



# **ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN LOS LABORATORIOS DE AGUAS Y CIENCIAS BÁSICAS DE UNISANGIL- SEDE SAN GIL**

**Diana Patricia Torres Solano**

Director:

PhD. Walter Murillo Arango

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2018

# **ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN LOS LABORATORIOS DE AGUAS Y CIENCIAS BÁSICAS DE UNISANGIL- SEDE SAN GIL**

**Diana Patricia Torres Solano**

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:

**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Director:

PhD. Walter Murillo Arango

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2018

## **Agradecimientos**

A Dios a quien le debo la vida y la posibilidad de alcanzar una meta más en ella.

A mi esposo y mis hijos, que son la razón de mi vida, y a quienes les agradezco por su apoyo y acompañamiento durante todo el proceso de desarrollo de mi maestría.

A UNISANGIL Institución que me ofreció todo su apoyo para desarrollar esta maestría. Y en especial al coordinador de laboratorios de UNISANGIL y a sus auxiliares quienes me apoyaron en el proceso investigativo.

A mi Director de proyecto por su asesoría, constante acompañamiento y aporte al desarrollo del presente estudio.

## Resumen

En este estudio se realizó un análisis de diversas estrategias para el manejo integral de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de aguas y ciencias básicas de Unisangil sede San Gil. Inicialmente se realizó un diagnóstico que permitió establecer los aspectos ambientales generados, al igual que la cantidad y tipo de residuos generados, y el conocimiento que estudiantes, docentes y personal del laboratorio tenían sobre el manejo de este tipo de sustancias, resaltando que el 100% de los encuestados manifestó que en los laboratorios no existían procedimientos para la recolección, almacenamiento y segregación de residuos peligrosos; a pesar de ello se reconoció la existencia de recipientes para el manejo de residuos y que los procesos de segregación se resumen en neutralización y vertimiento directo a la red de alcantarillado y están a cargo del personal administrativo de los laboratorios. Posteriormente se realizó la caracterización de los residuos generados en los laboratorios en función de su peligrosidad, definiendo los posibles tratamientos a desarrollar tanto al interior del laboratorio específicamente procesos de neutralización previo vertimiento al alcantarillado, así como procesos de ensayo de tratamientos alternativos para los residuos de las pruebas de DQO que por los reactivos que permiten el desarrollo de esta prueba contienen trazas de metales como Cromo, plata y Mercurio. Para los ensayos de tratamiento se seleccionó la bioadsorción con cáscara de plátano verde CPV y el uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial por las eficiencias reportadas en otras investigaciones para la remoción de éste tipo de elementos, previo proceso de neutralización de los residuos para garantizar el éxito de los ensayos; como variable principal a analizar se escogió el Cromo VI por la peligrosidad que representa este elemento para la salud y la posibilidad de realizar los ensayos para su determinación en el laboratorio de aguas, posibilidad que en la actualidad no es viable para la plata y el mercurio dada la vocación actual del laboratorio que está orientada al análisis de aguas naturales y tratadas y la falta de validación de los métodos analíticos para su desarrollo.

Las pruebas con el bioadsorbente se realizaron analizando variables como cantidad de CPV, el tamaño de partícula, el pH de los residuos y el tiempo de contacto, con las que se pudo establecer que las variables significativas son el pH y la masa de CPV; donde el rango de pH de 5,24 presentó los mayores porcentajes de remoción de cromo VI el  $75,0163 \pm 1.712\%$ . y con respecto a la cantidad de CPV, cuando se utilizaron 0,2 g se obtuvo un porcentaje promedio de remoción del  $75,642 \pm 1.53\%$ . En el caso de los humedales se diseñaron tres unidades (H1, H2 y H3) con tiempos de retención de 4, 7 y 14 días, reportando los mejores resultados el H3 con el que se obtuvo un promedio de remoción para Cr VI del 67.59% con un coeficiente de variación de 0.63%, de acuerdo con los datos del análisis estadístico realizado; éstos resultados al igual que los reportados con el bioadsorbente dan cumplimiento con los rangos mínimos permisibles por la resolución 0631 de 2015 para el vertimiento de cromo VI.

Finalmente se definió la propuesta para el manejo integral de los residuos peligrosos para los laboratorios de aguas y ciencias básicas de Unisangil, que incluyen el desarrollo de procesos de neutralización previo vertimiento al alcantarillado y que se deben incorporar en las guías de laboratorio para el conocimiento y desarrollo de toda la comunidad que hace uso de los laboratorios y el desarrollo de tratamientos de bioadsorción y uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial para remoción de cromo VI.

**Palabras clave:** Residuos peligrosos, aspectos ambientales, Recuperación, Bioadsorción, Neutralización, humedal.

## Abstract

In this study an analysis of different strategies for the integral management of hazardous waste generated in the water and basic science laboratories of Unisangil San Gil headquarters was carried out. Initially, a diagnosis was made to establish the environmental aspects generated, as well as the amount and type of waste generated, and the knowledge that students, teachers and laboratory staff had about the handling of this type of substances, highlighting that 100% of the respondents said that in the laboratories there were no procedures for the collection, storage and segregation of hazardous waste; In spite of this, the existence of containers for waste management was recognized and the segregation

processes are summarized in neutralization and direct discharge to the sewage network and are the responsibility of the administrative staff of the laboratories. Subsequently, the characterization of the waste generated in the laboratories was carried out according to their hazard, defining the possible treatments to be developed both inside the laboratory specifically neutralization processes prior to discharge to the sewage system, as well as testing processes of alternative treatments for waste from the COD tests that by the reagents that allow the development of this test contain traces of metals such as Chromium, Silver and Mercury. For the treatment trials bioadsorption with CPV green banana peel and the use of artificial subsurface flow wetlands were selected for the efficiencies reported in other investigations for the removal of this type of elements, after the waste neutralization process to guarantee the success of the trials; as the main variable to be analyzed, Chromium VI was chosen because of the danger that this element represents for health and the possibility of carrying out tests for its determination in the water laboratory, a possibility that is currently not feasible for silver and mercury given the current vocation of the laboratory that is oriented to the analysis of natural and treated waters and the lack of validation of the analytical methods for its development.

The tests with the bioadsorbent were carried out analyzing variables such as the CPV quantity, the particle size, the pH of the residues and the contact time, with which it could be established that the significant variables are pH and CPV mass; where the pH range of 5.24 had the highest percentages of removal of chromium VI  $75.0163 \pm 1.712\%$ . and with respect to the amount of CPV, when 0.2 g was used, an average removal percentage of  $75.642 \pm 1.53\%$  was obtained. In the case of wetlands, three units were designed (H1, H2 and H3) with retention times of 4, 7 and 14 days, with the best results being H3, which resulted in an average removal for Cr VI of 67.59% with a coefficient of variation of 0.63%, according to the data of the statistical analysis performed; these results, as well as those reported with the bioadsorbent, comply with the minimum permissible ranges by resolution 0631 of 2015 for the dumping of chromium VI.

Finally, the proposal for the integral management of hazardous waste for the water and basic science laboratories of Unisangil was defined, which includes the development of neutralization processes prior to discharge to the sewage system and that must be incorporated in the laboratory guides for the knowledge and development of the entire

community that makes use of the laboratories and the development of bioadsorption treatments and the use of artificial subsurface flow wetlands for the removal of chromium VI.

**Keywords:** Hazardous waste, environmental aspects, Recovery, Bioadsorption, Neutralization, wetland.

## Contenido

|                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Planteamiento del problema .....</b>                                                                                         | <b>14</b> |
| 1.1 Contexto del problema.....                                                                                                     | 14        |
| 1.2 Principales problemas encontrados .....                                                                                        | 15        |
| 1.3 Descripción de la población afectada por la problemática.....                                                                  | 16        |
| 1.4 Pregunta de investigación.....                                                                                                 | 17        |
| 1.5 Antecedentes.....                                                                                                              | 17        |
| <b>2. Objetivos .....</b>                                                                                                          | <b>24</b> |
| 2.1 Objetivo general .....                                                                                                         | 24        |
| 2.2 Objetivos específicos.....                                                                                                     | 24        |
| <b>3. Justificación.....</b>                                                                                                       | <b>25</b> |
| <b>4. Referente teórico conceptual.....</b>                                                                                        | <b>27</b> |
| 4.1 Residuo o desecho.....                                                                                                         | 27        |
| 4.2 Residuos peligrosos RESPEL .....                                                                                               | 27        |
| 4.3 Clasificación de los residuos peligrosos. ....                                                                                 | 27        |
| 4.4 Normatividad asociada a los residuos peligrosos .....                                                                          | 28        |
| 4.5 Gestión de residuos peligrosos .....                                                                                           | 29        |
| 4.5.2 Factores a considerar para la gestión de residuos peligrosos. ....                                                           | 30        |
| 4.5.3 Plan de gestión integral de residuos peligrosos. ....                                                                        | 30        |
| 4.5.4 Tratamientos utilizados para residuos líquidos generados en laboratorios de<br>análisis químico .....                        | 32        |
| <b>5. Metodología.....</b>                                                                                                         | <b>35</b> |
| 5.1 Diseño metodológico de la investigación. ....                                                                                  | 35        |
| 5.2 Diseño unidad de análisis.....                                                                                                 | 35        |
| 5.3 Procedimiento .....                                                                                                            | 36        |
| <b>6. Resultados y análisis .....</b>                                                                                              | <b>42</b> |
| 6.1 Diagnóstico e identificación de aspectos ambientales en laboratorios analizados .....                                          | 42        |
| 6.1.1 Diagnóstico del manejo actual de los residuos.....                                                                           | 43        |
| 6.1.2 Identificación de aspectos ambientales.....                                                                                  | 46        |
| 6.1.3 Resultados encuestas aplicadas.....                                                                                          | 48        |
| 6.1.4 Relación de prácticas realizadas y residuos generados por laboratorio. ....                                                  | 50        |
| 6.2 Resultados ensayos de prueba para tratamiento para remoción de Cromo VI de los<br>residuos de las pruebas de DQO. ....         | 54        |
| 6.2.1 Bioadsorción .....                                                                                                           | 55        |
| 6.2.2 Humedales artificiales. ....                                                                                                 | 60        |
| 6.3 Propuesta para la gestión integral de residuos peligrosos de los laboratorios de aguas<br>y ciencias básicas de Unisangil..... | 64        |
| <b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                                                                                     | <b>69</b> |
| 7.1 Conclusiones.....                                                                                                              | 69        |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2 Recomendaciones .....                                                                                      | 71 |
| A. Anexo: Encuestas .....                                                                                      | 72 |
| B. Anexo: Identificación de aspectos ambientales .....                                                         | 75 |
| C. Anexo: Relación de reactivos y cantidades utilizadas en los laboratorios de aguas y ciencias básicas.....   | 77 |
| D. Anexo: Datos proceso de neutralización y ensayos de bioadsorción .....                                      | 82 |
| E. ANEXO: Concentración de sulfatos en los residuos a tratar y porcentajes de eficiencia de los humedales..... | 86 |
| F. Anexo: Guía laboratorio de bioadsorción .....                                                               | 88 |
| Bibliografía .....                                                                                             | 95 |

## Lista de tablas

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Legislación Colombiana asociada a los RESPEL.....                              | 28 |
| Tabla 2: Características típicas medios porosos humedales.....                          | 34 |
| Tabla 3: Características de diseño humedales.....                                       | 40 |
| Tabla 4: Número de prácticas de laboratorio realizadas por asignatura 2017-1 .....      | 50 |
| Tabla 5: Información cantidad de residuos sólidos generados entregado para tratamiento  | 52 |
| Tabla 6: Análisis de Varianza para %_remoción - Suma de Cuadrados Tipo III.....         | 56 |
| Tabla 8: Pruebas de Múltiple Rangos para %_remoción por pH .....                        | 59 |
| Tabla 9: Pruebas de Múltiple Rangos para %_remoción por Tiempo.....                     | 60 |
| Tabla 10: Porcentajes de remoción de cromo VI de los humedales .....                    | 61 |
| Tabla 11: Tabla ANOVA para %_remoción por Humedal.....                                  | 61 |
| Tabla 12: Pruebas de Múltiple Rangos para %_remoción por Humedal.....                   | 62 |
| Tabla 13: Concentración de sulfatos en los humedales (Sulfatos Absorbancia 420 nm)..... | 63 |
| Tabla 14: Valores de conductividad para cada humedal .....                              | 63 |
| Tabla 15: Medidas de pH para la salida de los humedales .....                           | 63 |
| Tabla 16: Tratamiento sugerido para los residuos peligrosos generados.....              | 66 |

## Lista de figuras

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Diagrama proceso de neutralización de residuos .....                                        | 39 |
| Figura 2. Laboratorio de ciencias básicas .....                                                       | 42 |
| Figura 3. Laboratorio de Aguas .....                                                                  | 43 |
| Figura 4. Almacenamiento reactivos laboratorio de Aguas y ciencias básicas .....                      | 44 |
| Figura 5. Recipientes para el almacenamiento de los residuos líquidos en los laboratorios<br>.....    | 45 |
| Figura 6. Eco mapa Laboratorio de ciencias básicas .....                                              | 46 |
| Figura 7. Eco mapa Laboratorio de aguas. ....                                                         | 46 |
| Figura 8. Manejo de residuos en los laboratorios .....                                                | 48 |
| Figura 9. Elementos utilizados para el proceso de separación en la fuente de residuos<br>sólidos..... | 53 |
| Figura 10. Curva patrón cromo VI .....                                                                | 55 |
| Figura 11. Porcentaje de Remoción promedio en relación a la masa de CPV .....                         | 56 |
| Figura 12. Porcentaje de Remoción promedio en relación pH.....                                        | 57 |
| Figura 13. Porcentaje de Remoción promedio en con el tiempo de contacto .....                         | 58 |

## Introducción

Las diversas actividades en los laboratorios de química implican el uso de sustancias que conllevan a la generación de residuos de peligrosidad para la salud humana y el medio ambiente; la generación de residuos peligrosos en los laboratorios universitarios se realiza a menor escala comparada con el sector industrial, sin embargo, no por esto puede considerarse su impacto como despreciable, tal como se pensó durante años. Antes de los años noventa no se realizaba gestión de los residuos en los ámbitos académicos universitarios, por lo cual los residuos químicos de los laboratorios se desechaban por los sumideros o cloacas, igual que los residuos domiciliarios comunes, considerándose que los volúmenes con los que se trabajaba en los laboratorios no eran significativos como para que contara con un sistema de disposición final específico. Paradójicamente recientemente, en la década de los noventa, los laboratorios de docencia e investigación de las instituciones universitarias son catalogados como uno de los mayores generadores de residuos químicos (Mejía & Ardila, 2012), y aunque el volumen producido por los mismos es mínimo; se ha considerado como un problema de gran magnitud debido a que por su concentración y naturaleza química son altamente peligrosos tanto para la salud como para el medio ambiente (Mera, Andrade, & Ortiz, 2007).

Los laboratorios académicos de Unisangil sede San Gil se encuentran ubicados en el km2 vía San Gil – Charalá. En el laboratorio de ciencias básicas se desarrollan todas las prácticas de biología, microbiología y química de los seis programas de la facultad de ciencias naturales e ingeniería. El Laboratorio de Aguas, está adscrito al programa de Ingeniería Ambiental, se creó para apoyar procesos académicos, de investigación y extensión de la Institución y para ofrecer servicios al sector externo; actualmente cuenta con autorización por

parte del ministerio de salud y de la protección social para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos, de conformidad con el Artículo 27 del Decreto 1575 de 2007.

La generación de residuos en los laboratorios de Unisangil, como la de muchas instituciones educativas es variable y de baja cantidad, sumado a esto existe un manejo inadecuado, lo que lo convierte en un aspecto potencial para el deterioro ambiental del suelo, agua, aire, flora, fauna, paisaje y la salud de la comunidad universitaria y la zona de influencia primaria y secundaria de la misma. Tiendo en cuenta que los residuos líquidos se vierten directamente en el alcantarillado, que para el caso específico del laboratorio de ciencias básicas se conecta directamente al alcantarillado municipal que recoge las aguas de los barrios aledaños y finalmente se vierten al Río Fonce, en un vertimiento denominado carrera 12 – Comfenalco. Y en el caso del laboratorio de aguas van a parar a una planta de tratamiento de aguas que tiene la sede, cuyo tratamiento principal es de tipo biológico, que a la fecha se encuentra en periodo de arranque, y que finalmente su efluente llega al Río Fonce.

Por tanto, se hace necesario hacer una intervención en el proceso de gestión de los residuos peligrosos generados que permita identificar un conjunto de acciones que desde la dinámica universitaria puedan ser usadas para disminuir la carga contaminante, y el impacto de dichos residuos. En este sentido se estableció un conjunto de estrategias para el manejo integral de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de aguas y ciencias básicas de Unisangil; se realizó el diagnóstico y evaluación de los posibles impactos generados, y se diseñaron ensayos de prueba para el tratamiento de los residuos, para finalmente formular un plan de gestión integral de residuos peligrosos mediante la definición de acciones que permitan hacer un manejo integral y disposición final de los residuos generados en los laboratorios.

# **1. Planteamiento del problema**

## **1.1 Contexto del problema.**

En la actualidad existe un marcado interés por parte de los diferentes sectores económicos por el cuidado del medio ambiente, por eso se está en la constante búsqueda de que sus actividades se realicen en armonía con el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental ya sea por consumo de recursos o por la generación de los mismos (OIT, 2014).

En el país la información de generación de RESPEL tanto a nivel público como privado se encuentra dispersa o no está sistematizada (Ministerio de Ambiente, 2005); es decir no es posible conocer datos de la generación de residuos en todas las regiones del país. Se encuentran datos para algunas ciudades como Bogotá, en la que por ejemplo según el *Diagnóstico de la situación actual de los residuos peligrosos generados en el distrito capital* 2010, la ciudad generó en el 2008 entre 115.687 y 149.570 toneladas de RESPEL, de ellas 45.739 toneladas corresponde a las generadas por el sector servicios dentro de los que se encuentran los subsectores Educación, transporte, salud, servicios públicos y hoteles; los cuales generan en su gran mayoría residuos de solventes, metales pesados y envases o contenedores que contienen este tipo de residuos, elementos que forman parte de los utilizados en el desarrollo de prácticas de laboratorio (Secretaría distrital de ambiente, 2010). Del mismo modo en el informe nacional de generación y manejo de residuos o desechos peligrosos Colombia 2014 -2015 el IDEAM presenta la información de generación de RESPEL de acuerdo con la información generada por medio del Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, registro que es manejado por las Corporaciones autónomas regionales y que para el caso de Santander no genera reportes relacionados con el sector servicios, donde se encuentra el subsector educación; lo que permite establecer que para el área de influencia del presente proyecto no se encuentra con este registro de información. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; IDEAM, 2016)

En Colombia, la mayoría de laboratorios de ensayo y de prácticas de enseñanza media y superior no identifican y cuantifican sus RESPEL (Residuos Peligrosos), no revisan las posibilidades para la valoración y reutilización de los mismos y no cuentan con sistemas de tratamiento para sus desechos (Ministerio de Ambiente, 2005). Como ejemplos de proceso de gestión se encuentran la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Industrial de Santander y la Universidad del Cauca donde se han implementado y desarrollado metodologías para la separación de residuos y posterior envío a otras empresas para su respectivo tratamiento (Riascos & Tupaz, 2015). Los anteriores son solo ejemplos pues pese a que en el país no existe una reglamentación específica en este sentido, varias instituciones de educación superior han venido creando sus propios protocolos y planes que les permitan realizar una correcta segregación, recolección y manejo de los residuos peligrosos, como parte de la responsabilidad social universitaria que contempla la educación ambiental, como es el caso de la Universidad Manuela Beltrán, sede Bogotá que tiene implementado un sistema de gestión para los residuos químicos peligrosos producto de la práctica docente e investigativa desarrollada en sus laboratorios. (Moreno & Orjuela, 2017)

## **1.2 Principales problemas encontrados**

La Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS como responsable del control y vigilancia en materia de residuos peligrosos, tiene la competencia de realizar el registro, seguimiento y verificación de la información de los generadores de residuos peligrosos en la plataforma del IDEAM, al igual que otorgar la licencia ambiental a los generadores con instalaciones para el manejo, tratamiento y disposición final. De acuerdo con el informe de gestión de la corporación 2015, tienen registrados dentro de su jurisdicción 260 generadores, de los cuales solo 35 han sido verificados por la entidad. Pero de ese total de registros ninguno corresponde a laboratorios universitarios, de los cuáles la autoridad ambiental no tiene cuantificado ni identificado la cantidad de RESPEL que generan (CAS, 2015).

En Unisangil sede San Gil, los laboratorios de Aguas y ciencias, actualmente no cuentan con una reglamentación institucional que establezca las acciones necesarias para el manejo integral de los residuos químicos generados, ni con elementos de gestión que permitan demostrar que sus actividades se realizan bajo parámetros de gestión ambiental enmarcada

dentro del contexto del desarrollo sostenible. No se tiene una clara definición de la cantidad y el tipo de residuos generados como tampoco del impacto que estos están generando. En cuanto a la prevención y el manejo de los residuos sólidos y líquidos peligrosos, se han identificado las siguientes problemáticas asociadas:

- Falta de procedimientos documentados sobre el manejo de reactivos y residuos en el laboratorio y un manual de seguridad documentado para los laboratorios.
- No existe una política para la gestión ambiental en los laboratorios, ni se han establecido los lineamientos y aplicación de buenas prácticas para el laboratorio.
- No se ha realizado una evaluación de los posibles impactos ambientales que se están generando con los actuales modelos de manejo y funcionamiento de los laboratorios.
- No se tiene estimación de la cantidad y tipos de residuos generados cuantificados en los laboratorios. En el laboratorio de aguas se realizan procesos de neutralización y en los laboratorios de ciencias básicas no se realiza ningún tipo de recolección ni clasificación. En ambos casos los residuos se vierten directamente en el alcantarillado; los del laboratorio de ciencias básicas van directamente al alcantarillado municipal y los del laboratorio de aguas van al sistema de alcantarillado que lleva las aguas residuales a la planta de tratamiento de aguas residuales de la sede La Ceiba de la institución, que cuenta con proceso anaeróbico para tratamiento complementado con un humedal artificial, se desconoce el grado de afectación que se está haciendo sobre este sistema de tratamiento.

### **1.3 Descripción de la población afectada por la problemática**

UNISANGIL sede San Gil se encuentra ubicada en el km2 vía San Gil – Charal. En el laboratorio de ciencias básicas se desarrollan todas las prácticas de biología, microbiología y química de los seis programas de la facultad de ciencias naturales e ingeniería. El Laboratorio de Aguas, está adscrito al programa de Ingeniería Ambiental, se creó para apoyar procesos académicos, de investigación y extensión de la Institución y para ofrecer servicios al sector externo; actualmente cuenta con autorización por parte del ministerio de salud y de la protección social para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos, de conformidad con el Artículo 27 del Decreto 1575 de 2007.

La generación de residuos en los laboratorios de Unisangil, como la de muchas instituciones educativas es variable y de baja cantidad, sumado a esto existe un manejo inadecuado, de una gran variedad de reactivos que se utilizan en diversas prácticas académicas de asignaturas como biología, microbiología, química general, química orgánica, análisis químico y además como parte de servicios de caracterización de aguas naturales y tratadas; lo que lo convierte en un aspecto potencial para el deterioro ambiental del suelo, agua, aire, flora, fauna, paisaje y la salud de la comunidad universitaria y la zona de influencia primaria y secundaria de la misma, por el vertimiento directo de dichas sustancias sin un tratamiento previo.

