

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA SOBRE LA
FITORREMEDIACIÓN DE CROMO (VI) ORIENTADA AL DESARROLLO DE
COMPETENCIAS CIENTÍFICAS INVESTIGATIVAS**

JENNY ANDREA SÁNCHEZ GARCÍA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ
2016**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA SOBRE LA
FITORREMEDIACIÓN DE CROMO (VI) ORIENTADA AL DESARROLLO DE
COMPETENCIAS CIENTÍFICAS INVESTIGATIVAS**

JENNY ANDREA SÁNCHEZ GARCÍA

Trabajo de grado para obtener el título de Magister en Docencia de la química

Asesora: DORA LUZ GÓMEZ AGUILAR

M. Sc. Ciencias biológicas

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
BOGOTÁ**

2016

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL Advancing the Quality of Education	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 4	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Diseño e implementación de una secuencia didáctica sobre la fitorremediación de Cr (VI) orientada al desarrollo de competencias científicas investigativas.
Autor(es)	Sánchez García, Jenny Andrea
Director	Gómez Aguilar, Dora Luz
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 175 p
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	COMPETENCIAS CIENTIFICAS INVESTIGATIVAS, FITORREMEDIACIÓN, SECUENCIA DIDÁCTICA, CICLO DE APRENDIZAJE.

2. Descripción
El término competencia dentro del programa curricular de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia) está relacionado con la capacidad de uso del conocimiento y las habilidades apropiadas para desempeñarse en una sociedad. A su vez busca el desarrollo de competencias investigativas en el ciclo de profundización en los docentes en formación, las cuales pretenden formar profesionales con amplios conocimientos y destrezas para emprender proyectos y programas de investigación de tal forma que puedan solucionar problemas. El desarrollo de estas competencias pretende estructurar el pensamiento crítico, sistémico y reflexivo. Partiendo de la contaminación por Cromo (VI) en cuerpos de agua a causa de las curtiembres como un problema ambiental, se buscó desarrollar competencias científicas investigativas en estudiantes de noveno semestre de la Licenciatura en química, por medio de la implementación de una secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje de tipo hipotético deductivo, el cual favoreció el desarrollo de las competencias. Las actividades se encaminan a la consolidación de un proyecto de investigación en el aula, donde se establece la fitorremediación como una biotecnología efectiva para la resolución del problema ambiental establecido.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formadora de Profesores</i>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 4	

3. Fuentes
Brown, F. (2003). Aprendizaje mediante la investigación: enseñanza para el cambio conceptual en la educación ambiental. <i>Revista Green Teacher</i> 71. Volumen (5), 31-34. Chona, G., Arteta, J., Martínez, S., Ibáñez, X., Pedraza, M., Fonseca, G. (2006). ¿Qué competencias científicas promovemos en el aula? <i>Revista TEA. Volumen</i> (20), 62-79. García, G., Ladino, Y. (2009). Desarrollo de competencias científicas a través de proyectos de investigación escolar orientados por el modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación. <i>Revista Studiositas. Volumen</i> (3), 7-16. Ho y Mackey. (1999) Pseudo second order model for sorption processes. <i>Processes Biochemistry</i>. 451-459. Karplus, R (1980). Teaching for the development of reasoning, en Lawson, A.E. (ed.), <i>AETS Yearbook: The Psychology of Teaching from Thinking and Creativity</i>. Meldivieso, M. (2006). Hacia un aprendizaje comprensivo de la investigación. <i>Revista TEA. Volumen</i> (18), 65-71 Saad, I., Castillo, J., Rebolledo, D. (2009) Fitorremediación: estudio de la inteligencia tecnológica competitiva. <i>Revista Sincco. Volumen</i> (6) Tellez, M., Carvajal, R., Gaitan, A. (2003). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. <i>Revista Facultad de medicina UNAL. Volumen</i> 2. 45-59.

4. Contenidos
Este trabajo de grado se enfocó en el desarrollo de competencias científicas investigativas en docentes en formación del programa de la Licenciatura en química a partir de la implementación de una secuencia didáctica sobre la fitorremediación de cromo (VI). Entre el contenido de este trabajo de investigación, se encuentran los siguientes temas: • Competencias científicas investigativas: son vistas como la capacidad del sujeto de construir explicaciones y comprensiones de la naturaleza desde la indagación, la experimentación y la contrastación teórica, donde se formula un problema genuino que genere cierto conflicto cognitivo y desde un trabajo sistemático interrelaciona conceptos con los cuales establece argumentaciones que dan cuenta de los fenómenos naturales.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <i>Formación de calidad</i>	FORMATO RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 4	

Otro punto importante que articula esta investigación es buscar soluciones que permitan mitigar los problemas ambientales que sufre el mundo hoy en día ya que las actividades industriales han contribuido a la generación de residuos con elementos potencialmente tóxicos que pueden afectar la salud de la población y el equilibrio ecológico-ambiental del planeta. Es por eso, que las estrategias que se planteen deben ser en lo posible de bajo costo, pero efectivas como las técnicas de fitorremediación.

- **Fitorremediación:** es una tecnología emergente que utiliza plantas y microorganismos asociados a la rizósfera, para remover, transformar o contener sustancias contaminantes localizadas en suelos, sedimentos, cuerpos de agua e incluso la atmósfera. (Saad, Castillo y Rebolledo, 2009).

Por las razones expuestas anteriormente, el contenido que se presenta en este trabajo de investigación permite incluir y asociar estas dos situaciones dentro del aula de clase implementando una secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje, la cual permitió a los estudiantes diseñar un proyecto de investigación en el cual se generaron argumentos acerca de la fitorremediación y establecer posibles soluciones a una problemática ambiental, como lo es la contaminación de cuerpos de agua a causa del Cromo (VI) generado en los procesos de curtido en la curtiembres.

5. Metodología

Este trabajo de investigación se llevó a cabo mediante un diseño cuasi experimental de tipo “antes y después”, el cual buscaba evaluar la eficacia de la secuencia didáctica implementada, la cual se encaminaba al desarrollo de competencias científicas investigativas en 17 estudiantes de noveno semestre del programa de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional. La secuencia didáctica abarco tres fases generales.

La primera fase buscaba identificar las competencias científicas investigativas iniciales mediante la resolución de una situación problema, en donde los estudiantes a través de un estudio de caso daban solución a la problemática estableciendo una propuesta investigativa desde distintos roles los cuales consistían en diferentes biotecnologías las cuales daban solución al problema planteado, cada grupo de investigación elaboro una propuesta escrita (artículo científico) desde el rol correspondiente, con los artículos se identificaron las competencias científicas investigativas iniciales.

La segunda fase consistió en el establecimiento de la fitorremediación a los estudiantes, en donde se planteó otra situación problema acerca de la contaminación de cromo hexavalente a causa de las curtiembres en Villa Pinzón (Cundinamarca, Colombia), teniendo en cuenta los grupos de la fase anterior, los estudiantes diseñaron montajes experimentales desde la fitorremediación con cuatro especies vegetales (*Eichhornia crassipes*, *Cyperus papyrus*, *Spathiphyllum wallissi* y *Dracaena braunii*) los cuales permitieron determinar la capacidad remediadora de Cromo (VI) de las especies al cabo de 120 horas, el tipo de fitorremediación y el modelo cinético de bioadsorción, los métodos analíticos empleados para las determinaciones fueron por absorción atómica y difenil carbazida.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL REACTIVANDO LA PEDAGOGÍA	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 5	

En la tercera fase, los estudiantes elaboraron un artículo científico en donde presentaron los resultados y análisis obtenidos en la segunda fase, con esta actividad se identificaron las competencias científicas investigativas alcanzadas por los estudiantes al cabo de la secuencia didáctica implementada.

Para identificar las competencias científicas investigativas se elaboró una matriz con unos desempeños observables desde tres criterios (indagación, experimentación y argumentación) que definen las competencias mencionadas. Al establecerse un estudio cuasi experimental, este evaluó el impacto de la secuencia didáctica implementada ya que se compararon las competencias iniciales y alcanzadas por la población.

6. Conclusiones
La implementación de la secuencia didáctica favoreció el desarrollo de competencias científicas investigativas en los grupos de investigación conformados por los estudiantes del énfasis de tecnologías limpias del programa de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, debido a que la implementación de la situación problema 1 titulada “Tras los pasos del cromo” los niveles generales de las competencias en los estudiantes se ajustaron en un 75% en un nivel inicial en la indagación y metodología y un 100% en un nivel inicial en sistematización de los resultados y argumentación, tras la implementación de la situación 2 titulada “Sin solución a las curtiembres”, en donde se establece la fitorremediación como una solución a un problema ambiental, los niveles de las competencias científicas investigativas cambiaron significativamente, el 75% de los grupos de investigación se ajustó a un nivel intermedio en la indagación, 75% en un nivel avanzado en la metodología y un 50% en un nivel intermedio para la sistematización de los resultados y argumentación. Tras la fase de experimentación, se identificó que la especie <i>Eichhornia crassipes</i> posee el mayor porcentaje de retención, este representa la cantidad de cromo hexavalente que ha adsorbido la especie vegetal al cabo de las 120 de horas de contacto; esta especie retiene 78,56% del contaminante, mientras que las especies <i>Cyperus papyrus</i> y <i>Spathiphyllum wallissi</i> retienen 70,13% y 50,62%, respectivamente. En las tres especies analizadas los efectos a causa de la exposición del contaminante empiezan en la raíz, ya que este es el órgano responsable de asimilar los nutrientes del medio, y afectan sucesivamente el resto de la planta. El cromo hexavalente se transporta aparentemente desde la raíz hasta las hojas mediante una serie células tubulares que pertenecen a un tejido leñoso denominado xilema. La fuerza que mueve esta solución no radica en las células del tejido xilemático, sino en dos tipos de fuerza, la osmosis y succión

Elaborado por:	Sánchez García, Jenny Andrea
Revisado por:	Gómez Aguilar, Dora Luz

Fecha de elaboración del Resumen:	11	06	2016
--	----	----	------

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.	JUSTIFICACIÓN	11
3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
4.	ANTECEDENTES	15
5.	OBJETIVOS	20
6	MARCO TEÓRICO.....	21
7.	METODOLOGÍA	44
7.1.	Población	45
7.2.	Fases metodológicas de la secuencia didáctica.....	47
7.3.	Instrumentos.....	50
7.4.	Protocolos experimentales.....	52
8.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	54
8.1.	Competencias científicas investigativas iniciales	54
8.2.	Establecimiento de la fitorremediación	60
8.2.1.	Resultados experimentales.....	61
8.3.	Competencias científicas investigativas finales	87
8.4.	Competencias científicas investigativas (Población en general).....	96
8.5	Análisis general de las competencias científicas investigativas alcanzadas por los estudiantes.....	106
9	CONCLUSIONES	108
10	RECOMENDACIONES	110
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
12	APENDICES	117

1. INTRODUCCIÓN

El término competencia dentro del programa curricular de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia) está relacionado con la capacidad de uso del conocimiento y las habilidades apropiadas para desempeñarse en una sociedad (Universidad Pedagógica Nacional, 2000). A su vez busca el desarrollo de competencias investigativas, las cuales pretenden formar profesionales con amplios conocimientos y destrezas para emprender proyectos y programas de investigación de tal forma que puedan solucionar problemas. Para tal fin, este trabajo investigativo busco favorecer el desarrollo de competencias científicas investigativas en los estudiantes del énfasis de tecnologías limpias pertenecientes a la Licenciatura en química a partir de la implementación de una secuencia didáctica sobre la fitorremediación de cromo hexavalente como una solución a problemas ambientales. La metodología empleada en este trabajo investigativo corresponde a diseño cuasi experimental “antes y después” ya que este permitió comparar y evaluar las competencias científicas investigativas iniciales y alcanzadas por los estudiantes al cabo de la implementación de la secuencia didáctica.

La secuencia didáctica implementada fue diseñada desde las fases propuesta por Trowbridge y Bybee (1997) en un ciclo de aprendizaje de tipo hipotético deductivo, el cual inicia con el planteamiento de una pregunta en donde se generen explicaciones y se busca la manera de comprobar o confrontar esa información. A lo largo de la secuencia didáctica, las actividades fueron orientadas para que los estudiantes comprendieran la fitorremediación como una biotecnología aplicable y eficaz en la solución a problemas de contaminación por metales pesados, pero además de esto, la intencionalidad era favorecer ciertas habilidades que definen las competencias científicas investigativas, tales como la indagación, experimentación y argumentación.

Durante la secuencia didáctica se expusieron situaciones problema en donde los estudiantes establecieron la fitorremediación a través de montajes experimentales, por tal motivo en este trabajo investigativo se presentan los resultados experimentales en cuanto a la capacidad remediadora y retenedora, el tipo de fitorremediación y la aproximación del modelo cinético de bioadsorción de las especies vegetales seleccionadas, las actividades de la secuencia llevaron a que los estudiantes elaboraran un artículo científico en donde se condensa todo el proceso investigativo,

y es con este documento y una ponencia en donde se identificaron las competencias científicas investigativas en los estudiantes participantes del proyecto.

2. JUSTIFICACIÓN

El programa de Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional plantea en su proyecto curricular posibilitar la formación de un profesor de química caracterizado por una serie de cualidades que den respuesta al saber, saber hacer y saber ser para un ejercicio profesional de calidad. Teniendo en cuenta esto, uno de los objetivos del programa es crear espacios de vivencias y de trabajo académico para formar a estudiantes con unas competencias propias, tales como, emitir juicios de valor, toma de decisiones, la capacidad de trabajo en grupo y aspectos fundamentales del saber ser. (Universidad Pedagógica Nacional, 2000)

Para llegar a la consolidación de estas competencias, definidas desde el proyecto curricular como las capacidades de uso del conocimiento y las habilidades apropiadas y suficientes con las cuales los individuos se desempeñan eficazmente, el programa de la Licenciatura en química ha propuesto un ciclo de formación compuesto por un ciclo de fundamentación en donde se desarrollan competencias básicas y procedimentales y un ciclo de profundización, en el cual se abordan competencias investigativas, siendo estas últimas un marco de referencia para este trabajo.

La investigación es una necesidad en la formación de profesionales competentes, la cual debe estar vinculada a los contenidos en los programas de pregrado. De acuerdo con SCImago®, en el ranking Iberoamericano del año 2014 (García, 2015), Colombia es un país que produce un reducido número de publicaciones anuales comparado con otros países de Iberoamérica, de ahí la necesidad de desarrollar en los estudiantes de la licenciatura competencias científicas investigativas las cuales se evidencien en la resolución de problemas y en la formación de proyectos y programas de investigación, al fortalecer estas competencias en el ciclo de profundización, los estudiantes potenciarán ciertas habilidades como la indagación, la experimentación y la argumentación en la comprensión de un fenómeno. Para que los estudiantes aprendan a analizar problemas es importante establecer situaciones en donde se genere conflictos cognitivos que permitan hacer inferencias, relacionar variables, llevar a cabo experimentos, redactar artículos, con el fin de solucionar problemas.

Es indispensable desarrollar estrategias y metodologías en las cuales los estudiantes aprendan a investigar investigando, enfrentar al estudiante con problemas reales permite adquirir habilidades que den cuenta al análisis de situaciones, los estudiantes participantes del proyecto cursaban un énfasis de tecnologías limpias correspondiente al ciclo de profundización, el cual orientaba a los estudiantes en la búsqueda y aplicación de soluciones que permitiesen mitigar problemas de contaminación generados principalmente por actividades industriales en suelos y cuerpos de agua, entre esas soluciones se planteó la fitorremediación.

Con el fin de favorecer al desarrollo de competencias científicas investigativas en los estudiantes de noveno y décimo semestre de la licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, se implementó una secuencia didáctica diseñada desde las fases que se abordan en un ciclo de aprendizaje de tipo hipotético-deductivo (Brown, 2003) en donde los estudiantes daban respuesta a problemas ambientales sobre contaminación por metales pesados en cuerpos de agua, a partir de ello, se establecía la fitorremediación como una solución, al plantearla como una biotecnología emergente y eficaz en la remoción de cromo hexavalente.

Para evidenciar si la secuencia didáctica favoreció al desarrollo de las competencias científicas investigativas en los estudiantes, se realizó un estudio cuasiexperimental “antes y después” en donde se identificaron las competencias iniciales en tres niveles (inicial, intermedio y avanzado) a partir de la resolución de situaciones problema y las competencias alcanzadas tras la implementación de la secuencia didáctica. Las situaciones problema de carácter ambiental exigen al estudiante la interpretación de conceptos, la profundización y afianzamiento de los mismos, la emisión de hipótesis, el planteamiento de estrategias de solución, la contrastación entre posibles hipótesis, la obtención de resultados y el análisis de los mismos al contrastarlos con la opinión de la comunidad científica. Paralelamente este tipo de actividades conllevan la aplicación de procesos que favorecen el desarrollo de competencias investigativas, así como de estrategias de lectura, que permitan, además, la implementación de técnicas de argumentación que faciliten al planteamiento de proposiciones acordes a su contexto. (Castro y Salcedo, 2008).

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las competencias científicas se consideran como *“las capacidades que tiene un sujeto, expresadas en acciones que ponen en juego formas sistemáticas de razonar y explicar el mundo natural y social, a través de la construcción de interpretaciones apoyados en conceptos de las ciencias y manifestadas a través de desempeños observables. Las competencias científicas se categorizan en básicas, investigativas y de pensamiento reflexivo y crítico en niveles inicial, intermedio y avanzado”*. (Fonseca, Chona, Arteta, Ibáñez y Pedraza, 2006)

Las competencias científicas investigativas, pretenden formar profesionales con amplios conocimientos y destrezas para emprender proyectos y programas de investigación de tal forma que puedan solucionar problemas. El desarrollo de estas competencias pretende estructurar el pensamiento crítico, sistémico, abierto, reflexivo y creativo, así como el fortalecimiento de ciertas habilidades básicas (indagación, registrar, procesar información) para la comprensión de un fenómeno, siendo el objetivo de un proceso investigativo. Con la información recolectada, el estudiante aprenderá a analizar los problemas, hacer inferencias, relacionar variables, con el fin de solucionar problemas, redactar informes, construir herramientas para llevar a cabo procesos de observación y análisis de documentos e interpretar resultados. (Mendivelso, 2006).

De acuerdo con lo anterior, este trabajo investigativo buscó fortalecer el desarrollo de las competencias científicas investigativas en los estudiantes del énfasis de Tecnologías Limpias del programa de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional a través de la implementación de una secuencia didáctica teniendo en cuenta la adaptación del ciclo de aprendizaje propuesto por Trowbridge y Bybee (1997), la cual consistió en el diseño de actividades que llevaran a los estudiantes a la consolidación y ejecución de un proyecto de investigación en el aula, donde se estableció la fitorremediación de Cr (VI) como una posible solución a una problemática ambiental, la cual consistió en el tratamiento de las aguas residuales causadas en los procesos de curtido en las curtiembres de Villa Pinzón (Cundinamarca, Colombia).

Por medio de la elaboración de proyectos de investigación en el aula sobre problemas ambientales permite al estudiante o al docente en formación, interpretar, argumentar y proponer soluciones frente una situación problema real donde se expone el contenido científico, permitiendo que se

concientice y se sensibilice de su entorno, así como ampliar sus conocimientos para impulsar los procesos de prevención y resolución de los problemas ambientales presentes y futuros.

El problema ambiental planteado es la contaminación de Cr (VI) en cuerpos de agua causado por las aguas residuales generadas en los procesos de curtido en las curtiembres de Villa Pinzón. De acuerdo con Artuz (2012), gran parte de la contaminación generada por la industria de la curtiduría se debe a la falta de capacitación en el uso de los recursos e insumos utilizados en los procesos productivos; esta situación aplica a la gran mayoría de las curtiembres de Villapinzón y Chocontá, ya que las empresas curtiembres arrojan grandes cantidades de agua residual con tratamientos insuficientes al río Bogotá. Teniendo en cuenta esto, es de vital importancia contribuir y participar en la generación de nuevas soluciones, con el fin de mitigar los problemas ambientales generados por la contaminación de Cr (VI). Es por eso que se establece la fitorremediación como una alternativa de tratamiento y descontaminación a las aguas residuales a partir del uso de plantas, las cuales pueden eliminar contaminantes del agua o neutralizarlos.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, este trabajo de investigación consistió en investigar:

¿Cómo fortalecer el desarrollo de las competencias científicas investigativas en estudiantes de noveno semestre del Énfasis de Tecnologías limpias del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional estableciendo la fitorremediación de Cr (VI) como una posible solución a una problemática ambiental?

4. ANTECEDENTES

De acuerdo con el Decreto 1295 del 2010, Capítulo 2, artículo 5, declara que: *“Todas las instituciones de educación superior, deben tener actividades de investigación que permitan desarrollar una actitud crítica y una capacidad creativa para encontrar alternativas para el avance de la ciencia...”*. Teniendo en cuenta esto, desarrollar competencias investigativas en estudiantes de educación superior, contribuirá a que se incluya la investigación al quehacer formativo.

La Universidad será reconocida como la institución universitaria del Estado y de la sociedad colombiana que, interpretando los profundos cambios del entorno nacional e internacional, responde con propuestas e innovaciones al desarrollo y transformación de la educación, aportando al nuevo Proyecto Político Pedagógico para la educación colombiana. Por medio de este proyecto se potencia las estrategias, se inculcan los grandes principios, metas y valores consagrados en la Constitución, y se forma un ideal de hombre y ciudadano, un nuevo sujeto histórico.

La Universidad Pedagógica Nacional es una universidad colombiana de carácter público que forma educadores, dentro del Proyecto Educativo Institucional, el maestro es visto como un sujeto del saber pedagógico y como sujeto activo de políticas públicas, con sus prácticas y experiencias. El programa de Licenciatura en química que ofrece la Universidad Pedagógica Nacional, propende a través del proyecto curricular, en los ciclos de fundamentación y profundización, la formación en competencias. El término competencia desde el proyecto curricular de Licenciatura en química está relacionado con la posesión y la capacidad de uso del conocimiento y las habilidades apropiadas y suficientes con las cuales los individuos en el ejercicio de una profesión, oficio o campo de saber determinado, manifiestan desempeñarse eficaz y eficientemente en una sociedad. (Universidad Pedagógica Nacional, 2000)

Las competencias que se pueden llegar a formar durante el programa de la Licenciatura en química son: Competencias básicas, competencias procedimentales y competencias investigativas, siendo estas últimas un referente de partida para el presente trabajo.

Los trabajos realizados en torno al desarrollo de las competencias investigativas se han convertido en un tema de investigación pedagógica y didáctica, un ejemplo de ello, es el trabajo de investigación realizado por Chona, et al (2006), titulado “Competencias científicas y formación en

valores. Un estudio desde el pensamiento de los profesores de ciencias experimentales”, en esta investigación se trabajan las competencias desde la perspectiva educativa, de igual forma se define una competencia científica como la capacidad de un sujeto, expresada en desempeños observables y evaluables que evidencia formas sistemáticas de razonar y explicar el mundo natural y social, a través de la construcción de interpretaciones apoyados por los conceptos de las ciencias. Las competencias científicas se categorizan en competencias básicas, investigativas y reflexivas crítica en niveles inicial, intermedio y avanzado, en este trabajo se presentan los niveles de desempeño de cada una de las competencias científicas mencionadas anteriormente.

