

LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO PROCESO DE DESCONTAMINACIÓN DE  
AGUAS RESIDUALES Y HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN QUÍMICO-  
AMBIENTAL

HUGO GERARDO GÓMEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
PEREIRA, JULIO 2018

LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO PROCESO DE DESCONTAMINACIÓN DE  
AGUAS RESIDUALES Y HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN QUÍMICO-  
AMBIENTAL

HUGO GERARDO GÓMEZ CALDERÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Magister en Ciencias Ambientales

Director:

PhD. JUAN MAURICIO CASTAÑO ROJAS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
PEREIRA, JULIO 2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Pereira, junio 2018

A mi familia:

Por la confianza que siempre tienen en mí y  
por su apoyo incondicional.

## **Agradecimientos**

A Dios compañero y guía permanente de todas mis aventuras.

A mi esposa Sonia Ruiz Pineda en quien siempre encuentro una voz de aliento y apoyo en los momentos difíciles.

A mis hijos Sebastián y Sofía por donar el tiempo que les pertenecía, para que yo pudiera realizar este trabajo.

Al doctor Juan Mauricio Castaño Rojas, director del proyecto, por su consejo y apoyo.

A la señora Ana María Piedrahita, por su ejemplo y mostrarme la importancia de continuar avanzando en mis estudios.

A mis compañeros facilitadores de la Tecnoacademia SENA por guiarme en el desarrollo de actividades específicas.

Al señor Luis Tapiero por facilitar la articulación con su empresa; insumo esencial para el desarrollo del presente trabajo.

A todos los directivos del SENA que gracias a su apoyo logramos, que los aprendices y yo, pudiésemos llevar los resultados del proyecto a diferentes partes del territorio nacional y a una exposición en la ciudad de Valencia, España.

A mis compañeros de la maestría, por su camaradería y por permitirme tener nuevamente una agradable experiencia de vida universitaria.

Y muy especialmente a mis siempre apreciados y admirados aprendices del ambiente de Química de la Tecnoacademia SENA Risaralda, quienes mostraron su interés y gran voluntad por sacar a flote este proyecto.

## Contenido

1	Título del proyecto. ....	1
2	Introducción.....	1
3	Justificación.....	2
4	Definición del problema .....	4
4.1	Pregunta de investigación .....	5
5	Objetivos.....	5
5.1	Objetivo General.....	5
5.2	Objetivos Específicos .....	6
6	Marco referencial.....	6
6.1	Marco teórico-conceptual .....	6
6.1.1	Aguas residuales de la industria textil .....	7
6.1.2	Características de las partículas coloidales .....	8
6.1.3	Potencial Zeta .....	9
6.1.4	Teoría DLVO (Deryaguin-Landau-Verwey-Oberbeek), .....	10
6.1.5	Coagulación .....	10
6.1.6	Electrocoagulación.....	11
6.1.7	Reactor de electrocoagulación.....	13
6.1.8	Investigación acción y educación ambiental.....	15
6.2	Marco legal .....	18
6.3	Marco metodológico .....	20
6.3.1	Cumplimiento del primer objetivo:.....	21
6.3.2	Cumplimiento del segundo y tercer objetivo: .....	27
7	Resultados.....	34
7.1	Orientación de prácticas científico-pedagógicas. ....	34
7.1.1	Resultados de encuesta y evaluaciones prácticas. ....	35
7.1.2	Presentación de resultados en eventos regionales, nacionales e internacionales. ....	44
7.2	Aplicación en el laboratorio del método de electrocoagulación y, determinación de las condiciones de aplicación del mismo.....	53
7.2.1	Caracterización básica de las aguas residuales.....	53

7.2.2 Selección del material de los electrodos.....	54
7.2.3 Separación entre los electrodos. ....	54
7.2.4 Determinación del tamaño de los electrodos.....	55
7.2.5 Determinación de la intensidad de corriente. ....	56
7.2.6 Evaluación de otros parámetros y sus variaciones. ....	56
7.2.7 Condiciones de operación que mejores resultados generaron. ....	58
7.2.8 Remoción de color, DQO y DBO <sub>5</sub> y, variación en los sólidos sedimentables. ....	59
7.3 Electrocoagulación como alternativa a gran escala para el tratamiento del color de las aguas residuales de la industria textil del municipio de Dosquebradas. ....	60
7.3.1 Diseño del reactor.....	61
8 Conclusiones.....	64
9 Discusión.....	65
9.1 Fortalecimiento de competencias científicas y concienciación ambiental, en estudiantes de secundaria, mediante el abordaje de un problema real de contaminación hídrica. ....	65
9.2 Condiciones de aplicación del método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales generadas por procesos de decolorado textil en industrias del municipio de Dosquebradas. ....	67
10 Recomendaciones.....	68
11 Bibliografía.....	69
12 Anexos.....	75
12.1 ANEXO A. Encuesta de conocimientos y percepciones. ....	75
12.2 ANEXO B. Recomendaciones y cuestionario. Salida de campo a planta de tratamiento de agua potable (PTAP). AGUAZUL. ....	76
12.3 ANEXO C. Ponencias, exposiciones y encuentros relacionados con el proyecto. ....	78
12.4 ANEXO D. Guías de aprendizaje. ....	81

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de remoción de color.....	30
---	----

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sitio de captación de agua – Planta Aguazul .....	23
Ilustración 2 Caseta de dosificación de coagulantes. ....	23
Ilustración 3 Canal de conducción de agua residual.....	24
Ilustración 4 Vertimiento de aguas residuales a la quebrada Dosquebradas. ....	24
Ilustración 5 Caracterización básica de la muestra.....	25
Ilustración 6. Prácticas de electrocoagulación.....	25
Ilustración 7. Estudiantes realizando mediciones de variables a aguas residuales sometidas a procesos de electrocoagulación .....	26
Ilustración 8. Montaje para ensayos de electrocoagulación. ....	32
Ilustración 9. Electrodo de diferentes tamaños .....	33
Ilustración 10 Exposición del proyecto a docentes y directivas SENA nacionales.....	45
Ilustración 11. Exposición de proyecto a familiares y docentes.....	46
Ilustración 12. VII encuentro departamental de semilleros de investigación de Risaralda.....	47
Ilustración 13 Participación en Dosquebradas emprendedora.....	48
Ilustración 14. Participación VII Encuentro regional RREDSI.....	49
Ilustración 15. Certificados de participación como ponentes.....	49
Ilustración 16. IV simposio nacional de formación con calidad y pertinencia.....	50
Ilustración 17 Participación IV simposio nacional de formación con calidad y pertinencia.....	51
Ilustración 18. Registro del simposio en Valencia España, por medio local.....	52
Ilustración 19. Aparte de las memorias del evento.....	52
Ilustración 20. Reactor/Celda de electrocoagulación mediana (imagen de referencia) .....	64

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad relacionada con el manejo y tratamiento de aguas residuales.....	19
Tabla 2. Parámetros de calidad del agua contenidos en la resolución 0631 de 2015.....	20
Tabla 3. Caracterización básica de la muestra compuesta.....	53

Tabla 4. Evaluación de la separación entre electrodos.....	54
Tabla 5. Evaluación de la incidencia del área de los electrodos.....	55
Tabla 6. Incidencia de la intensidad de corriente en el proceso de electrocoagulación .....	56
Tabla 7. Incidencia del pH en el proceso de electrocoagulación.....	56
Tabla 8. Remoción de DQO y color. Aguas residuales proceso de blanqueo.....	59
Tabla 9. Remoción de DQO y color. Aguas residuales proceso de desengomado.....	59
Tabla 10. Resultados laboratorio externo. Medición laboratorio UTP .....	59
Tabla 11. Investigaciones relacionadas con la electrocoagulación .....	68

### LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Disposición de electrodos: monopolar y bipolar.....	14
Gráfico 2. Percepción frente a las posibilidades de realizar investigación científica- aplicación del test antes de la formación. ....	35
Gráfico 3. Percepción frente a las posibilidades de realizar investigación científica- aplicación del test después de la formación.....	36
Gráfico 4. Percepción frente a las posibilidades de realizar investigación científica.....	37
Gráfico 5. Impacto actitudinal hacia la investigación científica .....	37
Gráfico 6. Impacto actitudinal hacia el abordaje de textos científicos.....	38
Gráfico 7. Fortalecimiento de competencias científicas.....	39
Gráfico 8. Aprehensión de contenidos .....	40
Gráfico 9. Fortalecimiento de competencias socioambientales.....	41
Gráfico 10. Impacto del ejercicio pedagógico en el interés por temas ambientales.....	42
Gráfico 11. Mejoramiento en la comprensión de conceptos .....	42
Gráfico 12. Impacto del ejercicio pedagógico en la percepción de responsabilidad ambiental .....	43
Gráfico 13. Mejoramiento en la comprensión de conceptos de química y medio ambiente	44
Gráfico 14. Remoción de color de acuerdo al metal de los electrodos .....	54
Gráfico 15. Incidencia del área de electrodo en el incremento de temperatura generado en el proceso de electrocoagulación.....	57
Gráfico 16. Incidencia de la intensidad de corriente aplicada, sobre el incremento del pH, en el proceso de electrocoagulación .....	58

## **Resumen**

Las empresas de teñido y decolorado de prendas textiles, generan en sus procesos grandes cantidades de aguas residuales industriales. Éstas, que generalmente son vertidas a los sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua sin recibir previamente un tratamiento adecuado, contienen, entre sus principales contaminantes, cargas significativas de colorantes que impactan de forma negativa los ecosistemas. En compañía de jóvenes estudiantes pertenecientes a la básica secundaria en diferentes instituciones de Dosquebradas, Pereira y Santa Rosa de Cabal, se realizó la evaluación de la pertinencia del proceso de electrocoagulación, para la remoción de contaminantes. Se logró la remoción del noventa por ciento (90%) del color presente en aguas residuales generadas en procesos de decolorado, en un tiempo de cinco minutos. Además, se logró la remoción del treinta por ciento de la Demanda Química de Oxígeno y el quince por ciento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Asimismo, más de cien aprendices se vieron inmersos en procesos de concienciación ambiental y de prácticas que les permitieron tener un acercamiento a la investigación científica y sus posibilidades.

**Palabras clave:** DBO<sub>5</sub>, DQO, remoción de colorantes, Investigación acción, formación en contexto.

## **Abstract**

Textile dyeing and decoloring companies generate large amounts of industrial wastewater in their processes. These, which are usually discharged into sewerage systems and bodies of water without previously receiving adequate treatment, contain, among their main pollutants, significant dye loads that negatively impact ecosystems. In the company of young students belonging to the secondary school in different institutions of Dosquebradas, Pereira and Santa Rosa de Cabal, the evaluation of the relevance of the electrocoagulation process for the removal of contaminants was carried out. It was achieved the removal of ninety percent (90%) of the color present in wastewater generated in bleached processes, in a time of five minutes. In addition, the removal of thirty percent of the Chemical Oxygen Demand and fifteen percent of the Biochemical Oxygen Demand was achieved. Also, more than one hundred apprentices were immersed in processes of environmental awareness and practices that allowed them to have an approach to scientific research and its possibilities.

**Key words:** BOD5, COD, dye removal, Action research, training in context.

## **1 Título del proyecto.**

La electrocoagulación como proceso de descontaminación de aguas residuales y herramienta de educación químico-ambiental.

## **2 Introducción.**

En Colombia existen los instrumentos jurídicos necesarios y suficientes para garantizar que los recursos naturales, en particular el agua, conserven condiciones de cantidad y calidad para el abastecimiento humano y la conservación del ecosistema. No obstante, la realidad de la mayoría de los ecosistemas y fuentes hídricas es diferente a la proyectada por los legisladores y jueces, pese al “aparente” cumplimiento de las normas.

En tal sentido, existen leyes, decretos y resoluciones, entre otros actos legislativos, que definen parámetros técnicos para el control de vertimientos y la protección del agua; sin embargo, los altos costos de las tecnologías de tratamiento, sumados a la baja capacidad de respuesta y control por parte de las autoridades genera informalidad social y empresarial en el manejo de vertimientos líquidos, lo que conlleva a la contaminación de ríos y quebradas. Por ello, se requieren alternativas para el tratamiento de contaminantes que sean ambientalmente efectivas, económicamente viables y socialmente aceptadas.

En coherencia con lo anterior, la electrocoagulación se presenta como un método para el tratamiento de aguas residuales basado en la electroquímica que ofrece ser una alternativa eficiente para el cumplimiento de la norma, en algunos parámetros de calidad, sin detrimento de la salud financiera de la Industria. Es así, como mediante la investigación, se buscó establecer la aplicabilidad de un método de desestabilización y remoción de contaminantes del agua por la acción de corriente eléctrica directa. Inicialmente se establecieron las condiciones de operación bajo las cuales se logra

mejor remoción del color; posteriormente se evaluó el comportamiento de otras variables como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Sedimentables Totales (SST), en aguas residuales generadas en el decolorado de prendas textiles.

No obstante, como se dijo con anterioridad, que el método sea económico y eficiente es necesario, pero no suficiente. Además, debe ser comprensible y comprendido; o lo que es igual, culturalmente aceptado. En el proyecto, las pruebas de laboratorio se constituyen en una estrategia fundamentada en la Investigación Acción, que permite la participación de algunos jóvenes en todas las etapas del proceso, complementando la comprensión de los fenómenos sociales y ambientales con el interés individual o colectivo de desarrollar acciones que impacten positivamente su entorno.

En tal sentido, este proyecto promueve la apropiación social del conocimiento entre los estudiantes de secundaria de diez instituciones educativas de los municipios de Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas y Pereira, permitiéndoles conocer e interactuar con una problemática ambiental producida por la contaminación de quebradas con aguas residuales resultantes del proceso de decoloración textil.

### **3 Justificación.**

La descarga de aguas contaminadas con colorantes a los cuerpos de agua es generada principalmente por empresas de los sectores textil, de alimentos y de bebidas (Barrios, Gaviria, Agudelo, & Cardona, 2015). La presencia de color en las aguas se debe principalmente a la baja eficiencia en el proceso de teñido textil, que conduce a que en promedio un 40 % del colorante empleado no se fije a las prendas (Palma, Macías, Gonzáles, & Torres, 2013).

Durante la segunda mitad del siglo pasado, la exoneración de impuestos ofrecido por Fomento del Corregimiento de Dosquebradas, el valor de la tierra y la posición geográfica de Dosquebradas hicieron del municipio, un destino interesante para que empresas grandes, medianas y pequeñas,

especialmente del sector textil, instalaran o trasladaran allí su infraestructura física y productiva. Por otro lado, la abundante oferta hídrica, superficial y subterránea, de la que dispone el municipio es uno de los aspectos más atractivos para el establecimiento de industrias del sector textil que ven en Dosquebradas un sitio ideal para la creación o traslado de sus empresas o las de acabados textiles, que demandan en sus procesos grandes cantidades de agua. (Calvo et al., 2014, p. 55).

En tal sentido, es importante mencionar que las empresas del sector textil tienen alta incidencia en la descarga de aguas contaminadas con colorantes a los cuerpos de agua y con ello generan graves impactos en el entorno; como lo mencionaran Kuhad y otros "...Dependiendo del tipo de colorante, se estima que del 2 al 50% de estos compuestos se desechan en las aguas residuales y se consideran como contaminantes persistentes que no pueden removerse con los métodos convencionales de tratamiento de aguas, debido a su origen y las estructuras complejas que presentan." (Kuhad et al., 2004; Días et al., 2007 y Dos Santos et al., 2007).

La presencia de cantidades significativas de color en los cuerpos de agua genera un daño ecológico inmenso al dificultar que los rayos del sol incidan directamente sobre el ecosistema acuático afectando, en primera instancia, los procesos fotosintéticos que soportan su red trófica. Dicha contaminación libera moléculas tóxicas producto de la descomposición de colorantes que tiene un impacto negativo sobre la salud de humanos y animales al tratarse de moléculas mutagénicas (Li, Wichmann & Otterpolhl, 2009)

Por otra parte, algunos programas de alfabetización científica han insistido en la necesidad de estimular la realización de proyectos ambientales y de emprendimiento que involucren metodologías de investigación-acción y de pedagogía activa. Así las cosas, el proyecto que aquí se presenta aborda el problema ambiental de aguas residuales generadas en los procesos de decolorado textil vertidas a los cuerpos de agua de Dosquebradas y sus procesos de descontaminación mediante electrocoagulación química, como herramienta educativa que motive la adquisición de

conocimientos químico-ambientales y promueva la participación de los ciudadanos en la solución de sus problemáticas ambientales.

#### **4 Definición del problema**

La contaminación de las quebradas del municipio de Dosquebradas es generada principalmente por aguas residuales industriales que no reciben tratamiento adecuado dado que en la mayoría de los casos se necesitan sistemas para el manejo de vertimientos que implican costos e inversiones que las pequeñas y medianas empresas no están en capacidad de pagar, debido a que en su mayoría son financieramente débiles (García M, 2017: 25)

Sumado a lo anterior, en el año 2015 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presentó la resolución 631/2015 o “Norma de vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público”, que actualizó el decreto 1594 de 1984 y reglamentó el artículo 28 del decreto 3930 de 2010 buscando incrementar el control sobre las sustancias contaminantes que llegan al sistema de alcantarillado público y por consiguiente a los cuerpos de agua naturales o artificiales. La actualización del decreto 1594 tiene como uno de sus propósitos ajustar la normatividad a las nuevas realidades urbanas, industriales y ambientales enmarcadas en 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país. La resolución es de obligatorio cumplimiento para todas las actividades industriales, comerciales o de servicios que generen vertimientos de aguas residuales en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público. Así las cosas, los anteriores ajustes normativos integran diferentes variables que permiten aprovechar el recurso hídrico para actividades humanas sin detrimento de las actividades naturales que dependen de los mismos cuerpos de agua para que se desarrollen los procesos de integración ecosistémica.

Del mismo modo, la necesidad de involucrar a las comunidades en torno a la solución de problemáticas ambientales requiere la participación de los jóvenes, y especialmente aquellos en edad

escolar. En tal sentido, el gobierno nacional a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha implementado el Programa Promotores Ambientales Comunitarios, como parte de la estrategia denominada "Formación de Educadores y Dinamizadores Ambientales" cuyo objetivo principal es promover la participación ciudadana en los procesos de planificación, gestión y seguimiento de las políticas, planes, programas y proyectos que propenden por el desarrollo sostenible y la educación ambiental tanto en lo local como en lo regional.

Así las cosas, el tratamiento de las aguas residuales y la participación social en la solución de problemáticas ambientales son asuntos que pueden, y deben ser abordados conjuntamente para que los ciudadanos se conviertan en garantes del cumplimiento de la normatividad ambiental y desarrollen proyectos y programas de apoyo a sus comunidades.

#### **4.1 Pregunta de investigación**

De lo anterior surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede la electrocoagulación contribuir a la descontaminación de fuentes hídricas locales y a los procesos de pedagogía y concienciación ambiental de estudiantes en el municipio de Dosquebradas?

## **5 Objetivos**

### **5.1 Objetivo General**

Establecer la aplicabilidad de la electrocoagulación tanto para la reducción de la carga contaminante vertida a los cuerpos de agua por empresas de decolorado textil, como para el desarrollo de competencias científicas en estudiantes de grados sexto a décimo de instituciones educativas de los municipios de Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas y Pereira, en el departamento de Risaralda.

## **5.2 Objetivos Específicos**

- a) Orientar prácticas científico-pedagógicas con estudiantes de secundaria, aplicando el método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales, que contribuyan al fortalecimiento de las competencias científicas y a la concienciación ambiental.
- b) Aplicar en el laboratorio el método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales generadas por procesos de decolorado textil en industrias del municipio de Dosquebradas.
- c) Determinar las condiciones de aplicación del método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales generadas por procesos de decolorado textil en industrias del municipio de Dosquebradas.

## **6 Marco referencial**

### **6.1 Marco teórico-conceptual**

La complejidad de las problemáticas ambientales exige la articulación de estrategias educativas, investigativas y técnicas que contribuyan a mitigar el impacto ambiental de las actividades humanas. En los últimos años se ha venido experimentando en el uso de técnicas de electrocoagulación para el tratamiento de agua residual y cuerpos de agua contaminados por diversas sustancias tales como galvanizados, metales, cromados, tinta de bluyines índigo y otros (Arango et al., 2011).

