



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**PROCESO DE BIOSORCIÓN A TRAVÉS DE MATERIALES DE ORIGEN  
ORGÁNICO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL CONTENIDO  
DE ACEITES MINERALES PRESENTES EN LAS AGUAS DEL  
RÍO LOS GUAYOS, MUNICIPIO LOS GUAYOS,  
ESTADO CARABOBO**

AUTOR: Rodríguez F. Maricruz E.

Naguanagua, Febrero de 2018



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**PROCESO DE BIOSORCIÓN A TRAVÉS DE MATERIALES DE ORIGEN  
ORGÁNICO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL CONTENIDO  
DE ACEITES MINERALES PRESENTES EN LAS AGUAS DEL  
RÍO LOS GUAYOS, MUNICIPIO LOS GUAYOS,  
ESTADO CARABOBO**

TUTOR:  
COLMENARES M.  
María C.  
C.I: 10.233.204

AUTOR:  
RODRÍGUEZ F.  
Maricruz E.  
C.I: 19.365.714

Naguanagua, Febrero de 2018



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**PROCESO DE BIOSORCIÓN A TRAVÉS DE MATERIALES DE ORIGEN  
ORGÁNICO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL CONTENIDO  
DE ACEITES MINERALES PRESENTES EN LAS AGUAS DEL  
RÍO LOS GUAYOS, MUNICIPIO LOS GUAYOS,  
ESTADO CARABOBO**

Trabajo de grado presentado ante el área de estudios de postgrado de la Universidad de Carabobo para optar al título de magíster en Ingeniería Ambiental

AUTOR:  
RODRÍGUEZ F. Maricruz E.

Naguanagua, Febrero de 2018

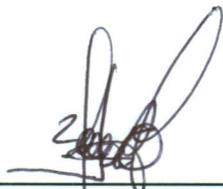


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

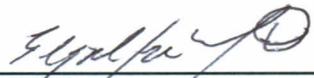


**VEREDICTO**

Nosotros, miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado: **PROCESO DE BIOADSORCIÓN A TRAVÉS DE MATERIALES DE ORIGEN ORGÁNICO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE ACEITES MINERALES PRESENTES EN LAS AGUAS DEL RÍO LOS GUAYOS, MUNICIPIO LOS GUAYOS, ESTADO CARABOBO**. Presentado por: **Ing. Maricruz E. Rodríguez Freites** para optar al Título de **Magister en Ingeniería Ambiental** estimamos que reúne los requisitos para ser considerado como:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Auxilia Mallia**  
C-2884204  
**Miembro interno**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. María Cristina Colmenares**  
**Presidente 10233204**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Edgar Mujica**  
C-3164235  
**Miembro externo**

Naguanagua, Febrero de 2018



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



### VEREDICTO

Nosotros, miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado: **PROCESO DE BIOSORCIÓN A TRAVÉS DE MATERIALES DE ORIGEN ORGÁNICO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE ACEITES MINERALES PRESENTES EN LAS AGUAS DEL RÍO LOS GUAYOS, MUNICIPIO LOS GUAYOS, ESTADO CARABOBO.** Presentado por: **Ing. Maricruz E. Rodríguez Freites** para optar al Título de **Magister en Ingeniería Ambiental** estimamos que reúne los requisitos para ser considerado como:

---

\_\_\_\_\_  
**Prof.  
Presidente**

\_\_\_\_\_  
**Prof.**

**Miembro interno**

\_\_\_\_\_  
**Prof.**

**Miembro externo**

Naguanagua, Noviembre de 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Todopoderoso

A mis padres y hermanos

A Josué Rivero y Hever Rivas

A la profesora María Cristina Colmenares

Al personal de Pequiven, Hidrocentro y PDVSA-INTEVEP

A Carmen Rodríguez, motor fundamental que me impulsó a alcanzar esta meta

## DEDICATORIA

A ti, que estando físicamente me cuidaste y acompañaste y que ahora desde el cielo sonríes por la meta alcanzada; recibe el reconocimiento por el esfuerzo, la paciencia y el amor que como hermano de vida me brindaste y la certeza de que estarás en mis pensamientos y oraciones hasta que nos volvamos a encontrar...

Para ti, Hever Rivas.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



## PROCESO DE BIOSORCIÓN A TRAVÉS DE MATERIALES DE ORIGEN ORGÁNICO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE ACEITES MINERALES PRESENTES EN LAS AGUAS DEL RÍO LOS GUAYOS, MUNICIPIO LOS GUAYOS, ESTADO CARABOBO

AUTOR: Ing. Rodríguez Freites, Maricruz Evelyn.  
TUTOR ACADÉMICO: Msc. Colmenares, María Cristina.  
FECHA: Naguanagua, Noviembre de 2017.

### RESUMEN

La presente investigación, de tipo descriptiva con diseño experimental, tuvo como objetivo evaluar el proceso de biosorción, a través de cáscara de huevo de gallina y cabello humano, como alternativa para disminuir el contenido de aceites minerales presentes en el agua del Río Los Guayos, Municipio Los Guayos del Estado Carabobo. Para ello, se realizó un diagnóstico de la situación actual relacionada con la presencia de estos compuestos en el agua del río, determinando una concentración de 25,6 mg/l de aceites y grasas, además de la caracterización, a través de microscopía electrónica de barrido y análisis de superficie, de una muestra de los materiales utilizados como bioadsorbentes; posteriormente, se empleó una matriz factorial de 3x3 y se describió el proceso de bioadsorción, estableciendo condiciones experimentales de temperatura (25C), cantidad de sustrato (2, 4 y 6 g), velocidad de agitación (100 rpm) y tiempo de contacto sustrato-solución (3 hrs). Se determinó la concentración de aceites y grasas en alícuotas tomadas cada hora y, finalmente, se determinó el porcentaje de remoción de aceites y grasas alcanzado con cada sustrato, evidenciándose que el cabello humano proporcionó mejores resultados (74,80%) que la cáscara de huevo (46,29%) bajo las mismas condiciones de experimentación y que la cantidad de sustrato y el tiempo de contacto sustrato-solución influyen directamente en el proceso de biosorción.

**Palabras claves:** biosorción, aceites y grasas, cáscara de huevo de gallina, cabello humano, DRX, infrarrojo, análisis de superficie, porcentaje de remoción.

### ABSTRACT

The present research, descriptive with experimental design, aimed to assess the biosorption process, through eggs shell chicken and human hair, as an alternative to reduce the content of mineral oils in the water of The Los Guayos River, municipality Los Guayos, Carabobo State. To do it, a diagnosis of the current situation related to the presence of these compounds in the

water from the river was made, by determining a concentration of 25.6 mg/l of oils and fats, as well as the characterization, scanning electron microscopy and the surface analysis of a sample of the materials used as bioadsorbents. Subsequently a factorial matrix of 3x3 was used and the bioadsorption process was described, establishing experimental conditions of temperature (25° C), the amount of substrate (2, 4, and 6 g), the speed agitation (100 rpm) and the contact substrate-solution time (3hrs). The concentration of oils and fats was determined into aliquots taken every hour and finally, it was determined the percentage of removal of oils and fats reached with each substrate, demonstrating that human hair provided better results (74,80%) than the eggshell (46,29%) under the same conditions of experimentation, and that the amount of substrate and the substrate-solution contact time directly influence the bioadsorption process.

**Key words:** biosorption, oils and fats, egg shell, human hair, XRD, infrared, surface analysis, percentage of removing.

## CONTENIDO

	Pág.
Introducción	1
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	9
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Justificación.....	10
1.5 Alcance.....	11
1.6 Limitaciones.....	11
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	12
2.2 Bases Teóricas.....	15
2.2.1 El agua.....	15
Importancia y disponibilidad del recurso agua.....	16
Contaminación de las aguas.....	16
2.2.2 Aguas Residuales.....	17
Origen de las aguas residuales.....	17
Características químicas del agua residual.....	18
Muestreo de aguas residuales.....	20
Tipos de muestras.....	20
Modalidad de captación.....	21
2.2.3 Aceites Lubricantes.....	22
Aceites usados.....	22
Efecto de los aceites usados sobre el ambiente.....	24
2.2.4 Bioadsorción.....	25
Bioadsorbentes: El tratamiento de aguas mediante la bioadsorción.....	26
Cáscara de huevo como bioadsorbente.....	28
Cabello humano como bioadsorbente.....	29
Aplicación de la adsorción.....	30
Eficiencia de la adsorción.....	30

Isoterma de adsorción.....	31
2.3 Bases Legales.....	35
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de investigación.....	37
3.2 Diseño y nivel de la investigación.....	37
3.3 Población y Muestra.....	38
3.3.1 Población.....	38
3.3.2 Muestra.....	38
3.4 Técnicas de recolección y Análisis de la información.....	39
3.5 Procedimiento (Fases de la Investigación).....	40
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1 Diagnóstico de la situación actual.....	53
Muestreo del río.....	57
Determinación del caudal del río.....	59
Determinación de la concentración de aceites minerales.....	60
4.2 Caracterización de los materiales bioadsorbentes.....	60
4.3 Análisis del proceso de bioadsorción como alternativa para disminuir el contenido de aceites.....	64
Sustrato 1: Cáscara de huevo de gallina.....	65
Sustrato 2: Cabello humano.....	67
4.4 Medición de la efectividad de los materiales orgánicos utilizados en el proceso de bioadsorción.....	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Composición media del aceite lubricante mineral.....	31
Tabla 2.2. Constituyentes potencialmente peligrosos del aceite lubricante usado.....	33
Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de los materiales adsorbentes según la forma de uso...	36
Tabla 3.1 Requisitos de preservación y tipo de envase para el análisis.....	50
Tabla 3.2 Instrumentos empleados para la determinación del caudal del río.....	52
Tabla 3.3. Especificaciones de las muestras enviadas al IVIC.....	55
Tabla 3.4. Diseño factorial de la fase experimental. (a) Sustrato 1. Cáscara de Huevo, (b) Sustrato 2. Cabello Humano.....	56
Tabla 4.1 Características generales del área de estudio.....	61
Tabla 4.2. Resultados de los Análisis Físicoquímicos y Biológicos del río Los Guayos como Tributario del Lago de Valencia, Estado Carabobo.....	64
Tabla 4.3. Caudal del Río Los Guayos.....	67
Tabla 4.4. Concentración de aceites minerales en el agua del río Los Guayos.....	68
Tabla 4.5. Composición de la muestra de cáscara de huevo.....	69
Tabla 4.6. Composición de la muestra de cabello humano.....	70
Tabla 4.7. Valores de área, volumen y diámetro de poros obtenidos para la cáscara de huevo.....	72
Tabla 4.8. Comportamiento de la concentración de aceites y grasas en la muestra de agua del río durante el proceso de adsorción con cáscara de huevo.....	74
Tabla 4.9. Remoción de aceites y grasas durante proceso de adsorción con cáscara de huevo.....	75
Tabla 4. 10 Comportamiento de la concentración de aceites y grasas en la muestra de agua del río durante el proceso de adsorción con cabello humano.....	77
Tabla 4.11 Remoción de aceites y grasas durante proceso de adsorción con cabello humano.....	77
Tabla 4.12 Efectividad de los bioadsorbentes en la remoción de aceites y grasas.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Reservas de agua dulce en el mundo por región.....	16
Figura 2.2. Mecanismo de adsorción.....	25
Figura 2.3. Cáscara de huevo de gallina.....	28
Figura 2.4. Cabello humano.....	30
Figura 2.5. Tipos comunes de isothermas.....	33
Figura 2.6. Gráficos de diferentes isothermas.....	34
Figura 3.1. Determinación de la concentración de aceites y grasas.....	45
Figura 3.2. Pretratamiento de los bioadsorbentes.....	49
Figura 3.3. Proceso de bioadsorción con cáscara de huevo.....	50
Figura 3.4. Proceso de bioadsorción con cabello humano.....	51
Figura 4.1. Vista satelital Municipio Los Guayos.....	54
Figura 4.2. Caudales promedio de los principales cuerpos de agua del Estado Carabobo.....	54
Figura 4.3. Actividades económicas en las adyacencias del río.....	55
Figura 4.4. Puntos de muestreo seleccionados.....	56
Figura 4.5. Punto de muestreo N°1 (PM1), Avenida Principal Vivienda Popular de Los Guayos.....	57
Figura 4.6. Punto de muestreo N°2 (PM2), Sector Las Agüitas.....	57
Figura 4.7. Punto de muestreo N°3 (PM3), Sector El Roble.....	58
Figura 4.8. Micrografía de la muestra de cáscara de huevo.....	60
Figura 4.9. Espectro de EDX de la muestra de cáscara de huevo.....	60
Figura 4.10. Micrografía de la muestra de cabello humano.....	61
Figura 4.11. Espectro de EDX de la muestra de cabello humano.....	62
Figura 4.12. Isotherma de adsorción-desorción de N <sub>2</sub> de la cáscara de huevo.....	63
Figura 4.13. Biosorción de aceites y grasas a través de cáscara de huevo.....	65
Figura 4.14. Remoción de aceites y grasas a través de cáscara de huevo.....	66
Figura 4.15. Isotherma de adsorción empleando cáscara de huevo.....	67
Figura 4.16. Bioadsorción de aceites y grasas a través de cabello humano.....	68
Figura 4.17. Remoción de aceites y grasas a través de cabello humano.....	69
Figura 4.18. Isotherma de adsorción empleando cabello humano.....	70

## INTRODUCCIÓN

El agua, como componente importante de nuestro planeta, permite la promoción del crecimiento económico y el desarrollo social de las regiones, impactando los patrones de vida y cultura de la población.

Generalmente, los seres humanos se concentran en las proximidades de los cursos de agua dulce y provocan que estos sistemas sean los primeros hábitats en degradarse, tomando en cuenta que estos ecosistemas son muy vulnerables, soportando flujos de materiales constantes, con cambios rápidos y, en ocasiones, con ciclos naturales muy lentos, que impiden expeler los agentes contaminantes que son vertidos en sus cauces.

Con base en esta realidad, se hace necesario diseñar e implementar, constantemente, estrategias que permitan un desarrollo sustentable y sostenible que garantice un adecuado aprovechamiento de los recursos, que incluya tanto concienciación de la población hacia el uso del territorio y el ambiente, como mecanismos de conservación y/o recuperación de espacios afectados por la acción del hombre.

En este sentido, la aplicación de materiales de bajo costo, obtenidos a partir de diferentes biomasas provenientes de la flora microbiana, algas y residuos domésticos o agroindustriales, se presenta en la actualidad como una bioalternativa para remediar los efectos de la contaminación y ha sido investigada para reemplazar el uso de métodos convencionales en la remoción de contaminantes. Este proceso se conoce como bioadsorción y permite la captación activa o pasiva de compuestos, debido a la propiedad que diversas materias vivas o muertas poseen para enlazar y acumular contaminantes por diferentes mecanismos.

En el presente trabajo se evalúa el proceso de bioadsorción como alternativa para la remoción de aceites minerales presentes en el agua del río Los Guayos, ubicado entre los municipios San Diego y Los Guayos, del Estado Carabobo, a través del uso de biomasa residual de origen doméstico, con el objeto de disminuir el nivel de polución de este recurso hídrico, generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos y trasladando el agente contaminante a un nivel de fácil manejo y control (de cuerpo de agua con gran movilidad a material sólido).

La temática descrita se expone en cuatro capítulos; en el Capítulo I, se muestra de manera detallada la problemática existente, la justificación de la investigación, los objetivos generales y

específicos, así como el alcance y las limitaciones que surgieron durante su desarrollo. En el Capítulo II, se muestran los antecedentes, así como los fundamentos teóricos y legales sobre los cuales se basa la discusión de los resultados, que permitieron el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados.

En el Capítulo III, se establece el tipo de investigación llevada a cabo, además de las herramientas metodológicas empleadas para desarrollar cada uno de los objetivos. Seguidamente, en el Capítulo IV, se exponen los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación, tomando en consideración los métodos, técnicas e instrumentos descritos en el capítulo anterior.

Finalmente, se presentan las conclusiones con base en los resultados y los aportes más relevantes derivados del proceso investigativo, así como un análisis reflexivo sobre la realidad percibida y una serie de recomendaciones enfocadas en la investigación realizada, desde un punto de vista académico y técnico.

## **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

*En el presente capítulo se describe el problema que sustenta el desarrollo de la investigación, especificando la situación actual, la definición del problema y la situación deseada.*

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La calidad del agua de cuerpos receptores es un factor que debe ser garantizado para el desarrollo sustentable y la conservación de la vida en el planeta. Hasta la fecha, son muchas las convenciones y tratados en los cuales se ha reiterado la obligatoriedad que tienen los Estados de cumplir con ciertos parámetros que aseguran unas características idóneas desde el punto de vista ambiental y de salubridad.

En este sentido, Naciones Unidas (2010) reconoce que un agua potable y el saneamiento de la misma son esenciales para el desarrollo de todos los derechos humanos, tal como se expresó en la Asamblea General llevada a cabo en el mes de julio de ese año, en la Resolución 64/292.

Por su parte, en el informe emitido, y aprobado por ONU-Agua, Un Water (2014) indica que. “Los recursos hídricos deben ser gestionados de manera sostenible si se desea mantener un suministro tanto para las personas como para los usos económicos” (p. s/n). Lo que evidencia la importancia de utilizar adecuadamente el agua disponible en el ambiente para garantizar su aprovechamiento en el tiempo.

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas, químicas y bacteriológicas de una muestra con unas directrices de calidad o estándares; con el tiempo, el deterioro de ésta se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial, ampliándose cada vez más la brecha entre los valores deseados, o recomendados por organismos con competencia en materia de salud pública y ambiente, y los reales, obtenidos durante la caracterización de las fuentes de agua disponibles para la población.

Este deterioro, entendido como contaminación, se debe en buena parte al vertido ilícito e inconsciente de sustancias, tanto peligrosas como no peligrosas, a los cuerpos de agua, los cuales tienen una capacidad natural de autodepuración si se mantienen condiciones específicas

como temperatura y tiempo para la degradación, tal como lo señala Félez, M (2009); sin embargo, con el crecimiento acelerado de la población, la distribución de ésta en áreas no autorizadas (urbanismos no planificados), la expansión de la actividad industrial y agrícola que trae consigo la explotación de recursos, la amenaza del cambio climático que causa importantes alteraciones en el ciclo hidrológico y el incumplimiento de normas ambientales, este proceso se ha visto alterado, limitando el poder de ríos, lagos y estuarios de reponer sus condiciones originales.

El Observatorio del medio ambiente de Aragón (2007), en su Guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados, señala que una de las sustancias que genera efectos negativos en las corrientes de agua, por vertido directo a estas o percolación a través del suelo, corresponde a los aceites lubricantes usados, generados en talleres mecánicos, industrias y hogares, posterior a actividades de reparación o mantenimiento de vehículos automotores, principalmente.

Cabe destacar que, la Organización Europea para la Conservación del Ambiente, Salud y Seguridad en la Industria Petrolera CONCAWE (2000) los define como “todos aquellos aceites con base mineral o sintética que se hayan vuelto inadecuados para el uso que se les hubiere asignado inicialmente” (p. s/n).

Así mismo, en el Anexo I, numerales 8 y 9 del Convenio de Basilea (1989) se establece que el aceite lubricante usado es un residuo peligroso, considerando que sus principales componentes son altamente tóxicos y su uso inadecuado afecta no sólo a los seres vivos sino también al ambiente.

En este sentido, el Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados (2006), basado en el Convenio 063 de la República de Colombia realizado en 2005, señala que. “La presencia del aceite altera los procesos de intercambio con el medio ambiente (por ejemplo, intercambio de oxígeno en el agua)” (p. 17).

Estas premisas permiten inferir que la contaminación del agua por estos materiales resulta perjudicial para todas las formas de vida y compromete el uso futuro del recurso hídrico, disminuyendo la calidad de éste y, por consiguiente, la cantidad de fuentes de abastecimiento aptas, disponibles para la población.

De igual manera, en este Manual Técnico se indica que entre los compuestos químicos contenidos en esta sustancia destacan los metales pesados tales como Cromo, Cadmio, Arsénico, Plomo, Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares, Benceno y, en oportunidades, solventes clorados, Bifenilos Policlorados (PCB), entre otros; destacando que, en su mayoría, estos químicos producen un efecto directo sobre la salud, siendo su principal característica la capacidad cancerígena de los mismos.

Adicionalmente, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA (2012) sostiene que. “El aceite lubricante usado tiene un proceso de degradación lento y es la principal fuente de contaminación de las vías acuáticas y el agua potable” (p. s/n). Esta organización ha indicado también que un litro de aceite usado derramado, en forma pura, contamina un millón de litros de agua, mientras que cinco litros de esta sustancia quemada pueden contaminar el aire que una persona respira en tres años, y un litro derramado en el suelo puede llegar a formar una mancha de 4.000 m<sup>2</sup>.

Esta situación, y en general la afectación de los recursos naturales, ha sido estudiada y considerada en múltiples oportunidades por los países de Latinoamérica, región que, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, (2014) cuenta con un tercio de las reservas de agua dulce de todo el mundo, las cuales se ven amenazadas constantemente por la acción del hombre, incrementando el riesgo de contaminación y de pérdida de potencialidades.

En el caso de Venezuela, la protección y conservación de estos recursos es un objetivo fundamental establecido en los diversos instrumentos legales desarrollados en materia ambiental; la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), por ejemplo, en su artículo 127, refiere que:

Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro (...). Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley. (p. s/n)

Lo que demuestra el rango constitucional asignado a los deberes y derechos ambientales en el país.

Por su parte, en la Ley Orgánica del Ambiente (2006), además de ratificar la necesidad de establecer principios rectores para la gestión del ambiente y las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales en un entorno seguro, sano y ecológicamente equilibrado, se destaca, en el artículo 55, que. “La gestión integral del agua está orientada a asegurar su conservación, garantizando las condiciones de calidad, disponibilidad y cantidad en función de la sustentabilidad del ciclo hidrológico” (p. s/n). Esta misma Ley indica, en su artículo 57, todo lo relacionado con la conservación de la calidad del agua, mencionando como aspectos fundamentales:

La clasificación de las aguas atendiendo a las características requeridas para los diferentes usos a que deba destinarse, las actividades capaces de degradar las fuentes de aguas naturales, (...), el tratamiento de las aguas, (...), el seguimiento continuo y de largo plazo de la calidad de los cuerpos de agua, (...). (p. s/n)

De igual manera, y con base en la importancia asignada al recurso hídrico, se evidencia que se cuenta con otros instrumentos adicionales tales como la Ley de Aguas (2007) y, dependiendo del cuerpo receptor de las descargas, los decretos 883, 3.219 y 2.181, siendo el primero aplicable a todos los cuerpos de agua del país excepto al Lago de Valencia y al Río Yaracuy, para lo cual fueron desarrollados los otros dos decretos mencionados, respectivamente. En cada uno de estos se establecen parámetros de referencia que indican, además de la clasificación del agua según las características que posea, los valores máximos permitidos para las descargas, a fin de evitar un impacto negativo sobre el cuerpo receptor.

Sin embargo, a pesar del extenso marco legal venezolano y de los protocolos desarrollados en esta materia, se evidencia el grado de contaminación al cual se encuentran expuestos los cuerpos de agua en la actualidad, lo cual limita la disponibilidad de acceso de la población a este recurso e incrementa la complejidad de los procesos de tratamiento a los cuales debe someterse para obtener condiciones adecuadas para su uso y/o consumo.