Por tanto además de generar e implementar políticas y acciones para el manejo de los RESPEL como cumplimiento al decreto 4741 de 2005, es necesario generar cambios de tipo cultural tanto en el desarrollo de las actividades académicas, pues son los estudiantes los que se están formando con la idea de una alta capacidad de autodepuración por parte del Río Fonce, y que lo que se vierte finalmente en los desagües no generan alto impacto pues se dan procesos de dilución; cuando se debe enfatizar en una formación de sujetos críticos, responsables desde su proceso de formación. Así mismo el personal docente y administrativo debe tener claridad frente a los impactos que se están generando, su responsabilidad en el proceso y la necesidad del desarrollo de planes de gestión eficientes en el que participen todos los grupos de interés.

## **1.4 Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las estrategias que se deben implementar para el manejo integral de los residuos peligrosos de los laboratorios de aguas y ciencias básicas de la comunidad universitaria de UNISANGIL- San Gil?

## **1.5 Antecedentes**

A nivel internacional en torno a la problemática de sustancias químicas, se ha emprendido una estrategia, que ha ido evolucionando a partir de la Declaración de Río, del Programa 21

y del Plan de Aplicación de Johannesburgo. Dichas estrategias buscan mejorar las medidas de reducción de los riesgos para prevenir los efectos adversos de los productos químicos en la salud de la población. (Ministerio de Ambiente, 2005)

Por esta razón para los gobiernos es importante impulsar medidas para apoyar la reducción de los riesgos; fortalecer el conocimiento e información de las sustancias químicas peligrosas; fortalecer las instituciones, la legislación y las políticas respecto al manejo y uso de dichas sustancias; creación de capacidad en los países para evaluar el riesgo que ocasionan dichas sustancias, así como para evaluar los impactos sobre la salud y el ambiente; tomar medidas contra el tráfico internacional ilícito. (Ministerio de Ambiente, 2005). En consecuencia, a nivel nacional se generó la política nacional para la gestión integral de residuos peligrosos y a nivel mundial, con el fin de establecer una estrategia con respecto a las sustancias químicas, la Conferencia Internacional sobre Gestión de los Productos Químicos, promovió la adopción del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM).

Específicamente en el área de laboratorios universitarios a nivel internacional en Estados Unidos y Europa desde los años 90 se comenzó con la implementación de sistemas de gestión de los residuos originados en las universidades, a raíz de las regulaciones regionales sobre residuos que surgieron en esos años. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (USEPA) elaboró una norma (Standards Applicable to Generators of hazardous Waste Subpart K Standards Applicable to Academia Laboratories), que sirve como guía de gestión de residuos peligrosos en los laboratorios universitarios (Bertine & Cicerone, 2009).

En España se cuenta con normas específicas para el tratamiento de residuos peligrosos en laboratorios universitarios y de investigación dadas por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Estas normativas tienen en común ciertas pautas a seguir para la elaboración de una buena gestión de residuos tales como: caracterización y segregación de residuos peligrosos, tipo de recipientes de almacenaje, etiquetado adecuado, entrenamiento e instrucción a alumnos y personal involucrado, minimización, entre otros. En las

universidades latinoamericanas este tema también se ha estudiado; y en busca de estrategias de sustentabilidad, en universidades de Brasil, Cuba, Chile, Argentina, México, Uruguay y Venezuela vienen desarrollando poco a poco sus programas propios de gestión de residuos de los laboratorios y se encuentran apoyados en una legislación interna en este sentido. Ejemplo de ellos se tiene la el Laboratorio de Fisicoquímica (LFQ) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo (UC), en Venezuela, el estudio diagnóstico realizado sobre la gestión de seguridad y residuos en diferentes laboratorios químicos docentes y de investigación en la Universidad Central de las Villas (UCLV), Cuba; el Modelo General de Gestión y Modelos particulares para Residuos Inflamables e Infecciosos, dentro de la comunidad universitaria de Río Cuarto, Argentina; entre otros. (Riascos & Tupaz, 2015).

En Colombia la regulación frente al manejo de residuos peligrosos inicia con la ley 55 de 1993 que corresponde a la adopción del convenio internacional número 170 sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo adoptados en la 77 reunión de la conferencia general de la OIT. En esta norma se define que es obligatorio transportar, almacenar y manipular las sustancias con pleno conocimiento de los riesgos, precauciones y que se conozcan y utilicen los elementos de protección personal en ambientes contaminados. De este modo todas las empresas y entidades, deben contar con la organización y desarrollo de sistemas de prevención y protección de los trabajadores que, en cualquier forma, utilicen o manipulen productos químicos durante su trabajo. Con el decreto-Ley 1295 de 1994, expedido por el entonces Ministerio de Trabajo y Seguridad Social se determina la Organización y administración del sistema General de Riesgos Profesionales, mencionando en el artículo 64 las características de las empresas de alto riesgo entre las cuales se incluyen las que manejan, procesan o comercializan sustancias químicas altamente tóxicas, cancerígenas, mutágenas, teratógenos, explosivos y materiales radiactivos, como es el caso de los laboratorios de química. Este artículo fue modificado posteriormente por el Decreto 2150 de 1995 (que trata sobre la supresión de trámites en la administración pública), limitando el control especial del Estado solo a las empresas que utilicen sustancias químicas peligrosas que sean pertenecientes a las clases IV y V de la clasificación de actividades económicas del Decreto 1295. Posterior a ello aparece la Ley 253 de 1996, por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. La ley 430 de

1998 dicta las normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos. Y el Decreto 1609/2002 estipula las condiciones para el envasado, etiquetado y demás ítems concernientes a la presentación de residuos peligrosos. (IDEAM, 2016) En el 2005 se publica la Política nacional para la gestión integral de residuos peligrosos y con el Decreto 4741 de 2005 emitido por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral; este decreto tiene como objetivo la prevención de la generación y la regulación para el manejo de los mismos. Además, realiza la definición de residuo peligroso como aquel que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Esta definición es aplicable al tipo de residuos que se genera en los laboratorios universitarios donde se manejan sustancias químicas y se realizan diversos tipos de análisis que conllevan a la generación de residuos que, en la mayoría de los casos son peligrosos para la salud y el ambiente; aunque en pequeños volúmenes. En este mismo decreto se establece que se reglamentaría el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, proceso que llevó a cabo a través de la Resolución 1362 del 2 de agosto de 2007 donde se reglamenta el mencionado Registro. Toda la legislación descrita anteriormente se unificó en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 de 2015. (IDEAM, 2016)

A pesar de lo anterior en el país la información disponible con respecto al manejo de residuos peligrosos tanto a nivel público como privado, se encuentra dispersa, no está sistematizada y no se tiene un inventario de información a nivel nacional, mucho menos en el caso de los residuos de laboratorios de química; esto dificulta el establecimiento de un diagnóstico preciso que abarque todos los temas relacionados con la gestión y manejo. (Ministerio de Ambiente, Política Ambiental para la gestión integral de residuos o desechos peligrosos, 2005).

Es posible encontrar información a nivel de proyectos y documentos institucionales sobre ejemplos de instituciones que realizan un proceso de gestión como la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad del Cauca donde se han implementado y desarrollado metodologías para la separación de residuos, neutralización de

la fracción de ellos que es posible y posterior envío a otras empresas para su respectivo tratamiento.

En la Universidad Industrial de Santander se definió el protocolo de rutas de transporte y disposición final de residuos químicos peligrosos, generados en los laboratorios de la escuela de Química, las cuales se basaron principalmente en una correcta separación en la fuente, transporte, almacenamiento y entrega para disposición final (García & Mendoza, 2007). De igual forma en otras universidades como la Universidad Nacional, Universidad de Santander, la Universidad de Caldas, la Universidad de la Salle, la Universidad Manuela Beltrán entre otras han definido planes de gestión integral de residuos, que se encuentran en sus portales institucionales y están alineados dentro de los Sistemas de Gestión Ambiental, definidos por las instituciones.

Jaramillo (2014) desarrolla una propuesta ambiental para la evaluación y manejo integral de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de docencia de la Universidad de Gran Colombia seccional Armenia, que involucra la implementación de prácticas desde la química verde que permiten la reducción de desechos a partir de la desactivación de los mismos y el aprovechamiento dentro del laboratorio.

Espinosa & Mera (2015) realizaron una investigación sobre alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño; en donde se trabajaron dos alternativas de tratamiento, la fotocátalisis heterogénea empleando  $\text{TiO}_2$  como catalizador y la bioadsorción utilizando cáscara de plátano verde como bioadsorbente; en la que se logró obtener una remoción del  $96,07 \pm 0,65 \%$  para fotocátalisis y del  $99,94\% \pm 0,01$  para el proceso de bioadsorción.

Los procesos de bioadsorción también han sido empleados para la remoción de metales pesados en aguas residuales industriales ejemplo de ello está la investigación de Castro, B. (2015) en las que se empleó cáscara de banano deshidratada para la remoción de metales como el plomo y cromo en aguas residuales industriales y se alcanzó un porcentaje máximo de bioadsorción de  $80 \% \pm 1,75$  para el plomo (II) y  $51,2 \% \pm 5,48$  para el cromo (VI). De igual modo en los antecedentes presentados por el trabajo de Espinosa & Mera (2015), se destaca la inclusión de antecedentes como el trabajo desarrollado por Sarin & Pant (2006), en el que

utilizaron bagazo de caña, cáscara de arroz carbonizado, carbón activado y corteza de eucalipto para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales a escala de laboratorio; definiendo que la capacidad de adsorción de Cr(VI) es de 45 mg/g de adsorbente en una muestra que contiene 250 mg de Cr(VI) por litro. Y otros trabajos empleando diversos materiales naturales como la cáscara de naranja, papa, arroz, semillas, entre otros analizando variables como pH, tamaño de partícula, tiempo de contacto y cantidad de material bioadsorbente que son los que determinan la eficiencia de los tratamientos. De igual modo se puede definir de acuerdo con lo planteado por autores como Mahajan & Kaur (2008), Miretzky Sud y Fernández (2010) y Abdolai *et al.* (2014), que los subproductos de la agricultura, principalmente los que contienen celulosa y lignina, son potenciales adsorbentes de cromo en aguas residuales y adicional a ello es un tratamiento de bajo costo (Espinosa & Mera, 2015).

Así como se han desarrollado trabajos para la definición de alternativas para el manejo integral de residuos peligrosos de los laboratorios; también se han desarrollado trabajos para la definición de alternativas de manejo para los residuales de algunas pruebas de análisis en específico como por ejemplo la de DQO cuyos residuos contienen iones de cromo, plata y mercurio, cuyo tratamiento ha sido catalogado como complejo y costoso; Mañunga, Gutiérrez, Rodríguez & Villarreal (2010), trabajaron con una metodología de reducción-precipitación para minimizar las características peligrosas de este residuo líquido logrando que el Cr VI fuese reducido a Cr III adicionando glucosa, el Cr III se precipitó como hidróxido metálico con NaOH. Adicionando 2 g/L de NaCl los iones de Ag se precipitaron hasta valores inferiores a 0,2 mg/L. El Hg fue reducido hasta concentraciones inferiores a 0,005 mg/L usando 10 g/L de FeS.

Otro tratamiento utilizado para la remoción de metales pesados es el uso de humedales artificiales; por ejemplo, en Canadá se usaron dos humedales para el tratamiento de aguas ácidas en la mina de cobre de Bell Copper, posterior al incremento de pH, se logró reducción del 40% de cobre para un tiempo de retención de 12 días y 80% de cobre con un tiempo de retención de 23 días. Otra experiencia con minería se dio en los años noventa en Australia en la mina de oro Tom's Gully donde se logró reducir en más del 90% las concentraciones de Arsénico, Hierro, Cobalto, Níquel, Cobre, Cinc, Plomo y Uranio, y cerca del 75% del

Manganeso. (Espinoza, 2014). En Cuba se realizaron pruebas con un humedal de flujo subsuperficial a escala de laboratorio para la evaluación de la remoción de cromo de aguas residuales industriales, obteniéndose una eficiencia entre el 88 % y el 92% para tiempos de retención hidráulica de 10 horas. (Vera & González, 2015). Adicional al tiempo de retención hidráulica, otra variable a tener en cuenta para el uso de humedales es que la planta a utilizar sea resistente a la presencia de metales pesados; como ejemplo de ello el pasto vetiver que es altamente tolerante a niveles muy altos de metales pesados como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn (Truong & Cruz, 2010)

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Implementar estrategias para el manejo integral de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de aguas y ciencias básicas de Unisangil- San Gil

### **2.2 Objetivos específicos.**

- Identificar aspectos ambientales en los laboratorios de ciencias básicas y aguas asociados, que permitan un diagnóstico para el manejo de residuos químicos generados
- Realizar ensayos de prueba para el tratamiento alternativo de algunos de los residuos líquidos peligrosos generados frente a parámetros representativos, teniendo en cuenta las actuales condiciones del laboratorio de aguas.
- Formular una propuesta para la gestión integral de residuos peligrosos mediante la definición de estrategias que permitan hacer un manejo integral y disposición final de los residuos peligrosos generados.

### 3. Justificación

Los residuos que se generan en los laboratorios en términos generales presentan características de gran variedad, alta peligrosidad y escaso volumen. Por tanto, la adecuada gestión de los mismos no es solo una necesidad en el sentido de mejorar las condiciones laborales o de imagen institucional, sino que constituye una pieza fundamental a la hora de aplicar criterios de calidad y los requerimientos de gestión ambiental de laboratorios.

Los laboratorios de Aguas y de ciencias básicas de la Fundación Universitaria de San Gil, actualmente no cuentan con una reglamentación institucional que establezca las acciones necesarias para el manejo integral de los residuos químicos generados, ni con elementos de gestión que permitan demostrar que sus actividades se realizan bajo parámetros de gestión ambiental, como parte de su responsabilidad social como entidad de educación enmarcada dentro del contexto del desarrollo sostenible. Por tanto, es prioritario definir un proceso de gestión dentro del laboratorio que permita la segregación y disposición adecuada de los residuos químicos producidos, de una forma ambientalmente más amigable, y promover la conciencia ambiental sobre la importancia del cuidado del entorno y, además, cumplir con la normatividad colombiana para vertimientos.

Para ello es necesario tener claridad que en términos de gestión de residuos hablamos de dos tipos de gestión, la gestión interna que es aquella relacionada con la manipulación, clasificación, envasado, etiquetado, recogida, traslado y almacenamiento en el laboratorio y la gestión externa que son todas las operaciones de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos una vez que han sido retirados del laboratorio. Además, debe considerarse que la exposición de personas a sustancias peligrosas en los laboratorios puede generar enfermedades, accidentes e incluso la muerte. Por tanto, es necesario realizar

un análisis y evaluación adecuados, que permitan definir acciones para evitar este tipo de riesgos.

Todos los componentes anteriormente descritos son primordiales a la hora de establecer un adecuada gestión de residuos peligrosos en un laboratorio de análisis químico, más aún cuando se trata de formar personas y profesionales en diversas área, pero principalmente como es el caso de UNISANGIL, la existencia del programa de Ingeniería Ambiental, que se encamina a generar cambios estructurales en la sociedad que conlleven a promover el desarrollo sostenible y a fortalecer la capacidad de las poblaciones para enfrentar los desafíos ambientales, por esta razón es un programa que debe ir acompañado de un compromiso ambiental que se refleje en las actividades que desarrolla.

## **4. Referente teórico conceptual**

### **4.1 Residuo o desecho**

Según el decreto 4741 de 2005, se considera residuo o desecho cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentre en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula. A partir de dicho decreto se mantiene una igualdad de términos entre residuo y desecho con el fin de facilitar su gestión y manejo.

### **4.2 Residuos peligrosos RESPEL**

Residuo peligroso son todos los residuos que debido a su peligrosidad intrínseca (tóxico, corrosivo, E -reactivo, inflamable, explosivo, infeccioso, eco tóxico), pueden causar daños a la salud o al ambiente. (Martínez, 2005)

En el Decreto 4741 de 2005, se considera como RESPEL a envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con residuos peligrosos.

### **4.3 Clasificación de los residuos peligrosos.**

Los RESPEL pueden ser clasificados utilizando diferentes métodos o criterios. No existe una única forma universal para clasificarlos. Cada país, basado en su nivel de desarrollo en la temática y en sus políticas ambientales, adopta su propio sistema de clasificación. Entre los principales listados internacionales de RESPEL se encuentran:

- Catálogo Europeo de residuos
- Listas de RESPEL de la Agencia de Protección del Medio Ambiente EPA
- Listas del Convenio de Basilea

De acuerdo con el decreto 4741 de 2005, para la definición de un sistema de segregación, almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los RESPEL, es necesario tener en cuenta características físicas como composición gravimétrica, peso específico, compresibilidad y producción per cápita; características químicas como poder calorífico, potencial de hidrógeno, composición química y características Biológicas. En este mismo decreto en los Anexos I y II se encuentra la lista de residuos o desechos peligrosos por procesos o actividades y la lista de residuos o desechos peligrosos por corrientes de residuos.

#### 4.4 Normatividad asociada a los residuos peligrosos

En Colombia la normatividad asociada al manejo de residuos peligrosos para las Universidades no es específica. Por tanto, las instituciones educativas deben regirse a la normativa existente para el manejo de este tipo de sustancias; a continuación, se presenta un resumen con las principales normas aplicables.

**Tabla 1: Legislación Colombiana asociada a los RESPEL**

| <b>Norma</b>    | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley 55 de 1993  | Aprueba el Convenio 170, y la recomendación 177 de la OIT sobre la seguridad en la utilización de los productos químicos en el trabajo. El Convenio exige clasificar las sustancias según sus peligros, etiquetar y marcar adecuadamente los productos. |
| Ley 253 de 1996 | Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989                                                        |
| Ley 430 de 1998 | Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones: obligaciones del productor, vigilancia y control, sanciones.                                                      |
| Ley 491 de 1999 | Reforma el código penal, modificando el Art 197 imponiendo sanciones para el que ilícitamente importe, introduzca, exporte, fabrique, adquiera, tenga en su poder, suministre, transporte o elimine sustancia, objeto, desecho o residuo peligroso.     |

| <b>Norma</b>            | <b>Contenido</b>                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 321 de 1999     | Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas.                                                                                                                                                                       |
| Ley 632 de 2000         | Por la cual se modifican parcialmente las Leyes 142, 143 de 1994, 223 de 1995 y 286 de 1996, sobre prestación de servicio público para residuos peligrosos y patógenos.                                                                                                                        |
| Decreto 1609 de 2002    | Normas para el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.                                                                                                                                                                                                 |
| Decreto 4741 de 2005    | Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral", Registro de generadores, Plan de gestión integral de residuos peligrosos, Plan de gestión de devolución pos-consumo. Plan de contingencias. |
| Resolución 1406 de 2006 | Desarrolla parcialmente el Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005, en materia de residuos o desechos peligrosos.                                                                                                                                                                             |
| Resolución 1362 de 2007 | Por la cual se establece los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27º y 28º del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.                                                                     |
| Ley 1252 de 2008        | Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.                                                                                                                                                |

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

## 4.5 Gestión de residuos peligrosos

La gestión de RESPEL debe tener un enfoque integral, esto permite tener un panorama global y minimizar errores en la estrategia a implementar. Facilita la selección de alternativas de menor impacto y desde el punto de vista de la viabilidad económica permite realizar el análisis teniendo en cuenta los costos del conjunto del sistema. Por ello es necesario incluir dentro de esta conceptualización de gestión, la concepción de ciclo de vida de productos y residuos, lo permitirá abordar en forma sostenible y eficaz un sistema de gestión de residuos. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2005)

A nivel internacional se inician a generar normas, políticas y mecanismos para la gestión de residuos en la década de 1970 y 1980. En Colombia el Consejo Nacional Ambiental aprobó el 16 de diciembre de 2005 la Política Ambiental para la Gestión integral de los residuos peligrosos. Su formulación facilita la planificación estratégica de acciones a corto y mediano plazo, con un horizonte de gestión hasta el año 2018, establece el marco conceptual para el desarrollo de las normas específicas y orienta a los actores, tanto públicos como privados en

el cumplimiento de los objetivos propuestos. Los principales principios y criterios rectores que integran la política son: responsabilidad integral del generador en todo el ciclo de vida, prevención, precaución, participación pública (acceso de la sociedad a la información), gradualidad, producción y consumo sostenible.

Dentro de este documento se establece la jerarquización para las estrategias que se deben establecer dentro del marco de la gestión integral de residuos peligrosos, estrategias que involucran para su desarrollo la implementación de la producción limpia en cualquier actividad: Prevención, Minimización, Aprovechamiento, Tratamiento, Disposición final.

#### **4.5.2 Factores a considerar para la gestión de residuos peligrosos.**

En los laboratorios los residuos pueden tener características diferentes y producirse en cantidades variables. Por tanto, a la hora de iniciar proceso de gestión se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Volumen generado
- Periodicidad de generación
- Facilidad de neutralización
- Posibilidad de recuperación, reciclado o reutilización
- Costos del tratamiento (MERA, Andrade, & Ortiz, 2007)

#### **4.5.3 Plan de gestión integral de residuos peligrosos.**

Documento que contiene el conjunto de acciones definidas por parte del generador, tendientes a la gestión integral de los residuos peligrosos y al establecimiento de las estrategias orientadas a la prevención de la generación y reducción de la cantidad y peligrosidad de los residuos. Debe contener los procedimientos, acciones o actividades tendientes a la prevención y minimización de los RESPEL; al manejo ambientalmente seguro de los residuos tanto interno como externo, que incluye una adecuada identificación, clasificación, almacenamiento y disposición final; y un componente de ejecución, seguimiento

y evaluación del plan que permita verificar los avances frente al cumplimiento del mismo. (Ministerio De Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia, 2005)

Las estrategias o procedimientos para la eliminación de residuos que forman parte del plan de gestión integral de residuos peligrosos, son variados y su aplicación depende de factores como la peligrosidad, volumen de generación y composición de los mismos. En términos generales los procedimientos de tratamiento de residuos se pueden reunir en los siguientes.

- Recuperación. Realizar algún tratamiento que permita la recuperación de uno o algunos elementos que componen el residuo.
- Vertido. Que puede realizarse con aquellos residuos que puedan neutralizarse o desecharse directamente sin un tratamiento específico.
- Incineración. Proceso común para residuos de tipo biológico y orgánico.
- Reutilización o reciclado. Que consiste en utilizar de nuevo los residuos. (Berrio, Beltrán, & Agudelo, 2012)

El tipo de tratamiento depende básicamente de la composición y peligrosidad del residuo. Los tratamientos se pueden reunir en dos tipos los de orden fisicoquímico como la encapsulación de mercurio, la adsorción con carbón activado, la fotocatalisis, la precipitación química y los procesos de oxidación avanzados y los biológicos. Estas técnicas de remoción convencionales de metales en solución, representan un alto costo y en presencia de bajas concentraciones del contaminante son poco efectivas. Es por ello que técnicas de origen biológico como la bioadsorción, la biorremediación, o la fitorremediación se convierten en un procedimiento alternativo, competitivo y de bajo costo. (Egg, Salvarezza, Azario, Fernández, & García, 2012).