En el campo de la educación en ciencias naturales, el desarrollo de competencias científicas investigativas permite resolver problemas a partir del conocimiento científico, García y Ladino (2008), desarrollan competencias científicas a través de una estrategia delimitada dentro del modelo de enseñanza y aprendizaje por investigación. Estos investigadores clasifican las competencias científicas en dos subgrupos que representan diferentes niveles, se clasifican en básicas e investigativas. Las competencias científicas básicas incluyen desempeños relacionados con procesos iniciales de: reconocimiento de un lenguaje científico, desarrollo de habilidades experimentales, organización de la información y trabajo en grupo. Por otro lado, las competencias científicas investigativas incluyen procesos cognitivos y sociales más allá de la selección y procesamiento de la información. La estrategia utilizada se dividió en 5 etapas (Planeación, diagnóstico, transición, ejecución, evaluación) y consistió en la ejecución de un proyecto investigativo escolar en el aula, este tipo de estrategias aproximan al estudiante a soluciones de problemas abarcando todos los aspectos conceptuales, metodológicos y actitudinales de la ciencia.

Uno de los propósitos de la educación en ciencias es que el estudiante reconozca el conocimiento científico no solo en su lógica interna (cuerpos teóricos, metodologías y productos) sino desde sus implicaciones sociales y ambientales y su relación con el entorno que lo rodea. Castro y Salcedo (2008) en su trabajo de investigación implementan una estrategia didáctica basada en situaciones problema de carácter ambiental, en el cual exige al estudiante la interpretación de conceptos, la profundización y afianzamiento de los mismos, la emisión de hipótesis, el planteamiento de estrategias de solución, la contrastación entre posibles hipótesis, la obtención de resultados y el análisis de los mismos al contrastarlos con la opinión de la comunidad científica. Paralelamente este tipo de actividades conllevan la aplicación de procesos que favorecen el desarrollo de

competencias investigativas, así como de estrategias de lectura, que permitan, además, la implementación de técnicas de argumentación que faciliten al planteamiento de proposiciones acordes a su contexto.

Con la consolidación de la educación ambiental como disciplina formal hace más de treinta años y de acuerdo con el trabajo de Brown (2003), la expresión “aprendizaje mediante la investigación” ha dado una mirada bastante interesante a la investigación en el aula. Brown retoma el término investigación y lo describe mediante el ciclo de aprendizaje; como un modelo de enseñanza que aborda la investigación y como aprovechar al máximo este enfoque pedagógico en la enseñanza, a partir de este ciclo, Brown busca que los estudiantes de primer año de ciencias exactas generen cambio conceptual en algunos conceptos científicos implementando una estrategia desde el ciclo de aprendizaje, este ciclo en un principio lo planeó Karplus citado por Brown (2003), hasta la fecha ha tenido ciertas modificaciones. El ciclo de aprendizaje se emplea como un marco pedagógico para desarrollar la comprensión de un concepto a través de la investigación, este se divide en cinco fases teniendo en cuenta la adaptación de Trowbridge y Bybee (1997) (engranaje, exploración, explicación, elaboración y evaluación) descritas en la propuesta de Brown (2003). Con la implementación de este ciclo el estudiante construye la comprensión acerca del ambiente tomando como base el cómo aprende a través de la cual podrán tomar decisiones relacionadas con el impacto ambiental.

El trabajo de investigación realizado por Montaña, Moreno, Torres y Rodríguez (2009), se enfoca en desarrollar competencias investigativas a partir de la obtención de Biodiesel utilizando fenómenos catalíticos de la semilla de *Jatropha curcas*, con el fin de solucionar problemas ambientales generados por los combustibles fósiles. La estrategia didáctica se enmarca en la resolución de problemas, con el fin de brindar a los estudiantes de la licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, las herramientas para que definan problemas ambientales y propaguen diferentes soluciones, manifestando de este modo la capacidad para comunicar adecuadamente los resultados de una investigación en una comunidad científica.

El planteamiento de situaciones problema con un contenido ambiental favorece al desarrollo de procesos de investigación por parte de los estudiantes y permite el afianzamiento de competencias en los mismos. Los problemas ambientales que genera la contaminación por metales pesados en el agua, es un claro ejemplo del tipo de problemáticas actuales que se pueden llevar al aula, en el cual

se pueden proponer alternativas de solución. Partir de una situación problema como lo es la contaminación de Cromo hexavalente en cuerpos acuíferos a causa de las curtiembres, exige a los docentes investigadores, buscar una solución amigable con el medio ambiente y que se pueda llevar al aula como una estrategia didáctica para desarrollar competencias. Los trabajos realizados sobre Fitorremediación son una buena herramienta para demostrar a los estudiantes y a la población en general, que esta tecnología es eficaz para remediar metales pesados en el agua, en este caso se hablara del Cromo hexavalente.

El vertido de efluentes con alto contenido de cromo, procedentes de las curtiembres es un peligro potencial para la población y los ecosistemas. La temática del tratamiento de aguas residuales está en permanente investigación. El trabajo de investigación realizado por Patiño (2015), indaga sobre la capacidad remediadora de Cr (VI) de la especie *Cyperus papyrus* en el tratamiento aguas residuales, la metodología que se empleó se dividió en tres etapas: identificar variables que rigen el proceso de remoción de Cr (VI), desarrollo de un modelo matemático que describe el proceso de remoción y por último la validación del método. De acuerdo a los protocolos establecidos y resultados de la cinética de adsorción, esta especie constituye una alternativa factible para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales.

La especie vegetal *Eichornia Crassipes*, de acuerdo con Álvarez, Maldonado, Gerth y Kuschik (2004), tiene la capacidad de remediar Cr (VI), a bajas concentraciones. La investigación evaluó mediante ensayos de fitorremediación la eficacia de esta especie en la remoción de Cr (VI). Las plantas de *Eichhornea crassipes* se colectaron de humedales naturales que no tienen contacto con aguas residuales industriales. El agua de origen donde creció la *Eichhornea crassipes* fue sustituida parcialmente cada día durante una semana por agua residual. Previo a los ensayos las plantas fueron adaptadas en invernadero por un mes. La remoción depende de la composición de los efluentes residuales, algunos pueden afectar la vida de la especie, se analizaron 4 efluentes principales de descarga, solo un efluente fue tratado con la especie vegetal debido a la concentración del metal.

En Bogotá (Colombia), las curtiembres de Villa Pinzón ponen en riesgo la salud de la población, en este barrio ubicado en la Localidad de Tunjuelito se han desarrollado estudios interesados en disminuir la contaminación por la industria del cuero. En estos estudios no se ha considerado el impacto de la condición actual ambiental en la salud de los habitantes de la zona, Cuberos y

Rodríguez (2009), realizaron un estudio de orina a los habitantes de dicho sector, para determinar la cantidad de cromo en el organismo, los valores encontrados están por encima del promedio normal, en otras palabras, la población es expuesta diariamente a este metal. De acuerdo con esto, establecer la fitorremediación de este metal es una posible estrategia para mitigar este problema ambiental y de salud pública.

Los trabajos nacionales e internacionales mencionados anteriormente, permiten reflexionar sobre cómo a través de diferentes estrategias didácticas se han desarrollado competencias científico investigativas en el aula, lo cual demanda la realización de procesos de formación integral en estudiantes y más aún si son docentes en formación, por medio de la actividad investigativa, los sujetos pueden construir explicaciones y comprensiones de la naturaleza desde la indagación, la experimentación y la contrastación teórica, por medio de situaciones problemas con un enfoque ambiental que impliquen la fitorremediación como una tecnología limpia, implica acercar al estudiante a búsqueda de soluciones a problemas de contaminación en suelos y cuerpos acuíferos y a su vez que el estudiante puede relacionar conceptos, con los procesos propios de una investigación científica, y así establecer argumentaciones que den cuenta de los problemas planteados, es claro que en los trabajos citados, la experimentación juega un papel muy importante en la actividad científica, con esto, los estudiantes y docentes pueden socializar los trabajos investigativos a través de artículos investigativos, espacios de discusión, lo cual conlleva a repensar la ciencia como una construcción colectiva y social de conocimiento.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Fortalecer el desarrollo de competencias científicas investigativas en estudiantes de noveno semestre del Énfasis de Tecnologías limpias del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional a través de la ejecución de una secuencia didáctica en donde se establece la fitorremediación de Cr (VI) como una posible solución a una problemática ambiental.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar una secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje hipotético-deductivo, la cual se aproxima a la consolidación de un proyecto de investigación en el aula en donde se establece a la fitorremediación de Cr (VI) como una solución a una problemática ambiental.
- Evaluar la eficacia de la secuencia didáctica implementada por medio de un estudio cuasi experimental en donde se identifican los niveles de las competencias científicas investigativas iniciales y alcanzados por los estudiantes del Énfasis de Tecnologías limpias.
- Identificar cuál de las especies vegetales empleadas (*Eichhornia crassipes*, *Cyperus papyrus*, *Spathiphyllum wallissi* y *Dracaena braunii*) posee mayor porcentaje de retención y remoción de Cromo (VI), y qué tipo de fitorremediación presentan.

6 MARCO TEÓRICO

De acuerdo a las políticas educativas colombianas que se han realizado desde hace casi dos décadas ha transformado el enfoque y los cambios curriculares y se ha sugerido múltiples estrategias metodológicas para abordar el trabajo en el aula. El tema de competencias inicia dentro de las recomendaciones de la misión de Ciencia, Educación y Desarrollo en el año 1995 y se ha introducido en las políticas educativas colombianas con el fin de fortalecer el Sistema Nacional de Evaluación de la Educación para el mejoramiento de la calidad. De acuerdo con esto, es necesario contar con normas comunes, precisas y básicas que se establezcan como criterios que especifiquen lo que todos los estudiantes deben saber y ser capaces de hacer en los diferentes niveles educativos.

6.1 Competencia

El concepto de competencia se utilizó originariamente en el contexto empresarial para designar un conjunto de elementos o factores, asociados al éxito en el desempeño de las personas. Chomsky (como se citó en Cejas, 2006), a partir de las teorías del lenguaje, instauro el concepto y define, competencia como la capacidad y disposición para el desempeño y para la interpretación.

En la primera mitad del siglo XX la discusión sobre los principios del aprendizaje y la adquisición del conocimiento lleva a confrontar dos grandes enfoques. El paradigma conductual, el cual afirma que el aprendizaje se basaba en los principios asociativos, siendo el ambiente el factor determinante del aprendizaje. Por otro lado, el enfoque cognoscitivo resaltaba la interacción, así como quien era el sujeto quien se encargaba de procesar la información y dotarla de significado. De acuerdo a este segundo enfoque, Noam Chomsky, desde la lingüística, es quien introduce, la discusión sobre las competencias, al estudiar los mecanismos de adquisición del lenguaje, afirmó que los sujetos tienen unas competencias abstractas y universales para su adquisición, basadas en reglas y estrategias de carácter innato. En la interacción, estas competencias se pondrían en uso. (Cejas, 2006)

De manera complementaria, Chomsky diferenció entre las competencias comunicativas y su uso, esto es, entre el conocer un concepto específico y la manera en que este se aprovecha en la práctica. Este argumento permite diferenciar entre competencia y desempeño, o actuación en su acepción original. Las evaluaciones miden el desempeño y a partir de tales observaciones se hacen inferencias sobre las competencias. (Organista, 2000)

Desde del programa de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, se adopta la definición propuesta por Chomsky, donde se concibe a la competencia como a las capacidades y disposiciones para la interpretación y la actuación desde la lingüística, a su vez desde la teoría de las inteligencias múltiples, Gardner, precisa tres competencias como fundamentales, las cuales han de desarrollar los estudiantes para formarse como artistas, a saber: producir, percibir y reflexionar. (como se citó en UPN, 2016)

En este mismo sentido, Hernández, Rocha y Verano (1998) interpretan las competencias como las acciones que un sujeto realiza cuando interactúa significativamente en un contexto y que cumplen con las exigencias del mismo. De igual, forma, las competencias se construyen y reconstruyen (Gallego, 1999), por tanto en este proceso inciden, la actitud y disposición de los estudiantes y las estudiantes, el diseño de los ambientes, la actitud de los profesores y las profesoras, la calidad de los recursos de todo orden utilizados o necesarios; en general la organización del ámbito, para que se logre la construcción y reconstrucción del discurso químico desde la perspectiva pedagógica y didáctica por parte de los involucrados en el proceso.

Según plantea Gallego (1999), las competencias tienen un carácter actitudinal, los aspectos cognoscitivos e intencionales que la configuran, inciden en la definición de posturas, de actitudes, en relación con la pertinencia y la importancia de los hechos y fenómenos de la realidad. Las competencias del sujeto implican a los otros y esto conlleva a una responsabilidad ética, además integran determinados valores, reflejo de la significatividad social y del sentido que se ha constituido alrededor de la actividad. Tienen una connotación axiológica. En un plano interno las competencias en tanto caracterizan la forma de actuación de un individuo ante su realidad, están relacionadas con las representaciones internas (mentales) que éste ha construido sobre la situación (Gallego, 1999) por lo que ellas son un factor determinante en el desempeño de los sujetos y un aspecto metodológico a tener en cuenta para potenciar su desarrollo, pues aunque tienen su expresión en la acción, requieren lógicamente de conocimientos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el término de competencia dentro de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional está relacionado con la posesión y la capacidad de uso del conocimiento y las habilidades apropiadas y suficientes con las cuales los individuos en el ejercicio

de una profesión, oficio o campo de saber determinado, manifiestan desempeñarse eficaz y eficientemente en una sociedad. (Universidad Pedagógica Nacional, 2000)

6.2 Competencias científicas

Hodson (1994) señala que la educación en ciencias debe ir dirigida a que los estudiantes puedan conocer el impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad, puedan dilucidar los intereses que están en medio de las decisiones sobre ciencia y tecnología, y que a su vez sean capaces de desarrollar valores y juicios propios que los preparen para la acción social responsable; de tal modo que se formen ciudadanos capaces de intervenir más, en decisiones de ciencia y tecnología en su contexto actual y futuro (Acevedo, Vásquez y Manassero, 2003), en este sentido, se establece la importancia de la educación en ciencias como un medio para la humanización en la que se reconoce la necesidad de los jóvenes y estudiantes adquieran y practiquen ciertos conocimientos, habilidades intelectuales, valores y perspectivas científicas.

De acuerdo con Cárdenas (1998), la educación en ciencias propende al desarrollo de habilidades básicas, procedimentales e investigativas, a través de la enseñanza de las ciencias los estudiantes podrían tener la capacidad de emitir juicios de valor, respeto por la opinión de los demás, trabajar en equipo y la convivencia social. En el campo educativo, para ser competentes en un determinado campo, es necesario conocer y comprender, poder cooperar armónicamente con los demás, en estas consideraciones se reconoce la competencia, en cuanto a las competencias en ciencias naturales, una persona es competente para ser productiva en las ciencias naturales cuando ha logrado desarrollar el pensamiento científico, desarrollar la capacidad de trabajar en equipo y desarrollar el interés por el conocimiento científico. (Beltrán, 2010). Es decir, se reconoce la competencia científica como la capacidad para comprender los procesos propios de la ciencia, manejar un lenguaje científico de manera oral y escrita, dominar el lenguaje especializado, criticar las teorías de los demás y las propias, elaborar juicios a partir de la observación e investigación.

En este trabajo de investigación se define competencia científica desde Chona, et al, (2006), la cual la interpretan como:

“la capacidad de un sujeto, expresada en desempeños observables y evaluables que evidencia formas sistemáticas de razonar y explicar el mundo natural y social, a través de la construcción de interpretaciones apoyadas por los conceptos de la ciencia” (Chona, et al, 2006)

Las competencias científicas desde Chona, et al (2006) se categorizan como básicas, investigativas y de pensamiento reflexivo, en niveles inicial, intermedio y avanzado. En la tabla 1 se mencionan algunas características de cada competencia.

Tabla 1

Categorización de las competencias científicas (Chona, et al, 2006)

Competencia	Explicación
Competencias científicas básicas	Incluyen la capacidad de un sujeto para reconocer un lenguaje científico, desarrollar habilidades de carácter experimental, organizar información y trabajar en grupo.
Competencias científicas investigativas	Se conciben como la capacidad del sujeto de construir explicaciones y comprensiones de la naturaleza desde la indagación, la experimentación y la contrastación teórica.
Competencias de pensamiento reflexivo y crítico	Se entienden como la capacidad que tiene un sujeto de desarrollar procesos cognitivos que van más allá de la selección y procesamiento de la información, permitiéndole integrar creativa y propositivamente los saberes frente a nuevas situaciones, resolviendo problemas desde una postura crítica, ética y de construcción de significados contextualizados

6.2.1. Competencias científicas investigativas

Las competencias científico investigativas se asumen como la capacidad del sujeto de construir explicaciones y comprensiones de la naturaleza desde la indagación, la experimentación y la contrastación teórica, donde se formula un problema genuino que genere cierto conflicto cognitivo y desde un trabajo sistemático interrelaciona conceptos con los cuales establece argumentaciones que dan cuenta de los fenómenos naturales. En la parte experimental, en esta competencia, el sujeto o estudiante debe reconocer constitutivos de la experimentación y también asociarlas a la resolución de problemas teniendo en cuenta otro tipo de experiencias de aprendizaje, tales como la confrontación conceptual de acuerdo a los referentes bibliográficos utilizados, la socialización de los resultados, lo cual permite la construcción individual y colectiva del conocimiento a través de los espacios de discusión.

Chona, Arteta, Martínez, Ibáñez, Pedraza y Fonseca (2006) proponen los siguientes desempeños (Tabla 2) que corresponden a un nivel inicial, intermedio y avanzado respecto a las competencias

científicas investigativas, de acuerdo a estos desempeños se analizarán los resultados del presente trabajo de investigación.

Tabla 2

Niveles de las competencias científico- investigativas (Chona, et al, 2006)

Nivel	Desempeño
INICIAL	1 Formular preguntas sobre hechos y fenómenos
	2 Proponer posibles explicaciones
	3 Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis
	4 Establecer variables
	5 Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada
	6 Presentar la información a través de textos
	7 Resolver problemas sencillos
	8 Proponer o establecer los procedimientos para abordar problemas
	9 Buscar información pertinente para ilustrar una situación problemática
INTERMEDIO	1 Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación.
	2 Formular y contrastar hipótesis
	3 Predecir los resultados de un proceso
	4 Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis
	5 Establecer relaciones entre variables
	6 Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados
	7 Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.
	8 Emplear ideas y técnicas matemáticas
	9 Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas.
AVANZADO	1 Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización.
	2 Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar
	3 Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos.
	4 Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.
	5 Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables
	6 Generalizar a partir de observaciones
	7 Presentar la información a través de modelos explicativos
	8 Resolver problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad

6.2.1 Niveles de las competencias científicas investigativas

Para este trabajo investigativo se tomó como referente los anteriores desempeños para identificar las competencias científicas investigativas en los estudiantes, sin embargo, se hicieron ciertas modificaciones de la matriz expuesta por Chona et al (2006). Partiendo de la definición de competencia científica investigativa mencionada por estos autores, hay tres criterios importantes en la definición: **indagación, la experimentación y argumentación**, por tal motivo la matriz es reorganizada bajo estos tres criterios en niveles inicial, intermedio y avanzado.

Indagación

La indagación es un proceso que se da en el pensamiento humano desde las primeras etapas de su desarrollo. La indagación puede ser entendida como **la habilidad para hacer preguntas**, habilidad que tiene su origen en las necesidades del ser humano, el cual se convierte en un medio o instrumento para comprender y aprehender el objeto de estudio. John Dewey (1929), señalaba que la pregunta y la curiosidad, en cuanto actitud exploratoria, es la que da origen al pensamiento, decía, que en el niño la curiosidad es como un instinto natural y que, en su crecimiento y participación en las relaciones sociales, éste se vale del lenguaje interrogativo, de las preguntas, para continuar explorando, por medio de los adultos, el mundo. (Camacho y Casillas, 2009)

Dewey (1965) refiere que inicialmente el preguntar es mera curiosidad, cuando se convierte en una actividad se estructura el pensamiento, debido a que al formular una pregunta se señala el inicio de una búsqueda y un pensamiento de información que produce un nuevo conocimiento. En la indagación conlleva a realizar observaciones, plantearse preguntas, planificar, etc. Es por ello que las actividades de indagación requieren, entre otros aspectos; destrezas para identificar conceptos, suposiciones, teorías, el uso del pensamiento lógico, crítico, reflexivo, y las explicaciones alternativas.

Teniendo en cuenta, que este trabajo de investigación se fundamenta en el fortalecimiento de las competencias científicas investigativas en estudiantes de un programa profesional, se toma, la indagación como el eje iniciador del proceso investigativo. De acuerdo con Arlet, Elvia y Arteta (2012) la indagación en las ciencias naturales se caracteriza en la formulación de preguntas, planteamiento de hipótesis, búsqueda de evidencias. La indagación científica se refiere a las diversas formas en las cuales los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo (Garritz, 2006)

Teniendo en cuenta lo anterior, se reorganizaron los desempeños propuestos por Chona et al (2006) en tres niveles, en este grupo se encuentran los desempeños que hacen alusión a la formulación de preguntas o plantear problemas, así como formular hipótesis y proponer posibles explicaciones frente a un problema. En la tabla 3 se presentan los desempeños correspondientes a este criterio.

Tabla 3
Indagación (Desempeños)

NIVEL	DESEMPEÑO
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos Proponer posibles explicaciones
INTERMEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación. Formular y contrastar hipótesis
AVANZADO	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización. Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar. Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos.

Experimentación

La química es desde sus comienzos una ciencia experimental, desde la noción más sencilla, un experimento es una operación que se realiza para provocar una respuesta en un sistema que se estudia, el posterior análisis y la interpretación de los resultados proporcionan información relevante sobre la naturaleza o las características del sistema investigativo. La experimentación puede ser utilizada para consolidar una teoría, comprobar hipótesis o rebatir las mismas teorías. (Mellado, 1998).

La experimentación es un método de investigación científica, el cual incluye también la descripción, comparación y el modelaje, la experimentación implica la manipulación de variables o condiciones. La experimentación científica determina la naturaleza de la relación entre variables las cuales deben estar descritas en una metodología o protocolos de trabajo.

Al dar solución a un problema es necesario diseñar modelos, reproducir las condiciones, abstraer los rasgos distintivos del problema, la realización de experimentos está condicionado a la naturaleza y circunstancias del objeto y del problema de investigación. La experimentación depende del grado de conocimiento científico que se tenga del sistema investigativo.

