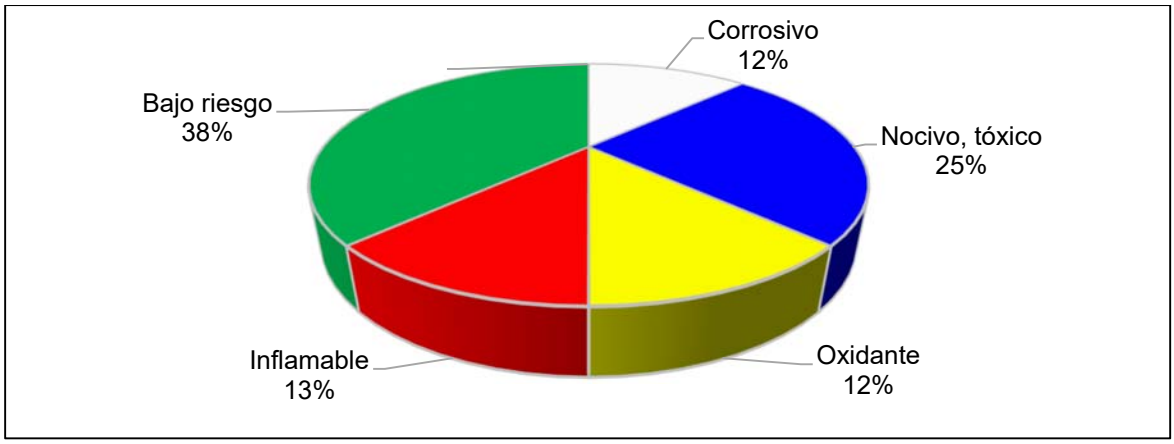


Figura 4.14. Clasificación de peligrosidad del Área de Química Instrumental.

4.2.3. Clasificación de los desechos según su peligrosidad

Los desechos peligrosos son sustancias simples o compuestos que presentan propiedades peligrosas o que está constituido por sustancias peligrosas, es decir, por reactivos. El conocimiento de las propiedades de peligrosidad permite generar métodos para propiciar una disposición adecuada a los mismos y dar cumplimiento a las normativas ambientales vigentes.

Mediante la clasificación de peligrosidad de las áreas, se determinó efectivamente que en estos se emplean una diversidad sustancias peligrosas y en consecuencia, los desechos generados en los análisis contienen las características de peligrosidad de los reactivos constituyentes. Debido a esto, la clasificación de peligrosidad de los desechos se determinó por análisis, partiendo de los parámetros de peligrosidad de los reactivos involucrados en los mismos.

Consiguiéndose que los desechos líquidos por análisis presente dos o más características de peligrosidad, a excepción de los análisis realizados en el Área de Bacteriología, cuyos desechos son de bajo riesgo. La clasificación de los desechos según su peligrosidad, así como el porcentaje en volumen de los reactivos involucrados en los desechos se encuentran en las tablas A.4- A.8, apéndice A.

4.2.4. Frecuencia de descarga de los desechos líquidos generados

En la figura 4.15, se muestra la frecuencia de descarga de desechos líquidos generados en un mes, por cada laboratorio. Resultando que las áreas Químico Sanitario y Bacteriología son los menos desechos generan. Mientras que las áreas de Fisicoquímica, Instrumental y Plancton son los que más producen desechos, en este último se llevan a cabo los ensayos que se realizan con mayor frecuencia según la programación de la empresa, sin embargo la peligrosidad de sus desechos es de bajo riesgo como se discutió anteriormente.

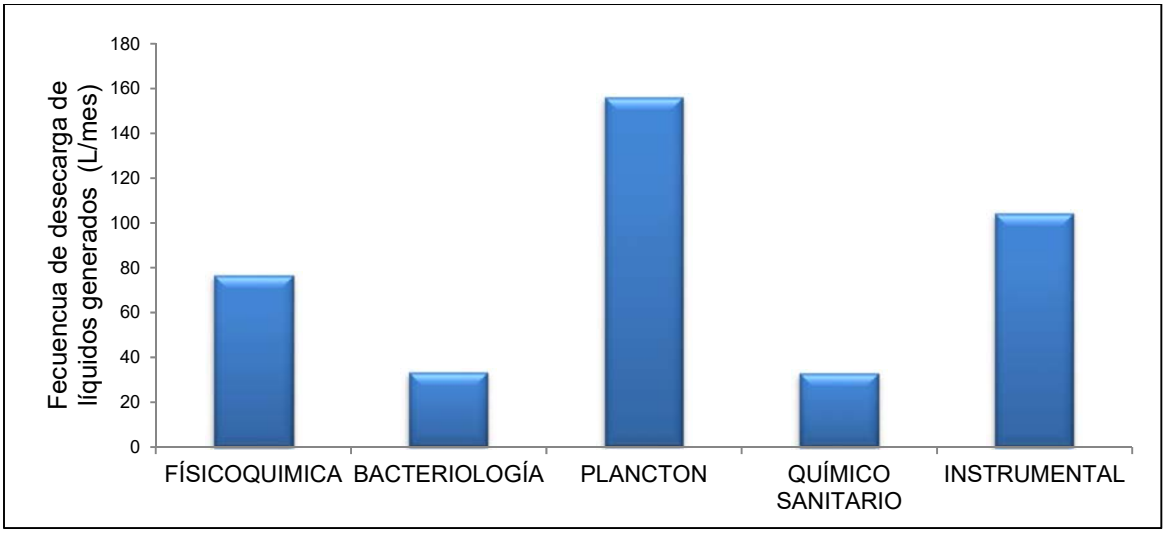


Figura 4.15. Frecuencia de descarga desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo.

El Área de Análisis Instrumental por su parte, realiza sus actividades de forma mensual. Almacenando las muestras, bajo las condiciones indicadas en la norma Covenin 2709:2002, para ser analizadas a finalizar el mes. Adicionalmente, se elaboran soluciones patrones a distintas concentraciones de los parámetros a determinar, que son descartados en el desagüe una vez utilizados.

Según la clasificación de peligrosidad, las áreas de Fisicoquímica, Químico Sanitario e Instrumental son los que generan desechos líquidos más contaminantes. En función de esto, se determinó la frecuencia de descarga por análisis en las áreas mencionados, obteniéndose que para el Área de Fisicoquímica los análisis que más generan desechos son: alcalinidad, dureza total y dureza cálcica, los cuales son los parámetros fisicoquímicos mayormente evaluados, tal como se aprecia en la figura 4.16.

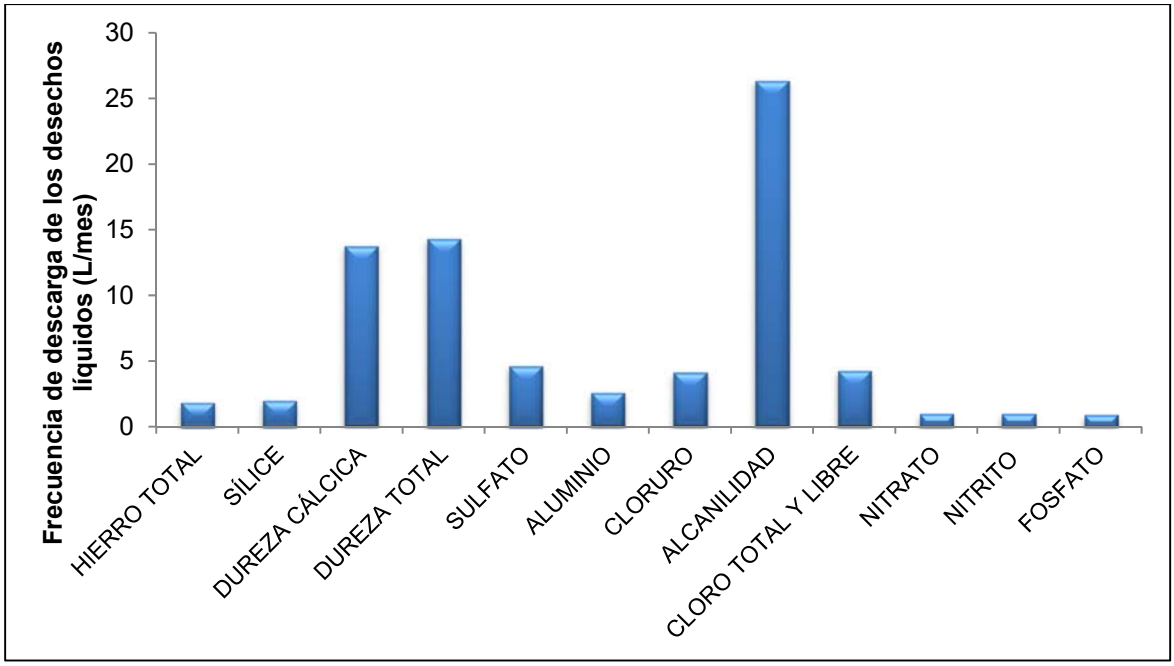


Figura 4.16. Frecuencia de descarga de los desechos líquidos en el Área de Fisicoquímica.

Para el Área de Químico Sanitario, se produce mayoritariamente desechos de los análisis aceites y grasas, oxígeno disuelto, DBO y detergentes, como se muestra en la figura 4.17. Siendo nitrógeno total y fósforo los análisis que menos producen con 1 y 3 litros mensuales respectivamente.

El análisis de DQO, que se lleva a cabo en esta área, no fue incluido en la figura expuesta, debido a que los desechos generados no son descargados en el desagüe, sino que son almacenados por la empresa en recipientes especiales para este fin y son dispuestos en el almacén de desechos.

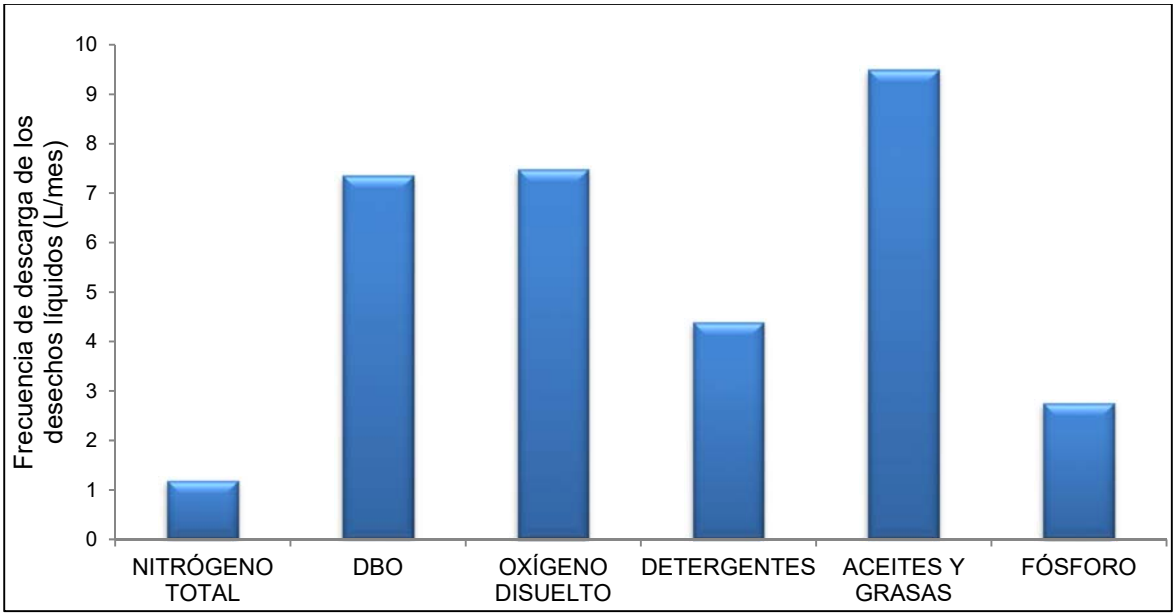


Figura 4.17. Frecuencia de descarga de los desechos líquidos en el Área de Químico Sanitario.

Por su parte, en el Área de Análisis Instrumental se tiene una programación mensual, como se mencionó previamente. Se recolectan todas las muestras y almacenan apropiadamente para ser procesas finalizar el mes, donde se evalúan todos los parámetros (plomo, magnesio, zinc, cobre, hierro y cromo) y se realizan cuatro soluciones patrones a distintas concentraciones de cada parámetro. El volumen producido mensualmente de cada parámetro es el mismo, se obtuvo que en todos los ensayos se desecha aproximadamente 17,38 L.

4.2.5. Selección de los análisis para la caracterización del desecho generado

Para fines de la presente investigación se seleccionó una serie de análisis con el propósito de ser caracterizar sus desechos. Para ello se partió de la clasificación peligrosidad, frecuencia de descarga, facilidad de recolección y posible tratamiento, ya que es indispensable mitigar el impacto ambiental causado por su disposición inadecuada y de esa forma dar cumplimiento al Decreto 2.635.

En consideración a lo antes expuesto, se excluyeron de la selección los análisis procedentes del Área de Bacteriología, ya que son tratados previamente a ser desechados eliminando el riesgo biológico existente. Adicionalmente, se descartó el Área de Plancton por tener desechos de baja peligrosidad, sin embargo se sugiere neutralizar los desechos antes de ser vertidos en el drenaje por la baja dosificación de ácido acético glacial que utilizan para preservar las

muestras. Por último, se descartaron todos aquellos desechos cuyo volumen producido es mínimo en relación a otros y los desechos que son almacenados.

Mediante una matriz de selección se escogieron los análisis cuyas muestras de desechos se requieren caracterizar. En la tabla 4.3 se presenta la matriz de selección con los criterios ponderados y los totales acumulados para cada análisis.

Tabla 4.3. **Matriz de selección de los análisis para la caracterización de los desechos.**

Criterios de evaluación (%) / **Análisis**	**Peligrosidad del desecho (30%)**	**Frecuencia de descarga (30%)**	**Facilidad de recolección (35%)**	**Posible tratamiento (5%)**	**Total**
Hierro Total	3	2	2	3	2,65
Sílice	1	2	2	1	1,35
Dureza cálcica	1	3	2	1	1,65
Dureza total	1	3	2	1	1,65
Sulfato	2	2	2	2	2
Aluminio	3	2	2	2	2,3
Cloruro	1	2	2	1	1,35
Alcalinidad	1	3	2	2	2
Cloruro total y libre	1	2	2	1	1,35
Zinc	2	3	2	1	1,95
Cobre	1	3	2	1	1,65
Hierro	1	3	2	2	2
Cromo	1	3	2	1	1,65
Nitrógeno total	1	2	2	1	1,35
Sólidos totales	1	1	2	1	1,05
Sólidos suspendidos	1	1	2	1	1,05
DBO	1	2	2	2	1,7
Oxígeno disuelto	1	2	2	1	1,35
Detergentes	3	2	2	2	2,3
Aceites y grasas	1	2	2	2	1,7
Fósforo	3	2	2	2	2,3

Finalmente, los análisis arrojados por la matriz de selección son aquellos cuyos desechos tienen mayores características de peligrosidad y tuvieron mayor ponderación en dicha matriz, ya que se consideraron los más contaminantes.

Los análisis que tuvieron la mayor ponderación fueron: hierro total, aluminio, detergentes y fósforo. Seguidamente de hierro, cloruro total y libre, DBO, aceites y grasas. Por último se encuentran dureza total y cálcica, zinc, cromo y cobre.

La matriz de selección fue realizada en función de la programación planteada para el análisis de muestras del estado Carabobo bajo condiciones normales, pero debido a las limitaciones de la empresa en cuanto a los reactivos y equipos, muchos de los análisis arrojados por la matriz de selección no se están realizando en la actualidad. En el caso de detergentes, este se efectúa en determinada época del año que no coincidió con el momento de la elaboración de la presente investigación. En función de estas limitaciones, requerimientos de la empresa y consultas a tutores y expertos se escogió aluminio y fósforo, ya que presentaban mayor ponderación, y dureza total.

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS LÍQUIDOS GENERADOS PARA REALIZAR LA SELECCIÓN DE LOS MÁS CONTAMINANTES DE ACUERDO A SU PELIGROSIDAD

Los parámetros seleccionados para la caracterización fueron turbiedad, demanda química de oxígeno (DQO), pH, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y metales (zinc, cobre, hierro, cromo, plomo y manganeso).

De ellos, el pH y turbidez fueron analizados una vez obtenida la muestra compuesta. Se refrigeraron las muestras para su posterior análisis de sólidos totales, disueltos y suspendidos. Adicionalmente, se realizó la conservación de muestras con ácido sulfúrico y nítrico para el análisis de DQO y metales, respectivamente. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Caracterización de los desechos seleccionados.

Desecho / Parámetro	Unidad	Fósforo	Aluminio	Dureza total	Decreto 3.219 (G.O Nº 5.305, 1999).
pH	Adim	**1,524**	**5,890**	**10,650**	**(6-9)**
Turbidez	(NTU)	0,53	3,01	1,97	NE
Sólidos suspendidos	(mg/L)	84,0	36,0	5,0	80,0
Sólidos disueltos		39.402	11.763	17.091	NE
Sólidos totales		**39.486**	**11.799**	**17.096**	**1.600,0**
DOQ		**1.470**	**1.856**	**1.729**	**350,0**

Tabla 4.4. Caracterización de los desechos seleccionados (Continuación).

Desecho / Parámetro	Unidad	Fósforo	Aluminio	Dureza total	Decreto 3.219 (G.O Nº 5.305, 1999).
Zinc	(mg/L)	0,084	0,011	0,020	5,0
Cobre		0,168	0,041	0,021	0,5
Cromo		0,16	0,076	0,061	2,0
Plomo		ND	ND	ND	0,5
Hierro		0,711	0,067	0,279	10,0
Manganeso		0,201	0,035	0,120	2,0

ND: no detectado.

NE: no establecido.

De la tabla 4.4, se puede observar que los parámetros pH, sólidos totales y DQO de los desechos caracterizados, exceden el límite establecido en el Decreto 3.219. Los desechos líquidos provenientes de los análisis de dureza total, aluminio y fósforo, poseen gran cantidad de materia orgánica disuelta lo que proporciona que la mayor parte de los sólidos se encuentren disueltos. Así mismo, los resultados obtenidos de los metales evaluados se encuentran por debajo de la norma. Adicionalmente, se evidencia que los desechos de fósforo y dureza total son altamente coloridos, siendo de color verde oscuro y vinotinto respectivamente, tal como se muestra en la figura 4.18.

Figura 4.18. Desechos líquidos generados de los análisis seleccionados.

La determinación de la dureza total del agua mediante valoración con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es realizada con mucha frecuencia en el Laboratorio Carabobo, se lleva a cabo a pH 10 (controlado por un tampón de cloruro amónico/amoniaco) y con negro de eriocromo T como indicador. El control de pH impide la precipitación del calcio y del magnesio como carbonato de calcio ($CaCO_3$) e hidróxido magnesio ($Mg(OH)_2$),

respectivamente. Lo cual le otorga al desecho originado de este análisis un pH básico, excediendo los límites establecidos en el Decreto 3.219. Adicionalmente, la utilización del indicador negro de eriocromo T ocasiona que el desecho tenga una coloración rojiza.

La utilización de EDTA, cuya estructura molecular se muestra en la figura 4.19, permite la formación de un complejo de quelato soluble al añadirlo a las soluciones de algunos cationes metálicos. Lo cual presenta un riesgo importante al medio ambiente, ya que existe posibilidad de arrastre de metales altamente tóxicos formando complejos estables a la biodegradación, (Hernández, 2015).

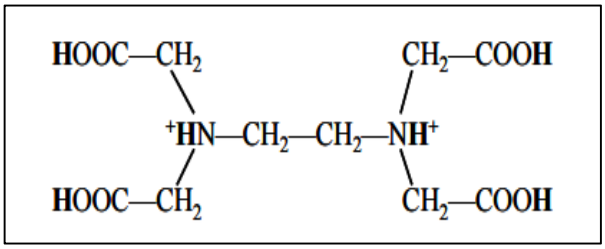


Figura 4.19. Estructura molecular del EDTA. Los átomos ácidos se indican en negrita. Fuente: Hernández, 2015.