La remoción de contaminantes de las aguas residuales se lleva a cabo en plantas que son diseñadas de acuerdo con las características del vertimiento; las características fisicoquímicas y biológicas de la carga contaminante determinan la selección del tratamiento y operaciones que se deben implementar. En una planta de tratamiento de aguas residuales se encuentran diversas unidades que

garantizan la remoción de contaminantes en etapas definidas como preliminar, primario, secundario y terciario.

El tratamiento preliminar facilita la remoción de sólidos de gran tamaño. Complementariamente, el tratamiento primario consiste en una serie de operaciones capaces de remover sólidos suspendidos y sedimentables mediante procesos fisicoquímicos; el secundario consiste en procesos biológicos en los cuales se remueve la mayor proporción de carga orgánica e inorgánica, y por último el terciario que permite la remoción de contaminantes incapaces de ser removidos en las etapas previas. Como ejemplo de este último, el tratamiento de aguas residuales por medio de electrocoagulación para la remoción de contaminantes (Hammeken 2005, p. 24).

#### 6.1.1 Aguas residuales de la industria textil

Para abordar adecuadamente el sistema de tratamiento de aguas residuales de un sector se hace necesario identificar y reconocer las características del vertimiento mediante la identificación del sistema productivo. Los procesos de producción de la industria textil pueden dividirse básicamente en etapas o sectores, aunque en muchos casos una empresa o industria puede incluir 2 o 3 tipos de sectores; estos también podrían ser departamentos de una misma empresa.

La industria textil de la cual fueron tomadas las muestras de agua se dedica al sector productivo del acabado textil y la confección, específicamente en la parte de teñido y decolorado; el primero requiere el uso no solamente de colorantes, sino también de varios productos especiales conocidos como auxiliares de teñido. Estos materiales, al igual que los utilizados en los procesos de decolorado, constituyen parte integral del proceso, incrementando las propiedades de los productos terminados y mejorando la calidad de la tela tratada, la suavidad, la firmeza, la textura, estabilidad dimensional, resistencia a la luz, al lavado, entre otros. Los auxiliares empleados forman un grupo muy heterogéneo de compuestos químicos; sin embargo, generalmente son surfactantes, compuestos

inorgánicos, polímeros y oligómeros solubles en agua y agentes solubilizantes. Algunos de los auxiliares de teñido más comúnmente utilizados son (Equipo profesional de PROPEL, FUNDES Colombia, 2009):

- Ácidos y complejos metálicos
- Agentes productores por la reacción de calor
- Agentes humectantes
- Surfactantes, oligo y poli-electrolíticos solubles en agua
- Reguladores de pH
- Aceleradores de teñido

En la industria textil, los procesos más importantes se efectúan sobre medios acuosos. Cada operación unitaria del proceso va generando residuos líquidos con distintas concentraciones de elementos o sustancias que puedan generar impactos negativos, de no ser manejados adecuadamente, y la acumulación de estos residuos son generalmente vertidos sobre la red de alcantarillado y/o cuerpos de agua. (Secretaria Distrital de Ambiente, 2010). Las aguas residuales generadas en este tipo de industria contienen contaminantes tales como colorantes que, por la forma en la que se presentan, pueden ser considerados como soluciones coloidales.

#### 6.1.2 Características de las partículas coloidales

Cada coloide tiene una carga eléctrica que suele ser de naturaleza negativa, aunque también puede ser positiva y producen fuerzas de repulsión electrostática entre los coloides vecinos (Cendales et al., 2016, p. 17). Reduciendo o eliminando estas cargas los coloides se aglomeran y sedimentan. Para mejor comprensión de lo anterior es necesario entender el concepto de potencial zeta, que puede ser considerado como una medida de la estabilidad de una partícula e indica el potencial que se requiere

para penetrar la capa de iones circundante en la partícula y así lograr desestabilizarla (Yoval et al., 2000).

Dicho proceso se explica mediante el modelo de la doble capa, que permite visualizar la atmósfera iónica en la proximidad del coloide cargado, explicando cómo actúan las fuerzas eléctricas de repulsión. La doble capa que se forma en el límite entre dos fases que contengan entidades cargadas tiene dos aspectos fundamentales, el aspecto eléctrico y el aspecto estructural. El aspecto eléctrico trata de la magnitud de los excesos de carga acumulados en cada fase y se ocupa de la variación de potencial al cambiar la distancia hasta la interfase. El aspecto estructural se refiere a saber cómo se ordenan las partículas que forman ambas fases (iones, electrones, dipolos, moléculas neutras) en la región de la interfase de modo que quede electrizada. Para lograr tal conocimiento de la distribución de partículas y potencial en la región de la interfase, Helmholtz, Perrin, Gouy, Chapman y Stern comenzaron a desarrollar la teoría atomística de ésta. Para lo cual fue necesario construir modelos simples, ya que éstos constituyen el andamiaje que permite alcanzar una visión atomística de una interfase electrizada (Carmona, 2010, p. 8).

### 6.1.3 Potencial Zeta

La potencial zeta es un parámetro electrostático importante de las partículas suspendidas en un medio acuoso que evalúa la estabilidad de las dispersiones coloidales suspendidas en el agua con respecto a la agregación de partículas y el posterior entendimiento de las operaciones físicas como floculación, flotación y sedimentación de estas suspensiones. Se utiliza frecuentemente en discusiones de estabilidad de coloides y su valor es considerado útil en relación con la doble capa eléctrica (Betancur, 2012, p. 167).

Es un parámetro efectivo al momento de evaluar el comportamiento de un coloide ante una perturbación de este ya que mediante su medición se podrán evidenciar cambios en las fuerzas de

repulsión que se presentan en las partículas coloidales; es importante porque puede ser medido de una manera muy simple (Batalla, et al., 2014).

#### 6.1.4 Teoría DLVO (Deryaguin-Landau-Verwey-Oberbeek),

Las partículas coloidales están sometidas a fuerzas de atracción y repulsión, y existe un balance entre dichas fuerzas. El movimiento Browniano produce colisión entre las partículas y si las fuerzas de atracción predominan, las partículas se aglomeran después de la colisión. En caso contrario, si las fuerzas de repulsión predominan las partículas permanecen separadas después de la colisión. Las fuerzas de atracción son las de Van der Waals, en tanto que las fuerzas de repulsión provienen de la interacción entre las dobles capas eléctricas que rodean a las partículas.

La teoría DLVO explica la tendencia de los coloides a aglomerarse o permanecer separados al combinar la atracción de Van der Waals y la curva de repulsión electrostática. Para aglomerar dos partículas que van a chocar, éstas deben tener suficiente energía cinética debido a su velocidad y masa, como para pasar sobre la barrera de energía. Si la barrera desaparece, entonces la interacción neta es totalmente atractiva y consecuentemente las partículas se aglomeran. Es posible alterar el entorno del coloide para aumentar o disminuir la barrera energética. Se pueden utilizar varios métodos para este propósito, tales como cambios en la atmósfera iónica, el pH o agregando compuestos activos para afectar directamente la carga del coloide, para una posterior aglomeración. (Yoval et al., 2000).

#### 6.1.5 Coagulación

Consiste en la aglutinación de partículas contaminantes en pequeñas masas con peso específico superior al del agua, denominadas flocs (Aguilar, 2016). La coagulación tiene inicio en el instante en que se agrega el coagulante al agua y dura fracciones de segundo, la etapa siguiente se denomina

floculación y durante ésta las partículas ya desestabilizadas chocan entre ellas para aumentar su tamaño y favorecer su posterior eliminación por sedimentación (Apraéz et al., 2015, p. 29).

#### 6.1.6 Electrocoagulación

Como alternativa a la coagulación química, se ha usado la coagulación generada por la aplicación de corriente eléctrica al agua residual. El paso de corriente eléctrica a través del medio acuoso causa la desestabilización de las partículas que se encuentran, bien sea emulsionadas, suspendidas o disueltas. A este proceso se le denomina electrocoagulación (Ruíz, 2012).

Según Bermeo et al. (2016); “la electrocoagulación es una técnica que implica la adición electrolítica de coagulantes iones metálicos al electrodo; estos iones positivos, se absorberán sobre los coloides negativos, como ciertas sustancias químicas que ayudan a la coagulación en el método químico”. También; la electrocoagulación es un proceso que implica varios fenómenos químicos y físicos, usa electrodos para proveer iones al agua residual que se desea tratar [...] En esta técnica el coagulante es generado ‘in situ’ debido a una reacción de oxidación del ánodo y las especies cargadas o metales pesados pueden ser removidos del efluente debido a la reacción entre iones con carga opuesta o debido a la formación de flóculos de hidróxidos metálicos (Mollah et al, 2001).

Es posible nombrar la electrocoagulación como tratamiento no convencional para la alteración de los coloides, que también resulta ser una tecnología alternativa con un porcentaje de remoción entre 50-99% para contaminantes disueltos, en forma emulsionada o no emulsionada y partículas suspendidas, valores que se han reportado en la bibliografía. (Ruíz, et al., 2007).

Por su parte Chávez, et al (2009), ya habían encontrado que la electrocoagulación es efectiva en eliminar la contaminación de agua residual de las industrias galvánicas. “Este sistema electroquímico ha demostrado que puede manejar una gran variedad de aguas de desecho, tales como: desperdicio de molinos de papel, de electro plateado metálico, de fábricas de envasado, de molinos de acero,

efluentes con contenidos de cromo, plomo y mercurio, así como las aguas negras domésticas” (p.48). Y Arango (2011) sostiene que la técnica de electrocoagulación es un procedimiento adecuado en soluciones acuosas de tartrazina para la remoción de color.

En las investigaciones realizadas por Arango, Garcés y Molina (2008) se evidenció que los costos del procedimiento de electrocoagulación son muy inferiores al obtenido con el uso de técnicas de coagulación química, y que para la industria láctea es viable técnica y económicamente. Para Gilpavas, et. al. (2008) es destacable que el costo beneficio de la utilización de la electrocoagulación está en los beneficios ambientales y la posible reutilización del agua que es tratada.

En el estudio presentado en 2012 por Pantoja cuya importancia radicó en el uso combinado de electrocoagulación y floculación como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales de la industria minera, se tomaron en cuenta factores como la carga aplicada, densidad de corriente, pH en la floculación, y cantidad de floculante. Los resultados se cuantificaron con la medición de parámetros tales como turbiedad, cantidad de sulfatos y pH final. Además, se realizaron mediciones de las cantidades de metales removidos, demanda química de oxígeno, sólidos totales, conductividad y color.

Es importante destacar que no siempre la técnica electrocoagulación arroja los mejores resultados, es así como García, et al (2016) en los resultados de un estudio encontraron mediante un diseño experimental que el porcentaje de remoción de DQO solamente se ubica entre 10,43% hasta 50,93%.

En la electrocoagulación se combinan los efectos de la producción, por electrólisis de gases como hidrógeno y oxígeno y la producción de cationes tales como el  $Fe^{+++}$  y el  $Al^{+++}$  por la oxidación de los ánodos de sacrificio. Los iones metálicos pueden reaccionar con el OH producido en el cátodo durante la formación de  $H_2$ , formando hidróxidos que adsorben los contaminantes y contribuyen a la coagulación (Ruíz, et al., 2007)

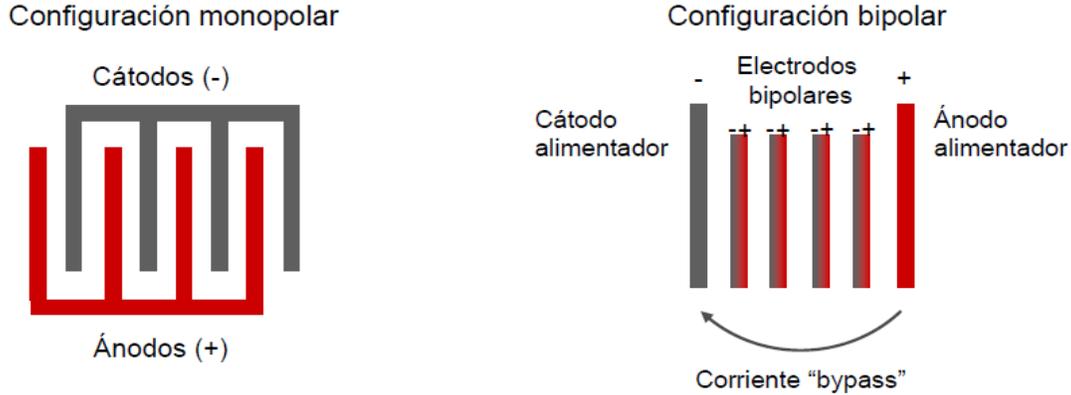
Finalmente, un factor importante ligado al proceso de coagulación química y electroquímica es que las partículas generadas en estos procesos (precipitados o flóculos) tienen capacidad de adsorber otros contaminantes presentes en el agua, tales como materia orgánica y cationes metálicos o aniones, por lo que esta tecnología también puede ser empleada para la eliminación de otros contaminantes, distintos de la materia coloidal, existentes en el agua en tratamiento regenerativo (Merzouk et al., 2009).

#### 6.1.7 Reactor de electrocoagulación.

Un reactor para la electrocoagulación está formado por una celda electrolítica que consta de ánodo y cátodo conectados a una fuente voltaica, los cuales con el paso de corriente eléctrica aportan los iones desestabilizadores de partículas coloidales, permitiendo la formación in situ de coagulante, que generará compuestos metálicos que suplen las funciones de los compuestos químicos que se utilizan en el tratamiento convencional ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , entre otros). El material de los electrodos varía de acuerdo con el tipo de sistema utilizado, bien pueden ser de hierro, aluminio, cobre, acero, o aleaciones de aluminio y magnesio (Morante, 2002).

El diseño formado por un par de láminas como electrodos no es el más apropiado a la hora del proceso ya que para obtener una tasa adecuada de disolución del metal se requiere que estos proporcionen gran área superficial, por esta razón se utilizan celdas con electrodos monopolares en paralelo o conectados en serie o celdas con electrodos en configuración bipolar.

Gráfico 1 Disposición de electrodos: monopolar y bipolar.



Fuente: Navarro, F.M (2007)

Para los electrodos monopolares y bipolares, generalmente se utilizan varias placas de aluminio o hierro como material anódico y se aplica una diferencia de potencial eléctrico que produce en algunos casos hidróxidos insolubles que retienen los contaminantes y posteriormente son separados del agua, o en otros casos hidroxocomplejos catiónicos o aniónicos que, por fuerzas de repulsión electroestáticas, producen coloides, posteriormente sometidos a procesos de floculación. La concentración total del metal y del pH del agua residual, son las variables determinantes para que suceda una cosa o la otra.

Además de lo anterior, para el diseño de una celda de electrocoagulación portátil deben tenerse en cuenta ciertos criterios relacionados con la dirección del flujo de agua residual, el modo de circulación o el tipo de conexión eléctrica; puesto que son aspectos fundamentales para el cumplimiento del propósito de diseñar un reactor o celda de electrocoagulación no fija, que preste servicios a diferentes industriales del municipio. En función de la dirección del flujo en la celda, los reactores se pueden clasificar en unidades de flujo horizontal y vertical.

En función de la forma como el agua a tratar circula entre los electrodos, se pueden diseñar celdas de un sólo canal o de canales múltiples que, debido al pequeño caudal de electrolito en cada uno de ellos se puede ver favorecido el fenómeno de pasivación de los electrodos.

Con respecto a la forma de realizar la conexión eléctrica de los electrodos, los reactores se pueden clasificar en monopolares y bipolares. Los de tipo bipolar requieren menor intensidad y mayor voltaje que los monopolares. Para el caso de la configuración bipolar se presenta la ventaja de lo sencillo de su disposición, ya que sólo se requiere la conexión de dos electrodos alimentadores, y de esta forma se facilita que el espacio entre los electrodos pueda ser más reducido. Para esta disposición, el elevado potencial que se genera entre los electrodos alimentadores origina que parte de la corriente no fluya directamente de electrodo a electrodo, sino que lo realice a través de la disolución, presentándose un bypass de corriente a los electrodos bipolares (Jiang, et al., 2002), generando de esta forma pérdidas de corriente, lo que tiene una incidencia directa sobre y la vida útil de electrodos y la eficiencia del proceso.

#### 6.1.8 Investigación acción y educación ambiental

La puesta en marcha de una estrategia de educación ambiental que, además, fortalezca competencias científicas en los educandos requiere un abordaje teórico y metodológico desde la Investigación-Acción para que el estudiante tenga la oportunidad de modificar variables de la experiencia observada, analizar los efectos producidos, y comparar los saberes previos y los saberes nuevos para la construcción de aprendizajes significativos.

En primer lugar, es importante destacar la necesidad de llevar a cabo una educación ambiental (EA), que de acuerdo con Calixto (2012, p. 1024), debería llevar al ser humano a tomar conciencia de la incidencia de su comportamiento en la preservación de las especies y como consecuencia de ello convertirse en un agente activo, en forma positiva, ante las problemáticas ambientales.

La valoración de lo ambiental y lo científico de manera integral implica, de acuerdo con el modelo educativo colombiano, que los jóvenes en formación a través de acciones como la observación, la formulación de preguntas, el análisis y contraste de información y la construcción de conclusiones, desarrollen conocimientos, habilidades y actitudes que aporten al desarrollo de pensamiento científico y a la comprensión del mundo (Calixto 2012, p. 1024). Ello podría analizarse a la luz de lo planteado por Cárdenas (2006, p. 334) cuando menciona que;

*“Es un hecho conocido, que muchos de los estudiantes durante la educación secundaria e incluso en la Universidad, al enfrentarse en su carrera, al estudio de la Química, unos más que otros, encuentran dificultades de aprendizaje en general y en particular para ciertos temas de esta ciencia. Tales dificultades se manifiestan principalmente en bajo rendimiento académico, poco interés por su estudio, repitencia y usualmente una actitud pasiva en el aula. ¿Por qué los estudiantes tienen dificultades para aprender algunos temas más que otros?, ¿Qué relación existe entre las dificultades de aprendizaje, la desmotivación y la pasividad de los alumnos en las clases de Química?, son algunas de las preguntas que en este contexto ameritan la búsqueda sistemática de respuestas”.*

Así, es importante referir una investigación orientada a diseñar e implementar Estrategias didácticas para la enseñanza de la química en la educación superior. Sandoval (2013) y sus colaboradores diseñaron y aplicaron estrategias didácticas dirigidas a promover una mejor apropiación de los saberes, con el fin de generar capacidades y destrezas indispensables para la competitividad nacional e internacional. Entre los resultados de la investigación se presenta la evolución de actividades desde el 2006 al 2011 en el marco del proyecto "La formación inicial en

ingenierías y Licenciatura en Organización Industrial (LOI)" de la Universidad Tecnológica Nacional, de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, Argentina. Conforme a lo conocido, dichas estrategias se han venido implementando en cursos de Química General y Química Aplicada. La metodología de abordaje es de tipo cualitativa y ha permitido observar mejoras en el trabajo interdisciplinario, desarrollo de la capacidad crítica y auto-reflexiva, discusión y defensa de un saber, empleo de operaciones comprensivas, autonomía del estudiante en su proceso de aprendizaje, mejor comunicación oral y escrita.

En lo correspondiente a la formación en contexto y la educación ambiental se ha consultado con especial interés la investigación de Beltrán (2016) denominada *El aprendizaje significativo como estrategia en el fomento del pensamiento crítico bajo un ambiente de aprendizaje*; trabajo de investigación en el que participaron niños del grado quinto de la Institución Educativa Distrital Jorge Gaitán Cortés y con el que pretendió contribuir a la formación de seres autónomos y críticos trabajando con una metodología significativa que incorpora tecnologías de la información y la comunicación (TICs) para mejorar la situación presentada con los bajos resultados académicos de los estudiantes en la institución.