La experimentación como uno de los criterios que define las competencias científicas investigativas se divide en dos categorías, correspondientes a los aspectos metodológicos y a la forma como se sistematiza los resultados obtenidos. A continuación, se presentan los dos subcriterios que se evaluaron en la experimentación.

Metodología

La metodología puede ser vista como un ordenamiento lógico de los pasos necesarios a seguir para concretar de la manera más eficaz posible los objetivos planteados, lo que se busca con la metodología es controlar el máximo de variables posibles, de tal manera de reducir los márgenes de error y de incertidumbre dependiendo del tipo de metodología.

En el aspecto metodológico se encuentran los desempeños relacionados con los diseños experimentales, establecimiento de variables, seleccionar instrumentos adecuados de tal forma que se puedan contrastar las hipótesis propuestas. En la tabla 4, se presentan los desempeños por cada nivel de competencias correspondientes a este subcriterio.

Tabla 4

Experimentación (Desempeños metodología)

NIVEL	DESEMPEÑO
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis Establecer variables
INTERMEDIO	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis Establecer relaciones entre variables Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados
AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis. Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables

Sistematización de los resultados

En esta categoría se tienen en cuenta los desempeños correspondientes a los resultados obtenidos en la experimentación, se evidencia la forma como es presentada la información. En la tabla 5 se presentan los desempeños de este subcriterio.

Tabla 5

Experimentación (desempeños sistematización de la información)

NIVEL	DESEMPEÑOS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada. Presentar la información a través de textos.
INTERMEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas. Emplear ideas y técnicas matemáticas
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos

Argumentación

Aunque en la definición de competencia científica investigativa se menciona la contrastación teórica como un criterio de la competencia, en este trabajo esa contrastación teórica es tomada como la argumentación al momento de analizar los resultados obtenidos en la experimentación y a las conclusiones donde se expone la resolución del problema planteado.

La argumentación es una dificultad y un problema, al momento en que los estudiantes intentan expresar de forma oral y escrita sus explicaciones referentes a fenómenos en el contexto específico de las ciencias, el cual exige rigurosidad, precisión, estructuración y coherencia. Escriben oraciones largas con dificultades de coordinación y subordinación o muy cortas, sin justificar ninguna afirmación y empleando términos sin discriminar entre los de uso científico y aquellos de uso cotidiano.

Argumentar en ciencias naturales implica varias habilidades, una de ellas es la identificación de pruebas y datos. La utilización de pruebas científicas permite elaborar y comunicar conclusiones e identificar los supuestos, pruebas y razonamiento que las sustentan (Molina, 2012), por su parte Jiménez y Díaz (como se citó en Molina, 2012) definen la argumentación como *“la capacidad de relacionar datos y conclusiones, de evaluar enunciados teóricos a la luz de los datos empíricos o procedentes de otras fuentes”*.

En la tabla 6 se presentan los desempeños que se evaluaron por cada nivel en este criterio que define las competencias científicas investigativas.

Tabla 6
Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO
INICIAL	Resolver problemas sencillos
	Proponer o establecer los procedimientos para abordar problemas.
	Buscar información pertinente para ilustrar una situación problemática
INTERMEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas.
AVANZADO	Resolver y argumentar problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad, proponer otros problemas de investigación.

De una forma más general, las competencias investigativas, pretenden formar profesionales con amplios conocimientos y destrezas para emprender proyectos y programas de investigación de modo que puedan abordar y responder adecuadamente al estudio de problemas de relevancia social

del contexto. El desarrollo de estas competencias pretende estructurar un pensamiento crítico, sistémico, abierto, reflexivo y creativo (Mendivelso, 2006). Con llevaría esto el desarrollo de ciertas habilidades básicas para la comprensión de un fenómeno que, finalmente, es el objetivo de un proceso investigativo. Estas serían: problematizar la realidad (comunidad de indagación), registrar, procesar y recuperar información para aprender a: analizar problemas; hacer inferencias (anticipación conjetural creativa); relacionar (aprendizaje por transferencia analógica); plantear y resolver problemas; elaborar conceptos y proposiciones; redactar informes; construir herramientas para llevar a cabo procesos de observación, entrevistas o análisis de documentos; manejar estadísticas básicas; deducir e interpretar resultados (Mendivelso, 2006).

5.2.3 Competencias científicas en la Universidad Pedagógica Nacional

EL programa de la Licenciatura en química que ofrece la Universidad Pedagógica Nacional (2015), a través de su proyecto curricular busca en los ciclos de fundamentación y profundización, la formación en las competencias y desempeños, los cuales se categorizan en la tabla 7:

Tabla 7

Competencias Programa Curricular Licenciatura en química (2000)

COMPETENCIA	EXPLICACION
Competencias básicas	Construye saberes científicos y en particular del saber químico y reconoce procedimientos para llevarlos al ámbito de la enseñanza de la química. Reconoce e interpreta los procederes, lenguajes y formas de explicación de los fenómenos en química. Reconoce las diferentes relaciones entre la pedagogía y la química como disciplinas articuladoras del conocimiento propio de la didáctica de la química.
Competencias Procedimentales	Reconoce y sigue sistemáticamente procesos y metodologías propias del campo de la reestructuración de los conocimientos químicos Estudia, analiza y diseña críticamente propuestas metodologías innovadoras para la enseñanza de las ciencias y de la química en particular. Participa en grupos de trabajo, grupos de investigación, eventos de socialización en el campo de la química y la didáctica de la química de forma crítica y responsable.
Competencias Investigativas	Construye un sentido para la investigación educativa a través de la documentación y análisis de diferentes perspectivas, sus posibilidades y alcances para la transformación de la enseñanza de las ciencias y de la química en particular.

Como se observa en la tabla 7, el programa de la Licenciatura en química busca fomentar y desarrollar competencias de índole investigativo a lo largo de su programa curricular y los ciclos de formación. Los ciclos de formación constan del ciclo de fundamentación y profundización.

- **Ciclo de fundamentación**

Es el conjunto de actividades académicas orientadas a proporcionar los fundamentos conceptuales, metodológicos y axiológicos necesarios para el desempeño como profesional de la educación. En este ciclo se reconoce la formación previa de los estudiantes, haciendo énfasis en **el desarrollo de competencias básicas** con una iniciación en **el desarrollo de competencias procedimentales e investigativas**.

Es el periodo en el que se consolidan los logros de conocimiento y de formación obtenidos en el nivel de formación previo al universitario y se construyen las bases mínimas para el desarrollo de los procesos académicos que le permitirán construir las competencias y el perfeccionamiento de las capacidades humanas propuestas en el proyecto curricular de la Licenciatura. Se considera como un ciclo de transición entre la formación previa del estudiante y su vinculación a los procesos académicos dentro del proyecto curricular del Departamento de Química.

- **Ciclo de profundización**

Es el conjunto de actividades académicas, desarrolladas alrededor de un énfasis particular de la química, las tecnologías o las artes. Se adelantará principalmente el estudio de producciones de frontera, la reflexión alrededor de su enseñanza y su aprendizaje. Sin detrimento de continuar la construcción de competencias básicas y procedimentales, las actividades programadas **en este ciclo hacen énfasis en el desarrollo de competencias investigativas**, lo que implica el dominio de saberes específicos y de procedimientos científicos, así como el desarrollo de pensamiento crítico y de razonamiento complejo: la resolución de problemas y el pensamiento crítico.

6.3 Investigación en el aula para el desarrollo de competencias.

La investigación puede ser definida como un proceso de aprendizaje flexible y activo que se caracteriza por la formulación de preguntas, exploraciones, aplicaciones y síntesis de un problema planteado, llevando esta definición al aula, en la década de los setenta, muchos educadores llegaron a interesarse en cómo la investigación se podría transformar en un método de enseñanza que se pudiera aplicar en el salón de clases.

Rada (2008) propone metodologías que integren orientaciones y estrategias contextualizadas al estudiante para propiciar su transferencia sobre los procesos investigativos, del cómo abordar los problemas y llegar a su solución, además establece la investigación como un tipo de enseñanza la cual permite desarrollar el pensamiento complejo, visualizando la realidad, generando problemas y realimentando la capacidad para tratar de resolverlos integralmente.

Por su parte, Ruiz y Torres (2005), señalan que, si la investigación se implementa en el aula de modo activo, vivencial es decir estudiando problemas reales puede llegar a desarrollar competencias, favorece a formar competencias de tipo cognitivo, instrumental y actitudinal para y en la ejecución de las investigaciones.

Integrar la investigación como una actividad practica requiere de las siguientes habilidades: definir, distinguir, analizar, criticar, establecer relaciones, sistematizar. Cañal y Porlán (1987), hablan de una investigación que puede estar referida como una actividad y proceso metodológico implícito en el aprendizaje y la enseñanza, expresándola como:

“un proceso de aprendizaje, fundamentado en la tendencia hacia la exploración y en la capacidad para el pensamiento racional común en nuestra especie desde el nacimiento, así como en los rasgos fundamentales del espíritu científico que se perfecciona progresivamente en la práctica, en interacción dialéctica con el desarrollo de las estructuras conceptuales...” (Cañal y Porlan, 1987)

La enseñanza y el aprendizaje por medio de la investigación permite al docente proponer e implementar estrategias que conlleven a que el estudiante se aproxime al contexto en el que se desenvuelven los científicos, llevándolo a enfrentar situaciones que típicamente afrontan los científicos en su quehacer; por tanto, la estrategia de enseñanza y aprendizaje por medio de la investigación favorece el desarrollo de competencias científicas específicamente de tipo investigativo. (García; Ladino, 2008)

5.3.1 Ciclo del aprendizaje

Robert Karplus propuso el ciclo de aprendizaje el cual ha derivado en el desarrollo del enfoque de aprendizaje por medio de la investigación (Brown, 2003).

El ciclo de aprendizaje es un enfoque pedagógico que modela la investigación, lo propuso inicialmente Robert Karplus, de acuerdo con Brown (2003), el ciclo del aprendizaje es el enfoque más aceptado para abordar el aprendizaje por medio de la investigación. Karplus dividió el

aprendizaje investigativo en tres fases o etapas: **el engranaje, la exploración y la elaboración**. En la medida en la que el enfoque se le daba uso y se le estudiaba, estas etapas fueron modificadas y, en algunos casos, se añadieron más etapas.

La identificación del ciclo de aprendizaje y sus tres fases, el engranaje, la exploración y la elaboración, pueden encontrarse en los primeros trabajos del programa *Science Curriculum Improvement Study* (SCIS) del campus de Berkeley de la Universidad de California, realizados durante los últimos años de la década de 1950 y primeros de la de 1960 (SCIS Newsletter No. 1, 1964, en *Science Curriculum Improvement Study* 1973), citados por Lawson (1994). Tras los trabajos realizados por Karplus con estudiantes de básica, se comenzó a pensar en la posibilidad de desarrollar un programa de ciencias para la escuela elemental, esta experiencia, llevo a Karplus a plantearse la siguiente pregunta: ¿Cómo podemos crear una experiencia de aprendizaje que proporcione una conexión segura entre las actitudes intuitivas de los alumnos y los conceptos del punto de vista actual de la ciencia?, de acuerdo con esto, Karplus, diseña un plan para ayudar a los alumnos a interpretar sus observaciones de una forma analítica.

El Ciclo de Aprendizaje, de Karplus, (1980), que a su vez está basado en las teorías de Piaget (1958), y distingue básicamente tres fases de aprendizaje anteriormente mencionados. El eje del enfoque es el de introducir a los estudiantes a los conceptos concretos antes de confrontarlos con relaciones abstractas. En este trabajo investigativo se tienen en cuenta los aportes de Trowbridge y Bybee (como se mencionó en Brown, 2003) respecto al ciclo de aprendizaje, los cuales hacen una adaptación del ciclo y lo explican en 5 pasos que empiezan con E, ahora empleado por muchos profesores y educadores ambientales. Este enfoque es un marco pedagógico empleado para desarrollar la comprensión de un concepto o conjunto de conceptos.

6.3.1 Ciclo de aprendizaje adaptado por Trowbridge y Bybee (1997)

Los ciclos de aprendizaje es el resultado de la forma como el sujeto percibe y procesa lo percibido, esto les permitirá a los docentes planificar situaciones en base a la vivencia y reflexión del estudiante. Trowbridge y Bybee (1997) adaptan el ciclo de aprendizaje de Karplus, ya que estos ajustes que realizan estos autores son concordantes con el propósito de promover un proceso de aprendizaje mediante la investigación, que responde a dos tipos de conocimientos, saber qué (declarativo) y saber cómo (procedimental), así como se encuentran evidencias que el modelo

contribuye a que los estudiantes mejoren su actitud, desempeño, comprensión y retención de conceptos, y el desarrollo de habilidades de aprendizaje.

6.3.1.1 Fases del ciclo del aprendizaje

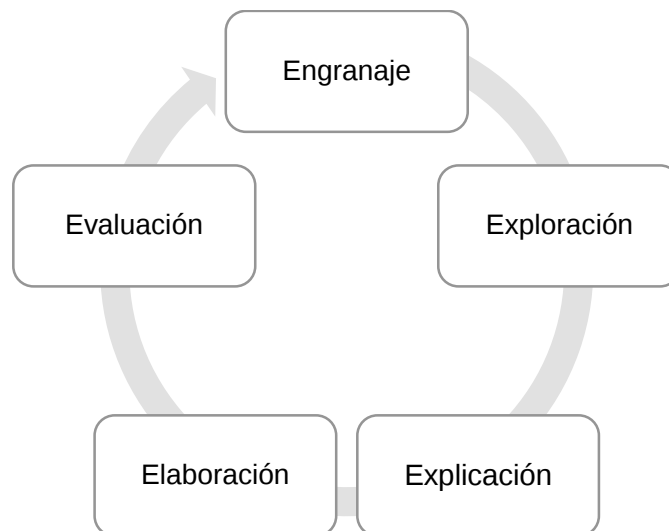


Figura 1
Fases del ciclo de aprendizaje

Las cinco fases presentadas en la figura 1 corresponden a las etapas mencionadas por Trowbrigg y Bybee (1997), las fases son: engranaje, exploración, explicación, elaboración y evaluación. A partir de fases se diseñó la secuencia didáctica. A continuación, se explica la intencionalidad de cada fase.

- **Engranaje**

La experiencia del aprendizaje comienza con una actividad que compromete al estudiante y se enfoca en el concepto que se va a explorar. Uno de los propósitos principales de la actividad de engranaje consiste en introducir el tema que se está investigando de una manera dinámica e interesante esperando que de esa manera se aumente la conciencia del estudiante con respecto al tema.

Algunos ejemplos de actividades de engranaje son las demostraciones, los modelos de computadoras y las presentaciones en video de fenómenos inusuales e inesperados vinculados al concepto que se está presentando.

Esta fase culmina con la formulación de una o varias preguntas que los estudiantes usarán como guía para llevar a cabo el siguiente paso del ciclo.

- **Exploración**

En esta actividad, se espera que los estudiantes estén expuestos al concepto a través de un enfoque práctico y constructivista. Las exploraciones hacen que el estudiante trabaje de manera cooperativa en grupos, para diseñar, experimentar, llevar a cabo observaciones y recolectar y analizar la información teniendo como guía las preguntas identificadas en el primer paso del ciclo. Una vez que los estudiantes hayan recolectado la información y hayan intentado responder las preguntas propuestas, comparten su información con otros estudiantes y con el facilitador.

- **Explicación**

El facilitador sintetiza la información del estudiante y formaliza los conceptos aprendidos a través de la aplicación de los términos a patrones y procesos que surgen durante el desarrollo de la actividad de exploración. Esta actividad de explicación, en el clásico sentido de la palabra, califica la clase. Sin embargo, en el ciclo de aprendizaje difiere significativamente de la típica clase de ciencias. Esta se lleva a cabo una vez que los estudiantes han tenido experiencias directas con el concepto que se está discutiendo y, cuando es posible, la información recolectada por los estudiantes se emplea para identificar y describir el concepto.

- **Elaboración**

Esta es una actividad posterior a la actividad de explicación y consiste en una serie de preguntas consecutivas que se formulan a través de experimentos posteriores o, en algunos casos, discusiones o lecturas. Las actividades de elaboración permitirán que los estudiantes apliquen los conceptos investigados en un contexto o circunstancia diferente. Estas actividades refuerzan los conceptos aprendidos esperando que los estudiantes los recuerden durante un plazo de tiempo mayor.

- **Evaluación**

El ciclo de aprendizaje concluye con una evaluación formal que permitirá saber la comprensión de los conceptos por parte de los estudiantes. En la Educación Ambiental, la evaluación puede incluir el uso de portafolios, mapas conceptuales, ensayos y presentaciones grupales.

6.3.2 Clases de ciclo de aprendizaje

Lawson (1994) clasifica los ciclos de aprendizaje en tres tipos, los cuales siguen la propuesta de Karplus, durante la exploración o engranaje, normalmente los estudiantes examinan un fenómeno nuevo con unas orientaciones mínimas, los fenómenos nuevos suelen plantear cuestiones complejas que no pueden resolverse con las concepciones habituales, Esto puede provocar debate y un análisis de las razones que sustentan sus ideas. Este análisis puede conducir a una discusión explícita de las formas de comprobación de ideas alternativas por medio de la generación de hipótesis. La recolección y el análisis de los resultados puede entonces llevar al abandono de algunas ideas y a la retención de otras.

Los ciclos de aprendizaje pueden clasificarse en tres tipos: *descriptivo*, *empírico-abductivo* e *hipotético- deductivo*. La diferencia esencial entre los tres reside en el grado en el cual los estudiantes recogen datos de una manera puramente descriptiva (no guiada por hipótesis explícitas que quieren comprobar), o desde el primer momento ya exponen a la comprobación hipótesis alternativas de una manera controlada.

Ciclo hipotético- deductivo

Este tipo de ciclo se inicia con el planteamiento de una pregunta a partir de la cual los estudiantes generen explicaciones, luego de esto el estudiante se dedica a deducir las consecuencias lógicas de estas explicaciones y diseña y lleva a cabo experimentos para comprobarlos. El análisis de los resultados experimentales permite comprobar las hipótesis y a su vez que se introduzcan términos. Para finalizar los conceptos relevantes y los patrones de razonamiento implicado y discutidos pueden ser aplicados a otras situaciones en un momento posterior. En este tipo de ciclo se precisa la comprobación de hipótesis por medio de la comparación de deducciones lógicas con resultados por ello se denomina hipotético-deductivo (Lawson, 1994)

A continuación, Lawson (1994), plantea una serie de pasos para la aplicación de un ciclo de aprendizaje de este tipo en el aula.

1. El profesor identifica algún concepto o conceptos para ser objeto de enseñanza.
2. El profesor-identifica algún fenómeno que implica el patrón sobre el que se basa el concepto.
3. Fase de exploración: los alumnos exploran un fenómeno que plantea una cuestión causal o bien la plantea el profesor.

4. En una discusión en clase se avanzan hipótesis y se pide que los alumnos trabajen en grupo para deducir implicaciones y diseñar experimentos, o bien este paso se realiza en la misma discusión en clase.
5. Los alumnos llevan a cabo los experimentos.
6. Fase de introducción de vocablos: se analizan y comparan los datos, se introducen los vocablos y se extraen conclusiones.
7. Fase de aplicación de conceptos: se discuten o exploran fenómeno adicionales que implican el mismo concepto

6.4. Cromo Hexavalente y curtiembres

Con el crecimiento de las actividades industriales, las fuentes de contaminación del medio ambiente por cromo y otros metales han aumentado considerablemente, en especial aquellas relacionadas con el ambiente ocupacional en los procesos productivos de trabajo. Los principales compuestos que tienen interés por su prevalencia en el ambiente son los trivalentes y los hexavalentes.

El cromo y sus compuestos por sus características químicas y por los beneficios que brindan en la elaboración de múltiples productos, son ampliamente utilizados en diversos procesos industriales tanto en Colombia como en el mundo.

Se denomina curtiembres al proceso de someter las pieles de animales, especialmente vacunos y caprinos, a una serie de tratamientos con diversas sustancias llamadas curtientes y otras diversas operaciones, destinadas a producir modificaciones químicas y físicas en las pieles, con el fin de convertirlas en material duradero, casi imputrescible, apenas permeable al agua y a la vez suave, elástico y flexible, el producto final es el cuero o la piel curtida. (Téllez, Carvajal y Gaitán, 2003)

En la figura 2 se describe el proceso de curtiembre de las pieles, el cual implica tres etapas o fases de producción, que se denominan ribera, curtido y acabado. (**Anexo A**)

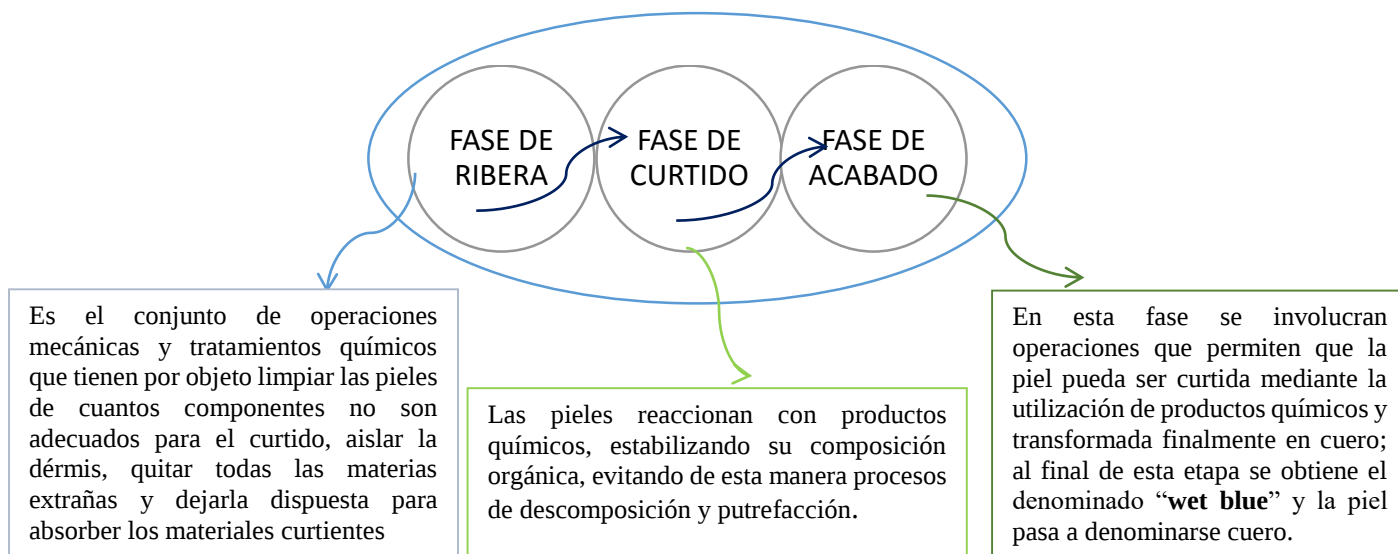


Figura 2

Fases de producción en el proceso de curtiembre de las pieles (Téllez et al, 2003)

En Colombia, las curtiembres se constituyen como una industria reconocida, sin embargo, por la utilización de compuestos de cromo hexavalente, las curtiembres son una fuente de contaminación, debido a que la gran mayoría utilizan métodos y procedimientos rudimentarios en su operación, de acuerdo con Onudi (1994), algunas empresas no realizaban inversión en infraestructura lo cual generaba un deterioro del medio ambiente. En la ciudad de Bogotá, en el barrio San Benito (Localidad de Tunjuelito), se concentra el 90% de las curtiembres de la ciudad, en este lugar no solamente está expuesta la población que labora en dichos establecimientos si no que se ve afectada la comunidad por el alto grado de exposición de sustancias químicas que se utilizan en el proceso productivo. Esta población enfrenta el problema de vertimientos contaminantes de esta industria ya que los líquidos resultantes del proceso de curtido son descargados directamente a la red de alcantarillado que posteriormente descarga al río Tunjuelito.