#### 4.5.4 Tratamientos utilizados para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico

Para la correcta selección del tratamiento que se debe implementar depende de la correcta clasificación de los residuos en los diferentes grupos. En términos generales los tratamientos se pueden clasificar en:

- **Tratamientos Biológicos**

Basados en la eliminación de agentes contaminantes por acción de microorganismos o biomasa. Estos tratamientos se dar como producto de procesos aeróbicos, anaeróbicos y anóxicos. Se utilizan principalmente para la descomposición de sustancias biodegradables. (Salas, Quesada, & Harada, 2009)

- **Tratamientos Físico-químicos**

Los tratamientos físicos son utilizados para recuperar algunos elementos de los residuos que pueden ser reutilizados; los químicos buscan la transformación de los compuestos que forman parte de los desechos con el fin de obtener sustancias menos peligrosas. (Salas, Quesada, & Harada, 2009) Dentro de ellos encontramos:

- ✓ **Neutralización.** Reducción del nivel de acidez o basicidad de una sustancia previo su vertimiento.
- ✓ **Proceso ferrita.** El desarrollo de este proceso permite la remoción de metales pesados
- ✓ **Encapsulación de Mercurio.** Consiste en la inmovilización física de estos residuos para evitar su contacto con agentes lixiviantes como el agua.
- ✓ **Adsorción con Carbón Activado.** Son fenómenos de superficie, en donde una mezcla de fluidos es atraída a la superficie del sólido adsorbente creando vínculos a través de interacciones físicas o químicas.

- ✓ **Procesos de Oxidación Avanzada.** En los que se emplean sustancias como el ozono que permiten la degradación de compuestos refractarios. (Berrio, Beltran, & Agudelo, 2012)

- **Tratamiento Térmico**

Consiste en el desarrollo de un proceso de incineración para la destrucción de residuos orgánicos, pero no inorgánicos, mediante el desarrollo de combustión completa de la materia orgánica. (Salas, Quesada, & Harada, 2009)

- **Estabilización y Solidificación**

Consiste en la mezcla de los desechos con otros materiales para ser fijados, convirtiéndolos en un sólido inerte, depende de las características de los desechos. Los materiales más utilizados en este proceso son el cemento, porcelanas, materiales termoplásticos, arcillas entre otros. (Salas, Quesada, & Harada, 2009)

Adicional a los tratamientos mencionados anteriormente existen otros que combinan tanto de tratamientos fisicoquímicos como biológicos para reducir el potencial contaminante de los residuos líquidos peligrosos asociado principalmente a las aguas residuales industriales; entre ellos podemos resaltar:

- **Bioadsorción**

La bioadsorción es un proceso de adsorción que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico, complejación, quelación por coordinación y microprecipitación (Marandi, 2011).

La capacidad de adsorción durante el proceso, se ve influenciada por variables como la relación adsorbente/disolución, el tamaño de partícula y el pH. (Vargas, Cabañas, Gamboa, & Domínguez, 2009). Diversos elementos pueden ser utilizados como bioadsorbentes como por ejemplo la cáscara de maní, la cáscara de arroz, de plátano, los residuos de té, la piña entre otros.

- **Humedales artificiales**

Son sistemas en los que existe interacción entre agua, plantas, microorganismos, energía solar, aire y suelo, en búsqueda de mejorar las condiciones de calidad del agua (Díaz, 2014). Su aplicación es variada, son utilizados tanto para el tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales, agroindustriales e incluso aguas residuales de procesos mineros (Espinoza, 2014). Pueden ser de dos tipos, de flujo superficial donde el agua circula por encima del sustrato de manera continua y los de flujo subsuperficial donde el agua circula a través del sustrato de manera vertical u horizontal.

A continuación, en la tabla 2 se presentan las características típicas del sustrato empleado en los humedales

**Tabla 2: Características típicas medios porosos humedales**

| MEDIO         | TAMAÑO EFECTIVO (mm) | POROSIDAD | CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (m/d) |
|---------------|----------------------|-----------|--------------------------------|
| Arena media   | 1                    | 0,30      | 500                            |
| Arena gruesa  | 2                    | 0,32      | 1.000                          |
| Arena y grava | 8                    | 0,35      | 5.000                          |
| Grava media   | 32                   | 0,40      | 10.000                         |
| Grava gruesa  | 128                  | 0,45      | 100.000                        |

Fuente: Rojas, 2004

Adicional a las características del sustrato y al tipo de planta a utilizar, en el diseño de los humedales artificiales la variable más importante es el tiempo de retención hidráulica; de acuerdo con los parámetros de diseño definidos por el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, el tiempo de retención hidráulica depende del caudal de ingreso al humedal y está ligado con la carga contaminante pues dependiendo de ella se definen los tiempos de permanencia más adecuados. Se establece que los tiempos de retención que se utilizan para la eliminación de materia orgánica en aguas residuales van de 2 a 5 días; mientras que para remoción de compuestos nitrogenados u otro tipo de compuestos se estima que se requieren tiempos superiores a 7 días. (Antón, 2016).

## **5. Metodología.**

### **5.1 Diseño metodológico de la investigación.**

Se realizó un estudio de caso porque se centró concretamente en los laboratorios de ciencias básicas y de aguas de la Fundación Universitaria de san Gil sede San Gil y de tipo descriptivo porque se realizó una descripción de la situación actual a través de la recopilación de información para un propósito definido; y a partir de la información recopilada y procesada se pudo comprender la problemática ambiental asociada y se definieron las posibles alternativas de solución a la misma.

### **5.2 Diseño unidad de análisis**

El trabajo se desarrolló en los laboratorios de aguas y de ciencias básicas de UNISANGIL Sede San Gil. Para ciencias básicas se trabajaron 5 asignaturas con un total de 163 estudiantes que realizaron para el periodo de estudio 221 prácticas de laboratorio. En el caso del laboratorio de aguas se trabajó con una asignatura, que se orientó para 29 estudiantes, quienes realizaron 90 prácticas de laboratorio; adicional a ello se contabilizaron las 60 muestras para análisis que se recibieron de clientes externos.

- **Diseño experimental.**

Para los ensayos realizados con el bioadsorbente seleccionado se trabajó en el análisis de tres variables y las posibles combinaciones entre las mismas, realizando tres réplicas para cada combinación utilizada; determinando así la influencia de cada una de ellas en la eficiencia de los tratamientos. Las variables que se consideraron fueron tiempo de contacto en el que se utilizaron 1, 2 y 3 horas; el pH analizando los niveles 4.84, 5.24 y 5.7 y la cantidad de bioadsorbente donde se trabajaron ensayos para 0.2, 0.5 y 1.5 gramos. Cada uno de estos ensayos se realizó con tres réplicas.

Para los humedales se definió el diseño de tres unidades experimentales donde la variable control fue el tiempo de retención hidráulica, basados en la revisión bibliográfica y de antecedentes realizados; la primera unidad manejó un tiempo de retención hidráulica de 4 días, la segunda de 7 días y la tercera de 14 días. Se les dejó completar un ciclo de llenado como periodo de arranque, luego de este proceso se realizaron las pruebas correspondientes con tres réplicas para cada uno de los ensayos y de este modo determinar la eficiencia de remoción de cromo VI para cada uno de ellos.

## 5.3 Procedimiento

Para el logro de los objetivos establecidos con la presente investigación, se desarrollaron las siguientes fases:

- **Fase I Diagnóstico.**

Se realizó la revisión y análisis bibliográfico de políticas ambientales, de normatividad y demás documentos existentes y relacionados con el manejo de residuos químicos peligrosos en laboratorios universitarios, tanto a nivel nacional como internacional. Al igual que una visita de inspección a los laboratorios para verificar los procesos de generación, segregación, desactivación y almacenamiento de los residuos químicos.

Se aplicó una encuesta con el objetivo de conocer el tipo de manejo que a la fecha se les ha dado a los residuos químicos, a los 7 docentes, 3 auxiliares, 1 coordinador de laboratorios y a 63 de los 192 estudiantes que durante el periodo analizado hicieron uso de los laboratorios, muestra que se determinó a través de la fórmula para una población finita y conocida (Murray y Larry, 2009). La encuesta se puede revisar en el anexo A.

La siguiente ecuación muestra cómo se tomó el tamaño de la muestra para la encuesta aplicada a los estudiantes.

(Ecuación 1)

$$n = \frac{Z^2 * N * q * p}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Dónde;

n: tamaño muestra

N: tamaño de la población

Z: valor correspondiente a la distribución de gauss,  $Z_{\alpha=0.05} = 1.96$  y  $Z_{\alpha=0.01} = 2.58$

p: prevalencia esperada del parámetro a evaluar, en caso de desconocerse ( $p=0.5$ ), que hace mayor el tamaño muestral q:  $1 - p$  (si  $p = 70\%$ ,  $q = 30\%$ )

d: error que se prevé cometer si es del  $10\%$ ,  $i = 0.1$

Adicional a lo anterior se hizo la recolección de las guías de laboratorio para el primer y segundo periodo del 2017, con el fin de determinar la cantidad aproximada de reactivos que se generaron en cada una y se realizó la clasificación de los residuos generados de acuerdo con los anexos A, B y C del Decreto 4741 de 2005. De igual modo identificación de aspectos ambientales, utilizando como herramienta de análisis el ecomapa para cada laboratorio.

- **Fase II Ensayos de prueba para tratamiento de residuos.**

Una vez reconocido el tipo de residuos químicos generados en los laboratorios, se seleccionaron aquellos que por su composición no podrían ser sometidos a procesos neutralización para vertimiento, adicional a ello que se generaron en mayor cantidad para poder realizar los ensayos experimentales; como resultado de este análisis se escogieron residuos generados con el desarrollo de las pruebas de DQO.

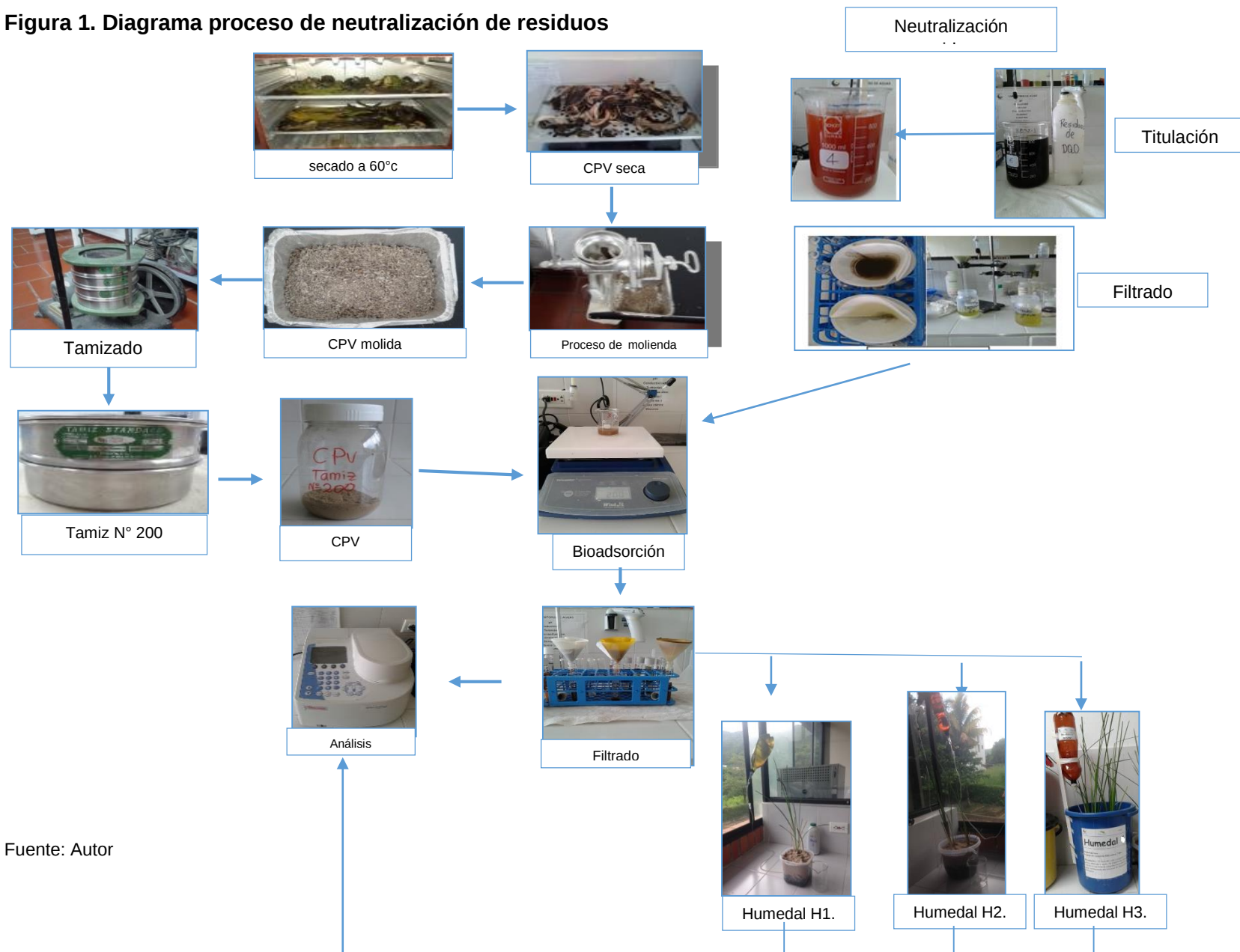
Estos residuos por la adición concentrada de sustancias principalmente  $K_2Cr_2O_7$ ,  $Ag_2SO_4$  y  $HgSO_4$  se caracterizan por la presencia de plata, como y mercurio; teniendo en cuenta el valor económico que tiene la plata y los problemas ambientales que ocasionan el cromo y el mercurio se debían seleccionar tratamientos que permitieran reducir la carga contaminante y que se contara en el laboratorio de aguas de Unisangil con los materiales, reactivos, equipos y técnicas de análisis validadas para determinar la eficiencia de remoción; teniendo en cuenta éstas condiciones se seleccionó como objetivo la remoción de cromo VI; por tanto se seleccionaron los tratamientos de bioadsorción con cáscara de plátano verde y el uso de humedales artificiales con pasto vetiver por la eficiencia de remoción encontrada en la revisión bibliográfica realizada.

En la figura 1 se muestran los procesos que se llevaron a cabo para las pruebas con cada tratamiento seleccionado.

Inicialmente se hizo necesario realizar un proceso de neutralización de los residuos con NaOH al 30% para favorecer la precipitación de sulfatos y llegar a un pH igual o mayor que 5 que permitiera el desarrollo de las plantas en el humedal artificial y el proceso de bioadsorción; a la definición de este pH se llegó luego del desarrollo de pruebas preliminares con solución de dicromato tanto para la bioadsorción como para los humedales

Una vez neutralizados los residuos se inició con el proceso de bioadsorción para el que se hizo necesario la preparación de la cáscara de plátano verde, que se desarrolló de la siguiente forma: primero se limpiaron y cortaron en trozos pequeños y se llevaron a la estufa de secado a 60°C por 24 horas. Luego se molió el material generado y se pasó por el tamiz malla 200 para obtener unas partículas con un diámetro aproximado de 75  $\mu\text{m}$ .

Figura 1. Diagrama proceso de neutralización de residuos



Fuente: Autor

Con estas partículas se realizaron diversas pruebas con los residuos pesando diferentes cantidades y adicionándolas en vasos de precipitado a 20 ml de desechos con agitación constante a 200 rev/min para 60, 120 y 180 minutos de tiempo de contacto. Una vez transcurrido este tiempo se filtraron dichos residuos y se determinó la cantidad de cromo VI presente por espectrofotometría uv-vis. Para este ensayo se analizó la influencia del pH de los residuos, la cantidad de bioadsorbente utilizado y el tiempo de contacto.

Una vez identificadas las variables pH, cantidad de bioadsorbente y tiempo de contacto que generaron mayor eficiencia se procedió a realizar los ensayos con los humedales artificiales de flujo subsuperficial; en ellos la variable a evaluar fue el tiempo de retención hidráulica; el cual se determinó a partir de las siguientes ecuaciones:

(Ecuación 2)

(Ecuación 3)

$$Q_{AVE} = \frac{Q_i + Q_o}{2} t = \frac{A_s * d * \epsilon}{Q_{AVE}}$$

Donde;

t: tiempo de retención hidráulico

As: área superficial del lecho

d: profundidad del agua

ε: porosidad del sistema, fracción decimal

$Q_{AVE}$ : caudal promedio en el sistema

$Q_i$ : caudal de entrada en el sistema

$Q_o$ : caudal de salida en el sistema

Se diseñaron tres prototipos de humedal artificial para unos tiempos de retención de 4, 7, y 14 días. A continuación, se presentan las dimensiones de cada uno.

**Tabla 3: Características de diseño humedales.**

| Humedal | Caudal            | Porosidad | Área superficial | Tiempo de Retención Hidráulico | Ancho | Largo | Diámetro | Profundidad |
|---------|-------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-------|-------|----------|-------------|
|         | m <sup>3</sup> /d | m         | m <sup>2</sup>   | D                              |       |       | m        | m           |
| H1      | 0,00032044        | 0,4       | 0,02             | 4,00                           | 0,16  | 0,16  |          | 0,13        |
| H2      | 0,00732442        | 0,4       | 0,75             | 7,00                           |       |       | 0,24     | 0,17        |
| H3      | 0,00574464        | 0,4       | 1,01             | 14,00                          |       |       | 0,32     | 0,2         |

Fuente: Autor

Para regular el caudal se utilizaron equipos de venoclisys para mantener un flujo constante. Una vez transcurrido el periodo de arranque de los humedales se realizaron pruebas a nivel de laboratorio para determinar la eficiencia de tratamiento de los residuos líquidos generados;



## 6. Resultados y análisis

### 6.1 Diagnóstico e identificación de aspectos ambientales en laboratorios analizados

El laboratorio de ciencias naturales se encuentra ubicado en el primer piso del bloque 4 sede La Casona; tiene un área de 35,52 m<sup>2</sup>; en este se desarrollan prácticas en las áreas de biología, microbiología y química las cuales incluyen prácticas relacionadas con: microscopia, estereoscopia, determinación de biomoléculas, microbiología de cultivo, aislamiento e identificación; en el área de química, se desarrollan prácticas referentes a los temas de densidad de sólidos y líquido, determinación de masa y volumen, separaciones de mezclas, preparación de soluciones de diferente concentración, determinación de propiedades de carbohidratos, titulaciones de soluciones ácidas y básicas, reconocimiento de alcoholes, aldehídos, y cetonas, análisis de hidrólisis de grasas, entre otros.

En la figura 2 se muestran la ubicación y distribución del laboratorio de ciencias básicas.

**Figura 2. Laboratorio de ciencias básicas**



**Fuente:** Programa de Ingeniería Ambiental 2016

El laboratorio de aguas se encuentra ubicado en la sede La Ceiba de la misma institución, tiene un área de 81,5 m<sup>2</sup>. En este se desarrollan prácticas en el área específica de calidad del agua, para la cuantificación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que afectan su calidad ya sea en sus fuentes naturales, o después del tratamiento o aguas servidas. Además, se cuenta con un área acondicionada para investigación en hidrobiología. Este laboratorio presta servicios de análisis de calidad de agua naturales o tratadas a diversos usuarios, para ello tiene autorización por parte del Ministerio de Salud y de la Protección Social mediante resolución 615 de 15 de mayo del 2015.

En la figura 3 se muestra la ubicación y distribución de espacios del laboratorio de aguas.

**Figura 3. Laboratorio de Aguas**



**Fuente:** Programa de Ingeniería Ambiental 2016

### **6.1.1 Diagnóstico del manejo actual de los residuos**

La Fundación Universitaria de San Gil Unisangil no cuenta con un programa para el manejo integral de residuos peligrosos. Analizando su cumplimiento con respecto a lo establecido en el decreto 4741 de 2005 se puede establecer que en la institución no se realiza una clasificación de los RESPEL, ni se tiene una caracterización de los mismos. No se cuenta con métodos o procedimientos definidos para la identificación de la peligrosidad de los residuos generados.; lo único que se tiene organizado es la entrega de residuos de tipo

biológico generados, para lo cual se cuenta con un contrato con la empresa SANDESOL encargada del proceso de recolección y disposición final de los mismos.

El decreto 4741 de 2005 establece en los artículos 27 y 28 la necesidad de registro de los generadores de RESPEL ante la autoridad ambiental; los requisitos y el procedimiento para realizar dicho trámite está definido en la resolución 1362 de 2007. En esta resolución se define que los pequeños generadores son las personas o instituciones que generan residuos o desechos peligrosos en una cantidad igual o mayor a 10,0 kg/mes y menor a 100,0 kg/mes; esta es la mínima categoría para hacer obligatorio el registro; en Unisangil se están generando 2 Kg/mes cuando se está en actividad académica de acuerdo con los registros de entrega de la empresa de recolección de residuos; por esta razón no se hace necesario realizar el procedimiento de registro de generadores de residuos o desechos peligrosos ante la autoridad ambiental.

En la figura 4 se muestran los espacios que se tienen destinados en el laboratorio de aguas y ciencias básicas para el almacenamiento de reactivos.

**Figura 4. Almacenamiento reactivos laboratorio de Aguas y ciencias básicas**



Fuente: Autor

La solicitud de reactivos se realiza de acuerdo a la necesidad de cada laboratorio; en promedio anualmente se adquieren de 20 a 30 productos químicos de manera anual, se piden las mínimas cantidades comerciales para cada uno de ellos teniendo en cuenta la cantidad de prácticas proyectadas a realizar en el año, tanto en el laboratorio de aguas como en el laboratorio de ciencias básicas; el almacenamiento de los reactivos como se observa en la figura anterior se realiza teniendo en cuenta la clasificación por colores con el sistema de almacenamiento (SAF-T-DATA etiqueta y pictogramas por el sistema de almacenamiento SGA (sistema global armonizado).

Existen reactivos próximos a vencerse y vencidos para los que no se tiene un protocolo de manejo teniendo en cuenta que ya se convirtieron en residuos; actualmente se hace uso de algunos de ellos para el desarrollo de laboratorios académicos en los laboratorios de ciencias básicas.

A partir del inicio del proyecto se inició con el proceso de clasificación y segregación de los residuos líquidos como se observa en la figura 5, se dispuso de galones plásticos en los que se recolectaron semestralmente los residuos líquidos para definir las estrategias para el manejo y neutralización previo vertimiento al sistema de alcantarillado para algunos y contar con el material necesario para el desarrollo de las pruebas de tratamientos para las fracciones más peligrosas.

**Figura 5. Recipientes para el almacenamiento de los residuos líquidos en los laboratorios**



Fuente: Autor

### 6.1.2 Identificación de aspectos ambientales

Se realizó la revisión ambiental inicial de los laboratorios y se utilizó como herramienta el ecomapa como se observa en las siguientes figuras.