De acuerdo con los resultados presentados, en desarrollo del proyecto se trabajaron habilidades como la formulación y solución de preguntas desde diferentes contextos, esto con el fin de lograr la construcción del pensamiento crítico. Se observó la exploración por parte de los estudiantes, asociando, preguntando y analizando elementos en forma autónoma para luego argumentar o explicar con sus palabras

Por otra parte, el interés por los asuntos ambientales abordado desde la Investigación-Acción se ha convertido en un punto de convergencia entre las ciencias naturales y las sociales, buscando transformaciones que contribuyan a la apropiación social de la problemática ambiental y la participación individual para su solución (Gutiérrez et al., 2006). Incentivar la participación

comunitaria es pieza clave del engranaje que permita hacer frente a los retos de la sociedad moderna y facilite el reconocimiento objetivo, la problemática social y la proposición de acciones concretas para su solución, para lo que se recomienda el respeto a las particularidades de tales comunidades (Criado, 2013).

La investigación acción debe ser aplicada en contextos específicos en los que el estudiante/investigador tenga la oportunidad de transformar la realidad para conocer los posibles resultados generados en esas transformaciones. “Enseñanza y aprendizaje van juntos, pero son personas diferentes quienes los realizan por eso no siempre compaginan. El aprendizaje puede darse sin enseñanza, y la enseñanza sin aprendizaje. Si se enseña bien, se aprenderá bien, pero enseñar no hace aprender, solamente abre oportunidades de aprender” (Plank & Enerson, 1995). Si se enseña y no se aprende, es porque fallan los medios o fallan los fines de la enseñanza.

Con todo lo anterior, es posible afirmar que la Investigación Acción es un mecanismo idóneo para fortalecer las experiencias de gestión ambiental con la comunidad, integrándolos como sujetos en los procesos investigativos y facilitando la comprensión de las relaciones entre lo ambiental, social y cultural. El proyecto de investigación que aquí se describe se circunscribe a la experiencia que tienen los estudiantes cuando utilizan el método científico aplicado a la técnica de electrocoagulación de contaminantes disueltos en aguas residuales industriales del sector textil.

## **6.2 Marco legal**

La tabla 1 presenta los principales referentes normativos que determinan el marco en el que se desarrolla la propuesta de investigación.

Tabla 1. Normatividad relacionada con el manejo y tratamiento de aguas residuales.

Sector Salud	
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional
Decreto 1594 de 1984	Uso del agua y vertimientos
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Sector Agua Potable y Saneamiento Básico	
Ley 142 de 1994	Régimen de los servicios públicos domiciliarios
Ley 373 de 1997	Uso Eficiente y Ahorro del agua
Resolución 0330 de 2017	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento - RAS.
Medio Ambiente	
Ley 99 de 1993	Organiza el SINA y crea el Ministerio del Medio Ambiente.
Decreto 2667 de 2012	Tasas retributivas
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Resolución 372 de 1998	Monto de las tasas mínimas para las tasas retributivas
Documentos de Política	
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH).	
Lineamientos de Política para el Manejo integral del agua. Aprobado por el Consejo Nacional Ambiental en 1996.	
Política pública para el sector de agua potable y saneamiento básico de Colombia. 2001.	
CONPES 3177 de 2002, Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR)	

Fuente: Elaboración Propia.

Adicionalmente, es importante conocer algunos de los parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales de la “Fabricación de productos textiles “definidos en la Resolución 0631 de 2015, realizados a cuerpos de agua superficiales.

Tabla 2. Parámetros de calidad del agua contenidos en la resolución 0631 de 2015.

Parámetro	Unidad de medida	Valor Admisible
Temperatura	°C	≤ 40
pH	Unidades de pH	6,0 a 9,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L de O <sub>2</sub>	400
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L de O <sub>2</sub>	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	≤ 50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	≤ 2,0
Grasa y Aceites	mg/L	20,0
Fenoles	mg/L	≤ 0,2
<b>IONES</b>		
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	≤ 1200,0
Sulfuros (S <sup>2-</sup> )	mg/L	≤ 1,0
<b>METALES Y METALOIDES</b>		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02
Zinc (Zn)	mg/L	3,00
Cobalto (Co)	mg/L	0,50
Cobre (Cu)	mg/L	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50
Níquel (Ni)	mg/L	0,50
<b>Otros Parámetros para Análisis y Reporte</b>		
Color real (Medidas de Absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m <sup>-1</sup>	ANÁLISIS REPORTE Y

Fuente: Resolución 0631 de 2015; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 17 de marzo de 2015

### 6.3 Marco metodológico

El diseño metodológico del presente proyecto posee dos componentes principales: el primero relacionado con el diseño y ejecución de actividades formativas en el laboratorio, para el fortalecimiento de competencias científicas en estudiantes de secundaria ; el segundo relacionado con la recolección de muestras de aguas residuales generadas en empresas de decolorado textil, su caracterización básica, tratamiento mediante proceso de electrocoagulación y la caracterización de

las aguas resultantes de dicho proceso; con el propósito de evaluar la remoción de contaminantes, especialmente el color. Ambos con su respectivo análisis posterior.

#### 6.3.1 Cumplimiento del primer objetivo:

Orientar prácticas científico-pedagógicas con estudiantes de secundaria, aplicando el método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales, que contribuyan al fortalecimiento de las competencias científicas y a la concienciación ambiental.

Con el propósito de conocer algunos de los logros alcanzados mediante las prácticas propuestas, se estructuró una encuesta para ser aplicada a los estudiantes en dos momentos específicos; antes y después de dichas prácticas. Al momento de su diligenciamiento se les solicitó a los encuestados tomarse el tiempo necesario y responder de la manera más objetiva posible.

La encuesta, de la que se tienen tabulados sus resultados en el capítulo 8 está compuesta por diez preguntas redactadas de forma sencilla y en ella se buscó identificar la concepción que el estudiante tenía respecto a temas propios del proceso de investigación, sus conocimientos sobre temas específicos de contaminación hídrica y la posibilidad de participar en la búsqueda de soluciones a una problemática ambiental (Anexo A). Posteriormente se realizaron las prácticas científico-pedagógicas.

##### 6.3.1.1 Presentación de bases teóricas

Consistió en la elaboración de guías de aprendizaje con lecturas, videos y prácticas que aportaron elementos teóricos y conceptuales relacionados con los temas de estudio. En primer lugar, se abordaron conceptos generales de química y de medio ambiente, tales como: elementos químicos, soluciones, ciclo del agua, contaminación ambiental e hídrica y sus consecuencias. Posteriormente se trataron conceptos específicos relacionados con el tema de investigación: parámetros de calidad del agua como turbidez, color real, color aparente, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de

oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO) y su medición; tratamiento de aguas para el consumo humano (PTAP) y residuales (PTAR), tratamientos químicos, físicos y biológicos, floculación, coagulación, sedimentación, electrocoagulación; métodos de muestreo y manejo de las mismas; normatividad que aplica a los vertimientos de aguas residuales en Colombia, entre otros. Una de las guías de aprendizaje desarrolladas se encuentra en el anexo D.

#### 6.3.1.2 Prácticas de laboratorio y visitas guiadas.

Una vez los estudiantes adquirieron conocimientos básicos sobre los temas relacionados, se realizaron prácticas de laboratorio encaminadas a la medición de algunas variables del agua, tanto para consumo humano como residual. Se modificaron las condiciones del agua y se evaluó la incidencia de dichas modificaciones en las variables medibles y la posible afectación al medio ambiente, debida a dichos cambios.

Posteriormente se programaron y realizaron visitas guiadas a una planta de tratamiento de aguas para consumo humano, en este caso la planta Aguazul del municipio de Dosquebradas. Antes de la visita se entregó a los aprendices un cuestionario que debieron responder de acuerdo a lo observado y las explicaciones dadas por el ingeniero encargado de la planta. Dicho cuestionario buscaba encaminar la observación de los estudiantes y que preguntaran al guía con el fin de obtener la mayor cantidad de información relevante de los procesos realizados en la planta (Anexo B).

Ilustración 1 Sitio de captación de agua – Planta Aguazul



Ilustración 2 Caseta de dosificación de coagulantes.



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Otra visita que se llevó a cabo, pero esta vez con pocos estudiantes, fue a la planta de decolorado y teñido, donde los estudiantes pudieron observar los procesos realizados y las aguas residuales generadas. La visita fue aprovechada para efectuar la práctica de toma y manejo de muestras y la medición de variables en el sitio.

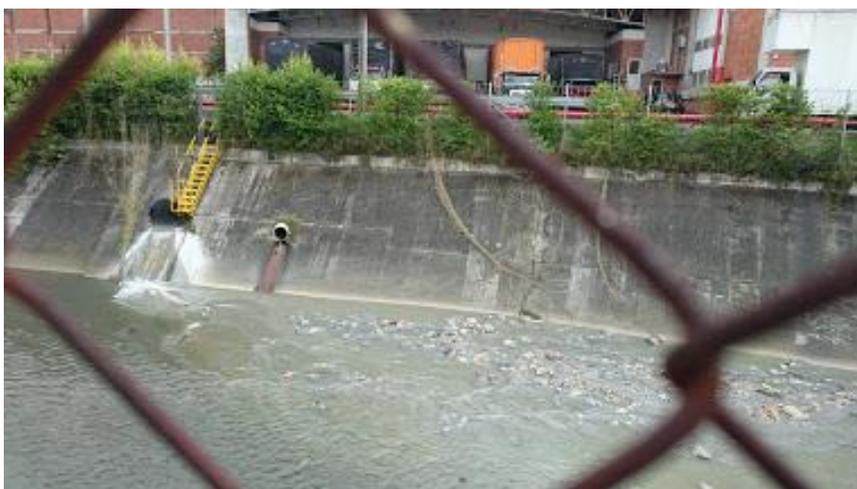
Ilustración 3 Canal de conducción de agua residual.



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Otra visita realizada, fue al punto donde las aguas residuales generadas en la planta de decolorado, son vertidas al cuerpo hídrico.

Ilustración 4 Vertimiento de aguas residuales a la quebrada Dosquebradas.



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

El agua residual generada en la planta y recolectada como muestra, fue llevada al laboratorio donde los aprendices realizaron la caracterización básica de las misma.

### Ilustración 5 Caracterización básica de la muestra



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Después de investigar y analizar la información encontrada con respecto al proceso de electrocoagulación, los estudiantes planearon los experimentos a realizar con miras a establecer condiciones de proceso bajo las cuales se logrará reducir, la máxima cantidad de color presente en el agua, en un tiempo determinado. Teniendo como objetivo mínimo, el valor máximo reportado en otros trabajos de investigación donde se haya abordado el mismo problema.

### Ilustración 6. Prácticas de electrocoagulación



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Realizaron las prácticas de laboratorio, tal como se describen en el apartado 6.3.2, los datos tomados por duplicado fueron registrados en la bitácora de trabajo donde se monitorean las condiciones de toma de muestra y cualquier otro aspecto que se pueda considerar relevante en el momento de realizar la operación. Al término de cada una de las prácticas se realizó con los jóvenes investigadores un proceso de retroalimentación en el que ellos presentan propuestas de modificación al protocolo o su desarrollo con miras a obtener mejores resultados en un proceso experimental. Posteriormente se realizó un análisis y discusión grupal de las bases teóricas y conceptuales de la sesión, el protocolo de experimentación, los aciertos, las dificultades y los resultados obtenidos y esperados con la introducción de las modificaciones propuestas por los estudiantes.

Ilustración 7. Estudiantes realizando mediciones de variables a aguas residuales sometidas a procesos de electrocoagulación



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

De acuerdo a los logros obtenidos por los estudiantes estos expusieron el proyecto y los resultados a familiares, representantes de diferentes instituciones educativas, universidades y centros de investigación. Además, teniendo presente las temáticas establecidas en simposios y congresos a nivel

nacional e internacional, el proyecto fue postulado para ser expuesto bajo las modalidades de poster o ponencia y, en los casos en los que fue aceptado, fue presentado.

### 6.3.2 Cumplimiento del segundo y tercer objetivo:

Determinar las condiciones de aplicación del método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales generadas por procesos de decolorado textil en industrias del municipio de Dosquebradas.

El desarrollo metodológico para el cumplimiento de estos objetivos se basó, en su mayor parte, en identificar las condiciones de operación del proceso de electrocoagulación bajo las cuales se lograra reducir el color presente en las aguas en estudio, en porcentaje igual o superior a los registrados en la bibliografía consultada. Una vez identificadas dichas condiciones, se realizaron mediciones para determinar, adicionalmente, porcentajes de remoción de: Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sólidos sedimentables. Estas últimas mediciones se realizaron por duplicado en los laboratorios de la tecnoacademia SENA y se enviaron muestras idénticas para análisis al laboratorio de análisis de aguas y alimentos, de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Inicialmente se contó con la colaboración de tres empresarios, del municipio de Dosquebradas, que facilitaron muestras de aguas residuales generadas en los procesos de decolorado de prendas textiles, todas ellas de color azul índigo. Después de realizar la caracterización básica de dichas muestras, de conocer los procesos realizados y los insumos utilizados se concluyó que las características básicas de dichas aguas son muy similares, por lo que se decidió que el grueso de la investigación se realizaría con las aguas residuales proporcionadas por una sola de esas empresas.

### 6.3.2.1 Recolección y manejo de las muestras.

En cada oportunidad se recolectó, en una caneca plástica, 20 litros o más de muestra, con el propósito de efectuar la mayor cantidad de pruebas posibles, con una misma calidad de agua. Por tratarse de operaciones realizadas por baches o cochadas, se estableció que la muestra sería tomada de la parte inicial del desagüe de la máquina, que en general no tiene una duración mayor a minuto y medio o dos minutos. Siempre se efectuó un enjuague inicial al recipiente con la misma agua residual a recoger y se utilizó en su totalidad antes de que se cumplieran 24 horas de su recolección.

### 6.3.2.2 Medición de variables básicas del agua en punto de recolección.

En el momento de toma de la muestra, se midió a la misma el pH, con tiras medidoras de pH marca MColorpHast, de Merck y la temperatura, con un termómetro de bolsillo de vástago de acero inoxidable marca Winters, con rango de medición de -10 °C hasta 110 °C y una precisión de 2 °C, el cual se verifica semanalmente su correcto funcionamiento mediante contrastación con termómetros de referencia que se tienen en el laboratorio. Se utiliza en ambos casos una muestra de agua residual separada en un beaker plástico con capacidad de 500 mililitros, al cual se realiza enjuague previo con la misma.

### 6.3.2.3 Caracterización básica de las muestras, antes y después del proceso de electrocoagulación.

Los materiales y equipos utilizados para la caracterización básica del agua residual antes y después del proceso de electrocoagulación fueron:

- Conductímetro: sensor PASPORT Código: PS-2116 A
- Espectrofotómetro Merck Prove 600
- Termo reactor MACHERY-NAGEL referencia VARIO C2
- Incubadora para DBO<sub>5</sub> fabricante ELECTRÓNICA Y QUÍMICA, referencia IDR9

- Cabezales para medición de DBO<sub>5</sub> por respirometría, marca OxiTop
- pH metro SI Analytics referencia HandyLab 100 que cuenta con una precisión de 0,01 unidades de pH y que se ha calibrado previamente y se ha corroborado su buen funcionamiento mediante contraste con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10.
- Centrifuga Eppendorf referencia 5804
- Conos Imhof, de policarbonato.
- Beaker de vidrio de borosilicato de 50, 100 y 1000 centímetros cúbicos.
- Pipetas Volumétricas de 25 centímetros cúbicos.
- Micropipetas
- Tubos de ensayo.
- Elementos de protección personal y otro material de laboratorio.

Para realizar la caracterización básica de la muestra, se lleva un poco de la misma a un beaker de 100 cc y a esta se mide el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura, teniendo presente realizar siempre el correcto enjuague y secado de las sondas.

Después se toma otra parte de la misma muestra y con ella se llenan dos tubos eppendorf de capacidad de 50 cc cada uno, los cuales son centrifugados durante 9 minutos a una velocidad de 3900 revoluciones por minuto (r.p.m). Estas condiciones que buscan realizar la adecuación necesaria con el fin de medir color real de las muestras, se definieron mediante experimentación. Luego se retiran las muestras de la centrifuga teniendo la precaución de no agitarlas ya que lo buscado es que toda partícula que pueda ser precipitada, lo haga. Posteriormente se destapa el tubo y con una pipeta desechable se toma muestra de la parte superior del mismo y se lleva a celda de vidrio de 10 mm de ancho, utilizada para medir las absorbancias a las tres longitudes de onda que establece la resolución 0631 de marzo de 2015 (436 nanómetros, 525 nanómetros y 620 nanómetros) Para ello se utilizó el

espectrofotómetro Prove 600 de Merck. El objetivo de medir las absorbancias es poder calcular el porcentaje de remoción de color, de acuerdo a fórmula propuesta por Londoño 2001 y modificada por el grupo de trabajo en el sentido de realizar las mediciones a las tres longitudes de onda establecidas en la resolución 0631 de marzo de 2015.

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de remoción de color

$$\% \text{ Decoloración} = \frac{\sum A a - \sum A b}{\sum A a} * 100$$

Donde:

Aa, es la absorbancia de la muestra tal como se toma de las máquinas de lavado.

Ab, es la absorbancia de la muestra después de pasar por el proceso de electrocoagulación.

Después de identificar las condiciones óptimas del proceso de electrocoagulación, se realizaron, además de las mediciones ya expuestas, las de DQO, DBO<sub>5</sub>, y sólidos sedimentables.

#### 6.1.1.1.1 *Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Para la determinación de la DQO se utilizó Kit Spectroquant de marca Merck, intervalo de medida 500 – 10000 mg/l de DQO, con el protocolo establecido por el mismo.

La digestión de la muestra se llevó a cabo en el Termo reactor MACHERY-NAGEL referencia VARIO C2. Además, se utilizó el espectrofotómetro Merck Prove 600 y se seleccionó el método preprogramado en el mismo equipo.

#### 6.1.1.1.2 *Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)*

Para la determinación de la DBO<sub>5</sub> se utilizaron cabezales digitales OxiTop, de acuerdo al protocolo establecido por el fabricante, y la incubadora ELECTRÓNICA Y QUÍMICA, referencia IDR9. Método SM 5210.

#### 6.1.1.1.3 *Determinación de los sólidos sedimentables*

Se utilizaron dos conos Imhof de policarbonato, con su base, y la medición se realizó conforme a los protocolos y en tiempos de 45 y 60 minutos. Método 2540 F

#### 6.3.2.4 Diseño del reactor

En esta etapa se busca identificar las condiciones óptimas de operación del reactor de electrocoagulación. Es importante aclarar, nuevamente, que para ello se evaluó como único parámetro, los resultados obtenidos en remoción de color.

Los equipos y el material utilizado para realizar y controlar los procesos de electrocoagulación fueron los siguientes:

- Fuente de poder de corriente continua, para laboratorio, regulable de 0 a 32 Voltios y de 0 a 5 amperios. Marca Gw Instek Modelo GPC-3060D
- Multímetro Hold Peak modelo HP-760 C
- Láminas de aluminio liso calibre 22 y de hierro cold rolled calibre 22, de diferentes dimensiones, utilizados como electrodos.
- Cables de prueba rojos y verdes, terminales banano 4 mm y caimán, largo 50 cm.
- Listones de madera de 3 mm, 5 mm y 10 mm de espesor. Utilizados para regular la separación entre los electrodos.
- Cronómetro digital, marca TRAVELWEY
- Beaker de vidrio de borosilicato de 1000 centímetros cúbicos.

Teniendo presente que los procesos realizados en las empresas de decolorado se realizan por cochadas o batches, se estableció como punto de partida que se trataría de un reactor que operase bajo las mismas condiciones, es decir por cochadas. Para ello se definieron las siguientes variables

o condiciones como punto de partida del diseño: todos los ensayos se realizaron en beakers de vidrio de borosilicato de capacidad de 1000 centímetros cúbicos y la muestra a tratar fue siempre de 800 centímetros cúbicos.

Ilustración 8. Montaje para ensayos de electrocoagulación.



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

#### 6.1.1.1.4 Selección del material del electrodo

Los primeros ensayos tienen como propósito seleccionar el material de electrodo a utilizar.

Para ello se establecieron como condiciones fijas del proceso de electrocoagulación las siguientes: 10 mm de separación entre los electrodos, intensidad de corriente de 3 amperios, aplicada durante un tiempo de 10 minutos, electrodos de 6 cm de ancho que conducían a proporcionar un área efectiva de trabajo de 60 cm<sup>2</sup>.