El negro de eriocromo T (NET) es un compuesto orgánico que, al igual que el EDTA, tiene propiedades quelantes, pertenece a un grupo de agentes acomplejantes que desarrollan color o un viraje de color dependiendo del estado en que se encuentren, es decir, en su estado de complejo o libres, (Hernández, 2015). El NET es un colorante azoico, también conocido como Mordant Black 11, que consta de un enlace –N=N– y cuatro anillos aromáticos que le confieren un color azul intenso cuando se encuentra disuelto en agua y adquiere un color rojo cuando forma un complejo con el calcio, magnesio, u otros iones metálicos, que desplazan al protón. La figura 4.20 muestra la estructura del NET.

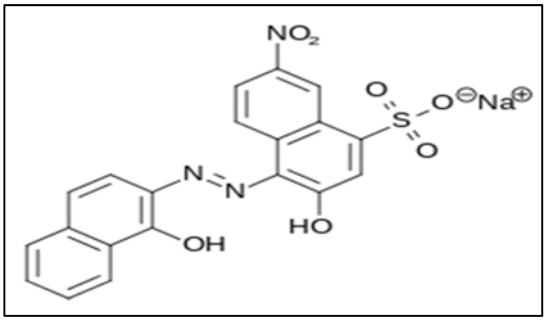


Figura 4.20. Estructura molecular del negro de eriocromo T (NET). Fuente: Banquero *et al*, 2010.

Los desechos generados del análisis de dureza total, son denominados complejométricos por la presencia de indicadores metalcrómicos que le confieren al líquido residual carga orgánica y coloración. La presencia del NET que es un indicador meltalcrómico, es una sustancia potencialmente cancerígena para la especie humana y tóxica para organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente, (Banquero *et al*, 2010).

Por otro lado, el aluminio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre, se encuentra prácticamente en todas las aguas naturales, bajo la forma de sales solubles, coloidales o insolubles. También, se puede encontrar en las aguas tratadas como residuo del proceso de coagulación donde emplean sulfato de aluminio. Para el análisis de este parámetro por método colorimétrico, se emplea eriocromocianina R que forma un complejo coloreado con las soluciones diluidas de aluminio tamponadas a pH 6, (American Public Health Association, 2011). La utilización de eriocromocianina R, cuya molécula se muestra en la figura 4.21, ácido ascórbico, ácido sulfúrico y la solución tampón de ácido acético/ acetato de sodio, le confieren al desecho generado de este análisis un pH ácido con gran carga orgánica.

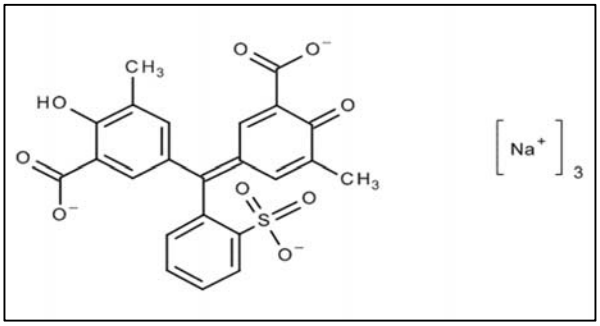


Figura 4.21. Estructura molecular del eriocromocianina R. Fuente: American Public Health Association, 2011.

Por último, el ensayo de fósforo es realizado para aguas naturales como residuales. El fósforo se encuentra en su mayoría como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta- y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos. En este ensayo, se convierte el fósforo de interés a ortofosfato disuelto y se determina por colorimetría, donde el molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en medio ácido con el ortofosfato para formar un heteropoliácido -ácido fosfomolíbdico- que es reducido por ácido ascórbico a un complejo azul de molibdeno intensamente coloreado, (Lasso *et al*, 2007). La utilización de ácido sulfúrico y ácido ascórbico le confieren al desecho generado de este análisis un pH bajo, como se indicó en la tabla 4.5.

Los desechos de los análisis en cuestión cuyos parámetros evaluados se encuentran fuera de norma y por ser altamente coloridos, al ser vertido en el desagüe afecta negativamente el ecosistema, ya que reduce la penetración de los rayos solares en el curso del agua y en consecuencia puede reducir la vida acuática en el mismo.

4.4. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS DESECHOS SELECCIONADOS PARA MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL QUE ESTOS GENERAN

Partiendo de los resultados obtenidos de la caracterización de los desechos líquidos en el objetivo anterior, se desarrollaron diferentes alternativas de tratamiento para la adecuación del impacto ambiental siguiendo los Decretos 2.635 y 3.219.

Se considera un tratamiento fisicoquímico para los desechos generados en el Laboratorio Carabobo, debido a que el contenido de los desechos es alto en compuestos orgánicos, susceptible a la descomposición por medio de luz y temperatura; alto contenido de sólidos disueltos y considerando que son aguas residuales con bajo índice DBO.

Adicionalmente, se plantea tratamientos oxidativos, ya que en algunos casos la reducción de toxicidad puede ser lograda mediante la oxidación química. Es un procedimiento muy usado para desechos con alta carga orgánica y color. Las alternativas de tratamiento van enfocadas a la mezcla de los desechos seleccionados, por tratarse de volúmenes reducidos. Las proporciones en volumen de esta mezcla, se ajustaron a la cantidad de desecho generado mensualmente, es decir 80%, 14% y 6% para los desechos de dureza total, aluminio y fósforo respectivamente, resultando un desecho de color rojo, como se observa en la figura 4.22. a continuación.

Figura 4.22. Desechos mezclados en las proporciones establecidas.

4.4.1. Desarrollo experimental

Prueba de jarras

El tratamiento fisicoquímico consta de tres etapas: coagulación, floculación y sedimentación. Para el presente trabajo, se optó por un sistema de prueba fisicoquímicas también conocido como prueba de jarras, para abarcar las tres etapas. De esta manera, se aporta información indispensable de la mezcla de desechos, ya que es una simulación a pequeña escala del tratamiento que debe realizarse a nivel macro.

Las pruebas de jarras permiten conocer la dosificación adecuada del coagulante y floculante para un determinado volumen de desecho a tratar. También, se determina el pH óptimo, tiempos y velocidad de agitación de la mezcla, tiempo de sedimentación y eficiencia de remoción. De acuerdo con la disposición de los reactivos, se emplearon los siguientes:

- Coagulante: policloruro de aluminio (PAC) 20.000 ppm.
- Floculante: poliacrilamida 10.000 ppm.
- Neutralizante: ácido sulfúrico.

Para llevar a cabo la prueba de jarras, se determinaron los parámetros iniciales (DQO, pH y turbidez) de los desechos mezclados en las proporciones establecidas, se agregó ácido sulfúrico para llevar la mezcla a pH 9 y se procedió a realizar el ensayo, el cual se observa en la figura 4.23. El lodo resultante era de color rojizo con consistencia gelatinosa, tal se observa en la figura 4.24, en el cual se arrastró parte de los sólidos disueltos que le conferían el color rojizo en la muestra inicial, otorgando un sobrenadante más clarificado.

Figura 4.23. Ensayo de prueba de jarras.

Figura 4.24. Lodo del desecho tratado con PAC.

De la prueba de jarras se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.5:

Tabla 4.5. Dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC).

Beaker	Dosis coagulante (Dc±0,1)mL	Observaciones	pH final (pH± 0,001) Adim	Turbidez final (T±0,1) NTU
1	5	Pocos flóculos, clarificación deficiente.	8,919	1,8
2	10	Pocos flóculos, clarificación deficiente.	8,901	1,5
3	15	Buena clarificación. Formación de flóculos notables.	8,659	1,3
4	20	Buena clarificación. Formación de flóculos notables.	8,546	0,8
5	25	Turbidez. Flóculos no precipitan.	8,257	1,6

De la prueba de jarras se obtuvo que para una dosificación de (20,0±0,1) mL de PAC y (2,0±0,1) mL de poliacrilamida se tiene mayor formación de flóculos (ver figura 4.24), lo cual propició menor turbidez al sobrenadante. La caracterización del desecho obtenido de la prueba de jarras se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Caracterización del desecho obtenido de la prueba de jarras.

Parámetros físico-químicos	Desecho sin tratar	Jarra	% Remoción	Límite D. Nº 3.219
pH (pH± 0,001) Adim	9,012	8,546	5,17	(6-9)
Turbidez (T±0,1) NTU	2,3	0,8	65,22	---
DQO (mg/L)	2.575	2.045	20,58	350

Se puede observar que el parámetro DQO a pasar de ser removido un 20,58% aún se encuentra por encima de los valores establecidos en el Decreto 3.219, indicando que existen

sustancias que no precipitaron y se encuentran inestables, originando poca reducción en el color de la muestra, tal como se muestra en la figura 4.25. Es importante mencionar, que la presencia de color en el desecho se debe principalmente por los indicadores empleados en los análisis, lo cual le otorga al desecho gran contenido de materia orgánica disuelta.

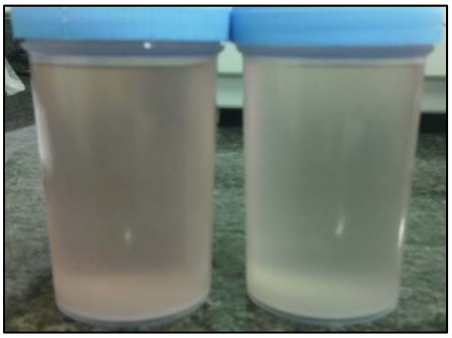


Figura 4.25. Desecho inicial y desecho tratado con PAC. Derecha: muestra inicial de los desechos mezclados. Izquierda: muestra tratada con PAC.

En el proceso coagulación- floculación de materia orgánica disuelta, los mecanismos de coagulación para estas especies contaminantes incluyen a la interacción de las especies metálicas (cationes monoméricos y poliméricos) con los grupos aniónicos de las moléculas orgánicas, neutralizando su carga y resultando en la formación de especies de solubilidad reducida, y la adsorción de las moléculas orgánicas sobre un precipitado de hidróxido metálico en formación en el medio y, como consecuencia, la inmersión de las mismas en estos precipitados.

Ambos mecanismos tienen lugar como consecuencia de la adición de sales de metales hidrolizados al desecho que contiene la materia orgánica disuelta. Sin embargo, el mecanismo predominante dependerá de la complejidad del desecho y de las especies generadas como consecuencia de la hidrólisis de estas sales. En vista de esto, es indispensable aplicar otro tratamiento que permita lograr una mayor disminución de sus parámetros.

Filtración con carbón activado

Debido a la gran carga orgánica y el color remanente del desecho obtenido de la prueba de jarras, se realizó una filtración con carbón activado, la cual se observa en la figura 4.26. La adsorción con carbón activo ofrece buenos rendimientos de eliminación de los colorantes, cercanos al 95% de decoloración, donde las moléculas voluminosas de los colorantes quedan adsorbidas fácilmente en la superficie del carbón activado, (Berrio *et al*, 2012).

Figura 4.26. Filtración con carbón activado.

Para tratar la muestra con el filtro de carbón activado, primeramente se pasó la muestra por un filtro de celulosa para eliminar cualquier rastro de sólidos remanentes que pudieran adherirse a la superficie del carbón y causaran su saturación. Se empleó 30 mL de muestra, en 3 g de carbón activado con un tiempo de retención de 15 min.

Figura 4.27. Desecho tratado por un filtro de carbón activado.

A través de la filtración con carbón activado, se logró una gran disminución de la coloración inicial del desecho alrededor del 90%, tal como se muestra en la figura 4.27. Adicionalmente, los parámetros de DQO y pH se redujeron notablemente, cumpliendo con el Decreto 3.219. La caracterización del desecho obtenido de la filtración con carbón activado se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Caracterización del desecho tratado con el filtro de carbón activado.

Parámetros físico-químicos	Jarra	Filtro de carbón activado	% Remoción	Límite D. Nº 3.219
pH (pH± 0,001) Adim	8,546	8,385	1,88	(6-9)
Turbidez (T±0,1) NTU	0,8	0,7	12,50	---
DQO (mg/L)	2.045	170	91,69	350

Finalmente, el procedimiento descrito se empleó para el tratamiento de una muestra de desecho cruda (sin tratamiento previo), obteniéndose una completa reducción del color, esta se observa en la figura 4.28.

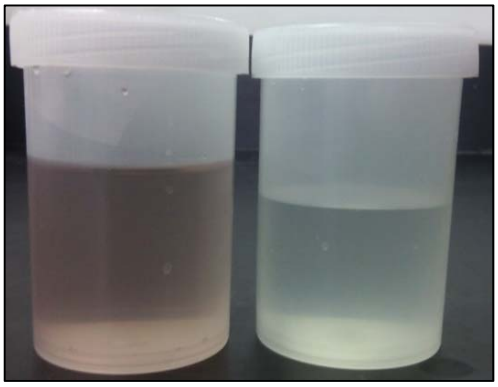


Figura 4.28. Desecho crudo tratado por un filtro de carbón activado. Derecha: muestra de desecho sin tratamiento previo (cruda). Izquierda: muestra filtrada con carbón activado.

El carbón activado, presenta una gran superficie porosa, termo-estabilidad, baja reactividad acido/ base, una estructura de poro controlable y gran capacidad para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en medio acuoso. Por lo que se evidencia en la reducción de la DQO de las muestras tratadas, que para el presente caso se obtuvo una remoción del 90,56% lo cual proporciona que el desecho tratado cumpla con los parámetros establecidos en el Decreto 3.219. Los resultados obtenidos de la caracterización, se muestran en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Caracterización del desecho crudo tratado con el filtro de carbón activado.

Parámetros físico-químicos	Desecho sin tratar	Filtro de carbón activado	% Remoción	Límite D. Nº 3.219
pH (pH± 0,001) Adim	9,012	8,657	3,94	(6-9)
Turbidez (T±0,1) NTU	2,3	0,9	60,87	---
DQO (mg/L)	2.575	243	90,56	350

De los resultados obtenidos, se puede observar que el tratamiento de coagulación-floculación es deficiente en cuanto a la remoción de DQO y color, propiciando que el desecho tratado aún no entrase en norma. En cambio, el tratamiento con carbón activado ofrece mayor remoción de estos mismos parámetros cumpliendo con los requisitos de ley. Con la combinación de ambos tratamientos, se logró disminuir aún más la carga contaminante que con filtración con carbón

activado solamente, sin embargo este tratamiento combinado requiere tanto el suministro de reactivos, como de carbón activado y se obtienen resultados muy similares que la filtración con carbón.

A pesar de que el tratamiento combinado ofrece muy buenos resultados en cuanto la remoción de la carga contaminante, genera mayor cantidad de residuos que las alternativas por separado. Además se encuentran las dificultades asociadas a la disposición final del residuo de carbón activado y el lodo generado de la coagulación-floculación.

4.4.2. Descripción de las alternativas de tratamiento propuestas

Alternativa 1. Coagulación-floculación

Para la alternativa planteada inicialmente, se debe realizar una homogenización de la mezcla de desechos a tratar, añadiendo ácido sulfúrico para ajustar su pH en un rango de 8.5 a 9 unidades, para luego realizar un tratamiento químico. Se realiza un tratamiento de coagulación-floculación por medio de la adición de policloruro de aluminio (PAC) y poliacrilamida, respectivamente, con el fin de disminuir las concentraciones de DQO. Se deja reposar el tiempo adecuado para garantizar la sedimentación del lodo, el sobrenadante resultante es separado de los residuos restantes por medio de filtración, el diagrama se observa en la figura 4.29.

Este proceso generará un contaminante sólido producto de la coagulación-floculación, dicho lodo no será evaluado por efectos del alcance de esta investigación. Sin embargo, es importante para efectos posteriores hacer un estudio del mismo con el fin de recomendar una disposición final de este; algunas de estas alternativas pueden ser la utilización como abono para plantas, secado térmico o uso como material para la producción de materiales de construcción, de acuerdo a sus características, (Rodríguez *et al*, 2006).

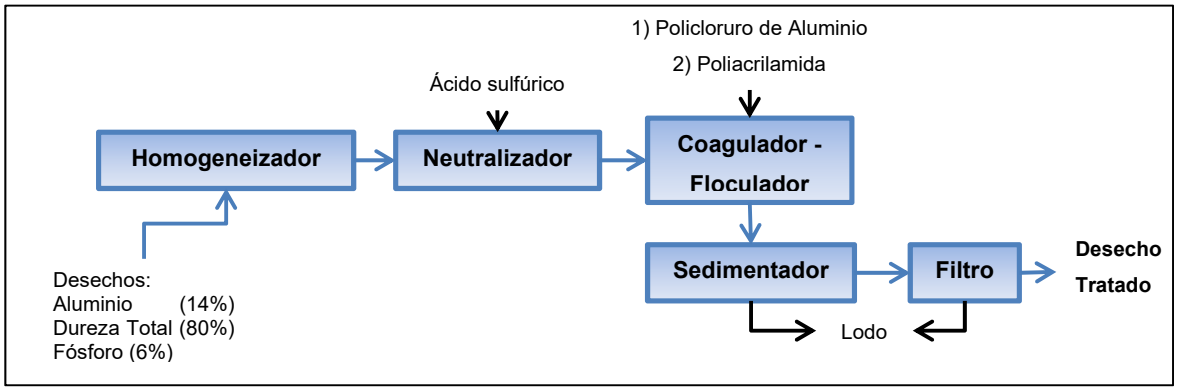


Figura 4.29. Diagrama de bloques de la alternativa 1.

Aunque el proceso anterior se usa básicamente para la eliminación de materia suspendida, este elimina indirectamente los parámetros de DQO y color, y representa una tradición en el tratamiento de aguas residuales. Por otro lugar, los procesos oxidación química avanzada y de adsorción son útiles en efluentes con baja de concentración de contaminantes, estos son útiles en la eliminación de materia disuelta, (Rodríguez *et al*, 2006).

Alternativa 2. Filtración con carbón activado

Para esta alternativa, se inicia con la homogenización de la mezcla de desechos a tratar, luego se realiza un tratamiento físico de filtración por medio de un filtro de celulosa, con el fin de disminuir la cantidad de sólidos presentes. Posteriormente se efectúa un tratamiento fisicoquímico de adsorción empleando un filtro de carbón activado, con el fin de disminuir las concentraciones de DQO y disminuir el color, tal como se muestra en la figura 4.30.

Es importante resaltar que luego de varios usos la superficie del solido adsorbente, en este caso el carbón activado, se sobrecarga por lo cual es necesario cambiarlo o recuperarlo, la segunda opción en muchos casos involucra una disminución de la eficiencia. Por lo cual, es necesario hallar una disposición final para el carbón activado utilizado. Es indispensable realizar una caracterización a este para luego plantear alternativas de tratamientos, entre las cuales puede enunciarse que el carbón activado granulado (usado por el filtro) se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie por medio de un horno, (Rodríguez *et al*, 2006).

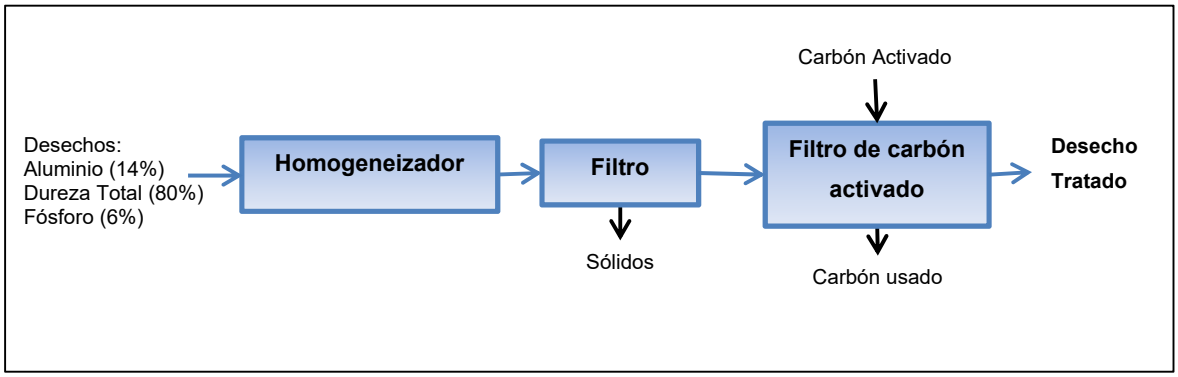


Figura 4.30. Diagrama de bloques de la alternativa 2.