Como se mencionó anteriormente, una de los elementos utilizados en el proceso de curtido en las curtiembres es el Cromo, La industria del curtido de cueros genera entre otros, efluentes líquidos con altos contenidos de materia orgánica, sulfuros y cromo trivalente. Este cromo trivalente no es de gran toxicidad, pero bajo ciertas condiciones del medio se oxida, transformándose en cromo hexavalente, elemento de alta toxicidad. Los efluentes de la industria del cuero alcanzan concentraciones de cromo trivalente hasta de 450 ppm, superando las disposiciones de la

Organización Mundial de la Salud para aguas de consumo, que especifica un máximo de 1 ppm. (Higuera; Flórez; Arroyave, 2009)

El cromo es un metal bastante duro y poco alterable. Aparece como terrones, gránulos, polvo o cristales, es soluble en ácido sulfúrico, su símbolo químico es Cr, número atómico 24, pertenece al grupo VI B de la tabla periódica. Sus principales propiedades físicas son: peso atómico: 52g/ mol; Densidad: 7.19 g/cm³; punto de fusión: 1.857°C; punto de ebullición: 2.672°C.

Con la demanda de las actividades industriales, la contaminación por Cromo ha aumentado considerablemente, en cuanto a las relacionadas con el ambiente ocupacional en los procesos productivos de trabajo. Los principales compuestos que tienen interés por su prevalencia en el ambiente son los trivalentes y los hexavalentes.

El cromo y sus compuestos por sus características químicas y por los beneficios que brindan en la elaboración de múltiples productos, son ampliamente utilizados en diversos procesos industriales tanto en Colombia como en el mundo. Al ser el cromo hexavalente y sus compuestos sustancias cancerígenas para el ser humano, las actividades económicas que involucren a estas sustancias son de alto riesgo para la población y por lo tanto deben estar sometidas bajo un sistema de control. (Téllez, et al, 2003). Las principales sustancias utilizadas en la industria del cuero y calzado en el teñido de los cueros son el Sulfato de cromo y Aluminato de cromo. El cromo tiene un doble efecto en cuerpo humano dependiendo su estado de oxidación, en su forma trivalente es un oligoelemento, mientras que en su forma hexavalente es altamente toxico, que produce efectos nocivos irreversibles tanto agudos como crónicos en diferentes sistemas de organismo (**Anexo B**). La agencia internacional de Investigación en Cáncer (IARC) clasifica al cromo hexavalente como un elemento comprobadamente cancerígeno en el humano. (Flaherty, 1993)

6.3. Fitorremediación

Con lo anteriormente descrito, es clara la peligrosidad que representa este metal para la salud de la población que vive y trabaja en las curtiembres, por eso se hace necesario buscar una solución que permita remover el metal de las aguas residuales que resultan del proceso de curtido del cuero. Para ello, surge una tecnología sustentable que consiste en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o la peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos en agua, suelo y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema

de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización, y estabilización de los diferentes tipos de contaminantes. (Flathman y Lanza, 1998).

Esta tecnología se denomina fitorremediación, que etimológicamente proviene del griego «phyton» = planta y del latín «remedium» = restablecer el equilibrio. La Fitorremediación se basa principalmente en las interacciones entre las *plantas*, *el suelo* y los microorganismos.

El usar plantas para limpiar suelos y aguas contaminados no es nuevo, los primeros datos que se conocen son del año 1993 pero su innovación empezó en 1996; desde 1993 a la fecha se han publicado 4576 artículos y 483 revisiones de esta temática (Saad, Castillo y Rebolledo, 2009). Además, desde hace 300 años las plantas fueron propuestas para el uso en el tratamiento de aguas residuales. En Rusia, en los años sesentas se realizaron investigaciones utilizando plantas para recuperar suelos contaminados con radio nucleótidos.

Remoción de sustancias tóxicas elementales: Estos contaminantes, como metales pesados y elementos radioactivos, se producen de forma natural en la corteza de la tierra o atmosfera y por actividades humanas como la minería, las actividades agrícolas o la industria. La planta se encarga de almacenarlos en sus tejidos mediante procesos conocidos como Fitoextracción y Fitoacumulación.

Se han remediado macro nutrientes como nitratos y fosfatos, elementos traza (Cobre, **Cromo**, Hierro, Manganeseo, Molibdenos y Zinc), elementos no esenciales (Cadmio, Mercurio, Selenio, Plomo, Vanadio y Tungsteno) e isotopos radioactivos (Uranio 238)

El presente trabajo se centró en la remoción de metales pesados ya que estos, no pueden ser reducidos a formas menos tóxicas, igualmente, porque estos en concentraciones micro molares pueden provocar daños a los seres vivos. Algunas ventajas de esta tecnología son:

- Su bajo costo y eficiencia
- No requiere de personal especializado para su manejo
- Es poco perjudicial para el ambiente
- No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para el desecho y evita la excavación y tráfico pesado.

No obstante, está tecnología también presenta algunas desventajas:

- Ser un proceso relativamente lento

- No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras lo que conlleva a trabajar para identificar cuáles pueden ser empleadas
- Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente (especies perennes)
- Es necesario establecer un proceso de cultivo eficiente para las plantas seleccionadas y debe trabajarse en un proceso de mejoramiento genético que potencie las capacidades naturales de las especies seleccionadas (Pilón, 2005)

Dependiendo del compuesto que se desee remover, la planta actúa por medio de diferentes mecanismos presentando diversos tipos de fitorremediación, en la tabla 8, se mencionan y explican algunas características por cada tipo de fitorremediación.

Tabla 8

Tipos de fitorremediación (Sánchez y Torres, 2012)

TÉCNICA	FUNDAMENTO	ELEMENTO
Fitoextracción	Eliminación del contaminante en el suelo y acumulación en el tejido vegetal, seguida de la retirada de la planta. Este material puede, con posteridad, ser quemado o depositado en condiciones seguras.	Cadmio, Cobalto, Cromo, Níquel, Mercurio, Plomo, Selenio y Zinc.
Fitodegradación	Dstrucción directa del contaminante por parte de la planta, gracias a la actividad enzimática propia. Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.
Fitovolatilización	Implica la absorción del contaminante, su transporte a su parte aérea de la planta y la liberación como una forma volátil del compuesto original. Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración	Mercurio, Selenio, Solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)
Fitoestabilización	Fijación de los contaminantes a través de la actividad de las plantas, bien sea a través del control de la erosión y el lavado o bien actuando sobre el contaminante de modo que no sea biodisponible (a través de la precipitación en la rizósfera)	Lagunas de desecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, Cobalto, Cromo, Níquel, Mercurio, Plomo, Selenio, Zinc isótopos

6.4. Especies vegetales

Al establecer la fitorremediación en la remoción de cromo hexavalente, se escogieron cuatro especies vegetales para evaluar la capacidad remediadora del metal, las especies se seleccionaron teniendo en cuenta la disponibilidad en humedales y viveros de la zona de Bogotá y Cundinamarca.

6.4.1. *Eichhornia crassipes*



Eichhornia crassipes (buchón de agua) es una planta de rápido crecimiento distribuida en casi todos los países tropicales, que puede tolerar condiciones de contaminación por metales o por eutricación de cuerpos de aguas lénticos y lóticos.

El buchón de agua ha sido relativamente bien estudiado por su capacidad en procesos de filtración de aguas contaminadas, y por su facilidad de proliferación en ambientes eutroficados. Se ha demostrado que el sistema de raíces asociado con microorganismos favorece la acción de bioacumulación de metales, reteniendo cadmio, cromo y arsénico en tejidos, mediante acomplejamiento de aminoácidos presentes en la célula con el metal pesado, previa absorción a través de las raíces. Se sugiere además un mecanismo a nivel de las raíces consistente en la producción de sólidos que precipitan el metal. (Benítez, 2011)

6.4.2. *Cyperus papyrus*

El **papiro** (*Cyperus papyrus*) es una especie de planta palustre, del género *Cyperus*, de la familia de las ciperáceas. Está constituido por un tallo de sección triangular que en su extremo superior porta hojas dispuestas en estrella.

Tiene largos troncos (culmos) granizos, cuya sección triangular es de un grosor de varios centímetros en los ejemplares más grandes. Estos falsos tallos están coronados por un penacho liviano y plumoso en abanico, formado exclusivamente por hojas, o por tallos que llevan espigas; los nuevos brotes surgen siempre del mismo segmento. Las hojas son de color verde jade, largas, delgadas y firmes. Las espigas, marrones, de diez a treinta cm de largo, están rodeadas de brácteas muy similares a las hojas.



Las plantas que han sido empleadas para remover metales pesados en su mayoría son acuáticas, de acuerdo con Bedoya, Ardila y Reyes (2014) esta especie es eficiente en el tratamiento de aguas residuales, además *C. papyrus* muestra alta capacidad para atrapar las partículas suspendidas y mayor superficie para adsorción, consumo y asimilación de contaminantes en los tejidos de la planta.

6.4.3. *Spathiphyllum wallissi*



El *Spathiphyllum* pertenece a la familia de las Araceae, originaria de América Tropical, se destaca por sus hojas verdes, brillantes, puntiagudas, largas y divididas por nervios, estas plantas brácteas, hojas modificadas de color que envuelve las inflorescencias que posee la planta. Los *Spathiphyllum* son plantas que requieren la luz tanto en verano como en invierno. Las temperaturas ideales son de 18°C a 25°C, no soporta las corrientes de aire. Es una especie que se puede adaptar rápidamente a sistemas acuáticos siempre y cuando sus hojas permanezcan fuera del agua, requiere de un sistema de pH ligeramente ácido. La especie *Spathiphyllum wallissi*, por ser una planta de zonas inundables, soporta vivir inundada por varios días. (Tejada, 2010)

6.4.4. *Dracaena braunii*

Esta especie pertenece a la familia de las ruscáceas, comúnmente se conoce como “Lucky Bambú”, el género *Dracaena* tiene relación con la familia de los agaves. Estos pequeños arbustos se caracterizan por tener delgados tallos con hojas en forma de cinta. A pesar que crece mejor en el suelo, a menudo se encuentra con las raíces sumergidas en el agua, se desarrolla a plena luz y en temperaturas superiores a los 15°C hasta los 25 °C. Esta especie es nativa de Camerún en las zonas tropicales del África occidental.



Tradicionalmente, las plantas vasculares acuáticas han sido consideradas como una plaga en sistemas enriquecidos con nutrientes. Su rápida proliferación puede dificultar la navegación y amenazar el balance de la biota en los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, en la actualidad se considera que estas plantas también pueden ser manejadas adecuadamente y volverse útiles, debido

a su capacidad para remover y acumular diversos tipos de contaminantes. Además, su biomasa puede ser aprovechada como fuente de energía, forraje y fibra. (Sánchez; Torres, 2012).

7. METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta el problema y los objetivos planteados al inicio, este trabajo de investigación se enmarca desde un estudio cuasi experimental de tipo “antes y después” (León y Toro, 2007), en el cual solo se utiliza un grupo en el que se hace la intervención.

La investigación cuasi experimental proviene del ámbito educativo y de la psicología, donde la investigación de ciertos fenómenos no podía llevarse a cabo siguiendo los procedimientos experimentales. Un diseño cuasi experimental es un conjunto de procedimientos o estrategias de investigación orientado a la evaluación del impacto de los tratamientos en aquellos contextos donde la asignación de las unidades no es al azar, y al estudio de los cambios que se observan en los sujetos en función del tiempo. (León y Toro, 2007). Dentro de la tipología de los diseños y estudios cuasi experimentales, los diseños antes y después o “pretest - posttest”, este tipo de diseño se basa en la medición y comparación de la variable antes y después de la exposición del sujeto a la intervención experimental. Los diseños antes-después con un sólo grupo permiten al investigador manipular la exposición, pero no incluyen un grupo de comparación. Algunas de las técnicas mediante las cuales se puede recopilar información en un estudio cuasiexperimental son las pruebas estandarizadas, las entrevistas, las observaciones, etc. De acuerdo con León y Montero (2008) se recomienda emplear en la medida de lo posible la preprueba, es decir, una medición previa a la aplicación del tratamiento, a fin de analizar la equivalencia entre los grupos.

De acuerdo con esto, la variable comparativa en este trabajo investigativo corresponde específicamente a los niveles de las competencias científicas investigativas presentes en los estudiantes. Para iniciar con el estudio, se identificaron las competencias científicas investigativas iniciales en tres niveles (inicial, intermedio y avanzado) bajo tres criterios: indagación, experimentación y argumentación a partir de la resolución de una situación problema titulada “Tras los pasos del cromo”, cada grupo elaboró una propuesta investigativa escrita desde un rol investigativo mencionado en la situación problema, luego de esto se implementó una secuencia didáctica enmarcada desde un ciclo de aprendizaje hipotético deductivo, en donde se estableció la

fitorremediación de cromo hexavalente como una solución a la situación problema titulada “Sin solución a las curtiembres”. Al finalizar la intervención cada grupo de investigación elaboro un artículo científico retomando los aspectos relevantes de las fases de la secuencia didáctica, a partir de los artículos y ponencias se identificaron nuevamente las competencias científicas investigativas alcanzadas por los estudiantes. En la figura 3 se describe el tipo de estudio cuasi experimental realizado.

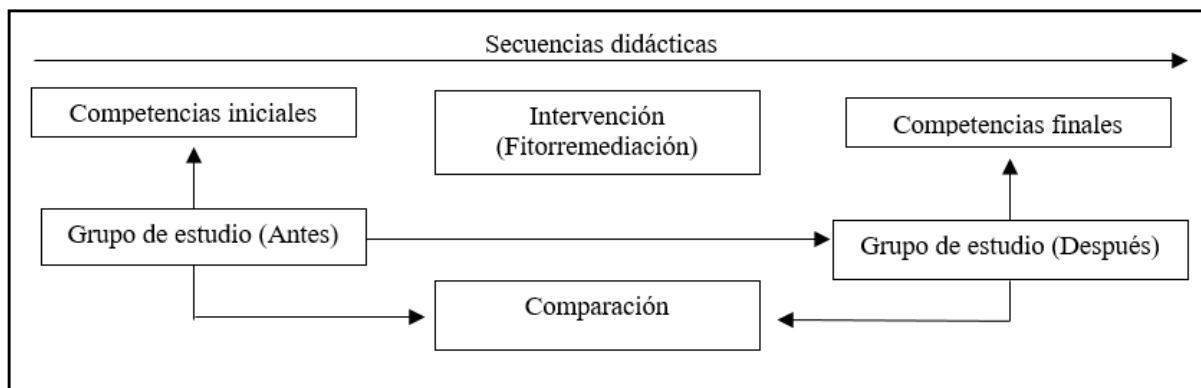


Figura 3
Metodología: Diseño cuasi experimental

7.1. Población

Este trabajo investigativo se aplicó con 17 estudiantes del Énfasis de Tecnologías Limpias del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Ese énfasis corresponde a un espacio académico del ciclo de profundización, los estudiantes participantes de este espacio cursaban noveno y décimo semestre de la Licenciatura en química, la implementación se llevó a cabo durante el primer y segundo semestre del énfasis en el año 2015.

7.2 Fases metodológicas de la secuencia didáctica

Teniendo en cuenta el objetivo general y objetivos específicos planteados al inicio de esta investigación, se propuso la implementación de una secuencia didáctica entendida como una estructura de acciones, actividades e interacciones relacionadas entre sí para alcanzar la comprensión de la fitorremediación desde la biotecnología, pero además de eso, la secuencia se enfoca en favorecer y fortalecer al desarrollo de competencias científicas investigativas en los estudiantes.

Para el diseño de la secuencia didáctica se tomó como referente la adaptación que hacen Trowbridge y Bybee (1997) al ciclo de aprendizaje de Robert Karplus, el tipo de ciclo que se aborda es de tipo hipotético-deductivo, las actividades que se desarrollan a lo largo de la secuencia didáctica se aproximan a la consolidación de un proyecto de investigación en el aula donde se establece la fitorremediación como una solución a problemas ambientales.

En una primera fase de la secuencia didáctica se identificaron las competencias científicas investigativas iniciales a través de la resolución de una situación problema (sub-secuencia didáctica 1) llamada “Tras los pasos del cromo” lo cual implicó la elaboración de una propuesta investigativa por parte de los estudiantes, luego de esto en la fase 2, se introduce el término fitorremediación, a partir de esto, en la fase 3, se planteó una segunda situación problema (sub-secuencia 2) titulada “Sin solución a las curtiembres” en donde los estudiantes elaboraron un artículo científico en donde presentaron el proyecto de investigación sobre la fitorremediación como una solución a la problemática planteada. En la figura 4 se exponen las 3 fases implementadas al grupo enmarcadas en la secuencia didáctica constituidas de la aplicación de 2 subsecuencias didácticas.

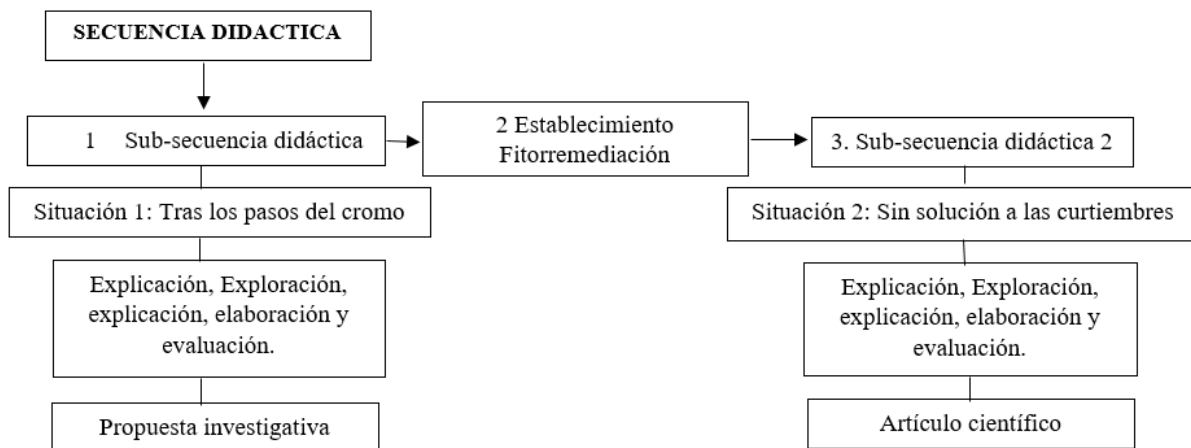


Figura 4
Fases de la secuencia didáctica en general

A continuación, se presentan las cinco etapas de la sub-secuencia didáctica 1 implementada para identificar las competencias científicas investigativas iniciales, junto con las actividades realizadas.

La subsecuencia se diseñó a partir de las fases mencionadas por Trowbrigge y Bybee (1997) en los ciclos de aprendizaje. (Figura 5)

7.3.Instrumentos

7.3.1. Tras los pasos del cromo (situación problema 1)

Identificación de las competencias científicas investigativas iniciales

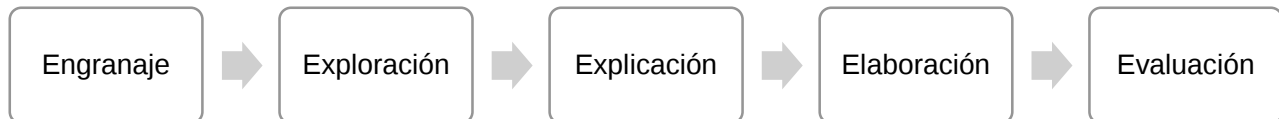


Figura 5
Fases de la subsecuencias didácticas

Engranaje: En esta etapa se busca comprometer al estudiante a la temática que se va a explorar, para introducir el tema se presenta una situación problema en forma de noticia titulada “Tras los pasos del cromo” (**Anexo C**), la noticia es tomada y adaptada de un diario nacional donde se expone una problemática de una quebrada en la ciudad de Bogotá debido a la contaminación de Cromo (VI). Los 17 estudiantes se organizan en cuatro grupos de trabajo, cada grupo lee la noticia e identifica los roles de la noticia. Cabe resaltar que en la noticia se exponen diferentes soluciones desde diferentes roles, los estudiantes identifican el problema general y las posibles causas del problema desde una lectura inicial de la noticia.

Caso simulado: Cada grupo de trabajo escoge un rol de la noticia, cada rol plantea una solución a la problemática de la contaminación de Cromo (VI) en la quebrada, cada grupo de trabajo diseñara una pregunta problema desde el rol correspondiente y planteara hipótesis. En la tabla 9 se enuncia los roles correspondientes para cada grupo de investigación.

Tabla 9
Roles investigativos: situación problema 1

ROL	SOLUCION
Grupo 1	Biorremediación
Grupo 2	Biorremediación
Grupo 3	Materias absorbentes
Grupo 4	Fitorremediación

Exploración: Luego de la formulación de la pregunta problema e hipótesis, los estudiantes consultaron antecedentes sobre la solución que plantea el rol correspondiente en cuanto a la remoción de Cromo (VI), teniendo en cuenta esto, diseñaran montajes experimentales teniendo en cuenta las variables (concentración del contaminante, tiempo de exposición, etc.), de igual forma expresaron la forma de cómo sistematizar la información obtenida.

Explicación: en esta etapa los estudiantes participan en un debate de concertación en donde se plantea una pregunta general: ¿Cuál es la mejor alternativa para solucionar el problema ambiental generado en la quebrada por la contaminación de Cromo (VI)?, cada grupo investigativo debe presentar los avances desde el rol correspondiente en donde se expone el problema, hipótesis, diseños experimentales y sistematización de los resultados. Todos los estudiantes junto con la docente titular del énfasis y la docente investigadora construyen, identifican y describen el concepto de biorremediación.

Elaboración: en esta etapa, cada grupo de investigación elaborara un artículo científico informativo dando solución a la problemática planteada a partir de la noticia “Tras los pasos del cromo”, cada grupo tiene en cuenta los aportes del debate de concertación para la construcción del artículo, posiblemente los estudiantes planteen nuevas preguntas investigativas.