Figura 6. Eco mapa Laboratorio de ciencias básicas

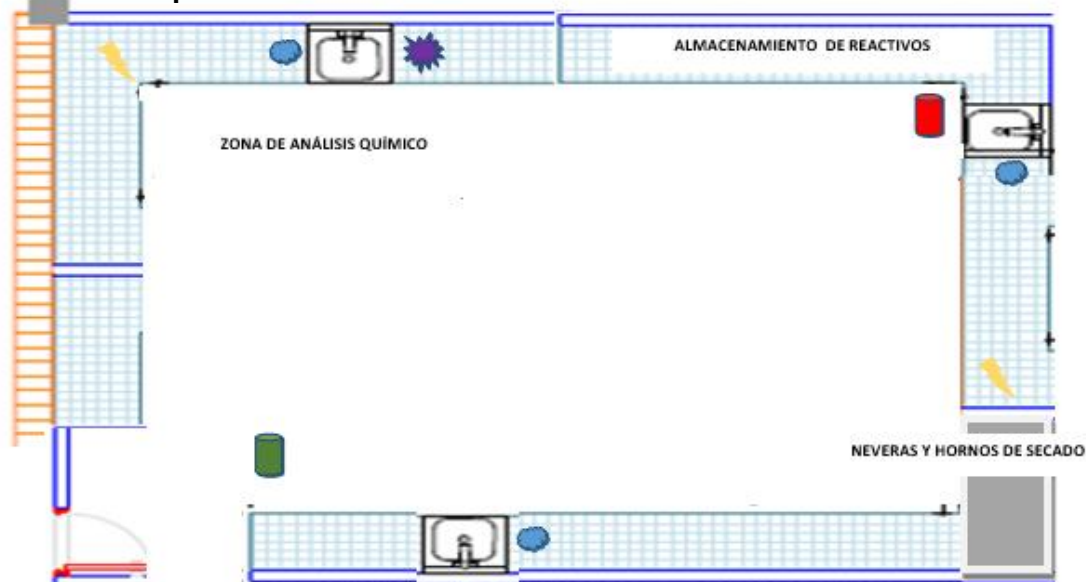
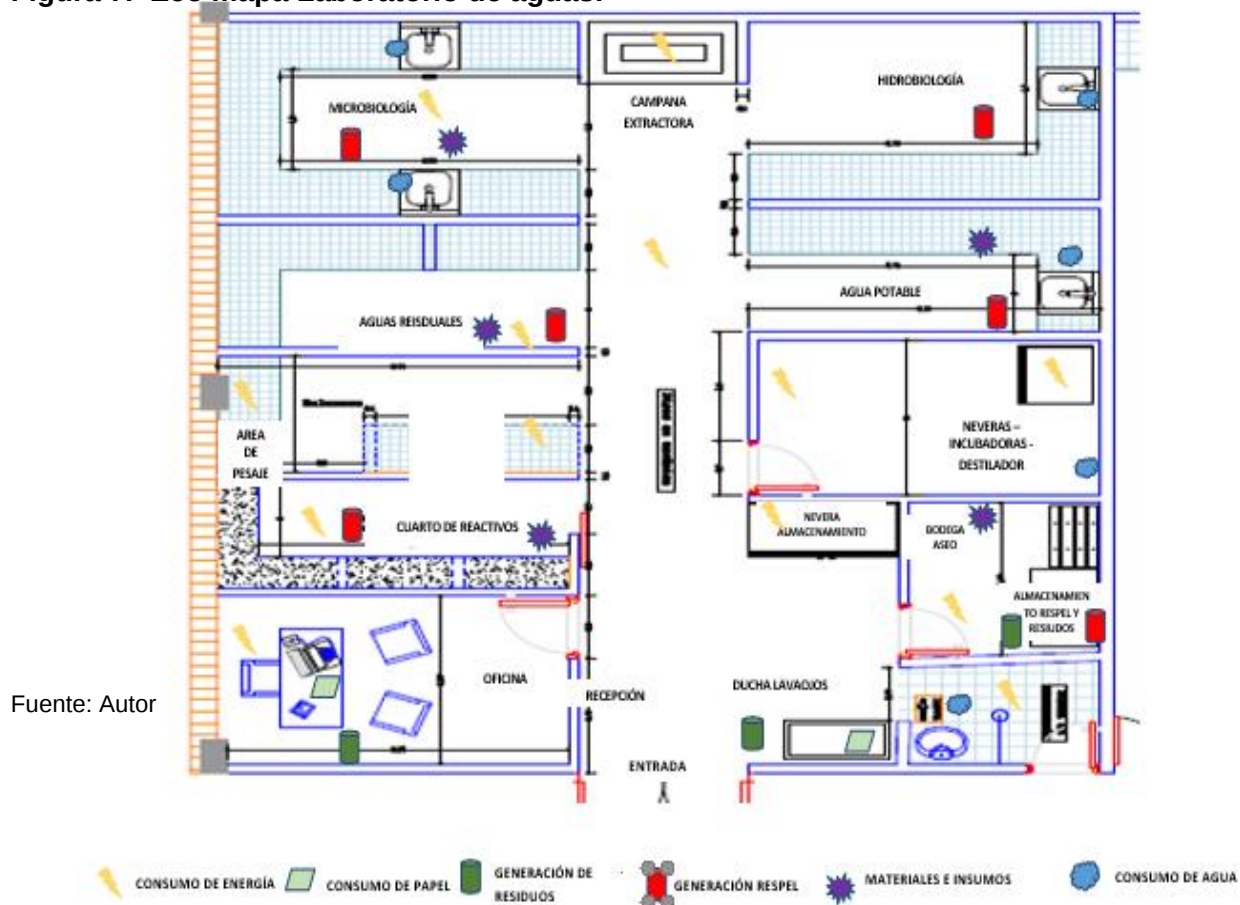


Figura 7. Eco mapa Laboratorio de aguas.



Se identificaron las siguientes zonas dentro de los laboratorios:

Zona 1: Área administrativa. Comprende la oficina y la zona para recepción de muestras.

Zona 2: Área para el procesamiento fisicoquímico. Comprende las zonas del laboratorio dedicadas al procesamiento de muestras y análisis fisicoquímicos

Zona 3: Área para microbiología, que comprende la zona del laboratorio destinada al desarrollo de análisis microbiológicos e hidrobiológicos.

Zona 4: Área de almacenamiento de reactivos y muestras. Comprende el cuarto de almacenamiento de residuos y la zona donde se encuentran las neveras para el almacenamiento de muestras.

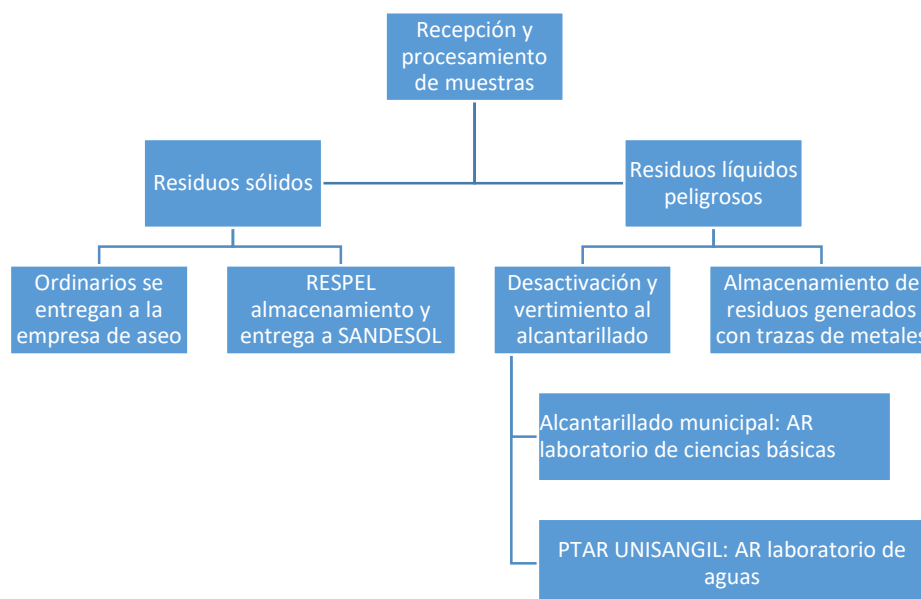
Zona 5: Área de aseo. Comprende la bodega de almacenamiento de productos de aseo, el cuarto de almacenamiento de residuos y RESPEL y la zona de duchas y lavaojos.

Para el caso específico del laboratorio de ciencias básicas se mantuvo la zona 2 y la zona 4.

Los aspectos ambientales identificados para cada zona están consignados en el formato de recolección de datos y en el formato de aspectos ambientales para condiciones normales y anormales, que se presentan en el anexo B. A través de ellos se puede evidenciar que, en cuanto al consumo de materias primas e insumos, la adquisición de éstos en el laboratorio se realiza por medio de procesos de compra directa a los proveedores definidos por la universidad teniendo en cuenta variables como precio y disposición de los reactivos e insumos requeridos. Se realiza consumo de energía y agua durante las labores realizadas en los mismos durante ocho horas diarias, cinco días a la semana, y cuentan con dispositivos ahorradores de agua y energía. No se requiere el uso de combustibles fósiles por tanto esta variable no se tuvo en cuenta, las emisiones atmosféricas que se dan son de tipo puntual originadas por los gases producto de las reacciones químicas que se desarrollan en el laboratorio, para su manejo se cuenta con cámaras extractoras y elementos de protección personal para los laboratoristas de acuerdo con lo establecido en la normatividad.

En cuanto a la generación y manejo de residuos sólidos y líquidos a continuación en la figura 8 se presenta un esquema donde se describe el manejo dado a los mismos.

**Figura 8. Manejo de residuos en los laboratorios**



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente los impactos ambientales identificados están directamente relacionados con el manejo de los residuos líquidos peligrosos para los que se requiere establecer sistemas de manejo que involucren aspecto como almacenamiento, inactivación y disposición final.

### 6.1.3 Resultados encuestas aplicadas

La población universitaria que desarrolló durante el periodo de evaluación, prácticas de laboratorio de química, biología y microbiología ambiental corresponde a 7 docentes, 3 auxiliares de laboratorio, 1 coordinador de laboratorios y 192 estudiantes. De acuerdo con lo definido en la metodología se aplicó la encuesta al 100% de los docentes, coordinadores y auxiliares de laboratorio. Para encontrar la muestra de estudiantes se aplicó la ecuación de Murray y Larry 2009 (Ecuación 1), para una población finita, encontrado un valor de  $n = 64$  estudiantes que debieron encuestarse.

En cuanto a los resultados de las encuestas se pudo establecer que el 40,6% de los estudiantes manifestó que no conoce las fichas de seguridad de los reactivos que utiliza en

sus prácticas y por consiguiente la peligrosidad que ellos tienen; el 59,4% manifiesta que conoce las fichas de seguridad y los riesgos que representan los reactivos. En cuanto al uso de elementos de bioseguridad el 100% los estudiantes afirmaron utilizar guantes, tapabocas y bata para el desarrollo de sus prácticas, solo un 12% manifestó el uso de gafas de seguridad. Un 84% de los encuestados manifestó que no ha recibido capacitación en el manejo y disposición adecuada de los residuos y no poseen conocimientos sobre la existencia de un protocolo para el manejo de los mismos. Con respecto a la recolección, almacenamiento y segregación de residuos peligrosos el 84% afirmó que no existen procesos de segregación en el laboratorio, el 16% restante manifestó que este proceso está a cargo del coordinador de laboratorios; en cuanto al procedimiento detallado para recolección, almacenamiento y segregación el 100% de los encuestados dijo que no conoce la existencia del mismo. A pesar de ello el 53% de los encuestados reconoció la existencia de recipientes para el almacenamiento de residuos como galones plásticos a pesar de no saber qué se debe disponer allí y canecas para los residuos sólidos.

En cuanto a los docentes, el 100% manifestó conocer las fichas de seguridad de los reactivos y la peligrosidad de los mismos. Reconocieron en un 71,4% que no han recibido capacitación por parte de la institución sobre el manejo de los mismos y no realizan un proceso de segregación de residuos durante el desarrollo de sus prácticas; y desconocieron en un 100% la existencia en el laboratorio de un protocolo para el manejo de los residuos, asimismo manifestaron que no hacen entrega dentro de las guías del laboratorio de las instrucciones para el manejo adecuado de los mismos.

El 33 % de los monitores del laboratorio manifestó no conocer las fichas de seguridad de los reactivos a pesar de que el 100% de los encuestados reconoció la peligrosidad que representan los reactivos manejados. El 50% de los encuestados (caso específico del coordinador de laboratorios y el monitor de ciencias básicas) reconoció que ha recibido capacitación general sobre las fichas de seguridad de los reactivos y la clasificación de los mismos. En cuanto a los procesos de segregación estos están a cargo del coordinador de laboratorios y solo él lo reconoció en la encuesta aplicada. El 100% de los encuestados manifestó que en los laboratorios no existen procedimientos para la recolección, almacenamiento y segregación de residuos peligrosos, a pesar de ello reconocieron la

existencia de recipientes para el manejo de residuos y que los procesos de segregación se resumen en neutralización y vertimiento directo a la red de alcantarillado.

En términos generales y de acuerdo con los resultados obtenidos se establece que existen debilidades con respecto al manejo de residuos químicos por parte de la comunidad universitaria, pues no existen procedimientos reglamentados que den cumplimiento a la normatividad vigente y que permitan una gestión adecuada de residuos.

#### **6.1.4 Relación de prácticas realizadas y residuos generados por laboratorio.**

Semestralmente en los laboratorios de ciencias básicas se realizan el mismo tipo de prácticas, lo que varía es la cantidad desarrollada de acuerdo a la cantidad de grupos de trabajo que deben asistir al laboratorio. Teniendo en cuenta las dimensiones del área de trabajo la institución ha definido que las prácticas de laboratorio sean desarrolladas por grupos de máximo cuatro estudiantes y que a cada turno asistan un máximo de tres grupos de trabajo. Es por esta razón que las prácticas de laboratorio se realizan de acuerdo a una programación semestral de fechas y horas de trabajo que inician desde las 8:00 am y van máximo hasta las 6:00 pm

Al revisar las guías de laboratorio y protocolos de práctica se encontró que un 100% no cuentan con normas de bioseguridad, no identifica el tipo de residuos generados, tampoco contemplan procedimientos de segregación, desactivación y almacenamiento temporal de los residuos químicos generados dentro las mismas. La cantidad de prácticas que se realizaron por área para el primer periodo del 2017 se resume a continuación.

**Tabla 4: Número de prácticas de laboratorio realizadas por asignatura 2017-1**

| <b>ASIGNATURA</b>      | <b>PRÁCTICAS</b>                                                                                 | <b>NÚMERO DE PRÁCTICAS REALIZADAS</b> | <b>NÚMERO DE ESTUDIANTES</b> |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| <b>Química General</b> | Práctica 1. Reconocimiento de Materiales y equipos de uso frecuente en el laboratorio de química | <b>25</b>                             | <b>18</b>                    |

| ASIGNATURA                     | PRÁCTICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | NÚMERO DE PRÁCTICAS REALIZADAS | NÚMERO DE ESTUDIANTES |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
|                                | Práctica 2. Medidas de masa y volumen<br>Práctica 3. Determinación de la densidad de sólidos y líquidos<br>Práctica 4. Técnicas de separación de mezclas<br>Práctica 5. Preparación de soluciones                                                                                                                               |                                |                       |
| <b>Química Orgánica</b>        | Práctica 1. Identificación del metano<br>Práctica 2. Obtención de alquenos<br>Práctica 3. Pruebas físicas y químicas para alcanos y alquenos<br>Práctica 4. Reconocimiento de alcoholes<br>Práctica 5. obtención de aldehídos y cetonas y comprobación de alguna propiedad<br>Práctica 6. Saponificación o preparación de jabón | <b>66</b>                      | <b>45</b>             |
| <b>Análisis Químico</b>        | Práctica 1. Preparación de soluciones<br>Práctica 2. Obtención de dióxido de carbono<br>Práctica 3. Medidas de pH de soluciones comunes<br>Práctica 4. Titulaciones soluciones de ácidos y bases<br>Práctica 5. Espectrofotometría                                                                                              | <b>69</b>                      | <b>48</b>             |
| <b>Biología</b>                | Práctica 1. Manejo y uso del microscopio óptico compuesto<br>Práctica 2. Estudio de la mitosis en células de la raíz de cebolla<br>Práctica 3. Observación de células sanguíneas<br>Práctica 4. Preparación de un frotis bacteriano<br>Práctica 5. Observación de bacterias                                                     | <b>45</b>                      | <b>37</b>             |
| <b>Microbiología Ambiental</b> | Práctica 1. Preparación de frotis bacteriana<br>Práctica 2 Morfología y agrupación bacteriana<br>Práctica 3 Curva de crecimiento de levadura                                                                                                                                                                                    | <b>16</b>                      | <b>15</b>             |

| ASIGNATURA                                                     | PRÁCTICAS                                                                                                                  | NÚMERO DE PRÁCTICAS REALIZADAS                                | NÚMERO DE ESTUDIANTES |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                                | Práctica 4 Toma de muestras y procesamiento de suelos                                                                      |                                                               |                       |
| <b>Caracterización y evaluación de aguas</b>                   | pH, Alcalinidad, Conductividad, Dureza total, turbiedad, dureza cálcica, cloruros, sulfatos, cloro residual libre, hierro. | <b>90</b>                                                     | <b>29</b>             |
| <b>Ensayos de laboratorio a externos laboratorio de aguas*</b> | pH, Alcalinidad, Conductividad, Dureza total, turbiedad, dureza cálcica, cloruros, sulfatos, cloro residual libre, hierro. | <b>60 ensayos calidad agua potable (todos los parámetros)</b> | <b>No aplica</b>      |

Fuente: Autor

\* En cuanto a los ensayos de laboratorio a externos cabe aclarar que el laboratorio lleva cuatro años ofertando este tipo de servicios y que a la fecha han realizado 267 ensayos de calidad de agua para diferentes usuarios. Durante el primer semestre de 2017 se recibieron y procesaron 60 muestras de calidad.

A continuación, se presenta la relación de residuos sólidos peligrosos generados por los laboratorios de ciencias básicas y de aguas de la institución y que fueron entregados a la empresa prestadora de este servicio.

**Tabla 5: Información cantidad de residuos sólidos generados entregado para tratamiento**

| PERIODO DE ALMACENAMIENTO    | FECHA DE RECOLECCIÓN | TIPO DE RESIDUO                 | CANTIDAD                           |
|------------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Julio – octubre 2016         | Octubre 21 de 2016   | Biosanitarios<br>Cortopunzantes | 2 bolsas: 8 kg<br>1 guardián: 1 kg |
| Octubre 2016-enero 2017      | Enero 20 de 2017     | Biosanitarios                   | 1 bolsa tipo E: 1 kg               |
| Enero – agosto 2017          | Agosto 23 de 2017    | Biosanitarios                   | 3 bolsas: 18 kg                    |
| Septiembre 2017 – abril 2018 | Abril 11 de 2018     | Biosanitarios<br>Cortopunzantes | 2 bolsas: 7 kg<br>1 guardián: 1 kg |

Fuente: Archivos Coordinación laboratorios Unisangil, 2017

Los residuos biosanitarios que se relacionan en la tabla, están compuestos por guantes, filtros, membranas, papeles de aluminio, kraft y tapabocas. Para el proceso de separación en la fuente de los residuos, como se observa en la figura 9, el laboratorio cuenta con canecas de diferentes colores y un guardián para los elementos cortos punzantes. La periodicidad en la recolección no está claramente definida, pero de acuerdo a lo manifestado por el personal encargado se hacen al menos dos procesos de recolección por año.

**Figura 9. Elementos utilizados para el proceso de separación en la fuente de residuos sólidos**



Fuente: Autor

El proceso de recolección de residuos ordinarios lo realiza la empresa de aseo municipal una vez por semana. En cuanto a los residuos biosanitarios teniendo en cuenta que su recolección no se hace mensualmente, una vez se encuentra llena la bolsa se llevan a un lugar de almacenamiento temporal, en el área de laboratorios.

Se realizó el cálculo de la cantidad de reactivos y sustancias necesarias para el desarrollo de cada práctica por semestre académico. Las cuales se relacionan en el anexo C. Con ello se pudo evidenciar que la cantidad de sustancias utilizadas en el laboratorio de ciencias básicas es baja, al igual que las cantidades residuales por muestra analizadas, y en la mayoría de los casos los residuales generados pueden ser tratados en el laboratorio a través de procesos de neutralización. De igual modo se pudo establecer que se almacenan los residuales de las muestras de DQO.

## **6.2 Resultados ensayos de prueba para tratamiento para remoción de Cromo VI de los residuos de las pruebas de DQO.**

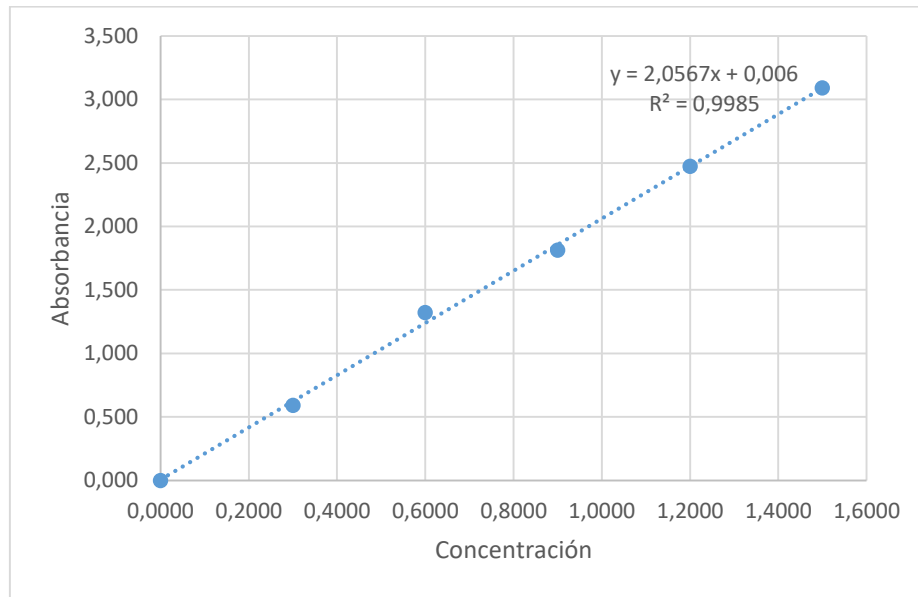
Teniendo en cuenta que como resultados del proceso de caracterización de residuos se pudo determinar que eran los residuales de DQO los que por su adición concentrada de sustancias principalmente  $K_2Cr_2O_7$ ,  $Ag_2SO_4$  y  $HgSO_4$  no era posible realizar procesos de neutralización en los laboratorios, se seleccionaron éstos para realizar procesos de tratamiento específicamente para la remoción de cromo VI. Estos residuos tienen un pH de -3.8, lo que hizo que requirieran del desarrollo de procesos de neutralización previos los ensayos de bioadsorción y humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Para la neutralización de dichos residuos se realizaron varios ensayos con el fin de que tuviesen pH cercanos a 5.0 para que el pasto vetiver (*Vetivera zizanooides*) en los humedales pudiese desarrollarse, pues a pesar que las indicaciones técnicas sobre el manejo de esta planta indican que resiste pH ácidos hasta de 3.0, por las características de los residuos a tratar, al poner en funcionamiento los humedales se daba lugar a procesos de precipitación de sulfatos que se fijaban en las plantas y ocasionaban su muerte. Por tanto, se optó por realizar un proceso de neutralización a pH 5, que permitió la precipitación de sulfatos. Los valores de NaOH requeridos para este proceso, al igual que las cantidades de sulfatos que se precipitaron con el desarrollo de los mismos se incluyen en el anexo D

Se realizó la revisión en cuanto a la utilización y eficiencia de bioadsorbentes que se han utilizado en investigaciones anteriores, escogiendo la cáscara de plátano verde (CPV) que de acuerdo con la investigación de Espinosa y Mera (2015) generó los mejores resultados a pH bajo 1,5, utilizando 1 g de bioadsorbente, generando como conclusión que las variables pH y cantidad de material son determinantes a la hora de realizar el proceso de remoción. Al tratarse este ensayo de un tratamiento que iniciaba con un proceso de bioadsorción y continuaba con el uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial, se definió realizar el proceso de bioadsorción con los residuos con pH cercano a 5.0, variando las cantidades de CPV a utilizar.