Esta situación se evidencia, en la región central del país, en cuerpos de agua como el Río Pao, el Río Cabriales y el Lago de Valencia, los cuales, en las últimas décadas, han sido receptores de innumerables cantidades de desechos sólidos y vertidos líquidos que han contribuido a la pérdida de sus potencialidades tanto de diversidad biológica y económica, como turísticas y de aprovechamiento para la sociedad.

En este sentido, el Estado Carabobo no escapa a esta realidad, pues, contando con importantes tributarios al Lago de Valencia, entre los que destacan Río Guacara, Caño Central, Río Güigüe

y el Río Los Guayos, carece de un sistema de control que impida el vertido de materiales peligrosos a estos cuerpos receptores, lo que se traduce en incremento de la polución que afecta, aguas abajo, la composición de las aguas de la cuenca endorreica.

Hasta la fecha, son diversas las investigaciones que se han desarrollado entorno a esta situación, destacando como principales agentes contaminantes los desechos sólidos de origen doméstico y la descarga de redes cloacales provenientes de áreas urbanas e industriales sin tratamiento previo, que presentan contenidos de detergentes, metales pesados, aceites y grasas y demás sustancias químicas no biodegradables.

En este orden de ideas, Mujica (2005) indica que las concentraciones de aceites presentes en dos de los tributarios que descargan al Lago de Valencia, pertenecientes al Estado Aragua, se encontraban fuera de los parámetros exigidos por la normativa ambiental correspondiente, para el momento del estudio, destacando que:

Según el Decreto 3.219 en su Artículo 36 establece como límite máximo para Aceites y Grasa la cantidad de 20 mg/l, por lo que los valores máximos reportados para el muestreo Febrero 2005 son para el canal Corpoindustria con 28 mg/l, Río Güey con 24 mg/l, observándose que superan el límite máximo permitido como consecuencia del vertido de estos compuestos sin ningún tipo de tratamiento. (p. 105).

Sin embargo, a pesar de que en los demás tributarios evaluados la concentración de estos compuestos se encontró por debajo de los valores máximos permitidos en el Decreto, se evidenció presencia de los mismos, lo que permite concluir que existe una fuente generadora de estas sustancias que causa la contaminación de las aguas y que en el tiempo, si no se aplican acciones correctivas, se incrementará la polución y el continuo detrimento del medio natural.

De igual manera, Ziegler (2010) evidenció que las concentraciones de metales pesados, como los que componen los aceites lubricantes usados, presentes en las aguas del Lago de Valencia, se han incrementado en comparación con años anteriores, contribuyendo así con el deterioro de la calidad del recurso y generando un impacto sobre las especies vegetales, animales y humanas que hacen uso del mismo.

Es importante destacar que, según Tovar (2010) el sector de lubricantes y grasas en Venezuela presentó una producción estimada de 220 a 240 millones de litros durante ese año, cifras que se han mantenido tomando en cuenta la capacidad instalada en el país y los requerimientos del sector automotriz e industrial. Sin embargo, a pesar de la producción de esta sustancia, no se

evidencia la infraestructura necesaria para el reprocesamiento y/o aprovechamiento de la misma una vez que es utilizada y desechada por el usuario.

Por su parte, la Coordinación de Proyectos de la Universidad Tecnológica del Centro, UNITEC, (como se citó en González, 2014) señala que:

Menos del 50 por ciento de los generadores del sector de transporte de carga pesada y maquinarias, así como los centros de cambio de aceite para automóviles particulares, participa en un programa de recolección de aceites usados que permita evitar la contaminación ambiental. (p.4)

Por lo que se estima que estos residuos no están siendo tratados adecuadamente y, por ende, su disposición final no corresponde con una práctica ambientalmente amigable.

Con base en estas premisas, se hace necesario identificar las actividades desarrolladas en el municipio Los Guayos, del Estado Carabobo, que pudiesen estar contribuyendo al incremento de la concentración de aceites minerales en las aguas que confluyen al Lago de Valencia, específicamente las descargadas por el Río Los Guayos, así como alternativas de tratamiento para las que se encuentran contaminadas con estos productos.

En este sentido, a pesar de que existen múltiples y conocidos procesos para el tratamiento de aguas contaminadas, tales como el fisicoquímico y el biológico, a lo largo de la historia se han desarrollado otras alternativas que ofrecen beneficios similares y hasta superiores, porque permiten la remoción de los agentes contaminantes de las corrientes tratadas de una forma más sencilla y amigable con el ambiente; entre éstas destaca la biosorción, que puede realizarse empleando como material de contacto sustancias de origen orgánico o inorgánico. Al respecto, Tomas y colaboradores, (como se citó en Ramos, 2010) indica que:

El término biosorción, se ha empleado para describir el fenómeno de captación pasiva, de sustancias contaminantes, basado en la propiedad que ciertos tipos de biomasas inactivas o muertas poseen para enlazar y acumular diferentes tipos de contaminantes, dicha acumulación no ocurre por mecanismos metabólicos, que es lo que sucede en la bioacumulación y que ocurre con células vivas. (p. 33)

Este tipo de tratamiento representa una alternativa eficiente considerando que no necesita de nutrientes ni productos metabólicos y, dependiendo de las características del adsorbente usado, no presenta inconvenientes con la toxicidad, permitiendo la remoción de los contaminantes a través de la retención de éstos en su estructura, para la posterior disposición y/o eliminación.

## **1.2 FORMULACIÓN**

Con base en este planteamiento, y a la realidad actual del cuerpo receptor, surgen las siguientes interrogantes: ¿se encuentran los valores de aceites minerales de las aguas del Río Los Guayos, en la actualidad, dentro de los parámetros establecidos en el Decreto 3.219?, ¿cuál es el origen de las descargas de aceites minerales a este cuerpo de agua?, ¿representa la biosorción, en materiales de origen orgánico, una alternativa para el tratamiento de las aguas contaminadas con aceites minerales?, ¿qué beneficios obtendrían los habitantes de la Municipalidad de Los Guayos de aplicarse esta alternativa para el tratamiento del agua del principal río de esta jurisdicción?, ¿representaría esta alternativa una posible solución al problema de contaminación por aceites minerales existente en el Lago de Valencia?.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar el proceso de biosorción, a través de materiales de origen orgánico, como alternativa para disminuir el contenido de aceites minerales presentes en las aguas del Río Los Guayos, Municipio Los Guayos del Estado Carabobo.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1.- Diagnosticar la situación actual relacionada con la presencia de aceites minerales en las aguas del Río Los Guayos, Municipio Los Guayos, del Estado Carabobo.
- 2.- Caracterizar una muestra de los materiales de origen orgánico a utilizar como potenciales biosorbentes (cáscara de huevo y cabello humano), a través de análisis fisicoquímicos.
- 3.- Describir el proceso de biosorción, en los materiales caracterizados, para la disminución del contenido de aceites minerales presentes en las aguas del Río Los Guayos, Municipio Los Guayos del Estado Carabobo.
- 4.- Determinar la efectividad de los materiales orgánicos utilizados, en el proceso de biosorción, como alternativa para la disminución del contenido de aceites minerales presentes en las aguas del Río Los Guayos, Municipio Los Guayos del Estado Carabobo.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Son diversas las razones y necesidades que sustentan la realización del presente trabajo, sin embargo, cabe destacar la protección del ambiente como la más importante, ya que, a través de la presentación de una propuesta para disminuir el contenido de aceites minerales presentes en las aguas del Río Los Guayos, Municipio Los Guayos del Estado Carabobo, basado en la bioadsorción con materiales de origen orgánico, se estará planteando una alternativa de solución que permita mejorar la calidad del agua de este cuerpo receptor, a través de la remoción de estos compuestos, minimizando el impacto negativo producido, aguas abajo, sobre el Lago de Valencia.

Por su parte, el interés científico de esta investigación, se basa en la importancia de evaluar las propiedades de ciertos materiales de origen orgánico como adsorbentes de aceites minerales, permitiendo determinar la efectividad que presentan según las condiciones a las cuales son sometidos (pH, temperatura, tiempo de contacto, entre otros), ampliando con ello la gama de productos que representan alternativas factibles para remoción de este tipo de contaminantes, en la actualidad.

De igual manera, al desarrollar esta propuesta se estará contribuyendo a optimizar el uso de materiales de origen orgánico, muchas veces excedentes de procesos industriales o de actividades domésticas, generando con ello un mayor aprovechamiento de los recursos, al dejar de considerarlos desechos para convertirlos en residuos reutilizables.

Así mismo, al llevarse a cabo un diagnóstico de la situación actual, y plantear propuestas con base en los hallazgos encontrados, se logrará aportar bases para el diseño y posterior implementación de un plan para el manejo integral de los aceites minerales (lubricantes usados) generados en la región, a fin de que los mismos no sean descargados en cuerpos de agua de la entidad y con ello ser punto de referencia a nivel nacional para el tratamiento, recuperación y disposición final de este material peligroso, presentando este aspecto relevancia para el ente gubernamental estatal.

Por último, el desarrollo del estudio permitirá incentivar a la comunidad educativa a brindar aportes a través del desarrollo de nuevas prácticas, promoviendo la investigación científica por medio de desarrollos empíricos a pequeña escala, fortaleciendo y ampliando el alcance de los ingenieros que se forman actualmente en el país.

## **1.5 LIMITACIONES**

La principal limitación encontrada durante el desarrollo de la investigación consistió en la falta de disponibilidad de los equipos y reactivos requeridos para analizar las muestras de los adsorbentes y del agua proveniente del Río Los Guayos, según los métodos de caracterización, lo cual dificultó la posibilidad de evaluar, bajo diferentes condiciones, el comportamiento del influente durante el proceso de tratamiento y por consiguiente la eficiencia del mismo bajo escenarios específicos.

## **1.6 ALCANCE**

La presente investigación está basada en la evaluación del proceso de biosorción como propuesta para disminuir el contenido de aceites minerales presentes en las aguas del Río Los Guayos, Municipio Los Guayos del Estado Carabobo, a escala de laboratorio, empleando para ello materiales de origen orgánico y cuyos resultados serán analizados por medio de ensayos fisicoquímicos.

La investigación no pretende comparar los resultados obtenidos con estrategias aplicadas en otras investigaciones, sólo demostrar la efectividad de los materiales seleccionados bajo condiciones específicas, definidas en el desarrollo de la misma.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

*En este capítulo se presenta un resumen de las investigaciones consultadas que guardan relación con el tema en estudio, así como referencias teóricas que constituyen basamento para el desarrollo y alcance de los objetivos planteados, resaltando sus principales hallazgos, similitudes y diferencias.*

### 2.1 ANTECEDENTES

Escobar, M., Lobo, G., Maza M., Pineda, A., Romero, L., Velásquez, J. y De la Rosa, M. (2014). **Evaluación del uso de cáscara de huevo como sustrato adsorbente para la remoción de Cromo (VI) en solución acuosa.** Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”.

El objetivo de esta investigación se basó en evaluar el uso de la cáscara de huevo como sustrato adsorbente para la remoción de Cromo (VI) en solución acuosa, para ello, se establecieron experimentalmente las condiciones adecuadas del proceso de adsorción en cuanto a cantidad de sustrato y tiempo de contacto, se determinó la efectividad de la cáscara de huevo como agente adsorbente y se comparó la con la efectividad de la arcilla blanca. El autor concluyó que la cáscara de huevo es efectiva como adsorbente de este metal y que la cantidad de sustrato y el tiempo de contacto sustrato-solución influyen directamente en el proceso; adicionalmente, al comparar con los resultados obtenidos al utilizar arcilla blanca, determinó que se logra una mayor efectividad por gramo de adsorbente utilizando cáscara de huevo en condiciones adecuadas (0,13mg/g), respecto a este último material (0,11mg/g).

La relación que existe entre esta investigación y el trabajo que se presenta actualmente radica en que en ambas se evaluó la efectividad de la cáscara de huevo como material adsorbente para la remoción de contaminantes en agua, a fin de aprovechar este recurso que se encuentra fácilmente disponible y que pudiese aportar una posible solución a los problemas ambientales, por medio de un procedimiento sencillo de adsorción.

González, C. (2014). **Propuesta de un plan de manejo de aceites lubricantes usados de automóviles para el Estado Carabobo**. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería, Área de Estudios de Postgrado.

El objetivo de este trabajo fue elaborar una propuesta de plan de manejo de aceites lubricantes usados de automóviles, en el Estado Carabobo, para lo cual el autor realizó un diagnóstico en cuanto a generación y consumo del producto, comparó los aspectos legales y técnicos relacionados con planes de gestión internacionales y verificó la factibilidad de desarrollo de la propuesta a través de consultas a los participantes del plan propuesto. El autor concluyó que existe carencia de estadísticas precisas de cuánto aceite lubricante usado se recolecta en la entidad, ésta carece de centros de acopio para este producto, todo el aceite usado recolectado es enviado a los hornos Clinker de Invecem, sin ningún tipo de tratamiento previo y que los países que cuentan con un plan de gestión en la materia tienen una normativa legal o manual que sirve de guía, mientras que Venezuela carece de los dos.

La relación que existe entre esta investigación y el trabajo que se desarrolla actualmente radica en la necesidad de diagnosticar la situación relacionada con la producción, consumo y disposición final de los aceites lubricantes en el Estado Carabobo, delimitando el estudio actual a los que se usan en el Municipio los Guayos de esta entidad, que pudiesen estar generando impacto negativo en las aguas del Río Los Guayos.

Garcés, L., y Coavas, S. (2012). **Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales**. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química.

El objetivo de esta investigación se basó en evaluar la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja y la cáscara de naranja modificada con quitosano como biomasa residual para la remoción de cromo hexavalente presente en aguas residuales. Los resultados obtenidos indicaron que, la primera, presenta una mayor capacidad de adsorción en comparación con la modificada con quitosano, sin embargo, estos dos tipos de biomasa se pueden considerar como una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales con contenido de iones de cromo; así mismo, se determinó que los factores que inciden en la adsorción del metal fueron el tamaño de partícula, la concentración de la biomasa y el pH, que el modelo cinético que más se

ajustó fue el pseudo-segundo orden para las biomásas estudiadas y que la isoterma de Langmuir describió mejor el proceso de adsorción.

Las semejanzas que existen entre esta investigación y la que se desarrolla en el presente estudio se basan principalmente en que ambas persiguen evaluar la capacidad de adsorción de materiales de origen orgánico que constituyen, inicialmente, un desecho. Sin embargo, se diferencian en que cada una emplea un material sorbente diferente y el compuesto a remover, aunque relacionado, difiere en la composición y propiedades químicas (cromo hexavalente para el primero y aceite mineral para el segundo).

Ramos, J. (2010). **Estudio del proceso de biosorción de colorantes sobre borra (cuncho) de café**. Universidad Nacional de Colombia. Programa de maestría en ciencias-química, línea de investigación en termodinámica.

En esta investigación, el objetivo principal consistió en evaluar el sedimento de café (borra de café) sin ningún tratamiento fisicoquímico, como biosorbente en la remoción de los colorantes azul de metileno, verde malaquita y rojo cuarenta, a partir de soluciones acuosas, a 30C y utilizando el método discontinuo (Batch), considerando el estudio de variables como tamaño de partícula, cantidad de biosorbente, pH, concentración inicial del colorante ( $C_0$ ) y tiempo de contacto, mediante un diseño factorial completo. El autor concluyó que el modelo cinético de pseudo-segundo orden describe muy bien el mecanismo de remoción de los tres colorantes estudiados y que las variables pH, concentración inicial del colorante y tiempo de contacto, generan efectos significativos en el proceso de remoción, observándose que, con concentraciones superiores a 100 mg/l, se saturan los sitios activos del biosorbente.

La analogía que guarda esta investigación con la que se presenta actualmente es la importancia de caracterizar el material biosorbente para conocer su comportamiento bajo condiciones específicas de trabajo. Por su parte, la diferencia entre estas radica en el tipo de material usado en el estudio realizado y el compuesto removido, puesto que en el presente trabajo se pretende utilizar materiales de origen orgánico, diferente a la borra de café, como sorbente y el compuesto a remover consiste principalmente en aceites minerales.

Rodríguez, C., y Tejera, J. (2009). **Evaluación de la calidad del agua de los principales afluentes que descargan al río Los Guayos desde el municipio San Diego hasta su desembocadura en el Lago de Valencia**. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la calidad del agua de los principales afluentes que descargan al río Los Guayos, desde el municipio San Diego hasta su desembocadura en el Lago de Valencia, con la finalidad de determinar los focos de contaminación. Para ello, los autores identificaron los principales afluentes que descargan al río, caracterizaron las muestras recolectadas en los puntos de seleccionados y propusieron alternativas de solución para los puntos de contaminación detectados. Los resultados obtenidos fueron que los principales focos de contaminación que modifican la calidad del agua del río vienen dados por la quebrada Quigua y la canal Ángel M. Polanco, cuyas aguas son de origen doméstico e industrial, siendo estas últimas provenientes de pequeñas empresas ubicadas en las zonas adyacentes a los puntos de confluencia con el río.

La relación entre esta investigación y la que se desarrolla actualmente se basa en el objetivo de caracterizar muestras de agua del río Los Guayos con la finalidad de determinar la composición de éstas y evidenciar el grado de contaminación al cual se encuentra sometido este cuerpo, sin embargo, difieren en que el presente estudio persigue evaluar el proceso de biosorción como alternativa para el tratamiento de las aguas contaminadas con aceites lubricantes a través de materiales de origen orgánico, generando un aporte que va más allá de la caracterización de las aguas y que busca analizar la efectividad de determinados residuos de origen doméstico y/o industrial para remover contaminantes clasificados como aceites minerales.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 El agua**

El agua, como es de conocimiento general, es un líquido incoloro, inodoro e insípido, compuesto por oxígeno e hidrógeno (H<sub>2</sub>O) combinados, que ocupa tres cuartas partes de la Tierra, y es indispensable para el desarrollo de la vida.

Al respecto, León y Portillo (2008) indican que:

Después del oxígeno, el agua es el componente natural más importante para el mantenimiento de la vida. En un hombre adulto sano, representa alrededor del sesenta por ciento (60%) de su peso corporal, mientras que en un bebé recién nacido representa hasta un ochenta por ciento (80%) de su peso. (p. 126)

Este recurso es fundamental para el desarrollo de la vida y la ejecución de las actividades diarias como higiene personal, mantenimiento de la salud, producción de alimentos e impulso de actividades industriales y/o comerciales.

### Importancia y disponibilidad del recurso agua

Las reservas de agua en el mundo consideran el volumen disponible total acumulado de agua subterránea y superficial. La disponibilidad de este recurso en una región o país depende del balance de agua, esto es, del volumen que se recibe por precipitación y de lo que se pierde por la evaporación de los cuerpos de agua y por la evapotranspiración de la vegetación. El volumen restante puede dirigirse hacia la recarga de los acuíferos o escurrir superficialmente. Debido a que la distribución de la precipitación y de la evapotranspiración varía notablemente, la disponibilidad de recursos hídricos muestra diferencias muy importantes en las diferentes regiones del planeta.

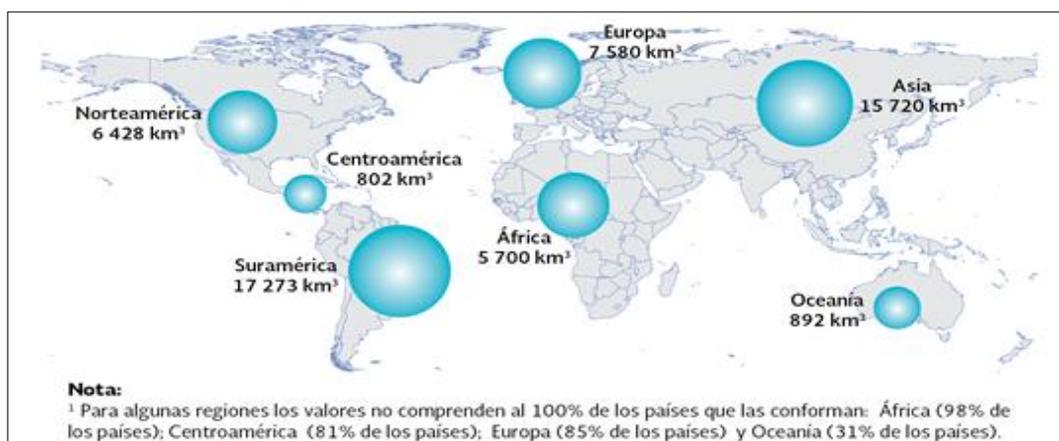


Figura 2.1. Reservas de agua dulce en el mundo por región.

Fuente: FAO-Aquastat (2012).

### Contaminación de las aguas

El Decreto 3.219 (1999) define la contaminación del agua como:

Acción o efecto de introducir elementos, compuestos o formas de energía capaces de modificar las condiciones del cuerpo de agua superficial o subterráneo, de manera que se altere su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica para el desarrollo de la vida acuática y ribereña. (p. s/n)

Cabe destacar que, según Romero (1999), el deterioro de la calidad del agua es debido a la presencia de contaminantes físicos, químicos y agentes biológicos que se incorporan a las corrientes y alteran la composición natural de estas. Entre los contaminantes físicos se

encuentran el calor, los sólidos suspendidos y el color, siendo el primero causante de modificar el ambiente acuático, generando efectos irreversibles cuando la variación de temperatura es mayor a 2°C, mientras que los últimos dos son responsables de que disminuya la penetración de la luz y la actividad fotosintética de las algas y las plantas acuáticas.

Así mismo, señala que, los contaminantes químicos se dividen en orgánicos e inorgánicos, el primer grupo incluye: orgánicos biodegradables, detergentes, biocidas; entre sus efectos se puede mencionar la demanda de oxígeno para su oxidación y efectos tóxicos de diverso grado sobre la biota. Los contaminantes inorgánicos incluyen sales minerales que se encuentran normalmente en las aguas y llegan a deteriorar su calidad una vez alcanzan concentraciones que alteran sus propiedades, como los metales pesados, ácidos, álcalis y tóxicos de la industria química con efectos muy diversos.

Por último, indica que, los contaminantes biológicos que más preocupan al hombre son los microorganismos patógenos, estos pueden transmitir enfermedades a veces endémicas si no se observan prácticas de saneamiento ambiental. Las algas presentan problemas de polución cuando se producen crecimientos masivos como consecuencia de la acumulación de nutrientes, esto sucede principalmente en lagos y estuarios cuando hay eutrofización.

### **2.2.2 Aguas residuales**

La Norma COVENIN 2634 (2002) la define como “el agua proveniente de cualquier proceso industrial, actividad doméstica, agropecuaria, comercial y que perdió sus características originales” (p. s/n). En líneas generales, son aguas que, después de ser originadas, no pueden utilizarse nuevamente en el ese mismo sistema y que, de ser vertidas en cuerpos receptores, pueden generar una alteración a los ecosistemas acuáticos o afectar la salud humana.

#### **Origen de las aguas residuales**

Cubillos (1998) indica que las aguas se clasifican según su origen en:

**Agua residual doméstica:** procedente de las zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares. Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

**Agua residual industrial:** son aguas desechadas de procesos y operaciones de transformación y agua de enfriamiento, son diferentes en cada tipo de industria. La variedad en las características de los desechos industriales es inmensa y corresponde con la multiplicidad de procesos y productos que se elaboran en las diferentes industrias.

**Agua residual agroindustrial:** se produce en explotaciones pecuarias, y procesamiento de cosechas de cultivos. Aportan cantidades apreciables de materia orgánica biodegradable, materia en suspensión nitrógeno y fósforo.

Por su parte, según lo considerado por Metcalf y Eddy (1995), se pueden incluir las siguientes:

**Aguas pluviales:** Aguas resultantes de la escorrentía superficial.

**Infiltración y aportaciones incontroladas:** Agua que entra tanto de manera directa como indirecta a la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de las alcantarillas pluviales, drenes de cimentaciones, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.