Evaluación: para esta parte, cada grupo de investigación presentará el artículo en una ponencia de 20 minutos, donde mencionaran los aspectos más importantes de la propuesta investigativa. Con esta última etapa y teniendo en cuenta los criterios que definen las competencias científicas investigativas (indagación, experimentación y argumentación) se identificaran las competencias científicas investigativas iniciales en la población.

7.3.2. Establecimiento de fitorremediación (Secuencia didáctica 2)

En la situación problema 1, uno de los grupos de investigación planteo la fitorremediación como una posible solución a la problemática planteada, con la exposición de este artículo, se introduce en el énfasis de tecnologías limpias el termino fitorremediación como una biotecnología amigable con el medio ambiente, para dar inicio, se presenta a los estudiantes un video y una presentación, en donde se mencionan algunas generalidades de la tecnología, así como ventajas y desventajas. Esto se realizó con el fin de introducir el termino con los estudiantes, los conceptos, características y procedimientos de esta biotecnología se abordaron durante 2 sesiones de 3 horas cada una.

7.3.3. Sin solución para las curtiembres (situación problema 2)

Sub-secuencia didáctica 2

Luego de esto, se planteó nuevamente una situación problema 2 titulada: Sin solución para las curtiembres, es una noticia tomada del Diario El Espectador del 24 de abril del 2014 (**anexo D**), en esta noticia se relata la problemática ambiental que generan las curtiembres en Villa Pinzón (Cundinamarca, Colombia) a causa de los procesos de curtido donde se generan aguas residuales altamente tóxicas por el Cromo (VI), para resolver este problema se retoma el ciclo de aprendizaje tomado para abordar la situación 1.

La subsecuencia didáctica 2 se diseñó de igual forma que la subsecuencia didáctica 1, de acuerdo a las fases propuestas por Trowbridge y Bybee (1997) en el ciclo de aprendizaje. (Figura 5)

Engranaje: Cada grupo de investigación leyó la noticia e identificaron la problemática a tratar. En este caso, se planteó la fitorremediación como una posible solución al problema de contaminación, cada uno de los grupos de investigación escogió una especie vegetal previamente seleccionada por la disponibilidad en viveros de la zona de Cundinamarca. En la tabla 10 se presentan las especies vegetales correspondientes para cada grupo de investigación.

Tabla 10
Especies vegetales tratadas por cada grupo

Especie vegetal	Grupo de investigación
<i>Eichhornia crassipes</i>	Grupo 1
<i>Cyperus papyrus</i>	Grupo 2
<i>Spathiphyllum wallissi</i>	Grupo 3
<i>Dracaena braunii</i>	Grupo 4

En esta etapa, cada grupo de investigación elabora un reconocimiento de la especie vegetal correspondiente, consultando antecedentes frente a la remoción de Cromo (VI) que poseen las especies vegetales, además los estudiantes dan lectura a dos artículos científicos sobre fitorremediación de metales pesados. Para finalizar esta etapa, cada grupo formula la pregunta problema que va a resolver durante esta fase, así como el planteamiento de una hipótesis.

Exploración: cada grupo de investigación inicialmente diseñó un montaje experimental para determinar el porcentaje de remoción y retención de Cr (VI) por cada especie vegetal, tipo de fitorremediación y modelo cinético de bioadsorción, ya que se elaboraría un estudio comparativo

entre las cuatro especies vegetales en la remoción del metal pesado, se decidió realizar la determinación de cromo total por absorción atómica y la determinación de cromo (VI) por el método colorimétrico de 1,5-difenilcarbazida bajo las mismas condiciones de concentración inicial del contaminante, tiempo de contacto, masa de la especie vegetal, curvas de calibración de los equipos, etc.

A continuación, se presentan los protocolos experimentales ejecutados para las determinaciones anteriormente mencionadas.

7.4. Protocolos experimentales

7.4.1. Determinación de Cr (VI) por el método 1,5-difenilcarbazida en medio ácido (Colorimétrico)

Curva de calibración

Longitud de onda: 540 nm

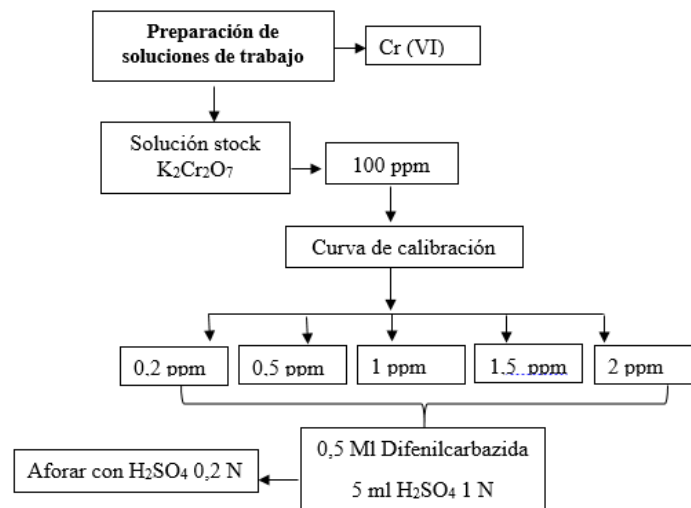


Figura 6
Determinación de las curvas de calibración

7.4.2. Cuantificación cromo hexavalente en el sobrenadante de fitorremediación (cinética de bioadsorción)

Longitud de onda: 540 nm
Tiempo de contacto: 72-120 horas

Masa de la especie vegetal: 100 g
Concentración inicial del contaminante: 50 ppm

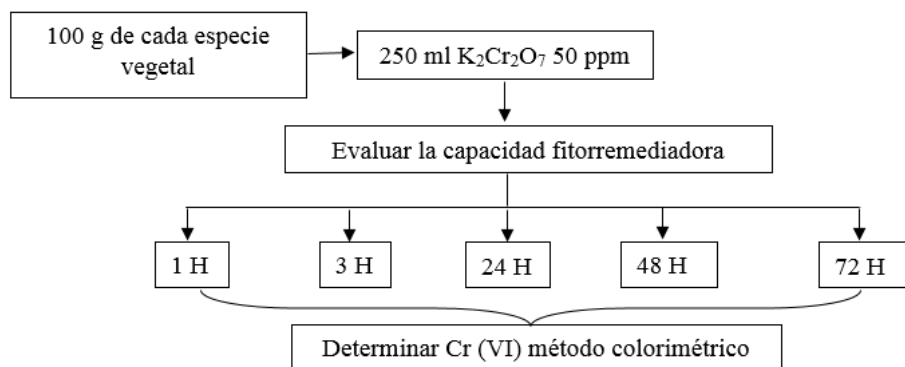


Figura 7
Determinación de la capacidad fitorremediadora de la especie vegetal

7.4.3. Determinación de Cromo total por el método de absorción atómica

Longitud de onda 357,9 nm
Equipo Espectrofotómetro Pelkim Elmer

1. Curva de calibración

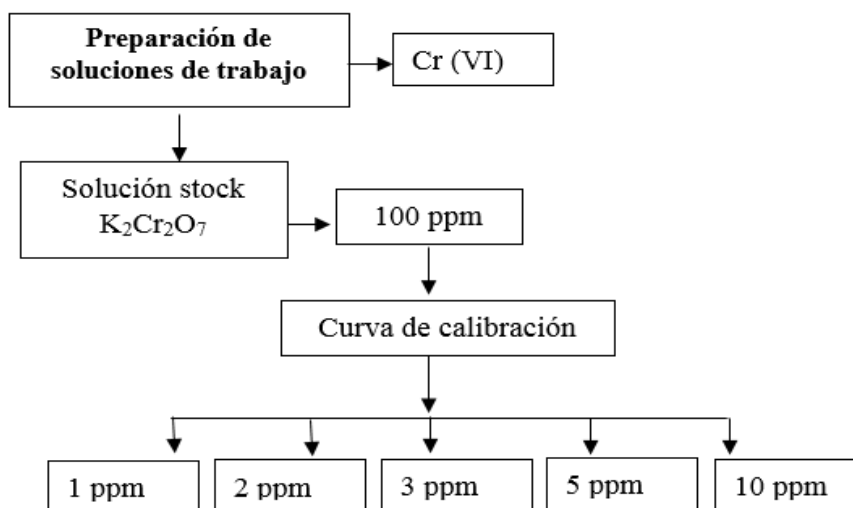


Figura 8
Determinación de la curva de calibración Cromo total

7.4.4. Cuantificación cromo total en el sobrenadante de fitorremediación

Concentración inicial del contaminante: 50 ppm
Masa de la especie vegetal: 100 g
Tiempo de contacto: 72-120 horas

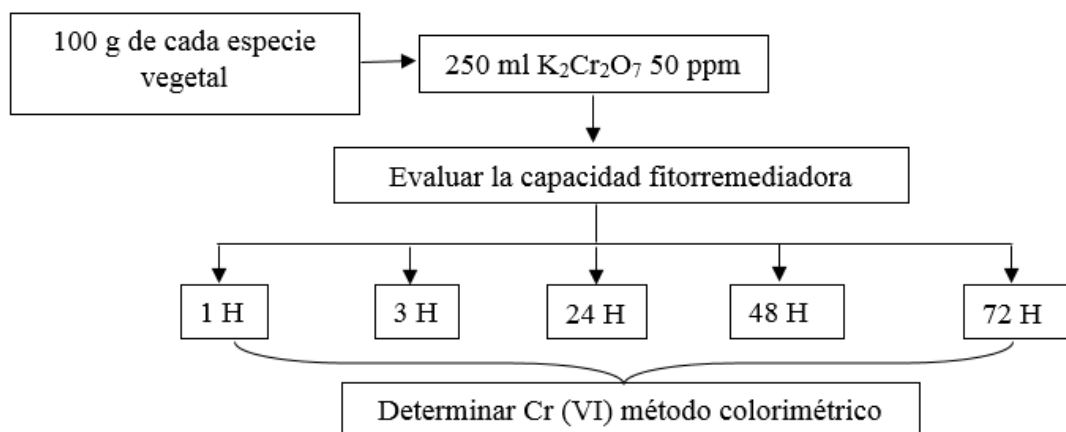


Figura 9
Determinación de la capacidad fitorremediadora como total de la especie vegetal

7.4.5. Determinación del tipo de fitorremediación de las especies vegetales (Cromo hexavalente)

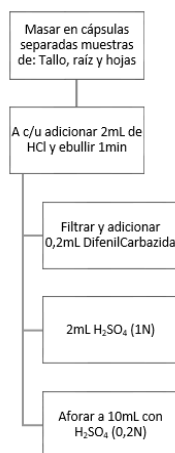


Figura 10
Determinación del tipo de fitorremediación

Cada grupo de investigación determinó el porcentaje de cromo total y hexavalente que removió cada especie vegetal, así como el tipo de fitorremediación que presenta cada especie a partir de los métodos anteriormente descritos.

Explicación: en esta fase se aborda el término fitorremediación con más detalle, a partir de presentaciones, videos y animaciones, se profundiza en el metabolismo del metal en la planta, así como los diferentes tipos de fitorremediación, se explican los cálculos matemáticos para determinar los porcentajes de remoción y retención del metal en la planta. En esta fase se formalizan el

concepto de fitorremediación a partir de la determinación de los modelos cinéticos de absorción del metal en la especie.

Elaboración: después de la etapa de experimentación, los grupos de investigación elaboraron un artículo científico en donde exponen los resultados obtenidos por la especie vegetal (porcentajes de remoción de Cr (VI) y Cr (III), tipo de fitorremediación y modelo cinético de absorción).

Evaluación: una vez que los grupos elaboran el artículo científico, cada grupo presenta el artículo en una ponencia de 20 minutos donde exponen los resultados obtenidos y se realizan preguntas a los grupos en la cuales se evidencia la argumentación y análisis de los resultados. Durante estas dos últimas etapas (artículo y ponencia) se identifican nuevamente las competencias científicas investigativas en los estudiantes de tal forma evidenciar si existen cambios en los niveles en relación con las competencias científicas investigativas iniciales.

7.5. Identificación de las competencias científicas investigativas

En la tabla 11, se mencionaron las etapas de la secuencia didáctica diseñadas desde las fases del ciclo de aprendizaje, cada de una de esas etapas corresponde o se ajusta a un criterio de la matriz elaborada para identificar las competencias científicas investigativas mencionada en el marco teórico. En la siguiente tabla, se evidencia la relación de la fase del ciclo con cada uno de los criterios que define las competencias científicas investigativas.

Tabla 11

Criterios de análisis para la identificación de las competencias científicas investigativas

Fase del ciclo	Criterio
Engranaje	Indagación
Exploración	Indagación – Experimentación
Explicación	Experimentación
Elaboración	Argumentación
Evaluación	Argumentación

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Teniendo en cuenta la metodología planteada, a continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas anteriormente mencionadas.

8.1. Competencias científicas investigativas iniciales

A partir de la secuencia didáctica diseñada e implementada, en la primera parte se identificaron las competencias científicas investigativas teniendo en cuenta un caso simulado, donde cada grupo de investigación representaba un rol investigativo presente en la noticia titulada “Tras los pasos del Cromo”, cada rol elaboro una propuesta investigativa, la cual incluía una pregunta problema, hipótesis, marco referencial, metodología, sistematización de los resultados, de tal forma que diera solución al problema planteado, la contaminación de Cromo en una quebrada de la ciudad de Bogotá.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN 1

Propuesta: Biorremediación del Cr^{+6} en aguas superficiales por medio de bacterias.

Solución planteada: Biorremediación (bacterias)

Pregunta planteada: ¿Cuál es la mejor solución para remediar el metal de la quebrada?

Generalidades de la propuesta: Este grupo de investigación compuesto por 4 estudiantes del énfasis en tecnologías limpias plantean en la propuesta investigativa la biorremediación a partir de bacterias como una solución a la problemática planteada. Sin embargo, en el artículo presentado se presenta un amplio marco referencial respecto a la biorremediación, en donde establecen cinco antecedentes en los cuales las técnicas de biorremediación con bacterias remueven metales pesados. El documento no presenta una metodología experimental clara y concisa que permita determinar la capacidad remediadora de las bacterias.

Para la identificación de las competencias iniciales se realizó un análisis del documento entregado por los estudiantes en donde se plantea la propuesta investigativa, en el apéndice E, se presenta un ejemplo de una parte de una propuesta investigativa y su respectivo análisis.

En la tabla 12 se presentan los resultados de los niveles de las competencias científicas investigativas presentes en este grupo. En el apéndice F se puede observar la matriz de análisis para

los tres criterios establecidos (indagación, experimentación y argumentación) elaborada para este grupo de investigación.

Tabla 12

Competencias científicas investigativas iniciales grupo 1

Criterio	Inicial	Intermedio	Avanzado
Nivel			
Indagación	X		
Experimentación			
Metodología	X		
Sistematización de resultados	X		
Argumentación	X		

Debate: a partir de la noticia dada a los estudiantes, ellos identifican una situación problema y plantean como una posible solución a la problemática planteada la biorremediación con bacterias, durante el debate de concertación, el grupo expone la propuesta a partir de los antecedentes, toman como referente para plantear la metodología experimental un artículo científico, sin embargo, la propuesta carece de la metodología y los protocolos experimentales, a su vez no tienen en cuenta las variables que intervienen en los procesos de remoción.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN 2

PROPUESTA: Biorremediación para tratar contaminantes de Cromo Hexavalente en distintos entornos.

SOLUCION: Biorremediación (Hongos)

Generalidades de la propuesta: Este grupo de investigación fue conformado por 4 estudiantes del énfasis de tecnologías limpias, la propuesta investigativa plantea la biorremediación con hongos, es decir, la fungiremediación, la remoción del metal contaminante es llevada a cabo mediante el Hongo *Paecilomyces sp.* Aislado del Medio Ambiente, plantean un diseño experimental de acuerdo al amplio marco referencial que citan en la propuesta, sin embargo, la propuesta carece de hipótesis.

Debate: Durante la exposición, el grupo explica algunas generalidades de la biorremediación, así como sus ventajas y desventajas, se retoman algunos antecedentes frente a la solución que plantean, explican brevemente los protocolos experimentales, sin embargo, no establecen una hipótesis, ni tienen en cuenta que tipo de variables intervienen en la cuantificación del cromo hexavalente.

En la tabla 13 se presentan los resultados de los niveles de las competencias científicas investigativas presentes en este grupo. En el apéndice G se puede observar la matriz de análisis para los tres criterios establecidos (indagación, experimentación y argumentación) elaborada para este grupo de investigación.

Tabla 13
Competencias científicas investigativas iniciales grupo 3

Criterio	Inicial	Intermedio	Avanzado
Nivel			
Indagación	X		
Experimentación			
Metodología	X		
Sistematización de resultados	X		
Argumentación	X		

GRUPO DE INVESTIGACION 3

PROPUESTA: BIOMASA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

SOLUCIÓN: BIOMASA

Generalidades de la propuesta: este grupo de investigación compuesto por tres estudiantes del énfasis de tecnologías limpias establecen la biomasa a partir de residuos sólidos como una solución a la problemática planteada acerca de la contaminación de cromo (VI) en una quebrada. La propuesta parte de una formulación del problema e hipótesis, donde establecen la utilización de biomasa a partir de residuos orgánicos, tienen en cuenta varios trabajos nacionales e internacionales en dicho tema para formular la metodología, la propuesta evidencia un tratamiento estadístico de los resultados obtenidos.

En la tabla 14 se presentan los resultados de los niveles de las competencias científicas investigativas presentes en este grupo. En el apéndice H se puede observar la matriz de análisis para los tres criterios establecidos (indagación, experimentación y argumentación) elaborada para este grupo de investigación.

Tabla 14*Competencias científicas investigativas iniciales grupo 2*

Criterio	Inicial	Intermedio	Avanzado
Nivel			
Indagación		X	
Experimentación			
Metodología			X
Sistematización de resultados	X		
Argumentación	X		

Debate: Parten de una situación problema sobre la contaminación de cromo (VI) en una quebrada, primero realizan una contextualización sobre el procedimiento que llevan a cabo las curtiembres en los procesos de curtido del cuero, luego de esto exponen la propuesta investigativa mencionando el problema y la hipótesis, a través de los antecedentes construyen una metodología experimental con una posible sistematización de la información.

GRUPO DE INVESTIGACION 4

PROPUESTA: La recuperación de suelos contaminados con cromo hexavalente por medio de *Ricinus communis* y *Vicia faba*

SOLUCIÓN: Fitorremediación

Generalidades de la propuesta

Este grupo de investigación compuesto por tres estudiantes del énfasis de tecnologías limpias establecen la fitorremediación como una posible solución a la problemática planteada en la quebrada, la propuesta de este grupo se basa en la utilización de dos especies vegetales (***Ricinus communis* y *Vicia faba***) para remover el metal, plantean un diseño experimental de acuerdo a los antecedentes citados en la propuesta, sin embargo, carece de una hipótesis y sistematización de la información.

En la tabla 15 se presentan los resultados de los niveles de las competencias científicas investigativas presentes en este grupo. En el apéndice I se puede observar la matriz de análisis para los tres criterios establecidos (indagación, experimentación y argumentación) elaborada para este grupo de investigación.

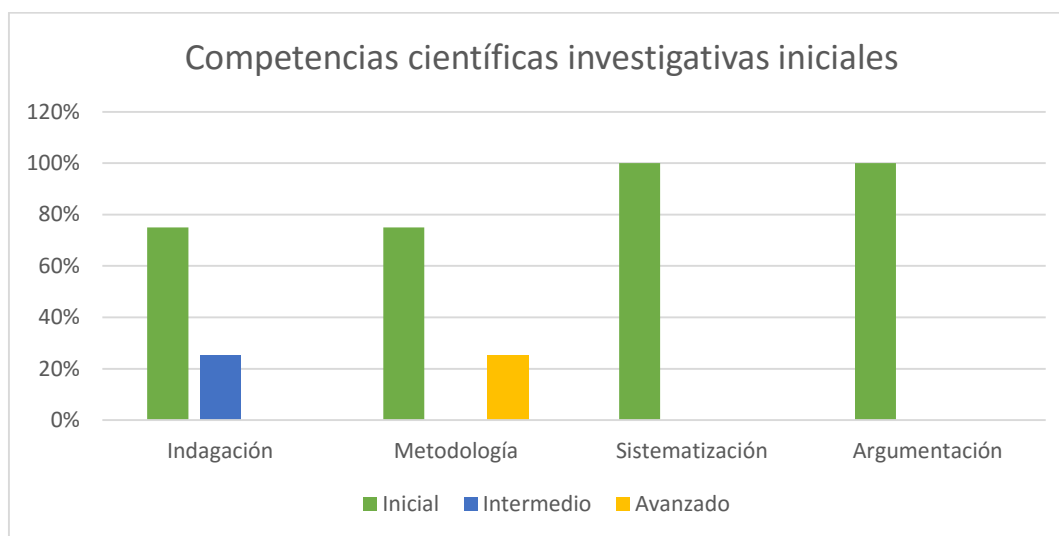
Tabla 15*Competencias científicas investigativas iniciales grupo 4*

Criterio	Nivel	Inicial	Intermedio	Avanzado
Indagación		X		
Experimentación				
Metodología		X		
Sistematización de resultados		X		
Argumentación		X		

Debate: durante la exposición, el grupo explica algunas generalidades de la fitorremediación, así como sus ventajas y desventajas, abordan algunos antecedentes frente a la solución que plantean, explican brevemente los protocolos experimentales, sin embargo, no establecen una hipótesis, ni tienen en cuenta que tipo de variables intervienen en la cuantificación del cromo hexavalente.

8.1.1. Resultados generales (competencias científicas investigativas iniciales)

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, en la gráfica 1 se presentan los porcentajes de la población en relación a los criterios establecidos para las competencias científicas investigativas: Indagación, experimentación (metodología y sistematización de los resultados o información) y argumentación.



Gráfica 1
Competencias científicas investigativas iniciales

A continuación, se presentan los análisis correspondientes a cada uno de los criterios establecidos.

Indagación

La indagación puede ser entendida como ***la habilidad para hacer preguntas***, habilidad que tiene su origen en las necesidades del ser humano, el cual se convierte en un medio o instrumento para comprender y aprehender el objeto de estudio. A este criterio corresponden los desempeños relacionados a la formulación de problemas e hipótesis.

El 75% de la población (tres grupos de investigación) se encuentra en un nivel inicial, esto se evidencia en la formulación de preguntas generales, las cuales no exponen la solución correspondiente, algunas preguntas no especifican el tipo de biotecnología que se utilizó por tal motivo pueden tener múltiples soluciones. Además de esto, se presentó una gran dificultad en la formulación de hipótesis. El 25% restante de la población (1 grupo de investigación) se encontró en un nivel intermedio, ya que fue el único grupo que formulo una hipótesis frente a la problemática.