La variación consistió en utilizar en unas oportunidades electrodos de aluminio y en otras, electrodos de hierro. Siempre se utilizó el mismo tipo de material para ánodo y cátodo.

#### 6.1.1.1.5 Determinación de separación entre los electrodos.

Después de haber definido el material a utilizar en los electrodos, se procedió a realizar pruebas de laboratorio que buscaban identificar la incidencia de la separación de los mismos en el proceso

de electrocoagulación y, directamente, la separación óptima de trabajo para el tratamiento de las aguas en estudio. En esta oportunidad se establecieron como parámetros fijos, el material del electrodo ya seleccionado, una intensidad de corriente de 3 amperios aplicada durante 5 minutos, electrodos que proporcionaron un área de trabajo de  $60 \text{ cm}^2$  y se realizaron ensayos por triplicado con separaciones entre los electrodos de 3, 5 y 10 milímetros.

#### 6.1.1.1.6 *Determinación del tamaño de los electrodos.*

Para determinar el tamaño de los electrodos, se estableció como parámetros fijos, el material de los electrodos y separación entre ellos, establecidas en los dos anteriores ítems, bajo una intensidad de corriente de 3 amperios y aplicada durante un periodo de tiempo de 10 minutos.

Ilustración 9. Electrodos de diferentes tamaños



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Se utilizaron electrodos que proporcionaron áreas efectivas de trabajo de  $30 \text{ cm}^2$ ,  $60 \text{ cm}^2$  y  $90 \text{ cm}^2$ .

#### 6.1.1.1.7 *Determinación de la intensidad de corriente.*

Para esta determinación se definió como constantes los siguientes parámetros: material, separación y tamaño de electrodos establecidos en los tres ítems anteriores; sometidos a la intensidad de corriente de ensayo durante un periodo de 5 minutos. Para los ensayos, el sistema fue sometido a intensidades de corriente de 1, 3, 5, 6 y 6.4 amperios.

#### *6.1.1.1.8 Evaluación de la incidencia del pH en el proceso de electrocoagulación.*

Con el fin de determinar la incidencia del pH en el proceso de electrocoagulación se partió de una muestra global, que fue dividida en tres partes y, a dos de ellas se les adicionó ácido sulfúrico concentrado para modificar dicho parámetro; se trataron 800 cc de muestra, con electrodos de aluminio, que proporcionaron un área efectiva de cada electrodo  $90 \text{ cm}^2$ , con una separación entre ellos de 5 mm y durante un tiempo 3 minutos.

#### *6.1.1.1.9 Evaluación de las variaciones del pH y la temperatura de las muestras debidas a procesos de electrocoagulación.*

En la medida en que se realizaban las pruebas de laboratorio con miras a determinar las mejores condiciones de operación del reactor de electrocoagulación, se fue registrando, además de las variaciones en los valores de absorbancias, el comportamiento de la temperatura y el pH.

## **7 Resultados.**

### **7.1 Orientación de prácticas científico-pedagógicas.**

Se realizan con estudiantes de secundaria, aplicando el método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales, que contribuyan al fortalecimiento de las competencias científicas y a la concienciación ambiental.

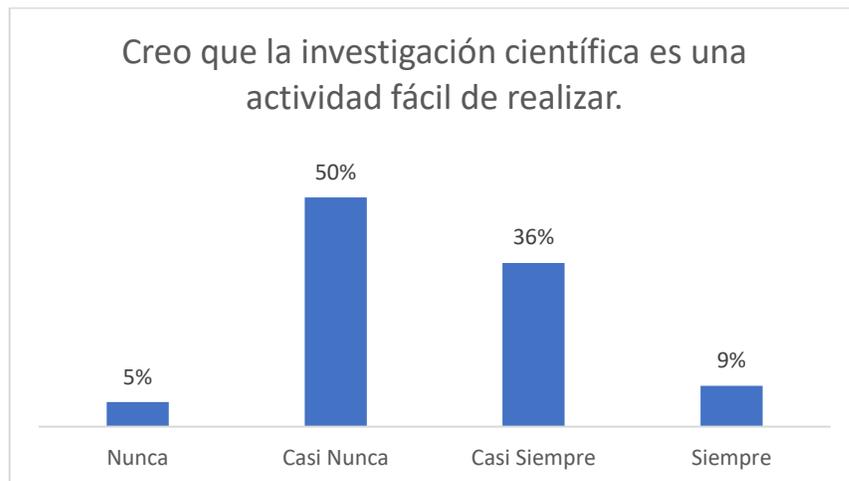
Mediante este proyecto de investigación se han realizado diversas acciones científicas y pedagógicas con los estudiantes de básica secundaria de colegios privados y públicos de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa, con el propósito de establecer la aplicabilidad de un método de desestabilización de contaminantes del agua por la acción de corriente eléctrica directa para la reducción de estos en aguas residuales del proceso de decolorado textil.

Además del impacto ambiental, la participación de jóvenes vulnerables económicamente en procesos de este tipo tiene relación directa con sus procesos de aprendizaje y adquisición de competencias científicas conjuntamente con la estructuración de sus roles y responsabilidades sociales. Considerando que la Investigación Acción se ha convertido en importante metodología para fomentar la participación social en la solución de problemas y en una poderosa herramienta educativa con importantes resultados en términos sociales y ambientales este proyecto ha tenido como uno de sus propósitos, la apropiación del conocimiento ambiental por parte de jóvenes estudiantes a través de la intervención en el laboratorio sobre la contaminación de cuerpos hídricos con aguas residuales generadas en procesos de decolorado de prendas.

#### 7.1.1 Resultados de encuesta y evaluaciones prácticas.

Previo a la presentación de los resultados del test, se sugiere hacer una revisión del instrumento que se utilizó y que se encuentra disponible al final del presente escrito, como anexo A. En los gráficos siguientes se presentan algunos de los principales resultados.

Gráfico 2. Percepción frente a las posibilidades de realizar investigación científica-aplicación del test antes de la formación.



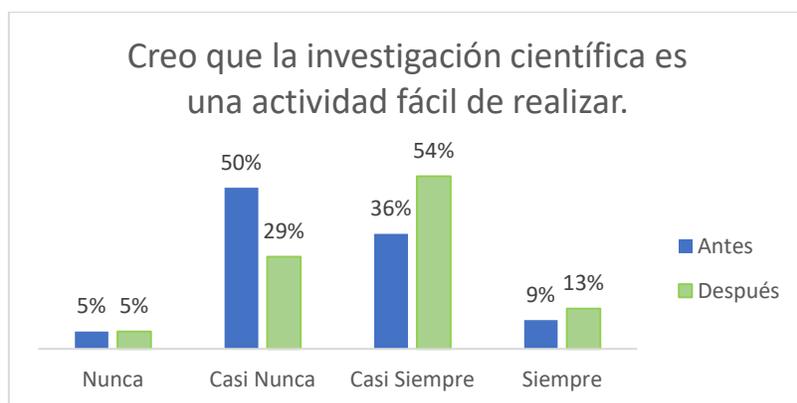
Se logra evidenciar que la mayoría de los estudiantes encuestados (55%) considera que nunca o casi nunca, la actividad científica es una actividad fácil de realizar. Al entablar diálogos posteriores con los encuestados muchos manifiestan tener la percepción de que la investigación es para genios o personas con gran cantidad de conocimiento, y dotados de unas facultades especiales que no todos poseen.

Gráfico 3. Percepción frente a las posibilidades de realizar investigación científica-aplicación del test después de la formación.



Posterior a las prácticas establecidas durante el semestre para la formación de los estudiantes, la mayoría (67%) manifiesta que la investigación científica siempre o casi siempre es una actividad fácil de realizar. También, reconocen que requiere esfuerzo y dedicación, pero que en acompañamiento de entidades como la Tecnoacademia SENA o el programa Ondas, es viable el desarrollo de la misma. Dan gran importancia al trabajo en equipo y la metodología de aprendizaje basado en problemas.

Gráfico 4. Percepción frente a las posibilidades de realizar investigación científica

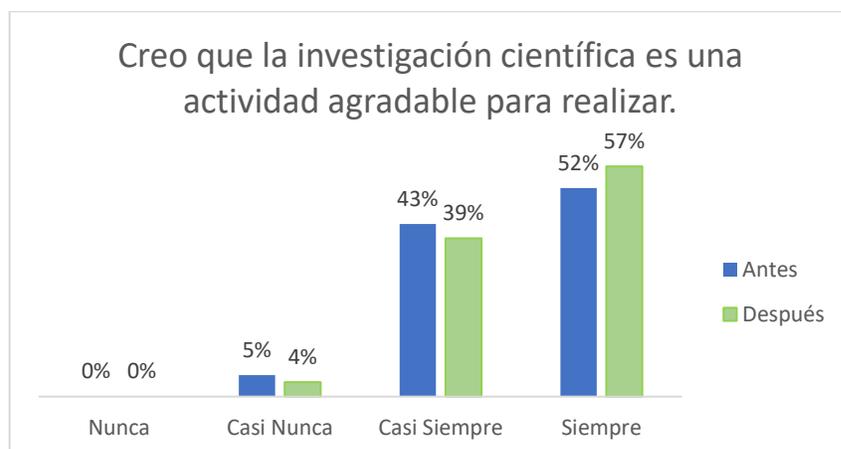


Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Se pudo evidenciar un cambio actitudinal positivo respecto al método y la actividad científica entre los estudiantes, puesto que se puede constatar un incremento del 22 % en el porcentaje de estudiantes que opinan que las actividades científicas son fáciles de realizar (Diferencia entre antes y después, para las respuestas de siempre y casi siempre).

De la misma forma que se analizó el gráfico 4 se procedió para lograr los gráficos del 5 al 13. Es importante tener presente que la comparación entre datos, antes y después, se hace generalmente con los resultados obtenidos para las opciones de casi siempre y siempre.

Gráfico 5. Impacto actitudinal hacia la investigación científica

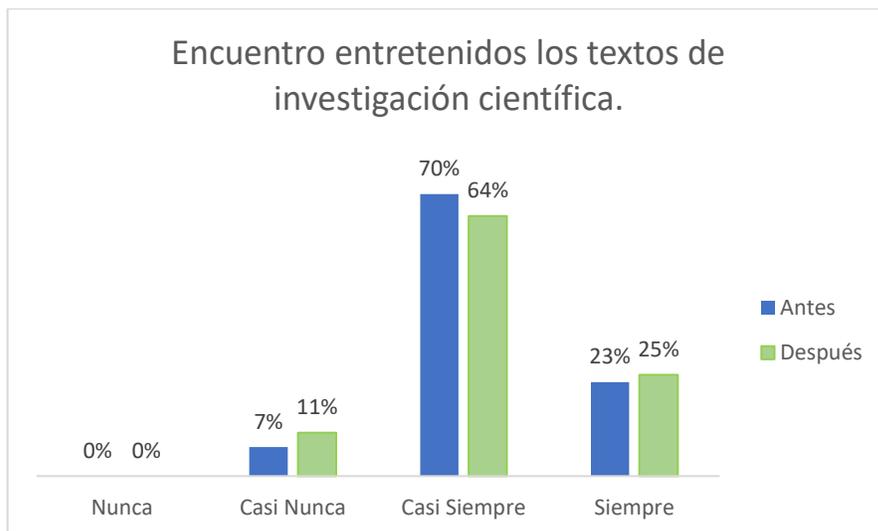


Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Se presentó un incremento de 5 puntos porcentuales entre los estudiantes que al principio de la prueba consideraban que la actividad científica siempre es agradable de realizar, con relación a los estudiantes que manifestaron esa opinión al final de la misma. En el caso de quienes opinaron que casi siempre; las respuestas demuestran que para los estudiantes fue posible desarrollar el método científico y que no encontraron dificultad en el proceso.

A diferencia de los resultados observados en el gráfico 3, la mayoría de los estudiantes, incluso antes del programa de formación, consideran que la investigación es una actividad agradable de realizar y le dan gran relevancia a la misma. Para ellos el hecho de que sea agradable, tal como se plantea en las preguntas del test, es diferente a que sea alcanzable o fácil de realizar.

Gráfico 6. Impacto actitudinal hacia el abordaje de textos científicos

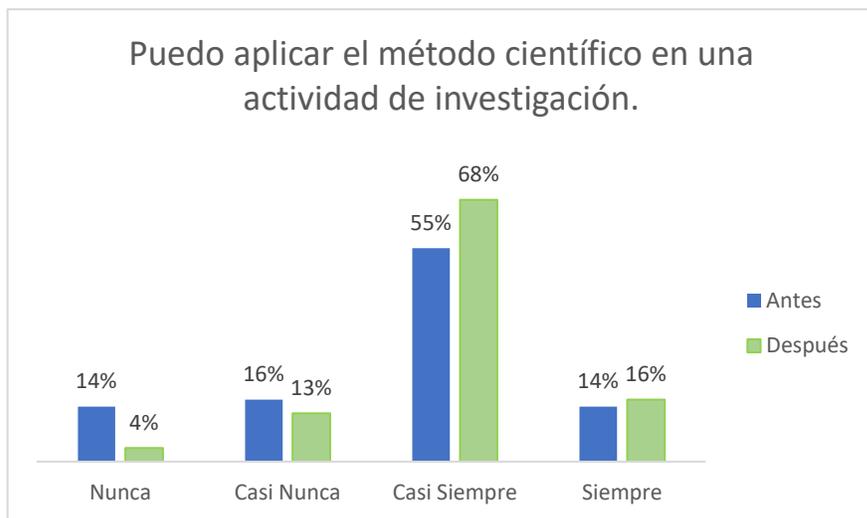


Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Es importante tener presente que en el proceso de investigación los estudiantes analizan y construyen bases teóricas para la actividad que se desarrollará en el laboratorio y que la construcción de las mismas se logra mediante la lectura y análisis de diferentes textos técnicos. Contario a la

mayoría de los otros temas preguntados, se presentó un resultado negativo, viéndose una disminución de 4 puntos en el porcentaje de estudiantes que encuentran entretenidos los libros de investigación científica. La necesidad de realizar lecturas continuas para el desarrollo de las prácticas de laboratorio genera en los estudiantes una apatía que se manifiesta en las respuestas. Al indagar con mayor profundidad con los estudiantes se logró evidenciar que, en la actualidad, estos son más visuales y auditivos; y que prefieren aprender mediante la observación de videos y gráficos o mediante prácticas de laboratorio.

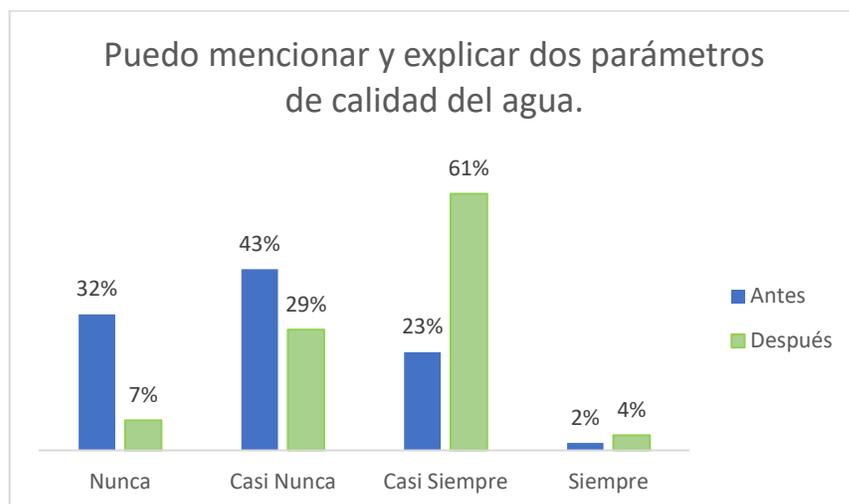
Gráfico 7. Fortalecimiento de competencias científicas



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

En desarrollo de los ensayos de laboratorio y después de fortalecer la fundamentación teórica, el porcentaje de estudiantes que mejoró la percepción respecto a su capacidad para realizar actividades de laboratorio o aplicar métodos de investigación en actividades científicas fue del 15%, como se puede apreciar en el gráfico anterior.

Gráfico 8. Aprehensión de contenidos

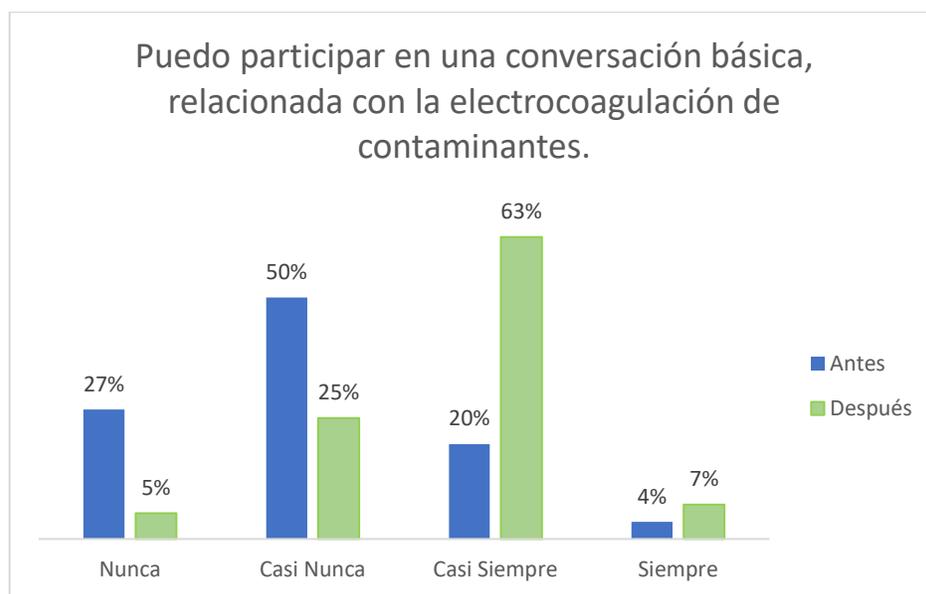


Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Otro de los resultados alcanzados en términos de aprendizaje o aprehensión del conocimiento, y el segundo que mayor incremento presentó, es el relacionado con el conocimiento de parámetros de calidad del agua, donde el porcentaje de estudiantes que manifestaron, casi siempre, poder mencionar, y en la mayoría de los casos describir, dos parámetros del tema; presentó un incremento porcentual de 38 puntos. Del mismo modo, en la medición final el 4% de los estudiantes manifestó que siempre puede mencionar y explicar dos parámetros, lo que significa un incremento de dos puntos porcentuales con respecto a la medición inicial, como se puede observar en el gráfico anterior.

Para este caso en particular es importante resaltar que los resultados obtenidos son corroborados, durante el desarrollo de las prácticas, mediante las diversas formas de evaluación planteadas en las guías de aprendizaje tales como: preguntas escritas, desempeño y producto. Estos dos últimos se logran mediante mediciones e interpretación de resultados.

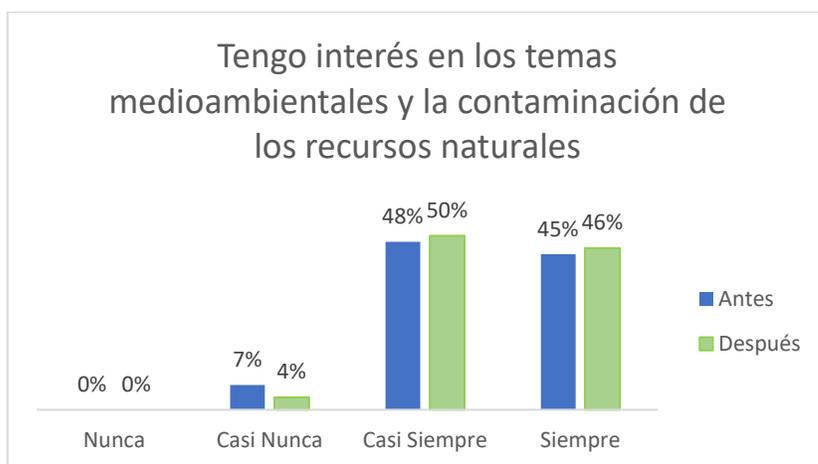
Gráfico 9. Fortalecimiento de competencias socioambientales



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

El manejo de conceptos básicos de electrocoagulación de aguas residuales mostró el mejor resultado, con un incremento de 46% de estudiantes (casi 1 de cada 2) que manifestaron que siempre o casi siempre podrían participar en una conversación básica relacionada con el proceso en mención. En la medición inicial el 50% de los participantes manifestó que casi nunca podría participar en una conversación de electrocoagulación y un 20% dijo que casi siempre podría hacerlos. En el sondeo final, los resultados fueron de 25% y 63% respectivamente, lo cual denota un incremento importante en el porcentaje de estudiantes que, se podría inferir, aprendieron el método. Resultados que son soportados, además, con evaluaciones sencillas realizadas a los aprendices y con las exposiciones que ellos realizan de los logros alcanzados. Los resultados en detalle se presentan en el gráfico número 9.