### **Características químicas del agua residual**

Según Metcalf y Eddy (1995) el agua residual se caracteriza por contener los siguientes elementos:

**Materia orgánica:** son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos de nitrógeno. Los principales grupos o sustancias orgánicas presentes son las proteínas, hidratos de carbono, grasa y aceites.

**Proteínas:** están presentes en todos los alimentos de origen animal o vegetal cuando estos están crudos.

**Hidrato de carbono:** incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual.

**Aceites y grasas:** Es todo material recuperado como una sustancia soluble en un solvente orgánico. Esto incluye otros materiales que son extraídos por el solvente en una muestra acidificada.

Al respecto, Romero (1999) indica que en aguas residuales, los aceites, las grasas y las ceras son los principales lípidos de importancia. Las grasas y aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina y aceites y grasas vegetales. Las grasas provienen habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas. Estos compuestos sirven como alimento para las bacterias, puesto que pueden ser hidrolizados en los ácidos grasos y alcoholes correspondientes

Por su parte, Metcalf y Eddy (1995) señalan que el keroseno, los lubricantes y los procedentes de materiales bituminosos son derivados del petróleo y del alquitrán, y sus componentes principales son carbono e hidrogeno. Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradable.

**Oxígeno disuelto:** es necesario para el metabolismo de los seres vivos, para producir energía para su movilidad, crecimiento y reproducción. La baja solubilidad del oxígeno en el agua es el principal factor que limita su capacidad auto depuradora.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es un ensayo bioquímico por medio del cual se determina, en condiciones aerobias, el oxígeno requerido por las bacterias para estabilizar la materia orgánica biodegradable, o sea, aquella que les sirve de nutrimento. Este conjunto de acciones se desarrolla en un tiempo y temperatura normalizados y en condiciones lo más similares posibles al ambiente natural.

**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, y es utilizada como una expresión del poder polucional de un agua.

**Materia inorgánica:** son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua, entre estos destaca:

**pH:** la concentración de ión hidrogeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para las aguas naturales como las aguas residuales. La forma habitual de expresar la concentración del ión hidrogeno es como pH, que se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración del ión hidrógeno.

**Nitrógeno:** las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales son por orden decreciente de su estado de oxidación, nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas esas formas del nitrógeno, lo mismo que el nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>), son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno.

**Fósforo:** El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar proliferaciones incontroladas

de algas, existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo. En aguas residuales municipales el contenido de fósforo puede variar entre 4 y 15 mg/l.

**Metales pesados:** Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual. Debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá con gran número de los usos del agua. Aunque la principal causa de la acción tóxica de un compuesto metálico sea casi siempre el catión metálico, pueden ocurrir variaciones del grado de toxicidad relacionados con la naturaleza del anión.

**Sulfatos:** En aguas residuales es un factor muy importante por los problemas de olores y corrosión de las alcantarillas. Los iones sulfato producen ciertos efectos fisiológicos indeseables en el hombre. Es importante en los abastecimientos de agua por su efecto laxante sobre los humanos cuando está presente en cantidades excesivas.

**Cloruros:** El ión cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua. La concentración de cloruros es mayor en aguas residuales. En promedio se generan unos 6 gramos de cloruros por persona por día, lo que incrementa el contenido de cloruros en las aguas residuales a 20 mg/l por encima de su valor normal.

### **Muestreo de aguas residuales**

La Norma COVENIN 2709 (2002) indica que para que una muestra de agua, sea satisfactoria debe llenar los requisitos básicos: representar con precisión la masa muestreada grande o pequeña, y tener el tamaño adecuado para análisis subsecuente. Puesto que el agua puede muestrearse bajo diversas condiciones, no existe procedimiento único que pueda aplicarse de modo universal. El método, lugar y tiempo de muestreo deben combinarse de tal manera que los resultados obtenidos satisfagan el propósito para el que se decidió captar la muestra. El agua no tiene una composición fija, sino que presenta cambios apreciables que dependen de múltiples factores como son origen, temperatura, contaminación, entre otros.

### **Tipos de muestras**

Según la Norma COVENIN 2709 (2002), para la caracterización de cuerpos de agua, corrientes de proceso o aguas residuales se utiliza tres tipos de muestras; instantáneas, compuestas e integradas.

**Muestras instantáneas:** Reflejan las características del cuerpo de agua, corrientes del proceso o aguas residuales en el momento de su captación.

**Muestras compuestas:** Representan las características promedio del cuerpo de agua residual durante el periodo de captación. Para la preparación de la muestra compuesta, se captan submuestras instantáneas durante el periodo que se desea evaluar. Antes de la combinación de las submuestras, debe verificarse que los parámetros de interés no varíen significativamente durante el periodo de muestreo. La composición de una muestra compuesta puede ser: proporcional al caudal, a volumen constante o tomadas según casos especiales, cuando el flujo es intermitente como en condiciones de bombeo o por carga donde las submuestras son captadas a intervalos de tiempo definidos en función de la operación.

**Muestra integrada:** Consiste en la mezcla de muestras instantáneas, captadas en diferentes sitios simultáneamente. Se utiliza especialmente en los ríos, lagos y aguas costeras, donde ocurren variaciones en la composición dependiendo de la profundidad y el ancho de la corriente.

### **Modalidad de captación**

La Norma COVENIN 2709 (2002) indica que, la captación de la muestra puede realizarse en forma manual o automática. La selección depende de cada caso en particular y está fundamentada en elementos como la posibilidad o no de instalación de equipos automáticos, el conocimiento previo de la variabilidad de las corrientes y los costos asociados entre otros.

**Captación manual:** es realizada directamente por el personal involucrado en el programa. Permite observar situaciones variables o no previstas y hacer cambios en la programación, además involucra un equipo mínimo para la captación. Resulta más económica cuando se trata de programas de caracterización relativamente sencillos, donde el número de puntos y la frecuencia de captación de muestras es reducida. No requiere mantenimiento. Tiene las desventajas de que requiere de técnicos de campo entrenados y la posibilidad de ocurrencia de errores humanos producto de las dificultades de captación y el cansancio.

**Captación automática:** se realiza con equipos de muestreo automáticos diseñados especialmente para ello. Es útil cuando es necesario captar en muchos sitios

simultáneamente o se requiere de un registro más continuo. Entre las ventajas se puede mencionar consistencia en la captación, disminución de posibles errores causados por manipulación de las muestras, requiere poco personal, permite mayor frecuencia de captación de muestras en un mayor número de sitios.

### 2.2.3 Aceites lubricantes

Martínez (2005) define los aceites lubricantes como mezclas de bases derivadas del petróleo con varios aditivos. En la Tabla 1 se muestra la composición promedio de un aceite lubricante, se observa que puede llegar a contener entre un 15 y 25% de aditivos.

**Tabla 2.1. Composición media del aceite lubricante mineral**

<b><i>Hidrocarburos totales (85 – 75%)</i></b>	
Alcanos	45 – 76%
Cicloalcanos	13 – 45%
Aromáticos	10 – 30%
<b><i>Aditivos (15 – 25%)</i></b>	
Antioxidantes	Ditiofosfatos, fenoles, aminas
Detergentes	Sulfonatos, fosfonatos, fenolatos
Anticorrosivos	Ditiofosfatos de zinc y bario, sulfonatos
Antiespumantes	Siliconas, polímeros sintéticos
Antisépticos	Alcoholes, fenoles, compuestos clorados

Fuente: Martínez (2005).

El Observatorio de medio ambiente de Aragón (2007), indica que estos aceites están formados en su mayor parte por una base de hidrocarburos (llamada aceite base) a los que se añaden aditivos en un porcentaje entre el 15% y el 20%.

Según el Manual Técnico para el manejo de aceites lubricantes usados de origen automotor e industrial (2014), los aditivos son sustancias químicas que se adicionan a los aceites con el fin de proteger las superficies metálicas del desgaste o la corrosión, mejorar su resistencia a la oxidación, a los efectos a altas temperaturas y en general prolongar la vida útil del aceite. Los principales son: antioxidante, anticorrosivo, antidesgaste, demulsificante, detergente/dispersante, antiespumante, mejorador del índice de viscosidad, depresor del punto de fluidez y modificador de fricción.

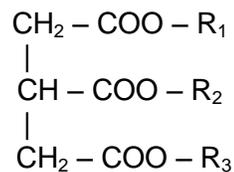
Los actuales lubricantes derivados de aceites minerales son inaceptables desde un punto de vista medioambiental, debido a su escasa biodegradabilidad y a su capacidad para causar daños a largo plazo por su persistencia en el ambiente. En muchos países su uso está ya

prohibido en aquellas aplicaciones en las que ocurre una pérdida total, tales como la lubricación de los raíles de ferrocarril, los cables de grúa o las sierras de cadena.

### **Aceites usados**

El Concejo de Ministros del Ambiente de Canadá, CCME, (como se citó en González, 2014), en su Código de Práctica para Manejo de Aceite Lubricante Usado, los define como aquellos provenientes de fuentes industriales o no, que han sido adquiridos para propósitos de lubricación y que son inapropiados para su función original debido a la presencia de impurezas o la pérdida de las propiedades originales. Se excluyen de la denominación de aceites lubricantes usados aquellos obtenidos de aceites vegetales o animales.

A continuación se muestra la fórmula general de los aceites o base lubricante, la cual presentará variaciones dependiendo de los aditivos que se agreguen (paquete de aditivos) para proporcionarle nuevas propiedades o mejorar las que ya posee.



Donde  $\text{R}_1$ ,  $\text{R}_2$  y  $\text{R}_3$  son radicales alquílicos iguales o diferentes.

Cuando el aceite lubricante se desgasta, se contamina con sólidos, metales, compuestos orgánicos clorados, mezcla con fluidos o desechos, entre otros, debido, principalmente, a las reacciones químicas que ocurren durante su uso. Cuando esto ocurre, tienen que ser reemplazados por otros nuevos generando, de esta manera, un residuo considerado como peligroso, así como mezclas y emulsiones derivadas de estas.

**Tabla 2.2. Constituyentes potencialmente peligrosos del aceite lubricante usado**

<i>Parámetro</i>	<i>Número de muestras analizadas</i>	<i>Muestras con contaminantes</i>		<i>Concentración promedio (ppm)</i>
		<i>Número</i>	<i>Porcentaje</i>	
<b><i>Metales</i></b>				
Arsénico	537	135	25	17
Bario	752	675	89	132
Cadmio	744	271	36	3
Cromo	756	592	78	28
Plomo	835	760	91	665
Zinc	810	799	98	580
<b><i>Solventes clorados</i></b>				
Diflorodifluorometao	87	51	58	373
Triclorotrifluorometano	28	17	60	62900
1.1.1-Tricloroetano	616	388	62	2800
Tricloroetileno	608	259	42	1390
Total de clorados	590	568	95	5000
<b><i>Otros orgánicos</i></b>				
Benceno	235	118	50	961
Tolueno	242	198	81	2200
Xileno	235	194	82	3390
Benzoantraceno	27	2	74	71
Benzopireno	65	38	58	25
Naftenos	25	25	100	475
Bifenilos policlorados	753	142	19	109

Fuente: CCME (1989). Traducción, González (2014).

### **Efecto de los aceites usados sobre el ambiente**

El Observatorio de medio ambiente de Aragón (2007) indica, en su guía para la reducción del impacto ambiental de los aceites industriales usados, que los efectos directos de estos sobre el medio ambiente se deben a la capacidad que tienen de contaminar el agua, suelo y aire, por su baja biodegradabilidad.

**Vertidos a las aguas:** Originan una película impermeable entre la atmósfera y la superficie acuática que ocasiona una disminución del oxígeno disuelto en el agua y como consecuencia final, la muerte de los organismos vivos que habitan allí. Prácticas como verter aceites industriales a través de los sistemas de alcantarillado, provocan además serios daños en las estaciones depuradoras.

**Vertidos en suelos:** Recubren el suelo y provocan una disminución del oxígeno. El humus vegetal se va degradando y finalmente ocasiona una pérdida de la fertilidad. Por filtración pueden contaminar aguas subterráneas (contaminación de acuíferos, pozos, etc.).

Emisiones a la atmósfera: La combustión o incineración de aceites usados provoca emisiones a la atmósfera de metales como el plomo, gases tóxicos y otros elementos, con los correspondientes efectos.

#### 2.2.4 Bioadsorción

Según Flores y colaboradores (2001), “es el proceso de adsorción (sorción de superficie) que se realiza sobre biomazas secas, a partir de residuos de cultivos de fermentación o de derivados de organismos animales y vegetales” (p. s/n). Es decir, es un proceso por el cual ciertos tipos de materiales de origen natural retienen y concentran en su superficie sustancias y compuestos de diversa naturaleza química presentes en disoluciones acuosas. La aplicación de esta tecnología se ha estudiado ampliamente para la contaminación por metales pesados.

Por su parte, Ncibi y col. (2008); Chen y Chen (2009); Wu y col. (2009), indican que, en los últimos años, se ha producido un incremento importante en el número de publicaciones que estudian la bioadsorción de tintes que forman parte de la carga contaminante de los efluentes de la industria textil.

El término bioadsorción hace referencia a un tipo específico de adsorción. En el proceso participan una fase sólida, el bioadsorbente, y una fase líquida, que contiene las especies disueltas que conviene separar de la disolución (adsorbato). Como consecuencia de la elevada afinidad entre el bioadsorbente y el adsorbato, éste es atraído y retenido sobre el bioadsorbente por una serie de procesos complejos que incluyen la quimisorción, la complejación, la adsorción en superficie y en los poros, el intercambio iónico, la quelación y la adsorción de naturaleza física.

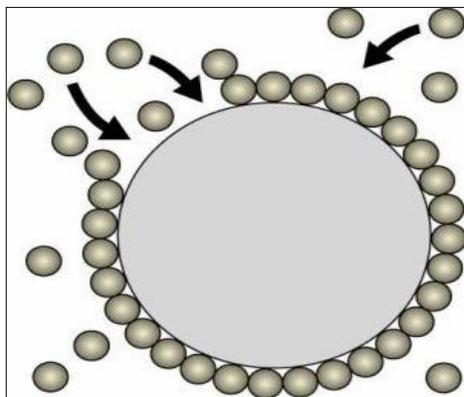


Figura 2.2. Mecanismo de adsorción.

Fuente: Fundación Chile (2004).

## **Bioadsorbentes: Tratamiento de aguas mediante la bioadsorción**

Volesky (2001) señala que, un proceso alternativo a los métodos convencionales de depuración de aguas residuales es la bioadsorción, que hace referencia a un tipo específico de adsorción, en la que la fase sólida se conoce con el nombre de bioadsorbente. Los bioadsorbentes son materiales de origen biológico que presentan propiedades tanto de adsorbentes como de intercambiadores de iones, y poseen propiedades que les confieren elevadas capacidades de retención de metales, siendo capaces de disminuir su concentración en la disolución a niveles de ppb ( $\mu\text{g}, \text{dm}^3$ ).

Es una técnica que puede utilizarse para el tratamiento de grandes volúmenes de aguas residuales complejas con concentraciones bajas de metales o de otros compuestos contaminantes.

En este sentido, según lo indicado por la Federación Internacional que investiga y controla derrames petroleros, ITOPE (2012), en su publicación N° 8 Uso de materiales adsorbentes en la respuesta a derrames de hidrocarburos, para que un material actúe como adsorbente de hidrocarburos, por ejemplo, debe tener la capacidad de atraer estos compuestos y repeler el agua, es decir, debe ser oleofílico e hidrófobo, considerando que el proceso de atracción ocurre en la superficie del material. Así mismo, para que la remoción sea satisfactoria, los hidrocarburos deberían humedecer el material y esparcirse sobre su superficie con preferencia al agua, para lo cual es fundamental que la tensión superficial de éste sea inferior a la tensión superficial crítica del sólido y ésta, a su vez, sea inferior a la del agua.

Adicionalmente, debe existir el fenómeno de adhesión del hidrocarburo en la superficie del adsorbente y la cohesión entre las moléculas del hidrocarburo, a fin de que se produzca una acumulación (masa solidificada) que retarde el esparcimiento del mismo y permita su remoción del agua al retirar el material sólido. De igual manera, el adsorbente debe presentar una alta relación entre área superficial y volumen, incluida la superficie interna y externa disponibles, basados en la viscosidad del contaminante a remover.

Por su parte, Navarro e Iglesias (2001) indicaron que, la producción de nuevos adsorbentes es una de las líneas de investigación más activas en los últimos años; por su parte, Sanghi y Bhattacharya (2002), señalaron que las crecientes necesidades de tratamiento de aguas con contaminantes especialmente refractarios a los sistemas tradicionales de depuración hacen que

alternativas como la adsorción sean cada vez de mayor interés, debido en gran parte a su eficacia y a la selectividad de su acción.

En este sentido, Demirbas (2008) explica que, aunque existe multitud de materiales con capacidades adsorbentes (arcillas, carbones activados, residuos biomásicos modificados, entre otros) no es menos cierto que la inquietud por el desarrollo tecnológico de nuevos productos obedece a la preocupación constante de abaratar costes, optimizar procesos productivos, reutilizar materias de desecho o simplificar los mecanismos de producción, lo cual se logra también evaluando y seleccionando la forma del material a emplear. En la tabla 2.3 se presentan las principales ventajas y desventajas de los materiales adsorbentes, según las formas disponibles.

**Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de los materiales adsorbentes según la forma de uso**

<b>Forma</b>	<b>Material</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Suelto</b>	<b>Orgánico:</b> incluidos corteza, turba, serrín, pulpa de papel, corcho, plumas de gallina, paja, lana y cabello humano. <b>Inorgánico:</b> vermiculita y piedra pómez. <b>Sintético:</b> principalmente polipropileno.	- A menudo abundante de forma natural o ampliamente disponible como subproducto de residuo de procesos industriales. - El coste puede ser bajo. - Puede servir para proteger la fauna y flora y sitios de descanso.	- Difícil de controlar, el viento puede esparcirlo. - Difícil de retirar. - Puede resultar difícil bombear la mezcla del contaminante y adsorbente. - Más limitaciones para desechar la mezcla en comparación con el contaminante únicamente.
<b>Encerrado</b>	Existe la posibilidad de encerrar en mallas o redes todos los materiales sueltos mencionados anteriormente.	- Más fácil de desplegar y retirar que en el caso del adsorbente suelto. - La barrera encerrada presenta mayor área superficial que la barrera continua.	- La resistencia estructural limitada por la resistencia de la malla o red. - Las barreras orgánicas pueden saturarse y hundirse rápidamente. La retención de contaminante está limitada.
<b>Continuo</b>	Sintético: principalmente polipropileno.	- Almacenamiento a largo plazo. - Relativamente sencillo de desplegar y retirar. Posibilidad de obtener una elevada relación de recolección de hidrocarburos si se utiliza a pleno rendimiento.	- Eficiencia limitada para contaminantes meteorizados o más viscosos. - No se descompone con rapidez; esto limita las opciones de desecho.
<b>Fibra</b>	Sintético: principalmente polipropileno.	- Eficaz sobre contaminantes meteorizados y más viscosos.	- Menos eficaz sobre contaminantes ligeros e intermedios.

Fuente: Adaptado de ITOPF (2012).

En resumen, la adsorción no es un mecanismo simple de retirada de contaminantes y existen diversos factores que influyen en el equilibrio de este proceso. Los más importantes tienen que ver con las características de los materiales, adsorbente y adsorbato: superficie libre, química superficial y textura porosa, grado de saturación, entre otras, para el primero, y estructura, peso molecular, aromaticidad y polaridad, para el segundo. También afecta, al proceso, la química de la disolución, ya que la presencia de otras especies en el medio puede hacer que la eficacia en la retirada sea menor, y la temperatura, factor decisivo en la velocidad de la adsorción, debido a que, una mayor temperatura, por término medio, favorece la movilidad de las partículas en la disolución y aumenta la capacidad de retirada de los adsorbentes.

### **Cáscara de huevo como bioadsorbente**

Según la información disponible en [http://www.huevo.org.es/el\\_huevo\\_estructura.asp](http://www.huevo.org.es/el_huevo_estructura.asp), (consultada el 21 de enero de 2017), la cáscara de huevo de gallina está constituida, en su mayor parte, por una matriz cálcica con un entramado orgánico, en el que el calcio es el elemento más abundante y de mayor importancia. También se encuentran en su composición otros minerales como sodio, magnesio, zinc, manganeso, hierro, cobre, aluminio y boro, en menores concentraciones.



Figura. 2.3. Cáscara de huevo de gallina.

Fuente: <http://www.botanical-online.com>

La cáscara está atravesada por numerosos poros que forman túneles entre los cristales minerales y permiten el intercambio gaseoso entre el interior y el exterior; su número varía entre 7.000 y 15.000 y se presentan en mayor proporción en la zona del polo ancho del huevo, donde aparece la cámara de aire.

Toda la superficie de la cáscara, incluso los mismos poros, se encuentra recubierta por una cutícula orgánica que está formada principalmente por proteínas (90%) y pequeñas cantidades de lípidos y carbohidratos. La principal función de esta película de mucina consiste en cerrar los poros, formando una barrera física contra la penetración de microorganismos. También evita la pérdida de agua y da un aspecto brillante al huevo.

Tomando en cuenta las propiedades de este material, ha sido empleado en diversas investigaciones como agente de retención de contaminantes. Tal es el caso de Escobar y Colaboradores (2014), quienes determinaron que la cáscara de huevo resulta efectiva como agente adsorbente de Cromo (VI), bajo condiciones adecuadas, alcanzando una remoción equivalente a 0,13 mg de Cromo (VI) por gramo de adsorbente utilizado, y demostraron que, siendo un residuo agroindustrial, representa una alternativa competitiva para la remediación de aguas contaminadas por metales pesados, en vista de la capacidad adsorptiva que posee el carbonato de calcio, como su principal componente.

### **Cabello humano como bioadsorbente**

La revista digital para profesionales de la enseñanza, en su publicación N°10 (2010) señala que, el cabello está compuesto por proteínas, lípidos, oligoelementos, agua, pigmentos y otras sustancias, siendo la distribución porcentual de éstos tal como se muestra:

- 28% de proteínas.
- 2% de lípidos.
- 70% de agua, sales y otras sustancias (urea, aminoácidos, etc.).

Las proteínas capilares son, en su mayor parte, queratina; ésta, conjuntamente con las uñas, se caracteriza por su alto contenido de azufre, en comparación con la piel y otras parte del cuerpo.

Así mismo, señala que, las propiedades más importantes del cabello son:

**Permeabilidad:** es la capacidad que tiene el cabello de absorber líquidos. Las fibras de queratina tienen una gran atracción por la humedad del ambiente, pudiendo el cabello llegar a absorber, hasta una tercera parte de su peso. Al producirse en el cabello una absorción de agua, puede producirse en éste una alteración de las demás características tales como su longitud, diámetro y forma.

**Resistencia:** es la capacidad de soportar la tracción; esta propiedad del cabello está determinada por su estructura y composición química. La tensión ejercida sobre el cabello está relacionada directamente con el contenido de azufre en éste; su composición y la

estructura compacta de la queratina lo hacen resistente al ataque de microorganismos y al calor, resistiendo temperaturas superiores a 140° C de calor seco y de calor húmedo hasta 220° C.

**Elasticidad:** esta propiedad está relacionada con la mayor o menor unión entre las moléculas de la queratina, pudiendo verse afectada por algunos factores tales como la humedad, la temperatura, la radiación ultravioleta y algunas sustancias químicas. La elasticidad puede llegar hasta una tercera parte de la longitud del cabello.