Alternativa 3. Coagulación-floculación y filtración con carbón activado

Realizar una combinación de las dos alternativas anteriores, en donde se realiza una homogenización de los desechos a tratar, para luego realizar un tratamiento químico, añadiendo

ácido sulfúrico para ajustar el pH del efluente en un rango de 8 a 8.5 unidades. Se realiza un tratamiento de coagulación-floculación utilizando policloruro de aluminio y poliacrilamida, respectivamente, con el fin de disminuir el parámetro de DQO en el desecho. Luego se deja reposar por el tiempo adecuado para garantizar la sedimentación del lodo producido y el sobrenadante resultante es separado de los residuos restantes por medio de filtración. Por último realizar una filtración por medio de un filtro de carbón activado con el fin de disminuir el parámetro de DQO y reducir el color del desecho, este diagrama se observa en la figura 4.31.

Es importante resaltar que en esta alternativa de genera lodo y carbón activado saturado, por lo cual, se debe seguir las indicaciones anteriores. Sin embargo es de suma importancia hacer una comparación con el carbón saturado generado de la alternativa 2, ya que para esta alternativa por no poseer un pre tratamiento que disminuya los niveles de sólidos se esperara una mayor degradación y por tanto se deberá reponer más rápidamente este, lo cual generará problemas operacionales en luego de su instalación.

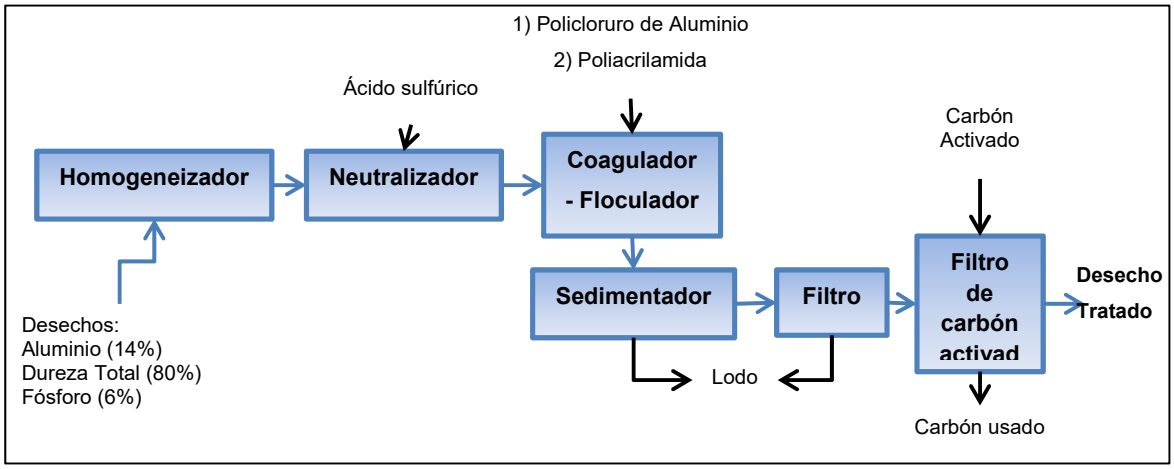


Figura 4.31. Diagrama de bloques de la alternativa 3.

Alternativa 4. Electrocoagulación

Realizar una homogenización de la mezcla de desechos a tratar, para luego realizar un tratamiento químico, añadiendo ácido sulfúrico para ajustar el pH del efluente en un rango de 8 a 8.5 unidades. Se realiza un tratamiento de electrocoagulación, con el fin de disminuir las concentraciones de DQO. Se deja reposar el tiempo adecuado para garantizar la sedimentación del lodo, y el sobrenadante resultante es tratado por medio de filtración, observándose en la figura 4.32.

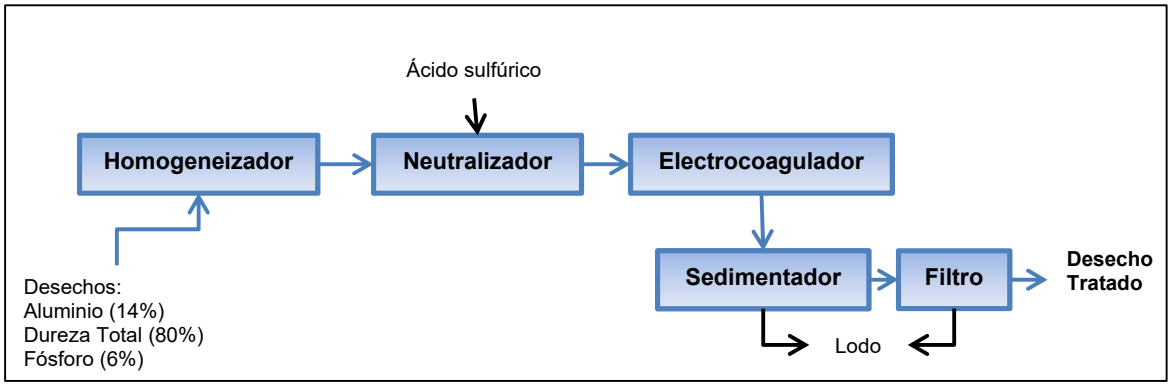


Figura 4.32. Diagrama de bloques de la alternativa 4.

Alternativa 5. Oxidación química avanzada

Realizar una homogenización de los desechos a tratar, luego realizar un tratamiento de oxidación química avanzada, por medio de sulfato férrico, peróxido de hidrógeno y luz UV para disminuir las concentraciones de DQO presente en el desecho a tratar. Por último realizar un tratamiento químico de neutralización con ácido sulfúrico para ajustar el pH del efluente a un rango que se adhiera al estipulado por la normativa vigente, este diagrama que se observa en la figura 4.33.

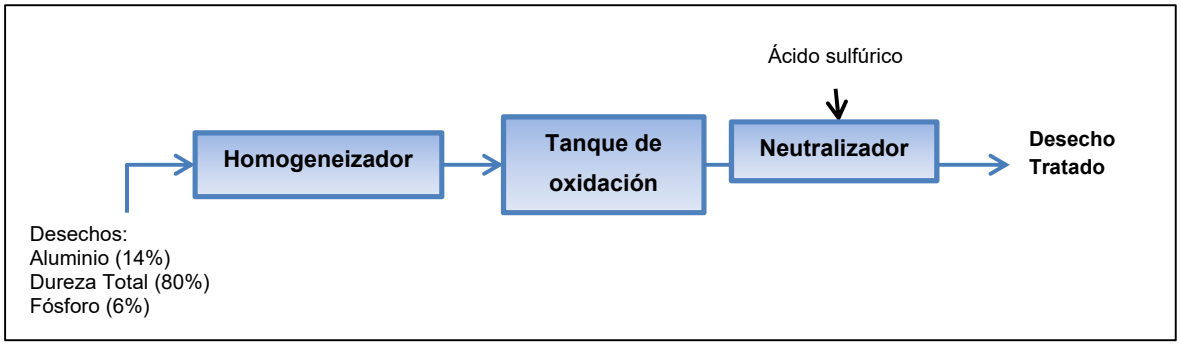


Figura 4.33. Diagrama de bloques de la alternativa 5.

4.4.3. Selección de las alternativas a diseñar

En la tabla 4.9 se observa una lista de ventajas y desventajas de las alternativas de tratamiento antes planteadas, para esta comparación se utilizaron los siguientes criterios:

- ✓ Adición de productos químicos (adición de químicos y cantidad de estos).
- ✓ Producción de otro desecho (cantidad generada).

- ✓ Condición final del desecho (disminución de los contaminantes al final del proceso).
- ✓ Costos operacionales (adquisición de reactivos, mantenimiento, mano de obra).

Tabla 4.9. Discriminación de las alternativas de tratamiento de la mezcla de desechos generados.

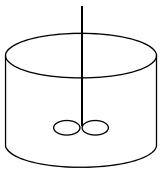
Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Alternativa 1 Coagulación - Floculación	-Baja remoción de contaminantes. -Costos operacionales bajos.	-Producción de lodos altas contaminantes. -Requiere la adición de reactivos químicos para la remoción de contaminantes.
Alternativa 2 Filtración con carbón activado	-Costos operacionales medios. -Alta remoción de contaminantes.	-Generación de desecho de carbón activado sucio. -Requiere el cambio de los lechos de filtros periódicamente.
Alternativa 3 Combinación de las alternativas anteriores	-Remoción de contaminantes muy alta para desechos peligrosos.	- Generación elevada de lodos contaminantes y carbón activado usado. -Adición de reactivos químicos y el cambio de los lechos de los filtros. -Costos operacionales altos.
Alternativa 4 Electro-coagulación	-Menor generación de lodos. -Mayor remoción de contaminantes que la coagulación-floculación. -No requiere la adición de reactivos químicos.	-Costos operacionales altos. -Generación de lodos contaminantes.
Alternativa 5 Oxidación Química Avanzada	-Remoción muy alta de contaminantes más alta que demás alternativas. -No hay generación de residuos.	-Altos costos operacionales. -Requiere la adición de reactivos químicos.

Como se observa en la tabla 4.9, la alternativa 4 (electrocoagulación) y la alternativa 5 (oxidación química avanzada), son las alternativas de tratamiento que presentan mayor ventaja en cuanto a la remoción de contaminantes y generación de lodos, sin embargo se considera que estas alternativas presentan mayores costos operacionales, además que no se cuentan con los equipos o medios necesarios para la implementación de estos sistemas de tratamiento. Por lo cual, se procedió a llevar a cabo el diseño de las demás alternativas.

4.5. DISEÑO LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS QUE PRESENTEN MAYORES CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD PARA QUE SUS PARÁMETROS CUMPLAN CON LA NORMATIVA VIGENTE

Para las alternativas seleccionadas, se diseña un tanque de agitación, para llevar a cabo la homogenización del desecho y el proceso de coagulación-floculación, el cual es de forma cilíndrica provisto de agitación mecánica, cuyas especificaciones de diseño se detallan en la tabla 4.10. La homogenización del desecho, es un pretratamiento que permite combinar los desechos a tratar en las proporciones establecidas. Este procedimiento es indispensable para evitar las fluctuaciones del caudal, pH y temperatura; así mismo permite obtener una concentración mejor definida de la carga contaminante presente, a ser tratada en el tratamiento fisicoquímico que lo procede.

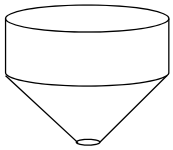
Tabla 4.10. Especificaciones técnicas del tanque de agitación.

Características generales Tanque de forma cilíndrica, provisto de agitación			
CARACTERÍSTICAS			
DEL TANQUE		**DEL IMPULSOR**	
Volumen (m^3)	0,0304	Tipo de mezclador	Tipo 1 de 6 paletas
Altura (H) (m)	0,38	Diámetro del impulsor (D) (m)	0,118
Diámetro (D_t) (m)	0,32	Espesor de las paletas (W) (m)	0,029
Número de tabiques	4	Altura de la turbina (h) (m)	0,130
Ancho de los tabiques (m)	0,032	Velocidades del motor (rpm)	(20-80)

Seguidamente, en este mismo tanque, se realiza el proceso de coagulación-floculación, donde se da la eliminación de algunos contaminantes presentes en el desecho mediante la dosificación de químicos tales como ácido sulfúrico para neutralizar, PAC como coagulante y poliacrilamida como floculante, en las proporciones determinadas en la prueba de jarras.

Los flóculos generados del tratamiento sedimentan y forman lodos que requieren ser separados a través de un tanque sedimentador, cuyas especificaciones se muestran en la tabla 4.11.

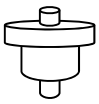
Tabla 4.11. Especificaciones técnicas del tanque de sedimentación.

Características generales Tanque de forma cilíndrica de base cónica			
CARACTERÍSTICAS			
Volumen (V_{TS}) (m^3)	0,03	Diámetro (D_{TS}) (m)	0,26
Altura total (H) (m)	0,68	Tiempo de retención (t_R) (min)	45
Altura del cono (h_c) (m)	0,18	Altura de descarga del líquido (h_{Des}) (m)	0,19
Altura del cilindro (h_{cil}) (m)	0,50	Diámetro de descarga del lodo (D_{Des}) (m)	0,04

Para la unidad de sedimentación, se utilizará un tanque de sección transversal circular, conformado por un cilindro de base cónica. Los lodos del sedimentador, serán drenados por gravedad para aplicarle una disposición final adecuada. Posteriormente, el clarificado resultante se pasa por un filtro de celulosa para eliminar sólidos remanentes, logrando de esta manera un desecho en condiciones requeridas para su descarga.

Para la unidad de filtración por medio de carbón activado de flujo descendente, se utilizara un tanque de área transversal circular. Dicha unidad se encuentra comprendida, por una sección de lecho de filtrado en donde se adsorberán los sólidos disueltos presentes en el desecho y otra en donde se encontrará el desecho líquido retenido (parte superior). El líquido seguirá la circulación y saldrá por debajo del equipo. Es importante resaltar que el equipo se encuentra provisto de membranas de celulosa en la parte superior, para evitar la adsorción de sólidos grandes en el lecho del filtro. Las especificaciones del diseño son mostradas en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Especificaciones técnicas del filtro de carbón activado.

Características generales Filtro de forma cilíndrica			
CARACTERÍSTICAS			
Volumen (V_{TS}) (m^3)	0,018	Superficie del filtro (Sf) (m^2)	0,005
Altura total (H) (m)	0,532	Diámetro (Dt) (m)	0,339
Altura del lecho (h_c) (m)	0,266	Tiempo de retención (t_R) (min)	15

4.6. EVALUAR LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS DISEÑADAS PARA LA SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE A SER IMPLEMENTADA

Con los elementos que conforman la alternativa 2 y 3, las dimensiones de los equipos y los reactivos a utilizar se realizó una búsqueda exhaustiva de los costos de los mismos. Cabe destacar que la alternativa 1 no es tomada en cuenta para la evaluación económica debido a que esta no cumple con la eficiencia que se necesita para llevar los parámetros del desecho a lo estipulado por ley. Los costos asociados a la alternativa 2 y 3 son mostrados en las tablas 4.13 y 4.14, respectivamente.

Tabla 4.13. Costos de la alternativa 2 propuesta.

Item	Descripción	Nº	Precio unitario (Bs)	Total (Bs)
1	Tanque acero inoxidable – Reactor c/agitación	1	1.406.300,0	1.406.300,0
2	Filtro de Carbón Activado modelo SHANLI	1	351.575,0	351.575,0
3	Paquete de filtros de celulosa	1	7.031,5	7.031,5
4	Mano de Obra	1	300.000,0	300.000,0
Sub-Total (Bs)				2.064.906,5
IVA 12% (Bs)				247.788,8
Total (Bs)				2.312.695,3

Tabla 4.14. Costos de la alternativa 3 propuesta.

Item	Descripción	Nº	Precio unitario (Bs)	Total (Bs)
1	Tanque acero inoxidable – Reactor c/agitación	1	1.406.300,00	1.406.300,00
2	Sedimentador modelo GMX con agitación	1	351.575,00	351.575,00
3	Filtro de Carbón Activado modelo SHANLI	1	351.575,00	351.575,00
4	Coagulante 2,5kg : Policloruro de Aluminio	1	351,58	351,58
5	Floculante 2,5kg : Poliacrilamida	1	2.135,82	2.135,82
6	Paquete de filtros de celulosa	1	7.031,50	7.031,50
7	Neutralizante 2,5L: ácido Sulfúrico	1	878,94	878,94
8	Mano de Obra	1	300000,00	300.000,00
Sub-Total (Bs)				2.419.847,83
IVA 12% (Bs)				247.788,78
Total (Bs)				2.710.229,57

Por otro lugar, se estimaron los beneficios que conlleva la puesta en marcha de alguna de las alternativas. Al disminuir los parámetros de los desechos a los estipulados por el Decreto 3.219, se estaría evitando sanciones por parte del Ministerio del Ambiente, como se estipula en la Ley Penal del Ambiente, específicamente en los artículos 8 y 12, en donde además de pago con años de cárcel al responsable la empresa deberá pagar una multa conforme al delito. Se observa en la tabla 4.15 los beneficios mencionados.

Tabla 4.15. Beneficios de la puesta en marcha de una alternativa propuesta.

Objeto	Pago
Día de salario mínimo actual	4.886,73
Días de salario mínimo de multa según el artículo 28 "vertidos líquidos"	1.000,00
Aumento de penalidad según el artículo 12 "zonas pobladas"	Doble
Total	9.773.457,53

Al tenerse los costos iniciales de cada proyecto y los beneficios que estos pueden otorgar se obtiene la relación costo-beneficio, herramienta indispensable que ayuda a tomar una decisión de cuál de las alternativas es la más viable a ser implantada, tomando en cuenta que el costo de la solución no debe sobrepasar el costo del problema, esta relación se puede observar en la en la tabla 4.16.

Tabla 4.16. Relación costo-Beneficios de las alternativas propuestas.

Alternativa	Relación Costo/Beneficio
2	4,23
3	3,61

La mejor solución, en términos financieros es aquella que tiene la mayor relación beneficios-costos, debido a que es la que tiene una diferencia más marcada entre los costos de la alternativa y los beneficios de la solución (Comisión Europea, 2006). Por lo cual, la alternativa 2 (filtración con carbón activado) es la mejor opción en términos financieros y por ende, es la mejor alternativa a ser implementada según el análisis costo beneficios.

La alternativa 2 (filtración con carbón activado) no se dispone de un pre-tratamiento que disminuya la DQO del desecho significativamente, como es el caso de la alternativa 3

(coagulación-floculación y filtración con carbón activado). Por lo cual, se espera que la cantidad de sólidos adsorbidos por el carbón activado en la primera alternativa sean mayores que en la segunda.

El cálculo de la reposición de carbón activado para la alternativa 2, se estimó que debe hacerse cada 4 meses, ya que se consideró que la masa de total de carbón activado puede absorber el 50% de su propio peso, (Sevilla, 2011). Lo que quiere decir que se tendrá unos costos operacionales asociados de 1.131,19 Bs/mes, mientras que los asociados a los reactivos de la alternativa 3 es de 9,15 Bs/mes. Por lo que se espera que los costos operacionales asociados a la alternativa 3 sean menores.

CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas una vez culminado el trabajo de investigación, además de algunas recomendaciones útiles para estudios posteriores.

- El vertido de desechos líquidos en el drenaje es una causa crítica de contaminación ambiental en el Laboratorio Carabobo.
- De acuerdo a la clasificación de peligrosidad del Laboratorio Carabobo, el 47% de los reactivos utilizados son de bajo riesgo, el 45% de los reactivos poseen características propias de los materiales o sustancias peligrosas.
- La DQO, pH y sólidos totales de las muestras de desechos estudiadas provenientes de los análisis seleccionados, presentan una concentración que no cumple con límites establecidos en el decreto 3.219 (Gaceta Oficial Nº 5.305, 1999).
- Las alternativas de coagulación-floculación, adsorción y una combinación de ambas fueron seleccionadas como adecuadas para el tratamiento de los desechos peligrosos.
- El tratamiento de coagulación-floculación de los desechos mezclados ofrece una reducción del 20% de la DQO quedando las concentraciones por encima de lo permitido en la ley.
- El tratamiento físico-químico combinado con una filtración con carbón activado, ofrece una reducción del 91% de la DQO, otorgando un desecho con los parámetros exigidos en la ley.
- El tratamiento con carbón activado genera una reducción del 90% en el parámetro DQO en un desecho sin tratamiento previo.
- El diseño del tratamiento físico-químico planteado consta de un tanque de agitación en el cual se lleva a cabo la homogenización de los desechos y proceso de coagulación-floculación.
- La alternativa de filtración con carbón activado ofrece mayores beneficios.
- La mejor alternativa a seleccionar en cuanto a su relación costo-beneficio es la 2.
- Los costos asociados a la reposición de carbón activado y de los reactivos a aplicar en la alternativa 3 fueron 1131,19 y 9,15 Bs/mes.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere elaborar un plan para la evaluación y control de emisiones de desechos líquidos en el Laboratorio Carabobo. Propiciar un área adecuada para el almacenamiento de los mismos que cumpla con las exigencias de ley.
- Evaluar periódicamente las condiciones del almacén de reactivos y la fecha de vencimiento de los mismos, a fin de verificar la eficiencia de los mismos para su posible reutilización o donación a otras instituciones, de esa forma evitar la acumulación de sustancias expiradas en las instalaciones.
- Se recomienda elaborar un procedimiento para el manejo de desechos líquidos, que incluya su manipulación desde el momento de generación, hasta el momento de recuperación o disposición final.
- Se sugiere agrupar los desechos según su compatibilidad y frecuencia de descarga, para ser tratados con algunas de las alternativas planteadas.
- Establecer el ensayo de jarros como una práctica de laboratorio obligatoria en la Universidad de Carabobo.
- Determinar la eficiencia de remoción de parámetros para la alternativa de oxidación avanzada y realizar estudio de factibilidad.
- Determinar la eficiencia para una alternativa donde se use una pre-oxidación, tratamiento de coagulación-floculación y por último un pulimento con un filtro de carbón activado, ya que se considera la mejor alternativa de tratamiento para estos desechos.
- Evaluar la eficiencia del carbón activado luego de que el desecho pasa a través de un tratamiento fisicoquímico.
- Realizar un estudio de factibilidad determinar la mejor alternativa a implementar en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Public Health Association, APHA (2011). *Métodos Estandarizados para el examen del agua y aguas residuales* (*Standard method for the examination of water and wastewater).* Edición 20. Estados Unidos.

Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua. Tercera edición. McGraw Hill, Colombia.*

Arias F. (2012) *El Proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. Sexta edición. Editorial Episteme. Venezuela.*

Asociación de Consejeros de Seguridad de Navarra, Aconsena (2014). *Almacenamiento de reactivos*. [Documento en línea]. Disponible en: www.aconsena.org/app/webroot/files/pdfs/4dc7d36082.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ve. Consulta: 2016, septiembre.

Area M, Ojeda S, Barboza O, Bengoechea D y Felissia, F. (2010). *Tratamientos aplicables para la reducción de la DQO recalcitrante de efluentes de pulpados quimimecánicos y semiquímicos.* [Documento en línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872010000100001. Consulta: 2017, enero 12.

Aristizábal A y Bermúdez M. (2007). *Estudio de la factibilidad de un sistema de electrocoagulación para tratamiento de aguas procedentes de lavanderías industriales.* Trabajo de grado. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Medellin, Colombia.

Banquero M, Sterling A y Mera A. (2010). *Acople fotocatalítico - biológico para el tratamiento de desechos complejométrico generados en laboratorios de análisis químico y ambiental. R*evista lasallista de investigación, 7 (1): 7-9.

Berrio L, Beltrán O, Agudelo E y Cardona S. (2012). *Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados*. Revista Gestión y Ambiente, 15 (3): 113-124.

Blanco M y Travieso F. (2013). *Propuestas para mejorar el manejo de sustancias peligrosas en los laboratorios del departamento de biología de la facultad de ciencia y tecnología de la*

*Universidad de Carabobo***.** Trabajo especial de grado en ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, BVSDE (2009). *Control de desechos líquidos industriales*. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/000647/0647-07.pdf. Consulta: 2017, enero 12.

Camacho G. (2013). *Diseño de un sistema de manejo de desechos peligrosos generados en los Departamentos de Biología y Química*. Trabajo especial de grado en ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Castrillón D y Giraldo M. (2012). *Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de Villa Santana*. Trabajo especial de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira.

Castro M. (2012). *Sistemas de aireación en tratamiento de agua residual industrial.* [Publicación en línea]. Disponible: http://www.serquimsa.com/sistemas-de-aireacion-en-tratamiento-de-agua-residual-industrial/. Consulta: 2017, enero 12.

Comisión Europea (2006). *Dirección General de Política Regional. Orientación Sobre la Metodología para Realizar Análisis Costes-Beneficios*. [Documento en línea]. Disponible en: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/2007/working/wd4_cost_es.pdf. Consulta: 2017, marzo 13.

Cortinas C. (2000). *Características de peligrosidad ambiental de plaguicidas*. [Publicación en línea]. Disponible en: http://www.ingenieroambiental.com/4014/plagui.pdf. Consulta: 2017, enero 12.

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

Domenech J. (2017). *Diagrama de Pareto. [Documento en línea]. Disponible en:* http://www.jomaneliga.es/PDF/Administrativo/Calidad/Diagrama_de_Pareto.pdf. *Consulta: 2017, enero 11.*

Gázquez M. (2011). *Caracterización y valorización de residuos generados en la industria de producción de dióxido de titanio*. Tesis doctoral, Universidad de Huelva, España.

Gil J y Pinto L. (2013). *Propuesta de lineamientos para el diseño de almacenes para sustancias peligrosas.* Trabajo especial de grado en ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

González A. (2008) *Propuesta para el mejoramiento de la situación ambiental de los laboratorios de química analítica y química orgánica de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo*. Trabajo especial de grado, Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Carabobo, Venezuela.

Gómez N. (2005) *Remoción de materia orgánica por coagulación – floculación.* Trabajo de Grado monográfico, Universidad Nacional de Colombia.

Grupo Lhoist (2013). *Aguas residuales y lodos*. [Publicación en línea]. Disponible en: http://www.lhoist.com/es/market-segment/aguas-residuales-y-lodos#1005. Consulta: 2017, enero 12.

HACH Company. (2008). *Manual de análisis de agua.* Segunda edición. HACH, EE.UU.

Haddad E, Serpa R y Arias R. (2013). *Identificación y clasificación de productos peligrosos: clases de riesgo de la onu, paneles de seguridad y rótulos de riesgos.* [Documento en línea]. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cursode/e/modulos/modulo_1.5.1.pdf. Consulta: 2016, diciembre 01.

Hangzhou Shanli Purify Equipment Corporation (2017). *Filtro de carbon activado SHANLI*. [Documento en línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/shanli-activated-carbon-filter-for-oil-and-water-treatment-60545563654.html?s=p. Consulta: 2017, marzo 13.

Hernández E. (2015). *Aplicación de fotocatálisis heterogénea para el tratamiento de los residuos generados en la prueba de dureza en agua.* Tesis doctoral, Universidad de Veracruz, México.

Himmelblau D. (2002). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química.* (Sexta edición). México: Pearson Educación.

Hiza W y Saavedra J. (2010). *Desarrollar un sistema para el tratamiento de los efluentes líquidos generados en el laboratorio de físico-química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.* Trabajo especial de grado en ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Isla de Juana R. (2005). *Proyectos de plantas de tratamientos de aguas, aguas de proceso, residuales y de refrigeración.* (Primera edición). España: Bellisco, Ediciones Técnicas y Científicas.

Jiangsu World Chemical Co., Ltd. (2017). *Ácido sulfúrico,* Catálogo. Jiangsu, China. Documento en línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/acid-sulphuric-the-reasonable-price-1017801286.html?s=p. Consulta: 2017, Marzo 10.

Lasso A, Bojaca R y Duques M. (2007). *Fósforo soluble en agua por el método de ácido ascórbico.* [Documento en línea]. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/F%C3%B3sforo+Soluble+en+Agua+por+el+M%C3%A9todo+del+Acido+Asc%C3%B3rbico..pdf/4894199d-b9f6-414b-bd00-1ebeca63b981. Consulta: 2017, febrero 23.

Ley Penal del Ambiente. (1992). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 4.358, 22/12/2006.

Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA. (1996). *Diseño conceptual de tecnologías de control de efluentes*. Documentación interna de empresa.

Manual de Gestión de la Calidad. Hidrocentro (2011). *Aseguramiento de la calidad.* Documentación interna de empresa.

Méndez E. (2002) *Metodología.* Tercera edición. Editorial McGraw Hill Interamericana, Colombia.

Meyer E. (1996). *Chemistry* of Hazardous *Materials*. Primera edición. Editorial Prentince Hall, EEUU.

Navarro E. (1998). *Matemática: Teoría y práctica*. Segunda Edición. Caracas.

Navarro J. (2011) *Documento N°5: Análisis Costo Efectividad.* Guía del Instructor, Escuela Nacional de Salud Pública.

Norma COVENIN 2709:2002. Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo (1era Revisión). Venezuela, 28/05/2002.

Norma COVENIN 3061:2002. Materiales Peligrosos. Clasificación, símbolos y dimensiones de señales de identificación (1era Revisión). Venezuela, 29/05/2002.

Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos (Decreto 2635). (1998). Gaceta Oficial Extraordinaria, 5.245, 02/08/1998.

Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Decreto 883). (1994). Gaceta Oficial Extraordinaria, 5.021, 18/12/1994.

Pérez M y Pulgar M. (2013). *Diseño de un sistema de manejo de los desechos peligrosos para las áreas administrativas de la facultad de ciencia y tecnología de la Universidad de Carabobo*. Trabajo especial de grado en ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

Perry R. (2001). *Manual del ingeniero Químico*. Sexta Edición. McGraw Hill, México.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2002). Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, 6 (6): 36-49.

Quesada H, Salas J y Romero L. (2007). *Manejo de desechos industriales peligrosos*. Tecnología en marcha, 20 (2): 16.

Riascos L y Tupaz M. (2015). *Propuesta para el manejo de residuos químicos en los laboratorios de química de la Universidad de Nariño*. Trabajo especial de maestría, Universidad de Manizalez, Colombia.

Rivas Mijares G. (1978). Tratamiento de Aguas Residuales. Segunda Edición. Venezuela. Ediciones VEGA.

Rojas R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas industriales*. [Documento en línea]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/AVA_II-SEM-2014/Contenidos_del_curso/Material_complementario/2002_Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf. Consulta: 2017, enero 12.

Rodríguez A, Letón P, Rosal R, Dorado M, Villar S y Sanz J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas industriales.* Informe de vigilancia tecnológica. Fundación para el conocimiento de Madrid.

Rodríguez S, Fernández M, Bermúdez R y Moris H. (2003). *Tratamiento de efluentes industriales coloreados con Pleurotus spp* Iberoamericana, 20 (2): 164-168.

Sevilla U. (2011). *Manual del carbón activo. Informe para Master en Ingeniería del agua.* Escuela Politécnica Superior, España.

Shanghai Yixuan Desiccant Co, Ltd. (2017). *Carbón activado Yixuan, Catálogo. Pudong New District, Shanghai, China.* [Publicación en línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/cheap-high-quality-bulk-activated-carbon-price-per-ton-861972801.html?s=p. Consulta: 2017, Marzo 10.

Shouguang Desheng Paper Making Chemical Co, Ltd. (2017). *Policloruro de Aluminio (PAC), Catálogo. Shandong, China.* [Publicación en línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/aluminium-polychloride-pac-for-paper-industries-60324517224.html?s=p. Consulta: 2017, Marzo 10.

Soto R. (2007). *Diseño del proceso e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio, provenientes de la línea de producción de químicos para lavandería de una planta industrial.* Trabajo especial de grado, Universidad San Carlos de Guatemala.

Starlab Scientific Co, Ltd. (2017). *Membrana de filtro de discos de acetato de celulosa Starlab, Catálogo. Shaanxi, China*. [Publicación en línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/47mm-pvdf-discs-cellulose-acetate-filter-membrane-60588325902.html?s=p. Consulta: 2017, Marzo 10.

Weihai Borui Chemical Machinery Mfg Co, Ltd. (2017). *Tanque de acero, reactor con agitación*. Catálogo. Shandong, China. [Publicación en línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/50l-stainless-steel-tank-50l-agitated-tank-reactor-60511446022.html?s=p. Consulta: 2017, Marzo 10.

WPCF-Manual Of Practice Nª8 (MOP 8). (1977). *Wastewater Treatment Plant Design* (Primera Edición en Inglés) Sociedad americana de ingenieros civiles. New York. U.S.A

Zhejiang Greatwall Mixers Co., Ltd. (2017). *Mezclador agiatdor serie GMX. Catálogo. Zheijang, China*. [Publicación en línea]. Disponible en: https://spanish.alibaba.com/product-detail/gmx-series-agitator-mixer-60583628317.html?s=p. Consulta: 2017, Marzo 10.

APÉNDICE A

TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS

En esta sección se presentan los datos recolectados y resultados obtenidos en la presente investigación.

Tabla A.1. Lista de chequeo de la situación actual de los desechos líquidos generados en el Laboratorio Carabobo

Laboratorio	Ensayo	Desechos líquidos vertidos en el desagüe	Desechos líquidos almacenados	Desechos líquidos tratados en un autoclave a 120 ºC
Fisicoquímica	Hierro total	x		
	Sílice	x		
	Dureza cálcica y total	2x		
	Sulfato	x		
	Aluminio	x		
	Cloruro	x		
	Alcanilidad	x		
	Cloro total y libre	x		
	Nitrato y nitrito		2x	
	Fosfato		x	
Bacteriología	Prueba presuntiva de agua tratada y agua cruda	2x		2x
	Coliformes fecales y totales	2x		2x
	Pseudomonas	x		x
Plancton	Fitoplancton	x		
	Clorofila	x		
Químico Sanitario	Nitrógeno total	x		
	Sólidos suspendidos y totales	2x		
	DBO	x		
	Oxígeno disuelto	x		
	Detergentes	x		
	Aceites y grasas		x	
	DQO		x	
	Fósforo	x		
Instrumental	Metales: plomo, manganeso, zinc, cobre, hierro y cromo.	6x		
TOTAL		**29**	**5**	**5**

Tabla A.2. Inventario realizado en el almacén de desechos

NOMBRE	PRESENTACIÓN	EXISTENCIA	TOTAL
Desecho de ensayo de DQO	Viales	27 Cajas	2700 Viales
Viales de ensayo de DQO sin uso	Cajas	5 Cajas	250 Ampollas y viales
Viales de ensayo de carbón orgánico total	Cajas	6 Cajas	300 Ampollas y viales
Desecho de ensayo de detergentes	Botellas 2,5 L	6 Botellas	15 L
Desecho de ensayo de DQO	Botellas 2,5 L	9 Botellas	22,5 L
Sobres HACH para ensayo aluminio (Acid. Reagent)	Paquetes de 100 sobres	12 Paquetes	1200 Sobres
Sobres HACH para ensayo aluminio (Blangueado)	Paquetes de 100 sobres	23 Paquetes	2300 Sobres
Sobres HACH para ensayo hierro	Paquetes de 100 sobres	1 Paquete	100 Sobres
Sobres HACH Molibdato Reactivo	Paquetes de 100 sobres	17 Paquete	1700 Sobres
Sobres HACH Blangueador 3 Reactivo	Paquetes de 100 sobres	7 Paquete	700 Sobres
Sobres HACH para ensayo Silice	Paquetes de 100 sobres	36 Paquete	3600 Sobres
Sobres HACH ácido cítrico	Paquetes de 100 sobres	9 Paquete	900 Sobres
Sobres HACH ascórbico	Paquetes de 100 sobres	51 Paquete	5100 Sobres
Sobres HACH para ensayo de cobre	Paquetes de 100 sobres	12 Paquete	1200 Sobres

Tabla A.3. Metodologías de los análisis realizados en el laboratorio.

Análisis	Metodología empleada
Hierro total	Stand method 3500 Fe B
Sílice	Stand method
Dureza cálcica	Stand method 3500 Ca B
Dureza total	Stand method 2340 C
Sulfato	Stand method 4500 E
Aluminio	Stand method 3500 Al B
Cloruro	Stand method 4500 Cl B
Alcanilidad	Stand method 2320 B

Tabla A.3. Metodologías de los análisis realizados en el laboratorio.

Análisis	Metodología empleada
Cloro total y libre	Stand method 4500 Cl F
Nitrato	Método Comercial 8039 HACH
Nitrito	Método Comercial 8507 HACH
Fosfato	Método Comercial 8048 HACH
Prueba presuntiva	Stand method 9223-B
Prueba presuntiva	Determinación de coliformes por la técnica de sustrato definido 9223-B
Coliformes fecales	Determinación de coliformes fecales por la técnica de fermentación de tubos múltiples 9221 E
Coliformes totales	Determinación de coliformes fecales por la técnica de fermentación de tubos múltiples 9221 B
Pseudomonas	Determinación de pseudomonas por la técnica de fermentación de tubos múltiples 9213 F
Fitoplancton	Técnica de conteo de fitoplancton 10200 F
Clorofila	Método de laboratorio
Nitrógeno total	Stand method 4500 Norg C Semi-micro Kjeldahl
Sólidos totales	2540 B
Sólidos suspendidos	Stand method2540 B y C
DBO	Stand method 5210 B
Oxígeno disuelto	Stand method4500 B-C (Modificación azida)
Detergentes	Stand method 5540 C
Aceites y grasas	Stand method 5520 B
DQO	Método Comercial HACH 8000
Fósforo	Vanadomolibdofosfórico 4500 PC
	Stand method 4500 P E
Plomo, manganeso, zinc, cobre, hierro y cromo	Stand method 3111B. Determinación de metales por espectroscopia de Absorción Atómica.

Figura A.1. Clasificación del Área de Bacteriología según las especificaciones de ONU.

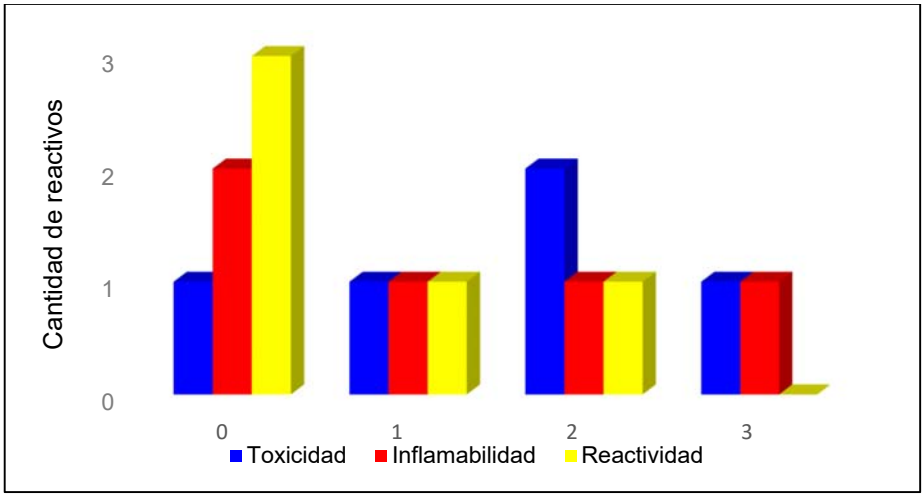


Figura A.2. Clasificación NFPA del Área de Bacteriología.

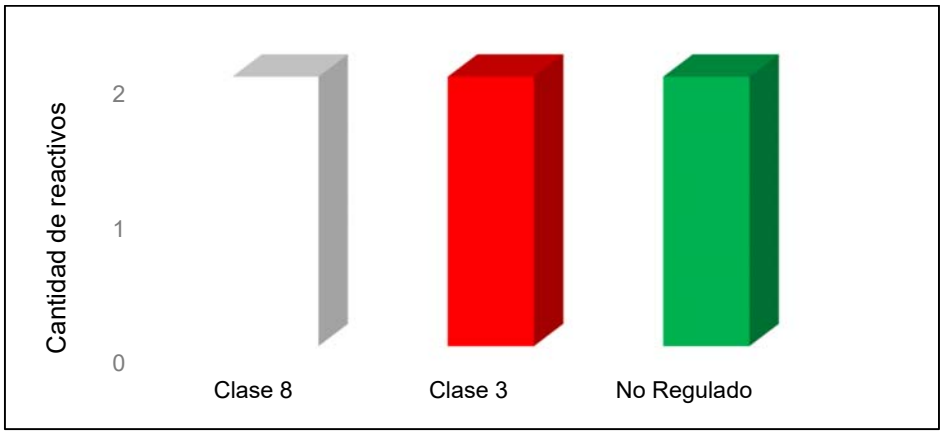


Figura A.3. Clasificación del Área de Plancton según las especificaciones de ONU.