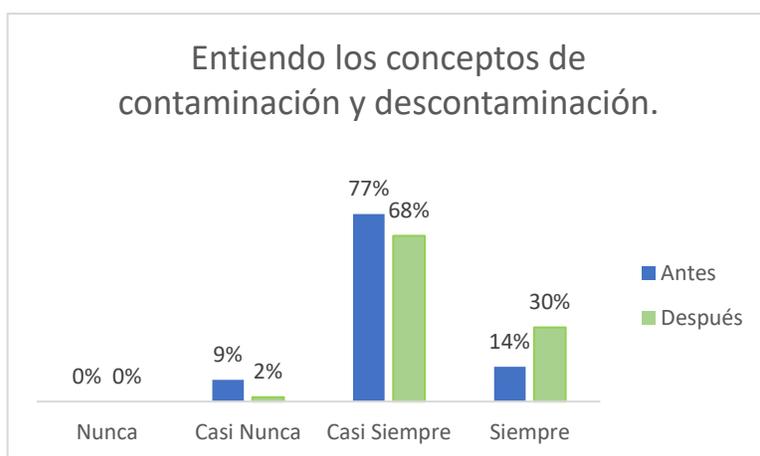
Gráfico 10. Impacto del ejercicio pedagógico en el interés por temas ambientales



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Como es posible observar en el gráfico 10, el porcentaje de estudiantes que manifestaron siempre o casi siempre tener interés en temas medio ambientales se incrementó en un 3%, lo que puede interpretarse como un logro importante si se tiene presente que el proceso de formación se realiza durante un periodo corto de tiempo, que en mayor proporción se realiza en el laboratorio.

Gráfico 11. Mejoramiento en la comprensión de conceptos

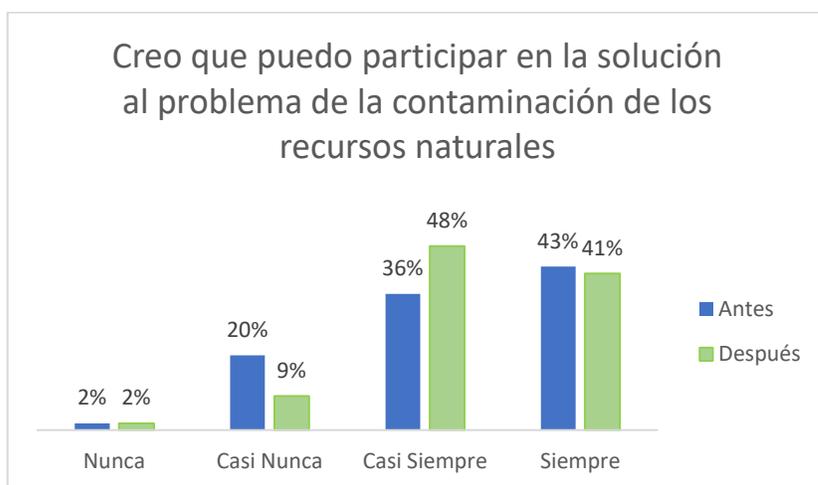


Fuente: Elaboración Propia, 2017.

El gráfico 11 permite evidenciar que el porcentaje de estudiantes que manifestaron entender los conceptos de contaminación y descontaminación se incrementó en un 7% pasando de 91% a 98%. En contraposición el porcentaje de estudiantes que manifestaron inicialmente que nunca o casi nunca entendían conceptos de contaminación y descontaminación se redujo en un 7%. Lo anterior permitiría pensar que el ejercicio de electrocoagulación en el laboratorio tuvo un impacto positivo en la adquisición de conocimientos específicos y en la percepción que los aprendices tienen respecto a la investigación y lectura de artículos científicos.

En el siguiente gráfico, es posible evidenciar las transformaciones actitudinales de los estudiantes que han participado en la actividad pedagógica. Se observa un incremento del 10% en los estudiantes que manifiestan que siempre o casi siempre puede participar en la solución de los problemas de contaminación ambiental y recursos naturales. La importancia de ello radica en el proceso de autodescubrimiento de los jóvenes acerca de sus roles en los procesos de contaminación y conservación de los recursos naturales.

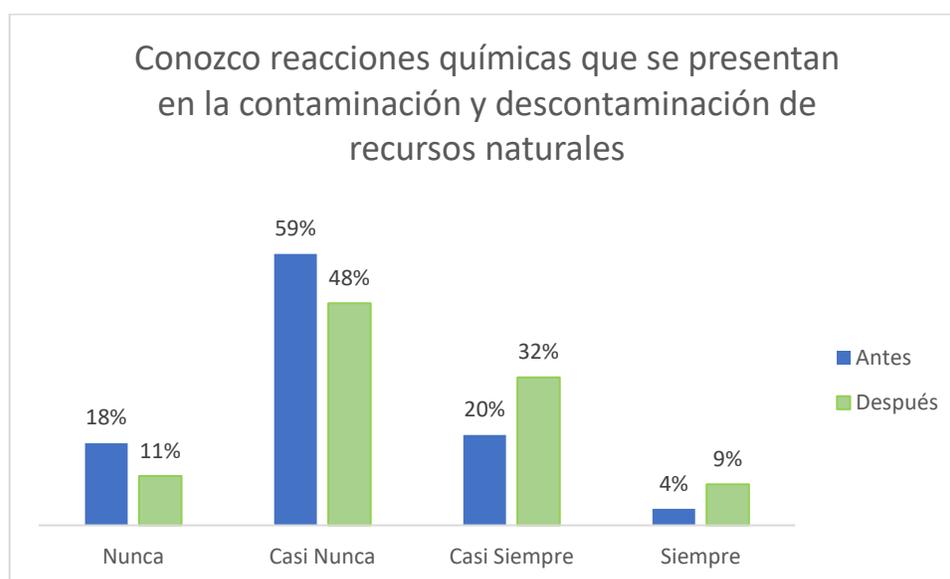
Gráfico 12. Impacto del ejercicio pedagógico en la percepción de responsabilidad ambiental



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Otro de los aspectos que presentó mayor incremento fue la percepción frente a la comprensión de conceptos químicos. Antes de iniciar la actividad el 24% de los jóvenes manifestó que siempre, o casi siempre, conocía reacciones químicas que se presentan en la contaminación y descontaminación de recursos naturales, en contraste al terminar la actividad y aplicar de nuevo la prueba; el 41% de los participantes (correspondiente aproximadamente a 50 personas) realizó la misma afirmación. (gráfico 13).

Gráfico 13. Mejoramiento en la comprensión de conceptos de química y medio ambiente



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

#### 7.1.2 Presentación de resultados en eventos regionales, nacionales e internacionales.

Como resultado de los logros obtenidos y de la asimilación de conceptos, los aprendices tuvieron la oportunidad de exponer los conocimientos adquiridos, así como los avances obtenidos en el proceso de investigación, en eventos académicos a nivel municipal, regional, nacional e internacional.

### 7.1.2.1 Participación a nivel local

#### 7.1.1.1.1 *Actos de clausura de las actividades de formación.*

Grupo objetivo: familiares, docentes, rectores y otros representantes de instituciones educativas; directivas del SENA y estudiantes de diferentes instituciones.

Propósito: dar a conocer los resultados obtenidos en los procesos de formación e investigación, tanto en la adquisición o fortalecimiento en competencias en investigación, como en las investigaciones propiamente dichas.

Ilustración 10 Exposición del proyecto a docentes y directivas SENA nacionales.



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Ilustración 11. Exposición de proyecto a familiares y docentes.



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

#### *7.1.1.1.2 VII Encuentro departamental de la Red Regional de Semilleros de Investigación RREDSI*

Grupo objetivo: integrantes de los diferentes semilleros de investigación del departamento de Risaralda y evaluadores de los proyectos.

Propósitos: dar a conocer los resultados de la investigación, recibir recomendaciones y retroalimentación por parte de evaluadores y asistentes a las ponencias; conocer otros temas que están siendo abordados por diferentes grupos de investigación; facilitar el encuentro con integrantes de otros semilleros que puedan estar interesados en realizar articulación para el avance de los proyectos en ejecución o para el planteamiento de nuevos proyectos y aprender de las mejores prácticas en presentación y sustentación de proyectos de investigación.

Logros: uno de los logros más significativos fue la aprobación del proyecto para ser presentado en el marco del VII Encuentro Regional de Red de Semilleros de Investigación, realizado en la ciudad de Manizales.

Ilustración 12. VII encuentro departamental de semilleros de investigación de Risaralda.



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

#### 7.1.1.1.3 *Dosquebradas emprendedora. Sexta feria de emprendimiento, tecnología e innovación*

Grupo objetivo: integrantes de los diferentes semilleros de investigación del departamento de Risaralda, familiares, docentes y público en general.

Propósitos: dar a conocer los resultados de la investigación, recibir retroalimentación de los visitantes, facilitar el relacionamiento con diferentes personas que puedan estar interesadas en el proyecto de investigación y, dar a conocer la Tecnoacademia SENA

### Ilustración 13 Participación en Dosquebradas emprendedora



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

#### 1.1.1.2 Participación a nivel nacional.

##### 7.1.1.1.4 VII Encuentro regional de semilleros de investigación y VI Encuentro nacional de experiencias significativas en investigación

Grupo objetivo: integrantes de los diferentes semilleros de investigación de los departamentos de Risaralda, Quindío y Caldas y, evaluadores de los proyectos.

Propósitos: socializar los resultados de la investigación, recibir recomendaciones y retroalimentación por parte de evaluadores y asistentes a las ponencias, conocer otros temas de investigación que están siendo abordados por diferentes grupos y, aprender de las mejores prácticas en presentación y sustentación de proyectos de investigación.

Ilustración 14. Participación VII Encuentro regional RREDSI



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Ilustración 15. Certificados de participación como ponentes.



#### 7.1.1.1.5 IV Simposio nacional de formación con calidad y pertinencia

En el evento se presentaron dos ponencias orales: una en la que se muestran los resultados obtenidos en la descontaminación de aguas residuales y otra que hace referencia al proceso de enseñanza-aprendizaje efectuado.

Dichas ponencias fueron: a) Electrocoagulación como alternativa para reducir color en aguas residuales en empresas de decolorado textil b) Formación en contexto para guiar procesos de enseñanza-aprendizaje de la química y la concienciación ambiental.

Grupo objetivo: investigadores, docentes de diferentes instituciones educativas de Colombia, instructores SENA de diferentes regiones de Colombia, evaluadores de los proyectos y directivos SENA.

Propósitos: exponer los logros alcanzados respecto al proyecto de investigación propiamente dicho; dar a conocer las ventajas y pertinencia de la formación de jóvenes estudiantes, mediante el abordaje de problemas reales del contexto y bajo un trabajo colaborativo (Investigación-Acción). Recibir recomendaciones por parte de asistentes a la ponencia, conocer otros temas de investigación que están siendo abordados por diferentes grupos, en especial concernientes a metodologías para guiar procesos de enseñanza-aprendizaje y de investigación.

Logros: además del reconocimiento público al nivel de conocimientos y apropiación de las temáticas por parte de los estudiantes, se ganó el derecho a que la ponencia fuese publicada en el libro de las memorias del evento. <https://simposiosennova.wixsite.com/sinafocape4>

Ilustración 16. IV simposio nacional de formación con calidad y pertinencia



Fuente: Elaboración Propia, 2017.

## Ilustración 17 Participación IV simposio nacional de formación con calidad y pertinencia



### 7.1.2.3 Participación a nivel internacional

#### 7.1.1.1.6 IV Simposio internacional de innovación aplicada. Llevado a cabo en Valencia, España.

Nombre de la ponencia: Didáctica químico-ambiental mediante el abordaje de un problema real de contaminación hídrica.

Grupo objetivo: investigadores y docentes de diferentes partes del mundo. Directivas del Centro Universitario ESIC Business & Marketing School, de Valencia.

Propósitos: dar a conocer las apreciaciones de los educandos después de estar involucrados en un proceso de enseñanza-aprendizaje, guiado mediante el abordaje de un problema real de contaminación, presente en el municipio donde tienen su domicilio.

Ilustración 18. Registro del simposio en Valencia España, por medio local.



Ilustración 19. Aparte de las memorias del evento.

ÍNDICETRABAJOS

  
**ESIC-IMAT**  
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

**Título**  
Didáctica químico-ambiental mediante el abordaje de un problema real de contaminación hídrica

**Autores**  
H.G. Gómez<sup>1</sup>; M.C. Gutiérrez<sup>2</sup>; M.C. Sanchez<sup>3</sup>  
1 Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; sede Tecnoacademia, ambiente de química.  
2 Institución Educativa Maria Auxiliadora, estudiante decimo grado de bachillerato.  
3 Institución Educativa Maria Auxiliadora, estudiante noveno grado de bachillerato.

**Resumen**  
Asistir a las instituciones educativas es para muchos jóvenes una obligación que le imponen sus padres o la sociedad, acuden a sus escuelas con desgano ya que generalmente son formados en temas que no representan interés alguno para ellos y en sus salones de clase los esperan docentes que comparten los mismos conocimientos año tras año y son los únicos agentes activos en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Alternativo a esta situación, existe el programa de Tecnoacademia SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), donde jóvenes entre los once y quince años se ven inmersos en sus primeros pasos de investigación aplicada y de toma de conciencia ambiental, al tiempo que se forman en conceptos propios de química.

<https://www.esic.edu/documentos/editorial/gratuito/9788417129217.pdf>

## 7.2 Aplicación en el laboratorio del método de electrocoagulación y, determinación de las condiciones de aplicación del mismo.

Evaluado en función de la remoción de contaminantes en aguas residuales generadas en procesos de decolorado de prendas textiles, en industrias del municipio de Dosquebradas.

### 7.2.1 Caracterización básica de las aguas residuales.

En la tabla 3 se puede apreciar los valores obtenidos en el laboratorio para la caracterización básica de las aguas residuales generadas procesos de decolorado de prendas textiles de color azul índigo.

Tabla 3. Caracterización básica de la muestra compuesta

Nº Muestra	pH Promedio	Conductividad micro siemens/cm	Temperatura Promedio °C	Abs 436 nm Promedio	Abs 525 nm Promedio	Abs 620 nm Promedio
1	6,56	142	22,7	0,431	0,372	0,612
2	6,94	107	22,7	0,427	0,370	0,511
3	5,17	95	22,8	0,689	0,602	0,607
4	7,09	110	22,8	0,581	0,547	0,944
5	5,91	68,5	21,6	0,443	0,480	0,610

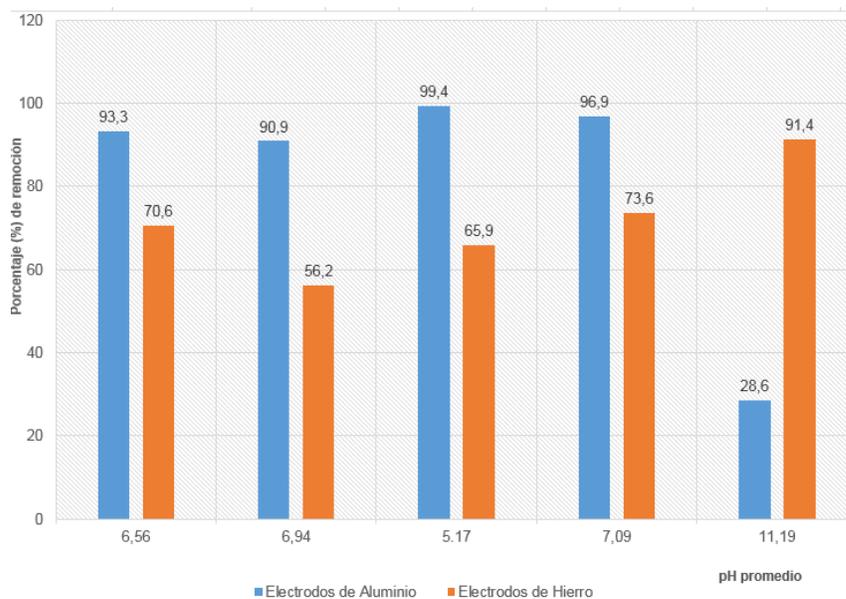
Fuente: Elaboración Propia.

Los valores en las absorbancias son el resultado de la cantidad de color que poseen las muestras.

La mayoría de las muestras son ligeramente ácidas

### 7.2.2 Selección del material de los electrodos.

Gráfico 14. Remoción de color de acuerdo al metal de los electrodos



Fuente: Elaboración Propia.

Para las condiciones de pH que prevalecen en las aguas residuales generadas en los procesos de decolorado (Valores promedio entre 5 y 7,5) los electrodos de aluminio son los que mejor desempeño muestran en cuanto a la remoción de color respecta.

### 7.2.3 Separación entre los electrodos.

Tabla 4. Evaluación de la separación entre electrodos

Muestra	Separación electrodos mm	pH Inicial	% Remoción Promedio
1	3	5,91	30,46
2	5	5,91	95,63
3	10	5,91	65,85

Fuente: Elaboración Propia.

De los resultados obtenidos se logró encontrar que la separación que mejor resultados generó fue la de 5 mm. Por la forma en que se planearon los ensayos, se logró observar, que separaciones menores de 5 mm no permiten la circulación del agua entre los electrodos y reduce la eficiencia del reactor en cuanto a la remoción de color respecta.

#### 7.2.4 Determinación del tamaño de los electrodos.

Tabla 5. Evaluación de la incidencia del área de los electrodos.

Muestra	Área de los electrodos cm <sup>2</sup>	pH Inicial/Final Promedio	Conductividad /cm Promedio $\mu$ S	% Remoción Promedio
1	30	5,91 – 8,99	62,7	96,62
2	60	5,91 – 9,20	61,5	97,88
3	90	5,91 – 9,24	60,6	98,70

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla muestra una relación directamente proporcional entre el tamaño de los electrodos y el porcentaje de remoción de color. Aun cuando puede concluirse que los incrementos de porcentaje de remoción son pequeños, comparados con el porcentaje de incremento del tamaño de los electrodos empleados.

### 7.2.5 Determinación de la intensidad de corriente.

Tabla 6. Incidencia de la intensidad de corriente en el proceso de electrocoagulación

Muestra	Intensidad corriente (Amperios)	pH Inicial/Final Promedio	Conductividad $\mu\text{S/cm}$ Promedio	% Remoción Promedio
1	1	5,91 – 7,41	68,5	42,4
2	3	5,91 – 8,52	66,9	82,1
3	5	5,91 – 8,98	67,3	95,2
4	6	5,91 – 9,12	67,9	96,3
5	6,40	5,91 – 9,08	<b>68,0</b>	97,6

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados muestran una relación directa entre la intensidad de corriente aplicada a los electrodos y el porcentaje de remoción de color. Sin embargo, para valores de intensidad de corriente superiores a 5 amperios, el incremento en la remoción de color no es tan amplio como incrementos dados por debajo de este valor.