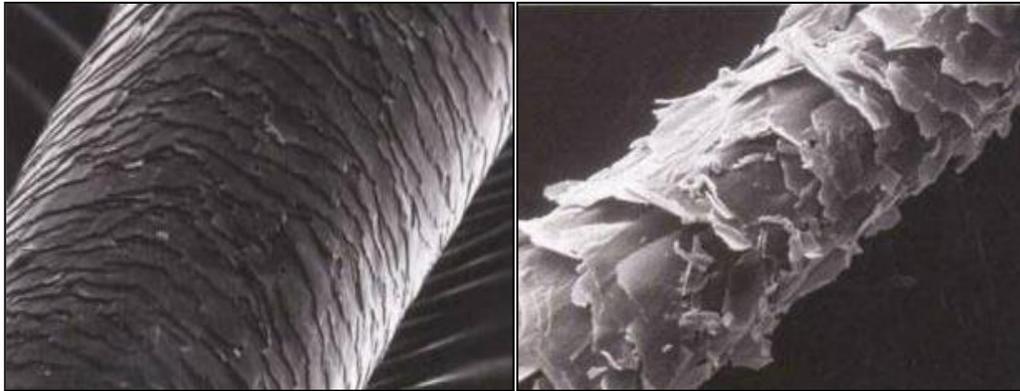


Figura 2.4. Cabello humano.

Fuente: <http://sidibeauty.blogspot.com/2014/11/tipos-y-texturas-de-pelo.html>

### **Aplicación de la adsorción**

Fundación Chile (2004), en su artículo 49.990 titulado Tecnologías de adsorción con diversos materiales, indica que, las principales aplicaciones de la tecnología son las siguientes:

- Tratamiento terciario de aguas residuales y tratamiento de aguas servidas.
- Tratamiento de agua en procesos industriales, como por ejemplo en la industria química, alimentaria y farmacéutica.
- Potabilización de aguas.
- Tratamiento de emisiones atmosféricas.
- Purificación de aire y gases.

### **Eficiencia de la adsorción**

De igual manera, Fundación Chile en su artículo 49.990, señala que “la tecnología de adsorción con diferentes materiales tiene diferentes eficiencias dependiendo del efluente y del material usado. En general sus eficiencias están en el rango 85 a 95%”.

## Isoterma de adsorción

Marín, A (2011) señala que, históricamente se han descrito en primer lugar las isotermas de adsorción para sistemas gas-sólido. Prácticamente, todas esas expresiones pueden aplicarse por extensión a sistemas líquidos, reemplazando el término de presión por el de concentración y teniendo en cuenta los correspondientes cambios en las unidades de los parámetros. La adsorción en fase líquida, en general, es un fenómeno más complejo que la adsorción en fase gas. Por ejemplo, aunque se pueda suponer que existe adsorción en monocapa, en fase líquida las moléculas adsorbidas no están necesariamente empaquetadas con idéntica orientación.

En sistemas simples se puede trazar una curva de la concentración del soluto en la fase sólida o adsorbente en función de la concentración del soluto en la fase fluida o disolución en el equilibrio. Esta curva se obtiene, usualmente, a una temperatura específica, y por lo tanto, se conoce con el nombre de isoterma. La concentración de la fase fluida "C" es el número de unidades de cantidad (masa) por unidad de volumen en la fase fluida (fase líquida-acuosa). La concentración de la fase estacionaria o fase sólida "q" es el número de unidades de cantidad contenidas por unidad de masa de fase sólida en su conformación de referencia, casi siempre libre de líquido en el caso de adsorbentes.

La isoterma de adsorción es la relación de equilibrio entre la concentración en la fase fluida y la concentración en las partículas de adsorbente a una temperatura determinada. Para los líquidos, la concentración se expresa habitualmente en unidades de masa, como partes por millón. Cuando un adsorbente se mezcla con una solución diluida, hay una adsorción tanto del soluto como del disolvente. Como la adsorción total no se puede medir, se determina la adsorción relativa o aparente. El procedimiento más usual es tratar un volumen conocido de solución con un peso conocido de adsorbente, "V" (volumen solución / masa adsorbente).

Como resultado de la adsorción preferente de soluto, se observa que la concentración de soluto del líquido disminuye desde el valor inicial  $C_0$  al valor final en el equilibrio  $C_{eq}$  (masa soluto / volumen líquido). A la adsorción aparente del soluto también se la denomina capacidad de adsorción del adsorbente (despreciando cualquier cambio de volumen en la solución) siendo:

$$q = \frac{V (l) * (C_0 - C_{eq}) (mg/l)}{m (g)} \quad \text{Ec. 1}$$

Fuente: Marín, A. (2011)

Donde:

$(C_0 - C_{eq})$ : Masa de soluto adsorbido.

$q$ : Capacidad de adsorción del adsorbente.

$V$ : Volumen de solución.

$C_0$ : Concentración inicial.

$C_{eq}$ : Concentración en el equilibrio.

$m$ : Cantidad de adsorbente añadido en base seca.

Esto es válido para soluciones diluidas, cuando la fracción del disolvente original a adsorberse es pequeña. La adsorción aparente de un soluto depende de la concentración del soluto, la temperatura, el disolvente y el tipo de adsorbente.

Desde un punto de vista práctico, la concentración en la fase sólida debe medir todo el soluto identificable o recuperable que queda dentro de los límites exteriores de las partículas, sea cual fuere su estado químico o físico. Para mayor generalidad, las ecuaciones de isothermas se expresan en concentraciones adimensionales, formuladas como las razones del valor real de "C" o "q" a un valor de referencia de "C" o "q", utilizando las mismas unidades. En el caso de la adsorción de un soluto, "C" de referencia es por lo general la concentración de fase fluida más alta que se encuentra y "q" de referencia es la concentración de fase sólida en equilibrio que coexiste con c de referencia. La presencia de moléculas de disolvente constituye otra complicación. Por esto, no es prudente tratar de buscar un significado físico estricto a las expresiones de la isoterma; deben ser tomadas simplemente como expresiones empíricas que representan unos puntos experimentales dentro de unos rangos de concentración determinados.

### **Tipos de isothermas**

En la figura 2.5 se representan algunas formas típicas de isothermas. La isoterma lineal pasa por el origen de coordenadas y la cantidad adsorbida es proporcional a la concentración en el fluido. Las isothermas que son convexas se denominan favorables, ya que se puede obtener una carga relativamente elevada de sólido para una concentración baja en el fluido.

El caso límite de la isoterma muy favorable es la adsorción irreversible, donde la cantidad adsorbida es independiente de la disminución de concentración hasta valores muy bajos.

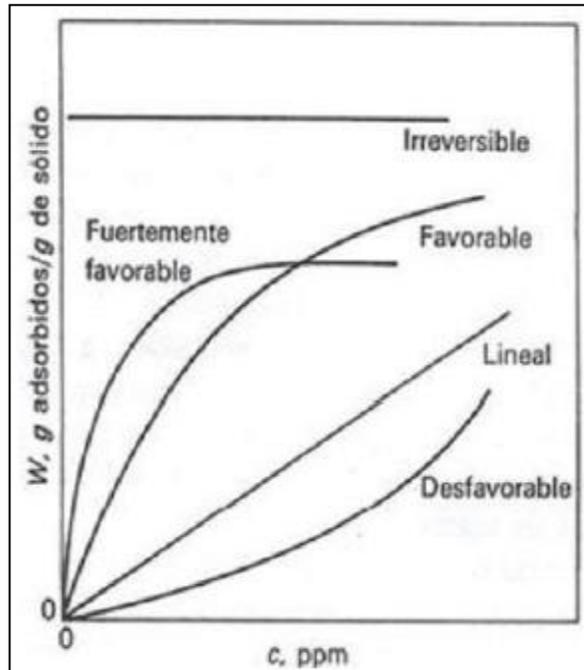


Figura 2.5. Tipos comunes de isoterma.

Fuente: Marín, A. (2011)

Todos los sistemas presentan una disminución de la cantidad adsorbida al aumentar la temperatura, mucho más elevada cuando la adsorción es muy favorable o irreversible cuando las isoterma corresponden a un modelo lineal. Una isoterma que es cóncava, conduce a largas zonas de transferencia de materia en el lecho. Las isoterma de esta forma son raras pero a su vez interesantes para ayudar a comprender el proceso de regeneración. Si la isoterma de adsorción es favorable, la transferencia de materia desde el sólido hacia la fase fluida tiene características similares a las de adsorción con una isoterma desfavorable. Con el fin de representar la concentración del contaminante frente a la capacidad de adsorción de un adsorbente, se derivaron diferentes expresiones matemáticas expresadas en forma de gráficas, para poder observar la actuación y efectividad del proceso.

En este sentido, existen diferentes gráficas que intentan modelizar o explicar la interacción del adsorbente con el soluto, y así poder ajustar los ensayos experimentales a la realidad teórica. Según los resultados obtenidos y los materiales utilizados se pueden obtener hasta cinco modelos gráficos de isoterma (figura 2.6), donde el ideal será el que se ajuste más a los resultados experimentales.

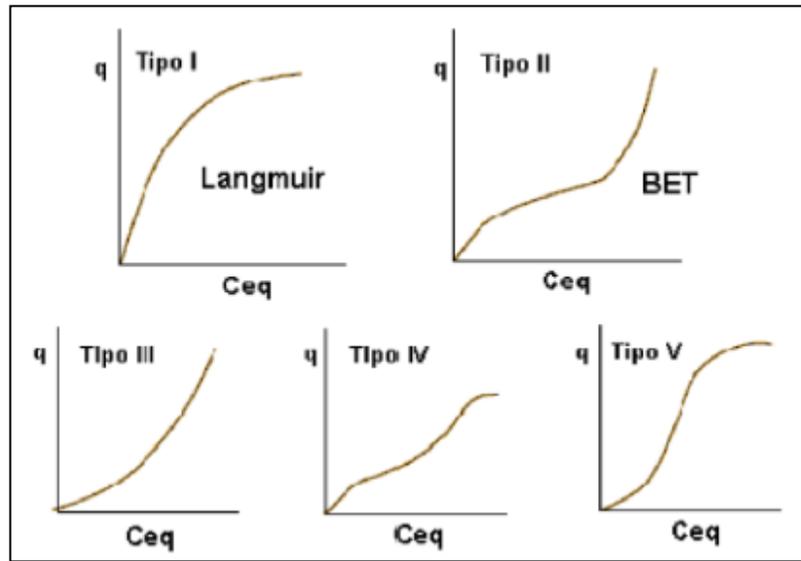


Figura 2.6. Gráficos de diferentes isotermas.

Fuente: Marín, A. (2011)

**Tipo I:** denominado isoterma de Langmuir, corresponde a una adsorción en monocapa. La cantidad adsorbida aumenta con la concentración en equilibrio hasta alcanzar un valor límite correspondiente al recubrimiento de la superficie por una monocapa. Es la isoterma característica de un proceso únicamente de quimiosorción.

**Tipo II:** es indicativo de una adsorción física en multicapas. El rápido ascenso inicial corresponde a la formación de la primera capa, que tiene en este caso una constante de formación mayor que para el resto de capas (la entalpía de formación de la primera capa es más negativa que para el resto de capas). Al seguir aumentando la concentración se forma la segunda capa de moléculas adsorbidas, seguida de otras más.

**Tipo III:** corresponde también a una adsorción física en multicapas pero donde la constante de equilibrio de formación de la primera capa es igual que para las siguientes, pero no se observa diferencia entre el llenado de la primera capa y del resto.

**Tipos IV y V:** corresponde a adsorción en multicapa sobre materiales porosos. Difieren del Tipo II y III por la presencia de una rama horizontal (saturación) y un ciclo de histéresis (las curvas de adsorción y desorción difieren). El ciclo de histéresis es debido a la condensación por la forma

irregular de los capilares. El sitio donde aparece la condensación capilar será donde, de acuerdo a la ecuación de Kelvin, el radio sea menor.

### **2.3 Bases Legales**

Durante años, se han desarrollado diversos convenios nacionales e internacionales basados en la necesidad del agua para los seres vivos, principalmente, para la especie humana, lo que ha requerido la promulgación de leyes y/o normas que garanticen el derecho de la humanidad al disfrute y aprovechamiento de este recurso, en cantidad y calidad adecuadas.

En este sentido la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) indica, en su artículo 127, que:

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

En este artículo se evidencia la responsabilidad del Estado de establecer mecanismos que garanticen la conservación del ambiente y, con ello, de apoyar alternativas dirigidas al logro de este objetivo, como las que se desarrollan en el presente trabajo.

Así mismo, en la Ley Orgánica del Ambiente (2006), en el artículo 55, se establece que, “La gestión integral del agua está orientada a asegurar su conservación, garantizando las condiciones de calidad, disponibilidad y cantidad en función de la sustentabilidad del ciclo hidrológico” (p. s/n).

Este extracto de la Ley indica que, propuestas como la que se plantea están enmarcadas dentro de acciones conducentes a garantizar la conservación del recurso hídrico, a través del mejoramiento de la calidad del mismo basado en la remoción de contaminantes, específicamente, aceites minerales.

Adicionalmente, la investigación se enmarca legalmente en la Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (2001), la cual, en su artículo 6, prohíbe la descarga de materiales peligrosos en el suelo, subsuelo, cuerpos de agua o aire, recordando que los aceites lubricantes usados son considerados materiales de este tipo por las características y elementos que lo componen.

De igual manera, esta Ley, en el artículo 13, indica que los responsables de la regeneración deben desarrollar y utilizar tecnologías limpias, además de aprovechar materiales peligrosos recuperables, y en el artículo 16, que los manejadores de este tipo de sustancias deben informar a las comunidades de los riesgos que éstos implican, situación que se desea evidenciar a través del diagnóstico en la zona de estudio (Municipio Los Guayos).

Por otra parte, la Ley de Aguas (2007), que establece las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, indica en su artículo 12 que, el control y manejo de los cuerpos de agua se realiza, entre otras cosas, mediante el establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes en afluentes líquidos generados por fuentes puntuales, lo que evidencia la necesidad de analizar, frecuentemente, la calidad de los cuerpos de agua, con la finalidad de validar que la composición de ésta se encuentre dentro de los rangos permisibles establecidos en la legislación aplicable.

En este sentido, el decreto 3.219 (1999), en el cual se establece la clasificación de las aguas del Lago de Valencia y sus tributarios y las normas para la calidad de los vertidos líquidos a ellos descargados, también sirve de basamento legal para la investigación que se realiza puesto que, en su artículo 7, identifica como uno de los tributarios a la cuenca del Lago, al Río Los Guayos, objeto de estudio de este trabajo, y en el artículo 36 define los límites de descargas máximas establecidas para parámetros críticos de control, incluyéndose dentro de esta lista la concentración de aceites minerales.

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

*En el presente capítulo se indica el tipo y diseño de la investigación, se define la población y muestra acordes al estudio, los instrumentos para la recolección de datos, así como los recursos humanos, financieros e institucionales necesarios, según los objetivos planteados.*

### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación que se presenta es de tipo descriptiva ya que, durante el diagnóstico de la situación actual, se especificaron las características de la zona donde se identificó el problema de contaminación del recurso hídrico, a través de la recopilación de datos desde la fuente, además de detallar las consideraciones que surgieron durante la caracterización de las muestras de los materiales biosorbentes y en general al llevar a cabo el proceso de biosorción.

Al respecto, Hernández y colaboradores (2006) indican que, “Los estudios descriptivos son útiles para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación” (p. 103).

### **3.2 DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

Hernández y colaboradores (2006) señalan que “El termino diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea” (p. 158).

En este sentido, la presente investigación se enmarcó en un diseño de tipo experimental, tomando en cuenta que estos autores la definen como:

(...) estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador.

Para llevar a cabo la evaluación del proceso de biosorción, a través de materiales de origen orgánico, se estudió el comportamiento de los biosorbentes seleccionados, de forma experimental, y se determinaron las condiciones bajo las cuales se favorecía o no la remoción de los contaminantes, específicamente la concentración de aceites y grasas.

Por su parte, el nivel de la investigación fue evaluativo, el cual es definido por Palella y Martins (2006) como aquel que “pretende estimar o valorar la efectividad de programas, planes o proyectos” (p.103).

En este sentido, se destaca el nivel evaluativo por cuanto al interpretar y comparar los datos recopilados y analizar tanto las muestras de agua como los materiales empleados en el proceso de biosorción, se logró estimar la efectividad de éstos en la remoción de aceites y grasas presentes en el agua del río.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1 Población**

Selltiz y colaboradores, como se citó en Hernández y colaboradores (2006), indican que “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (p. 238). Destacando los autores que éstas deben situarse claramente entorno a sus características de contenido, lugar y en el tiempo.

Con base en esta premisa, se determinó que la población estuvo representada por el Río Los Guayos, como principal cuerpo de agua del Municipio Los Guayos del Estado Carabobo, el cual tiene su nacimiento en el Municipio San Diego y desemboca en el Lago de Valencia, así como por la población que hace vida en las riberas del río, quedando delimitado solamente a las que pertenecen al Municipio Los Guayos.

#### **3.3.2 Muestra**

Para Hernández y colaboradores (2006) la muestra “Es un subgrupo de la población de interés (sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse o delimitarse de antemano con precisión), éste deberá ser representativo de la población” (p. 236).

En cuanto a los tipos, indican que éstas pueden ser probabilísticas y no probabilísticas, caracterizándose las primeras en que todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra a través de una selección aleatoria o mecánica de las unidades de análisis, mientras que las segundas, se caracterizan porque la elección de los elementos no

depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra.

Para este estudio, se estableció como muestra los puntos determinados en el curso del Río Los Guayos, según las recomendaciones indicadas en la Norma COVENIN 2.709 (2002), así como los establecimientos ubicados en las riberas del mismo en donde se identificó la generación y/o uso de aceites y grasas.

### **3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Para Palella y Martins (2006) “Un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso del cual pueda valerse el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información” (p.137).

Esta definición puede ser complementada con lo indicado por Hernández y colaboradores (2006), los cuales señalan que “Un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables que representan verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente” (p. 276).

Es decir, este recurso debe ser seleccionado por quien lleva a cabo la investigación, el cual debe procurar que se adapte a la situación objeto de estudio, permitiendo registrar la información que se necesita para analizar el problema.

En este sentido, para la presente investigación se seleccionó como instrumento de recolección de datos la hoja de observación, a través de la cual se reportaron las impresiones recogidas durante el recorrido en la fase de diagnóstico, empleando para ello la técnica de observación. La finalidad de emplear este recurso fue recolectar información objetiva acerca de la situación actual que existe en el Municipio Los Guayos relacionada con la generación y disposición de aceites y grasas (considerando el posible contenido de lubricantes usados).

Así mismo, se empleó la hoja de tabulación, como instrumento de recolección de los datos generados durante la caracterización de las aguas del Río Los Guayos, a partir de los análisis fisicoquímicos practicados.

## **3.5 PROCEDIMIENTO (FASES DE LA INVESTIGACIÓN)**

### **3.5.1 Diagnóstico de la situación actual**

Para llevar a cabo el diagnóstico de la situación actual se procedió a realizar un recorrido por la zona objeto de estudio correspondiente al municipio Los Guayos del Estado Carabobo, con la finalidad de evidenciar las características y condiciones actuales del río Los Guayos.

Para ello, se empleó un instrumento de recolección de datos donde se reflejaron las observaciones realizadas durante el recorrido, tales como características (apariencia) del cuerpo de agua, ubicación geográfica, población adyacente a la zona de estudio y demás aspectos relacionados con la generación, tratamiento y disposición final de los aceites y grasas empleados en el sector (Apéndice A), lo que permitió describir de manera general las fuentes de generación y las características de las áreas dispuestas para el almacenamiento temporal de estos productos.

Adicionalmente, se llevó a cabo una serie de visitas a entes con competencia en materia ambiental, tales como la sede regional del Ministerio para Ecosocialismo y Aguas (Estado Carabobo), la Alcaldía del Municipio Los Guayos, específicamente a la División de Infraestructura y la empresa C.A Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO) en los cuales se suministró información cartográfica del municipio (mapas del río), así como resultados de caracterizaciones del agua del río que reflejaban los valores de concentración de aceites y grasas para el momento de la evaluación por estos entes (Apéndice A).

Así mismo, se realizó un muestreo del agua del Río Los Guayos, previa elaboración de un plan de muestreo que incluyó los puntos seleccionados con base en la información técnica recopilada y a las observaciones realizadas en campo, para determinar, a través de análisis fisicoquímicos, la concentración de aceites y grasas en las mismas, evidenciando el cumplimiento o no de los parámetros establecidos en el Decreto 3.219, publicado en la Gaceta Oficial N° 5.305 del 1 de febrero de 1999, tomando en cuenta que este cuerpo de agua descarga en el Lago de Valencia.

#### **Muestreo del río**

Para la selección de los puntos de muestreo se empleó como referencia lo indicado en la Norma COVENIN 2709 (2002), basado principalmente en que el número de puntos seleccionados representara una muestra significativa, la ubicación de los mismos permitiese

identificar y describir las principales actividades industriales, urbanas o agrarias capaces de generar como desecho aceites y grasas y, a su vez, el impacto sobre el cuerpo receptor, la extensión del río y la presencia de tributarios, la facilidad de acceso al río, así como la seguridad durante la captación en los puntos seleccionados.

Inicialmente, se hizo uso de los mapas geográficos para identificar el curso del río y los afluentes que se encuentran en la zona de evaluación; luego, a través de una inspección visual, se verificó la información recopilada y se seleccionaron los puntos específicos para la toma de las muestras.

Debido a la extensa longitud del río y al impacto que generaban, sobre la calidad del agua, las actividades desarrolladas en las adyacencias al mismo, se seleccionaron tres puntos de muestreo ubicados en tres tramos principales (Vivienda Popular de Los Guayos, Las Agüitas y El Roble). La muestra captada fue de tipo integrada, constituyéndose ésta por tres submuestras instantáneas (una de cada punto seleccionado) que permitían representar las características promedio del cuerpo de agua durante el período de captación, y la modalidad fue manual, lo que permitió observar situaciones variables o imprevistas y hacer cambios en la programación.

Cabe destacar que, los equipos y materiales empleados para la recolección y preservación de las muestras se seleccionaron según lo recomendado en la norma venezolana COVENIN 2709 (2002), tal como se resume en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1. Requisitos de preservación y tipo de envase para el análisis**

<i>Análisis</i>	<i>Envase</i>	<i>Volumen mínimo de muestra (ml)</i>	<i>Tipo de Muestra</i>	<i>Preservación</i>	<i>Tiempo máximo recomendado de almacenamiento según SME<sup>1</sup></i>
Aceites y grasas	V(*)	1000	I	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o HCl a pH <2, refrigerar	28 días

V = vidrio

(\*) = envase con boca ancha y calibrado.

<sup>1</sup> = Standard Methods for the Examination.

Fuente: Norma COVENIN 2709 (2002)

Otro de los factores tomados en cuenta fue la hora promedio en la que se evidenciaba mayor actividad (comercial y doméstica) por descarga de afluentes, por lo que la captación se inició desde las 8:00 am hasta las 11:00 am, aproximadamente.

## Determinación del caudal del río

A fin de preparar la muestra compuesta que representara la concentración promedio del agua en un tiempo determinado, se hizo necesario determinar el caudal del río.

En este sentido, al consultar estudios previos, se conoció que Rodríguez C., Tejera J. (2009) determinaron que el río Los Guayos poseía un caudal promedio de 610 l/s para el año de la evaluación; de allí que, para la presente investigación se determinó el caudal haciendo mediciones directas sobre el cuerpo de agua, teniendo como referencia este valor y considerando los cambios generados por el crecimiento poblacional, el asentamiento de actividades industriales y comerciales en las áreas adyacentes al río, así como modificaciones por cambio climático que afectan las temporadas de lluvia y sequía en la región.