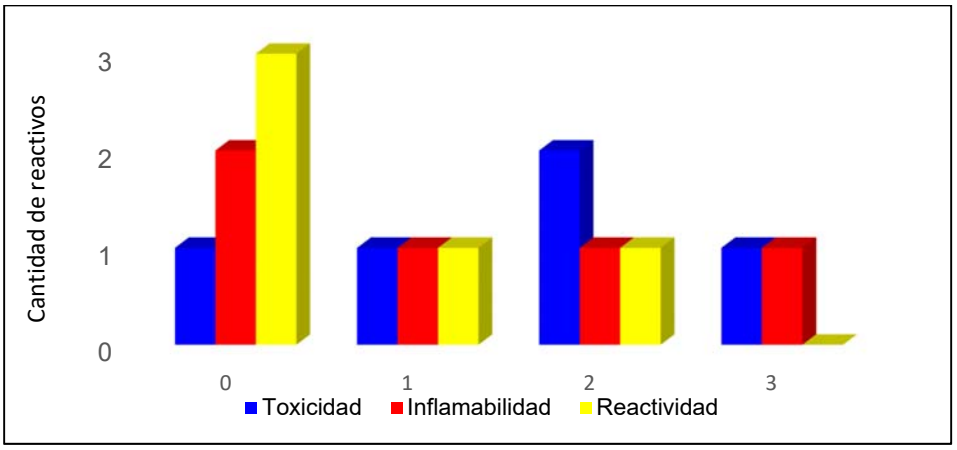


Figura A.4. Clasificación NFPA del Área de Plancton.

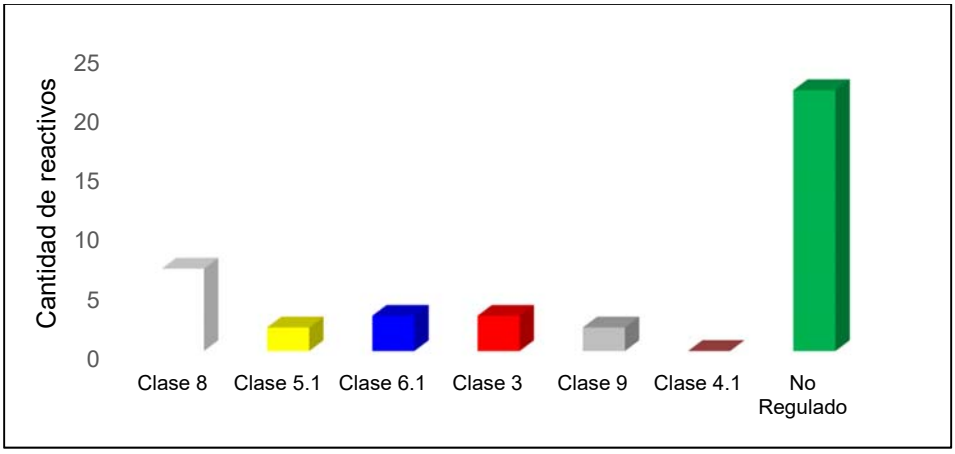


Figura A.5. Clasificación de peligrosidad del Área de Fisicoquímica.

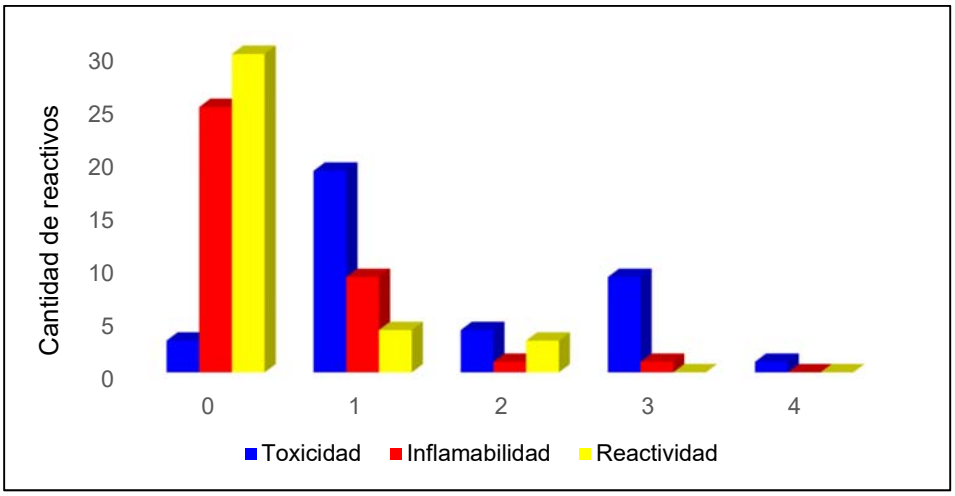


Figura A.6. Clasificación NFPA del Área de Fisicoquímica.

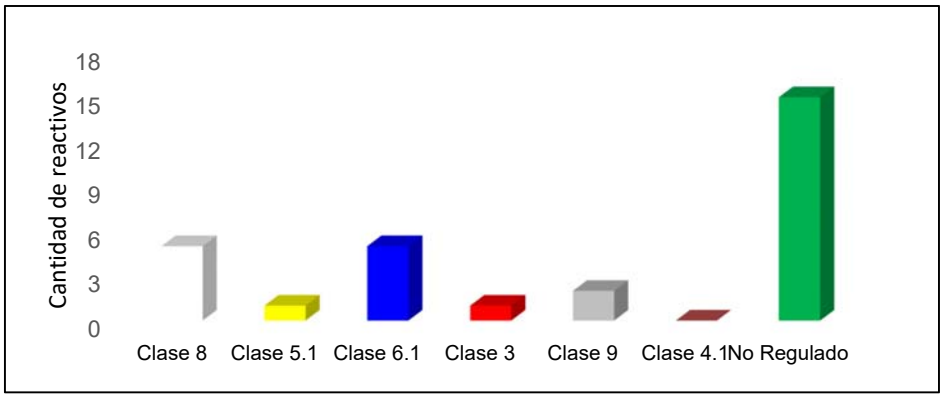


Figura A.7. Clasificación de peligrosidad del Área de Químico Sanitario según las especificaciones de ONU.

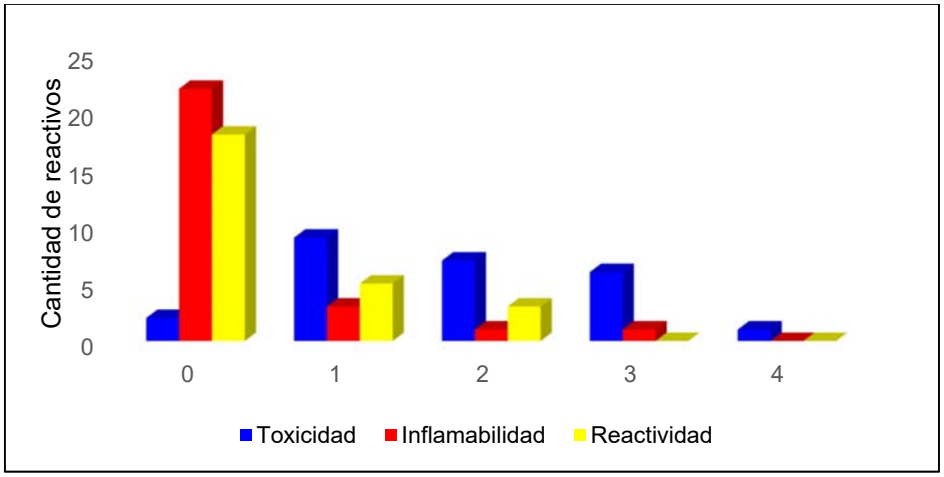


Figura A.8. Clasificación NFPA del Área de Químico Sanitario.

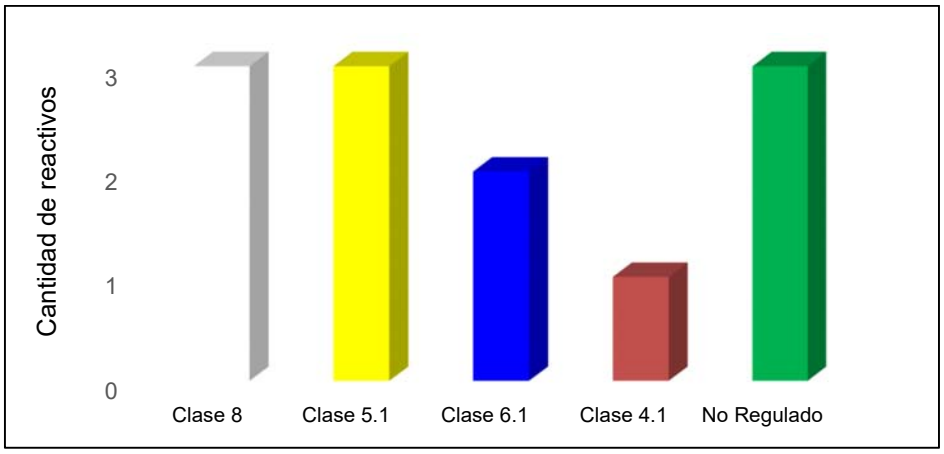


Figura A.9. Clasificación de peligrosidad del Área de Análisis Instrumental según las especificaciones de ONU.

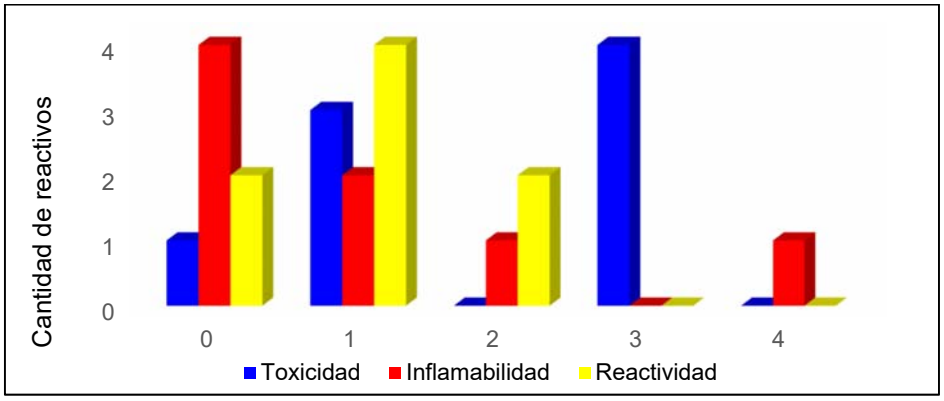


Figura A.10. Clasificación NFPA del Área de Análisis Instrumental.

Tabla A.4. Clasificación de los desechos líquidos generados en el Área de Químico Sanitario

Ensayo	Reactivos utilizados	Volumen de los reactivos utilizados (mL)	Volumen de la muestra (mL)	Volumen aproximado de desecho generado (mL)	Porcentaje volumen (%v/v)	Clasificación de los desechos
NITRÓGE-NO TOTAL	Hidróxido de sodio	10,0	50	50	20,00	**Corrosivo**
	Reactivo digestor	10,0			20,00	
	Ácido bórico					
	Tiosulfato de sodio					
	Ácido sulfúrico	2,0			4,00	
	Rojo de metilo	0,4			0,80	
	Verde de bromotimol					
DBO	Agua de dilución:	100,0	200	310	32,26	**Corrosivo y Tóxico**
	Fosfato de potasio monobásico					
	Fosfato dipotásico					
	Fosfato de sodio					
	Cloruro de amonio					
	Sulfato de magnesio					
	Cloruro de calcio					
	Cloruro férrico					
	Sulfato manganoso	1,0			0,32	
	Álcali yoduro azida	1,0			0,32	
	Ácido sulfúrico	1,0			0,32	
	Almidón	1,0			0,32	
	Tiosulfato de sodio	10,0			3,23	
OXÍGENO DISUELTO	Sulfato manganoso	1,0	300	315	0,32	**Corrosivo**
	Álcali yoduro azida	1,0			0,32	
	Ácido sulfúrico	1,0			0,32	
	Almidón	1,0			0,32	
	Tiosulfato de sodio	10,0			3,17	
	Hexano	30,0			7,50	
FÓSFORO	Metavanadato	10,0	35	55	18,18	**Corrosivo**
	Agua destilada	5,0			9,09	
	Hidróxido de Sodio	4,0			7,27	
	Ácido sulfúrico	1,0			1,82	
	Reactivo combinado	8,0	35	48	16,67	
	Ácido sulfúrico					
	Tartrato de amonio					
	Molibdato					
	Ácido ascórbico					
	Ácido sulfúrico	1,0			1,82	
	Hidróxido de Sodio	4,0			7,27	
DETER-GENTES	Azul de metileno	25,0	100	185	13,51	**Corrosivo y Tóxico**
	Cloroformo	50,0			27,03	
	Hidróxido de sodio	5,0			2,70	
	Ácido sulfúrico	2,0			1,08	
	Fenolftaleína	0,4			0,22	
ACEITES Y GRASAS	Ácido clorhídrico	3,0	500	400	0,75	**Corrosivo e Inflamable**

Tabla A.5. Clasificación de los desechos líquidos generados en el Área de Fisicoquímica

Ensayo	Reactivos utilizados	Volumen de los reactivos utilizados (mL)	Volumen de la muestra (mL)	Volumen aproximado de desecho generado (mL)	Porcentaje volumen (%v/v)	Clasificación de los desechos
HIERRO TOTAL	Ácido clorhídrico	2,0	50	50	4,00	**Corrosivo, Inflamable y Tóxico**
	Hidroxilamina	1,0			2,00	
	Solución Tampón	10,0			20,00	
	Ácido acético					
	Acetato de sodio					
	Fenantrolina	4,0			8,00	
SÍLICE	Ácido clorhídrico	1,0	50	55	1,82	**Corrosivo**
	Molibdato de Amonio	2,0			3,64	
	Ácido oxálico	2,0			3,64	
DUREZA CÁLCICA	Hidróxido de sodio	2,0	50	54,9	3,64	**Corrosivo**
	Murexida	0,6			1,09	
	EDTA	2,3			4,10	
DUREZA TOTAL	Solución Tampón	2,0	50	57	3,51	**Corrosivo**
	Cloruro de amonio					
	Hidroxido de amonio					
	EDTA	4,5			7,89	
	Negro de Eriocromo T	0,4			0,35	
SULFATO	Solución Tampón A:	20,0	100	121	16,53	**Inflamable y Reactivo**
	Cloruro de magnesio					
	Acetato de sodio					
	Nitrato potásico					
	Ácido acético					
	Sal de Bario	1,0			0,83	
ALUMINIO	Ácido sulfúrico	3,4	25	50	6,74	**Corrosivo e Inflamble**
	Ácido ascórbico	1,0			2,00	
	Solución Tampón	10,0			20,00	
	Acetato de sodio					
	Ácido acético					
	Eriocromocianina	5,0			10,00	
	EDTA Blanco	1,0	5	7	2,00	
	Ácido ascórbico Blanco	1,0			2,00	
ALCANI-LIDAD	Indicador Mixto	0,4	100	105,1	0,38	**Corrosivo e Inflamble**
	Verde Bromotimol					
	Rojo de Metilo					
	Ácido sulfúrico	4,7			4,51	
CLORO TOTAL Y LIBRE	Indicador DFD	5,0	100	116,2	4,30	**Tóxico**
	Solución Tampón	5,0			4,30	
	Fosfato ácido disódico					
	Fosfato dipotásico					
	Cloruro de mercurio					
	EDTA					
	Yoduro de potasio	0,2			0,17	
	Sulfato de amonio ferroso	6,0			5,16	
CLORURO	Cromato de potasio	1,0	100	108	1,82	**Reactivo**

Tabla A.6. Clasificación de los desechos líquidos generados en el Área de Plancton

Ensayo	Reactivos utilizados	Volumen de los reactivos utilizados (mL)	Volumen de la muestra (mL)	Volumen aproximado de desecho generado (mL)	Porcentaje volumen (%v/v)	Clasificación de los desechos
FITOPLANCTON	Lugol Yoduro de potasio Iodo Ácido acético glacial	2,0	900	902	0,22	**Corrosivo e Inflamable**
CLOROFI-LA	Etanol	0,2	5000	5000	0,004	**Inflamable**

Tabla A.7. Clasificación de los desechos líquidos generados en el Área de Análisis Instrumental

Ensayo	Reactivos utilizados	Volumen de los reactivos utilizados (mL)	Volumen de la muestra (mL)	Volumen aproximado de desecho generado (mL)	Porcentaje volu-men (%v/v)	Clasificación del desecho
PLOMO	Solución patrón:		100	400		**Corrosivo, Tóxico y Reactivo**
	Nitrato de plomo II	0,0			0,01	
	Ácido nítrico	10,0			10,00	
	Análisis:		100	105	4,76	
	Ácido nítrico	5,0				
MANGANESO	Solución patrón:		100	400		**Corrosivo, Inflamable y Tóxico**
	Ácido nítrico	1,0			1,00	
	Ácido clorhídrico	10,0			10,00	
	Metal de manganeso	0,0			0,00	
	Análisis:		100	105	4,76	
	Ácido nítrico	5,0				
ZINC	Solución patrón:		100	400		**Corrosivo y Tóxico**
	Zinc metálico	0,1			0,03	
	Ácido clorhídrico	20,0			20,00	
	Análisis:		100	105	4,76	
	Ácido nítrico	5,0				
COBRE	Solución patrón:		100	400		**Tóxico**
	Metal cobre	0,1			0,03	
	Ácido nítrico	12,0			12,00	
	Análisis:		100	105	4,76	
	Ácido nítrico	5,0				
HIERRO	Ácido nítrico	8,0	100	400	8,00	**Corrosivo y Tóxico**
	Ácido clorhídrico	10,0			10,00	
	Alambre de hierro	0,1			0,03	
	Ácido nítrico	5,0	100	105	4,76	
CROMO	Ácido nítrico	10,0	100	400	10,00	**Tóxico**
	Óxido de cromo (III)	0,2			0,05	
	Ácido nítrico	5,0	100	105	4,76	

Tabla A.8. Clasificación de los desechos líquidos generados en el Área de Bacteriología

Ensayo	Reactivos utilizados	Volumen de los reactivos utilizados (mL)	Volumen de la muestra (mL)	Volumen aproximado de desecho generado (mL)	Porcentaje volumen (%v/v)	Clasificación del desecho
PRUEBA PRESUN-TIVA (AGUA TRATADA)	Medio de cultivo: Laurylsulfato	10,0	20	30,2	33,11	**Bajo riesgo**
	Triptosa					
	Lactosa					
	Cloruro de sodio					
	Laurilo de sulfato					
	Potasio dihidrogeno fosfato					
	Dipotasio hidrogeno fosfato					
	Tiosulfato de sodio	0,2			0,66	
PRUEBA PRESUN-TIVA (AGUA CRUDA)	Medio de cultivo: Laurylsulfato	20,0	10	30,2	66,23	**Bajo riesgo**
	Medio de cultivo: Laurylsulfato	10,0	1	11,2	89,29	
	Medio de cultivo: Laurylsulfato	1,0	0,1	2,3	43,48	
	Agua peptonada	1,0			43,48	
	Tiosulfato de sodio	0,2			8,70	
COLIFOR-MES FECALES (PRUEBA CONFIR-MATIVA)	Bilis Verde	10,0	1 (presuntiva)	11,2	89,29	**Bajo riesgo**
	Peptona de carne					
	Lactosa					
	Bilis de buey desecada					
	Verde brillante					
	Tiosulfato de sodio	0,2			1,79	
COLIFOR-MES TOTALES (PRUEBA CONFIR-MATIVA)	Caldo Ecdro (Bouillon)	10,0	1 (presuntiva)	11,2	89,29	**Bajo riesgo**
	Peptona de caseína					
	Lactosa					
	Mezcla de sales biliares					
	Cloruro de sodio					
	Hidrógenofosfatodipotásico					
	Dihidrogeno fosfato potásico					
	Tiosulfato de sodio	0,2			1,79	
PSEUDO-MONAS (PRUEBA CONFIRM ATIVA)	Cetrimida	10,0	1 (presuntiva)	11,21	89,21	**Corrosivo**
	Peptona de gelatina					
	Cloruro de magnesio					
	Sulfato potásico					
	Bromuro de cetrimida					
	Agar-agar					
	Tiosulfato de sodio	0,2			1,78	
	Glicerina	0,0			0,09	

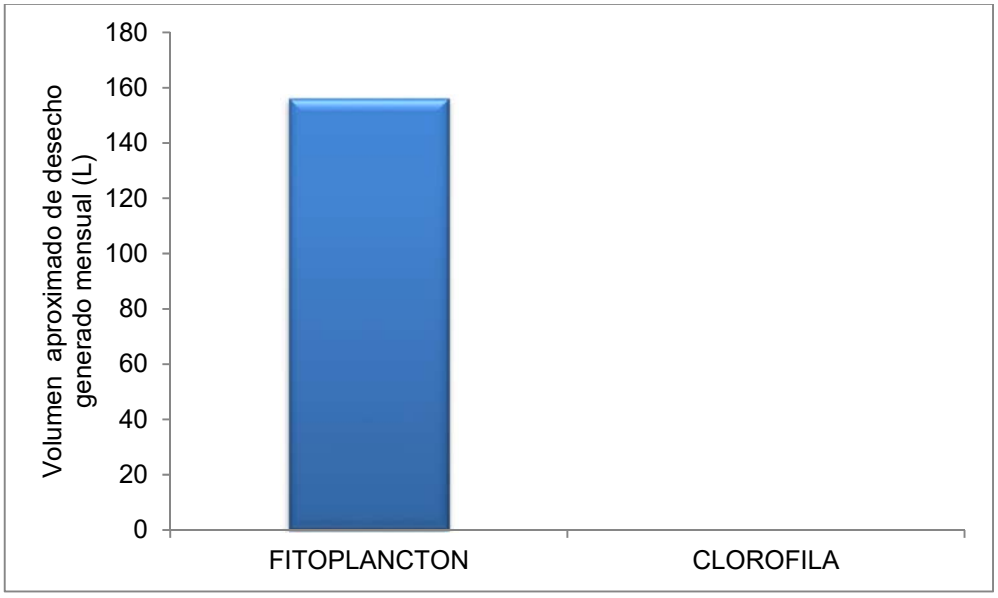


Figura A.11.Volumen de desecho mensual generado en el Área de Plancton.