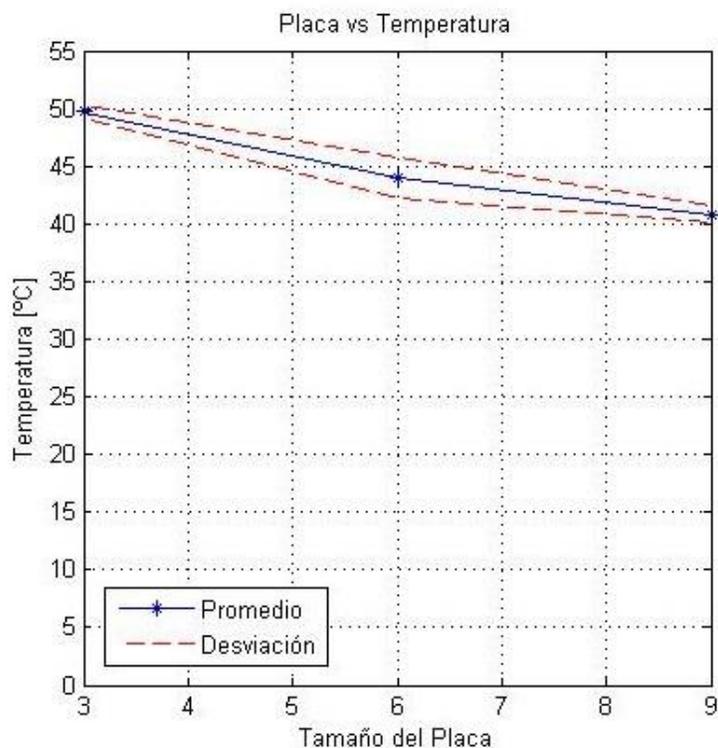
### 7.2.6 Evaluación de otros parámetros y sus variaciones.

Tabla 7. Incidencia del pH en el proceso de electrocoagulación

Muestra	Intensidad corriente (Amperios)	pH Inicial/Final Promedio	Conductividad $\mu\text{S/cm}$ Promedio	% Remoción Promedio
1	5	3,75 – 8,34	69,8	84,61
2	5	6,36 – 8,94	66,2	76,86
3	5	9,54 – 9,54	82,5	52,7

Fuente: Elaboración Propia.

Conductividad Inicial  $65,3 \mu\text{S} / \text{cm}$ . La tabla anterior permite evidenciar que a menores valores de pH para la muestra antes del proceso de electrocoagulación, se logran mejores resultados de



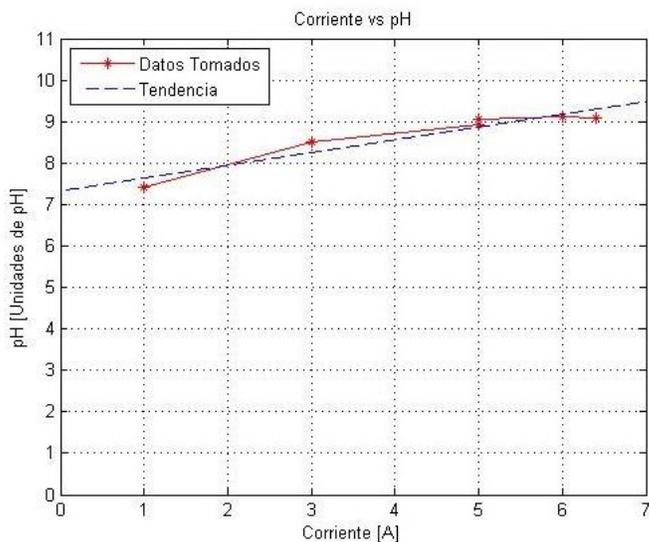
remoción de color.

Gráfico 15. Incidencia del área de electrodo en el incremento de temperatura generado en el proceso de electrocoagulación.

Fuente: Elaboración Propia.

La temperatura inicial de la muestra antes del proceso de electrocoagulación fue de  $21,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . El tiempo de proceso de 3 minutos y la intensidad de corriente aplicada de 3 amperios. Los valores en las abscisas corresponden al ancho de la placa en centímetros que, multiplicado por 10 cm de alto sumergido, arroja valores de 30, 60 y  $90 \text{ cm}^2$  de área efectiva de trabajo. El análisis de esta gráfica permite deducir que, a mayor área efectiva de los electrodos, se presenta un menor incremento en la temperatura de la muestra tratada.

Gráfico 16. Incidencia de la intensidad de corriente aplicada, sobre el incremento del pH, en el proceso de electrocoagulación



Fuente: Elaboración Propia.

El valor de pH inicial fue de 5,91, se trabajó con electrodos de aluminio que suministraron un área efectiva de 60 cm<sup>2</sup> y el tiempo de proceso fue de 5 minutos.

El análisis de la gráfica 14 permite evidenciar que, a mayor intensidad de corriente aplicada al proceso, mayor será el incremento del pH de la muestra y por lo tanto mayor el valor de pH de la muestra después de ser sometida al proceso de electrocoagulación.

#### 7.2.7 Condiciones de operación que mejores resultados generaron.

Como resultado de los valores obtenidos en cuanto a remoción de color en los ítems anteriores (8.2 a 8.6) se establecieron los siguientes parámetros de operación del reactor de electrocoagulación, para el tratamiento de las aguas residuales en estudio: Beaker de 1000 c.c. donde se tratan 800 cc de muestra, con electrodos de aluminio que proporcionan un área efectiva de trabajo de 90 cm<sup>2</sup>,

separados 5 mm, sometidos durante un periodo de tiempo de 5 minutos a una intensidad de corriente de 5 amperios.

#### 7.2.8 Remoción de color, DQO y DBO<sub>5</sub> y, variación en los sólidos sedimentables.

Tabla 8. Remoción de DQO y color. Aguas residuales proceso de blanqueo.

Mediciones en mg O <sub>2</sub> /L			Color
ANTES DE ELECTROCOAGULAR	DESPUES	% Remoción	% Remoción
6105	4320	29,24%	95,35 %
6110	4265	30,20%	97,90 %
6320	4305	31,88%	98,20 %

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados permiten evidenciar que se han obtenido disminuciones de hasta un 31% en la DQO. Estos resultados corresponden a aguas residuales generadas en el proceso de blanqueo.

Tabla 9. Remoción de DQO y color. Aguas residuales proceso de desengomado.

Mediciones en mg O <sub>2</sub> /L			Color
ANTES DE ELECTROCOAGULAR	DESPUES	% Remoción	% Remoción
3145	1805	42,61%	93,21%
3170	1720	45,74%	96,63%

Los valores de remoción de DQO son ligeramente superiores a los logrados con aguas residuales provenientes del proceso de blanqueo.

Tabla 10. Resultados laboratorio externo. Medición laboratorio UTP

Parámetro	Unidades	Antes	Después	% Cambio
DQO	mg O <sub>2</sub> / L	2353	1748	(34,6)
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> / L	473	416	(13,7)
Sólidos Sedimentables 45 Minutos	mL / L	50	110	120

Los resultados muestran porcentajes de reducción en DQO y DBO<sub>5</sub>, muy inferiores a los obtenidos en remoción de color (96,7%). En cuanto al incremento de 120 % en los sólidos sedimentables, el proceso de electrocoagulación muestra efectividad al momento de desestabilizar las partículas coloidales y favorecer la formación de flocs; lo que facilitará tratamientos posteriores como el de filtración o sedimentación. Esto se comprobó experimentalmente en el laboratorio.

### **7.3 Electrocoagulación como alternativa a gran escala para el tratamiento del color de las aguas residuales de la industria textil del municipio de Dosquebradas.**

Con las pruebas de laboratorio presentadas en los capítulos anteriores ha sido posible observar que el método de electrocoagulación es una forma eficiente y efectiva de tratar aguas residuales contaminadas con colorantes y otros materiales en suspensión o disueltos. A pesar de que las pruebas de remoción de color en laboratorio arrojan resultados favorables, es poco probable que pueda pensarse en un sistema de tratamiento mediante electrocoagulación que se construya a gran escala para captar y tratar los vertimientos líquidos de todas las industrias de decolorado textil de Dosquebradas puesto que existen barreras geográficas y financieras que lo hacen económicamente inviable.

Por tal razón, en desarrollo del presente proyecto se propone el diseño y construcción de una celda o reactor de electrocoagulación portátil o modular que pueda ser trasladado de un lugar a otro y que sirva para apoyar las industrias del sector textiles en su proceso de descontaminación y en el mismo sentido sea útil a las instituciones educativas y a la sociedad para contribuir a los procesos de educación ambiental que se requieren para mejorar las condiciones de contaminación hídrica actual.

### 7.3.1 Diseño del reactor

En esta etapa son definidos los parámetros que rigen el diseño del reactor de electrocoagulación, el cual en primera instancia cumple la condición de funcionamiento por cochadas, este fue planeado de forma rectangular, de un solo canal conformado por placas paralelas de polos opuestos en secuencia.

#### 7.3.1.1 Volumen de muestra a tratar

De acuerdo a conversación con el empresario que permitió recolectar las muestras directamente de sus equipos de lavado, se está consumiendo en promedio de 15 a 16 metros cúbicos de agua en una jornada de trabajo de 16 horas y cuenta con dos máquinas de lavado de las cuales se vacía en promedio 500 litros de aguas residuales. Equipos con estas capacidades son los más comunes en las empresas ubicadas en el municipio de Dosquebradas. Teniendo en cuenta estos dos parámetros y buscando siempre contar con un buen margen de seguridad, se tomó un volumen de 600 litros de capacidad máxima como punto de partida para el dimensionamiento.

#### 7.3.1.2 Selección del material a utilizar como electrodos y tamaño de los mismos

Teniendo en cuenta los costos de materiales y la facilidad para su adquisición y mantenimiento se decide trabajar con electrodos de hierro. Conforme a bibliografía y las dimensiones comerciales disponibles de las láminas de hierro, se estima conveniente trabajar con tamaños de electrodos de 60 cm de ancho por 80 cm de alto.

Por otra parte, el espesor de cada una de las placas será de 0,4 cm, seleccionado teniendo en cuenta que el proceso electrolítico implica el sacrificio del ánodo, lo cual significa un desgaste de las mismo.

### 7.3.1.3 Separación entre electrodos

Bajo los principios de la ley de Faraday, se tiene que el proceso electrolítico es directamente proporcional a la intensidad de corriente suministrada al sistema, mientras mayor sea la intensidad de corriente, mayor será la rapidez con la que ocurre el proceso electrolítico, esta a su vez es inversamente proporcional a la resistencia que opone el sistema (agua residual, electrodos, fuente de voltaje) ante el paso de la corriente, es decir que a menor resistencia, mayor será la intensidad de corriente que pasa por el sistema y más rápidamente ocurrirá el proceso. Por tal razón es conveniente que la resistencia sea mínima para garantizar la mayor agilidad en la ocurrencia del proceso.

Es de tener en cuenta que, a menor distancia entre los electrodos, menor es la resistencia del circuito, por esta razón se determinó un espaciamiento entre placas de 0,8 cm (valor escogido para permitir una mínima facilidad de ensamblaje de reactor)

### 7.3.1.4 Dimensiones del reactor

Teniendo presente que el volumen a tratar es de 600 litros; buscando que el nivel de agua esté 5 cm por encima de las placas y sabiendo que se requieren otros 5 cm libres debajo de las láminas para los aditamentos necesarios para el soporte de las mismas, se procede a establecer las dimensiones del reactor;

Considerando que cada placa ocupará un volumen de 1920 centímetros cúbicos y el volumen de muestra a tratar será de 600 litros, que se debe dar un espacio razonable entre las placas con al menos 80 cm de ancho y 90 cm de alto con un margen de seguridad de 10 cm lo que sería el área transversal efectiva de baño y con esto una dimensión de la celda de 100 cm por 110 cm.

Los cálculos también permiten establecer que, después de dejar un espacio de 10 cm entre las láminas y las paredes, se pueden instalar en el equipo 75 placas a utilizar como electrodos. Estas placas proporcionan un área efectiva de trabajo de  $60\text{cm} \times 80\text{cm} \times 75 \times 2 = 720000 \text{ cm}^2$ , el último 2 en la fórmula se debe a que cada electrodo funcionará por ambas caras.

Si el volumen de agua residual a tratar es en promedio 600 litros (como se ha estimado para este proyecto), existirá una relación de “área del electrodo a volumen de muestra” de  $720.000 \text{ cm}^2 / 600.000 \text{ cm}^3 = 1,2 \text{ cm}^{-1}$

De acuerdo a los valores trabajados a escala de laboratorio, este valor está muy por encima del necesario para contar con un buen tratamiento del agua. En el laboratorio se obtuvieron buenos resultados con una relación de  $180 \text{ cm}^2 / 800 \text{ cm}^3 = 0,225 \text{ cm}^{-1}$ . Esto conduce a deducir que los procesos requerirán menos tiempo del establecido en el laboratorio (5 minutos en promedio), se generan bajos incrementos en la temperatura.

#### 7.3.1.5 Intensidad de corriente y configuración eléctrica.

Se requiere de un montaje que permita regular el voltaje y la intensidad de corriente y que también posibilite transmutar los bornes del reactor de tal forma que en oportunidades los electrodos puedan estar conectados como ánodos y en otras oportunidades como cátodos. Esto posibilitará que el desgaste de los mismos se realice de una forma más pareja y debe además mejorar el funcionamiento del equipo. Se debe contar con un amperímetro para realizar la medición constante de densidad de corriente.

#### 7.3.1.6 Materiales y equipos

El electro coagulador es un equipo hecho en acero al carbón recubierto de polipropileno, con el propósito de garantizar la resistencia a los productos químicos y a la presión resultante del peso del agua y de las placas de hierro. La sección destinada a la reacción electroquímica, debe disponer de una sección contigua donde se pueda recolectar la espuma sobrenadante, siendo necesario complementar el equipo en su zona de reacción con dispositivos en la parte inferior que permitan el suministro de microburbujas de aire para facilitar la homogenización del agua tratada, y la flotación de la mayor parte de flocs formados para ser removidos fácilmente.

### 7.3.1.7 Accesorios

El montaje completo se propone utilizando, además de los materiales y equipos, los siguientes accesorios:

- 2 varillas avellanadas para la unión de los electrodos
- 2 láminas de hierro de 5 cm de ancho por 50 cm de alto, para conducir la corriente a los electrodos.
- Una base para los electrodos
- Cauchos para separar los electrodos.
- 2 tornillos con sus tuercas para asegurar los cables que conducen la energía.

Ilustración 20. Reactor/Celda de electrocoagulación mediana (imagen de referencia)



## 8 Conclusiones

- Una práctica pedagógica encaminada a la defensa del ambiente no ha de ser sólo teórica, el docente como ser social debe promover la indagación y reflexión crítica de los problemas que afecten el entorno escolar. En este sentido, se evidenció que las prácticas pedagógico-

científicas de algunos docentes presentan aparente incongruencia con la necesidad de prevenir problemáticas del medio ambiente en entornos próximos.

- En el marco de la Investigación Acción, el aprendizaje en contexto basado en retos facilita la adquisición y aplicación de nuevos conocimientos y destrezas a todos los actores involucrados en el proceso de enseñanza-aprendizaje, al tiempo que motiva y crea conciencia en temas ambientales y socioculturales, dependiendo del reto abordado.
- Bajo ensayos de laboratorio el proceso de electrocoagulación se convierte en una buena opción para la reducción del color en aguas residuales industriales generadas en empresas de decolorado textil. El poco espacio requerido y el corto tiempo necesario para el tratamiento del agua residual son unas de las mayores ventajas del proceso de electrocoagulación.
- Las variables que mayor incidencia tienen en la remoción de color y otros contaminantes bajo el proceso de electrocoagulación son el pH y la intensidad de corriente aplicada. Se hace necesario complementar el proceso de electrocoagulación con otros procesos físicos como el de filtración, para la separación de los flocs, precipitados formados y minerales liberados por los electrodos.

## **9 Discusión**

### **9.1 Fortalecimiento de competencias científicas y concienciación ambiental, en estudiantes de secundaria, mediante el abordaje de un problema real de contaminación hídrica.**

La participación de jóvenes estudiantes en la búsqueda de soluciones a problemáticas reales y cercanas a los mismos, que generalmente requieren seguir un procedimiento científico, facilita en ellos la adquisición o mejora de competencias propias de dichas actividades, así como el adquirir

conciencia de los problemas ambientales que los rodean y reconocer que son parte del mismo y deberían ser, igualmente, parte de la solución.

En los estudiantes que participaron del ejercicio se pudo evidenciar una mejor comprensión y aplicación de los procesos necesarios para llevar a cabo proyectos investigativos; en esta oportunidad la aplicación del método científico y la lectura y análisis de artículos especializados, entre otros. Así mismo se pudo medir, mediante encuestas, su mayor disposición a participar en la solución de problemáticas ambientales y una mejor comprensión de términos específicos relacionados con el tema de investigación. Esto puede considerarse un resultado apenas obvio, si tenemos presente que en la historia de la humanidad se ha demostrado que la mejor forma de aprender algo es haciéndolo, siempre que sea posible. Bien lo dijo Benjamín Franklin: “Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo”.

Es muy gratificante ver como aprendices con edades entre los 15 y los 16 años, son capaces de enfrentarse a un público selecto de investigadores, en el país y en el extranjero, y presentar sus proyectos y los resultados obtenidos en los mismos; responder correctamente a los interrogantes que les plantea su audiencia y finalmente ser felicitados por la misma y, publicados sus trabajos. Además, se convierte en gran estímulo para otros jóvenes investigadores.

Los resultados obtenidos concuerdan con las conclusiones que presenta Rengifo, et al (2012) en su trabajo *“La educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia”* en las que resalta la pertinencia de la investigación acción y gestión integral del entorno como enfoque educativo y, la conveniencia de “sensibilizar a través de las estrategias pedagógicas como son la resolución de los problemas ambientales, los debates y discusiones, investigación acción participativa (IAP), los talleres, el trabajo de campo, las campañas ecológicas; los grupos ecológicos de los diferentes sectores sociales deben promover la valoración y concientización sobre los ciclos de la naturaleza y sus manifestaciones en plano local y global lo

cual ayude a conocer y manejar los riesgos presentes y futuros en el medio ambiente y en las sociedades“.

## **9.2 Condiciones de aplicación del método de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en las aguas residuales generadas por procesos de decolorado textil en industrias del municipio de Dosquebradas.**

La electrocoagulación se constituye en un proceso adecuado para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales generadas en procesos de decolorado de prendas textiles.

Conscientes de las ventajas que presenta la electrocoagulación frente a otros procesos, en términos de espacio y tiempo requeridos, y analizando los resultados obtenidos, en cuanto a remoción de color, se podría concluir que esta es adecuada para la reducción de los contaminantes en estudio; sin embargo, hay que tener presente que los resultados conseguidos en término de remoción de  $DBO_5$  y DQO no son los más alentadores. Se requieren procesos posteriores para lograr las remociones necesarias con miras a cumplir la normatividad vigente (Resolución 0631 de marzo de 2015).

Se presentó concordancia entre los datos obtenidos y los reportados por otros investigadores (tabla 11) respecto a la incidencia de las diferentes variables y los porcentajes de remoción, de los diferentes contaminantes. Es importante tener presente que, en algunos de los estudios citados, las muestras no son reales, es decir, no se obtienen directamente de los desagües de las lavadoras, sino que son preparados en los laboratorios, presentando con seguridad diferencias significativas.

El estudio se enfocó principalmente en la identificación de las condiciones de operación bajo las cuales se lograban resultados iguales o superiores a los reportados en otros trabajos, en remoción de color, presente en aguas residuales generadas en procesos de decolorado de prendas textiles,

generalmente de color azul índigo; por tanto es aconsejable realizar mayores estudios donde se pueda evaluar la remoción de color y otros contaminantes, no solo en aguas de estas condiciones específicas, sino en aguas procedentes de otros procesos como el teñido, y de colores diferentes al azul índigo, esto con miras a establecer condiciones de operación que puedan atacar el problema de una manera más general.

Tabla 11. Investigaciones relacionadas con la electrocoagulación

<b>Autores</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Resultados</b>
1. Sonroman et al, 2005. Dpto. de Ingeniería Química Universidad de Vigo. (España)	Muestras sintéticas de colorantes tipo azo, poliméricos, índigos, trifenilmetano	Porcentajes de remoción de color superiores al 80 % y con tiempos menores a 10 minutos.
2. Daneshvar et al, 2004. Universidad de Tabriz. (Iran)	Remoción de colorante	Altas remociones de color (93%) en un intervalo de pH de 6 a 9, para un tiempo de 4 minutos y una distancia entre los electrodos de 1 cm
3. Mejia y Osorio, 2002. (Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín)	Tratamiento de aguas residuales con alto contenido de índigo.	Decoloración de 98 % Mejor desempeño con electrodos de aluminio en cuanto a la decoloración en menores tiempos de aplicación.
4. Karishma et al, 2014 College of Engineering & Technology. (India)	Remoción de DQO	Remoción promedio de 37% de DQO Utilizaron electrodos de hierro Valores de pH entre 6,9 y 7,5 Tiempo de tratamiento: 1 hora
5. Feng J, et al, 2007 School of the environment (Nanjing, China)	Remoción de DQO, aguas residuales de curtiembres	Con electrodos de hierro se logró una remoción del 50 % del DQO en un tiempo de 20 minutos.