Se determinó la curva patrón para Cromo VI teniendo en cuenta los niveles de absorbancia que maneja el equipo del laboratorio para realizar las lecturas correspondientes, para este caso se utilizaron 541 nm, tal como se muestra en la figura 10.

**Figura 10. Curva patrón cromo VI**



Fuente: Autor

### 6.2.1 Bioadsorción

Para el desarrollo del proceso de bioadsorción con las cáscaras de plátano verde CPV, se determinó trabajar con partículas de diámetro cercano a 75  $\mu\text{m}$  y se desarrollaron pruebas variando la cantidad de CPV a utilizar y el pH de los residuos para tiempos de contacto de 1, 2 y 3 horas. En el anexo D se presentan los resultados de cada una de las pruebas realizadas.

A continuación, se presenta el análisis de varianza para el porcentaje de remoción de Cromo VI, para las tres variables masa de CPV, pH y tiempo de contacto.

**Tabla 6: Análisis de Varianza para %\_remoción - Suma de Cuadrados Tipo III**

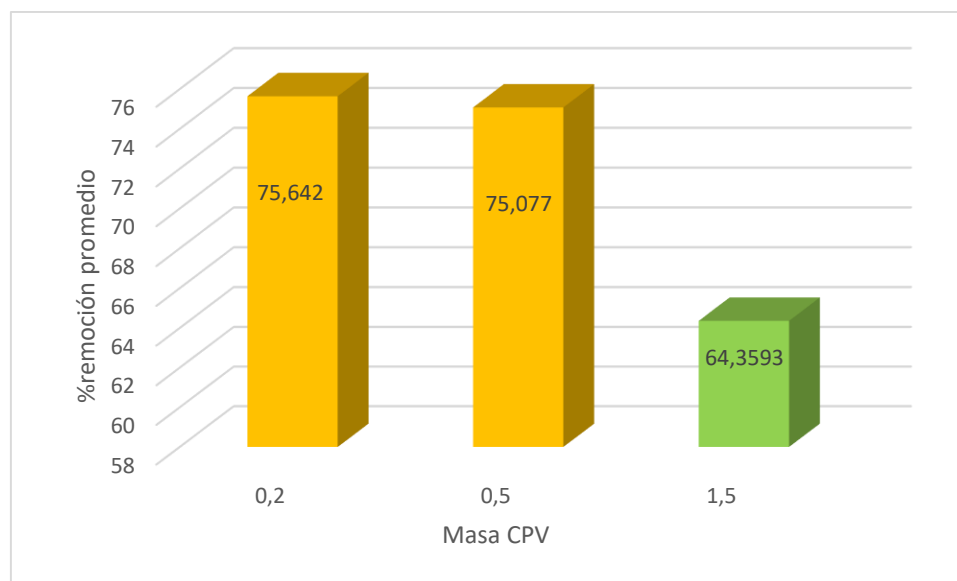
| Fuente               | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| EFFECTOS PRINCIPALES |                   |    |                |         |         |
| A:Masa_CPV           | 1456,86           | 2  | 728,431        | 9,20    | 0,0003  |
| B:Ph                 | 1179,99           | 2  | 589,996        | 7,45    | 0,0011  |
| C:Tiempo             | 387,77            | 2  | 193,885        | 2,45    | 0,0934  |
| RESIDUOS             | 5861,11           | 74 | 79,2042        |         |         |
| TOTAL (CORREGIDO)    | 8177,85           | 80 |                |         |         |

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

De acuerdo con el análisis de varianza que se presenta en la tabla 6, se pudo establecer que los factores cantidad de CPV y pH de los residuos, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje remoción de Cromo VI con un 95,0% de nivel de confianza y el tiempo de contacto con el bioadsorbente no se considera un factor determinante para el proceso.

La figura 11 nos muestra la variación de los porcentajes de remoción de cromo VI en relación con la masa de CPV utilizada en los ensayos.

**Figura 11. Porcentaje de Remoción promedio en relación a la masa de CPV**

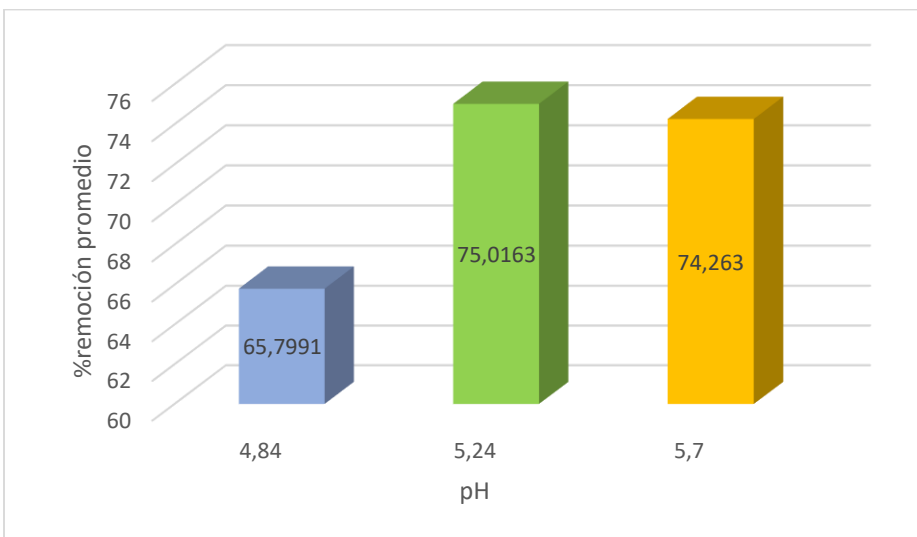


Fuente: Autor

De acuerdo con la figura 11 los mayores porcentajes de remoción se alcanzaron cuando se utilizaron 0,2 g de CPV, llegando a un porcentaje promedio de remoción del  $75,642 \pm 1.53\%$ , que es muy cercano al alcanzado con una masa de 0,5 en el que se manejan medias del  $75.077 \pm 1.713\%$ . El tamaño de partícula utilizado para estos ensayos fue de  $0.75\mu\text{m}$  lo que garantiza una mayor superficie de contacto entre ésta y el líquido a tratar. De acuerdo con los resultados obtenidos para éstas características la eficiencia de remoción disminuye al aumentar la cantidad de bioadsorbente utilizado.

La figura 12 nos ilustra las variaciones que tiene el porcentaje de cromo VI en relación a los cambios de pH de los residuos.

**Figura 12. Porcentaje de Remoción promedio en relación pH**

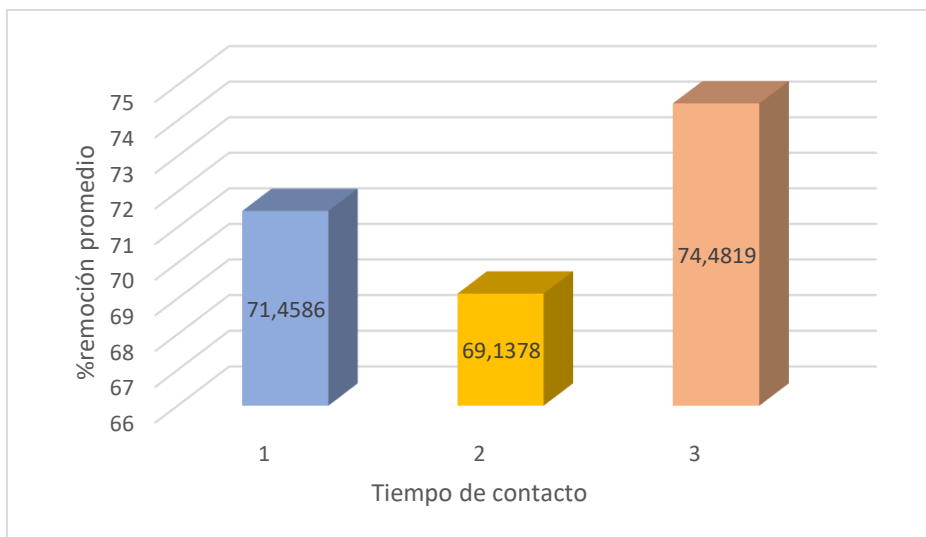


Fuente: Autor

Como se muestra en la figura 12 cuando los residuos a tratar tienen un pH de 5,24 se presentan los mayores porcentajes de remoción de cromo VI el  $75,0163 \pm 1.712\%$ . Con valores de pH inferiores a 5, el porcentaje de remoción se ubica por debajo del 70% y cuando el pH se acerca a 6 también se presenta una disminución en cuanto al porcentaje de remoción.

La figura 13 muestra la variación de los porcentajes de remoción de cromo VI en relación al tiempo de contacto de los residuos líquidos con el bioadsorbente.

**Figura 13. Porcentaje de Remoción promedio en con el tiempo de contacto**



Fuente: Autor

En la figura 13 se puede observar que, en relación con el tiempo de contacto de los residuos con el bioadsorbente, el porcentaje de remoción promedio de Cr VI para los ensayos realizados es similar siendo el  $71.459 \pm 1.741\%$  para 1 hora,  $63.138 \pm 1.741\%$  para 2 horas y  $74.482 \pm 1.741\%$  para las 3 horas. Como se evidenció en el análisis de varianza en el cual se definió que el tiempo de contacto no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de remoción, como puede verse en la tabla 6.

A continuación, la tabla 7 muestra las pruebas de múltiples rangos realizadas para el porcentaje de remoción de cromo VI en relación con la masa de CPV utilizada en los ensayos.

**Tabla 7: Pruebas de Múltiple Rangos para %\_remoción por Masa\_CPV**

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Masa_CPV | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------|-------|----------|----------|-------------------|
| 1,5      | 18    | 64,3593  | 2,23314  | X                 |
| 0,5      | 27    | 75,077   | 1,71274  | X                 |
| 0,2      | 36    | 75,642   | 1,53192  | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 0,2 - 0,5 |      | 0,565      | 4,57865     |
| 0,2 - 1,5 | *    | 11,2828    | 5,60767     |
| 0,5 - 1,5 | *    | 10,7178    | 5,60767     |

\* indica una diferencia significativa.

De acuerdo con la prueba de rangos múltiples para la relación cantidad de CPV con respecto al porcentaje de remoción se pudo establecer que la media de remoción de Cr VI con una masa de 1,5 g es diferente a las reportadas para los grupos con una masa de 0,2 y 05 g. Existiendo diferentes estadísticamente significativas entre este y los demás grupos de masa con un nivel de confianza del 95%.

La tabla 8 muestra las pruebas de rangos múltiples para el porcentaje de remoción en relación al pH.

**Tabla 7: Pruebas de Múltiple Rangos para %\_remoción por pH**

Método: 95,0 porcentaje LSD

| pH   | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|------|-------|----------|----------|-------------------|
| 4,84 | 27    | 65,7991  | 1,95283  | X                 |
| 5,7  | 27    | 74,263   | 1,71274  | X                 |
| 5,24 | 27    | 75,0163  | 1,71274  | X                 |

| Contraste   | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-------------|------|------------|-------------|
| 4,84 - 5,24 | *    | -9,21722   | 5,17565     |
| 4,84 - 5,7  | *    | -8,46389   | 5,17565     |
| 5,24 - 5,7  |      | 0,753333   | 4,82632     |

\* indica una diferencia significativa.

De acuerdo con la prueba de rangos múltiples para la relación del pH con el porcentaje de remoción se pudo establecer que la media de remoción de Cr VI con un pH de 4.84 es diferente a los demás niveles de pH evaluados. Existiendo diferentes estadísticamente significativas entre este y los demás grupos con un nivel de confianza del 95%.

La tabla 9 muestra la prueba de rangos múltiples para el porcentaje de remoción de cromo VI en relación con el tiempo de contacto de los residuos con el bioadsorbente.

**Tabla 8: Pruebas de Múltiple Rangos para %\_remoción por Tiempo**

Método: 95,0 porcentaje LSD

| Tiempo | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|--------|-------|----------|----------|-------------------|
| 2      | 27    | 69,1378  | 1,74105  | X                 |
| 1      | 27    | 71,4586  | 1,74105  | XX                |
| 3      | 27    | 74,4819  | 1,74105  | X                 |

| Contraste | Sig. | Diferencia | +/- Límites |
|-----------|------|------------|-------------|
| 1 - 2     |      | 2,32074    | 4,82632     |
| 1 - 3     |      | -3,02333   | 4,82632     |
| 2 - 3     | *    | -5,34407   | 4,82632     |

\* indica una diferencia significativa.

Para la variable tiempo de contacto con el bioadsorbente las pruebas de rangos múltiples evidencian que existen diferencias estadísticamente significativas para los porcentajes de remoción cuando se mantienen tiempos de contacto de 2 horas en comparación con los porcentajes de remoción para tiempos de contacto de 3 horas, pues existe una homogeneidad entre los grupos de 1 y 2 horas y los de 1 y 3 horas con un nivel de confianza del 95%.

Finalmente, al revisar del cumplimiento con respecto a lo establecido por la resolución 0631 de 2015 con respecto a la concentración máxima permisible de cromo para vertimientos puntuales que es de 0.5 mg/L, los 81 ensayos realizados cumplieron con ese parámetro mínimo, evidenciando con esto la eficiencia de la cáscara de plátano verde para la remoción de Cr VI.

## 6.2.2 Humedales artificiales.

Después de realizar el tratamiento con el bioadsorbente se realizaron los ensayos con los humedales. Para garantizar el desarrollo de las plantas en el humedal se hizo necesaria la dilución de los residuos, ya que la cantidad de sulfatos que tienen una vez neutralizados no permitía el desarrollo de las mismas, estos cristales invadieron por completo el pasto vetiver

ocasionando su muerte. En el anexo E se los resultados de los análisis de remoción de cromo para los humedales.

Una vez se pusieron en marcha los humedales se les dejó un periodo de arranque correspondiente a su ciclo de llenado y cumplimiento con el tiempo de retención hidráulica proyectada para cada uno; posterior a ello se tomaron muestras para análisis.

En la tabla 10 se muestran los porcentajes de remoción de cromo VI obtenida con cada uno de los humedales utilizados en los ensayos, al igual que la desviación estándar y los coeficientes de variación para cada grupo de resultados obtenidos.

**Tabla 9: Porcentajes de remoción de cromo VI de los humedales**

| Humedal | Tiempo de retención hidráulica (días) | % de Remoción Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación |
|---------|---------------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|
| H1      | 4                                     | 14,865                 | 4,94735             | 33,28%                    |
| H2      | 7                                     | 90,5375                | 6,2862              | 6,94%                     |
| H3      | 14                                    | 67,59                  | 0,427317            | 0,63%                     |

Fuente: Autor

De acuerdo con los resultados y según el análisis de varianza a pesar de que el humedal 2 es el que reporta en promedio los mayores porcentajes de remoción su desviación estándar y el coeficiente de variación son muy altos; caso contrario ocurre con el Humedal 3 que tiene un porcentaje promedio de remoción para Cr VI del 67.59% con un coeficiente de variación de 0.63%, por tanto, se considera éste como el mejor de los tres tratamientos.

La tabla 11 muestra la tabla ANOVA para el porcentaje de remoción de cromo VI obtenido con cada humedal.

**Tabla 10: Tabla ANOVA para %\_remoción por Humedal**

| Fuente        | Suma de Cuadrados | GI | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Entre grupos  | 12043,8           | 2  | 6021,89        | 281,51  | 0,0000  |
| Intra grupos  | 192,526           | 9  | 21,3917        |         |         |
| Total (Corr.) | 12236,3           | 11 |                |         |         |

De acuerdo con esta tabla la razón-F, que en este caso es igual a 281,506, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de %\_remoción entre un nivel de Humedal y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

En la tabla 12 se incluyen las pruebas de rango múltiple para el porcentaje de remoción de cromo VI por cada uno de los tres humedales evaluados.

**Tabla 11: Pruebas de Múltiple Rangos para %\_remoción por Humedal**

Método: 95,0 porcentaje LSD

| <i>Humedal</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|----------------|--------------|--------------|--------------------------|
| H1             | 4            | 14,865       | X                        |
| H3             | 4            | 67,59        | X                        |
| H2             | 4            | 90,5375      | X                        |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| H1 - H2          | *           | -75,6725          | 7,3983             |
| H1 - H3          | *           | -52,725           | 7,3983             |
| H2 - H3          | *           | 22,9475           | 7,3983             |

\* indica una diferencia significativa.

De acuerdo con esta tabla las medias de los porcentajes de remoción para cada uno de los humedales implementados muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95% y no existe homogeneidad entre los resultados encontrados para ninguno de los tres humedales analizados.

De igual modo la remoción promedio que se alcanza con los humedales 2 y 3 generan una concentración de cromo que indica cumplimiento con respecto a la resolución 0631 de 2015 para vertimientos puntuales.

Otros de los parámetros adicionales que se determinaron a nivel de información, con un solo dato para el caso de los humedales fueron la concentración de sulfatos que se ilustra en la tabla 13; la conductividad que se muestra en la tabla 14 y el pH que se describe en la tabla 15.

**Tabla 12: Concentración de sulfatos en los humedales (Sulfatos Absorbancia 420 nm)**

| Humedal |                | Dilución 1/30<br>mg SO <sub>4</sub> /l | Dilución 1/21<br>mg SO <sub>4</sub> /l |
|---------|----------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| H1      | medida inicial | 360                                    |                                        |
|         | salida Humedal | 348                                    |                                        |
| H2      | medida inicial |                                        | 294                                    |
|         | salida Humedal |                                        | 420                                    |
| H3      | medida inicial |                                        | 357                                    |
|         | salida Humedal |                                        | 189                                    |

Fuente: Autor

**Tabla 13: Valores de conductividad para cada humedal**

| Medida de Conductividad |                |            |        |            |        |            |        |                       |        |
|-------------------------|----------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|-----------------------|--------|
| Humedal                 |                | K1 (ms/cm) | T (°C) | K2 (ms/cm) | T (°C) | K3 (ms/cm) | T (°C) | Conductividad (ms/cm) | T (°C) |
| H1                      | medida inicial | 9,63       | 28,8   | 9,62       | 28,9   | 9,62       | 28,9   | 9,62                  | 28,9   |
|                         | salida Humedal | 9,95       | 28,7   | 9,95       | 28,7   | 9,95       | 28,7   | 9,95                  | 28,7   |
| H2                      | medida inicial | 13,4       | 28,9   | 13,39      | 28,9   | 13,39      | 28,9   | 13,39                 | 28,9   |
|                         | salida Humedal | 13,54      | 28,1   | 13,53      | 28,1   | 13,53      | 28,1   | 13,53                 | 28,1   |
| H3                      | medida inicial | 12,54      | 23,0   | 12,57      | 22,8   | 12,57      | 22,8   | 12,56                 | 22,9   |
|                         | salida Humedal | 9,36       | 22,7   | 9,38       | 22,6   | 9,39       | 22,5   | 9,38                  | 22,6   |

Fuente: Autor

**Tabla 14: Medidas de pH para la salida de los humedales**

| Humedal | medida de pH |      |
|---------|--------------|------|
| H1      | pH inicial   | 5,24 |
|         | pH salida    | 7,65 |
| H2      | pH inicial   | 5,7  |
|         | pH salida    | 7,64 |
|         | pH inicial   | 4,88 |
|         | pH salida    | 7,77 |
| H3      | pH inicial   | 5,06 |
|         | pH salida    | 8,49 |

Fuente: Autor

De acuerdo con los datos que se relacionan en las tablas 13, 14 y 15 el humedal 3 cuyo tiempo de retención hidráulica es de 14 días, es el que reporta una disminución en el valor de la conductividad y sulfatos, es decir con este tiempo de retención hidráulica se alcanza

una disminución en la presencia de sales en los residuos de DQO del 25,32% y de sulfatos en un 47,06%. En cuanto al pH para todos los humedales se dio un aumento en dicho valor, todos quedaron con un pH por encima de 7 a la salida del proceso dando cumplimiento a lo establecido por la norma.

### **6.3 Propuesta para la gestión integral de residuos peligrosos de los laboratorios de aguas y ciencias básicas de Unisangil**

De acuerdo con los resultados obtenidos y la experiencia adquirida, se plantean varias propuestas para la gestión integral de residuos en los laboratorios, teniendo en cuenta las características de los mismos, las condiciones de trabajo y posibilidades de desarrollo en las instalaciones de los laboratorios y de este modo dar cumplimiento a lo establecido por la legislación ambiental aplicable; para lo cual es importante tener en cuenta los siguientes aspectos

- **Clasificación de los residuos peligrosos.**

Siguiendo lo establecido el decreto 4741 de 2005 anexos I, II y III y lo definido por las normas internacionales; los residuos peligrosos se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ Grupo I: Disolventes Halogenados. Residuos líquidos orgánicos que contienen más del 2% de algún halógeno. Ejemplos: diclorometano, cloroformo, tetracloruro de carbono, entre otros.
- ✓ Grupo II: Disolventes no Halogenados- Residuos líquidos orgánicos que contengan menos de un 2% en halógenos; por ejemplo, el metanol, etanol, formaldehído, dimetilamina, acetona, entre otros.
- ✓ Grupo III: Disoluciones Acuósas con Metales Pesados. Soluciones acuósas de metales pesados: Níquel, plomo, cromo, vanadio, cobalto, estaño, bromo, bario, plata, cadmio, selenio, fijadores. Y soluciones acuósas de cromo (VI).

- ✓ Grupo III: Disoluciones Acuosa libre de Metales Pesados. Soluciones acuosas básicas: hidróxido sódico, hidróxido potásico. Otras soluciones acuosas inorgánicas: reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros. Soluciones acuosas de colorantes: naranja de metilo, fenolftaleína.
- ✓ Grupo IV: Ácidos. ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas.
- ✓ Grupo V: Aceites. aceites minerales derivados de operaciones de mantenimiento
- ✓ Grupo VI: Sólidos orgánicos. productos químicos de naturalezas orgánicas o contaminadas con productos químicos orgánicos
- ✓ Grupo VI: Sólidos inorgánicos. productos químicos de naturaleza inorgánica ejemplo sales de metales pesados.
- ✓ Grupo VII: Especiales. Reactivos puros vencidos y residuos que, por su elevada peligrosidad, no deben ser incluidos en ninguno de los otros grupos.

- **Tratamiento.**

Para el tratamiento de los residuos generados en los laboratorios se propone seguir las líneas de actuación que recomienda la unión europea:

- Minimizar su generación. Es decir, actuar sobre el consumo para evitar la generación de grandes cantidades.
- Reciclar. Es decir, reutilizar los residuos en otros procesos o en el mismo.
- Eliminar de forma segura los residuos. Revisar las fichas de seguridad de los reactivos para saber qué hacer una vez se generan estos residuos.