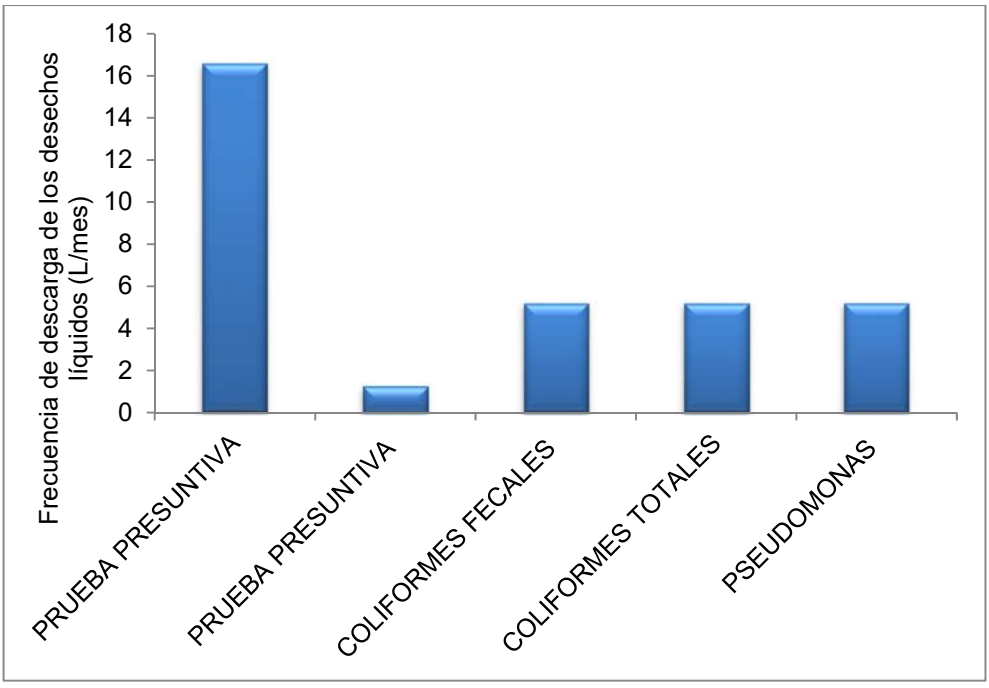


Figura A.12.Volumen de desecho mensual generado en el Área de Bacteriología.

APÉNDICE B

MODELOS MATEMÁTICOS Y CÁLCULOS TÍPICOS

En esta sección se presentan los modelos matemáticos utilizados, para el desarrollo de los objeticos y los cálculos típicos involucrados en la determinación de las dimensiones de los equipos involucrados en las alternativas propuestas

1. Cálculo de la composición de los reactivos en el desecho

Se determina la composición de los reactivos en el desecho en %v/v, empleando la siguiente ecuación:

$$\%V_i = \frac{V_i}{V_D} * 100\% \quad (B.1)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

$\%V_i$: porcentaje en volumen del desecho (Adim).
V_i: volumen del reactivo en el desecho (L).
V_D: volumen estimado del desecho (L).

Sustituyendo los valores pertinentes, en la ecuación B.1, se determina el % V/V de los reactivos constituyentes en el desecho de nitrógeno total.

$$\%V_{NaOH} = \frac{0{,}010\ L}{0{,}050\ L} * 100\% = 20\%$$

Finalmente, el porcentaje en volumen del NaOH en el desecho es %VNaOH es 20%. Aplicando el mismo procedimiento, se determinó el procentaje en volumen del resto de los reactivos empleados en el análisis, obteniéndose que: %V reactivo digestor (ácido bórico y tiosulfato de sodio)= 20%, $\%VH_2SO_4$=4% y %V de indicadores (rojo de metilo y verde de bromotimol)= 0,8%.

2. Cálculo del volumen total estimado de desecho a tratar.

Para determinar el volumen total de desecho a tratar, se parte de los volúmenes estimados de forma individual de los desechos seleccionados.

$$V_T = V_P + V_{DT} + V_{Al} \quad (B.2)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

V_D: volumen total estimado de desecho a tratar (L).

V_P: volumen estimado del desecho de fósforo (L).

V_{DT}: volumen estimado del desecho de dureza total (L)

V_{Al}: volumen estimado del desecho de aluminio (L)

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación B.2, se obtiene:

$$V_D = (1{,}14 + 14{,}269 + 2{,}565)\text{L} = 17{,}974\ \text{L} \approx 18\ \text{L}$$

Finalmente, el volumen total estimado de desecho a tratar es de 18 L.

3. Determinación del porcentaje en volumen de cada desecho.

A partir del volumen total estimado de cada desecho a tratar y el volumen individual de cada uno, se determina el porcentaje en volumen de los desechos mediante la ecuación B.1, obteniéndose:

$$\%V_{Al} = \frac{1{,}14\ \text{L}}{18\ \text{L}} * 100 = 14\ \%$$

Aplicando el mismo procedimiento para los desechos de dureza total y fósforo se obtiene:

$$\%V_{DT} = 80\ \%$$

$$\%V_P = 6\ \%$$

B.1 Dimensionamiento del tanque de agitación (homogeneizador, coagulador-floculador)

Consideraciones del equipo:

- Sección transversal circular.
- Mezclador de paletas mecánico.

4. Cálculo del diámetro del tanque de agitación

Para la determinación del diámetro, se parte de las relaciones recomendadas para el dimensionamiento del tanque y el volumen de un cilindro.

Ecuación de volumen a emplear:

$$V_T \cdot Fc1 = \frac{\pi}{4} D_t^2 \cdot H \quad (B.3)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Relaciones recomendadas:

$$\frac{D_t}{D} = (2{,}7 - 3{,}3) = x \quad (B.4)$$

$$\frac{H}{D} = (2{,}7 - 3{,}9) = b \quad (B.5)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

V_T: volumen del tanque (m^3).

D_t: diámetro de la cámara de mezclado (m).

D: diámetro de la turbina o impulsor (m).

H: altura de la cámara de mezclado (m).

$Fc1$: factor de conversión 1 (1 L/ 0,001 m^3).

A partir de las relaciones mencionadas, se obtiene una nueva relación:

$$H = kD_t \quad (B.6)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

k: relación geométrica (b/x) (Adim)

Se sustituye la relación mencionada en la ecuación del volumen y se despeja el diámetro del mezclador:

$$D_t = \left(\frac{V_T \cdot Fc1 \cdot 4}{\pi \cdot k}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (B.7)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Para la determinación del diámetro, se parte de las relaciones recomendadas para el dimensionamiento del tanque mediante la ecuación 4 y 5, se establece un valor de x= 2,7 y de b=2,9 siendo la relación k=1,074. Posteriormente se sustituye en la ecuación del volumen del cilindro B.7, obteniéndose:

$$D_t = \left(\frac{18 \cdot 0{,}001 \cdot 4}{\pi \cdot 1{,}074}\right)^{\frac{1}{3}} = 0{,}291 \text{ m}$$

Para asegurar el borde libre se aumentará el diámetro

$$D_t = D_t + 0{,}1 \cdot D_t \quad (B.8)$$

(Himmelblau, 2002)

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$D_t = 0{,}291 \text{ m} + 0{,}1 \cdot 0{,}291\text{m} = 0{,}320 \text{ m}$$

Finalmente, el diámetro del tanque es 0,320 m.

5. Cálculo la altura de la cámara de mezclado

Mediante la ecuación B.6 y el diámetro del tanque de igualación, se obtiene la altura de la cámara de mezclado:

$$H = 1{,}074 \cdot 0{,}320 = 0{,}344 \text{ m}$$

Para asegurar el borde libre se aumentará la altura:

$$H = H + 0{,}1 \cdot H \quad (B.9)$$

(Himmelblau, 2002)

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$H = 0{,}344 \text{ m} + 0{,}1 \cdot 0{,}344 \text{ m} = 0{,}378 \text{ m}$$

Finalmente, la altura de la cámara de mezclado es $0{,}378 \text{ m}$

6. Cálculo del diámetro del impulsor

Mediante la ecuación B.4 y el diámetro del tanque, se determina el diámetro del impulsor, obteniéndose:

$$D = \frac{0{,}320\text{m}}{2{,}7} = 0{,}1185 \text{ m}$$

Finalmente, el diámetro del impulsor es 0,1185 m.

7. Cálculo de las especificaciones de la unidad

Al momento de diseñar se puede elegir parámetros específicos como:

- Tipo de mezclador
- Número de paletas
- Inclinación de las paletas
- El ángulo de cruce de las paletas

Para el caso de un impulsor tipo I de 6 paletas y 4 tabiques, se cuenta con las siguientes relaciones recomendadas:

$$\mathrm{I} = 0{,}1 \cdot \mathrm{D_t} \qquad (\mathrm{B.10})$$

$$\frac{\mathrm{h}}{\mathrm{D}} = (0{,}75 - 1{,}3) \qquad (\mathrm{B.11})$$

$$\mathrm{W} = 0{,}25 \cdot \mathrm{D} \qquad (\mathrm{B.12})$$

$$\mathrm{B} = 0{,}25 \cdot \mathrm{D} \qquad (\mathrm{B.13})$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:
h: altura de la turbina en la cámara (m).
B: ancho de la aspa (m).
W: altura de la aspa (m).
I: ancho de la pantalla deflectora (m).

Sustituyendo el diámetro en el tanque de igualación en la ecuación B.10, se obtiene el ancho de la pantalla deflectora:

$$\mathrm{I} = 0{,}1 \cdot \ 0{,}1185\ \mathrm{m} = 0{,}032\ \mathrm{m}$$

Finalmente, el ancho de la pantalla deflectora es 0,032 m.

Sustituyendo el diámetro del impulsor en la ecuación B.11 y suponiendo un valor 1,1 para la relación, se obtiene la altura de turbina en la cámara de mezclado:

$$\mathrm{h} = 1{,}1 \cdot 0{,}1185\ \mathrm{m} = 0{,}1304\ \mathrm{m}$$

Finalmente, la altura de turbina en la cámara de mezclado es 0,1304 m.

Sustituyendo el diámetro del impulsor en la ecuación B.12, se obtiene la altura del aspa:

$$W = 0{,}25 \cdot\ 0{,}1185\ \text{m} = 0{,}029\ \text{m}$$

Finalmente, la altura del aspa es 0,029 m.

Sustituyendo el diámetro del impulsor en la ecuación B.13, se obtiene el ancho del aspa:

$$B = 0{,}25 \cdot\ 0{,}1185\ \text{m} = 0{,}029\text{m}$$

Finalmente, el ancho del aspa es 0,029 m.

8. Recalculo del volumen del tanque de agitación

Se sustituye el diámetro del tanque y la altura de la cámara de mezclado en la ecuación B.3, se obtiene el volumen del tanque de agitación:

$$V_T = \frac{\pi}{4}(0{,}378\ \text{m})(0{,}320\ \text{m})^2 = 0{,}0304\text{m}^3$$

Finalmente, el volumen del tanque de agitación es 0,0304 m^3, equivalente a 30,4 L.

9. Cálculo de las revoluciones del motor

$$R_M = \frac{R_{PJ}}{60} \quad (B.14)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

R_M: revoluciones del motor (rps).
R_{PJ}: revoluciones obtenidas en la prueba de jarras (rpm).

Sustituyendo los valores obtenidos de las revoluciones del motor en la prueba de jarras 80 rpm (durante 1,5 min) para la coagulación, se tiene:

$$R_M = \frac{80\ \text{rpm}}{60} = 1{,}33\ \text{rps}$$

Con el mismo procedimiento, se determina las revoluciones del motor para la floculación, siendo 20 rpm (durante 20 min) el valor empleado en la prueba de jarras:

$$R_M = \frac{20\ \text{rpm}}{60} = 0{,}33\ \text{rps}$$

10. Cálculo de la potencia del impulsor aplicada al agua

$$P = \frac{K.\rho.n^3.D^5}{g} \quad (B.15)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

P: potencia del impulsor (kg·m/s).

K: constante que depende de la forma del impulsor, tamaño y número de bafles deflectores (adim).

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

n: número de revoluciones (rps)

ρ: densidad del agua a la temperatura de referencia (kg/m^3)

Sustituyendo los valores pertinentes se obtiene:

$$P = \frac{6{,}3 \cdot (997{,}0\,\frac{kg}{m^3}).(1{,}33)^3.(0{,}1185m)^5}{9{,}8\ m/s^2} = 0{,}035519\ kg \cdot m/s$$

11. Cálculo de la Potencia suministrada

$$P_s = \frac{P}{75 \cdot \varepsilon} \quad (B.16)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

P_s: potencia suministrada (HP).

ε: eficiencia (adim).

Se considera un 70% de eficiencia.

$$P_s = \frac{0{,}035519\ kg \cdot m/s}{75 \cdot 0{,}70} = 0{,}00067\ HP$$

12. Cálculo del gradiente de velocidad en el coagulador

$$G = \sqrt{\frac{P \cdot Fc2 \cdot g}{\mu.V_T}} \quad (B.17)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

G: gradiente de velocidad (300-2000)s^{-1} (s^{-1})

μ: viscosidad del agua a la temperatura de referencia (kg·m/s)

$Fc2$: factor de conversión 2 (100000 g·cm/s / kg·m/s).

$$G = \sqrt{\frac{\left(3551{,}94\ \text{g} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right) \cdot \left(\frac{980\ \text{cm}}{\text{s}^2} \cdot\right)}{(0{,}000725\ \text{kg/m} \cdot \text{s}\ ) \cdot 0{,}0304\ \text{m}^3 \cdot 10^6}} = 397{,}39\ \text{s}^{-1}$$

Finalmente, el gradiente de velocidad es 397,39 s^{-1} el cual se encuentra dentro del rango recomendado por el Manual de diseño de PDVSA, 1999 (300-1000) s^{-1}.

13. Cálculo de la velocidad de rotación de las paletas

$$V_L = D \cdot R_M \cdot \pi \quad (B.18)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

V_L: velocidad lineal (m/s).

Sustituyendo el diámetro del impulsor y las revoluciones del motor para el floculador, se tiene:

$$V_L = 0{,}1185\ \text{m} \cdot 0{,}33\ \text{rps} \cdot \pi = 0{,}12\ \text{m/s}$$

Finalmente, la velocidad lineal es 0,12 m/s, la cual se encuentra dentro del rango recomendado (0,1-0,9) m/s.

14. Cálculo del gradiente de velocidad en el floculador

$$G = \sqrt{\frac{Cd \cdot Ap \cdot V_L^3 \cdot 0{,}75}{2 \cdot V_T \cdot \mu_c}} \quad (B.19)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

Cd: coeficiente de arrastre de las paletas (1,6-2) (Adim).

Ap: área de la paleta (m^2).

μ_c: viscosidad (m/s).

El área de las paletas se determina con la siguiente ecuación:

$$Ap = N_p \cdot B \cdot W \quad (B.20)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

Np: número de paletas (Adim).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación B.20, se obtiene:

$$Ap = 6 \cdot 0{,}1185\ m \cdot 0{,}029\ m = \ 0{,}021\ m^2$$

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación B.19, se obtiene:

$$G = \sqrt{\frac{(2) \cdot (0{,}021\ m^2) \cdot \left(\frac{0{,}12m}{s} \cdot 0{,}75\right)^3}{2 \cdot 0{,}0304\ m^3 \cdot 7{,}27 \cdot 10^{-7} m/s}} = 27{,}72\ s^{-1}$$

Finalmente, el gradiente de velocidad obtenido se encuentra dentro del rango recomendado (25-100) s^{-1} para tanques de mezcla lenta.

15. Cálculo de la potencia del impulsor aplicada al agua

$$P_f = \frac{Cd \cdot \rho \cdot Ap \cdot (V_L \cdot 0{,}75)^3}{2 \cdot g} \quad (B.21)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Donde:

P_f: potencia del impulsor (kg·m/s).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación B.21, se obtiene:

$$P_f = \frac{(2) \cdot \left(997{,}0 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot (0{,}021\ m) \cdot \left(\frac{0{,}12m \cdot 0{,}75}{s}\right)^3}{2 \cdot 9{,}8\ m/s^2} = \ 0{,}001728\ kg \cdot m/s$$

16. Cálculo de la Potencia suministrada

$$P_s = \frac{P_f}{75 \cdot \varepsilon} \quad (B.22)$$

(Manual de Diseño de Proceso-Tratamiento de Efluentes. PDVSA, 1996)

Se considera un 70% de eficiencia y se sustituyen los valores pertinentes:

$$P_s = \frac{0{,}001728\ kg \cdot m/s}{75 \cdot 0{,}70} = 0{,}0000161\ HP$$

B.2 Dimensionamiento del tanque del tanque sedimentador

El dimensionamiento del tanque sedimentador se realiza siguiendo el procedimiento expuesto en el texto titulado Tratamiento de Aguas Residuales (1978), cuyo autor es Rivas Mijares.

Consideraciones para el diseño del equipo:

- Tiempo de descarga 0,5 h.
- Tiempo de retención 45 min (2700 s), valor obtenido de la prueba de jarras.
- Sección transversal circular, conformada por un cono y un cilindro.
- Altura útil 0,5 m.

17. Cálculo del caudal de operación

$$Q_{op} = \frac{V_D}{t_d} \quad (B.23)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

Q_{op}: caudal de operación (m^3/h).

t_d: tiempo de descarga (h).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación B.23, se obtiene:

$$Q_{op} = \frac{0{,}018\ m^3}{0{,}5\ h} = 0{,}036\ m^3/h$$

Finalmente, el caudal de operación es 0,036 m^3/h.

18. Cálculo del volumen del tanque de sedimentación

$$V_{TS} = Q_{op} \cdot t_R \cdot Fc3 \quad (B.24)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

V_{TS}: volumen del tanque de sedimentación (m^3).

t_R: tiempo de retención (s).

$Fc3$: factor de conversión 3 (1h/3600s).

El tiempo de retención obtenido de la prueba de jarras fue de 2700 s, sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$V_{TS} = 0{,}036 \frac{m^3}{h} \cdot 2700\ s \cdot \frac{1\ h}{3600s} = 0{,}027\ m^3$$

Finalmente, el volumen del tanque sedimentador es 0,027 m^3.

19. Cálculo del área superficial del tanque sedimentador

$$A_s = \frac{V_{TS}}{h_u} \quad (B.25)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

A_s: área superficial del sedimentador (m^2).

h_u: altura útil del sedimentador (m).