Para ello, se utilizó el método de velocidad/superficie, el cual depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del río, para lo cual se determinó el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida, calculando el caudal de cada punto a partir de la siguiente expresión:

$$Q = A \times V \quad \text{Ec. 2}$$

Fuente: Rivera, B y colaboradores (1999).

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A: Área (m<sup>2</sup>)

V: Velocidad (m/s)

Posteriormente, se procedió a calcular el caudal promedio del río, sumando los caudales individuales y dividiendo entre el total (Apéndice B).

Con base en el resultado obtenido y en el volumen requerido para la realización de los análisis de laboratorio según lo indicado en el método estándar, se determinó el volumen total de la muestra compuesta que debía ser captada.

## Materiales e instrumentos empleados para la determinación del caudal

Para determinar el caudal, se utilizaron los siguientes materiales:

**Tabla 3.2. Instrumentos empleados para la determinación del caudal del río**

<b>Material</b>	<b>Características/Especificaciones</b>
Cinta métrica	Cinta flexible graduada de 50 m, empleada para medir la distancia recorrida por la esfera de anime al desplazarse sobre la superficie del agua del río y la distancia transversal a la corriente correspondiente al ancho del río (tramo estudiado).
	
Cronómetro	Instrumento utilizado para medir el tiempo en el que la esfera de anime se desplazó de un punto "A" a un punto "B", corriente abajo, del río Los Guayos.
	
Esfera de anime	Elemento empleado para determinar la velocidad de desplazamiento debido a la corriente de agua del río Los Guayos.
	
Varilla metálica	Elemento metálico graduado utilizado para medir la profundidad del río en los tramos estudiados.
	 

## Determinación de la concentración de aceites minerales en el río

Para esta actividad se empleó como metodología de trabajo lo establecido en los Métodos Normalizados (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*) (24 th ed., 2005), específicamente en el método 5220 correspondiente a Aceites y Grasas, llevándose a

cabo la fase experimental en los laboratorios de la empresa C.A Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO).

Cabe destacar que, la determinación de la absorción en la fase líquido-líquido se realizó, inicialmente, según lo establecido en la sección B, método de Partición Gravimétrica y, posteriormente, según lo indicado en la sección F, Hidrocarburos, tal como se describe a continuación.

- Se agregó, en un cilindro graduado, 1000 ml de la muestra de agua del río.
- Se añadió 5 ml de HCl para acidificar la muestra hasta obtener pH 2, aproximadamente.
- Se agregó la muestra en un embudo de separación, así como el remanente del lavado del cilindro, posterior a añadir 30 ml de disolvente (hexano) para lavar las paredes del mismo.
- Se agitó el embudo durante 2 minutos, aproximadamente y se dejó en reposo hasta lograr la separación de las capas.
- Se desalojó el disolvente a través del embudo y se recogió la mezcla en un matraz, previamente lavado y tarado.
- Se repitió el procedimiento anterior por duplicado y ambos remanentes se recogieron en el matraz.
- Se destiló la mezcla colocando el matraz en baño de María a 70°C durante 15 minutos, aproximadamente, aplicando vacío durante el minuto final.
- Se enfrió el matraz en un desecador durante 30 min y, posteriormente, se pesó (Apéndice A).
- Se determinó la concentración de aceites y grasas empleando la Ecuación 3, considerando la diferencia entre el peso final y el peso inicial del matraz, y dividiendo este resultado entre el volumen de la muestra (Apéndice B).

$$[\textit{Aceites y grasas}] = \frac{(B-A)}{v} \quad \text{Ec.3}$$

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).

Donde:

B: Peso final del matraz (mg)

A: Peso inicial del matraz (mg)

v: Volumen (l)



Figura 3.1 Determinación de la concentración de aceites y grasas. a) Reposo de la mezcla, b) Separación de capas y c) Enfriamiento de los matraces.

Posteriormente, se determinó la concentración de aceites minerales presente en la muestra tomando en cuenta que éstos se encuentran contenidos en los aceites y grasas totales, tal como sigue:

- Se agregó 100 ml de disolvente (hexano) para disolver los aceites y grasas separados en la etapa anterior.
- Se agregó 3 g de gel de sílica y se agitó durante 5 minutos en un agitador magnético.
- Se filtró la solución y se procedió según lo indicado en el método de partición gravimétrica para determinar la concentración de hidrocarburos (Ec.3).

Seguidamente, se consultó la Gaceta Oficial N° 5.305, la cual, en su decreto 3.219, define las descargas al Lago de Valencia y la red hidrográfica tributaria, comparando los valores establecidos en el mismo (máximos permisibles para la descarga al Lago) con los resultados obtenidos después de aplicar el método de determinación.

### 3.5.2 Caracterización de los materiales biosorbentes

Para desarrollar esta fase de la investigación, se solicitaron los servicios profesionales del Instituto Tecnológico Venezolano de Petróleo INTEVEP, al cual se hicieron llegar las muestras necesarias según los requerimientos indicados, tal como se resume a continuación.

**Tabla 3.3. Especificaciones de las muestras enviadas al INTEVEP**

<b>Material</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Características / Pretratamiento</b>
Cáscara de Huevo	10	Se realizó lavado con agua destilada y secado a 150°C. La muestra fue pulverizada a un tamaño de grano tipo polvo facial.
Cabello Humano	10	Se realizó lavado con agua destilada y secado a 150°C. La muestra fue cortada a un tamaño aproximado de 2-4 mm.

Cabe destacar que, la selección de los materiales orgánicos a emplear como potenciales adsorbentes de aceites y grasas se basó en las características teóricas de éstos y en usos previos dados a los mismos como elementos removedores de metales pesados, similares a los contenidos en los aceites minerales (cáscara de huevo), y de derrames de petróleo y sus derivados (cabello humano), además de la facilidad para obtenerlos y el costo asociado a esto.

#### **Microscopía Electrónica de Barrido**

Este análisis se realizó en un microscopio electrónico de alta resolución marca FEI, modelo Quanta FEG 250, acoplado a un detector de energía dispersiva de rayos X marca EDAX.

El análisis consistió en crear una imagen ampliada de la superficie de las muestras (cáscara de huevo y cabello humano), explorándolas punto por punto y recorriendo las mismas con un haz muy concentrado de electrones; éstos, al dispersarse de la muestra o provocar la aparición de electrones secundarios, fueron recogidos y contados por un dispositivo electrónico. Cada punto leído de la muestra correspondía a un píxel en el monitor; cuanto mayor era el número de electrones contados por el dispositivo, mayor era el brillo del píxel en la pantalla.

A medida que el haz de electrones barría la muestra, se presentaba toda la imagen de la misma en el monitor, produciendo imágenes tridimensionales realistas de la superficie de ambos materiales.

### Área superficial (ASE)

Las medidas de área superficial de las muestras se realizaron por adsorción de  $N_2$  a 77,35K, utilizando un aparato de adsorción volumétrica TriStar 3000.

El método BET, desarrollado por Brunauer, Emmett y Teller, permitió determinar la superficie de los sólidos basándose en la adsorción del gas inerte. Conocida la cantidad de gas adsorbido necesario para formar una monocapa y el área que ocupa una de estas moléculas adsorbidas, fue posible estimar el área de los sólidos.

### 3.5.3 Análisis del proceso de biosorción como alternativa para disminuir el contenido de aceites y grasas

Esta fase se caracterizó por analizar el proceso de biosorción con los materiales seleccionados bajo condiciones de laboratorio controladas y, posteriormente, realizar los ensayos correspondientes a la determinación de aceites y grasas en las muestras de agua.

Para ejecutar la fase experimental se realizó un diseño de experimento de tipo factorial de matriz 3x3 el cual se muestra a continuación:

**Tabla 3.4. Diseño factorial de la fase experimental. (a) Sustrato 1. Cáscara de Huevo, (b) Sustrato 2. Cabello Humano**

(a) Sustrato 1. Cáscara de Huevo				(b) Sustrato 2. Cabello Humano			
	t1	t2	t3		t1	t2	t3
M1	M1t1	M1t2	M1t3	M1	M1t1	M1t2	M1t3
M2	M2t1	M2t2	M2t3	M2	M2t1	M2t2	M2t3
M3	M3t1	M3t2	M3t3	M3	M3t1	M3t2	M3t3

La finalidad de esta fase fue evaluar el efecto que tienen las variables independientes (cantidad de sustrato y tiempo de contacto sustrato-solución) en el nivel de remoción de aceites y grasas en solución. Cabe destacar que, se empleó una matriz 3x3 tomando en cuenta que al realizar los ensayos en cantidades impares se genera un punto de comparación objetivo al momento de analizar y discutir los resultados, además de las implicaciones económicas que generaba el hecho de repetir, en mayor cantidad de veces, el análisis de laboratorio basado en la determinación de la concentración de aceites y grasas.

La variable cantidad de sustrato se presentó en los tres niveles antes mencionados, correspondiente a las cantidades de cáscara de huevo y cabello humano empleadas (2,00; 4,00 y 6,00 g). Por otra parte, la variable tiempo de contacto sustrato-solución se manipuló de una a tres horas, dando lugar a tres intervalos de tiempo distintos.

Los grupos experimentales se definieron por las cantidades de sustrato empleadas (M1, M2 y M3, respectivamente) y se utilizó un grupo testigo (M0), que no contuvo muestra, para garantizar la ausencia de variables extrañas.

### **Sistema de variables**

A efectos de esta investigación, se estableció como sistema de variables aquellas que permitieron evidenciar la relación causa-efecto, tal como se indica a continuación:

#### *- Variables independientes*

Cantidad de sustrato: definida operacionalmente como la masa en gramos de los sustratos (cáscara de huevo y cabello humano) utilizada como agente adsorbente en el proceso de remoción de aceites y grasas.

Tiempo de contacto sustrato-solución: definida como la cantidad de horas durante las cuales los sustratos se expusieron a la solución acuosa de aceites y grasas.

#### *- Variable dependiente*

Nivel de remoción de aceites y grasas en solución acuosa: definida operacionalmente como el porcentaje de remoción de aceites obtenido de las muestras de soluciones acuosas, después de la utilización de cada uno de los sustratos como agentes adsorbentes de dicho compuesto.

- *Variables intervinientes*

Temperatura.

Concentración inicial de aceites y grasas en solución acuosa.

Tamaño de partícula.

- *Velocidad de agitación*

Las cuales se mantienen constantes a efectos de obtener validez interna.

La población de esta fase correspondió a 1 kg de cada uno de los sustratos evaluados (cáscaras de huevo de gallina y cabello humano), recolectados por el investigador en distintos puntos de la ciudad de Valencia, conformada por residuos de expendios de comida, uso doméstico y salones de belleza (peluquerías).

Es importante mencionar que, para el desarrollo del estudio, la muestra estuvo constituida por una cantidad equivalente al 30% del total recolectado de cada uno de los sustratos, tomando en consideración lo expuesto por Ramírez (2001), quien señala que, si bien se admite que mientras más grande sea la muestra, más cerca de la representatividad se estaría, afirma que: “La mayoría de los autores han coincidido en señalar que para los estudios basta con tomar un aproximado 30% de la población para que la muestra posea un nivel elevado de representatividad”. De esta forma, la muestra quedó constituida por 0,30 kg de cáscara de huevo de gallina y 0,30 kg de cabello humano, cuyo manejo, además, fue asequible al investigador.

### **Pretratamiento de las muestras de biosorbentes**

Las cáscaras de huevo y el cabello humano fueron lavados, posteriormente secados y triturados a 250C en la estufa y por último, se tamizaron, como se muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2 Pretratamiento de los bioadsorbentes. a) Lavado de las muestras, b) Secado de las muestras, c) Trituración de las cáscaras de huevo y d) Trituración del cabello humano.

### Determinación de las condiciones de experimentación

Las condiciones de experimentación para la determinación de aceites y grasas fueron: volumen de la solución (1000 ml), cantidad de sustrato adsorbente 2,00; 4,00 y 6,00 g, temperatura ambiente (25,5C), tamaño de partícula (125-150  $\mu\text{m}$ ) y agitación constante (100 rpm).

#### - Experimentación

- Se añadió, a cada vaso de precipitado, 1000 ml de agua del río Los Guayos.
- Se agregó, a los vasos de precipitado, las cantidades pesadas de sustrato (cáscara de huevo y cabello humano).
- Se sometieron las muestras a agitación constante durante los intervalos de tiempo previamente establecidos (1, 2 y 3 horas).
- Se filtraron las muestras y se recolectaron en envases de vidrio previamente lavados, secados e identificados.

- Se determinó la concentración final de la solución a través de la aplicación del método estándar para la determinación de aceites y grasas, reportando los datos en la tabla de registro de datos.

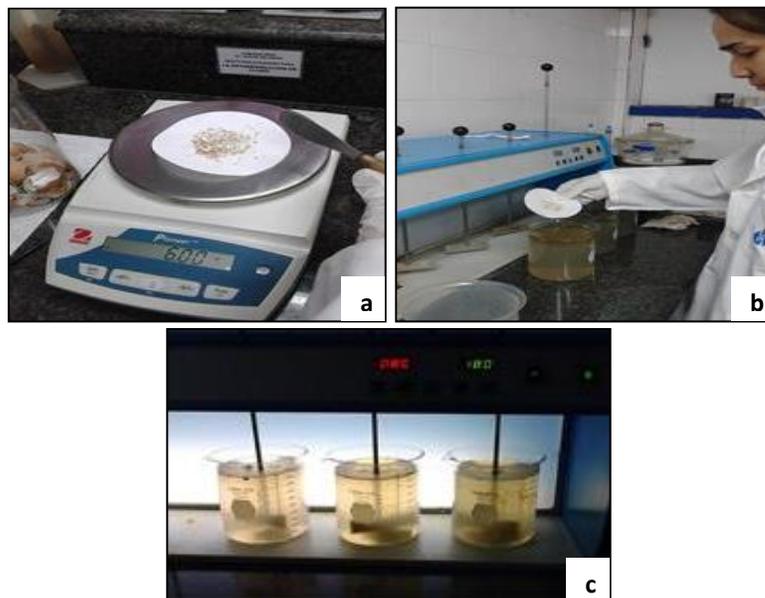


Figura 3.3 Proceso de bioadsorción con cáscara de huevo. a) Pesaje de cáscara de huevo, b) incorporación de sustrato a la muestra de agua y c) Agitación de la mezcla.

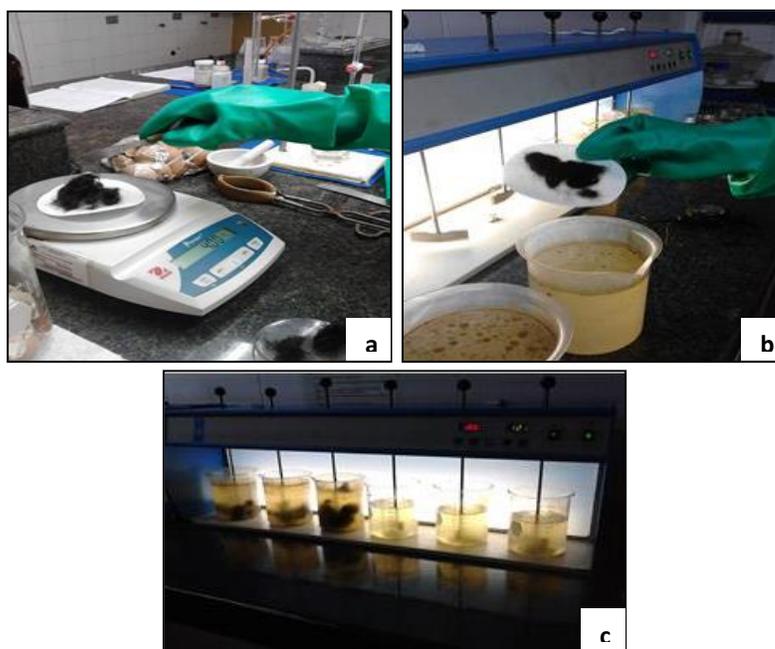


Figura 3.4. Proceso de bioadsorción con cabello humano. a) Pesaje de cabello humano, b) incorporación de sustrato a la muestra de agua y c) Agitación de la mezcla.

Una vez realizado el proceso de biosorción, las alícuotas fueron llevadas al laboratorio central de C.A Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO) para la determinación de la concentración final de aceites y grasas y con ello establecer el porcentaje de remoción de estos compuestos en la solución, una vez empleada la técnica experimental, tal como se indicó en el aparte 3.5.1, específicamente, en la sección Determinación de la concentración de aceites y grasas en el agua del río.

#### **3.5.4 Medición de la efectividad de los materiales orgánicos utilizados, en el proceso de biosorción**

Una vez desarrollado el procedimiento experimental, se elaboró un cuadro resumen donde se indicaron los resultados obtenidos al evaluar el proceso de biosorción, a fin de establecer una comparación entre la efectividad alcanzada con cada uno de los materiales biosorbentes empleados, expresada en porcentaje de remoción de aceites y grasas presentes en las muestras de agua.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

*En este capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos durante el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos en la investigación.*

### 4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Durante el diagnóstico realizado se evidenciaron las características y condiciones actuales que presenta el río Los Guayos, las cuales se resumen en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Características generales del área de estudio**

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Ubicación Geográfica	<p>El río Los Guayos nace en el Municipio San Diego y desemboca en el Lago de Valencia, atravesando el Municipio Los Guayos del Estado Carabobo y se ubica a Latitud: 10.1533 y Longitud: -67.8763.</p> <p>En la figura 4.1 se observa una vista satelital del río a fin de identificar geográficamente la ubicación de éste.</p>
Población	<p>Según el XIV Censo Nacional de Población y Vivienda (2011) publicado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la población del Municipio Los Guayos para el año 2011 se estimaba en 149.606 habitantes.</p>
Hidrografía	<p>Según la Dirección Estatal del Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, anteriormente Dirección Ambiental Estatal Carabobo (DAE), (2005) el área en estudio se encuentra en el relleno fluvio-lacustre de la depresión del Lago de Valencia, de origen cuaternario, donde hidrogeológicamente se presentan acuíferos extensos, y por lo general de alto rendimiento, de permeabilidad entre media y alta.</p> <p>La Hidrografía del área está conformada básicamente por la presencia del río Los Guayos que es el principal cuerpo de agua que atraviesa el municipio; este río presentaba para el año 2005 un caudal promedio de 2,1 m<sup>3</sup>/s, siendo un cauce permanente incrementa de manera importante su caudal en temporadas de lluvia, llegándose a presentar crecidas de gran importancia.</p> <p>En la figura 4.2 se puede observar que este río es el segundo en importancia para el Estado Carabobo, en cuanto a su aporte de caudal al Lago de Valencia.</p>

**Tabla 4.1 Características generales del área de estudio  
(Continuación)**

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Apariencia del cuerpo de agua	<p>Según la DAE Carabobo, (2005) el río presenta una carga contaminante formada principalmente por aguas residuales provenientes de algunas zonas del municipio San Diego y las que se descargan en el casco central del municipio Los Guayos, las cuales son en su mayoría de origen doméstico e industrial.</p> <p>Las características fisicoquímicas y biológicas de las aguas del río Los Guayos, para el año 2005, se presentan en la tabla 4.2, en la cual se evidencia que el valor de aceites y grasas fue de 10 mg/l.</p> <p>Por su parte, al consultar la página web de la empresa C.A Hidrológica del Centro (HIDROCENTRO), se obtuvo el resultado de los análisis realizados al agua del río Los Guayos correspondientes al año 2015; en este se indica que la concentración de aceites y grasas fue 16,0 mg/l evidenciándose un incremento de este parámetro comparado con los valores reportados por la DAE en 2005.</p>
Actividades económicas de la zona	<p>En las laderas del río Los Guayos se evidencia la presencia de múltiples talleres mecánicos, economía informal, empresas del ramo metalúrgico, de alimentos y automotriz, principalmente, tal como se muestra en la figura 4.3.</p>
Generación y disposición de desechos	<p>Con base en las actividades económicas que se desarrollan en las adyacencias al río Los Guayos, se observó que la mayor parte de los desechos que se generan son de origen doméstico, producto de las actividades cotidianas de los pobladores del sector.</p> <p>Adicionalmente, se evidenció la generación de desechos inorgánicos y no biodegradables tales como aceites lubricantes usados provenientes de las actividades comerciales desarrolladas en los talleres mecánicos.</p> <p>En este sentido, según consultas realizadas a los pobladores se conoció que actualmente en el sector no cuentan con un plan de gestión ambiental que describa el procedimiento adecuado para el almacenamiento, tratamiento y/o disposición de los desechos generados (aceites minerales) por lo que el manejo de los mismos se basa en prácticas improvisadas por parte de los generadores.</p>

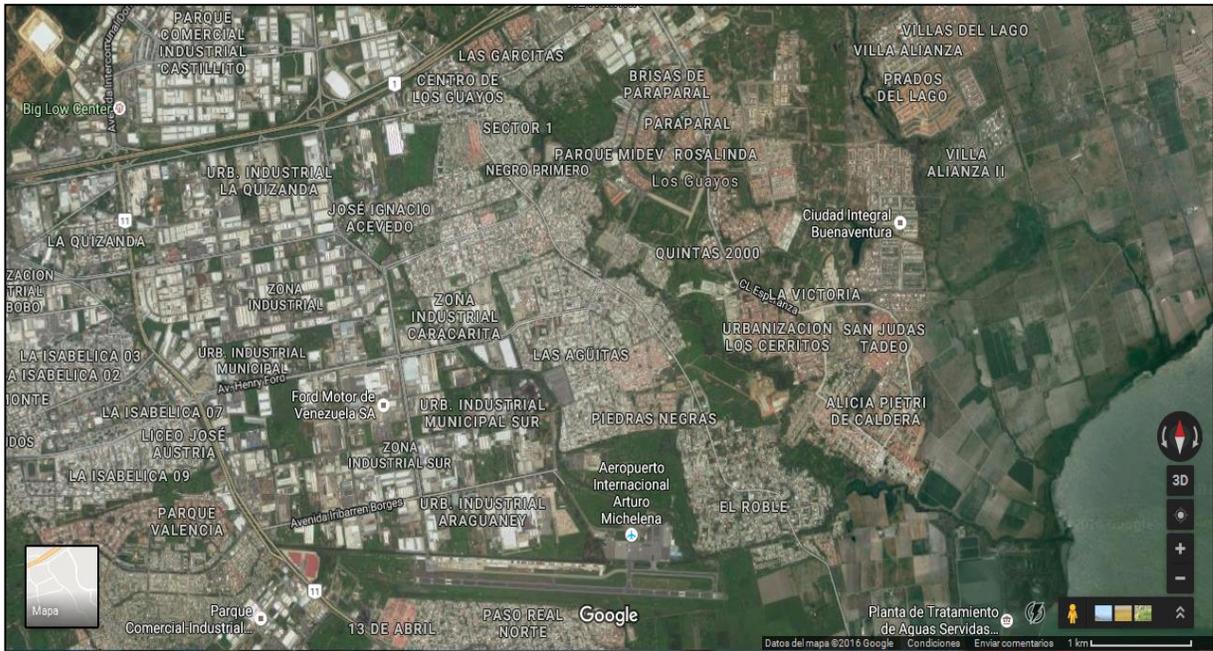


Figura 4.1 Vista satelital Municipio Los Guayos.  
Fuente: Google Earth (2016).