Los estudiantes participantes de proyecto cursaban noveno y décimo semestre, el énfasis de tecnologías limpias corresponde al ciclo de profundización de la Licenciatura en química donde se desarrollan competencias investigativas, sin embargo, los estudiantes presentaban dificultades en dar explicaciones frente a las situaciones dadas, por tal motivo, la mayoría de la población plantea hipótesis de forma implícita en los documentos, el lector debe inferir la hipótesis ya que no es evidente.

Experimentación

a. Metodología

Los resultados obtenidos en este subcriterio denotan que el 75% de la población corresponde a un nivel bajo mientras que 25% el restante un nivel avanzado. Los desempeños describen el diseño de montajes experimentales, establecimiento y relación entre variables. La mayoría de la población al no plantear hipótesis de forma clara, los diseños y montajes experimentales no contrastaban ninguna hipótesis, los cuales pueden perder cierta validez ya que serían más de tipo exploratorio, otra de las dificultades del grupo es establecer las relaciones entre las variables. En su mayoría los grupos tenían claridad frente a los protocolos experimentales sin embargo muchos no especifican

los métodos, equipos e instrumentos necesarios teniendo en cuenta los laboratorios del departamento de química de la Universidad Pedagógica Nacional.

b. *Sistematización de la información*

Los resultados obtenidos en este subcriterio evidencian que el 100% de la población corresponde a un nivel inicial, en todas las propuestas se tienen en cuenta ciertos referentes teóricos para el análisis de la información, además la información de las propuestas fue presentada en forma de texto continuo, en ninguna propuesta se evidencia la matematización para la sistematización de los posibles resultados, de igual forma, tampoco se plantean modelos explicativos en las propuesta (nivel avanzado), los cuales buscan comprobar las relaciones entre las variables para llegar a establecer algún tipo de explicación del fenómeno de tal forma comprobar o contrastar las hipótesis planteadas.

Argumentación

En este criterio se encuentran los desempeños correspondientes al análisis de los resultados obtenidos, que en esta etapa, corresponde a la resolución de la pregunta planteada en la indagación, de acuerdo con la gráfica 1, el 100% de la población, presentan un nivel inicial en este criterio, es decir, los grupos en su mayoría resolvieron la pregunta planteada, sin embargo, no es evidente la argumentación en la discusión de las ideas, esto se evidencia en la ponencia, cuando se planteaban las preguntas algunos grupos no respondían de forma acertada, además algunos grupos se limitaban a decir la información de los referentes teóricos consultados sin un análisis.

8.2. Establecimiento de la fitorremediación

Teniendo en cuenta la solución planteada por el grupo de investigación 4 en la situación problema 1, en donde se establece la fitorremediación como una biotecnología efectiva para la remoción de cromo hexavalente, con la ponencia de este grupo, se introduce el termino fitorremediación, en las tres sesiones posteriores se abordaron aspectos teóricos desde la revisión de artículos investigativos sobre la remoción de metales pesados a través de diferentes especies vegetales, se presentaron algunos mecanismos sobre la bioabsorción y de bioacumulación por la especie vegetal a través de material audiovisual.

De acuerdo con la metodología establecida, en esta parte se presentó a los estudiantes una segunda situación problema llamada “Sin solución a las curtiembres”, al igual que en la situación problema

1, los estudiantes en los mismos grupos de investigación identifican la problemática, siguiendo en cuenta la secuencia didáctica diseñada desde el ciclo de aprendizaje, cada grupo formuló una pregunta problema en donde se estableció la fitorremediación como la solución, cada grupo de investigación se hizo cargo de una especie vegetal específica con la cual se abordaría la fitorremediación, además de esto, se plantearon hipótesis, metodología, practicas experimentales, análisis de resultados, conclusiones y los cuales fueron presentados en un artículo científico y ponencia ante el grupo.

Para el análisis de estos resultados, se tienen en cuenta los mismos criterios establecidos en la situación problema 1 (indagación, experimentación y argumentación) para identificar las competencias científicas investigativas.

Especies vegetales

Grupo de investigación 1	Grupo de investigación 2	Grupo de investigación 3	Grupo de investigación 4
<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Cyperus papyrus</i>	<i>Spathiphyllum wallisi</i>	<i>Dracaena braunii</i>
			

8.2.1. Resultados experimentales

Durante tres semanas, cada grupo de investigación propusieron e implementaron un proyecto de investigación donde establecería una metodología de trabajo para realizar las determinaciones, dado que uno de los objetivos específicos planteados en esta investigación es determinar cuál de las especies vegetales empleadas posee una mayor capacidad remediadora de cromo, en consenso con todos los grupos se estandarizan los métodos analíticos para los todos los grupos.

Cromo hexavalente
Cromo total

Espectrofotométrico (Difenil carbazida)
Absorción atómica

Una vez que se definieron los métodos analíticos, la fase de experimentación se llevó a cabo en dos momentos, la primera parte consistió en la determinación de Cromo hexavalente en cada una de las muestras al cabo de los tiempos establecidos, ya que se asume de acuerdo a los antecedentes, algunas especies vegetales pueden degradar el contaminante a una especie menos contaminante, el segundo momento es la determinación de cromo total por absorción atómica de tal forma que por la diferencia del cromo total menos el cromo hexavalente se puede determinar el cromo trivalente. Las determinaciones mencionadas anteriormente son expresadas en porcentajes de remoción y retención por cada especie vegetal.

De igual forma, cada grupo de investigación determino los tipos de fitorremediación presentes en las especies vegetales y por último se realizó un estudio cinético de bioadsorción el cual permite indagar el proceso de adsorción del contaminante de cada especie. Con el fin de estandarizar los resultados obtenidos, cada grupo de investigación trabajo bajo estas condiciones.

Concentración inicial de Cr (VI)
Tiempo máximo de contacto

50 ppm
1 semana

El volumen de la solución y la masa de la especie vegetal depende de la metodología establecida por cada grupo de investigación.

Cada grupo de investigación realizó la determinación de cromo hexavalente y cromo total al cabo de un tiempo determinado, para esto, se realizó una curva de calibración para cada uno de los procedimientos, con estas curvas, los grupos de investigación calcularon los porcentajes de remoción y retención y tipo de fitorremediación.

Cromo hexavalente

Determinación de Cr (VI) por el método de Difenilcarbazida



Figura 11
Soluciones patrón de Dicromato de potasio (Curva de calibración)

La determinación de Cr (VI), se realizó mediante el método de Difenilcarbazida, el cual se fundamenta en que los iones hexavalentes de cromo en medio ácido reaccionan con difenilcarbazida para formar un complejo rojo violeta. En primer lugar, el cromo (VI) oxida la difenilcarbazida a difenilcarbazona reduciéndose a su vez a cromo (III). Estos iones cromo (III) se combinan con la carbazona formando el complejo coloreado intenso. La concentración de cromo se determina mediante la espectrofotometría de Absorción atómica.

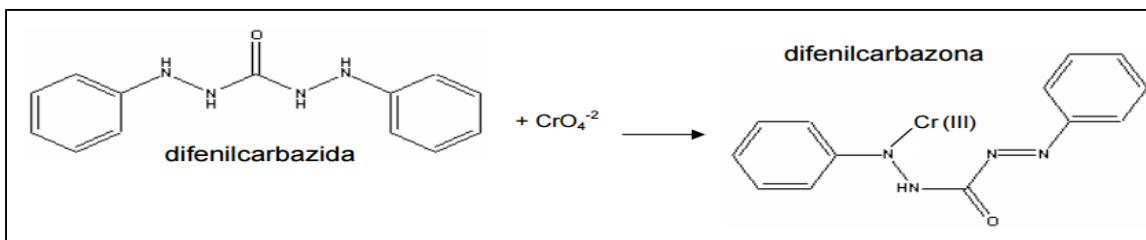
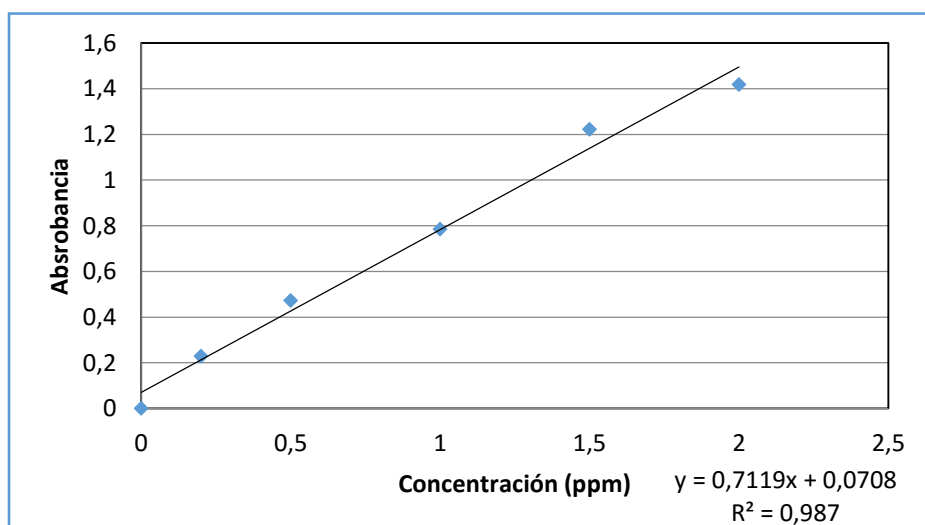


Figura 12
Reacción de difenilcarbazida con Cr

Durante la experimentación se visualiza la anterior reacción en la preparación de los patrones de calibración del espectrofotómetro (figura 11) remitiendo de esta manera la viabilidad del proceso de determinación de la sustancia objeto de estudio (Cr VI). Para muestras con color, es necesario analizar un blanco de muestra leyendo la absorción de ésta a **540 nm** sin adicionar los reactivos para el desarrollo del color.

La curva de calibración se realiza bajo el método de adición estándar agregando cantidades conocidas de la solución madre de cromo en el intervalo comprendido entre 0.2 y 2.0 ppm. Dichas mediciones se ejecutan por triplicado con el fin del tratamiento estadístico pertinente.



Gráfica 2
Curva de calibración 1

Longitud de onda	540 nm
Equipo	Espectrofotómetro Hitachi®

De acuerdo al tratamiento de datos el R^2 obtenido fue de 0,987, valor que permite deducir que la curva de calibración fundamentara una representación gráfica de una señal (absorbancia) en función de la concentración del analito de alta exactitud y confiabilidad, para el posterior tratamiento de datos. De acuerdo a la ecuación de la recta obtenida por regresión lineal y el factor de disolución, se determinó la concentración de Cromo hexavalente en las muestras de las especies vegetales al cabo de los tiempos determinados.

Ecuación de la recta

$$y = 0.7119x + 0.0708$$

$y = \text{Absorbancia} \quad x = \text{concentración (ppm)}$

Muestra de Cálculo

Para la especie *Eichhornia crassipes* al cabo de 24 horas la muestra tomada presentó de acuerdo al método de difenil carbazida una absorbancia 0.970. Cada una de las muestras se llevó a un volumen de 25 ml para su lectura.

9. Determinación de la concentración de Cr (VI) al cabo de 24 horas

$$C = \frac{0.970 - 0.0708}{0.7119} = 1.2631 \frac{mg}{L} \text{ Cr (VI)}$$
$$1.2631 \frac{mg}{L} \left(\frac{25 \text{ ml}}{1 \text{ ml}} \right) = 31.577 \text{ ppm Cr (VI)}$$

Porcentaje de Remoción

$$\% \text{ Remoción} = \frac{50\text{ppm} - C_{\text{final}}}{50\text{ppm}} * 100$$
$$\% \text{ Remoción} = \frac{50\text{ppm} - 31.577}{50\text{ppm}} * 100 = 36.845\%$$

Es la cantidad de Cromo (VI) presente en la solución de 50 ppm al cabo de 24 horas

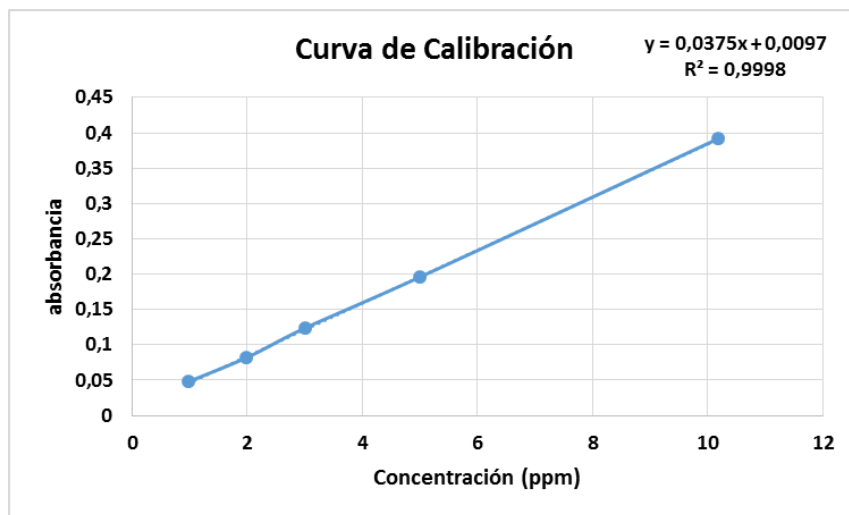
Porcentaje de Retención

$$100\% - 36.845\% = 63,155\%$$

Es la cantidad de Cromo (VI) que puede retener la especie vegetal al cabo de 24 horas

Es de aclarar que los porcentajes de remoción y retención son diferentes; el primero hace referencia a la cantidad de cromo (VI) presente en la solución de 50 ppm al cabo del tiempo, el cual debe ir disminuyendo porque la especie vegetal cada vez absorbe más del contaminante en cuestión, lo cual quiere decir, que la capacidad de la especie vegetal para capturar el contaminante deben ir en aumento sin contemplar la volatilización.

Determinación de Cromo total por absorción atómica



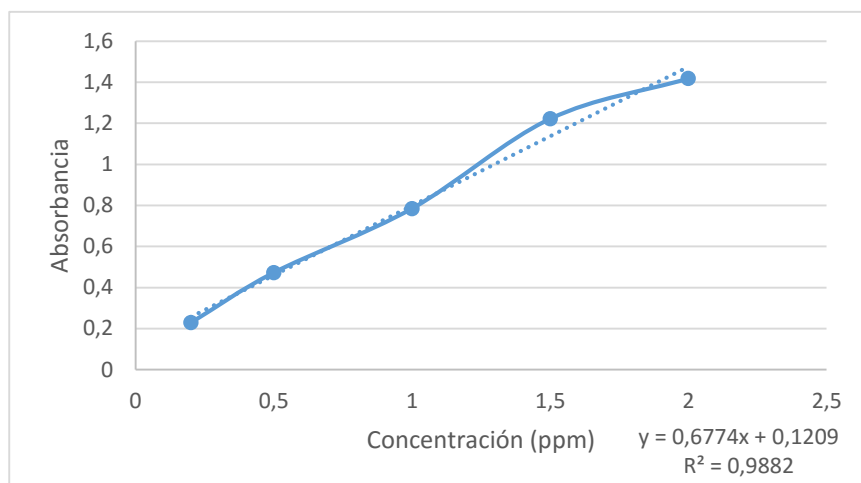
Gráfica 3
Curva de calibración 3

Longitud de onda: 357,9 nm

Equipo: Espectrofotómetro Pelkim Elmer®

El tratamiento de los datos se realizó de la misma forma como en la determinación de Cromo hexavalente. El factor de dilución es de 10 ml en cada muestra al momento de la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Curva de calibración 3



Gráfica 4
Curva de calibración 3

Ecuación de la recta: $y = 0.6774 x + 0.12$

Tipos de fitorremediación

Para determinar el tipo de fitorremediación se determina la cantidad de cromo hexavalente retenida en cada parte de la especie (raíz, tallo y hojas), se calcula de igual forma que los porcentajes de retención y remoción descritos anteriormente.

Cinética de bioadsorción

La adsorción de contaminantes tales como el cromo hexavalente en soluciones acuosas, juega un papel importante en el tratamiento de aguas residuales, y más aún cuando los adsorbentes (especies vegetales) utilizados son de bajo costo. El estudio de la cinética de este tipo de sistemas es de bastante ayuda, ya que proporciona información valiosa en los mecanismos de los procesos de adsorción. Además, la cinética describe el grado de adsorción del soluto (Cr^{6+}) en un tiempo determinado.

Al predecir la velocidad a la que los contaminantes son retirados de las soluciones por las especies vegetales, es necesario tener en cuenta la ley de velocidad que describe el sistema de adsorción. Cabe destacar que la ley de velocidad es determinada experimentalmente y no puede ser inferida. (Ho y Mackey, 1999)

La remoción de cromo hexavalente de soluciones acuosas por bioadsorción depende de los mecanismos químicos que se involucran en las interacciones de los iones metálicos con los grupos activos específicos asociados con la pared celular de las especies vegetales. (Abraham, 2002)

A partir de los datos experimentales, se pretende estudiar la dinámica de la bioadsorción del cromo hexavalente, es por eso que se analizó los cambios de la concentración del Mercurio en disolución durante 120 horas a pH ácido.

Las condiciones de operación para esta experimentación fueron las siguientes, para las tres especies vegetales analizadas: $m_{\text{Especie}} = 100 \text{ g}$, $V_{\text{Disolución}} = 250 \text{ ml}$.

✓ Modelos cinéticos

Diversos modelos cinéticos han sido utilizados para describir la cinética de adsorción de metales pesados por diferentes adsorbentes (Rubinos, 2007). En esta etapa se procede al análisis matemático de los datos experimentales con el fin de identificar el modelo cinético que mejor describa el proceso de bioadsorción.

Los modelos basados en la capacidad del adsorbente son llamados modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. Por esta razón, los datos obtenidos fueron tratados bajo los siguientes modelos.

Modelo de pseudo primer orden de Lagergren

$$\log (q_e - q_t) = \log (q_e) - (k_1/2.303) t$$

Modelo de pseudo segundo orden de Ho y Mackey

$$dq/dt = k_2 (q_e - q_t)^2$$

Para comprender los resultados de las modelaciones en cada especie vegetal, se explica el procedimiento a para determinar el modelo cinético de bioadsorción en el apéndice H.

8.2.2. Resultados experimentales por cada grupo de investigación

Grupo de investigación 1

Eichhornia crassipes (Buchón de agua)

Eichhornia crassipes es una planta de rápido crecimiento distribuida en casi todos los países tropicales, que puede tolerar condiciones de contaminación por metales o por eutricación de cuerpos de aguas lénticos y lóticos. Esta planta se ha convertido en un problema ambiental; no obstante, ha despertado interés en el tratamiento de la contaminación por metales en suelos agrarios y cuerpos de agua. (Benitez, 2011)

Atehortua y Gartner (2013) indican que *Eichhornia crassipes* es una planta macrófita de la familia de las monocotiledóneas. Es conocida como Buchón de Agua. Está constituida por un tejido de polisacáridos estructurales como celulosa y hemicelulosa, además de lignina, un polímero aromático, heterogéneo e insoluble en ácidos. Es una especie flotante de raíces sumergidas. Carece de tallo aparente, provisto de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo y forma una vejiga llena de aire (ver Imagen), mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.

Atehortua y Gartner (2013) mencionan que la *E. crassipes* es considerada una maleza acuática que aparece en lagunas, ríos y embalses en todo el mundo. Su capacidad de invasión afecta los ecosistemas acuáticos debido a su alto ritmo de multiplicación. Su ocupación de la superficie impide el paso de la luz solar y del oxígeno, afectando la supervivencia de otros seres, causando mortandad de especies acuáticas y promoviendo el crecimiento de microorganismos patógenos vectores de enfermedades. Además, pueden taponar en poco tiempo una vía fluvial, afectando la navegación y la pesca. Actualmente, se utilizan métodos mecánicos para contener su crecimiento, con equipos que la recolectan y luego la desechan en las orillas.

Capacidad remediadora: Porcentajes de retención y remoción de Cr (VI) y Cr total

El grupo de investigación 1 en la metodología de trabajo estableció un tiempo de contacto de 96 horas de acuerdo a los antecedentes consultados en la etapa del engranaje. La concentración inicial fue de 50 ppm de Cr (VI), al cabo del tiempo determinado, para el modelamiento matemático se

utilizó la curva de calibración 1 (gráfica 2) mencionada anteriormente, los resultados obtenidos se observan en la tabla 16.

Tabla 16

Porcentajes de remoción y retención Cr(VI) de la especie 1

Tiempo (h)	Abs	C (ppm)	C final (C*25)	% Retención	% Remoción
1	1,112	1,463	36,56	26,87	73,13
24	0,970	1,263	31,57	36,84	63,15
48	0,912	1,181	29,54	40,91	59,08
72	0,886	1,145	28,62	42,74	57,25
96	0,376	0,429	10,71	78,56	21,43

C*25 (Factor de disolución 25 ml)

Para la cuantificación de Cromo total por absorción atómica se utilizó la curva de calibración 2 (gráfica 3), los resultados obtenidos se presentan en la tabla 17.

Tabla 17

Porcentajes de remoción y retención de cromo total de la especie 1

Tiempo (h)	Abs	C (ppm)	C final (C*10)	% Retención	% Remoción
1	0,113	2,754	27,540	44,920	55,080
24	0,058	1,288	12,880	74,240	25,760
48	0,024	0,381	3,81	92,37	7,626

C*10 (Factor de disolución 10 ml)

Al realizar el ensayo con las soluciones tomadas en los distintos intervalos de tiempo se observa que solo presenta absorbancia hasta las 48 horas, y que luego en las siguientes muestras no hay lectura por parte del equipo, indicando de esta manera que el punto máximo de absorbancia de la planta fue hasta 48 horas aproximadamente después de la exposición de esta a la solución.

Tipo de fitorremediación

Cromo hexavalente y total: Para la determinación del tipo de fitorremediación, se determinó la cantidad de cromo hexavalente y total es retenida en tres partes de la planta: raíz, tallo y hojas. En las tablas 18 y 19 se presentan los resultados para cada determinación. Para el modelamiento matemático las determinaciones de cromo hexavalente y total se utilizaron las curvas de calibración 1 y 2, respectivamente.

Tabla 18

% Retención Cr (VI) en las partes de la especie 1

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*25 (ppm)	% retención
Tallo			No aplica	
Hoja			No aplica	

Raíz	0,245	0,244	6,117	93,88
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Para las muestras del tallo y de las hojas, el equipo no dio lectura de cromo hexavalente en las muestras por tal motivo se asume que el contaminante (cromo hexavalente) se acumuló en su mayoría en la raíz o se volatilizo. De acuerdo con esto, el tipo de fitorremediación que mejor se ajusta a los resultados es la **Rizofiltración**.

Tabla 19

% Retención Cr total en las partes de la especie 1

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*10 (ppm)	% retención
Tallo			No aplica	
Hoja			No aplica	
Raíz	0,063	1,421	14,21	85,78

De igual forma, en la cuantificación de cromo total, solo se percibió el contaminante en la raíz de la especie vegetal por tal motivo se asume que el tipo de fitorremediación corresponde a la **rizofiltración**.