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$A_s = \frac{0{,}027\ m^3}{0{,}5\ m} = 0{,}054\ m^2$$

Finalmente, el área superficial es 0,054 m^2.

20. Calculo del diámetro del tanque sedimentador

$$D_{TS} = \left(\frac{4 \cdot A_s}{\pi}\right)^{0{,}5} \quad (B.26)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

D_{TS}: diámetro del tanque sedimentador (m).

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$D_{TS} = \left(\frac{4 \cdot 0{,}054\ m^2}{\pi}\right)^{0{,}5} = 0{,}2622\ m$$

Finalmente, el diámetro del tanque sedimentador es 0,2622 m.

21. Cálculo de la carga superficial

$$C_s = \frac{Q_{op}}{A_s} \cdot Fc4 \qquad (B.27)$$

(Rivas Mijares, 1978)

Donde:

C_s:carga superficial ($m^3/m^2 \cdot día$)

$Fc4$: factor de conversión 4 (1 día/ 24 h)

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$C_s = \frac{0{,}036\ m^3/h}{0{,}054\ m^2} \cdot \frac{24h}{1\ día} = 16\ \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$$

Finalmente, la carga superficial obtenida entra en el rango de valores aceptables establecido por la W.P.C.F de (12-41) $m^3/m^2 \cdot día$.

22. Cálculo del volumen del cono

$$V_c = \frac{V_L}{V_{D_{PJ}}} \cdot V_{TS} \qquad (B.28)$$

(Rivas Mijares, 1978)

Donde:

V_c: volumen del cono (m^3).

V_L: volumen del lodo obtenido en la prueba de jarras (mL).

$V_{D_{PJ}}$: volumen del desecho empleado en la prueba de jarras (mL).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$V_c = \frac{35\ mL}{300\ mL} \cdot (0{,}027\ m^3) = \ 0{,}00315\ m^3$$

Finalmente, el volumen del cono es 0,00315 m^3.

23. Cálculo de la altura del cono

$$h_c = \frac{12 \cdot V_c}{\pi \cdot D_{TS}^2} \quad (B.29)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

h_c: altura del cono (m).

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$h_c = \frac{12 \cdot \ 0{,}00315\ m^3}{\pi \cdot (0{,}2622\ m)^2} = 0{,}175\ m$$

Finalmente, la altura del cono es 0,175 m.

24. Cálculo del volumen del cilindro

$$V_{cil} = V_{TS} - V_c \quad (B.30)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

V_{cil}: volumen del cilindro (m^3).

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$V_{cil} = (0{,}027 - 0{,}00315)m^3 = 0{,}02385\ m^3$$

Finalmente, el volumen del cilindro es 0,02385 m^3.

25. Cálculo de la altura del cilindro

$$h_{cil} = \frac{4 \cdot V_{cil}}{\pi \cdot D_{TS}^2} \quad (B.31)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

h_{cil}: altura del cilindro (m).

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$h_{cil} = \frac{4 \cdot 0{,}02385\ m^3}{\pi \cdot (0{,}2622\ m)^2} = 0{,}4417\ m$$

Finalmente, la altura del cilindro es 0,4417 m.

26. Cálculo de la altura total del tanque sedimentador

La altura total viene dada por la suma de la altura del cilindro y del cono

$$h_{TS} = h_{cil} + h_c \quad (B.32)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

h_{TS}: altura total del tanque de sedimentación (m).

Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$h_{TS} = 0{,}4417\ m + 0{,}175\ m = 0{,}6167\ m$$

Finalmente, la altura total del tanque sedimentador es 0,6167 m.

Para asegurar el borde libre se aumentará la altura, mediante la ecuación B.9:

$$h_{TS} = 0{,}6167\ m + 0{,}1 \cdot 0{,}6167\ m = 0{,}6784\ m$$

Finalmente, la altura total es 0,6784 m.

27. Recalculo de altura y volumen del cilindro

Se recalcula la altura del cilindro mediante la ecuación B.32 y sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$h_{cil} = 0{,}6784\ m - 0{,}175\ m = 0{,}5033\ m$$

Despejando el volumen del cilindro de la ecuación B.31, se obtiene:

$$V_{cil} = \frac{0{,}5033\ m \cdot \pi \cdot (0{,}2622\ m)^2}{4} = 0{,}02718$$

Finalmente, la altura y el volumen del cilindro son 0,5033 m y 0,02718 m respectivamente.

28. Recalculo del volumen total del tanque de sedimentación

Se determina mediante la ecuación B.30. Sustituyendo los valores pertinentes, se obtiene:

$$V_{TS} = 0{,}02718\ m + 0{,}00315\ m = 0{,}03033\ m$$

Finalmente, el volumen del tanque de sedimentación es 0,03033 m.

29. Cálculo de la altura de descarga del desecho clarificado

$$h_{des} = h_c + 0{,}1 \cdot h_c \quad (B.33)$$

(Rivas Mijares, 1978)

Donde:

h_{des}: altura de descarga del desecho clarificado (m).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$h_{des} = 0{,}175\ \text{m} + 0{,}1 \cdot 0{,}175\text{m} = 0{,}1925\ \text{m}$$

Finalmente, la altura de descarga del desecho clarificado es 0,1925 m.

30. Cálculo del diámetro de la descarga del lodo:

$$D_{des} = 0{,}15 \cdot D_{TS} \quad (B.34)$$

(Rivas Mijares, 1978)

Donde:

h_{des_L}:altura de la descarga del lodo (m).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$D_{des} = 0{,}15 \cdot 0{,}2622\ \text{m} = 0{,}03933\ \text{m}$$

Finalmente, el diámetro de descarga del lodo es 0,03933 m.

B.3 Dimensionamiento del filtro de carbón activado

31. Cálculo del caudal que pasa por el filtro:

$$Q_f = \frac{V_f}{t} \quad (B.35)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

Q_f: caudal que pasa por el filtro (m^3/h).

V_f: volumen de desecho a tratar (m^3).

t: tiempo de retención (h).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$Q_t = (0{,}018\ m^3/0{,}25\ h) = 0{,}072\ {}^{m^3}/_{h}$$

Finalmente, el caudal que pasa por el filtro es 0,072 m^3/h.

32. Cálculo de la superficie del filtro:

$$S_f = Q_f/C_s \quad (B.36)$$

(Isla de Juana, 2005)

Donde:

S_f: superficie del filtro (m^2).

C_s: carga superficial del filtro ($m^3/m^2.h$).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$S_f = \frac{0{,}072\ m^3/h}{15\ \frac{m^3}{h.m^2}} = 0.0048\ m^2$$

Finalmente, el caudal que pasa por el filtro es 0,0048 m^2.

33. Cálculo del diámetro del filtro:

$$S_f = \frac{\pi}{4}.D_f^2 \quad (B.37)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

D_f: diametro del filtro (m).

Despejando el diámetro del filtro de la ecuación B.36, se obtiene:

$$D_f = \left(\frac{4 \cdot 0{,}0048\ m^2}{\pi}\right)^{1/2} = 0{,}3078\ m$$

Finalmente, el diámetro del filtro es 0.3078 m.

34. Cálculo de la altura del filtro:

$$V_f = \frac{\pi}{4}.D_f^2\ .H_f \quad (B.38)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

H_f: altura del filtro (m).

Despejando la altura del filtro de la ecuación B.37, se obtiene:

$$H_f = \frac{4.\,0{,}018\ \text{m}}{\pi.\,(0{,}3078\ \text{m})^2} = 0{,}2418\ \text{m}$$

Finalmente, el diámetro del filtro es 0,3078 m.

35. Sobredimensionamiento de los equipos:

Se efectúa un sobredimensionamiento en las dimensiones del equipos del 10%, se muestra un ejemplo de cálculo con la altura del equipo.

$$H_{fc} = H_f \cdot\ 1{,}1\ \ (\text{B.}39)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

H_{fc}: altura del filtro corregida (m).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$H_{fc} = 0{,}2418\ \text{m} \cdot 1{,}1\ = 0{,}2660\ \text{m}$$

Finalmente, la altura del filtro es 0,2660 m^2, mientras que el valor del diámetro del filtro es 0,3386 m.

36. Cálculo de la altura total del filtro:

Se consideró la altura necesaria para que el desecho a tratar no se desborde por lo que se aumentó el doble la altura del filtro debido a que el proceso del equipo es del tipo por carga o batch.

$$H_t = H_{fc} \cdot 2\ \ (\text{B.}40)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

H_t: altura total del filtro corregida (m).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$H_{fc} = 0{,}2660\ \text{m} \cdot 2 = 0{,}5322\ \text{m}$$

Finalmente, la altura total del filtro es 0,5322 m.

B.4 Estimación de la relación costo-beneficios de las alternativas 2 y 3 de la investigación

37. Cálculo del día de salario mínimo:

$$SM_d = \frac{SM_m . ma}{da} \quad (B.41)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

SM_d: día de salario mínimo (Bs/día).
SM_m: salario mínimo por mes (Bs/mes).
ma: meses del año (mes).
da: día del año (días).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$SM_d = \frac{148638\ \frac{\text{Bs}}{\text{mes}} * 12\ \text{meses}}{365\ \text{días}} = 4886{,}73\ \frac{\text{Bs}}{\text{día}}$$

Finalmente, el día de salario mínimo 4886,73 Bs/día.

38. Cálculo de la multa estipulada por la Ley Penal del Ambiente:

Según el artículo 28 de la Ley Penal del Ambiente la multa que debe pagar por vertidos líquidos contaminantes es de mil salarios mínimos, mientras que el artículo 12 sugiere un aumento de penalidad si la contaminación se produce en zonas pobladas.

$$M = SM_d \cdot 1000 \cdot 2 \quad (B.42)$$

(Ley Penal del Ambiente, 1992)

Donde:

M: multa dispuesta por ley (Bs/día).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$\mathrm{M} = \ 4886{,}73 \ \frac{\mathrm{Bs}}{\mathrm{día}} \cdot \ 1000 \cdot \ 2 = \ 9.773.457{,}53 \ \frac{\mathrm{Bs}}{\mathrm{día}}$$

Finalmente, la multa que estipula la ley es de 4.886,73 Bs/día.

39. Cálculo de los costos en bolívares de los equipos, reactivos e insumos a utilizar en las alternativas:

El valor del dólar SIMADI para la fecha actual de la investigación es de 703,15 Bs.

$$\mathrm{CtBs} = \ \mathrm{CtD} \ . \ \mathrm{D_{SIMADI}} \quad (\mathrm{B}.43)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

CtBs: Costo de tanque homogenizador, coagulador - floculador (Bs).
CtD: Costo de tanque homogenizador, coagulador - floculador ($).
$\mathrm{D_{SIMADI}}$: Dólar SIMADI ($/Bs).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$\mathrm{CtBs} = \ 2000 \ \$ \ . \ 703{,}15 \ \frac{\mathrm{Bs}}{\$} = 1.406.300 \ \mathrm{Bs}$$

Finalmente, los costos en bolívares del tanque homogenizador, coagulador – floculador es de 1.406.300 Bs. Se procedió de la misma manera para el sedimentador y el filtro de carbón activado para los cuales se obtuvieron costos iguales de 351.575 Bs. Por último se obtuvieron los costos de policloruro de aluminio, poliacrilamida, ácido sulfúrico y filtros de celulosa los cuales fueron 351,58 Bs; 2.135,82 Bs; 878,94 y 7.031,50 Bs, respectivamente.

40. Cálculo de los costos de las alternativas 2 y 3:

Se realiza una sumatoria de los costos asociados a cada alternativa

$$\mathrm{C_{alt2}} = \mathrm{CtBs} + \ \mathrm{Cfc} + \mathrm{Cs} + \mathrm{Cf} + \mathrm{Cas} + \mathrm{Cmo} \quad (\mathrm{B}.44)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

C_{alt2}: costos de la alternativa 2 (Bs).
Cfc: costos del filtro de carbón activado (Bs).
Cs: costo del sedimentador (Bs).
Cf: costos de filtros de celulosa (Bs).
Cas: costos del ácido sulfúrico (Bs).
Cmo: costos de la mano de obra (Bs).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$C_{alt2} = 1.406.300\ \text{Bs} + 351.575\ \text{Bs} + 351.575\ \text{Bs} + 7.032\ \text{Bs} + 879\ \text{Bs} + 300.000\ \text{Bs} = 2.064.906\ \text{Bs}$$

Finalmente, el costo de la alternativa 2 es de 2.064.906 Bs, se aplicó la misma modalidad de cálculo para la alternativa 3 en la cual se estimaron unos costos asociados de 2.419.847 Bs.

41. Cálculos de los impuestos de las alternativas 2 y 3:

Los impuestos que el país admite son del 12%.

$$IC_{alt2} = C_{alt2} \cdot \ 0{,}12 \quad (B.45)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

IC_{alt2}: impuestos sobre la renta de los costos asociados a la alternativa 2 (Bs).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$IC_{alt2} = 2.064.906\ \text{Bs}\ .\ 0{,}12 = 247.788\ \text{Bs}$$

Finalmente, los impuestos sobre la renta asociados a la alternativa 2 son de 247.788 Bs, se aplicó la misma modalidad de cálculo para la alternativa 3 en la cual se estimaron unos impuestos asociados a los costos de 290.381 Bs.

42. Cálculos de los costos totales de las alternativas 2 y 3:

$$CT_{alt2} = C_{alt2} + IC_{alt2} \quad (B.46)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

$\mathrm{CT_{alt2}}$: costos totales de la alternativa 2 (Bs).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$\mathrm{CT_{alt2}} = 2.064.906\ \mathrm{Bs} + 247.788\ \mathrm{Bs} = 2.312.695\ \mathrm{Bs}$$

Finalmente, los costos totales asociados a la alternativa 2 son de 2.312.695 Bs, se aplicó la misma modalidad de cálculo para la alternativa 3 en la cual se estimaron unos costos asociados de 2.710.229 Bs.

43. Cálculo de la relación costos - beneficios de las alternativas 2 y 3:

$$\mathrm{R_{alt2}} = \frac{\mathrm{B_{alt2}}}{\mathrm{CT_{alt2}}} \quad (\mathrm{B}.47)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

$\mathrm{R_{alt2}}$: relación costos - beneficios de la alternativa 2 (Adim).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$\mathrm{R_{alt2}} = \frac{9.773.457\ \mathrm{Bs}}{2.312.695\ \mathrm{Bs}} = 4{,}23$$

Finalmente, la relación costo - beneficio de la alternativa 2 es de 4,23, se aplicó la misma modalidad de cálculo para la alternativa 3 en la cual se estimó una relación de 3,61.

B.5 Cálculos de los costos operacionales asociados al uso de insumos y reactivos

Para estimar la frecuencia de cambio de carbón activado se partirá de las masas pesadas en los ensayos realizados, la cantidad máxima de sólidos adsorbidos por el carbón es del 50% de su peso (Sevilla, 2011).

44. Cálculo de la masa de los sólidos adsorbidos por el carbón activado:

$$\mathrm{m_{ad}} = \mathrm{m_f} + \mathrm{m_o} \quad (\mathrm{B}.48)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

m_{ad}: masa de sólidos adsorbidos por el carbón activado (g).

m_f: masa final del carbón activado (g).

m_o: masa inicial del carbón activado (g).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$m_{ad} = 3{,}378 - \ 3{,}000\ \text{g}\ = 0{,}378\ \text{g}$$

Finalmente, la masa de sólidos adsorbidos por el carbón activado es de 0,378 g.

45. Cálculo de la masa de sólidos máxima que puede adsorber el carbón activado:

$$m_{ad-max} = m_o \cdot 0{,}5 \quad (B.49)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

m_{ad-max}: masa de sólidos máxima que puede adsorber el carbón activado (g).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$m_{ad-max} = 3\ \text{g} \cdot \ 0{,}5 = 1{,}5\ \ \text{g}$$

Finalmente, la masa de sólidos máxima que puede adsorber el carbón activado es de 1,5 g.

46. Cálculo de la frecuencia de cambio de carbón activado:

$$FC = \frac{m_{ad-max}}{m_{ad}} \quad (B.50)$$

(Navarro, 1998)

Donde:

FC: frecuencia de cambio del carbón activado (Adim).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$FC = \frac{1{,}5\ g}{0.378\ g} = 3{,}96$$

Finalmente, aproximando el valor al número entero par mayor se obtiene que la frecuencia de cambio del carbón activado es de 4, lo cual se puede interpretar como 4 usos o 4 meses.

47. Cálculo de la masa del lecho de carbón activado a cambiar:

$$m_{ca} = V_{ca} \cdot \rho_{ca} \quad (B.51)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

m_{ca}: masa del lecho de carbón activado a cambiar (kg).
V_{ca} : volumen del lecho de carbón activado (L).
ρ_{ca} : densidad del carbón activado granulado (kg/L).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$m_{ca} = 18\ L \cdot 0{,}65\ \frac{kg}{L} = 11{,}7 kg$$

Finalmente, la masa del lecho de carbón activado es de 11,7 kg.

48. Cálculo de los costos asociados al cambio del carbón activado:

$$C_{ca} = m_{ca} \cdot CD \cdot D_{SIMADI} \quad (B.52)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

C_{ca}: costos asociados al cambio del carbón activado (Bs).
CD: costo del carbón activado en dólares ($/kg).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$C_{ca} = 11{,}7\ kg \cdot 0{,}55\ \frac{\$}{kg} \cdot 703{,}15\ \frac{Bs}{\$} = 4.524{,}77\ Bs$$

Finalmente, los costos asociados al cambio del carbón activado son de 4.524,77 Bs.

49. Cálculo de los costos asociados al cambio del carbón activado al mes:

$$C_{cam} = \frac{C_{ca}}{FC} \quad (B.53)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

C_{cam} : costos asociados al cambio del carbón activado al mes (Bs).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$C_{cam} = \frac{4.524{,}77 \text{ Bs}}{4 \text{ meses}} = 1.131{,}19 \frac{\text{Bs}}{\text{mes}}$$

Finalmente, los costos asociados al cambio del carbón activado al mes son de 1.131,19 $\frac{\text{Bs}}{\text{mes}}$.

50. Cálculos de la masa de policloruro de aluminio y poliacrilamida en la prueba de jarras:

$$C_{pa} * Fc5 = \frac{m_{pa}}{V_{pa}} \quad (B.54)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

C_{pa}: concentración de la solución de policloruro de aluminio (ppm).

m_{pa}: masa de policloruro de aluminio utilizada (g).

V_{pa}: volumen de policloruro de aluminio utilizada (mL).

Fc5: Factor de conversión 5 (1ppm = 0,000001 g/mL)

Despejando y sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$m_{pa} = 20000 \text{ ppm} \cdot 0{,}000001 \frac{\text{g/mL}}{\text{ppm}} \cdot 20 \text{ mL} = 0{,}4 \text{ g}$$

Finalmente, la masa de policloruro de aluminio utilizada en la prueba de jarras es de 0,4 g, mientras que la masa de poliacrilamida es de 0,02 g.

51. Cálculo de la relación de masa de reactivo a utilizar con respecto al volumen de desecho:

$$R_{ra} = \frac{m_{pa}}{V_d} \quad (B.55)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

R_{ra}: relación de de masa de reactivo a utilizar con respecto al volumen de desecho (g/mL).
V_d: volumen de desecho en la prueba de jarras (mL).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$R_{ra} = (0{,}4\ g/150\ mL) = 0{,}002667\ g/mL$$

Finalmente, la relación de masa de reactivo a utilizar con respecto al volumen de desecho es de 0,002667 $\frac{g}{mL}$, mientras que para la poliacrilamida es de 0,000133 $\frac{g}{mL}$.

52. Cálculo de la masa de policloruro de aluminio utilizado por mes en el tratamiento del desecho:

$$m_{pam} = R_{ra} \cdot V_{dt} \quad (B.56)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

m_{pam}: masa de policloruro de aluminio utilizada por mes (g).
V_{dt}: volumen de desecho total a tratar mensualmente (mL).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$m_{pam} = 0{,}002667\ \frac{g}{mL} \cdot 18000\ mL = 48\ g$$

Finalmente, la masa utilizada por mes en el tratamiento del desecho es de 48 g, mientras que para la poliacrilamida la masa es de 2,4 g.