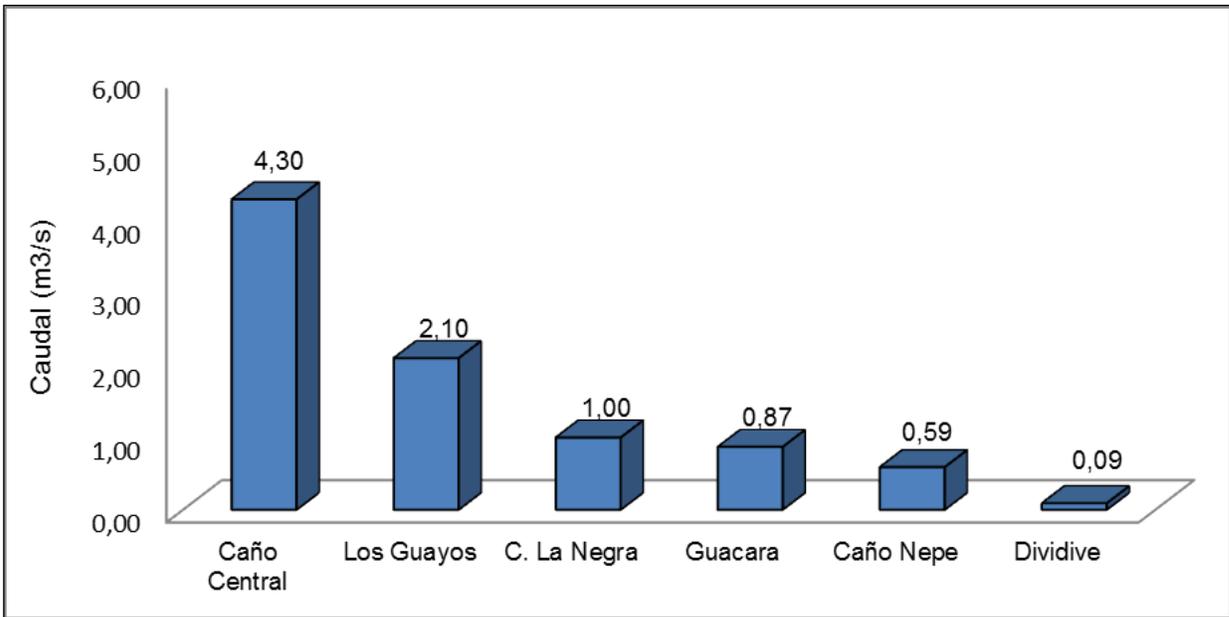


Figura 4.2. Caudales promedio de los principales cuerpos de agua del Estado Carabobo.  
Fuente: Dirección Ambiental Estatal Carabobo, MinAmb (2005)

**Tabla 4.2. Resultados de los Análisis Fisicoquímicos y Biológicos del río Los Guayos como Tributario del Lago de Valencia, Estado Carabobo**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Los Guayos</b>
Caudal	m <sup>3</sup> /seg	2,10
pH	-	7,4
DBO <sub>5</sub>	mg/l	51
DQO	mg/l	123
Fósf. Tot.	mg/l	1,4
Nit. Tot.	mg/l	16
Sol. Tot.	mg/l	492
Sol. Dis. Tot.	mg/l	365
Sol. Susp. Tot.	mg/l	127
Detergente	mg/l	1,7
Ac. y Grasas	mg/l	10

Fuente: DAE Carabobo, 2005



Figura 4.3. Actividades económicas en las adyacencias del río. a) Estacionamiento de unidades de transporte, b) Cauchera y c) Taller de mecánica ligera y cambio de aceite.

Como se observa en la tabla 4.2, la concentración de aceites y grasas presente en el río Los Guayos, determinada en el año 2005 por la DAE Carabobo, fue de 10 mg/l, encontrándose este valor dentro de los parámetros exigidos por el Decreto 3.219. Por su parte, se evidencia que el resultado de caracterizaciones realizadas en el año 2015 (16,0 mg/l), según el informe de resultados de análisis químicos sanitarios en agua, emitido en el mes de noviembre en la Planta



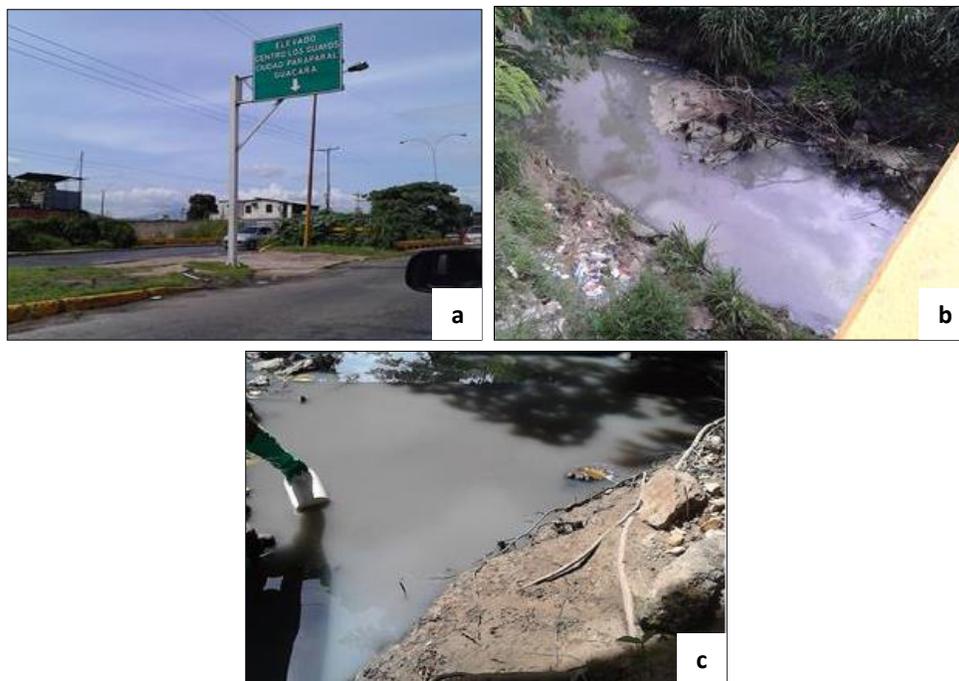


Figura 4.5. Punto de muestreo N°1 (PM1), Avenida Principal Vivienda Popular de Los Guayos.  
 a) Identificación del punto de muestreo N°1, b) Apariencia del agua en el punto de muestreo N°1  
 y c) Toma de muestra.



Figura 4.6. Punto de muestreo N°2 (PM2), Sector Las Agüitas. a) Identificación del punto de muestreo N°2, b) Apariencia del agua en el punto de muestreo N°2 y c) Toma de muestra.



Figura 4.7. Punto de muestreo N°3 (PM3), Sector El Roble. a) Identificación del punto de muestreo N° 3, b y c) Apariencia del agua en el punto de muestreo N°3.

#### 4.1.2 Determinación del caudal del río

La determinación del caudal del río, en los puntos seleccionados para la captación de las muestras, se realizó a través del método de velocidad/superficie; los valores resultantes se presentan en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3. Caudal del Río Los Guayos**

<b><i>Punto de muestreo</i></b>	<b><i>Ubicación</i></b>	<b><i>Caudal (l/s)</i></b>
PM1	Vivienda Popular Los Guayos	336,36
PM2	Las Agüitas	783,33
PM3	El Roble	947,37
Caudal Promedio		689,02

El caudal promedio del río correspondió a 689,02 l/s. Con base en este resultado y a la cantidad de muestra (expresada en litros) necesaria para la realización de los análisis de laboratorio se tomaron 30 litros de agua del río Los Guayos.

### 4.1.3 Determinación de la concentración de aceites minerales

La determinación de la concentración de aceites minerales en el agua del río Los Guayos se realizó según lo indicado en los Métodos Normalizados (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*) (24 th ed., 2005), específicamente en el método 5520 correspondiente a Aceites y Grasas; los valores obtenidos se muestran en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4. Concentración de aceites minerales en el agua del río Los Guayos**

	<b>Concentración de Aceites y Grasas Totales (mg/l)</b>	<b>Concentración de Aceites Minerales (mg/l)</b>
Muestra integrada, agua del río Los Guayos	25,60	10,45

La concentración de aceites minerales presente en el agua del río Los Guayos, correspondió a 10,45 mg/l, lo que representa 40,82% de la concentración de aceites y grasas totales determinada en la muestra (25,60 mg/l). Al comparar ambos valores con los indicados en el Decreto 3.219 (20 mg/l) se observa que el primero se encuentra dentro del rango máximo permisible (representando 52,25%), sin embargo, el contenido de grasas y aceites totales se encuentra 28% por encima del valor de referencia.

De igual manera, si se comparan los valores obtenidos experimentalmente con los datos indicados en estudios previos a la presente investigación, se observa un incremento en la concentración de aceites y grasas totales presentes en el agua del río entre los años 2015 (16,00 mg/l) y 2016 (25,60 mg/l), en el orden del 60%.

## 4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES BIOSORBENTES

Esta fase de la investigación se desarrolló con la finalidad de conocer las principales características de los materiales orgánicos seleccionados, a través de métodos químicos analíticos (instrumentales).

### Microscopía Electrónica de Barrido

Los resultados de las muestras de cáscara de huevo y cabello humano analizadas se presentan a continuación.

En las figuras 4.8 y 4.9 se observan la micrografía de la cáscara de huevo y el espectro EDX, respectivamente, y en la tabla 4.5 la composición de la misma.

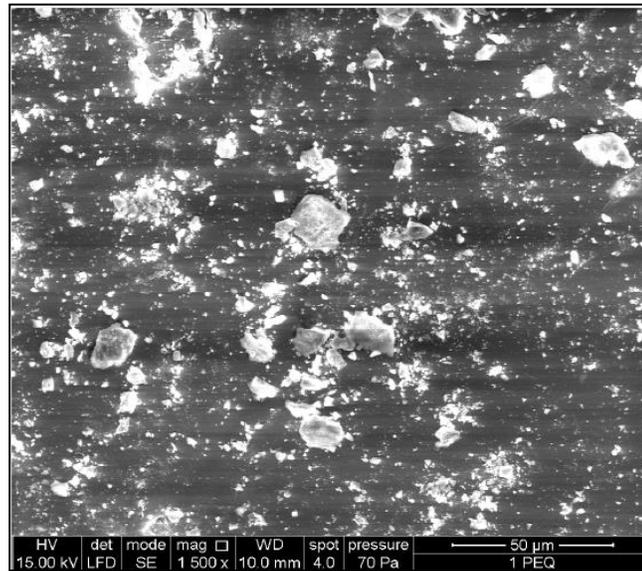


Figura 4.8. Micrografía de la muestra de cáscara de huevo.

**Tabla 4.5. Composición de la muestra de cáscara de huevo**

<i>Elemento</i>	<i>Wt %</i>	<i>At %</i>
C K	34,59	51,82
O K	26,22	29,49
Na K	0,56	0,44
Mg K	0,60	0,45
S K	6,14	3,45
Cl K	0,48	0,24
K K	1,05	0,48
Ca K	30,36	13,63

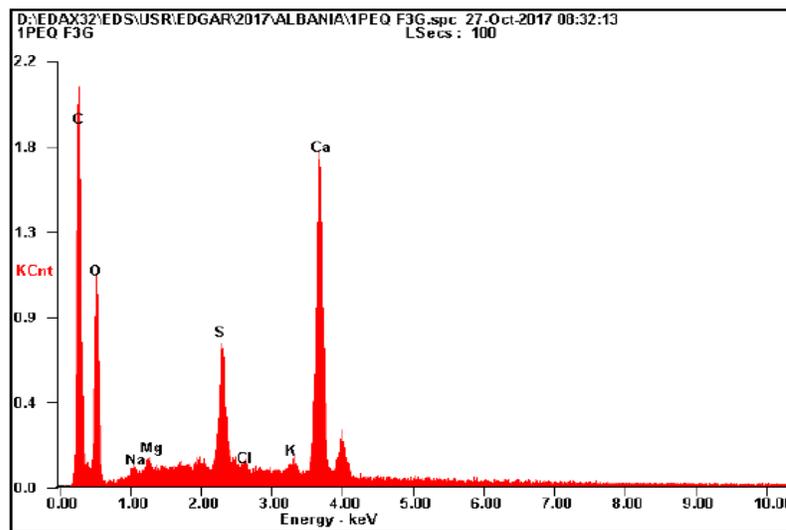


Figura 4.9. Espectro de EDX de la muestra de cáscara de huevo.

Se evidenció que la cáscara de huevo está compuesta principalmente (% peso, expresado como Wt), por los elementos Carbono, Calcio y Oxígeno, con lo cual se corrobora lo indicado teóricamente, asociado a la presencia de estructuras de carbonato de calcio en el material estudiado. De igual manera se observa, en menor proporción, la presencia de elementos como Azufre, Magnesio y Potasio.

Por su parte, en las figuras 4.10 y 4.11 se muestran la micrografía del cabello humano y el espectro EDX, respectivamente, y en la tabla 4.5 la composición del material analizado.

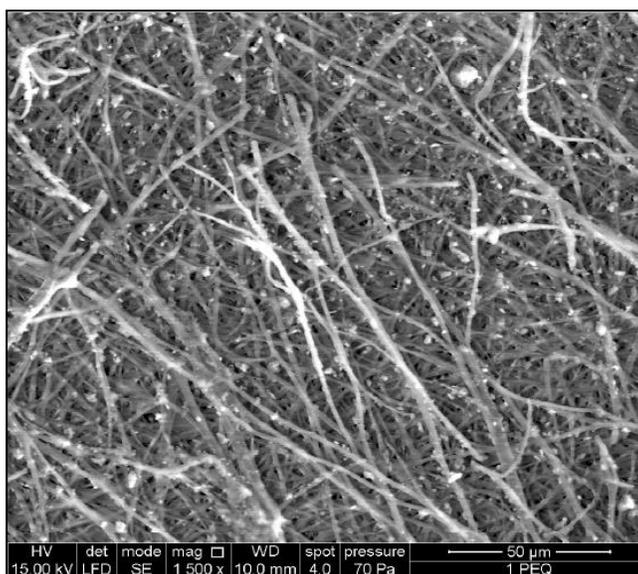


Figura 4.10. Micrografía de la muestra de cabello humano.

**Tabla 4.6. Composición de la muestra de cabello humano**

<b><i>Elemento</i></b>	<b><i>Wt %</i></b>	<b><i>At %</i></b>
C K	55,57	69,88
O K	21,14	19,96
Na K	0,76	0,50
S K	10,85	5,11
Cl K	2,46	1,05
K K	2,44	0,94
Ca K	6,78	2,56

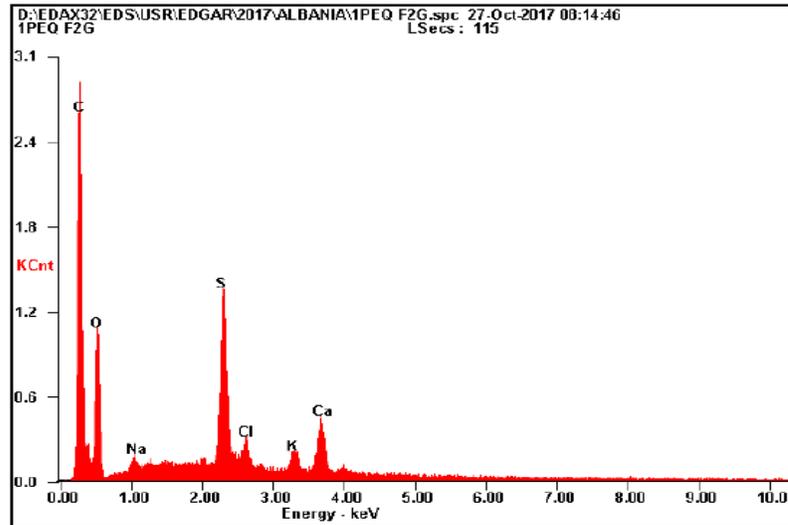


Figura 4.11. Espectro de EDX de la muestra de cabello humano.

Se observa que el cabello humano está compuesto principalmente (% peso, expresado como Wt) por Carbono, Oxígeno y Azufre, así como por Calcio, Cloro y Potasio en menor proporción, elementos que al conjugarse permiten la formación de proteínas, lípidos y sales como estructura fundamental del material.

### Área Superficial

Con el análisis de área superficial de la cáscara de huevo se obtuvieron los datos necesarios para construir la isoterma de adsorción-desorción de N<sub>2</sub>, la cual se muestra en la figura 4.9.

En ésta se representa el volumen de nitrógeno adsorbido en la cáscara de huevo a la presión relativa del gas, produciéndose la histéresis cuando la isoterma de adsorción no coincide con la de desorción.

La curva corresponde a una isoterma tipo II según las mostradas en la figura 2.6, la cual indica una adsorción física en multicapas, de allí que el ascenso inicial corresponde a la formación de la primera capa y, a medida que aumenta la presión relativa, se forma la segunda capa de moléculas adsorbidas, hasta alcanzar el punto de mayor adsorción, representado por la presión relativa a la cual se satura el material y comienza el proceso de desorción.

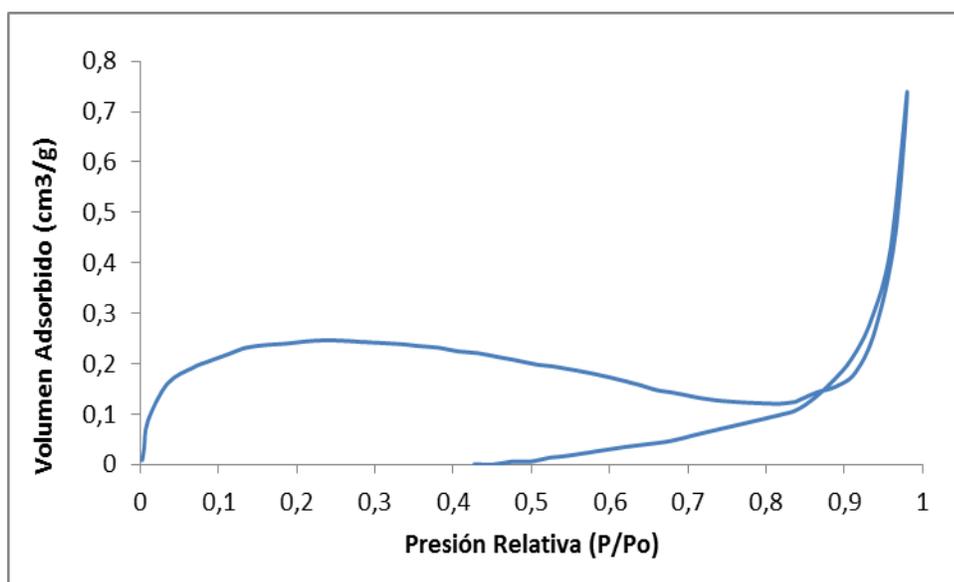


Figura 4.12. Isotherma de adsorción-desorción de N<sub>2</sub> de la cáscara de huevo.

**Tabla 4.7. Valores de área, volumen y diámetro de poros obtenidos para la cáscara de huevo**

Área Específica BET (m <sup>2</sup> /g)	Área Microporo (m <sup>2</sup> /g)	Área Superficial Externa (m <sup>2</sup> /g)	Área de Superficie de poros (Adsorción Acum)* (m <sup>2</sup> /g)	Volumen de poros (Adsorción Acum)* (cm <sup>3</sup> /g)	Diámetro de poro (Adsorción Promedio) (Å)
1,2922	0,3771	0,9152	0,1395	0,00085	244,1578

\*Diámetro de poros entre 20 y 3000 Å

En la tabla 4.6 se observa que el área específica BET para la cáscara de huevo es de 1,2922 m<sup>2</sup>/g, sin embargo, el área de superficie de poros es sólo de 0,1395 m<sup>2</sup>/g; así mismo se evidencia que los poros presentes en el material son de tipo mesoporos (2nm >ø<50 nm), tomando en cuenta la conversión del valor reportado en Armstrong a nanómetros (244,1578 Å = 24,4158 nm).

Cabe destacar que, para la muestra de cabello humano, el área superficial por adsorción de nitrógeno no presentó niveles detectables.

### **4.3 ANÁLISIS DEL PROCESO DE BIOSORCIÓN COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE ACEITES**

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras la aplicación del proceso de biosorción en materiales de origen orgánico empleados para disminuir la concentración de aceites y grasas en la muestra de agua del río Los Guayos, la cual se puso en contacto con cantidades específicas de las cáscaras de huevo y el cabello humano en un proceso de adsorción, donde el adsorbente y el adsorbato permanecieron en agitación constante, a temperatura ambiente, por un total de tres (3) horas.

Cabe destacar que, el análisis del proceso de bioadsorción se realizó con base en la variación de la concentración de aceites y grasas totales y no en la concentración de aceites minerales, tomando en cuenta que, según los valores reportados en el aparte 4.1.3 de esta investigación, la concentración de aceites minerales de la muestra de agua del río Los Guayos se encontró por debajo del parámetro establecido en el Decreto 3.219, además de las limitaciones asociadas a la adquisición de los reactivos/materiales necesarios para la determinación experimental (hexano y sílica gel), por lo que se evaluó la efectividad de los biosorbentes en la remoción de aceites y grasas de forma total.

#### **4.3.1 Sustrato 1: Cáscara de huevo de gallina**

##### **Cantidad de cáscara de huevo y tiempo de contacto adecuado para la adsorción de aceites y grasas**

En las tablas 4.8 y 4.9 se muestra el comportamiento de la concentración de aceites y grasas y el porcentaje de remoción obtenido luego de poner en contacto la muestra de agua del río con tres (3) cantidades diferentes de cáscara de huevo de gallina (M1=2 g, M2=4 g y M3=6 g), en un intervalo de tiempo comprendido entre una (1) y tres (3) horas, a 100 rpm de agitación constante y a una temperatura de 25C. De igual manera, se muestra el comportamiento de la muestra blanco, a fin de evidenciar la ausencia de variables extrañas en el proceso de experimentación.

**Tabla 4.8. Comportamiento de la concentración de aceites y grasas en la muestra de agua del río durante el proceso de adsorción con cáscara de huevo**

		<i>Tiempo (h)</i>		
<i>Cantidad de Sustrato (g)</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
M1	2	21,60	16,80	15,60
M2	4	20,80	17,20	13,80
M3	6	18,80	17,35	13,75
	Blanco	25,60	25,60	25,58

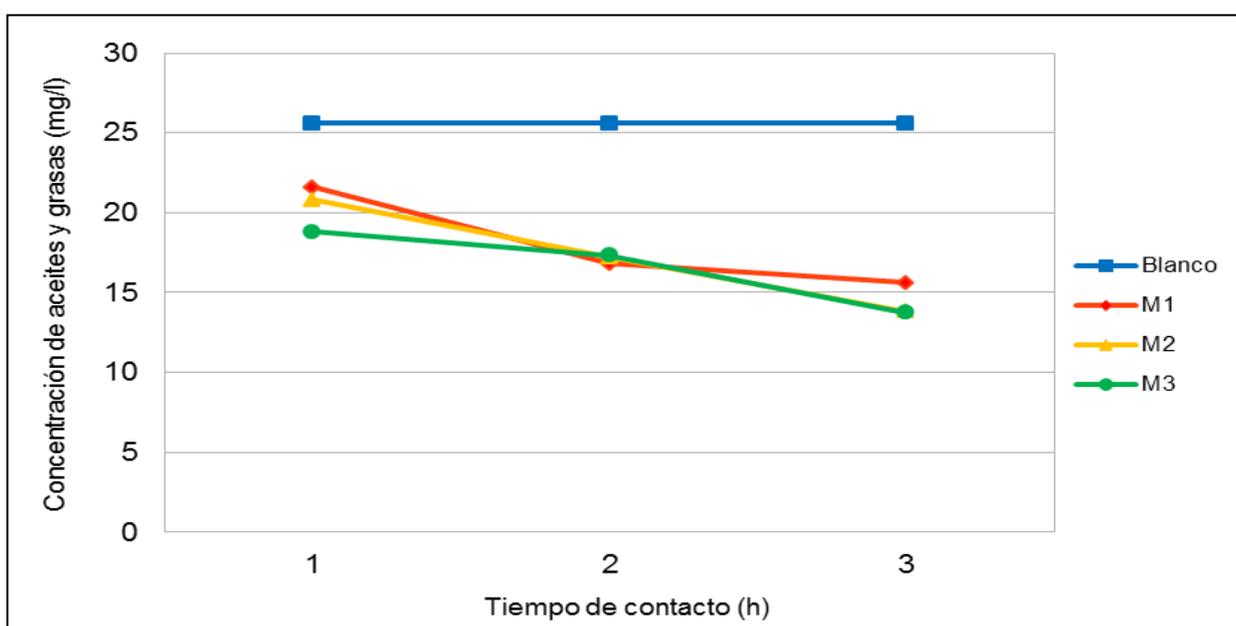


Figura 4.13 Biosorción de aceites y grasas a través de cáscara de huevo.