## 10 Recomendaciones.

Es importante tener presente que las encuestas se efectuaron a un grupo de estudiantes, antes de realizar el proceso investigativo e inmediatamente después de terminado; sería recomendable poder hacer la encuesta unos meses después de ejecutado el proceso investigativo para saber si aún se mantiene el interés y conservan los conocimientos. De otro lado, los exámenes podrían no evidenciar

perfectamente lo aprendido. Se recomienda repetir el ejercicio con otro tipo de investigaciones y efectuar pruebas escritas o de otra índole que permitan confirmar con mayor exactitud la adquisición de conocimientos y competencias.

## 11 Bibliografía

AGUILAR, O., & Gianella, R. (2016). Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo.

APRÁEZ Aragón Sonia Catalina & García Garay, J. S. (2015). Análisis De La Electrocoagulación como tecnología eficiente para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil. Universidad De La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá.

ARANGO, A. (2011). Uso de electrocoagulación para la remoción de tartrazina en soluciones acuosas. *Producción + Limpia*, 6(2), 58-68. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552011000200006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000200006&lng=en&tlng=es)

ARANGO, A., Garcés, L.F., Molina, S. y Piedrahita, J.S. (2008). Análisis de costos de la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción + Limpia*, 3(2), 9-21. Recuperado de [http://www.metropol.gov.co/ProduccionLimpia/Documents/Revista%20PL/Vol3\\_No2\\_Julio\\_Diciembre\\_2008.pdf](http://www.metropol.gov.co/ProduccionLimpia/Documents/Revista%20PL/Vol3_No2_Julio_Diciembre_2008.pdf)

BARRIOS-Ziolo, L. F., Gaviria-Restrepo, L. F., Agudelo, E. A., & Gallo, S. A. C. (2015). Tecnologías para la remoción de colorantes y pigmentos presentes en aguas residuales. *Dyna*, 82(191), 118.

BATALLA Mayoral, J., Cuadros Moreno, A., & Martín-Martínez, S. (2014). Potencial zeta en la determinación de carga superficial de liposomas. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(4).

BELTRÁN Velásquez, Luz Stella. (2016). El aprendizaje significativo como estrategia en el fomento del Pensamiento Crítico bajo un ambiente de aprendizaje. Universidad de la Sabana. Centro de Tecnologías para la Academia. Maestría en Informática Educativa Chía.

BERMEO Garay Martha & Tinoco Gómez, O. (2016). Remoción De Colorantes De Efluente Sintético De La Industria Textil Aplicando Tecnología Avanzada. *Revista Industrial Data*. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v19i2.12844> ISSN: 1560-9146 (Impreso) / ISSN: 1810-9993 (Electrónico) Facultad de Ingeniería Industrial – UNMSM

BETANCUR C., Bibiana & Linares, B. G. (2012). Potencial Zeta (Zeta) Como Criterio De Optimización De Dosificación De Coagulante En Planta De Tratamiento De Agua Potable. *DYNA*, 79(175), 166-172. retrieved march 03, 2018, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532012000500020&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532012000500020&lng=en&tlng=es).

CALIXTO, R. (2012). Investigación en educación ambiental. *Revista mexicana de investigación educativa*, 17(55), 1019-1033. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-66662012000400002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662012000400002&lng=es&tlng=es)

CALVO Quintero Gabriel, Montoya Ferrer Jaime. (2014). “Empresas, creación y desarrollo”. En: *Gestión y Región* N° 18. (Julio-Diciembre de 2014); pp. 49 -65

CÁRDENAS S., Fidel Antonio, Dificultades de aprendizaje en química: caracterización y búsqueda de alternativas para superar las *Ciência & Educação* (Bauru) [en línea] 2006, 12 (diciembre-Sin mes) : [Fecha de consulta: 12 de agosto de 2017] Disponible en:<<http://4www.redalyc.org/articulo.oa?id=251019510007>>

CENDALES, Arévalo, William Ricardo, & Cañón Celi, O. A. (2016). Evaluación De La Eficiencia Del Mucílago Del Café Como Coagulante Frente Al Cloruro Férrico En Los Procesos De Remoción De Sólidos Suspendidos En El Agua. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá d.c. 2016. Consultado en: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20460/41081005\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20460/41081005_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CHÁVEZ, A., Cristancho, D.L.y Ospina,E.A. (2009). Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas: Revisión bibliográfica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(14), 39-40. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4845646.pdf>

CARMONA, Arango, Juan Carlos. (2010). Simulación Molecular De La Doble Capa Eléctrica Electrodo De Níquel – Solución De Cloruro De Níquel. Universidad Nacional De Colombia - Sede Medellín Facultad De Minas. Medellín.

CRIADO, M.L., Camacho, Y.M., Mejía, P., Martínez, H., Cabrera, H.J., Chacón, D.J. y Rodríguez, W.D. (2013). La participación comunitaria como metodología en La prevención del dengue en la ciudadela del Fonce, San Gil: prueba piloto. Revista Universalud, 3(1). Recuperado de <http://publicaciones.unisangil.edu.co/index.php/revista-universalud/article/view/217>

DANESHVAR, N., Salari, D., & Khataee, A. R. (2004). Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to TiO<sub>2</sub>. *Journal of photochemistry and photobiology A: chemistry*, 162(2-3), 317-322.

DIAS, J. M., Alvim-Ferraz, M. C., Almeida, M. F., Rivera-Utrilla, J., & Sánchez-Polo, M. (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: a review. *Journal of environmental management*, 85(4), 833-846

DOS SANTOS, A. B., Cervantes, F. J., & van Lier, J. B. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource technology*, 98(12), 2369-2385.

GARCA, M. (2017). Articulación de la Responsabilidad Social Empresarial de CO&TEX S.A.S con las dinámicas de la gestión del riesgo de desastres municipal de Dosquebradas (Tesis de grado). Universidad Católica de Manizales, Manizales.

GARCÍA M. C., García, C. A., de Plaza. J.S. (2016). Estudio exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación. *Tecnura*, 20(47), 107-117. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/10087/11160>

GILPAVAS, E., Arbeláez, E.D., Sierra, L.M., White, C., Oviedo, C., Restrepo, P.A. (2008). Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. Cuadernos de Investigación Universidad EAFIT. Documento 65 – 072008 73p. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/cuadernosinvestigacion/article/download/1279/1158>

GUTIERREZ, J., Benayas, J., & Calvo, S. (2006). Educación para el desarrollo sostenible: evaluación de retos y oportunidades del decenio 2005-2014. *Revista Iberoamericana de educación*, 40(1), 25-60.

HAMMEKEN Arana, A. M., Romero García, E. (2005). Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula. Tesis Licenciatura. Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo. Derechos Reservados.

JIANG, J. Q., Graham, N., André, C., Kelsall, G. H., & Brandon, N. (2002). Laboratory study of electro-coagulation–flotation for water treatment. *Water research*, 36(16), 4064-4078

KUHAD, R. C., Sood, N., Tripathi, K. K., Singh, A., & Ward, O. P. (2004). Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. *Advances in applied microbiology*, 56, 185

LI, F., Wichmann, K., & Otterpolhl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of Total Environment*, 3439-3449.

MEJIA Claudia Isabel y Osorio, Victor Manuel. (2002) Reducción de materia orgánica y decoloración de aguas residuales con alto contenido de índigo por métodos electroquímicos. Trabajo de grado (Ingeniería Química). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

MERZOUK, B.; Gourich, B.; Sekki, A.; Madani, K. and Chibane, M. (2009). “Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation-electroflotation technique: A case study”. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 164, No. 1 (May), pp. 215-222.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO. Resolución 631 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 y se dictan otras disposiciones. Consultada en:

[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf)

MOLLAH, Y., Schennach, R., Parga, J., & Cocke, D. (2001). Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84, 29-41.

MORANTE, G., (2002). Electrocoagulación de aguas residuales. *Revista Colombiana de Física*, pp. 484-486.

NAVARRO, F. M. (2007). Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional (Doctoral dissertation, Universidad de Castilla-La Mancha).

PANTOJA Piarpuzan, Evelyn Tiffany. (2012). Aplicación de la electrocoagulación y floculación sobre el tratamiento del drenaje ácido de minas de carbón. Documento Presentado Para Optar Al Título De Ingeniera Química. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Valle del Cauca.

PALMA, R., Macías, J., Gonzáles, I., & Torres, R. (2013). Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria textil mediante oxidación electroquímica. *Revista Colombiana de materiales*, 93-108.

PLANK, Kathryn M & ENERSON, Diane M. *Manual de Docencia*. (1995). Selección de artículos y consejos prácticos. Traducción de Jorge Maldonado Pérez. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales.

RENGIFO Rengifo, Beatriz Andrea; Quitiaquez Segura Liliana; Mora Córdoba, Francisco Javier. (2012) la educación ambiental una estrategia pedagógica que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia.

RUÍZ, Á. A. (2012). Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción + Limpia*, pp. 59-67.

RUÍZ, Á. A., Giraldo, L. F. G. & Mejía, A. P. R., (2007). *Fotocatálisis y Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales: Investigaciones y aplicaciones*. Medellín: Corporación Universitaria Lasallista.

SANDOVAL, María Julia. y col. (2013). Estrategias didácticas para la enseñanza de la química en la educación superior. *Educ. Vol. 16, No. 1*, pp. 126-138.

SANROMAN, M. A., Pazos, M., Ricart, M. T., & Cameselle, C. (2005). Decolourisation of textile indigo dye by DC electric current. *Engineering Geology*, 77(3-4), 253-261.

SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE, (2010). *Guía para la gestión y manejo Integral de residuos Industria Textil y Tintorería*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

YOVAL, L. S., Palacios, L. M., Soberanis, M. P. & Guzmán, L. O. S. (2000). *Potencial Zeta Como Una Herramienta Para Determinar La Aglomeración De Las Partículas En La Reducción Del Volumen Del Lodo A Disponer*, Ciudad de México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

## 12 Anexos

### 12.1 ANEXO A. Encuesta de conocimientos y percepciones.

FECHA: \_\_\_\_\_

LUGAR: \_\_\_\_\_

NOMBRE: \_\_\_\_\_

Preguntas		Nunca	Casi Nunca	Casi Siempre	Siempre
1	Tengo interés en los temas medioambientales y la contaminación de los recursos naturales				
2	Entiendo los conceptos de contaminación y descontaminación.				
3	Creo que puedo participar en la solución a problemas de contaminación de los recursos naturales.				
4	Conozco reacciones químicas que se presentan en la contaminación y descontaminación de recursos naturales				
5	Creo que la investigación científica es una actividad agradable para realizar.				
6	Creo que la investigación científica es una actividad fácil de realizar.				
7	Puedo aplicar el método científico en una actividad de investigación.				
8	Encuentro entretenidos los textos de investigación científica.				
9	Puedo participar en una conversación básica, relacionada con la electrocoagulación como proceso para tratamiento de aguas residuales.				
10	Puedo mencionar y explicar dos parámetros de calidad del agua.				

Apreciado aprendiz: por favor lea muy bien las preguntas y en caso de duda solicite la colaboración del facilitador para tener mayor claridad.

## **12.2 ANEXO B. Recomendaciones y cuestionario. Salida de campo a planta de tratamiento de agua potable (PTAP). AGUAZUL.**

Estudiar y aprender no solo debería ser una actividad que se realiza en un colegio; de hecho, desde que somos chicos, aprendemos de todo lo que nos rodea; y el ser humano ha desarrollado todos los conocimientos que hoy conocemos a partir de la experimentación, es decir, estar directamente en los sitios donde se realizan los procesos, pues no basta con conocer el proceso, para aprenderlo hay que vivirlo.

El conocimiento basado en la experimentación se interioriza mucho mejor que el que nos cuentan en las aulas de clase, porque te hace parte del experimento. Como espectadores del fenómeno nos introducimos en la observación y en el interés que genera la experiencia de verlo en vivo y en directo, y de esa forma se queda más fácil en nuestras mentes.

Típicamente, el conocimiento se ha generado a partir de la observación; posteriormente con las observaciones se pasa a la formulación, trata de encontrar las relaciones entre las variables de los procesos y así definir aspectos que se cumplan en todos los casos; así se desarrolla el conocimiento, eso es ciencia.

Para el desarrollo de la formación son muy importante las observaciones que puedas realizar en la visita, por tanto, debes estar atento a todos los detalles que te causen curiosidad; sin embargo, ten en cuenta en observar lo suficiente para dar respuesta a las siguientes preguntas.

¿Qué condiciones mínimas debe cumplir el agua que entra a la planta para poder ser tratada?

¿Qué procedimientos físicos y químicos se realizan en el proceso de potabilización del agua?

¿Cómo se realiza el proceso para sustraer la basura que pueda haber en el agua?

¿Qué parámetros se deben medir en el agua para garantizar que ya puede ser llevada hasta las tuberías que la transportan hasta nuestras casas?

Observa y has las notas necesarias para realizar un dibujo de todo el proceso de potabilización del agua y trata de incluir en el grafico que realizaste la mayor información que te sea posible sobre el proceso.

Solicítale al guía que te dé información sobre que micro organismos posee el agua (Recuerda que los micro organismos son pequeños seres vivos que pueden vivir en las aguas).

Y, ante todo, no te olvides de disfrutar la experiencia de vivir el conocimiento a partir de la experimentación...

TecnoAcademia, Técnicamente... Somos Mejores!!!

Línea de Ciencias Básicas: Química

Hugo Gerardo Gomez Calderon

Facilitador

TecnoAcademia – Risaralda

SENA

### 12.3 ANEXO C. Ponencias, exposiciones y encuentros relacionados con el proyecto.





Congreso Internacional Ambiental Manizales  
Tendencias en el tratamiento Integral de Aguas Residuales



SENNOVA  
Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación  
Centro para la Formación Cafetera

17 - 9112

El Grupo de Investigación BIOSAN  
Certifica que:

**Hugo Gerardo Gómez C.**  
**CC10265655**

Participó como PONENTE en el Congreso Internacional Ambiental Manizales.

**“Electrocoagulación para la reducción de color presente en aguas residuales generadas en procesos de decolorado textil”.**

Realizado del 18 al 21 de septiembre de 2017



**Dyro Alexis Giraldo Bustamante**  
Subdirector Centro para la Formación Cafetera  
SENA Regional Caldas




IV SIMPOSIO INTERNACIONAL INNOVACIÓN APLICADA  
ESIC IMAT

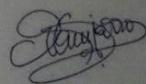
**Certificado de Participante**

Este certificado acredita que **M.C. Gutiérrez** ha participado con el póster **“Didáctica Químico-ambiental mediante el abordaje de un problema real de contaminación hídrica.”** en el IV Simposio Internacional de Innovación Aplicada, celebrado en Valencia, el 28, 29 y 30 de junio, y organizado por el Centro Universitario ESIC Business & Marketing School de Valencia.

Valencia, 30 de junio de 2017

D. Aquilino Mielgo Domínguez  
Presidente del Comité Organizador IMAT 2017

D<sup>a</sup>. María Guijarro García  
Directora de IMAT 2017

COLABORA:



### Certificado de Participante

Este certificado acredita que **M.C. Sánchez** ha participado con el póster **“Didáctica Químico-ambiental mediante el abordaje de un problema real de contaminación hídrica.”** en el IV Simposio Internacional de Innovación Aplicada, celebrado en Valencia, el 28, 29 y 30 de junio, y organizado por el Centro Universitario ESIC Business & Marketing School de Valencia.

Valencia, 30 de junio de 2017

D. Aquilino Mielgo Domínguez  
Presidente del Comité Organizador IMAT 2017

D<sup>a</sup>. María Guijarro García  
Directora de IMAT 2017

COLABORA:



UNIVERSITAS  
Miguel  
Hernández



Fundación Educativa

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA GUÍA DE APRENDIZAJE**

Programa de Formación:	Código:02000048 Versión: 1	Desarrollo de habilidades cognitivas en química		
Nombre del Proyecto:	Código: 012016	Evaluación de la electrocoagulación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales de empresas de decolorado textil en Dosquebradas – Risaralda.		
Fase del proyecto:		Ejecución		
Actividad (s) del Proyecto:  Contextualización sobre los parámetros que indican que tan contaminada esta una muestra de agua.	Actividad (es) de Aprendizaje:	Ambiente de formación <b>ESCENARIO</b>  Laboratorio de química de la Tecnoacademia Risaralda.	<b>MATERIALES DE FORMACIÓN</b>	
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>DEVOLUTIVO</th> <th>CONSUMIBLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Equipo portátil. TV plasma, Tablero.  Balanza analítica. Fuentes de poder. Centrifuga, Soporte Universal, Mecheros, Espectrofotómetro, Baño termostático. Kit aprendizaje práctico con pH metro – conductímetro - turbidímetro.  Material de vidriera volumétrica</td> <td>Papel filtro Electrodo de aluminio y de hierro. Celdas de vidrio, tubos de ensayo.  Reactivos de laboratorio disponibles para las pruebas seleccionadas</td> </tr> </tbody> </table>	DEVOLUTIVO
DEVOLUTIVO	CONSUMIBLE			
Equipo portátil. TV plasma, Tablero.  Balanza analítica. Fuentes de poder. Centrifuga, Soporte Universal, Mecheros, Espectrofotómetro, Baño termostático. Kit aprendizaje práctico con pH metro – conductímetro - turbidímetro.  Material de vidriera volumétrica	Papel filtro Electrodo de aluminio y de hierro. Celdas de vidrio, tubos de ensayo.  Reactivos de laboratorio disponibles para las pruebas seleccionadas			
Resultados de Aprendizaje: 3. Verificar los resultados obtenidos de la aplicación de la química en la experimentación de las propiedades y transformaciones de la materia de acuerdo con situaciones y problemas del mundo cotidiano.		Competencia: Desarrollo de habilidades cognitivas en química.  240201521		
Duración de la guía (en horas): 20 horas				

## 2. INTRODUCCIÓN



El agua, líquido vital para la vida, es contaminada diariamente en especial por las labores que el hombre desarrolla para supuestamente tener una mejor calidad de vida.

Afortunadamente, miles de personas también trabajan diariamente para mejorar las condiciones de muchas de las aguas de nuestro planeta. Tratando aguas residuales que son generadas en las empresas; antes que sean llevadas a los sistemas de alcantarillado.

“ El genio se hace con un 1 % de talento, y un 99 % de trabajo “

Albert Einstein

Se busca mediante el desarrollo de esta guía, que los aprendices tomen conciencia de la problemática generada por la contaminación con color de nuestro recurso hídrico, y que también se den cuenta que pueden ser parte importante en la búsqueda de la solución o de procesos que puedan conducir a reducir el daño causado.

Se iniciarán en conceptos propios de la calidad de aguas residuales, de los parámetros utilizados para evaluarlas y regularlas, de los equipos y procedimientos necesarios para la medición de dichos parámetros y, por último, posibles procedimientos para el tratamiento de las mismas.

## 3. ESTRUCTURACION DIDACTICA DE LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

### 3.1 Actividades de Reflexión inicial.

Menos del 2 % del agua existente en el planeta tierra es apta para el consumo humano y gran cantidad de esta es utilizada en procesos industriales que la convierten en no potable y más aún, con ella contaminan fuentes de agua y otros recursos, lo que trae como consecuencia en muchas oportunidades la limitación de la vida y hasta la eliminación de la misma.

En grupos de cuatro aprendices se realiza un foro de discusión acerca de las actividades que más contaminan el recurso hídrico en el entorno más cercano (Dosquebradas, Risaralda o Colombia). Luego se investiga en internet que proporción del agua presente en el planeta es apta o se puede tratar fácilmente para convertirla en apta para el consumo humano. También se indagará sobre las actividades que más contaminan el recurso hídrico en nuestro entorno.