A continuación, se presenta una tabla donde a modo de resumen se presentan los tratamientos a seguir con los residuos que se generan en los laboratorios; teniendo en cuenta los pequeños volúmenes de generación y la peligrosidad de los mismos. Se requiere la incorporación de un apartado que incluya éstos tratamientos en las guías de laboratorio, para que los estudiantes y docentes cumplan con los procedimientos requeridos.

**Tabla 15: Tratamiento sugerido para los residuos peligrosos generados**

| RESIDUO                                                    | ALMACENAMIENTO O TRATAMIENTO INMEDIATO                                                                                                                                                                                             | DISPOSICIÓN                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Residuos líquidos</b>                                   |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                         |
| <b>Ácido sulfúrico</b>                                     | Diluir con agua fría y neutralizar con NaOH al 5%                                                                                                                                                                                  | Verter en el desagüe con abundante agua.                                                                                                                |
| <b>Ácidos orgánicos</b>                                    | Diluir en agua y neutralizar con $\text{NaHCO}_3$                                                                                                                                                                                  | Verter en el desagüe con abundante agua.                                                                                                                |
| <b>Soluciones básicas y amoníaco</b>                       | Neutralizar                                                                                                                                                                                                                        | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Aldehídos</b>                                           | Con agitación permanente añadir al aldehído (aproximadamente 10 ml de agua por cada ml de aldehído) en un exceso de blanqueador comercial (25 ml de blanqueador por cada 1 ml de formaldehído). Continuar agitación por 20 minutos | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Cianuros</b>                                            | Mezclar con $(\text{ClO})_2 \text{Ca}$ (disolución alcalina). Dejar en reposo por 24 horas                                                                                                                                         | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Clorhidrinas y nitroparafinas</b>                       | Neutralizar con $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Neutralizar.                                                                                                                                                                            | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Haluros de ácidos orgánicos</b>                         | Neutralizar con $\text{NaHCO}_3$ y agua.                                                                                                                                                                                           | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Nitrato de plata</b>                                    | Se lleva a pH 2. se agrega ácido clorhídrico o cloruro de sodio para precipitar la Plata como AgCl. Se filtra el precipitado.                                                                                                      | El sólido se almacena en el recipiente marcado con Grupo VI Residuos inorgánicos y el líquido se neutraliza y se desecha al drenaje con abundante agua. |
| <b>Peróxidos inorgánicos.</b>                              | Diluir                                                                                                                                                                                                                             | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Sales inorgánicas</b>                                   | Añadir un exceso de $\text{Na}_2\text{CO}_3$ y agua. Dejar en reposo por 24 horas. Neutralizar con HCl 6M                                                                                                                          | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Sulfuros inorgánicos</b>                                | Añadir una disolución de $\text{FeCl}_3$ con agitación. Neutralizar ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).                                                                                                                                  | Verter al desagüe                                                                                                                                       |
| <b>Soluciones acuosas con presencia de metales pesados</b> | Almacenamiento en Recipiente de polietileno de alta densidad y alto peso molecular                                                                                                                                                 | Entrega a la empresa certificada para el desarrollo de procesos de disposición final.                                                                   |
| <b>Residuos sólidos</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                         |
| <b>Corto punzantes</b>                                     | Guardianes de Seguridad                                                                                                                                                                                                            | Entrega a la empresa Sandesol para disposición final.                                                                                                   |

|                                |                                                                                                     |                                         |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Residuos convencionales</b> | Almacenamiento en bolsas de diferente color y por separado. (Haciendo uso de los puntos ecológicos) | Entrega a la empresa de aseo municipal. |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|

Fuente: Autor

- **Recomendaciones para el desarrollo del proceso.**

Los recipientes para el almacenamiento de los residuos deben estar debidamente marcados, cumpliendo con los criterios que tiene definido el laboratorio de acuerdo con los protocolos de seguridad y los compromisos con la empresa de recolección, tratamiento y disposición final de los mismos.

Se deben utilizar los elementos de protección personal requeridos para el trabajo en laboratorio durante el proceso de desactivación o almacenamiento de residuos.

De acuerdo con la peligrosidad que representan se realizaron algunos análisis para el tratamiento en el laboratorio de los residuos de DQO a través de ensayos de bioadsorción para la remoción de cromo VI y ensayos con humedales artificiales con el fin de reducir la carga contaminante. Dichas pruebas resultaron efectivas para este tipo de residuos específicamente para este contaminante, por tanto, se recomienda su utilización iniciando con un proceso de neutralización de los residuos hasta llevarlos a pH 5.7, luego uso de la 0.2 g. cáscara de plátano verde como bioadsorbente por cada 20 ml de residuos y por una hora de contacto. Finalmente estos residuos se pasan por el humedal H2 que tiene un tiempo de retención hidráulica de siete días; con esto se garantiza el cumplimiento de lo establecido por la norma para la presencia de cromo VI en residuos líquidos; pero se requiere el desarrollo de análisis de laboratorio en lo referente a la presencia de mercurio para definir la efectividad de los tratamientos utilizados en este compuesto previo su vertimiento al sistema de tratamiento que tiene la institución para las aguas residuales de la sede la Ceiba.

- **Estrategias de Educación ambiental.**

Como estrategia se definió la inclusión de los tratamientos de disposición final para los reactivos utilizados en cada una de las guías de laboratorio; al igual que la señalización del lugar de almacenamiento de residuos y el etiquetado de los recipientes que almacenarán los mismos; de este modo se garantizará la neutralización o almacenamiento adecuado antes de su disposición final.

De igual modo se definió que en la primer visita de reconocimiento que realizan al laboratorio los grupos de estudiantes y docentes; se incluya la charla sobre el manejo adecuado de residuos peligrosos por parte de los auxiliares de laboratorio.

En el caso del personal del laboratorio como parte del proceso de inducción que se debe dar al personal nuevo se incluyó esta temática como parte del ejercicio de inducción sobre el manejo de reactivos y equipos.

Asimismo como producto de los ensayos realizados con el biadsorbente se definió una nueva guía de laboratorio dentro del programa de la asignatura Operaciones Unitarias; asignatura que cursan en el 8 semestre los estudiantes de ingeniería ambiental, en la que reconocen diversas operaciones para el tratamiento de contaminantes en el agua y el suelo. La descripción de la guía se realiza en el anexo F.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

El diagnóstico inicial realizado a los laboratorios de aguas y ciencias básicas de Unisangil permitió establecer que el principal impacto que está ocasionando es ausencia de un plan de manejo de residuos peligrosos al interior de sus instalaciones; pues a pesar que se tiene establecido un procedimiento para la entrega de residuos sólidos peligrosos no se hace este mismo tratamiento con los residuos líquidos generados y no se tiene documentado los procedimientos a llevar a cabo para el proceso de separación, manejo y disposición final de los mismos.

Los residuos generados en los laboratorios se convierten en el aspecto ambiental más importante, pues la inadecuada disposición que se le estaba dando principalmente en los laboratorios de ciencias básicas de Unisangil, que consistía en el vertido directo al sistema de alcantarillado; era reflejo del desconocimiento por parte de los docentes y estudiantes del daño que dichos residuos generan al ambiente a pesar de las bajas cantidades de generación. En este sentido la evaluación y aplicación de estrategias para el manejo de residuos peligrosos en pequeños generadores como son los laboratorios universitarios, se convierten en un instrumento que además de permitir un manejo ambientalmente sostenible de este tipo de residuos, involucra a docentes, estudiantes y administrativos del laboratorio en procesos de educación ambiental que permitan el éxito de los planes formulados.

El uso de cáscara de plátano verde CPV para la remoción de cromo VI de los residuos de los ensayos de DQO generados permitió definir que los factores cantidad de CPV y pH de los residuos, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje remoción con un 95,0% de nivel de confianza y el tiempo de contacto con el bioadsorbente no se considera

un factor determinante para el proceso de acuerdo con el análisis estadístico realizado. Asimismo, se pudo establecer que en el caso de pH el rango de 5,24 presenta los mayores porcentajes de remoción de cromo VI el  $75,0163 \pm 1.712\%$ . y con respecto a la cantidad de CPV, cuando se utilizaron 0,2 g se obtuvo un porcentaje promedio de remoción del  $75,642 \pm 1.53\%$

Para los ensayos realizados con los humedales artificiales de flujo subsuperficial los resultados y el análisis estadístico realizado permitieron establecer que el Humedal 3 que tiene un tiempo de retención hidráulica de 14 días y con este se obtuvo un porcentaje promedio de remoción para Cr VI del 67.59% con un coeficiente de variación de 0.63%. De igual modo existen diferencias estadísticamente significativas entre las tres pruebas de tratamiento realizadas.

AL realizar el comparativo de los valores de cromo VI con respecto al cumplimiento de la resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público; para el caso del sector actividades asociadas con servicios y otras actividades, en el que se ubican los laboratorios; los humedales el H2 y H3 cumplieron con los valores permisibles, tanto para los niveles de cromo como para pH. Para los ensayos con el bioadsorbente se cumplió con el rango establecido por la norma para los 81 ensayos realizados.

La formulación de un plan para la gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios de ciencias básicas y aguas de Unisangil, permitió conocer, evaluar y diseñar estrategias que permitan la reducción en la generación, el adecuado manejo interno y el desarrollo de procesos tanto de neutralización en la fuente como el desarrollo de sistemas de tratamiento nuevos que permitan que para pequeñas cantidades de residuos peligrosos generados existan alternativas de tratamiento en el lugar de origen; dando cumplimiento a la normatividad ambiental vigente. De igual modo se requiere del compromiso y apoyo tanto de estudiantes, docentes y personal de laboratorio para que cada una de las estrategias planteadas se desarrollen y cumplan con el objetivo para el que fueron planteadas.

## 7.2 Recomendaciones

Evaluar la eficiencia del uso del bioadsorbente y los humedales en la remoción de los demás metales presentes en los residuos líquidos peligrosos generados en el laboratorio y que no pueden ser tratados con un tratamiento de desactivación convencional; a través de análisis de laboratorio especializados para los demás metales pesados presentes que tienen límites permisibles de vertimiento de acuerdo con la norma caso específico de la plata y el mercurio para los residuales de DQO.

Se debe incluir las estrategias definidas para el manejo de residuos peligrosos dentro de las guías de laboratorio de las asignaturas que realizan el componente práctico en los mismos, pues con ello se garantiza un proceso de sensibilización y educación ambiental para estudiantes y docentes, pues el correcto manejo de los residuos se incorpora como parte del desarrollo de cada una de las guías. Del mismo modo debe hacer parte del primer ejercicio de laboratorio para cada una de las asignaturas que hacen uso de éste los protocolos que se definieron para el tratamiento de residuos peligrosos.

Como parte del proceso de implementación de la norma 17025 en el laboratorio de aguas, se deben definir los formatos para llevar los registros sobre generación de residuos y el control frente al manejo definido para cada tipo.

## A. Anexo: Encuestas

### ENCUESTA PARA ESTUDIANTES

**Objetivo:** Reconocer la percepción y el conocimiento que tienen los estudiantes sobre el manejo de residuos peligrosos en los laboratorios.

Asignatura: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_

1. ¿Conoce las fichas de seguridad de los reactivos?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
2. ¿Conoce la peligrosidad de los reactivos que maneja en cada una de las prácticas laboratorio?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
3. ¿Cuáles elementos de bioseguridad utiliza para el trabajo en el laboratorio?  
Guantes de nitrilo: \_\_\_\_\_ Bata: \_\_\_\_\_ Tapabocas: \_\_\_\_\_  
Gafas de protección: \_\_\_\_\_ Máscara con filtro: \_\_\_\_\_ Gorro: \_\_\_\_\_  
Otros (Cuáles) \_\_\_\_\_  
No utiliza: \_\_\_\_\_
4. ¿A recibido capacitación sobre el manejo adecuado de reactivos y residuos de laboratorio? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles.  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. ¿Existe en el laboratorio un proceso de segregación de los residuos generados durante el desarrollo de las prácticas? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles.  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
6. Existen en el laboratorio procedimientos para la recolección, almacenamiento y segregación de residuos peligrosos  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
7. ¿Existe un lugar o recipientes para el almacenamiento de los residuos sólidos y líquidos generados en el laboratorio durante las prácticas?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
Qué tipo de recipientes: \_\_\_\_\_
8. ¿Se ejecutan procesos de desactivación de residuos en el laboratorio? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles y quién los realiza  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

## ENCUESTA PARA MONITORES Y COORDINADOR DE LABORATORIOS

**Objetivo:** Conocer la situación actual respecto al manejo y disposición final de los residuos peligrosos generados en los laboratorios

Nombre: \_\_\_\_\_

Horario de trabajo en el laboratorio: \_\_\_\_\_

1. ¿Conoce las fichas de seguridad de los reactivos?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
2. ¿Conoce la peligrosidad de los reactivos que maneja en el laboratorio?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
3. ¿Existe en el laboratorio un protocolo para el manejo de los residuos generados?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
4. ¿A recibido capacitación sobre el manejo adecuado de reactivos y residuos de laboratorio? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles.  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. ¿Realiza proceso de segregación de residuos durante el desarrollo de las prácticas de laboratorio? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles.  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
6. Existen en el laboratorio procedimientos para la recolección, almacenamiento y segregación de residuos peligrosos  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
7. ¿Existe un lugar o recipientes para el almacenamiento de los residuos generados en el laboratorio durante las prácticas?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
8. Qué tipo de recipientes: \_\_\_\_\_
9. ¿Se ejecutan procesos de desactivación de residuos en el laboratorio? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles y quién los realiza  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
10. ¿Qué cantidad de residuos se genera en los laboratorios semestralmente?  
Laboratorio de aguas: \_\_\_\_\_  
Laboratorio de ciencias básicas: \_\_\_\_\_
11. ¿Qué tipo de residuos se generan en el laboratorio?  
Laboratorio de aguas: \_\_\_\_\_

Laboratorio ciencias básicas: \_\_\_\_\_

### ENCUESTA PARA DOCENTES

**Objetivo:** Reconocer la percepción y el conocimiento que tienen los docentes sobre el manejo de residuos peligrosos en los laboratorios.

Nombre: \_\_\_\_\_

Asignatura que orienta: \_\_\_\_\_

1. ¿Conoce las fichas de seguridad de los reactivos?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
2. ¿Conoce la peligrosidad de los reactivos que maneja en el laboratorio?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
3. ¿A recibido capacitación sobre el manejo adecuado de reactivos y residuos de laboratorio? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles.  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
4. ¿Existe en el laboratorio un protocolo para el manejo de los residuos generados?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
5. ¿Dentro de la información que les entrega a sus estudiantes para el desarrollo de las prácticas les incluye una guía o instrucciones para manejo de los residuos generados?  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_
6. ¿Realiza proceso de segregación de residuos durante el desarrollo de las prácticas de laboratorio? Si su respuesta es positiva describa brevemente cuáles.  
Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

## B. Anexo: Identificación de aspectos ambientales

| ÁREA / SECCIÓN                                 | ASPECTOS AMBIENTALES (ENTRADAS)                                                                      |                |                                                                                              |                                                                                                                        |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | MATERIAS PRIMAS / INSUMOS                                                                            | COMBUSTIBLES   | ELECTRICIDAD                                                                                 | AGUA                                                                                                                   |
| Área administrativa                            | Papelería, computador, materiales de oficina                                                         | No se requiere | Se requiere para el funcionamiento de los equipos de cómputo e iluminación de las áreas.     | No Aplica                                                                                                              |
| Área para el procesamiento físicoquímico.      | Reactivos, Detergente, muestras para análisis                                                        | No se requiere | Se requiere para iluminación y funcionamiento de equipos de laboratorio y cámara extractora  | Se requiere agua destilada y agua para lavado                                                                          |
| Área para microbiología                        | Cepas biológicas, papel kraft, reactivos, filtros, papel absorbente                                  | No aplica      | Se requiere para iluminación y funcionamiento de equipos.                                    | Se requiere agua destilada y agua para lavado                                                                          |
| Área de almacenamiento de reactivos y muestras | Reactivos, muestras para análisis                                                                    | No aplica      | Se requiere para iluminación de las áreas y funcionamiento de las neveras de almacenamiento. | No aplica                                                                                                              |
| Área de aseo.                                  | Elementos para aseo, bolsas de aseo, escoba, traperos, esponjas, toallas desechables, guantes, balde | No aplica      | Se requiere para iluminación.                                                                | Se requiere para el lavado de las áreas y el uso de duchas y lavajeros al presentarse incidentes que así lo requieran. |
|                                                |                                                                                                      |                |                                                                                              |                                                                                                                        |
| ÁREA / SECCIÓN                                 | ASPECTOS AMBIENTALES (SALIDAS)                                                                       |                |                                                                                              |                                                                                                                        |
|                                                | EMISIONES                                                                                            | RUIDO          | VERTIMIENTO                                                                                  | RESIDUOS                                                                                                               |
| Área administrativa                            | No Aplica                                                                                            | No Aplica      | No Aplica                                                                                    | Papeles, cartón, plástico,                                                                                             |

|                                                |                                                                    |                                                                           |                                                                       |                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área para el procesamiento fisicoquímico.      | Se generan al utilizar los reactivos.                              | se genera en el uso de algunos equipos como la cámara extractora de gases | Resto de agua de muestra, restos de reactivo y de muestras procesadas | Generación de residuos peligrosos, baterías, envases de reactivo, filtros, guantes, tapabocas, gorros. Residuos líquidos con trazas de metales pesados |
| Área para microbiología                        | No Aplica                                                          | se genera en el uso de algunos equipos                                    | Resto de agua de muestra                                              | Generación de residuos biológicos, generación de residuos sólidos.                                                                                     |
| Área de almacenamiento de reactivos y muestras | Se pueden generar vapores al manipular reactivos en la habitación. | No aplica                                                                 | Se generan residuales de muestras almacenadas.                        | Residuos sólidos y líquidos peligrosos como recipientes y reactivos vencidos.                                                                          |
| Área de aseo.                                  | No Aplica                                                          | No Aplica                                                                 | Se generan aguas residuales de procesos de lavado de dichas áreas.    | Residuos peligrosos en almacenamiento previo al proceso de recolección por parte de la empresa encargada de su tratamiento y disposición final.        |

## C. Anexo: Relación de reactivos y cantidades utilizadas en los laboratorios de aguas y ciencias básicas.

### Relación de reactivos y cantidades utilizadas en el laboratorio de Aguas

| Reactivos                   | Cantidad por muestra |     | Cantidad por 60 muestras |     |
|-----------------------------|----------------------|-----|--------------------------|-----|
| Ácido clorhídrico           | 0,136                | ml  | 8,182                    | ml  |
| Ácido sulfúrico             | 0,022                | ml  | 1,334                    | ml  |
| Agar Chromocult             | 0,265                | g   | 15,900                   | g   |
| Agar Plate Count            | 0,235                | g   | 14,100                   | g   |
| Agua destilada              | 3181,950             | ml  | 190917,000               | ml  |
| Alcohol etílico             | 0,500                | ml  | 30,000                   | ml  |
| Buffer 10,01                | 60,000               | ml  | 3600,000                 | ml  |
| Buffer 4,01                 | 60,000               | ml  | 3600,000                 | ml  |
| Buffer 7,00                 | 60,000               | ml  | 3600,000                 | ml  |
| Cloruro de amonio           | 0,135                | g   | 8,112                    | g   |
| Cloruro de bario            | 1,000                | g   | 60,000                   | g   |
| Cloruro de sodio            | 2,000                | g   | 120,000                  | g   |
| Cromato de potasio          | 0,050                | g   | 3,000                    | g   |
| DPD                         | 0,006                | g   | 0,330                    | g   |
| EDTA                        | 0,153                | g   | 9,190                    | g   |
| EDTA sal de magnesio        | 0,010                | g   | 0,600                    | g   |
| Estándar de 1000 $\mu$ s/cm | 10,000               | ml  | 600,000                  | ml  |
| Fenantrolina                | 0,100                | g   | 6,000                    | g   |
| Fosfato ácido de disodio    | 0,120                | g   | 7,200                    | g   |
| Fosfato diácido de potasio  | 0,230                | g   | 13,800                   | g   |
| Glicerina                   | 0,250                | ml  | 15,000                   | ml  |
| Hidróxido de amonio         | 1,144                | ml  | 68,640                   | ml  |
| Hidróxido de sodio          | 0,117                | g   | 7,020                    | g   |
| Membrana                    | 2,000                | Und | 120,000                  | Und |
| Murexida                    | 0,005                | g   | 0,300                    | g   |
| Negro T de eriocromo        | 0,005                | g   | 0,300                    | g   |

| Reactivos                     | Cantidad por muestra |   | Cantidad por 60 muestras |   |
|-------------------------------|----------------------|---|--------------------------|---|
| Nitrato de plata              | 0,048                | g | 2,874                    | g |
| Sulfato de hierro y de amonio | 0,022                | g | 1,327                    | g |