En la figura 4.13 se observa que los mejores resultados se lograron empleando 6 gramos de cáscara de huevo durante 3 horas de agitación constante, puesto que con esta masa de sustrato se logró disminuir, en mayor proporción, la concentración de aceites y grasas presente en la muestra de agua del río Los Guayos (13,75 mg/l) durante el tiempo indicado.

**Tabla 4.9. Remoción de aceites y grasas durante proceso de adsorción con cáscara de huevo**

		<i>Tiempo (h)</i>		
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
	<b><i>Cantidad de Sustrato (g)</i></b>			
M1	2	15,63	34,38	39,06
M2	4	18,75	32,81	46,09
M3	6	26,56	32,23	46,29
	Blanco	0		

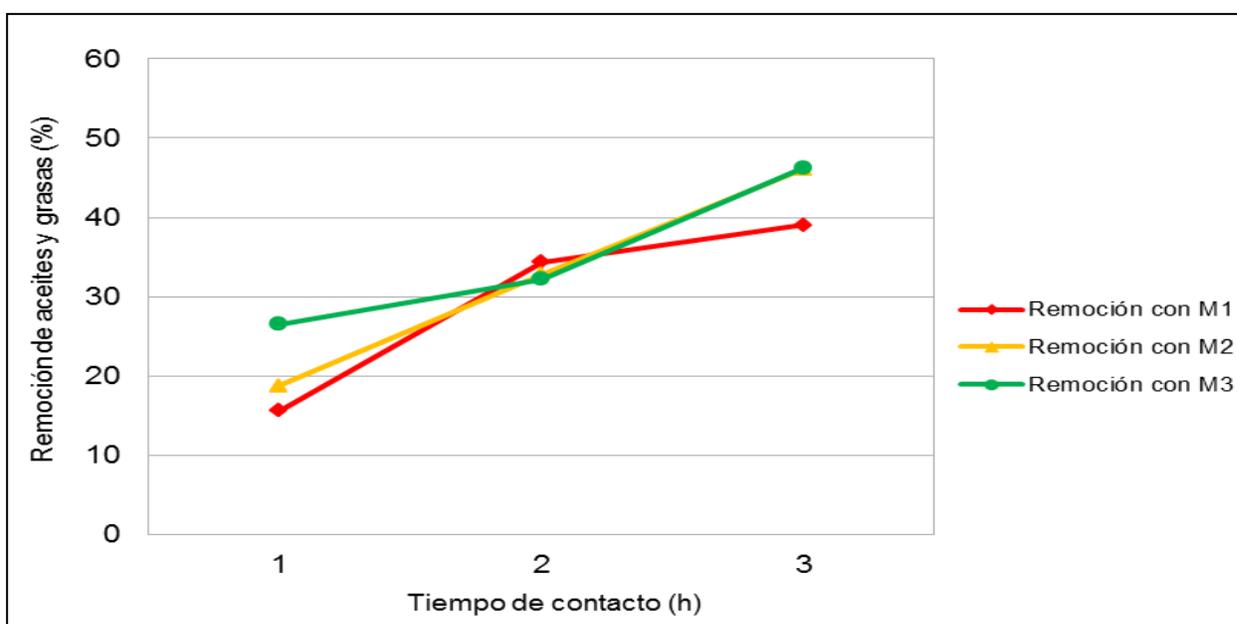


Figura 4.14. Remoción de aceites y grasas a través de cáscara de huevo.

En la figura 4.14 se observa que el mayor porcentaje de remoción de aceites y grasas (46,29%) se obtuvo empleando 6 gramos de cáscara de huevo durante el proceso de biosorción, en un tiempo de 3 horas de agitación continua.

### **Determinación de la Isotherma de Adsorción de aceites y grasas empleando cáscara de huevo**

A continuación se muestra la isoterma obtenida con base en los resultados experimentales al emplear cáscara de huevo bajo las condiciones de experimentación más favorables para el proceso de remoción de aceites y grasas.

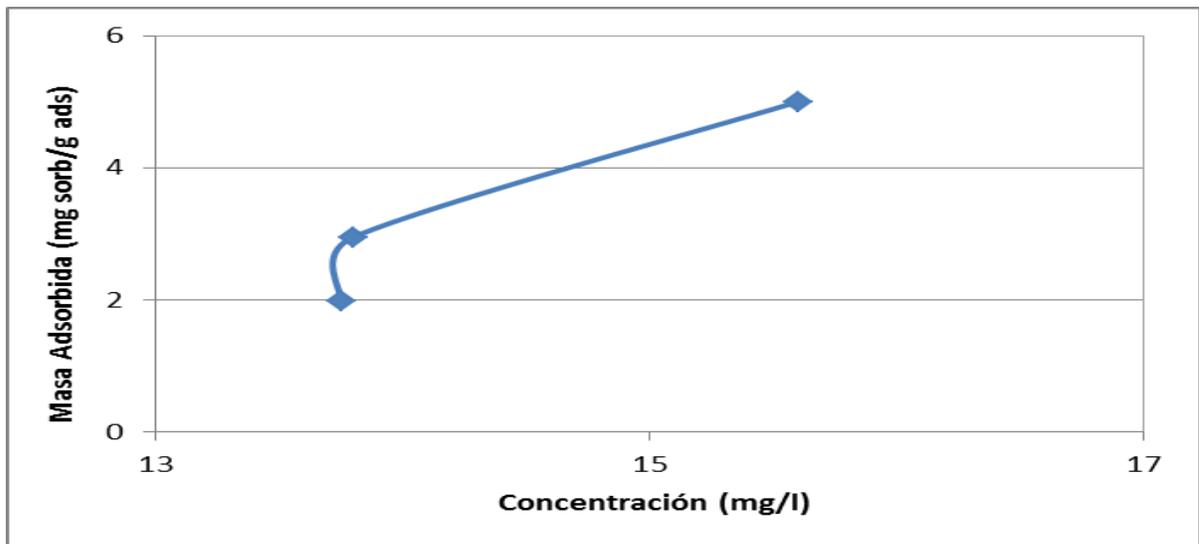


Figura 4.15. Isotherma de adsorción empleando cáscara de huevo.

Aun cuando se requiere una mayor cantidad de puntos o valores experimentales para definir el comportamiento de la curva, en la figura 4.15 se observa que la tendencia de la misma es de una isoterma favorable, caracterizada por la obtención de una carga relativamente elevada de sólido para una concentración baja en el fluido, lo que a su vez se asocia a una adsorción en monocapa.

#### 4.3.2 Sustrato 2: Cabello humano

##### Cantidad de cabello humano y tiempo de contacto adecuado para la adsorción de aceites y grasas

En las tablas 4.10 y 4.11 se muestra el comportamiento de la concentración de aceites y grasas y el porcentaje de remoción obtenido luego de poner en contacto la muestra de agua del río con tres (3) cantidades diferentes de cabello humano, en un intervalo de tiempo comprendido entre una (1) y tres (3) horas, a 100 rpm de agitación constante y a una temperatura de 25°C. De igual manera, se muestra el comportamiento de la muestra blanco, a fin de evidenciar la ausencia de variables extrañas en el proceso de experimentación.

**Tabla 4. 10. Comportamiento de la concentración de aceites y grasas en la muestra de agua del río durante el proceso de adsorción con cabello humano**

		<i>Tiempo (h)</i>		
<i>Cantidad de Sustrato (g)</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
M1	2	19,60	14,80	7,20
M2	4	18,80	13,60	6,80
M3	6	15,60	9,60	6,45
	Blanco	25,60	25,60	25,58

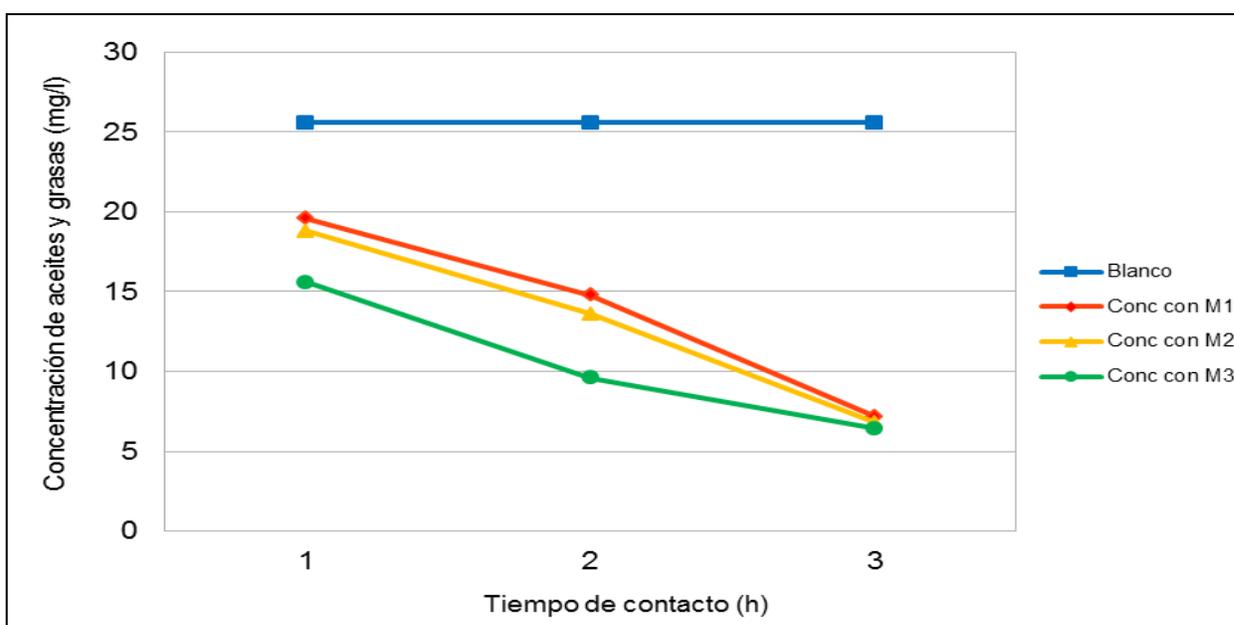


Figura 4.16. Biosorción de aceites y grasas a través de cabello humano.

En la figura 4.16 se observa que, al emplear 6 gramos de cabello humano durante un período de contacto de 3 horas, en agitación continua, la concentración de aceites y grasas disminuyó a 6,45 mg/l, lo que representa el menor valor alcanzado con las masas de adsorbente empleadas.

**Tabla 4.11. Remoción de aceites y grasas durante proceso de adsorción con cabello humano**

		<i>Tiempo (h)</i>		
<i>Cantidad de Sustrato (g)</i>		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
M1	2	23,44	42,19	71,88
M2	4	26,56	46,88	73,44
M3	6	39,06	62,50	74,80
	Blanco	0		

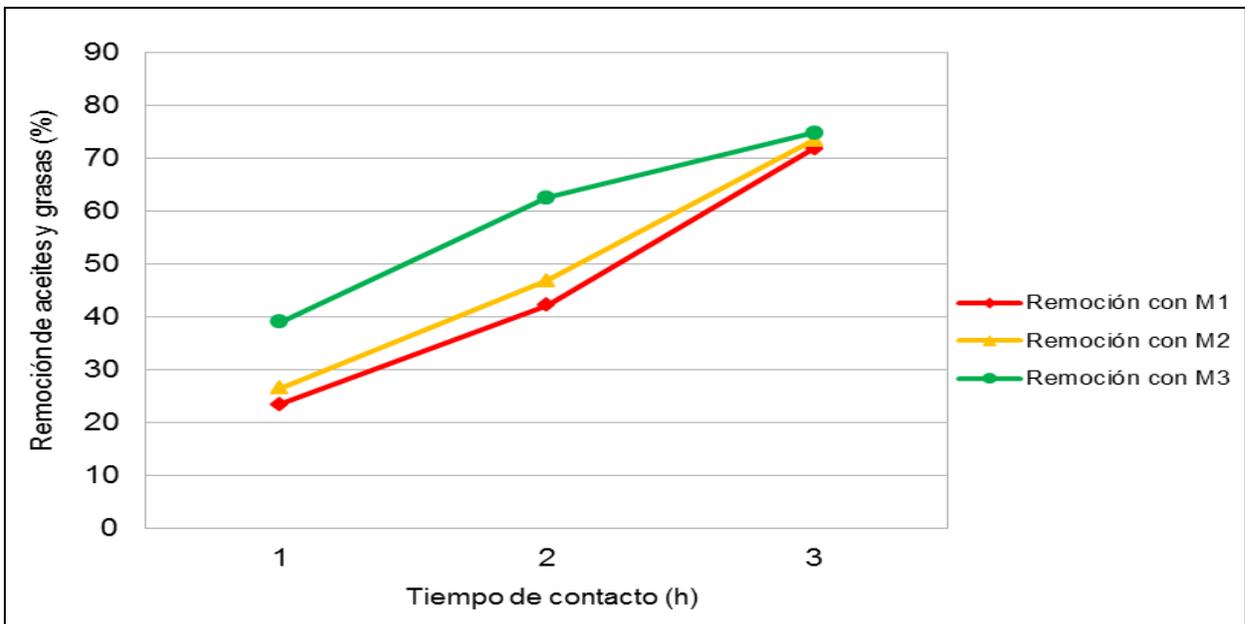


Figura 4.17. Remoción de aceites y grasas a través de Cabello Humano.

Por su parte, en la figura 4.17 se evidencia que el mayor porcentaje de remoción de aceites y grasas (74,80%) se obtuvo empleando 6 gramos de cabello humano, en el mayor de los tiempos de contacto establecidos experimentalmente (3 horas).

Así mismo, se observó que, empleando seis (6) gramos de sustrato el proceso se tornó más eficiente durante las primeras dos (2) horas a agitación constante, sin embargo, en la última hora de experimentación, se obtuvo una remoción menor en comparación con el segundo caso (masa 4 gramos) debido a que, probablemente, existió una condición que afectó el proceso de contacto entre el sustrato y el adsorbente el cual esté relacionado con la homogeneidad de la mezcla, considerando que la masa de sustrato empleada sedimentó al tiempo de haber sido agregada al recipiente contenedor de la muestra de agua del río.

### **Determinación de la Isotherma de Adsorción de aceites y grasas empleando cabello humano**

A continuación se muestra la isoterma obtenida con base en los resultados experimentales al emplear cabello humano bajo las condiciones de experimentación más favorables.

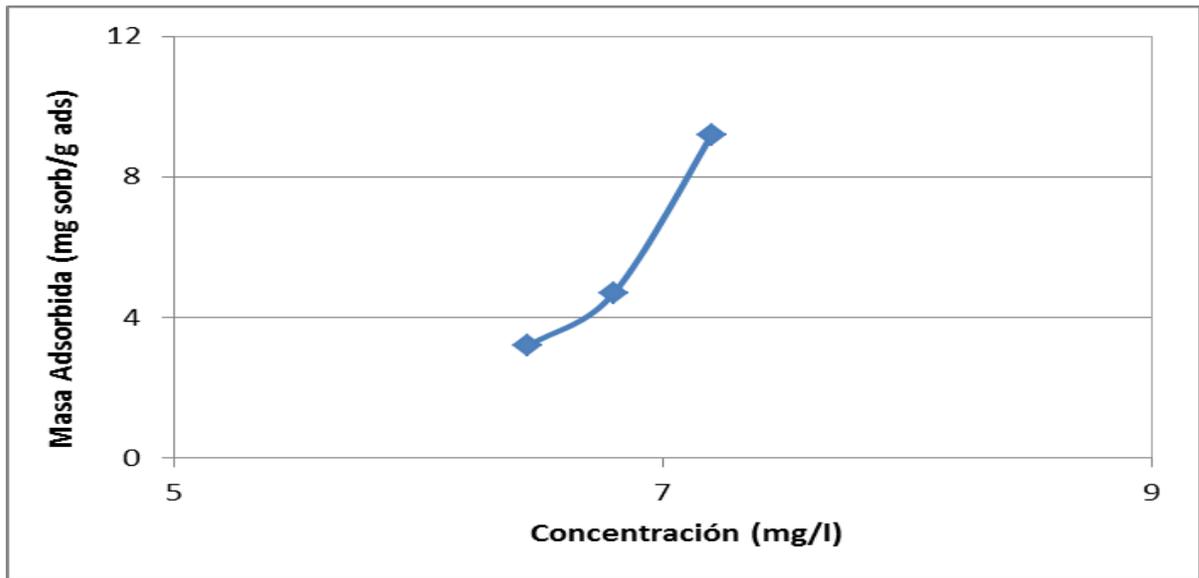


Figura 4.18. Isoterma de adsorción empleando cabello humano.

La tendencia de la curva mostrada en la figura 4.18 es de una isoterma desfavorable, la cual a su vez se puede asociar al tipo II o modelo de BET, el cual se caracteriza por presentar adsorción física en multicapas.

#### 4.4 Medición de la efectividad de los materiales orgánicos utilizados en el proceso de biosorción

En la tabla 4.12 se muestran los resultados obtenidos al aplicar el proceso de biosorción, evidenciándose que la mayor remoción se logra empleando el cabello humano como bioadsorbente de aceites y grasas, bajo las mismas condiciones de experimentación.

**Tabla 4.12 Efectividad de los bioadsorbentes en la remoción de aceites y grasas**

<i>Bioadsorbente</i>	<i>Concentración final de aceites y grasas mg/l</i>	<i>Remoción de aceites y grasas</i>	
		<i>mg/l</i>	<i>(%)</i>
Cáscara de huevo	13,75	11,85	46,29
Cabello humano	6,45	19,15	74,80

En líneas generales se observa que, a mayor tiempo de contacto entre la muestra y el sustrato, bajo las condiciones de experimentación indicadas, la concentración de aceites y grasas disminuye, obteniéndose valores que se encuentran entre los parámetros establecidos en el decreto 3219.

A pesar de que el análisis de área de superficie del cabello humano, por adsorción de nitrógeno, no presentó valores detectables, se evidencia que este material orgánico permite la remoción de aceites y grasas, lo cual se presume que puede deberse a la formación de entramados tipo malla, capaces de retener en su superficie estos compuestos.

Adicionalmente, se evidencia una variación en los porcentajes de remoción obtenidos al emplear masas diferentes de sustratos, lo que indica que la cantidad de sustrato juega un papel importante en el proceso de adsorción, incrementando o disminuyendo la efectividad de éste.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- El río Los Guayos nace en el Municipio San Diego y desemboca en el Lago de Valencia, atravesando el Municipio Los Guayos del Estado Carabobo; en sus laderas se observaron múltiples talleres mecánicos, entre otros establecimientos, los cuales descargan efluentes sin tratamiento previo a la corriente del río.
- La concentración de aceites minerales en el agua del río Los Guayos correspondió a 10,45 mg/l, valor contenido en el rango permisible, según el Decreto 3219, para este tipo de compuestos (equivalente al 52,25% del valor máximo), mientras que la concentración de aceites y grasas en el agua del río experimentó un incremento de 60% entre 2015 (16,0 mg/l) y 2016 (25,6 mg/l), encontrándose este parámetro por encima del valor máximo establecido en el Decreto 3219 (20 mg/l).
- A través de la microscopía electrónica de barrido se determinó que la cáscara de huevo está compuesta principalmente por los elementos Carbono, Calcio y Oxígeno, corroborando sus estructuras de carbonato de calcio en el material estudiado. Así mismo, permitió conocer que el cabello humano está compuesto por Carbono, Oxígeno y Azufre, además de Calcio, Cloro y Potasio en menor proporción, los cuales permiten la formación de proteínas, lípidos y sales.
- La curva obtenida al evaluar el área superficial de la cáscara de huevo, por adsorción de nitrógeno, correspondió a una isoterma tipo II, la cual describe una adsorción física en multicapas. Por su parte, para la muestra de cabello humano, el área superficial por adsorción de nitrógeno no presentó niveles detectables.
- El área específica BET para la cáscara de huevo es de 1,2922 m<sup>2</sup>/g y el área de superficie de poros es de 0,1395 m<sup>2</sup>/g. Los poros presentes en material son de tipo mesoporos, presentando un diámetro de 24,4158 nm.
- El mayor porcentaje de remoción de aceites y grasas con los materiales estudiados se obtuvo empleando 6,00 g de bioadsorbente, durante tres (3) horas de contacto, con agitación constante (100 rpm) y a temperatura ambiente (25C). En el caso de la cáscara de huevo se logró 46,29% de remoción y con el cabello humano se alcanzó 74,80%.

- Al emplear cáscara de huevo como bioadsorbente, se alcanzó una concentración de aceites y grasas de 13,75 mg/l, mientras que al utilizar cabello humano se obtuvo una concentración de 6,45 mg/l; ambos valores se encuentran por debajo del límite permisible de aceites y grasas en aguas que son descargadas al Lago de Valencia, según lo establece el Decreto 3219, demostrando, de esta manera, las propiedades biosorbentes que poseen ambos materiales orgánicos.
- La efectividad de la cáscara de huevo como agente adsorbente de aceites y grasas fue de 1,98 mg/g, mientras que la del cabello humano fue de 3,19 mg/g, lo cual evidencia que este último material resulta más efectivo en el proceso de remoción de estos compuestos.
- A pesar de que el análisis de área de superficie del cabello humano, por adsorción de nitrógeno, no presentó valores detectables, se evidencia que este material orgánico permite la remoción de aceites y grasas.
- Tanto la cáscara de huevo de gallina como el cabello humano son residuos orgánicos efectivos para la remoción de aceites y grasas en solución, representando una alternativa competitiva para la remediación de aguas contaminadas por estos compuestos.
- Se determinó que, a mayor tiempo de contacto entre la solución y el agente bioadsorbente el proceso resulta más efectivo. Además, mientras mayor es la cantidad de bioadsorbente que se agregue a la solución mayor resulta el porcentaje de remoción y por ende se evidencia mayor disminución de la concentración de aceites y grasas.

## **Recomendaciones**

Con base en las conclusiones de este estudio, se plantearon las siguientes recomendaciones:

- Evaluar el proceso de bioadsorción de aceites y grasas modificando las condiciones de experimentación, principalmente, incrementando el tiempo de contacto sustrato-solución (mayor a tres horas) y la velocidad de agitación (simular el proceso considerando la velocidad de la corriente de agua en el río), con la finalidad de verificar el comportamiento de la concentración en función a estas dos variables y determinar el punto de equilibrio del proceso.
- Realizar la fase experimental de remoción de aceites y grasas empleando un proceso de bioadsorción de tipo dinámico por medio del cual se ponga en contacto la muestra contaminada

con paquetes del material bioadsorbente (encerrados) que incrementen la superficie de contacto entre el adsorbente y el adsorbato, permitiendo un fácil retiro del mismo y disminuyendo el error por arrastre.