Finalmente se evaluará que tan acertados estaban los grupos en sus apreciaciones iniciales y se realizará una cartelera que refleje lo identificado.

Tiempo: 2 horas

En grupos de cuatro aprendices, conformados con integrantes diferentes a los del anterior ejercicio, se realiza un trabajo de reflexión sobre los posibles procesos que conozcan para el tratamiento de aguas residuales, o los que consideren que deberían existir para este fin. Todo ello teniendo presente el resultado del ejercicio anterior, donde se debe haber identificado los procesos, industrias, etc.; que más contaminan el recurso hídrico de nuestro barrio, municipio o departamento.

Se deben realizar propuestas sobre procesos o procedimientos que puedan servir para tratar dichas aguas o, más importante aún, para disminuir la cantidad o no producirlas en absoluto.

Tiempo: 2 horas

### 3.2 Actividades de contextualización e identificación de conocimientos necesarios para el aprendizaje.

3.2.1 En grupos de cuatro aprendices se realiza la práctica que el facilitador les explicará acerca de procesos de recubrimientos electrolíticos.

Se deberá anotar todo lo observado y hacer un análisis de las posibles razones en las diferencias que se presentan de acuerdo al material puesto en los terminales de la fuente de poder (Electrodos), de la corriente aplicada y de las condiciones del medio líquido utilizado.

Se socializa los resultados obtenidos, con los otros grupos de aprendices y se llega a un consenso sobre las respuestas ofrecidas.

Tiempo: 4 horas

### 3.3. Actividades de apropiación del conocimiento (Conceptualización y Teorización).

#### 3.3.1 Resolución 0631 de marzo de 2015 y sus parámetros

En grupos de cuatro aprendices se realiza la lectura detallada de las primeras seis páginas de la resolución y se da una mirada rápida al resto de la misma.

Se debe extraer de la misma, como mínimo, la siguiente información: ¿Cuáles son las dos grandes clasificaciones de las aguas residuales? ¿Determine 8 variables o parámetros que se miden a las aguas residuales y de ejemplos de sus valores? ¿Existe alguna diferencia de los valores máximos admitidos, entre los vertimientos realizados a los cuerpos de agua directamente o los arrojados a los sistemas de alcantarillado?

Tiempo: 2 Horas

3.3.2 En grupos de cuatro aprendices se realiza la siguiente práctica:

Inicialmente se mezclan bien 500 c.c. de agua de acueducto, 1 gramo de color rojo y 10 gramos de tierra. Esta es considerada la muestra número 1 y se debe repartir en cinco beaker, cada uno con 100 c.c.

Las muestras 2 a 5 se preparan adicionando a la segunda 100 c.c. de agua, a la tercera 200 c.c.; a la cuarta 300 c.c. de agua y a la quinta 400 c.c.

A todas las muestras se les debe medir la turbidez, el color real y color aparente medido a las tres longitudes de onda que establece la resolución 0631 de 2015, es decir a 436, 525 y 620 nanómetros (nm). Medir tanto la absorbancia como la transmitancia.

El facilitador estará presto a resolver las dudas que puedan tener los aprendices, en cuanto a los conceptos y al manejo de los equipos necesarios para realizar dichas mediciones.

Siempre es de vital importancia planear la práctica y diseñar la hoja en la que se recolectará la información, que al final debe entregarse como parte del informe.

Tiempo: 2 Horas

3.3.3 En los mismos grupos de aprendices se realiza la siguiente práctica de pH:

Inicialmente se vierte agua de la llave al dispositivo que les suministra el facilitador.

Luego se adicionan dos gotas del indicador R a cada uno de los compartimientos y se hace la lectura del valor, por comparación. Se anota el valor. A uno de los compartimientos se adiciona una gota del reactivo A y al otro compartimento se adiciona una gota del reactivo B. Se tapan los compartimientos, se mezcla bien y se realiza nuevamente la lectura del pH, teniendo presente anotar bien a que corresponde cada valor, es decir, teniendo cuidado de no confundir los valores obtenidos con cada clase de gota adicionada.

Luego se hace una reflexión en grupo de donde deberá poderse identificar los diferentes rangos del pH (Acido, Neutro, Básico)

Se realiza nuevamente mediciones, pero en esta oportunidad a líquidos coloreados, mostrando la no posible aplicación del mismo método utilizado para el agua obtenida de la llave.

Se realizan mediciones de pH a los siguientes productos: leche, café, bebida gaseosa negra, limón, leche de magnesia, vinagre, solución de agua con 2 sobres efervescentes coloreados.

Durante el desarrollo de la práctica se conocerá el funcionamiento de tiras medidoras de pH y de los pH metros digitales que hay en el laboratorio.

Se realiza en internet una revisión a cerca de los usos que tiene las mediciones de pH y se deberá buscar como mínimo los valores promedios de pH para la sangre, la orina y el sudor.

De toda la práctica debe resultar un informe y finalmente una reflexión sobre la forma en que nos alimentamos.

Tiempo: 4 Horas

3.4 Actividades de transferencia del conocimiento.

En grupos de cuatro aprendices se realiza la siguiente práctica, teniendo presente iniciar por la elaboración de la tabla en la que se recolectará la información.

Cada grupo recibirá una muestra de agua que el facilitador ha preparado en el laboratorio.

A dicha muestra le deberán realizar las siguientes mediciones: temperatura, pH, Sólidos sedimentables, conductividad eléctrica, turbidez, color real y color aparente. Para ello, deberán asignar tareas a los diferentes integrantes del grupo e investigar sobre los parámetros que no tengan claridad sobre la forma de realizar las mediciones. El facilitador estará presente para “resolver dudas”

Tiempo: 4 horas

3.5 Actividades de evaluación.

Evidencias de Aprendizaje	Criterios de Evaluación	Técnicas e Instrumentos de Evaluación
Evidencias de Conocimiento:	Conoce los diferentes rangos de pH y el uso de sus mediciones en la vida cotidiana.	Trabajos escritos
Evidencias de Desempeño:	Maneja correctamente los conceptos de aguas residuales, sus diferentes tipos y los principales parámetros que las caracterizan.  El aprendiz utiliza correctamente los equipos para realizar mediciones de calidad del agua.	Exposición de los temas  Prácticas de laboratorio y su informe.
Evidencias de Producto:	El aprendiz realiza una correcta caracterización básica de una muestra de agua residual.	Práctica de laboratorio y su informe.

#### 4. RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE

ACTIVIDADES DEL PROYECTO	DURACIÓN (Horas)	Materiales de formación devolutivos: (Equipos/Herramientas)		Materiales de formación (consumibles)		Talento Humano (Instructores)		AMBIENTES DE APRENDIZAJE TIPIFICADOS
		Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad	Especialidad	Cantidad	ESCENARIO (Aula, Laboratorio, taller, unidad productiva) y elementos y condiciones de seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente
1.(Sección 3.1)	4	Computador Televisor	6 1	Hojas de papel Lapiceros Marcadores Cartulinas	8 8 30 10 10	Ingeniero Químico	1	Laboratorio de química y biotecnología de la Tecnoacademia
2. Práctica de recubrimiento electrolítico. (Sección 3.2)	4	Computador Televisor Fuentes de poder	2 1 5	Hojas papel Lápiz Beaker Electrodos	20 6 6 12	Ingeniero Químico	1	Laboratorio de química y biotecnología de la Tecnoacademia
3. Conozcamos la resolución 0631 (Sección 3.3.1)	2	Computador Televisor	4 1	Hojas papel Lápiz Cartulina Marcador	20 12 6 12	Ingeniero Químico	1	Laboratorio de química y biotecnología de la Tecnoacademia

4.Práctica de color y espectrofotometría (Sección 3.3.2)	2	Computador Televisor Espectrofotómetro Turbidímetro	4 1 2 2	Hojas papel Lápiz Celdas de cuarzo Tubos de ensayo Beaker Colorante	20 12 6 12 12 6	Ingeniero Químico	1	Laboratorio de química y biotecnología de la Tecnoacademia
5. Práctica de pH (Sección 3.3.3)	4	Computador Televisor pH metro	2 1 2	Hojas papel Lápiz				
6. Caracterización básica de agua (Sección 3.4)	4	pH metro Conos Imhoff Espectrofotómetro Turbidímetro Centrifuga	2 4 2 1	Tiras para pH Vinagre Bicarbonato		Ingeniero Químico	1	Laboratorio de química y biotecnología de la Tecnoacademia

## 5. GLOSARIO DE TERMINOS

**Bicarbonato de sodio:** El bicarbonato de sodio es un compuesto sólido cristalino de color blanco soluble en agua, con un ligero sabor alcalino parecido al del carbonato de sodio, de fórmula  $\text{NaHCO}_3$ . Wikipedia

**Color aparente:** El color que en el agua produce la materia suspendida y disuelta.

**Color real:** El color que en el agua se produce únicamente por la materia disuelta.

**Conductividad eléctrica:** es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él.

**Sólidos sedimentables:** La parte de sólidos en suspensión que por tamaño y peso pueden sedimentar al lapso de una hora. Su medición se realiza con los conos Imhoff.

**Turbidez:** Se entiende por *turbidez* o turbiedad a la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión.

## 6. REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

- <http://granavacentinaexarummas.blogspot.com.co/2015/05/01-archivo.html> figuras material laboratorio
- [http://es.slideshare.net/Manani/quimica-mtodo-cientfico?next\\_slideshow=1](http://es.slideshare.net/Manani/quimica-mtodo-cientfico?next_slideshow=1) método científico
- [https://www.youtube.com/watch?v=mk3R\\_hQzb1Y](https://www.youtube.com/watch?v=mk3R_hQzb1Y) método científico
- <http://es.slideshare.net/Paulette23/problemas-aplicando-los-pasos-de-polya>
- <http://www.significados.com/metodo-cientifico/> Significado del método científico
- <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1813/1/5421H967.pdf> PRÁCTICAS LABORATORIO
- <http://quimicaterceroliceo42.blogspot.com.co/2012/04/cambio-de-estado.html> cambios de estado

## 7. CONTROL DEL DOCUMENTO (ELABORADA POR)

**GUÍA DE APRENDIZAJE N.º 4**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA GUIA DE APRENDIZAJE**

Programa de Formación:	Código:02000048 Versión: 1	Desarrollo de habilidades cognitivas en química		
Nombre del Proyecto:	Código: 012016	Evaluación de la electrocoagulación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales de empresas de decolorado textil en Dosquebradas – Risaralda.		
Fase del proyecto:		Evaluación		
Actividad (s) del Proyecto:  Contextualización y evaluación de la reducción de color	Actividad (es) de Aprendizaje:	Ambiente de formación <b>ESCENARIO</b>  Laboratorio de química de la Tecnoacademia Risaralda, , planta de acabados de prendas textiles, cuerpo hídrico (Quebrada Dosquebradas)	<b>MATERIALES DE FORMACIÓN</b>	
			<b>DEVOLUTIVO</b>  Equipo portátil. TV plasma, Tablero.  Balanza analítica. Fuentes de poder. Centrifuga, Soporte Universal, Mecheros, Espectrofotómetro, Baño termostataado. Kit aprendizaje práctico con pH metro – conductímetro - turbidímetro.  Material de vidriera volumétrica	<b>CONSUMIBLE</b>  Papel filtro Electrodos de aluminio y de hierro. Celdas de vidrio, tubos de ensayo.  Reactivos de laboratorio disponibles para las pruebas seleccionadas
Resultados de Aprendizaje: 4. Aplicar las herramientas cognitivas asociadas a la química en el planteamiento y resolución de problemas de acuerdo con las situaciones del mundo cotidiano.			Competencia: Desarrollo de habilidades cognitivas en química.  240201521	
Duración de la guía (en horas): 20 horas				

**2. INTRODUCCIÓN**





Dosquebradas es considerado el municipio industrial de Risaralda y en el se encuentran ubicadas más de 15 empresas dedicadas a realizar procesos de acabados textiles, que generan grandes cantidades de aguas residuales en las que el color esta presente. Estas son vertidas a los sistemas de alcantarillado o a los cuerpos de agua sin recibir, en la mayoría de los casos, un tratamiento previo adecuado que garantice que su efecto en el ecosistema no sea muy perjudicial. La mayoría de estas aguas terminan por llegar a la quebrada Dosquebradas que atraviesa el municipio desde el nor-orienté hasta el sur-orienté desembocando en el río Otún.

“No podemos resolver los problemas con el mismo tipo de ideas que usamos para crearlos “

Albert Einstein

Se pretende dentro del desarrollo de esta guía, que el aprendiz logre identificar la aplicabilidad o no del proceso de electrocoagulación, en el tratamiento de aguas residuales industriales generadas en procesos de decolorado de prendas textiles. Pero esto es solo el resultado final, se busca que en el transcurso de dicha identificación el aprendiz tome conciencia de la problemática ambiental y se apropie de conocimientos y de metodologías que le sean útiles en su desarrollo personal y profesional.

### **3. ESTRUCTURACION DIDACTICA DE LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**

#### **3.1 Actividades de Reflexión inicial.**

Una imagen vale más que mil palabras. Pero una experiencia personal vale más que dicha imagen. Con el fin de apreciar la contaminación generada por empresas de decolorado de prendas textiles, se realizará la visita a una de dichas empresas, donde además los aprendices podrán indagar sobre los diferentes procesos

que se realizan y las alternativas que se están evaluando con el fin de reducir o minimizar el impacto generado. Después se visitará la sección de la quebrada Dosquebradas a donde llegan finalmente dichas aguas residuales, luego de pasar por un corto trayecto del sistema de alcantarillado del municipio.

De la visita a la planta de decolorado se deberá recolectar muestras de las aguas residuales, conforme a la metodología que les explique el facilitador. Una muestra de mínimo un litro por cada grupo de cuatro aprendices. En el momento de toma de la muestra se le debe medir la temperatura y el pH, utilizando para ello el termómetro de bolsillo y las tirillas medidoras de pH.

Tiempo: 4 horas

### 3.2 Actividades de contextualización e identificación de conocimientos necesarios para el aprendizaje.

El análisis de muestras en el laboratorio cuenta con una serie de protocolos y reglas que han surgido muchos ellos de la experimentación y otros del sentido común. De acuerdo a dichos procedimientos no es posible tomar una muestra de las aguas residuales, dejarla en cualquier recipiente y bajo condiciones no controladas y pretender luego realizar mediciones y que estas sean representativas o veraces.

3.2.1 En grupos de cuatro aprendices deben realizar la caracterización básica de las muestras de aguas residuales recolectadas en la visita a la planta industrial. Dichos valores deben quedar registrados en un formato adecuado.

En los mismos grupos de aprendices, realizarán la caracterización de la muestra de agua residual que el facilitador les ha recolectado (muestra recolectada bajo condiciones adecuadas y con un tiempo no mayor a dos horas), posteriormente cada grupo guardará una muestra de la misma, bajo las mismas condiciones que guardo la tomada en la visita a la planta, con el fin de realizar nuevamente la caracterización básica en la próxima sesión de laboratorio y confirmar la variabilidad de los resultados.

Tiempo: 4 horas

### 3.3 Actividades de apropiación del conocimiento (Conceptualización y Teorización).

Se observa video donde se puede apreciar el proceso de electrocoagulación aplicado para el tratamiento de aguas residuales y se realiza un foro en torno al mismo.

Del texto: “Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales”, se debe leer las páginas correspondientes al capítulo de aplicación de la electroquímica para el tratamiento de aguas residuales del proceso de curtición. Se deben extraer los conceptos que se consideren de mayor importancia y tener en cuenta la ecuación propuesta por Londoño (2001) que se encuentra en la página 54 del texto, para el cálculo de la remoción de color.

Tiempo: 2 horas

### 3.4 Actividades de transferencia del conocimiento.

En grupos de cuatro aprendices se planea y realiza la siguiente práctica, aplicando el método científico. Teniendo presente lo leído del texto de electroquímica y las investigaciones que puedan realizar en el transcurso de las últimas 8 horas de laboratorio, cada grupo deberá generar hipótesis sobre la incidencia de los diferentes parámetros en los procesos de electrocoagulación y los posibles resultados mínimos a obtener

como resultado de dichos procesos. Se deberá comprobar la validez o no de la hipótesis o modificarla si fuese necesario.

Para tal fin se proporcionará a cada grupo muestra de agua residual suficiente para realizar los ensayos que considere necesarios, así como electrodos de aluminio y de hierro de diferentes dimensiones, barras separadoras de diferentes grosores, fuentes generadoras de poder y los demás materiales y equipos que consideren necesarios.

Al final de las 8 horas los grupos deben exponer el resultado de sus procesos de investigación práctica y las conclusiones respectivas.

Tiempo: 8 horas

### 3.5 Actividades de evaluación.

Evidencias de Aprendizaje	Criterios de Evaluación	Técnicas e Instrumentos de Evaluación
Evidencias de Conocimiento:	Describe de forma correcta los parámetros básicos y los principios que se dan en los procesos electroquímicos.	Trabajos escritos
Evidencias de Desempeño:	Utiliza correctamente los equipos y utensilios de laboratorio y prepara las muestras de acuerdo a los protocolos establecidos.	Prácticas de laboratorio y su informe.
Evidencias de Producto:	Encuentra, bajo la aplicación del método científico, condiciones apropiadas para llevar a cabo procesos de electrocoagulación que permitan mejorar la calidad del agua residual estudiada.	Práctica de laboratorio y su informe.

#### 4. RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE

ACTIVIDADES DEL PROYECTO	DURACIÓN (Horas)	Materiales de formación devolutivos: (Equipos/Herramientas)		Materiales de formación (consumibles)		Talento Humano (Instructores)		AMBIENTES DE APRENDIZAJE TIPIFICADOS
		Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad	Especialidad	Cantidad	ESCENARIO (Aula, Laboratorio, taller, unidad productiva) y elementos y condiciones de seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente
1.	20	Computador Televisor pH metro Conos imhoff Espectrofotómetro Turbidímetro Centrifuga Fuentes de poder	6 1 3 4 2 2 1 6	Erlenmeyer Guantes Látex Tapabocas Papel filtro Marcadores Electrodos Al Electrodos Fe Termómetro	24 100 24 6 6 60 60 6	Ingeniero Químico	1	Laboratorio de química y biotecnología de la Tecnoacademia

## 5. GLOSARIO DE TERMINOS

**DBO<sub>5</sub>:** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

**DQO:** La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/l).

**Electrocoagulación:** proceso electroquímico en el que el coagulante se obtiene insitu debido a la descomposición o sacrificio del electrodo.

**Electroquímica:** Parte de la química que estudia los fenómenos químicos que provocan electricidad y los fenómenos eléctricos que dan lugar a transformaciones químicas.

**Sólidos sedimentables:** Volumen de las partículas sólidas que se depositan por la fuerza de la gravedad en un recipiente donde el líquido permanezca inmóvil durante 60 minutos.

## BIBLIOGRAFÍA

### Webgrafía

- [http://dianavalentinaexalumnas.blogspot.com.co/2013\\_05\\_01\\_archive.html](http://dianavalentinaexalumnas.blogspot.com.co/2013_05_01_archive.html) figuras material laboratorio
- <https://www.youtube.com/watch?v=c4EP-7cbpQY> La materia y sus estados
- <http://www.monografias.com/trabajos14/quimica/quimica.shtml> química y su método
- [http://es.slideshare.net/Manani/quimica-mtodo-cientifico?next\\_slideshow=1](http://es.slideshare.net/Manani/quimica-mtodo-cientifico?next_slideshow=1) método científico
- <http://www.significados.com/metodo-cientifico/> Significado del método científico
- <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1813/1/5421H967.pdf>

PRÁCTICAS LABORATORIO

- <http://blog.educastur.es/eureka/otros-cursos/> Curso de química
- <http://quintoalameda.blogspot.com.co/2012/12/clasificacion-de-la-materia-mapa.html>
- <http://laquimicasalesiano.blogspot.com.co/> La materia y su química
- <http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/1esobiologia/1quincena2/pdf/quincena2.pdf> Curso de química

1

2

## **7. CONTROL DEL DOCUMENTO (ELABORADA POR)**

3

Hugo Gerardo Gómez Calderón

4

5

6

7