Fuente: Autor

### Relación de reactivos y cantidades utilizadas en el laboratorio de ciencias básicas

| Reactivo                      | Cantidad |    | Cantidad                    |    |
|-------------------------------|----------|----|-----------------------------|----|
| <b>TOTAL QUÍMICA GENERAL</b>  |          |    | <b>Grupos de trabajo 15</b> |    |
| Ácido clorhídrico 0,1 N       | 0,0829   | ml | 1,2435                      | ml |
| Agua de lavado                | 500      | ml | 7500                        | ml |
| Agua de lavado                | 500      | ml | 7500                        | ml |
| Agua destilada                | 500      | ml | 7500                        | ml |
| Agua destilada                | 500      | ml | 7500                        | ml |
| Agua destilada                | 400      | ml | 6000                        | ml |
| Gaseosa                       | 250      | ml | 3750                        | ml |
| Hidróxido de sodio 0,1 N      | 0,04     | g  | 0,6                         | g  |
| Leche                         | 250      | ml | 3750                        | ml |
| Sulfato de cobre              | 1        | g  | 15                          | g  |
| Tinto                         | 250      | ml | 3750                        | ml |
| <b>TOTAL QUÍMICA ORGÁNICA</b> |          |    | <b>Grupos 7</b>             |    |
| 1-Butanol                     | 0,75     | ml | 5,25                        | ml |
| 1-Butanol                     | 0,5      | ml | 3,5                         | ml |
| 2-Butanol                     | 0,75     | ml | 5,25                        | ml |
| 2-Butanol                     | 0,5      | ml | 3,5                         | ml |
| 3-Butanol                     | 0,75     | ml | 5,25                        | ml |
| 3-Butanol                     | 0,5      | ml | 3,5                         | ml |
| Acetato de sodio anhidro      | 3        | g  | 21                          | g  |
| Acetona                       | 5        | ml | 35                          | ml |
| Ácido clorhídrico             | 12       | ml | 84                          | ml |
| Ácido sulfúrico               | 9        | ml | 63                          | ml |
| Ácido sulfúrico               | 0,2      | ml | 1,4                         | ml |
| Agua de bromo                 | 5        | ml | 35                          | ml |
| Agua de lavado                | 500      | ml | 3500                        | ml |
| Agua de lavado                | 500      | ml | 3500                        | ml |
| Agua de lavado                | 1000     | ml | 7000                        | ml |
| Agua de lavado                | 1000     | ml | 7000                        | ml |
| Agua de lavado                | 1000     | ml | 7000                        | ml |

| Reactivo                      | Cantidad |     | Cantidad      |           |
|-------------------------------|----------|-----|---------------|-----------|
| Agua destilada                | 100      | ml  | 700           | ml        |
| Agua destilada                | 50       | ml  | 350           | ml        |
| Alcohol etílico               | 15       | ml  | 105           | ml        |
| Alcohol etílico               | 12       | ml  | 84            | ml        |
| Arena                         | 9        | g   | 63            | g         |
| Benzaldehído                  | 5        | ml  | 35            | ml        |
| Cal sodada                    | 3        | g   | 21            | g         |
| Cloruro de sodio              | 20       | g   | 140           | g         |
| Etanol                        | 3,5      | ml  | 24,5          | ml        |
| Fehling A                     | 1        | ml  | 7             | ml        |
| Fehling B                     | 1        | ml  | 7             | ml        |
| Hidróxido de sodio            | 2        | g   | 14            | g         |
| Manteca de cerdo              | 20       | g   | 140           | g         |
| Papel filtro                  | 1        | und | 7             | und       |
| Permanganato de potasio       | 0,5      | g   | 3,5           | g         |
| Permanganato de potasio       | 0,4      | g   | 2,8           | g         |
| Reactivo de Lucas             | 6        | ml  | 42            | ml        |
| Tetracloruro de carbono       | 2        | ml  | 14            | ml        |
| Tetracloruro de carbono       | 2        | ml  | 14            | ml        |
| Tollens A                     | 1        | ml  | 7             | ml        |
| Tollens B                     | 1        | ml  | 7             | ml        |
| <b>TOTAL ANÁLISIS QUÍMICO</b> |          |     | <b>Grupos</b> | <b>10</b> |
| Acetato de sodio hidratado    | 3        | g   | 30            | g         |
| Ácido clorhídrico             | 0,581    | ml  | 5,81          | ml        |
| Ácido Fosfórico               | 0,0375   | ml  | 0,375         | ml        |
| Ácido Fosfórico               | 0,0375   | ml  | 0,375         | ml        |
| Ácido sulfúrico               | 0,19229  | ml  | 1,9229        | ml        |
| Agua de lavado                | 1000     | ml  | 10000         | ml        |
| Agua de lavado                | 1000     | ml  | 10000         | ml        |
| Agua de lavado                | 1000     | ml  | 10000         | ml        |
| Agua de lavado                | 1000     | ml  | 10000         | ml        |
| Agua de lavado                | 250      | ml  | 2500          | ml        |
| Agua de lavado                | 1000     | ml  | 10000         | ml        |
| Agua destilada                | 1000     | ml  | 10000         | ml        |
| Agua destilada                | 100      | ml  | 1000          | ml        |
| Agua destilada                | 2000     | ml  | 20000         | ml        |
| Agua destilada                | 100      | ml  | 1000          | ml        |
| Agua destilada                | 100      | ml  | 1000          | ml        |

| Reactivo                                                  | Cantidad |    | Cantidad      |           |
|-----------------------------------------------------------|----------|----|---------------|-----------|
| Agua lluvia                                               | 25       | ml | 250           | ml        |
| Agua potable                                              | 25       | ml | 250           | ml        |
| Carbonato de calcio                                       | 0,3      | g  | 3             | g         |
| Clorox comercial (Solución de hipoclorito de sodio al 5%) | 25       | ml | 250           | ml        |
| Cloruro de potasio                                        | 1,11     | g  | 11,1          | g         |
| Cloruro de sodio                                          | 8        | g  | 80            | g         |
| Fosfato monobásico de potasio                             | 0,5      | g  | 5             | g         |
| Gaseosa negra                                             | 25       | ml | 250           | ml        |
| Hidróxido de potasio                                      | 0,1624   | g  | 1,624         | g         |
| Jugo de naranja natural                                   | 25       | ml | 250           | ml        |
| Leche                                                     | 25       | ml | 250           | ml        |
| Limpiador de vidrios                                      | 25       | ml | 250           | ml        |
| Permanganato de potasio                                   | 0,5      | g  | 5             | g         |
| Sacarosa                                                  | 6        | g  | 60            | g         |
| Salmuera (agua con una cucharadita de sal)                | 25       | ml | 250           | ml        |
| Solución de colorante para alimentos                      | 25       | ml | 250           | ml        |
| Solución de jabón (agua con jabón en polvo)               | 25       | ml | 250           | ml        |
| Sulfato de cobre                                          | 5        | g  | 50            | g         |
| Tinto                                                     | 25       | ml | 250           | ml        |
| <b>BIOLOGÍA</b>                                           |          |    | <b>Grupos</b> | <b>10</b> |
| Aceite de inmersión                                       | 0,1      | ml | 1             | ml        |
| Aceite de inmersión                                       | 0,1      | ml | 1             | ml        |
| Aceite de inmersión                                       | 0,1      | ml | 1             | ml        |
| Aceite de ricino                                          | 2        | ml | 20            | ml        |
| Ácido nítrico                                             | 1        | ml | 10            | ml        |
| Agua de lavado                                            | 1000     | ml | 10000         | ml        |
| Agua de lavado                                            | 100      | ml | 1000          | ml        |
| Agua de lavado                                            | 500      | ml | 5000          | ml        |
| Agua de lavado                                            | 100      | ml | 1000          | ml        |
| Agua destilada                                            | 1000     | ml | 10000         | ml        |
| Albúmina de huevo                                         | 15       | g  | 150           | g         |
| Almidón                                                   | 0,01     | g  | 0,1           | g         |
| Eosina                                                    | 0,01     | g  | 0,1           | g         |
| Etanol                                                    | 1        | ml | 10            | ml        |
| Fehling A                                                 | 1        | ml | 10            | ml        |
| Fehling B                                                 | 1        | ml | 10            | ml        |

81      Análisis de estrategias para el manejo integral de los residuos peligrosos generados  
en los laboratorios de aguas y ciencias básicas de Unisangil- sede San Gil

---

| Reactivo             | Cantidad |    | Cantidad      |           |
|----------------------|----------|----|---------------|-----------|
| Glucosa              | 0,01     | g  | 0,1           | g         |
| Hematoxilina         | 0,01     | g  | 0,1           | g         |
| Hidróxido de sodio   | 0,01     | g  | 0,1           | g         |
| Hidróxido de sodio   | 0,08     | g  | 0,8           | g         |
| Lugol                | 0,15     | ml | 1,5           | ml        |
| Orceína acética A    | 5        | ml | 50            | ml        |
| Orceína acética B    | 1        | ml | 10            | ml        |
| Sudan III            | 0,0015   | g  | 0,015         | g         |
| Sulfato de cobre     | 0,0015   | g  | 0,015         | g         |
| <b>MICROBIOLOGÍA</b> |          |    | <b>Grupos</b> | <b>10</b> |
| Aceite de inmersión  | 0,1      | ml | 1             | ml        |
| Aceite de inmersión  | 0,1      | ml | 1             | ml        |
| Aceite de inmersión  | 0,1      | ml | 1             | ml        |
| Aceite de inmersión  | 0,1      | ml | 1             | ml        |
| Agar                 | 12,5     | g  | 125           | g         |
| Agua de lavado       | 4000     | ml | 40000         | ml        |
| Agua destilada       | 500      | ml | 5000          | ml        |
| Azul de lactofenol   | 0,25     | ml | 2,5           | ml        |
| Glucosa              | 20       | g  | 200           | g         |
| Levadura seca        | 5        | g  | 50            | g         |
| Violeta de gram      | 2        | ml | 20            | ml        |

Fuente: Autor

## D.Anexo: Datos proceso de neutralización y ensayos de bioadsorción

### Neutralización de desechos de DQO

| Cantidad de Residuo D.Q.O (ml) | pH   | Cantidad de NaOH al 30% (ml) | Volumen final (ml) | Sulfatos de Sodio precipitado (g) |
|--------------------------------|------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 100                            | 7,36 | 212                          | 312                | 112,89                            |
| 200                            | 5,05 | 674                          | 874                | 358,91                            |
| 236                            | 5,05 | 484                          | 720                | 257,73                            |
| 100                            | 4,93 | 277                          | 377                | 147,50                            |
| 200                            | 5,02 | 549                          | 749                | 292,34                            |
| 100                            | 5,06 | 196                          | 296                | 104,37                            |
| 200                            | 5,04 | 198                          | 398                | 105,44                            |
| 100                            | 5,05 | 170                          | 270                | 90,53                             |
| 200                            | 5,09 | 198                          | 398                | 105,44                            |
| 200                            | 5,35 | 197                          | 397                | 104,90                            |
| 300                            | 5,06 | 464                          | 764                | 247,08                            |
| 300                            | 5,09 | 450                          | 750                | 239,63                            |
| 300                            | 5,01 | 565                          | 865                | 300,86                            |
| 300                            | 5,05 | 572                          | 872                | 304,59                            |
| 300                            | 5,06 | 620                          | 920                | 330,15                            |
| 200                            | 5,01 | 253                          | 453                | 134,72                            |
| 100                            | 5    | 135                          | 235                | 71,89                             |

Fuente: Autor

- Datos ensayos con el bioadsorbente CPV.

| Ensayo No. | Tiempo de agitación (horas) | Masa CPV (g) | pH   | Diámetro CPV ( $\mu\text{m}$ ) | Concentración de Cromo inicial (mg/l) | Concentración de Cromo final (mg/l) | % de Remoción |
|------------|-----------------------------|--------------|------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 1          | 1                           | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,18                                  | 0,32                                | 72,88         |
|            |                             | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,15                                  | 0,31                                | 73,04         |
|            |                             | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,17                                  | 0,34                                | 70,94         |
| 2          | 2                           | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,18                                  | 0,41                                | 65,26         |
|            |                             | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,15                                  | 0,39                                | 66,09         |
|            |                             | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,17                                  | 0,4                                 | 65,81         |
| 3          | 3                           | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,18                                  | 0,22                                | 81,36         |
|            |                             | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,15                                  | 0,21                                | 81,74         |
|            |                             | 0,5          | 5,24 | < 75                           | 1,17                                  | 0,22                                | 81,20         |
| 4          | 1                           | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,97                                  | 0,23                                | 76,35         |
|            |                             | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,98                                  | 0,24                                | 75,51         |
|            |                             | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,95                                  | 0,22                                | 76,84         |
| 5          | 2                           | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,97                                  | 0,25                                | 74,29         |
|            |                             | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,98                                  | 0,28                                | 71,43         |
|            |                             | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,95                                  | 0,23                                | 75,79         |
| 6          | 3                           | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,97                                  | 0,33                                | 66,06         |
|            |                             | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,98                                  | 0,35                                | 64,29         |
|            |                             | 1,5          | 5,24 | < 75                           | 0,95                                  | 0,31                                | 67,37         |
| 7          | 1                           | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 1,07                                  | 0,27                                | 72,23         |
|            |                             | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 0,91                                  | 0,08                                | 91,84         |
|            |                             | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 0,87                                  | 0,07                                | 92,63         |
| 8          | 2                           | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 1,07                                  | 0,28                                | 71,21         |
|            |                             | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 0,91                                  | 0,27                                | 72,45         |
|            |                             | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 0,87                                  | 0,26                                | 72,63         |
| 9          | 3                           | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 1,07                                  | 0,19                                | 82,22         |
|            |                             | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 0,91                                  | 0,15                                | 83,52         |
|            |                             | 0,2          | 5,24 | < 75                           | 0,87                                  | 0,17                                | 80,46         |
| 1          | 1                           | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,17                                  | 0,34                                | 70,94         |
|            |                             | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,14                                  | 0,33                                | 71,05         |
|            |                             | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,15                                  | 0,33                                | 71,30         |
| 2          | 2                           | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,17                                  | 0,41                                | 64,96         |
|            |                             | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,14                                  | 0,42                                | 63,16         |
|            |                             | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,15                                  | 0,44                                | 61,74         |
| 3          | 3                           | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,17                                  | 0,26                                | 77,78         |
|            |                             | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,14                                  | 0,25                                | 78,07         |
|            |                             | 0,5          | 5,7  | < 75                           | 1,15                                  | 0,24                                | 79,13         |

| Ensayo No. | Tiempo de agitación (horas) | Masa CPV (g) | pH   | Diámetro CPV ( $\mu\text{m}$ ) | Concentración de Cromo inicial (mg/l) | Concentración de Cromo final (mg/l) | % de Remoción |
|------------|-----------------------------|--------------|------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 4          | 1                           | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,17                                  | 0,42                                | 64,10         |
|            |                             | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,14                                  | 0,41                                | 64,04         |
|            |                             | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,15                                  | 0,44                                | 61,74         |
| 5          | 2                           | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,17                                  | 0,45                                | 61,54         |
|            |                             | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,14                                  | 0,44                                | 61,40         |
|            |                             | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,15                                  | 0,46                                | 60,00         |
| 6          | 3                           | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,17                                  | 0,43                                | 63,25         |
|            |                             | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,14                                  | 0,42                                | 63,16         |
|            |                             | 1,5          | 5,7  | < 75                           | 1,15                                  | 0,41                                | 64,35         |
| 10         | 1                           | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,91                                  | 0,08                                | 91,21         |
|            |                             | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,70                                  | 0,07                                | 90,00         |
|            |                             | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,85                                  | 0,08                                | 90,59         |
| 11         | 2                           | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,91                                  | 0,09                                | 90,11         |
|            |                             | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,87                                  | 0,08                                | 88,57         |
|            |                             | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,85                                  | 0,07                                | 91,76         |
| 12         | 3                           | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,91                                  | 0,11                                | 87,91         |
|            |                             | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,70                                  | 0,11                                | 87,36         |
|            |                             | 0,2          | 5,7  | < 75                           | 0,85                                  | 0,12                                | 85,88         |
| 13         | 1                           | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,41                                  | 0,34                                | 75,82         |
|            |                             | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,30                                  | 0,3                                 | 76,92         |
|            |                             | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,26                                  | 0,29                                | 76,98         |
| 14         | 2                           | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,41                                  | 0,19                                | 86,49         |
|            |                             | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,30                                  | 0,17                                | 86,92         |
|            |                             | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,26                                  | 0,18                                | 85,71         |
| 15         | 3                           | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,41                                  | 0,28                                | 80,09         |
|            |                             | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,30                                  | 0,24                                | 81,54         |
|            |                             | 0,5          | 4,84 | < 75                           | 1,26                                  | 0,25                                | 80,16         |
| 16         | 1                           | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,86                                  | 0,35                                | 59,42         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,85                                  | 0,35                                | 58,82         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,86                                  | 0,35                                | 59,30         |
| 17         | 2                           | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,86                                  | 0,34                                | 60,58         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,85                                  | 0,34                                | 60,00         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,86                                  | 0,33                                | 61,63         |
| 18         | 3                           | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,86                                  | 0,25                                | 71,02         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,85                                  | 0,24                                | 71,76         |

| Ensayo No. | Tiempo de agitación (horas) | Masa CPV (g) | pH   | Diámetro CPV ( $\mu\text{m}$ ) | Concentración de Cromo inicial (mg/l) | Concentración de Cromo final (mg/l) | % de Remoción |
|------------|-----------------------------|--------------|------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
|            |                             | 0,2          | 4,84 | > 75                           | 0,86                                  | 0,23                                | 73,26         |
| 19         | 1                           | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,86                                  | 0,35                                | 59,42         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,88                                  | 0,36                                | 59,09         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,88                                  | 0,35                                | 60,23         |
| 20         | 2                           | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,86                                  | 0,34                                | 60,58         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,88                                  | 0,35                                | 60,23         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,88                                  | 0,35                                | 60,23         |
| 21         | 3                           | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,86                                  | 0,25                                | 71,02         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,88                                  | 0,26                                | 70,45         |
|            |                             | 0,2          | 4,84 | < 75                           | 0,88                                  | 0,26                                | 70,45         |

## **E. ANEXO: Concentración de sulfatos en los residuos a tratar y porcentajes de eficiencia de los humedales.**

### **Variación de la concentración de sulfatos**

| <b>concentración<br/>real de<br/>sulfatos (g/l)</b> | <b>concentración<br/>de sulfatos<br/>dilución 30<br/>(g/l)</b> | <b>concentración<br/>de sulfatos<br/>dilución 21<br/>(g/l)</b> |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 361,83                                              | 12,061                                                         | 17,230                                                         |
| 410,65                                              | 13,688                                                         | 19,555                                                         |
| 357,96                                              | 11,932                                                         | 17,046                                                         |
| 391,25                                              | 13,042                                                         | 18,631                                                         |
| 390,31                                              | 13,010                                                         | 18,586                                                         |
| 352,60                                              | 11,753                                                         | 16,791                                                         |
| 264,91                                              | 8,830                                                          | 12,615                                                         |
| 335,28                                              | 11,176                                                         | 15,966                                                         |
| 264,91                                              | 8,830                                                          | 12,615                                                         |
| 264,24                                              | 8,808                                                          | 12,583                                                         |
| 323,40                                              | 10,780                                                         | 15,400                                                         |
| 319,50                                              | 10,650                                                         | 15,214                                                         |
| 347,82                                              | 11,594                                                         | 16,563                                                         |
| 349,30                                              | 11,643                                                         | 16,633                                                         |
| 358,86                                              | 11,962                                                         | 17,089                                                         |
| 297,40                                              | 9,913                                                          | 14,162                                                         |
| 305,90                                              | 10,197                                                         | 14,567                                                         |

Fuente: Autor

**Porcentajes de remoción reportado para cada humedal**

| <b>Humedales</b> | <b>Concentración inicial (mg/l)</b> | <b>Concentración final (mg/l)</b> | <b>% Remocion</b> |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| H1               | 1,18                                | 0,92                              | 22,00             |
| H1               | 0,97                                | 0,86                              | 11,56             |
| H1               | 1,07                                | 0,95                              | 11,49             |
| H1               | 1,11                                | 0,95                              | 14,41             |
| H2               | 0,77                                | 0,14                              | 81,93             |
| H2               | 0,87                                | 0,03                              | 96,94             |
| H2               | 1,41                                | 0,11                              | 92,36             |
| H2               | 0,86                                | 0,08                              | 90,92             |
| H3               | 1,18                                | 0,38                              | 67,96             |
| H3               | 1,18                                | 0,38                              | 67,96             |
| H3               | 1,22                                | 0,40                              | 67,21             |
| H3               | 1,19                                | 0,39                              | 67,23             |

## F. Anexo: Guía laboratorio de bioadsorción

### LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

|              |                       |         |                                                                                                                                |
|--------------|-----------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASIGNATURA   | OPERACIONES UNITARIAS |         |                                                                                                                                |
| PROGRAMA     | INGENIERÍA AMBIENTAL  |         |                                                                                                                                |
| PRÁCTICA No. | 4.0                   | TÍTULO: | ADSORCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS RESIDUALES DEL LABORATORIO DE AGUAS DE UNISANGIL USANDO MATERIALES DE ORIGEN BIOLÓGICO |

#### 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los campos que preocupa al desarrollo humano y su relación con el ambiente es la generación de residuos y su adecuado tratamiento, debido a que toda actividad del hombre los produce, impactando negativamente sobre el ambiente. Algunos de estos residuos son clasificados como peligrosos y pueden afectar el ecosistema, por lo que los generadores tienen la responsabilidad de realizar las acciones necesarias para que no ocasionen daños a su entorno (Gómez, 2012).

La descarga de metales pesados al ambiente a partir de actividades industriales causa numerosos problemas debido a la toxicidad intrínseca, a su bioacumulación, y a su persistencia en la naturaleza (Sud et al., 2008). Entre estos metales se encuentra el cromo, que no puede ser degradado química ni biológicamente, lo que genera efectos de biomagnificación y ocasiona severos daños a la flora y la fauna, y a la salud humana, tal como lo reporta Chabaane et al. (2011), puesto que el Cr (VI) en el organismo de los seres humanos produce desde erupciones cutáneas, malestares estomacales, úlceras, problemas respiratorios, daños en los riñones y el hígado, alteración del material genético, hasta cáncer de pulmón.

Las técnicas de remoción convencionales de metales en solución, el intercambio iónico o la precipitación química, son a menudo costosas o poco efectivas en presencia de bajas concentraciones del contaminante (Fu & Wang, 2011). La biosorción, captación pasiva de tóxicos por materiales biológicos, es un procedimiento alternativo competitivo, efectivo y de bajo costo.

#### 2. COMPETENCIAS

- Evaluar la eficiencia de la remoción de Cr VI usando bioadsorbentes naturales.
- Aplicar conceptos de secado, reducción de tamaño, tamizado y filtración en un proceso de adsorción.
- Diferenciar las distintas operaciones unitarias utilizadas
- Realizar balances de masa de cada operación unitaria

- Exponer las ideas por medios escritos
- Comprender la realidad que lo rodea
- Capacidad de abstracción análisis y síntesis

### 3.      MARCO TEÓRICO

En Colombia, el manejo y protección de los recursos naturales y el medio ambiente, se ha caracterizado por la evolución de la legislación ambiental, la cual ha sido parcialmente influenciada por la política internacional. Los elementos de la política ambiental que orientan el marco de acción en el país, se encuentran consagrados en la Constitución de 1991, la cual estableció la función ecológica de la propiedad, señaló los deberes ambientales del Estado, los derechos ambientales de los ciudadanos, ordenó la formulación de políticas ambientales como parte del Plan Nacional de Desarrollo e introdujo la noción de desarrollo sostenible como meta para la sociedad (Sánchez, 2002). Las políticas ambientales establecidas desde el Plan Nacional de Desarrollo, se renuevan cada cuatro años, plantean objetivos como promover una producción limpia, desarrollar una gestión ambiental sostenible y orientar comportamientos poblacionales (Red de Desarrollo Sostenible, 2013).

No obstante, Colombia cuenta con referentes históricos desde 1974, en relación con la normatividad ambiental y control de vertimientos, expidiendo el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente en 1974, la Ley 9 de 1979 o Código Sanitario Nacional, la Ley 99 de 1993 que establece normas generales sobre protección al medio ambiente, así como el Decreto 1594 de 1984 que contempla en el Capítulo VI, Del vertimiento de los residuos líquidos, Artículo 84, que los residuos líquidos de laboratorios deben ser sometidos a tratamiento especial (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, 2002). La Ley 1252 (2008) *Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones*, Capítulo 2, Artículo 7 Responsabilidad del Generador, establece que: “El generador será responsable de los residuos peligrosos que él genere”.

En el año 2010, el entonces Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial expidió el Decreto 3930, que reglamenta parcialmente la Ley 9 de 1979 y el Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y promueve mecanismos para la reconversión a tecnologías limpias en la gestión de vertimientos. En relación con la gestión de sustancias químicas, el Perfil Nacional de Sustancias Químicas es un instrumento de enfoque estratégico para este fin, integrándolas al medio ambiente y la salud humana (López, *et al.*, 2012); este documento plantea la preocupación por el uso y disposición de sustancias químicas en Colombia.

En el año 2013, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible divulgó el Plan de Acción Nacional para la gestión de sustancias químicas en Colombia 2013-2020, de acuerdo con las principales problemáticas nacionales identificadas: gobernanza, creación de cooperación y capacidad técnica, conocimiento e información y reducción de los riesgos. El Plan se orienta a cumplir los compromisos enunciados en la Declaración de Dubái sobre gestión de productos químicos a nivel internacional y el objetivo establecido en el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, el cual plantea que para 2020 los productos químicos se utilicen y produzcan reduciendo al mínimo los efectos adversos de importancia en la salud humana y el medio ambiente.