- Evaluar el proceso de bioadsorción empleando, en simultáneo, los dos tipos de materiales orgánicos en diversas proporciones.
- Aplicar métodos químicos analíticos diferentes a los empleados en la presente investigación, a fin de determinar, en el cabello humano, la existencia o no de superficie disponible para la adsorción.
- Realizar la fase experimental de remoción de aceites y grasas empleando los materiales bioadsorbentes directamente en la corriente del río Los Guayos, a fin de evaluar la efectividad de los mismos al exponerlos a condiciones de campo tales como fuerza del viento, corriente, condiciones climáticas naturales impredecibles, así como en las diferentes épocas del año (invierno y sequía).
- Evaluar posibles alternativas de tratamiento que se puedan aplicar a los desechos generados (cáscara de huevo y cabello humano) una vez empleados como materiales bioadsorbentes de aceites y grasas, así como mecanismos para la disposición final de éstos que sean amigables con el ambiente, con la finalidad de evitar que se traslade el problema de contaminación a otro componente del medio (suelo/aire).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2012). *Programa para el manejo de aceite usado de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. EU.: EPA. Recuperado de: <http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/usedoil/sp-index.htm>
- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (6 ed.)*. México, D.F: Editorial El Manual Moderno.
- Asamblea General de Naciones Unidas. (2010). *El derecho humano al agua y el saneamiento*. Resolución 64/292. Recuperado de [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)
- Chen, A., y Chen, S. (2009). Biosorption of azo dyes from aqueous solution by glutaraldehyde-crosslinked chitosans. *J. Hazard. Mater*, 172, 1111-1121.
- CONCAWE. (2000). Disposing of used lubricating oils. *CONCAWE Review*, vol. 9, Nº 2.
- Consejo de Ministros del Ambiente de Canadá. (1989). *Manejo de aceite lubricante usado en Canadá: prácticas y alternativas existentes*. Elaborado por Monenco Consultants Ltd. [Documento en línea] Recuperado de: <http://usedoilrecycling.com/en> [Consulta: 09/08/2012].
- Convenio de cooperación científica, tecnológica y financiera para el diseño de las estrategias y lineamientos técnicos requeridos para la gestión ambientalmente adecuada de los aceites usados de origen automotor e industrial en el territorio nacional, Nº 063. (2005). *Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados* (2006). Bogotá, Colombia.
- Cubillos, A. (1998). *Calidad del agua y Control de la polución*. Serie Ambiente y Recursos Naturales Renovables AR-14. Mérida, Venezuela.
- Demirbas, A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 157(2-3), 220-229.
- Escobar, M., Lobo, G., Maza M., Pineda, A., Romero, L., Velásquez, J. y De la Rosa, M. (2014). Evaluación del uso de cáscara de huevo como sustrato adsorbente para la remoción de

- Cromo (VI) en solución acuosa. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Lara, Venezuela.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 38.692. (2007). Ley de Aguas. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 38.692. (2007). Ley Orgánica del Ambiente promulgada en 2006. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.453. (2000). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, 1999. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 36.396. (1998). Convenio de Basilea sobre control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. (1989). Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela, N° 36.344. (1998). Decreto 2.181 Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del Río Yaracuy. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.305. (1999). Decreto 3.219 Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.021. (1995). Decreto 883 Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Caracas, Venezuela.
- Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.554. (2001). Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos (Ley 55). Caracas, Venezuela.
- Garcés, Luz., y Coavas, Susana. (2012). Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia.
- González, C. (2014). Propuesta de un plan de manejo de aceites lubricantes usados de

- automóviles para el Estado Carabobo (tesis de postgrado). Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela.
- Grupo GuntHamburg. (2010). Conocimientos Básicos de la Adsorción. Recuperado de: [http://www.gunt.de/download/adsorption\\_water\\_membrane\\_spanish.pdf](http://www.gunt.de/download/adsorption_water_membrane_spanish.pdf). [Consulta: 2016, Enero, 20]
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A.
- León, J., y Portillo, A. (2008). Marco jurídico regulador de la cogestión del recurso agua en Venezuela. Revista Forestal Latinoamericana, 23(1), 125-138. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Marín, Alberto. (2011). Estudio de adsorción de Boro con Amberlite IRA 743 (proyecto final de carrera). Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Martínez, J. (2005). Guía para la gestión integral de residuos peligrosos. Centro Coordinador de Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Uruguay.
- Mejía C. y otros (2007). La eliminación de Pb (II)-plomo-del agua vía bio-absorción usando cáscara de huevo. [Documento en línea]. Recuperado de [http://www.ccytem.morelos.gob.mx/jccytem/index.php?option=com\\_content&task=view&id=146](http://www.ccytem.morelos.gob.mx/jccytem/index.php?option=com_content&task=view&id=146)
- Metcalf y Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales "Tratamiento, vertido y reutilización". España: McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Manual Técnico para el manejo de aceites lubricantes usados de origen automotor e industrial. 2da Edición, actualizada por Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE S.A.S., y Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana Minambiente. Bogotá, D.C., Colombia.
- Mujica, Y. (2005). Evaluación de la calidad de las aguas en los tributarios del Lago de Valencia (tesis de pregrado). Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela.
- Navarro, V., e Iglesias, A. (2001). Zeolitas naturales en la eliminación del plomo de aguas

- residuales. *Ingeniería Química*, 375(6), 177-183.
- Ncibi, M., Mahjoub, B., y Seffen, M. (2008). Investigation of the sorption mechanisms of metal-complexed dye onto *Posidonia oceanica* (L.) fibres through kinetic modelling analysis. *Bioresour. Technol*, 99, 5582-5589.
- Norma COVENIN 2634. (2002). Aguas naturales, industriales y residuales. Caracas, Venezuela.
- Norma COVENIN 2709. (2002). Aguas naturales, industriales y residuales. Guías para las técnicas de muestreo. Caracas, Venezuela.
- Oliveira, F., Thiago, M., y Alves, S. (2008). Evaluation Of Untreated Coffe Husks As Potential Biosorbents For Treatment Of Dye Contaminated Waters. *Journal of Hazardous Materials*, 155, 507-512.
- Ramos, J. (2010). Estudio del proceso de biosorción de colorantes sobre borra (cuncho) de café (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia.
- Revista digital para profesionales de la enseñanza. El cabello: estructura, propiedades, composición química, ciclo, tipos y clases de cabello. Pautas para la determinación de: distribución, longitud, calidad, color, forma e implantación.
- Rivera, B., Tangarife, Diana. y Rojas, H. (1999). Desarrollo metodológico para la caracterización de caudales y niveles de sedimentación. Universidad de Caldas, Departamento de Sistemas de Producción. Grupo de Investigación en Análisis de Sistemas de Producción ASPA. CONDESAN Col 12/99. Colombia.
- Rodríguez, C., y Tejera, J. (2009). Evaluación de la calidad del agua de los principales afluentes que descargan al río Los Guayos desde el municipio San Diego hasta su desembocadura en el Lago de Valencia (tesis de pregrado). Universidad de Carabobo, Carabobo, Venezuela.
- Romero, J. (1999). Calidad del agua. Venezuela: Limusa.
- Sánchez, J., Beltrán, A., Carmona, C., y Gibello, P. (2011). Absorbentes naturales a partir de taninos. Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. *Cuides*, 7, 125-139.

- Sanghi, R., y Bhattacharya, B. (2002). Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents. *Coloration Technology*, 118(5), 256-269.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2005). 24th ed.
- Tovar, E. (12 de Octubre de 2010). Pdvsa se suma 18% del sector de lubricantes. Canidra dice que Venoco maneja 50% de los aceites sintéticos. *El Universal*. Recuperado de: [http://www.eluniversal.com/2010/10/12/eco\\_art\\_pdvsa-se-suma-18-de\\_2067544](http://www.eluniversal.com/2010/10/12/eco_art_pdvsa-se-suma-18-de_2067544).
- Un Water. (2014). Un Objetivo Global para el Agua Post-2015: Síntesis de las Principales Conclusiones y Recomendaciones de ONU-Agua. Asegurando agua sostenible para todos. Resumen ejecutivo aprobado por ONU-Agua. Recuperado de: [http://www.unwater.org/publications/en/?page=3&ipp=10&no\\_cache=1&tx\\_dynalist\\_pi1\[par\]=YToxOntzOjE6lkwiO3M6MToiMCI7fQ==](http://www.unwater.org/publications/en/?page=3&ipp=10&no_cache=1&tx_dynalist_pi1[par]=YToxOntzOjE6lkwiO3M6MToiMCI7fQ==)
- Universidad Tecnológica del Centro. (2005). Diseño de un modelo de recolección de aceites usados. Coordinación de proyectos de la Universidad. Carabobo, Venezuela.
- Van Ness, Smith. (1997). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. Quinta Edición. México: McGraw Hill.
- Volesky B. (2001). Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century. *Hidrometallurgy*, 59, 206-213.
- Wu, Y., Zhang, L., Gao, C., Ma, J., Ma, X., y Han, R. (2009). Adsorption of copper ions and methylene blue in a single and binary system on wheat straw. *J. Chem. Eng*, 54, 3229-3234.
- Ziegler, K. (2010). Distribución espacial y variación estacional del contenido de los metales pesados: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb en aguas y peces del Lago de Valencia (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

**APÉNDICE A**  
**DATOS EXPERIMENTALES Y DE CAMPO**

En esta sección se presentan los datos experimentales y de campo recopilados durante el desarrollo de la investigación.

## Tabla A.1. Hoja de observación PM1 Vivienda Popular de Los Guayos.



### HOJA DE OBSERVACIÓN FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO



NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO: PM1

UBICACIÓN: Vivienda Popular de Los Guayos

FECHA DEL MUESTREO: 24/06/2016 HORA DEL MUESTREO: 8:30 a.m

#### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y DEL PUNTO DE MUESTREO

TEMPERATURA (°C)	pH	VOLUMEN MUESTRA (l)	PRESERVANTE USADO	APARIENCIA DEL CUERPO DE AGUA	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA	LONGITUD RECORRIDA EN EL PM (m)	ANCHO DEL RÍO EN EL PM (m)	PROFUNDIDAD DEL RÍO EN EL PM (m)	TIEMPO TRANSCURRIDO (s)
26°C	6,8	10	H2SO4	Turbio	Soleado	10	3,7	0,5	55

**OBSERVACIONES:** En el punto de muestreo N°1 se observó acumulación de desechos sólidos en las laderas del río, caracterizados principalmente por la presencia de bolsas con basura, envases plásticos usados, latas de productos alimenticios y de productos químicos, así como neumáticos usados y residuos orgánicos. Se evidenció la presencia de urbanismos en las zonas adyacentes al río, además de la existencia de un estacionamiento para vehículos de carga (gandolas, camiones y transporte de pasajeros).

## Tabla A.2. Hoja de observación PM2 Sector Las Agüitas.



### HOJA DE OBSERVACIÓN FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO



NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO: PM2

UBICACIÓN: Sector Las Agüitas

FECHA DEL MUESTREO: 24/06/2016 HORA DEL MUESTREO: 9:10 a.m

#### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y DEL PUNTO DE MUESTREO

TEMPERATURA (°C)	pH	VOLUMEN MUESTRA (l)	PRESERVANTE USADO	APARIENCIA DEL CUERPO DE AGUA	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA	LONGITUD RECORRIDA EN EL PM (m)	ANCHO DEL RÍO EN EL PM (m)	PROFUNDIDAD DEL RÍO EN EL PM (m)	TIEMPO TRANSCURRIDO (s)
26°C	6,8	10	H2SO4	Turbio y coloración oscura	Soleado	10	4,7	0,8	48

**OBSERVACIONES:** En el punto de muestreo N°2 se observó presencia de desechos sólidos en las adyacencias del río, inclusive en la corriente de agua del mismo, neumáticos usados, así como envases plásticos de orígenes diversos. Se evidenció la existencia de talleres mecánicos en la margen del río, destacando la presencia de tambores destinados al almacenamiento de aceites lubricantes usados, partes de automóviles y trapos impregnados con grasas y combustibles provenientes de actividades mecánicas y de reparación realizadas en los mismos. Adicionalmente, se observaron drenajes (tuberías de desagüe) provenientes de las casas que descargaban los desechos líquidos al cuerpo de agua.

## Tabla A.3. Hoja de observación PM2 Sector El Roble.



### HOJA DE OBSERVACIÓN FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO



NOMBRE DEL PUNTO DE MUESTREO: PM3

UBICACIÓN: Sector El Roble

FECHA DEL MUESTREO: 24/06/2016 HORA DEL MUESTREO: 10:15 a.m

#### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA Y DEL PUNTO DE MUESTREO

TEMPERATURA (°C)	pH	VOLUMEN MUESTRA (l)	PRESERVANTE USADO	APARIENCIA DEL CUERPO DE AGUA	CONDICIÓN ATMOSFÉRICA	LONGITUD RECORRIDA EN EL PM (m)	ANCHO DEL RÍO EN EL PM (m)	PROFUNDIDAD DEL RÍO EN EL PM (m)	TIEMPO TRANSCURRIDO (s)
26°C	6,7	10	H2SO4	Turbio y coloración oscura	Nublado	10	4	0,7	36

**OBSERVACIONES:** En el punto de muestreo N°3 se observó acumulación de desechos sólidos en las riberas del río así como en la corriente de agua del mismo, caracterizados por la presencia de envases plásticos y bolsas con basura. Se evidenció la existencia de talleres de mecánica ligera (vehículos y motos) y de latonería y pintura en la margen del río, además de sembradíos de pequeñas extensiones en las zonas residenciales, pequeñas empresas del sector metalúrgico y trabajadores de la economía informal.

**Tabla A.4. Informe de resultados de análisis químicos sanitarios en agua**

 <p><b>HIDROCENTRO</b> C.A. HIDROLOGICA DEL CENTRO Gerencia de Captación, Tratamiento y Mantenimiento</p>	<p><b>LABORATORIO CARABOBO</b></p> <p><b>AREA DE QUIMICO SANITARIO</b></p>	<p>Formato: Informe N°: Pag: 1/1 Análisis N°:</p>				
<b>INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS SANITARIOS EN AGUA</b>						
<p><b>Nombre de cliente:</b> GERENCIA DE CAPTACIÓN, TRATAMIENTO Y MANTENIMIENTO.</p>						
<p><b>Dirección de cliente:</b> ANTIGUA PLANTA DE TRATAMIENTO ELIAS MORENO URB. TERRAZA DE LOS NISPEROS VALENCIA. EDO. CARABOBO</p>						
<p><b>Lugar y punto de captación:</b> P.T.A.R. LOS GUAYOS.</p>						
<p><b>Fecha de captación de muestras:</b></p>	<p>02/11/2015</p>					
<p><b>Fecha de recepción de muestras:</b></p>	<p>02/11/2015</p>					
<p><b>Fecha de Inicio del análisis:</b></p>	<p>02/11/2015</p>	<p><b>Fecha de Culminación del análisis:</b></p>				
<p><b>Descripción de muestras:</b> Agua residual.</p>						
<b>TABLA DE RESULTADOS <sup>(1)</sup></b>						
Análisis	Método de análisis <sup>(2)</sup> .	Límites máximos o rangos <sup>(3,2)</sup>	(Entrada) Mezcla de Colectores	(Canal del lago + Salida de planta)	Límites máximos o rangos <sup>(3,1)</sup>	Salida C-107
pH	4500-B	6-9	6,79		6-10	6,70
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	5210-D	350	150		60	46
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	5220-B	900	360		350	91
Oxígeno Disuelto (mg/l)	4500-O-C	NR			NR	2,70
Nitrógeno Amoniacal (mg NH <sub>3</sub> -N/L)(4*)	4500-NH <sub>3</sub> -D	N/R	-		N/R	-
Nitrógeno Orgánico (mg NH <sub>3</sub> -N/L)	4500-Norg-C	N/R	-		N/R	-
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg NH <sub>3</sub> -N/L)(4)	4500-Norg	40	29,960		40,00	15,400
Fósforo (mg P/L)	4500-P-C	10	7,417		10	5,208
Aceites y Grasas (mg/L)	5520-B	20	16,0		20	22,0
Detergentes (mg/L)	5540-C	8,0	3,984		2,0	0,410
Sólidos Suspendidos (mg/L)	2540-D	400	54,84		80	11,67
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	2540-D	N/R	551,16		N/R	520,33
Sólidos Totales (mg/L)	2540-B	1600	606,00		N/R	532,00
<p>ND: No Detectable; N/R: No Reglamentado.</p>						
<p>(1)Declaración solo objeto de ensayo: Los resultados presentados se refieren unicamente a las muestras analizadas. Muestras captadas según procedimiento de captación HCLE-PT-07</p>						
<p>(2)Muestra analizada según métodos normalizados para análisis de aguas, edición N° 20, 1998 (APHA- AWWA-WPCF). (2)* Muestra analizada según metodología comercial HACH</p>						
<p>Declaración de Incertidumbre: La incertidumbre estimada para estos resultados se encuentran a la disposición del cliente en las instalaciones del Laboratorio Central Carabobo.</p>						
<p>(3) *Gaceta Oficial N° 5021 de fecha 18/12/95, Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. (3.1): Sección V: Para vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados a redes cloacales. (3.2): Sección III: Para vertidos líquidos que sean o vayan a ser descargados de manera directa e indirecta, ríos, estuarios, lagos y embalses.</p>						
<p><b>Opiniones e interpretaciones:</b></p>						
<p><b>Observaciones:</b> El electrodo selectivo de amonio se encuentran fuera de servicio. Mezcla de colectores fue captada puntual</p>						

**Tabla A.5. Datos de campo para la determinación del caudal del río en el PM1**

	Valor	Unidad
Profundidad	0,5	m
Ancho	3,7	m
Longitud	10	m
Tiempo	55	s

**Tabla A.6. Datos de campo para la determinación del caudal del río en el PM2**

	Valor	Unidad
Profundidad	0,8	m
Ancho	4,7	m
Longitud	10	m
Tiempo	48	s

**Tabla A.7. Datos de campo para la determinación del caudal del río en el PM3**

	Valor	Unidad
Profundidad	0,7	m
Ancho	4	m
Longitud	10	m
Tiempo	36	s

**Tabla A.8. Datos para la determinación de la concentración de aceites y grasas empleando Cáscara de Huevo y Cabello Humano**

		<b>Peso Inicial (g)</b>	<b>Peso Final (g)</b>	
		Blanco	92,2726	92,2790
<b>Sustrato 1: Cáscara de Huevo</b>	M1S1H1	92,7866	92,7920	
	M1S1H2	92,2860	92,2902	
	M1S1H3	93,5373	93,5412	
	M2S1H1	95,6750	95,6802	
	M2S1H2	95,8410	95,8453	
	M2S1H3	95,1075	95,1109	
	M3S1H1	63,4908	63,4975	
	M3S1H2	56,6089	56,6135	
	M3S1H3	60,0499	60,0536	
<b>Sustrato 2: Cabello Humano</b>	M1S2H1	63,4173	63,4222	
	M1S2H2	68,2803	68,2840	
	M1S2H3	81,1433	81,1451	
	M2S2H1	91,3458	91,3505	
	M2S2H2	94,8235	94,8269	
	M2S2H3	92,5455	92,5472	
	M3S2H1	80,1449	80,1488	
	M3S2H2	80,2917	80,2941	
	M3S2H3	80,4385	80,4401	

## **APÉNDICE B**

### **CÁLCULOS TÍPICOS**

En esta sección se presenta de forma ordenada un ejemplo para cada tipo de cálculo realizado a fin de cumplir con los objetivos de la investigación.

## B.1 Determinación del caudal del Río Los Guayos

Los cálculos que se muestran a continuación, se realizaron a fin de determinar el caudal del río en los diferentes puntos de muestreo seleccionados, para lo cual se empleó la Ec.3.

$$Q = A \times V$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$A = \text{Área (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{Velocidad (m/s)}$$

Considerando:

$$A = \text{ancho} \times \text{profundidad}$$

$$V = \frac{\text{longitud}}{\text{tiempo}}$$

Caudal del PM1: Vivienda Popular de Los Guayos:

$$Q_{PM1} = \frac{\text{Longitud} \times \text{Ancho} \times \text{Profundidad}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q_{PM1} = \frac{10 \text{ m} \times 3,7 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}}{55 \text{ s}}$$

$$Q_{PM1} = 0,336 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{PM1} = 336,364 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Caudal del PM2: Sector Las Agüitas:

$$Q_{PM2} = \frac{\text{Longitud} \times \text{Ancho} \times \text{Profundidad}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q_{PM2} = \frac{10 \text{ m} \times 4,7 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}}{48 \text{ s}}$$

$$Q_{PM2} = 0,783 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{PM2} = 783,333 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Caudal del PM3: Sector El Roble:

$$Q_{PM3} = \frac{\text{Longitud} \times \text{Ancho} \times \text{Profundidad}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q_{PM3} = \frac{10 \text{ m} \times 4,0 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}}{36 \text{ s}}$$

$$Q_{PM3} = 0,778 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{PM3} = 777,778 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Caudal promedio:

$$Q_{Prom} = \frac{Q_{PM1} + Q_{PM2} + Q_{PM3}}{3}$$

$$Q_{Prom} = \frac{(336,364 + 783,333 + 777,778) \frac{\text{l}}{\text{s}}}{3}$$

$$Q_{Prom} = 632,492 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

## B.2 Determinación de la concentración de aceites y grasas.

Los cálculos que se muestran a continuación se realizaron a fin de determinar la concentración de aceites y grasas en la muestra de agua del río los guayos denominada “blanco” así como en las muestra sometidas al proceso de adsorción con cada uno de los adsorbentes seleccionados (cáscara de huevo y cabello humano) empleando la Ec.4.

$$[\text{Aceites y grasas}] = \frac{(B - A)}{v}$$

Donde:

$B = \text{Peso final del matraz (mg)}$

$A = \text{Peso inicial del matraz (mg)}$

$v = \text{Volumen (l)}$

Concentración de aceites y grasas en la muestra “blanco”:

$$[\text{Aceites y grasas}_{\text{Blanco}}] = \frac{(92279,00 - 92272,60) \text{ mg}}{0,25 \text{ l}} = 25,60 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Concentración de aceites minerales en la muestra “blanco”:

$$[\text{Aceites y grasas}_{\text{Blanco}}] = \frac{(90275,21 - 90272,60) \text{ mg}}{0,25 \text{ l}} = 10,45 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Concentración de aceites y grasas empleando 2 gramos (M1) de cáscara de huevo (S1) como adsorbente durante 1 hora de contacto (H1) con la solución:

$$[\text{Aceites y grasas}_{\text{M1S1H1}}] = \frac{(92792,00 - 92786,60) \text{ mg}}{0,25 \text{ l}} = 21,60 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Concentración de aceites y grasas empleando 2 gramos (M1) de cabello humano (S2) como adsorbente durante 1 hora de contacto (H1) con la solución:

$$[\text{Aceites y grasas}_{\text{M1S2H1}}] = \frac{(63422,20 - 63417,30) \text{ mg}}{0,25 \text{ l}} = 19,60 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Nota: este procedimiento se aplicó para calcular la concentración de aceites y grasas luego de exponer la muestra de agua del río Los Guayos a diferentes masas de adsorbente (4 y 6 gramos de cáscara de huevo y cabello humano), durante diversos períodos de tiempo (2 y 3 horas).