Cinética de bioadsorción del Cr (VI)

Teniendo en cuenta los modelos cinéticos descritos anteriormente, se modelaron estadísticamente los datos obtenidos en la remoción de cromo hexavalente. En la tabla 20 se presentan el modelamiento matemático correspondiente a los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden, en las gráficas 5 y 6 se representan los datos obtenidos mostrando el valor del coeficiente de correlación R^2 (Tabla 21).

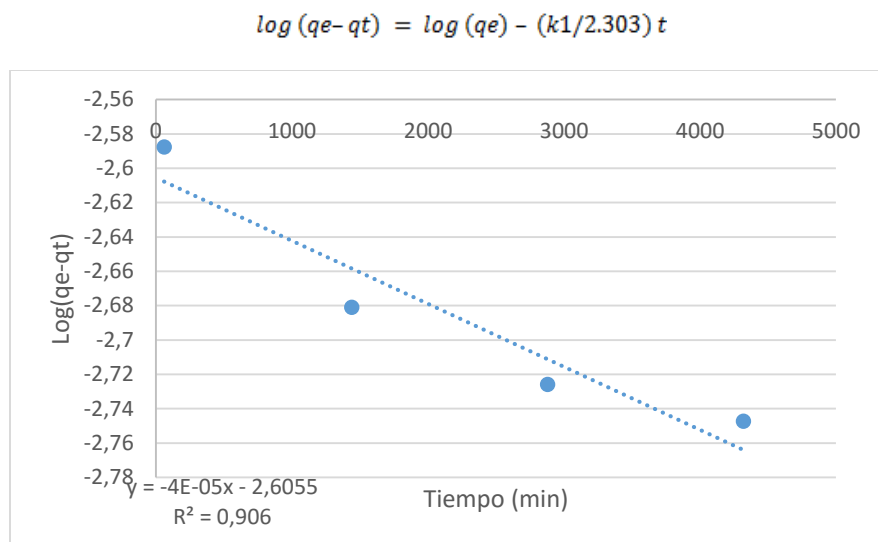
Masa de la especie vegetal: 100 g
Volumen de la solución de cromo (VI): 250 mL

Tabla 20

Determinación del modelo cinético: especie vegetal 1

Tiempo (h)	Tiempo (min)	C (ppm)	Ce-C	qt	qe-qt	Log(qe-qt)	t/qt
1	60	1,463	48,53	0,121	0,002585	-2,587	494,46
24	1440	1,263	48,74	0,121	0,002085	-2,680	11818,5
48	2880	1,181	48,82	0,122	0,00188	-2,725	23597,3
72	4320	1,145	48,85	0,122	0,00179	-2,747	35369,9
96	5760	0,429	49,57	0,123	0		46478,7

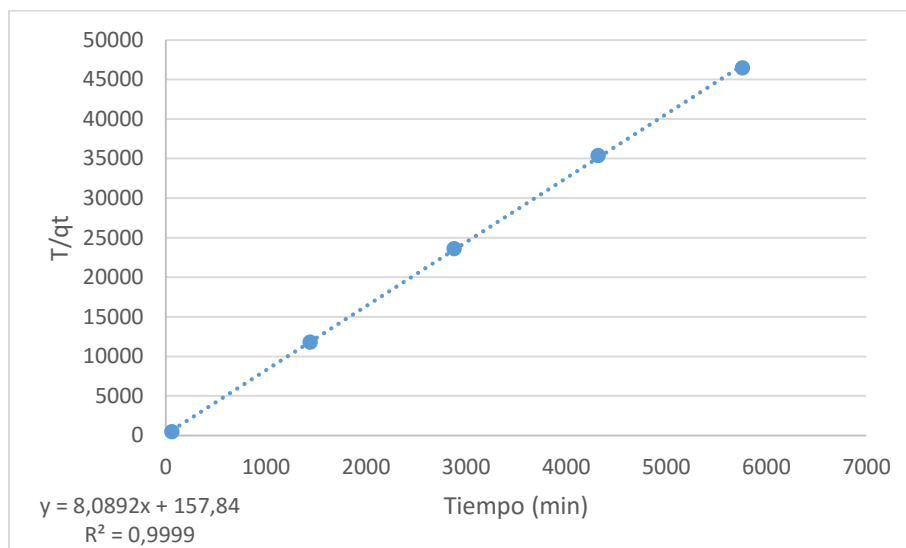
Modelo de pseudo primer orden de Lagergren



Gráfica 5
Modelo de Pseudo primer orden

Modelo de pseudo segundo orden de Ho y Mckey

$$dq/dt = k_2 (q_e - q_t)^2$$



Gráfica 6
Modelo de Pseudo segundo orden

Tabla 21

Comparación coeficiente de correlación

Modelo cinético	Coeficiente de correlación
Pseudo primer orden	0,906
Pseudo segundo orden	0,999

Grupo de investigación 2

Cyperus papyrus (Papiro chino)

El papiro (*Cyperus papyrus*) es una especie de planta palustre, del género *Cyperus*, de la familia de las ciperáceas. Los papiros caracterizan a la mayoría de las zonas de humedales tropicales de África oriental y central, se encuentran en gran parte, en pantanos, en lagos poco profundos, y a lo largo de riberas de los ríos en toda África. La vegetación de papiros es altamente productiva bajo temperaturas favorables, régimen hidrológico, disponibilidad de nutrientes. Esta especie vegetal se encuentran en ambientes calurosos y secos, requieren altas cantidades de luz y agua, y ha sido reportada como eficiente en la utilización de nutrientes (Saunders, 2007). *Cyperus papyrus* tiene un potencial para extraer nutrientes de las aguas residuales debido a la delgada capa de raíces adventicias que permite la interacción del agua con la planta. Durante su crecimiento los papiros absorben nutrientes del agua y sedimentos especialmente nitrógeno y fósforo (Kyambadde, 2004). Durante la senescencia, las plantas de papiro tienden a acumular nutrientes en la zona de sus raíces y la descomposición de los papiros libera nutrientes en el agua. La zona rizosférica de *C. papyrus* ha sido reportada como la mejor colonizada por las bacterias fijadoras de N_2 y se han registrado altas tasas de fijación de nitrógeno en el sistema intacto de raíces de papiros (Mwaura, 1981).

Capacidad remediadora: Porcentajes de retención y remoción de Cr (VI) y total

El grupo de investigación 2 en la metodología estableció un tiempo de contacto de 120 horas. La concentración inicial fue de 50 ppm de Cr (VI), al cabo del tiempo determinado se realizaron las determinaciones correspondientes. Para el tratamiento de los datos correspondientes a la determinación del cromo hexavalente se utilizó la curva de calibración 1 mientras que para la cuantificación de cromo total se usó la curva de calibración 3. En las tablas 22 y 23 se presentan los porcentajes de remoción y retención que presenta la especie vegetal al cabo de 120 horas.

Tabla 22

Porcentajes de remoción y retención Cr(VI) de la especie 2

Tiempo (H)	Abs	C (ppm)	C*25	%Retención	%Remoción
0	1,248	1,653	41,34	17,32	82,68
1	1,04	1,361	34,03	31,92	68,07
24	0,848	1,091	27,29	45,41	54,58
48	0,79	1,010	25,25	49,48	50,51
72	0,61	0,757	18,93	62,13	37,87
96	0,549	0,671	16,79	66,41	33,58

120	0,496	0,597	14,93	70,13	29,86
-----	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 23

Porcentajes de remoción y retención Cr total de la especie 2

Tiempo	Abs	C (ppm)	C* 25	%Retención	%Remoción
0	1,258	1,678	41,96	16,06	83,93
1	1,149	1,517	37,94	24,11	75,88
24	0,987	1,278	31,96	36,07	63,92
48	0,851	1,077	26,94	46,11	53,89
72	0,689	0,838	20,96	58,06	41,94
96	0,607	0,717	17,93	64,12	35,88
120	0,58	0,677	16,94	66,11	33,89

Tipo de fitorremediación

Cromo hexavalente y total: Para la determinación del tipo de fitorremediación, se determinó la cantidad de cromo hexavalente y total retenida en tres partes de la planta: raíz, tallo y hojas. En las tablas 24 y 25 se presentan los resultados para cada determinación. Para el modelamiento matemático las determinaciones de cromo hexavalente y total se utilizaron las curvas de calibración 1 y 3, respectivamente.

Tabla 24

% Retención Cr (VI) en las partes de la especie 2

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*25 (ppm)	% retención
Tallo	1,123	1,478	36,95	26,09
Hoja	1.423	1,899	47,48	5,028
Raíz	0,595	0,736	18,49	63,02

Tabla 25

% Retención Cr total en las partes de la especie 2

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*25 (ppm)	% retención
Tallo	1,155	1,528	38,19	23,60
Hoja	1,345	1,808	45,20	9,580
Raíz	0,577	0,674	16,86	66,26

Teniendo en cuenta los resultados, el mayor porcentaje del contaminante tanto para cromo hexavalente y total, queda retenido en la raíz de la planta, por tal motivo se asume que el tipo de fitorremediación es la **rizofiltración**.

Cinética bioadsorción Cromo (VI)

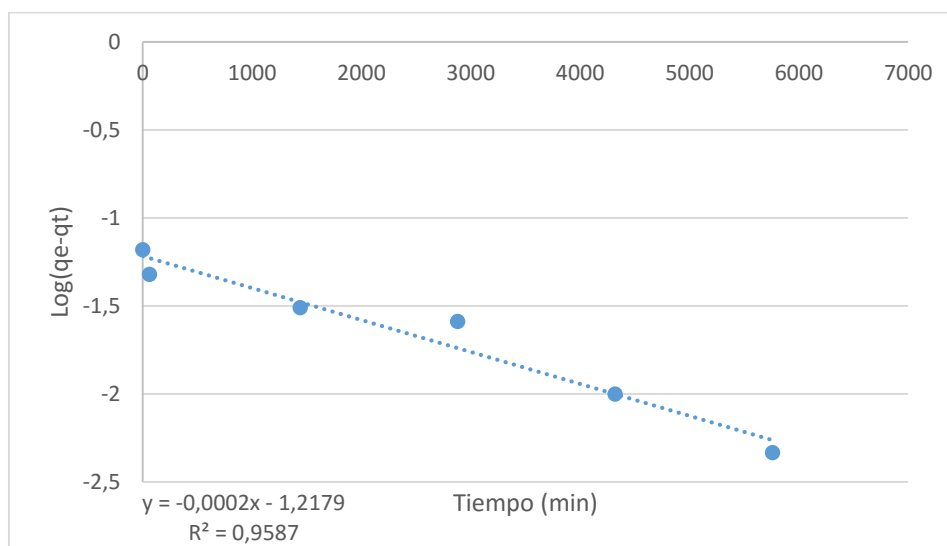
Teniendo en cuenta los modelos cinéticos descritos anteriormente, se modelaron estadísticamente los datos obtenidos en la remoción de cromo hexavalente. En la tabla 26 se presentan el modelamiento matemático correspondiente a los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden, en las gráficas 7 y 8 se representan los datos obtenidos mostrando el valor del coeficiente de correlación R^2 (Tabla 27). Masa de la especie vegetal: 100 g Y Volumen de la solución de cromo (VI): 250 mL

Tabla 26

Determinación del modelo cinético: especie vegetal 2

Tiempo (h)	tiempo (min)	C*25	Ce-C	qt	(qe-qt)	log(qe-qt)	t/qt
0	0	41,34	8,66	0,021	0,066	-1,180	0
1	60	34,03	15,97	0,04	0,047	-1,321	1502,81
24	1440	27,29	22,71	0,056	0,031	-1,510	25363,3
48	2880	25,25	24,75	0,062	0,026	-1,588	46545,4
72	4320	18,93	31,07	0,077	0,01	-2	55616,3
96	5760	16,79	33,21	0,083	0,004	-2,332	69376,6
120	7200	14,93	35,07	0,087	0		82121,5

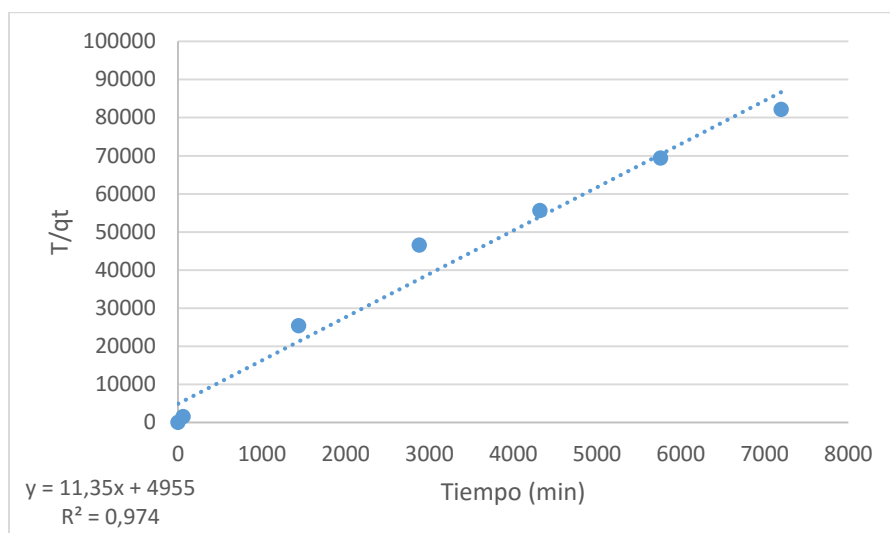
Modelo Pseudo Primer orden de Lagergreen



Gráfica 7

Modelo de Pseudo primer orden

Modelo Pseudo segundo orden Ho y Mackey



Gráfica 8
Modelo de Pseudo segundo orden

Tabla 27
Comparación de los coeficientes de correlación

Modelo cinético	Coeficiente de correlación
Pseudo primer orden	0,9587
Pseudo segundo orden	0,974

Grupo de investigación 3

Spathiphyllum wallissi (Lirio acuático)

Capacidad remediadora: Porcentajes de retención y remoción de Cr (VI) y total

El grupo de investigación 3 en la metodología estableció un tiempo de contacto de 144 horas. La concentración inicial fue de 50 ppm de Cr (VI), al cabo del tiempo determinado se realizó las cuantificaciones correspondientes. Para el tratamiento de los datos en la determinación del cromo hexavalente y total se utilizó la curva de calibración 1 y 3 respectivamente. En las tablas 28 y 29 se presentan los porcentajes de remoción y retención obtenidos en cada determinación.

Tabla 28*Porcentajes de remoción y retención Cr(VI) de la especie 3*

Tiempo (h)	A	C (ppm)	C*25	%Retención	%Remoción
1	1,065	1,396	34,91	30,17	69,83
24	1,026	1,341	33,54	32,91	67,09
48	0,98	1,277	31,92	36,14	63,86
96	0,975	1,270	31,75	36,49	63,51
120	0,931	1,208	30,20	39,58	60,42
144	0,713	0,902	22,55	54,89	45,11

Tabla 29*Porcentajes de remoción y retención Cr total de la especie 3*

Tiempo	A	C (ppm)	C*25	%Retención	%Remoción
1	1,069	1,400	35,02	29,95	70,05
24	1,031	1,344	33,62	32,75	67,25
48	1,002	1,302	32,55	34,89	65,11
96	0,987	1,279	31,99	36,00	64,00
120	0,965	1,247	31,18	37,62	62,38
144	0,789	0,987	24,68	50,62	49,38

Tipo de fitorremediación

Cromo hexavalente y total: Para la determinación del tipo de fitorremediación, se determinó la cantidad de cromo hexavalente y total retenida en tres partes de la planta: raíz, tallo y hojas. En las tablas 30 y 31 se presentan los resultados para cada determinación. Para el modelamiento matemático las determinaciones de cromo hexavalente y total se utilizaron las curvas de calibración 1 y 3, respectivamente.

Tabla 30*% Retención Cr (VI) en las partes de la especie 3*

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*25 (ppm)	% retención
Tallo	0,995	1,298	32,35	35,08
Hoja			No aplica	
Raíz	1,345	1,789	44,74	10,54

Tabla 31*% Retención Cr total en las partes de la especie 3*

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*25 (ppm)	% retención
Tallo	1,009	1,312	32,80	34,38
Hoja			No aplica	
Raíz	1,317	1,767	44,77	11,67

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la parte que mayor retiene el contaminante es el tallo de la especie, el tipo de fitorremediación corresponde a la **fitoextracción y fitovolatilización**.

Cinética bioadsorción

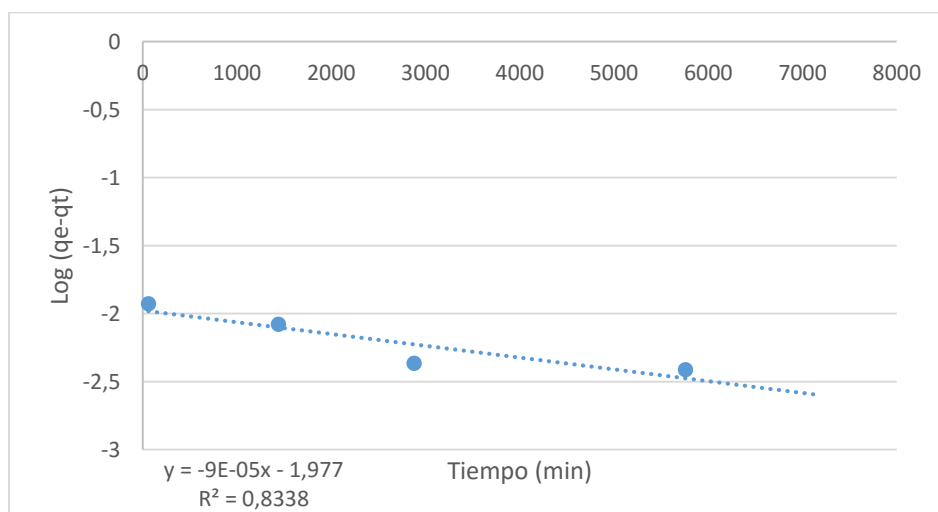
Teniendo en cuenta los modelos cinéticos descritos anteriormente, se modelaron estadísticamente los datos obtenidos en la remoción de cromo hexavalente. En la tabla 32 se presentan el modelamiento matemático correspondiente a los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden, en las gráficas 9 y 10 se representan los datos obtenidos mostrando el valor del coeficiente de correlación R^2 (Tabla 33). Masa de la especie vegetal: 100 g Y Volumen de la solución de cromo (VI): 250 mL

Tabla 32

Determinación del modelo cinético de biadsorción especie 3

Tiempo (h)	Tiempo (min)	C*25	Ce – C*25	qt	qe-qt	Log(qe-qt)	t/qt
1	60	34,913	15,087	0,037	0,011	-1,929	1590,77
24	1440	33,544	16,456	0,041	0,008	-2,078	35002,4
48	2880	31,93	18,07	0,045	0,004	-2,365	63752,0
96	5760	31,753	18,247	0,045	0,003	-2,412	126267,3
120	7200	30,207	19,793	0,049	0		145505,9

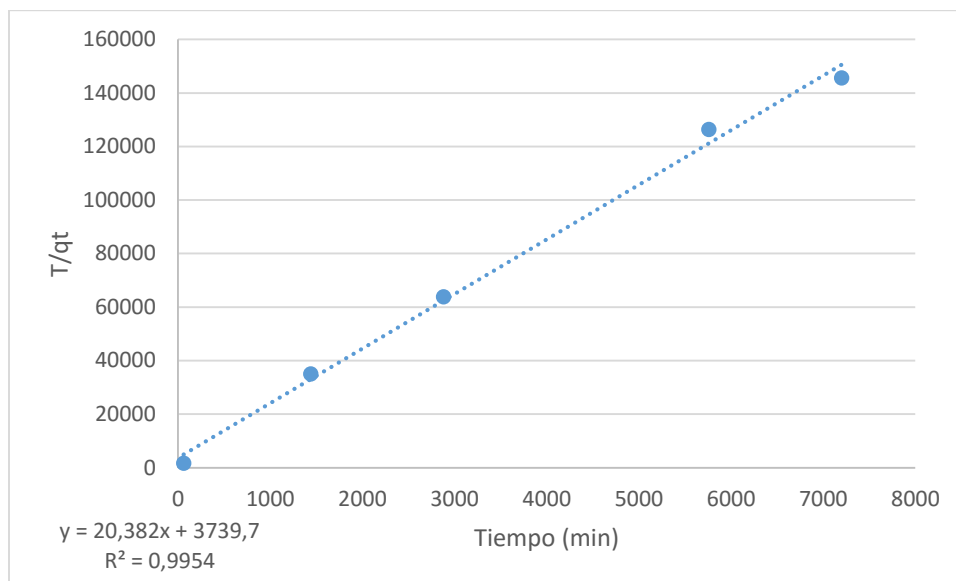
Modelo Pseudo Primer orden de Lagergreen



Gráfica 9

Modelo de Pseudo primer orden

Modelo Pseudo segundo orden Ho y Mackey



Gráfica 10
Modelo de Pseudo segundo orden

Tabla 33

Comparación de los coeficientes de correlación

Modelo cinético	Coeficiente de correlación
Pseudo primer orden	0,8338
Pseudo segundo orden	0,9954

Grupo de investigación 4

Dracaena braunii (Lucky bambú)

El grupo de investigación estableció 96 horas como tiempo de contacto de la especie en las soluciones de cromo, sin embargo, en el momento de la cuantificación del cromo hexavalente y cromo total, los valores obtenidos presentaron ciertas irregularidades en comparación con los valores registrados en sesiones anteriores. Por tal motivo, el grupo de investigación presentó solamente los tipos de fitorremediación para el caso de cromo total.