En marzo del año 2015, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presentó el decreto 631 que busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de

agua naturales o artificiales de agua dulce y al sistema de alcantarillado público, para mejorar la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

**Residuos de cromo hexavalente:** La presencia de metales pesados en cuerpos acuáticos constituye un problema grave de contaminación. La mayor fuente de estos metales es la descarga inadecuada de aguas de desecho industrial. Para el caso del cromo hexavalente, estos efluentes se deben tratar con el fin de minimizar su concentración, considerando el gran impacto ambiental que generan, aunque los métodos disponibles para su remoción no son tan eficientes (Gil, Cabrera & Jaramillo, 2003). En la tabla 1-1 se relacionan las características, fuentes e impactos sobre la salud y el medio ambiente del Cr(VI).

Tabla Generalidades de los residuos de Cr(VI). **Residuos de Cr(VI)** <sup>1</sup>

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Características</b>              | Segundo estado de oxidación más estable del cromo (IARC, 2012); se encuentra generalmente bajo la forma de aniones cromato o dicromato soluble, los cuales son muy tóxicos debido a su alto poder oxidante (Gil, <i>et al.</i> , 2003).                                                                                                                                            |
| <b>Fuentes</b>                      | Contaminante ampliamente difundido en el ambiente proveniente de industrias metalúrgicas, de cromado y químicas principalmente (Gil, <i>et al.</i> , 2003).                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Efectos en la salud</b>          | Puede ocasionar cáncer de pulmón y nasal, daños en la membrana de la mucosa nasal, perforación del tabique nasal y asma, dermatitis, reacciones de hipersensibilidad, eczema, y daños en el hígado o riñón. Además, es mutagénico y tóxico para el desarrollo (Occupational Safety and Health Administration Osha, 2009 & Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012). |
| <b>Efectos sobre medio ambiente</b> | Persistencia ambiental y habilidad para inducir una variedad de efectos adversos en los sistemas biológicos; asociado con la presencia de anomalías en varios peces a niveles fisiológico, histológico, bioquímico, enzimático y genético (Velma, Vutukuru & Tchounwou, 2009).                                                                                                     |

#### Alternativas en la remoción de cromo hexavalente

Los tratamientos para la remoción del cromo involucran transformaciones químicas (oxidación-reducción, adsorción y precipitación) y biológicas (reacciones de oxidación-reducción enzimáticas llevadas a cabo por micro organismos y fitorremediación) o procesos de remediación físicos. Estos últimos separan el Cr(VI) del medio contaminado usando resinas de intercambio iónico o carbón activado granular, y/o aislando la contaminación usando barreras físicas (Hawley, Deeb, Kavanaugh & Jacobs, 2004).

Desde el año 2007 se está organizando la información sobre residuos peligrosos en Colombia. En relación con la generación y gestión de estos residuos, en el año 2010 se reportaron en el país 104,7 toneladas de desechos con compuestos de cromo hexavalente, de los cuales 61,5

<sup>1</sup> Tomado de: [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2250/1/Espinosa\\_Gloria\\_Mera\\_Genny\\_tesisdefinitiva.pdf](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2250/1/Espinosa_Gloria_Mera_Genny_tesisdefinitiva.pdf)

se llevaron a disposición final, esto refleja que no se han implementado suficientes alternativas de manejo y disposición final de estos residuos (López, *et al.*, 2012).

La contaminación de las aguas residuales industriales con metales pesados es uno de los problemas ambientales más graves que se presenta hoy en día. El tratamiento de estos efluentes mediante el uso de bioadsorbentes extraídos de biomasa residual ha sido estudiado durante los últimos años como alternativa económica y eficiente. Los bioadsorbentes más usados incluyen cortezas de árboles, residuos de madera, semillas y hojas de diferentes árboles, cáscaras de frutos, residuos de cereales, flores, y cítricos. Estos son materiales naturales, disponibles en grandes cantidades, que una vez agotados pueden ser desechados sin tener que proceder a regenerarlos, producen pocos residuos que, además, son biodegradables.

**Adsorción:** Kurniawan & Babel (2003) la definen como un proceso de separación mediante el cual ciertos componentes de una fase fluida, líquida o gaseosa, son transferidos hacia un sustrato sólido, quedando física o químicamente enlazados a la superficie del adsorbente. La sustancia adsorbida es el adsorbato y el material que adsorbe, el adsorbente, las propiedades de ambos son bastante específicas y dependen de sus constituyentes (Khatti & Singh, 2009).

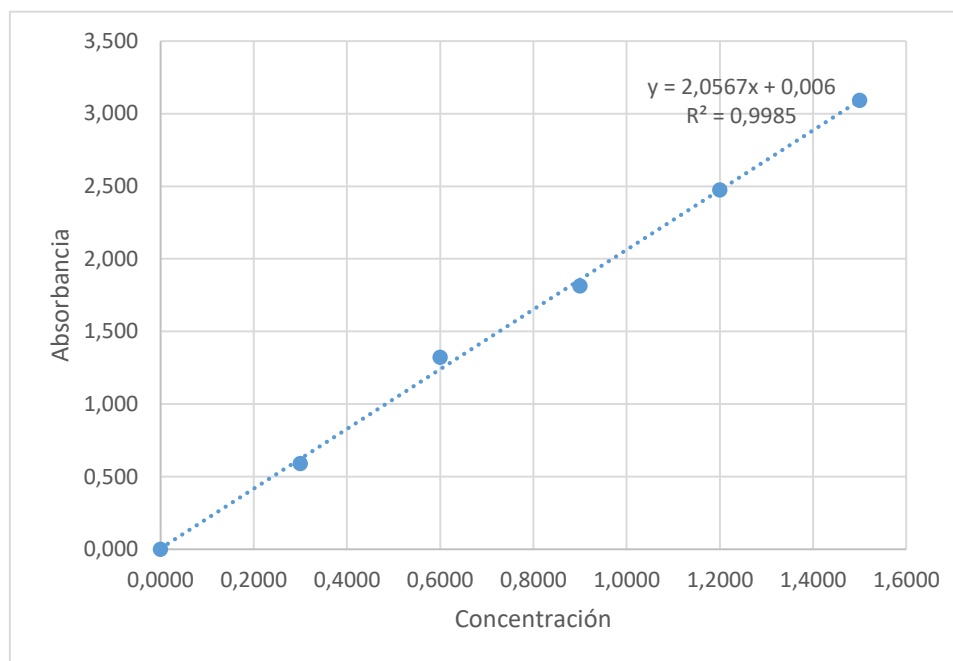
La **Bioadsorción** es un proceso de adsorción que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Pinzón-Bedoya M y Vera-Villamizar LE, 2009). El proceso de bioadsorción implica una fase sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbatos) que van a ser retenidas por el sólido. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido. (Cañizares-Villabuen RO, 2000.)

La bioadsorción o biosorción es una alternativa novedosa, eficiente y económica para resolver el problema de los metales pesados, como el cromo, ya que es posible emplear subproductos de bajo costo y alta capacidad de remoción, es un proceso pasivo de captación de iones metálicos que permite la reutilización de residuos procedentes de procesos agrícolas e industriales; una alternativa ecológicamente amigable.

El uso de biomasa muerta tiene ventajas sobre la utilización de biomasa viva, ya que en este último no es necesario adicionar nutrientes, el adsorbente resulta inmune a la toxicidad o a condiciones de operación adversas, los procesos no están gobernados por limitaciones biológicas, la recuperación de metales es más fácil y la biomasa se comporta como un intercambiador de iones (Macaskie LE, 1990.)

La remoción de cromo de las aguas por bioadsorbentes consta de dos pasos principales: las especies de Cr(VI) se remueven por adsorción sobre la superficie del adsorbente y la forma hexavalente se reduce a la trivalente y se adsorbe en la superficie externa. Los principales factores que influyen en la adsorción de este metal son: pH, grado de agitación, cantidad de adsorbente, concentración inicial de cromo, temperatura, tamaño de partícula y naturaleza del adsorbente (Shafique, *et al.*, 2011).

### Curva de Absorbancia de Cr VI – Método HACH 1271099-<sup>2</sup>



### DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA REMOCIÓN DE Cr VI

| GRUPOS | BIOADSORBENTE      | CANTIDAD DE DESECHO DE CROMO VI | CANTIDAD DE BIOADSORBENTE(g) | DIÁMETRO (mm)        | TIEMPO (horas) |
|--------|--------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------|
| 1      | Cáscara de plátano | 20 ml                           | 0,2                          | Pasa tamiz malla 200 | 1              |
|        |                    | 20 ml                           | 0,2                          |                      | 2              |
|        |                    | 20 ml                           | 0,2                          |                      | 3              |
| 2      | Cáscara de plátano | 20 ml                           | 1,0                          | Pasa tamiz malla 200 | 1              |
|        |                    | 20 ml                           | 1,0                          |                      | 2              |
|        |                    | 20 ml                           | 1,0                          |                      | 3              |
| 3      | Cáscara de plátano | 20 ml                           | 2,0                          | Pasa tamiz malla 200 | 1              |
|        |                    | 20 ml                           | 2,0                          |                      | 2              |
|        |                    | 20 ml                           | 2,0                          |                      | 3              |
| 4      | Cáscara de plátano | 20 ml                           | 0,2                          | Pasa tamiz malla 200 | 0,5            |
|        |                    | 20 ml                           | 0,2                          |                      | 1,5            |
|        |                    | 20 ml                           | 0,2                          |                      | 2,5            |
| 5      | Cáscara de plátano | 20 ml                           | 1,0                          | Pasa tamiz malla 200 | 0,5            |
|        |                    | 20 ml                           | 1,0                          |                      | 1,5            |
|        |                    | 20 ml                           | 1,0                          |                      | 2,5            |

<sup>2</sup> Tomado de: Laboratorio de Aguas de UNISANGIL

|  |
|--|
|  |
|--|

| 4. EQUIPOS A UTILIZAR EN LA PRÁCTICA |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| CANTIDAD                             | DESCRIPCIÓN                |
| 1                                    | Agitador magnético         |
| 1                                    | Barras de agitación        |
| 1                                    | Espectrofotómetro a 541 nm |
| 1                                    | Balanza                    |
| 1                                    | Tamiz malla 200            |
| 1                                    | Estufa                     |
| 1                                    | Máquina de moler           |
| 1                                    | pH metro (potenciómetro)   |

| 5. MATERIALES A UTILIZAR EN LA PRÁCTICA |                                        |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| CANTIDAD                                | DESCRIPCIÓN                            |
| 1                                       | Vaso de precipitado 50 ml              |
| 1                                       | Probeta de 25 ml                       |
| 1                                       | Tubos para espectrofotómetro           |
| 1                                       | Embudos plásticos                      |
| 1                                       | Gradilla                               |
| 1                                       | Papel filtro                           |
| 1                                       | Soporte universal y pinzas para embudo |
| 1                                       | Espátula                               |
| 1                                       | Papel aluminio                         |

| 6. REACTIVOS REQUERIDOS |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| CANTIDAD                | DESCRIPCIÓN               |
|                         | Reactivo de Cromo VI      |
|                         | Desechos de DQO           |
| > 500 g                 | Cáscaras de plátano verde |

| 7. PROCEDIMIENTOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PROCEDIMIENTO 1: SECADO DEL BIOADSORBENTE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tome las cáscaras del adsorbente seleccionado, las limpia y las pesa</li> <li>➤ Con ayuda de un cuchillo o con la mano despedácelo para obtener trozos pequeños</li> <li>➤ Colóquelo en un recipiente de aluminio previamente pesado y registre el valor inicial</li> <li>➤ Séquelo en la estufa por 24 horas a 60 °C</li> <li>➤ Transcurridas las 24 horas, sáquelo de la estufa y déjelo enfriar y péselo</li> <li>➤ Vuelva a dejarlo en la estufa por otras 24 horas y vuelva a pesarlo</li> <li>➤ Repetir este proceso hasta que el peso no varíe.</li> </ul> |

#### **PROCEDIMIENTO 2: REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y TAMIZADO**

- Una vez secado el bioadsorbente, tome 500 g
- Reducir su tamaño con ayuda de una máquina de moler para obtener un tamaño lo más fino posible (es necesario pasar varias veces el bioadsorbente por la máquina)
- Tamice el bioadsorbente molido usando el tamiz de malla 200. Para lograr que pase el bioadsorbente es necesario hacer el tamizado con la mano en forma delicada para no dañar el tamiz.
- Determine la cantidad de bioadsorbente obtenido –que pasó el tamiz malla 200- y el bioadsorbente retenido.

#### **PROCEDIMIENTO 3: PROCESO DE BIOADSORCIÓN**

De acuerdo al bioadsorbente seleccionado realice los montajes respectivos

- Tome un papel filtro y pese la cantidad definida de bioadsorbente
- Adicione el bioadsorbente pesado en un vaso de precipitado de 50 ml
- Mida el pH de los desechos de Cr VI del laboratorio a tratar
- Mida 20 ml de desecho de Cr VI y adiciónelas al vaso de precipitado
- Colóquele una barra de agitación
- Ubique el vaso de precipitado en el agitador magnético y ajuste la velocidad a 200 rev/min
- Espere el tiempo que se haya definido para cada ensayo.

#### **PROCEDIMIENTO 4: CUANTIFICACIÓN DE REMOCIÓN DE CROMO VI**

- Una vez finalizado el proceso de bioadsorción, filtre cada una de las soluciones hasta obtener 10 ml
- Tome el pH del filtrado
- Vierta los 10 ml de cada filtrado en tubos para espectrofotómetro
- Adicione una papeleta de Cromo
- Agite y espere 5 minutos
- Mida la absorbancia de cada uno de los tubos a 541 nm usando agua destilada como blanco.

### **8. PREGUNTAS**

- ¿Qué diferencia existe entre adsorción y absorción?
- Haga la curva de secado y determine la humedad del bioadsorbente seleccionado.
- Calcule la fracción de retención del tamiz malla 200.
- Por medio de la curva de Absorbancia del Cr VI, determine la concentración de Cr VI en cada uno de los tubos
- Calcule el % de remoción de Cr VI

### **9. BIBLIOGRAFÍA**

- ESPINOSA NARVAEZ, Gloria Sandra y MERA CÓRDOBA, Genny Alejandra. Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño. Manizales, 2015.
- QUIÑONES, Édgar; TEJADA, Candelaria y RUIZ, Víctor. Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. Universidad de Cartagena. Revista Ciencias e Ingeniería al Día, 2014, 9(1), enero-junio de 2014, 25-42 ISSN: 1900-768X eISSN:2357-5409 [www.revistaciad.org](http://www.revistaciad.org)

## Bibliografía

- Antón, D. (2016). Diseño y puesta en funcionamiento de un humedal artificial a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas contaminadas. España: TFG Ciencias Ambientales.
- Berrio, L., Beltran, O., & Agudelo, E. C. (2012). Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico. *Gest. Ambient.*, , ISSN electrónico 2357-5905. ISSN impreso 0124-177X., 15(3), 113-124. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36285/43153>
- Bertini, L., & Cicerone, D. (2009). Gestión de Residuos Generados en Laboratorios de Enseñanza de Química en Entidades Universitarias con Participación Activa del Alumnado. En: *Primer Congreso de Fomento e Innovación con nuevas tecnologías en la Docencia de la Ingeniería*, Volumen: Martín Llamas Nistal, Manuel Caeiro Rodríguez y Juan Manuel Santos Gago, editores. FINTDI Fomento e Innovación con Nuevas Tecnologías en la Docencia de la Ingeniería. p 237. Sociedad de Educación: Capítulos Español. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/234027099\\_Gestion\\_de\\_residuos\\_generados\\_en\\_laboratorios\\_de\\_ensenanza\\_de\\_quimica\\_en\\_entidades\\_universitarias\\_con\\_participacion\\_activa\\_del\\_alumnado](https://www.researchgate.net/publication/234027099_Gestion_de_residuos_generados_en_laboratorios_de_ensenanza_de_quimica_en_entidades_universitarias_con_participacion_activa_del_alumnado).
- CAS; Corporación Autónoma Regional de Santander. (2015). Informe de gestión. San Gil. Obtenido de <http://cas.gov.co/index.php/informegestion.html>
- Castro, B. (2015). *Uso de la cáscara de banano (Musa paradisiaca) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas*. Universidad de Guayaquil . Guayaquil, Ecuador: Trabajo de grado previo a la obtención del título de Magister en impactos ambientales. Obtenido de

[http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8641/1/Uso%20de%20cascara%20de%20banano\\_Dr.%20Castro.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8641/1/Uso%20de%20cascara%20de%20banano_Dr.%20Castro.pdf)

- Díaz, C. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. *V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás Seccional Tunja*. Obtenido de <http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/Articulos/-TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL%20A%20TRAVES%20DE%20HUMEDALES.pdf>
- Egg, N., Salvarezza, S., Azario, R., Fernández, N., & García, M. (2012). Adsorción de cromo hexavalente en la cáscara de arroz modificada químicamente. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 141-151. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/3236/323627687014.pdf>
- Espinosa, G & Mera, G. (2015). Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño. Tesis de grado (Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio ambiente). Universidad de Manizales. Facultad de ciencias contables, económicas y administrativas. Manizales, Colombia.
- Espinoza, C. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. 2014: Trabajo de grado (Maestría en Ingeniería Civil) Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- García, A. & Mendoza, L. (2007). Protocolo de rutas de transporte y disposición final de residuos químicos peligrosos, generados en los laboratorios de la escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander. Monografía de Grado (Especialización en Química Ambiental). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ciencias. Escuela de Química. Bucaramanga, Colombia.
- Gutierrez, F. (2012). La peligrosidad en laboratorios Químicos: Método para su evaluación y clasificación. Tesis doctoral (Doctorado Ciencias y Tecnología del medio

ambiente). Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Química Analítica. Granada, España.

- Halverson, N. (2004) Review of Constructed Subsurface Flow vs. Surface Flow Wetlands. Westinghouse Savannah River Company Savannah River Site.
- ICONTEC. (2015). ISO 14001:2015.
- IDEAM. (2016). Informe Nacional Generación y manejo de residuos o desechos peligrosos Colombia 2014 y 2015. Bogotá.
- Jaramillo, L. (2014). Propuesta ambiental para la evaluación y manejo integral de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de docencia de la Universidad de Gran Colombia. Tesis (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. Manizales, Colombia.
- Jaramillo, L. Grueso, J. (1997). Seguimiento y Evaluación del prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas Fundación Manuel Mejía. Trabajo final (Ingeniería Química). Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Marandi, R. (2011). Biosorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by Dead Fungal Biomass of *Phanerochaete chrysosporium*: Batch and Fixed Bed Studies. *Canadian Journal on Chemical Engineering & Technology*, 2(2). Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.5706&rep=rep1&type=pdf>
- Martínez, J. (2005). Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos. Tomo I. Montevideo, Uruguay: Centro Coordinador del convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Obtenido de [http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/gestion\\_r01\\_fundamentos.pdf](http://www.ccbasilea-crestocolmo.org.uy/wp-content/uploads/2010/11/gestion_r01_fundamentos.pdf)
- Mejía, L. & Ardila, A. (2012). Metodología para la segregación de residuos químicos generados en el laboratorio de bioquímica y nutrición animal del Politécnico Colombiano

- Jaime Isaza Cadavid. En: *Producción + Limpia*. Volumen. 7(1). p.68-79. Recuperado de:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552012000100007&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000100007&lng=en&tlng=en)
- Mera, A., Andrade, B & Ortiz, M. (2007). Alternativa para la segregación de residuos químicos generados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. En: *Revista Lasallista de Investigación*. Volumen. 2(1). p54- 66. Recuperado de:  
<http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.umanizales.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=e2fb1b3c-aa8e-47d0-bfbb-abf3151c8012%40sessionmgr4010&vid=4&hid=4207>
  - Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España. NTP 480: La gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación. Recuperado de:  
[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\\_480.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_480.pdf)
  - Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos. Recuperado de:  
[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g\\_AQ.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g_AQ.pdf)
  - Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible; IDEAM. (2016). Informe nacional, generación y manejo de residuos o desechos peligrosos Colombia 2014-2015. Bogotá. Recuperado de  
[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023638/Inf\\_Nac\\_gen\\_manejo\\_residuos\\_desechos%20peligrosos.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023638/Inf_Nac_gen_manejo_residuos_desechos%20peligrosos.pdf)
  - Ministerio de medio ambiente vivienda y desarrollo territorial. Colombia. Decreto 4741 de 2005.
  - Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2005). Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos, Recuperado de:  
<http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/p>

[df/Polit%C3%ACcas de la Direcci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica Ambiental para la Gesti%C3%B3n Integral de Residuos o Desechos Peligrosos.pdf](#)

- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2005). Gestión integral de Residuos o Desechos Peligrosos, bases conceptuales, Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias\\_qu%C3%ADmicas\\_y\\_residuos\\_peligrosos/gestion\\_integral\\_respel\\_bases\\_conceptuales.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_qu%C3%ADmicas_y_residuos_peligrosos/gestion_integral_respel_bases_conceptuales.pdf)
- Moreno, E., & Orjuela, P. (2015). Análisis de la política de manejo interno de los residuos químicos peligrosos de la Universidad Manuela Beltrán Sede Bogotá como generadora de cultura de protección del medio ambiente en la comunidad universitaria. Tesis de grado, Universidad de Manizales.
- Murray, S. & Larry, J. (2009). Estadística.4ta edición. Mc Graw-Hill. México, D.F.
- Objetivos De Desarrollo Del Milenio De La Organización De Naciones Unidas ONU. Recuperado de: [www.un.org/spanish/millenniumgoals](http://www.un.org/spanish/millenniumgoals)
- OIT, O. i. (2014). La seguridad y la salud en el uso de productos químicos en el trabajo. Recuperado de [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms\\_235105.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_235105.pdf)
- Riascos, L. & Tupaz, M. (2005). Propuesta para el Manejo de Residuos Químicos en los Laboratorios de Química de la Universidad de Nariño, Manizales. Tesis (Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. Manizales, Colombia.
- Secretaría distrital de ambiente. (2010). Diagnóstico de la situación actual de los residuos peligrosos generados en el Distrito Capital. Bogotá. Recuperado de:

[http://www.ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=375a3fee-6f7f-4fa5-842f-10bf15dfe6c5&groupId=10157](http://www.ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=375a3fee-6f7f-4fa5-842f-10bf15dfe6c5&groupId=10157)

- Universidad Complutense de Madrid. (2007) Manual de gestión de residuos peligrosos de la Universidad Complutense de Madrid (MGRP). Universidad Complutense. Recuperado de: <http://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2013-02-14-Manual%20de%20gestion%20de%20residuos.pdf>
- Vargas, M., Cabañas, D., Gamboa, M., & Domínguez, B. (2009). Evaluación del proceso de biosorción con cáscaras de naranja para la eliminación del colorante comercial Lanasol Navy CE en aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería*, 13(3), 39-43. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46712187005.pdf>
- Vera, L., & González, F. (2015). Eliminación de cromo utilizando humedales de flujo sub-superficial horizontal. *AFINIDAD LXXII*, 213-217. Obtenido de <file:///C:/Users/UNISANGIL/Downloads/300888-421631-1-SM.pdf>