53. Cálculo de la frecuencia reposición del policloruro de aluminio:

$$\mathrm{FR_{pa}} = \frac{\mathrm{m_d}}{\mathrm{m_{pam}}} \ (\mathrm{B.57})$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

$\mathrm{m_d}$: masa de policloruro de aluminio disponible (g).

$\mathrm{FR_{pa}}$: frecuencia de reposición del policloruro de aluminio (Adim).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$\mathrm{FR_{pa}} = \frac{2500\ \mathrm{g}}{48\ \mathrm{g}} = 52$$

Finalmente, la frecuencia de reposición del policloruro de aluminio que se obtuvo fue de 52, la cual representa los usos que se le puede dar a la inversión inicial, por lo que para este caso se traduce en 52 meses, para la poliacrilamida se realiza el mismo cálculo, obteniéndose 2053 meses.

54. Cálculo de los costos asociados a la reposición del policloruro de aluminio por cada mes:

$$\mathrm{C_{pam}} = \frac{\mathrm{C_{pa}}}{\mathrm{FR_{pa}}} \ (\mathrm{B.58})$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

$\mathrm{C_{pam}}$: costos asociados a la reposición del policloruro de aluminio por mes (Bs).

$\mathrm{C_{pa}}$: costos asociados a la reposición de policloruro de aluminio (Bs).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$\mathrm{C_{pam}} = \frac{351{,}575\ \mathrm{Bs}}{52\ \mathrm{meses}} = 6{,}75\ \frac{\mathrm{Bs}}{\mathrm{mes}}$$

Finalmente, los costos asociados a la reposición del policloruro de aluminio es de 6,75 $\frac{\text{Bs}}{\text{mes}}$. Por otro lugar, se aplicó el mismo esquema de cálculo para la poliacrilamida y el ácido fosfórico utilizado para los cuales es obtuvo un costo de 2,05 y 0,35 $\frac{\text{Bs}}{\text{mes}}$.

55. Cálculo del costo total de reposición de reactivos:

$$\text{C}_{\text{tr}} = \text{C}_{\text{pam}} + \text{C}_{\text{pdam}} + \text{C}_{\text{afm}} \quad (\text{B.}59)$$

(Himmelblau, 2002)

Donde:

C_{tr}: costos totales asociados a la reposición de reactivos (Bs/mes).
C_{pdam} : costos asociados a la reposición de poliacrilamida (Bs/mes).
C_{afm} : costos asociados a la reposición de ácido fosfórico (Bs/mes).

Sustituyendo los valores pertinentes en la ecuación, se obtiene:

$$\text{C}_{\text{tr}} = 6{,}75\ \frac{\text{Bs}}{\text{mes}} + 2{,}05\ \frac{\text{Bs}}{\text{mes}} + 0{,}35\ \frac{\text{Bs}}{\text{mes}} = 9{,}15\ \frac{\text{Bs}}{\text{mes}}$$

Finalmente, el costo total asociado a la reposición de reactivos es de 9,15 $\frac{\text{Bs}}{\text{mes}}$.

APÉNDICE C

TABLAS Y FIGURAS BIBLIOGRÁFICAS

En esta sección se muestran las tablas y figuras bibliográficas empleadas para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla C.1. Densidad y viscosidad del agua líquida a diversas temperaturas (Perry, 2001).

Temperatura T(ºC)	Densidad ρ_{agua} (kg/m^3)	Viscosidad μ·10-6 (N/m)
0	999,8	1793,0
5	1000	
10	999,7	1307,0
15	999,1	
20	998,2	797,7
25	997,0	
30	995,6	653,2
35	994,1	
40	992,2	547,0
45	990,2	
50	988,1	466,5
55	985,7	
60	983,2	404,0
70	997,8	
80	971,8	314,5

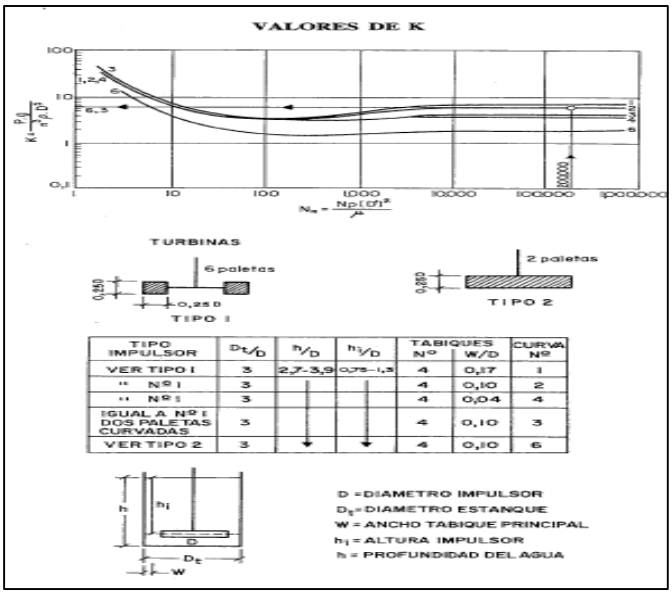


Figura C.1. Diseño de impulsores (Rivas Mijares, 1978).

APÉNDICE D

LEYES Y DECRETOS AMBIENTALES

En la siguiente sección se muestran las leyes y decretos ambiente que rigen la presente la investigación.

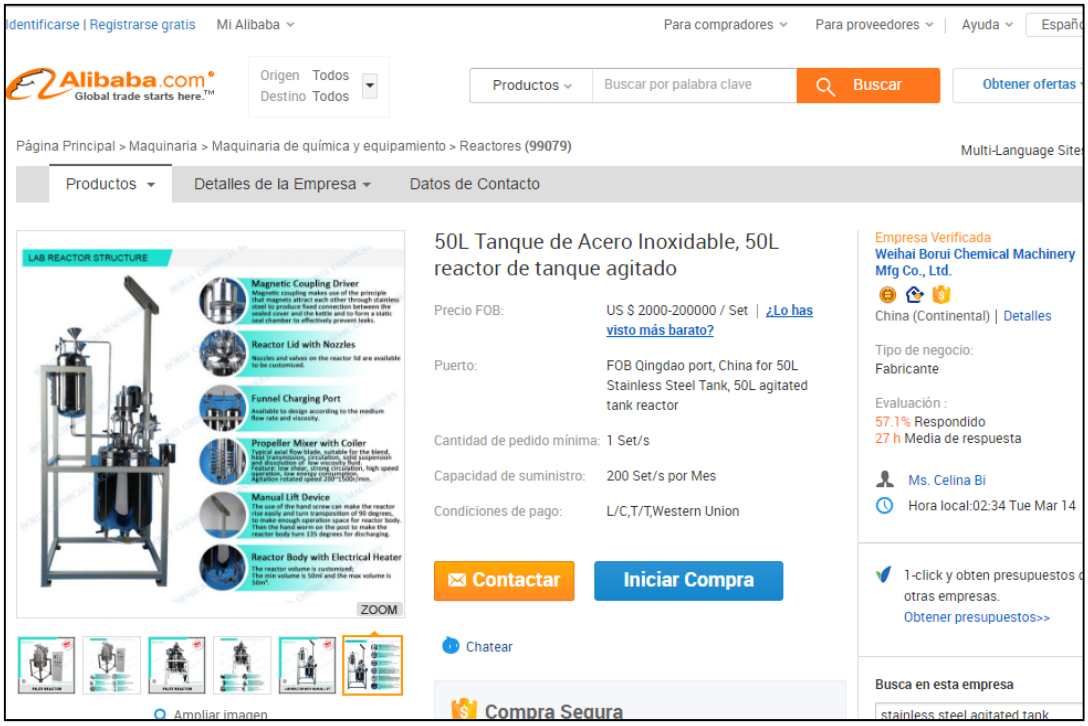
Tabla D.1. Decretos ambientales para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos

Parámetros Físico- Químicos	Decreto 3.219 (Gaceta oficial Nº 5.305, 1999)	Decreto 833 (Gaceta oficial Nº 5.021, 1995)	
	Descargas directas o indirectas al lago de valencia (Art.36)	Descargas a cuerpos de agua (Art. 10)	Descarga a redes cloacales (Art. 15)
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/L	20 mg/L	20 mg/L
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/L	20 mg/L	150 mg/L
Aldehídos	2,0 mg/L	2,0 mg/L	No indica
Aluminio total	1,0 mg/L	5,0 mg/L	5,0 mg/L
Arsénico total	0,1 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L
Bario total	5,0 mg/L	5,0 mg/L	5,0 mg/L
Boro	5,0mg/L	5,0 mg/L	No indica
Cadmio total	0,1 mg/L	0,2 mg/L	0,2 mg/L
Cianuro total	0,1 mg/L	0,2 mg/L	0,2 mg/L
Cloruros	1000 mg/L	1000 mg/L	No indica
Cobalto total	0,05 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L
Cobre total	0,5 mg/L	1,0 mg/L	1,0 mg/L
Cromo total	2,0 mg/L	2,0 mg/L	2,0 mg/L
Cromo hexavalente	0,1 mg/L	No indica	No indica
Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$)	60 mg/L	60 mg/L	350 mg/L
Demanda Química de Oxígeno DQO	350 mg/L	350 mg/L	900 mg/L
Detergentes	2,0 mg/L	2,0 mg/L	8,0 mg/L
Dispersantes	2,0 mg/L	2,0 mg/L	8,0 mg/L
Espuma	Ausente	Ausente	No indica
Estaño	5,0 mg/L	5,0 mg/L	No indica
Fluoruros	5,0 mg/L	5,0 mg/L	No indica
Fósforo total	1,0 mg/L	10 mg/L	10 mg/L
Hierro total	10 mg/L	10 mg/L	25 mg/L
Manganeso total	2,0 mg/L	2,0 mg/L	10 mg/L
Mercurio total	0,01 mg/L	0,01 mg/L	0,01 mg/L
Níquel total	1,0 mg/L	No indica	2,0 mg/L
Nitrógeno total	10 mg/L	40 mg/L	40 mg/L
pH	(6-9)	(6-9)	(6-9)
Plata total	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,1 mg/L
Plomo total	0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L
Selenio	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,2 mg/L
Sólidos flotantes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sólidos sedimentables	1,0 mg/L	1,0 mg/L	No indica
Sólidos suspendidos	80 mg/L	80 mg/L	400 mg/L
Solidos totales	No indica	No indica	1600 mg/L
Sulfitos	2,0 mg/L	2,0 mg/L	No indica
Sulfatos	600 mg/L	1000 mg/L	400 mg/L
Sulfuros	0,5 mg/L	0,5 mg/L	2,0 mg/L
Vanadio	No indica	No indica	5,0 mg/L
Zinc	5,0 mg/L	5,0 mg/L	10 mg/L

Tabla D.2. Marco legal ambiental de desechos líquidos.

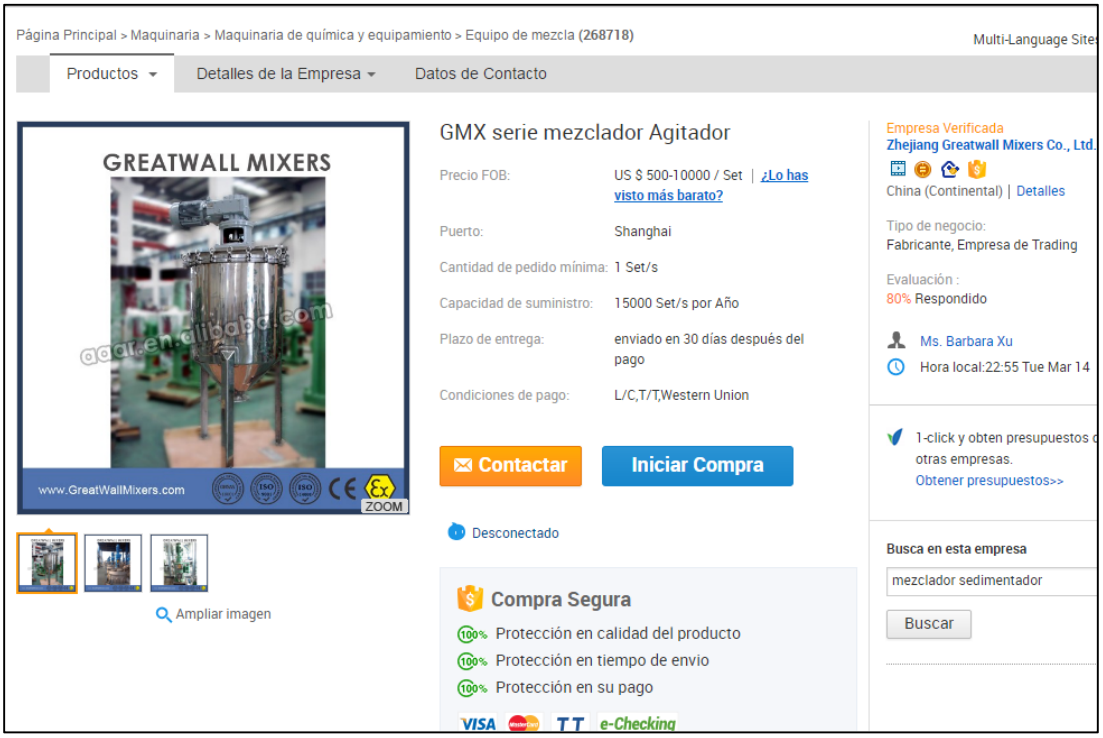
Nombre	Gaceta Oficial / Norma (Fecha)	Decreto	Descripción
Normas para la clasificación y control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia	**5.305** (01/02/1999)	3.219	Establece la clasificación de las aguas del Lago de Valencia y sus tributarios y las normas para el control de la calidad de vertidos líquidos a ellos descargados.
Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos	**5.245** (2/08/1998)	2.635	Este decreto tiene por objeto regular la recuperación de materiales y el manejo de desechos, con características peligrosas y que representen una fuente de riesgo a la salud a trabajadores y al ambiente.
Ley penal del ambiente	**4.358** (03/01/1992)		La presente tiene por objeto tipificar como delitos aquellos hechos que violen la conservación del ambiente y establece sanciones penales correspondientes y adecuadas.
Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo	**Norma Covenin 2709** (28/05/2002)		Establece las técnicas de muestro del agua según su procedencia
Materiales Peligrosos. Clasificación, símbolos y dimensiones de señales de identificación.	**Norma Covenin 3060** (29/05/2002)		Indica la clasificación de riesgos, los símbolos y las dimensiones de las señales de identificación para materiales peligrosos

ANEXOS

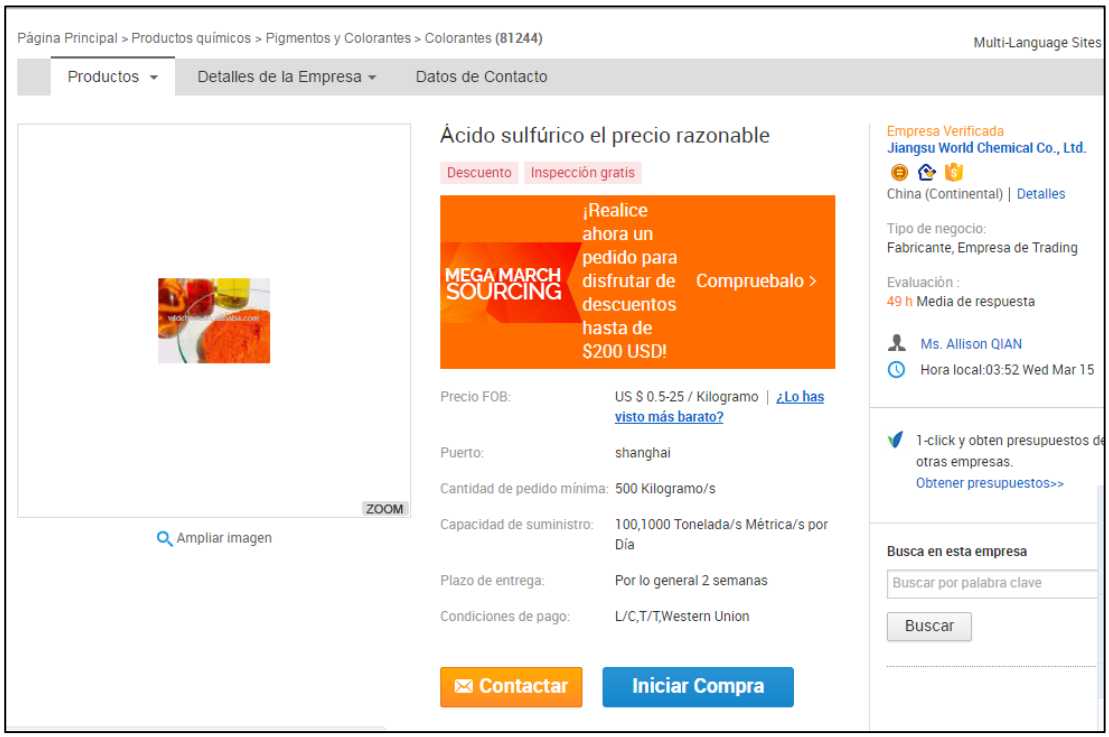


Anexo 1. Costo y características del tanque coagulador – floculador.

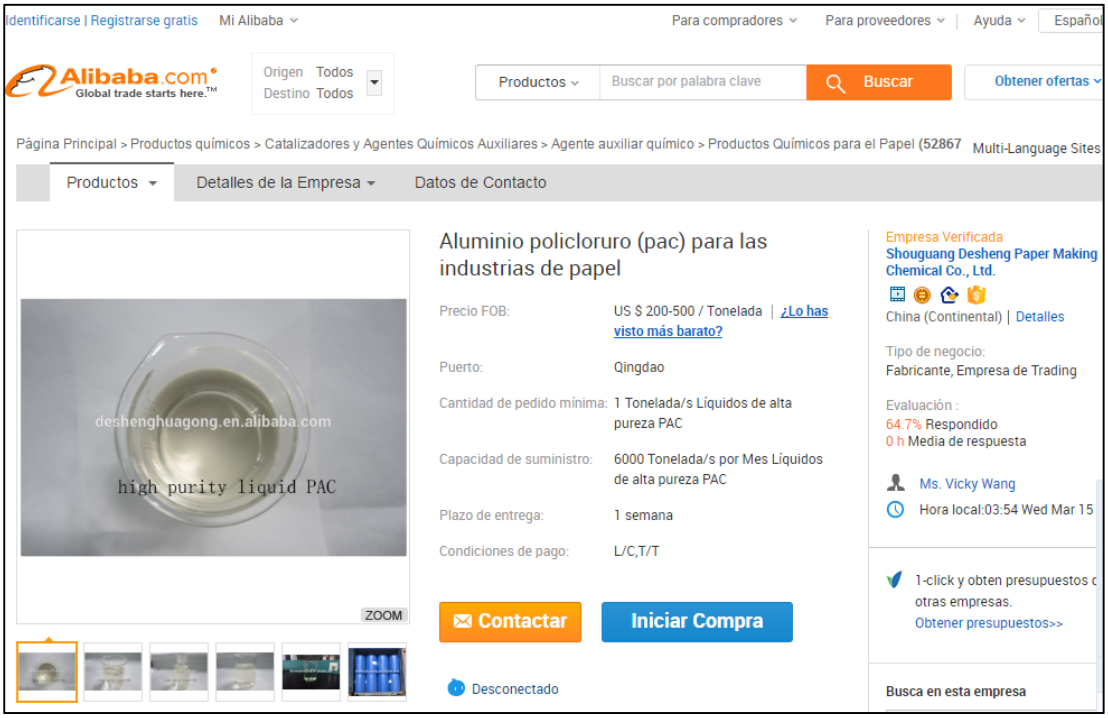
Anexo 2. Costo y características del filtro de carbón activado.



Anexo 3. Costo y características del sedimentador con agitación.



Anexo 4. Costo y características del ácido sulfúrico a utilizar.



Anexo 5. Costo y características del policloruro de aluminio a utilizar.

Anexo 6. Costo y características de la poliacrilamida a utilizar.

Anexo 7. Costo y características de las membranas de acetato de celulosa a utilizar.

Anexo 8. Costo y características del carbón activado a utilizar.