Tipos de fitorremediación

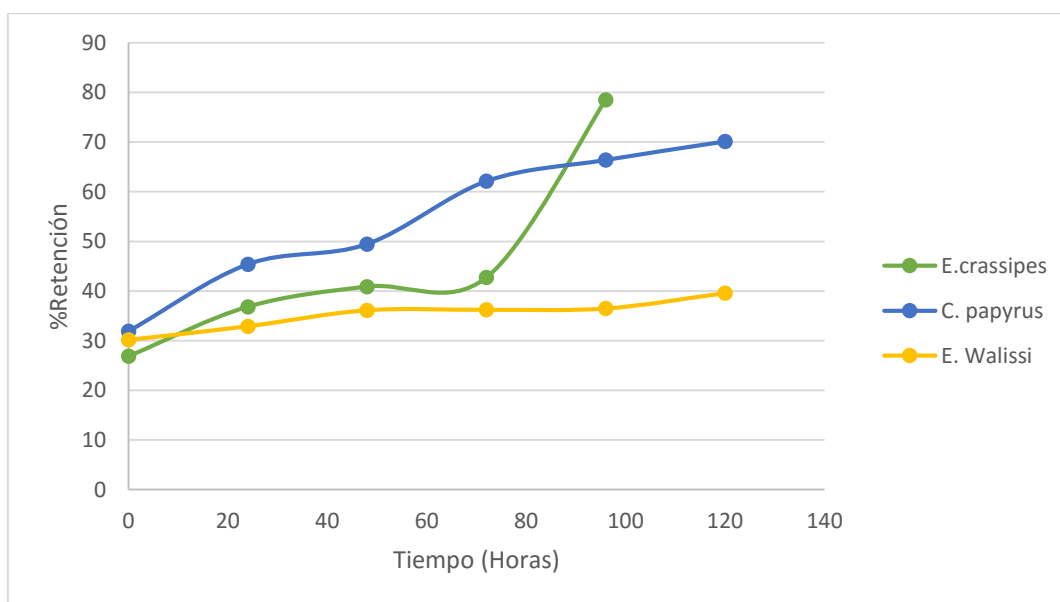
Tabla 34
Porcentaje de retención en las partes de la especie 4

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*10 (ppm)	% retención
Tallo	0,064	1,448	14,48	71,04
Hoja			No aplica	
Raíz			No aplica	

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la parte que mayor retiene el contaminante es el tallo de la especie, el tipo de fitorremediación corresponde a la **fitoextracción y fitovolatilización**.

9.1. Análisis de resultados experimentales

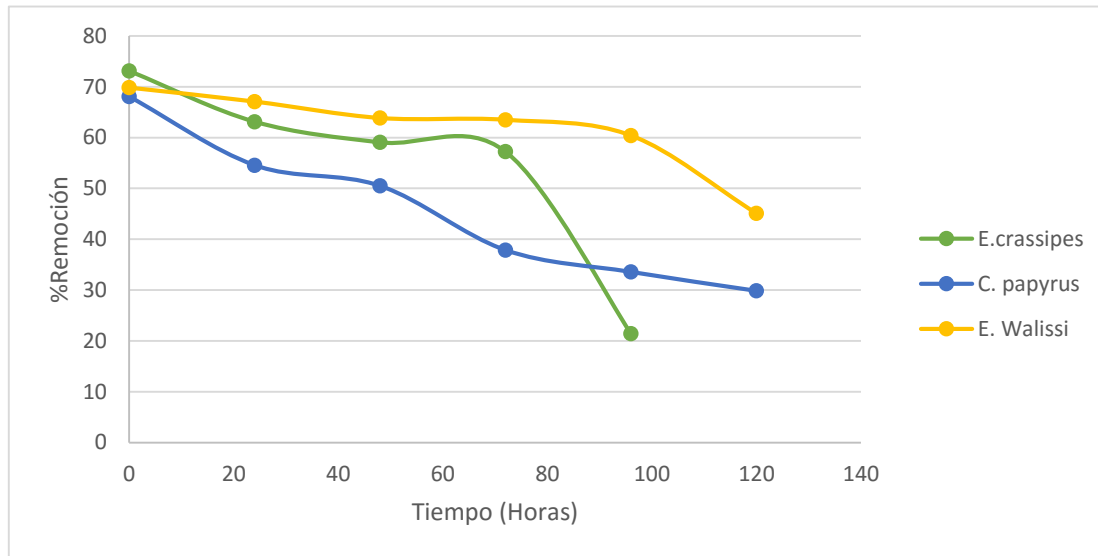
8.3.1 Capacidad remediadora



Gráfica 11
Porcentajes de retención Cromo hexavalente

Los porcentajes de retención representan la cantidad de cromo hexavalente que ha adsorbido la especie vegetal en un tiempo determinado. En la gráfica 11 se observa el comportamiento de las tres especies al adsorber el contaminante al cabo de 120 horas aproximadamente. Por su parte en la gráfica 12 se presentan los porcentajes de remoción de cada una de las especies, estos valores corresponden, a la capacidad que tiene la especie al ir remediando el metal en la solución, a medida

que pasa el tiempo, la concentración de la solución va disminuyendo debido a que la especie aparentemente retiene o bioacumula el metal en su biomasa.



Gráfica 12
Porcentajes de remoción Cromo hexavalente

Según Arroyabe (2004), la acumulación de metales por los organismos acuáticos consiste, primero que todo en una adsorción rápida (biosorción), seguido por un transporte lento, controlado principalmente por difusión al interior de la célula (bioacumulación), esto se explica a través de la difusión del ion metálico por medio de la membrana celular.

Teniendo en cuenta, los resultados experimentales, la especie que posee el mayor porcentaje de retención y remoción de cromo hexavalente es la especie *Eichhornia crassipes* (Buchón de agua). En el transcurso de las 96 horas la especie había retenido o volatilizado el 78,26% del contaminante.



Figura 13
Muestreo de la especie Buchón de agua

Al determinar el % de remoción y el % retención en el muestreo con intervalo y en las partes de la planta se observa la eficacia de la especie Buchón de agua, de acuerdo con Benítez, Calero, Peña y Martín (2011) el aumento de la concentración del metal en el tejido de la planta correspondió a una disminución en el medio, que genera posiblemente cambios en el gradiente osmótico; esta exposición tan prolongada generalmente aumenta la condición de estrés de la planta incrementando su fitness, que podría conducir a liberar parte de la carga de metal al medio, manteniendo con ello la regulación homeostática mediante mecanismos que permiten una menor afinidad de los sitios de adhesión por los metales o empleando mecanismos que detectan de manera rápida la presencia del metal, facilitando su excreción activa, o menor permeabilidad de la membrana celular.

En las tres especies analizadas (Buchón de agua, papiro chino y lirio acuático) los efectos a causa de la exposición del contaminante empiezan en la raíz, ya que este es el órgano responsable de asimilar los nutrientes del medio, y afectan sucesivamente el resto de la planta. Según Navarro y Aviño (2007), el cromo hexavalente que hace parte de los iones inorgánicos, se transportan desde la raíz hasta las hojas mediante una serie células tubulares que pertenecen a un tejido leñoso denominado xilema. La fuerza que mueve esta solución no radica en las células del tejido xilemático, sino en dos tipos de fuerza:

- La fuerza propia del proceso de ósmosis, que se produce porque existe una gran diferencia de concentración entre la parte superior de la planta (donde la concentración es mayor) y la parte inferior; es decir existe un potencial hídrico favorable al impulso ascendente.
- La fuerza de succión que se produce cuando en las hojas se pierde agua por transpiración, pues las moléculas perdidas producen una succión de nuevas moléculas cercanas para reemplazar a las anteriores, de tal manera que se produce una fuerza que atrae agua desde las raíces hacia las hojas.

Es de aclarar que, aunque con la Fitorremediación se eliminan los contaminantes presentes en un medio (soluciones), la base biológica o los mecanismos que actúan durante los distintos procesos aún se desconocen algunos, pero se cuenta con alguna información básica que permite comprender como actúa el contaminante dentro de la planta y esto será lo que se procurara explicar enseguida:

Según Navarro y Aviño, (2007) las fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados son las siguientes:

Fase I: Implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. La raíz constituye el órgano de entrada principal de metales pesados en la planta, en este caso del ion Cr^{6+} .

Ocurre un proceso de difusión en el medio, mediante un flujo masivo y por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido en gran medida a la presencia de grupos carboxilo del ácido péctico. Las cargas negativas de estas células de la rizodermis interaccionan con las positivas del ion Cr^{6+} presentes en la solución (50 ppm), creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular. Una vez unidas las cargas positivas a las negativas de la pared celular, los metales pesados se transportan, en parte por la vía apoplástica, y en parte por la simplástica.

La vía apoplástica implica circular por el interior de la raíz a través de los espacios intercelulares hasta llegar a la endodermis para atravesar la membrana y el citoplasma por osmosis, mientras que en la vía simplástica, parte del agua circula por el interior de la raíz hasta los vasos leñosos a través del citoplasma de la célula. Ambos procesos pueden evidenciarse en la siguiente figura:

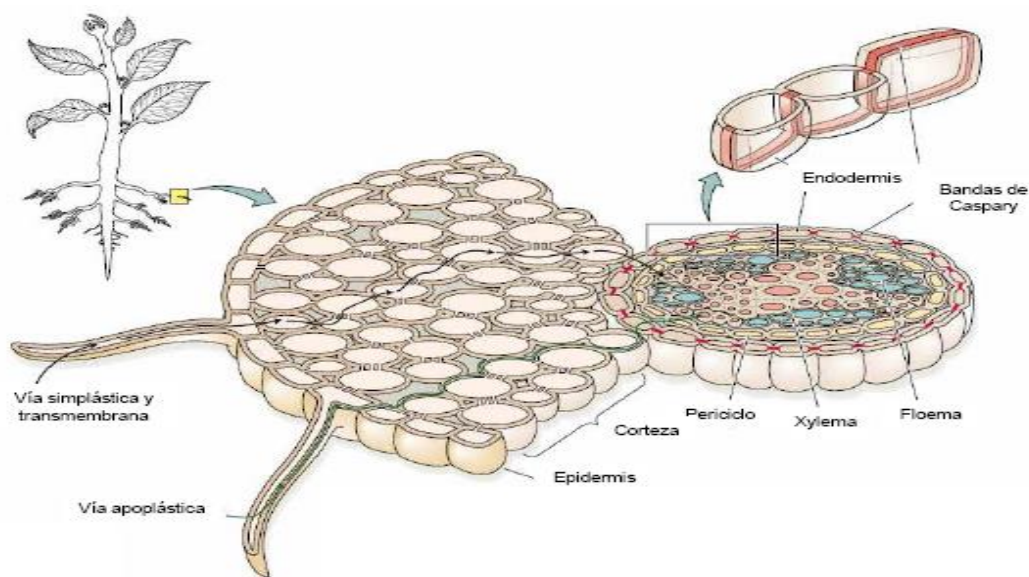


Figura 14
Vía apoplástica y simplástica.

Después de pasar por la raíz, la siguiente ruta es la membrana plasmática (vía apoplasto) ya que esta es la puerta de entrada de cualquier elemento (nutriente o toxico) al lugar donde se realiza la

química que mantiene la vida de la célula. Según Navarro y Aviño (2007) al dañarse la membrana (que mantienen los gradientes iónicos que a su vez regulan el volumen celular) se produce una entrada de los iones Ca^{2+} y una salida de los iones K^{+} favoreciendo la entrada de agua que contiene el contaminante en cuestión, y por ende, un aumento de volumen celular. Además, esta membrana es el primer componente de la célula que se afecta mediante varios mecanismos:

- ✓ Oxidación y entrecruzamiento de proteínas
- ✓ Inhibición de proteínas de membrana que son esenciales
- ✓ Cambios en composición, fluidez y permeabilidad

Fase II: Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos; esto se produce gracias al resultado de la interacción del ion metálico Cr^{6+} (con orbitales de valencia vacíos) que puede actuar como ácido de Lewis (aceptor de electrones), y una o varias bases de Lewis o agentes acomplejantes (dador de electrones) que tienen pares de electrones libres; cabe resaltar que el Mercurio hace parte de los metales de transición presentando una alta predisposición a formar ligandos puesto que contiene orbitales profundos tipo d o f. Los ligandos a los que pueden unirse son los grupos sulfidrilo, radicales amino, fosfato, carboxilo e hidroxilo; no obstante, también puede presentar uniones con dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas.

Las fitoquelatinas son ligandos de alta afinidad que tienen como sustrato al glutatión que a su vez está constituido por 3 aminoácidos: ácido glutámico, cisteína y glicina, unidos por enlaces peptídicos. Este glutatión es capaz de quelar metales pesados por sí mismo.

Las metalotioneínas son polipéptidos de unos 70-75 aminoácidos con un alto contenido en cisteína, aminoácido capaz de formar complejos con cationes mediante el grupo sulfidrilo. Tienen una marcada afinidad por las formas iónicas dentro de las cuales se encuentra el Cr^{6+}

Las plantas utilizan este mecanismo de complejación en el interior de la célula para detoxificar (amortiguar) los metales pesados; por eso, el cromo hexavalente puede quedar inmerso en una interacción química que lo mantiene acomplejado. Sin embargo, sigue en el metabolismo de la planta porque aún no se ha eliminado del citoplasma de la célula, razón por la cual, aun es tóxico.

Fase III: Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo

Ligando-metal queda retenido en la vacuola, lo cual reduce la concentración del Cr^{6+} en el citoplasma. Dentro de la vacuola se forman los complejos que pueden tener alto y bajo peso molecular; además, este mecanismo de almacenamiento es un proceso sofisticado y complejo, pero que puede entenderse en la siguiente figura:

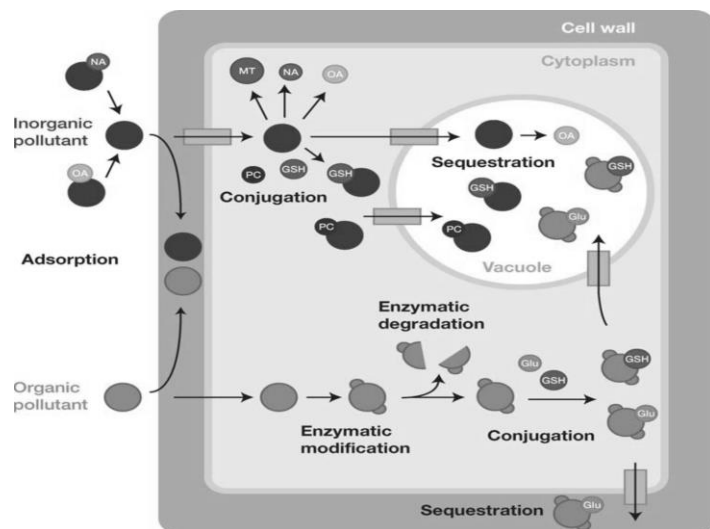


Tabla 35 Convenciones

GSH	Glutación
Glu	Glucosa
MT	Metalotioneínas
NA	Nicotianamina
OA	Ácidos orgánicos
PC	Fitoquelatinas

Figura 15
Mecanismos de tolerancia para compuestos orgánicos e inorgánicos en las células vegetales

8.3.2. Tipos de fitorremediación

Después de obtener los resultados en cuanto a los porcentajes de remoción y retención de cada una de las especies analizadas, se determinó que parte de especie vegetal retiene la mayor parte del contaminante con el fin de aproximarse al tipo de fitorremediación que presenta la especie vegetal, en la figura 16, se observa cada una de las partes de especie *Eichhoria crassipes* fragmentadas después de las 120 horas de contacto, luego de esto se prepararon las muestras de acuerdo a la metodología y se realizó la determinación de cromo hexavalente y cromo total.



Figura 16
Partes de la especie vegetal

Teniendo en cuenta dichas determinaciones, los tipos de fitorremediación que mejor se aproximan a cada especie corresponden:

***Eichhornia crassipes* y *Cyperus papyrus*:** El tipo de fitorremediación que se ajusta a las especies vegetales, corresponde a la rizofiltración, la cual consiste en retener inicialmente los contaminantes a través de las raíces. La especie Buchón de agua retuvo en la raíz el 93,88% del contaminante mientras que la especie Papiro chino retuvo en la raíz 63,02%.

Para que se dé el proceso de la rizofiltración es necesario tener en cuenta la rizósfera, entendiendo ésta como una parte próxima a las raíces donde se presenta interacción con microorganismos; la rizósfera se extiende aproximadamente 1 mm alrededor de la raíz y está bajo la influencia de la planta. La absorción del contaminante en la raíz de la planta va a depender de la naturaleza del mismo, es decir, la rizofiltración se presenta de forma diferente si se da en compuestos orgánicos o inorgánicos; para este último, se genera un proceso biológico mediante una membrana que transporta proteínas (como ya se expuso en las fases); este proceso se da de forma natural porque los contaminantes pueden ser asimilados por la planta a manera de nutrientes (por ejemplo nitrato, fosfato, manganeso, zinc) y son tomados por error. (Brunner et al, 2008)

***Spathiphyllum wallissi* y *Dracaena braunii*:** los resultados de estas especies difieren de las anteriores, ya que el mayor porcentaje del cromo hexavalente no se encuentra en la raíz, para el caso del lirio acuático el 35,08% del contaminante se retuvo en el tallo mientras que el 10,54% en la raíz, de acuerdo con esto, la fitoextracción y la fitovolatilización, son los tipos de fitorremediación más cercanos a los resultados. La especie Lucky Bambú presentó un alto porcentaje de retención del cromo total en el tallo, al no tener datos experimentales de esta especie, se hace la suposición que el tipo de fitorremediación que mejor se ajusta es la fitoextracción.

En las cuatro especies analizadas se presentó la fitoextracción en primer lugar, porque la planta fue capaz de apartar el contaminante de la solución y depositarse en las partes aprovechables de la especie vegetal (raíz, tallo y hojas) que fueron tratadas en conjunto. Al analizar los porcentajes del lirio acuático, el 54,38% restante que no se encuentra en ninguna parte de la especie ha de suponer una fitovolatilización del contaminante, que implica la captación del contaminante volátil por la planta y su posterior liberación (en su forma original o modificada) a la atmosfera. (Parada, 2001). Teniendo en cuenta esto, lo que posiblemente sucede en la fitovolatilización es que no se genera la

fase III de compartimentalización, sino que el metal es llevado a través del xilema (transporta la materia absorbida por la raíz hasta las hojas) permitiendo así la volatilización del compuesto.

8.3.3. Cinética de bioadsorción (modelos cinéticos)

Tabla 36

Modelos cinéticos de bioadsorción

Especie vegetal	Modelo cinético
<i>Eichhornia crassipes</i>	Pseudo segundo orden de Ho y Mackey
<i>Cyperus papyrus</i>	Pseudo segundo orden de Ho y Mackey
<i>Spathiphyllum wallissi</i>	Pseudo segundo orden de Ho y Mackey

Teniendo en cuenta los resultados de la cinética de bioadsorción, las tres especies analizadas se aproximan y ajustan a un modelo cinético de pseudo segundo orden propuesto por Ho y Mackey, debido a que el coeficiente de correlación presentado en la graficas es próximo a 1 en este modelo.

El modelo de pseudo segundo orden, propuesto por Ho y Mackey (1999), se basa en la capacidad de sorción en equilibrio asumiendo que la velocidad de sorción es directamente proporcional al cuadrado de sitios disponibles.

Estos modelos matemáticos se convierten en una herramienta muy importante ya que permite describir el comportamiento del metal que es retenido en la especie vegetal. Para ello el modelo debe incorporar parámetros dinámicos que incluyan los aspectos que controlan la velocidad del proceso. Los modelos cinéticos describen el proceso desde el inicio del contacto (Solución-Biomasa) hasta el tiempo en que alcanza el equilibrio.

Se han propuesto (Tapia, 2002) las siguientes etapas en el mecanismo de cinética de biosorción:

1. Desplazamiento de los iones metálicos desde la solución hasta la capa exterior del sólido biosorbente.
2. Difusión externa: desplazamiento desde la capa exterior hasta la superficie del adsorbente.
3. Difusión intraparticular: Cuando el soluto se desplaza desde la superficie externa hasta el sitio de adsorción al interior de la partícula.
4. Adsorción sobre los sitios activos por acomplejamiento, interacción iónica.

Ya que las tres especies se ajusta a un modelo de pseudo segundo orden, el proceso de adsorción puede ser descrito como un proceso de quimisorción. (Ho y Mackey, 1999). Las especies vegetales constituyen una gran fuente de biosorbentes de metales pesados, en este caso, *las especies empleadas* adsorben Cromo hexavalente, debido a las propiedades de intercambio iónico asociados a su contenido en polisacáridos. Los polisacáridos son los constituyentes estructurales de la pared celular. Estudios hechos por Davis (2003), han establecido que existe una relación directa entre la capacidad de sorción de las especies vegetales acuáticas y su contenido en polisacáridos.

En las especies vegetales ocurre primero que todo un proceso de fisisorción, es decir, cuando la adsorción tiene lugar como consecuencia de fuerzas de Van der Waals, y en este caso las moléculas del contaminante no se fijan en un lugar específico de la superficie, sino que se encuentra libre en la interface. Luego de este proceso el adsorbato interacciona químicamente con el adsorbente, el fenómeno se denomina quimisorción, la energía de adsorción, en este caso, es muy elevada y la fuerza de retención es mayor.

La formación de enlaces durante la adsorción química hace que el proceso sea más selectivo, es decir, que dependa marcadamente de la naturaleza de las sustancias involucradas. Algunas de las características de la quimisorción (Cheng, Mulla. 1999) son:

1. Hay especificidad, sólo algunos sitios superficiales adsorben ciertas moléculas.
2. Hay una interacción de los estados electrónicos del adsorbato (Cr^{6+}) y del adsorbente (especie vegetal), lo que se traduce en la aparente formación de un enlace químico.
3. Como consecuencia de la reacción química superficial (rompimiento y formación de enlace) se desprende una cantidad elevada de calor.
4. La quimisorción requiere del suministro de una cierta cantidad de energía para iniciar el proceso (energía de activación). Proceso activado no espontáneo.

8.3. Competencias científicas investigativas finales

Los resultados experimentales mencionados anteriormente corresponden a la etapa de explicación y elaboración de la secuencia didáctica planteada en la metodología, en esta parte los estudiantes debían establecer la fitorremediación como una biotecnología viable para solucionar el problema

de contaminación por cromo hexavalente que generan las curtiembres en los procesos de curtido. Cada grupo planteo un problema de investigación, hipótesis, montajes experimentales y elaboraron un artículo y ponencia con los resultados obtenidos por cada especie vegetal.

A cada grupo de investigación se le entrego la situación problema titulada “Sin solución a las cuertiembres”, luego de esto ellos plantearon un problema, hipótesis y montajes experimentales teniendo en cuenta la especie vegetal correspondiente, se llevaron a cabo las practicas experimentales, luego de esto cada grupo de investigación presento los resultados en un artículo y ponencia.

Una vez que la secuencia didáctica ha finalizado con la presentación de los artículos científicos, se identificaron los niveles de competencias científicas investigativas alcanzadas por los estudiantes tras la implementación y ejecución de las actividades de la secuencia didáctica bajo los mismos criterios de indagación, experimentación y argumentación. A continuación, se presentan los niveles de competencias científicas investigativas por cada grupo de investigación de acuerdo al artículo y ponencia presentada.

Grupo de investigación 1

Nombre del artículo: Evaluación de la cinética en la acumulación de cromo en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)

Especie vegetal: *Eichhornia crassipes*

Generalidades del artículo: el grupo de investigación evaluó la cinética de acumulación del cromo hexavalente en la especie buchón de agua, además se valoró la efectividad de la fitorremediación de cromo hexavalente en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) mediante las técnicas de absorción atómica y espectrofotometría de Ultravioleta Visible, se evidenciaron los sitios de acumulación de cromo en la planta.

Ponencia: Durante la ponencia, el grupo presenta los resultados obtenidos en la experimentación, así como los aciertos de la fitorremediación en la remoción de metales pesados en cuerpos de agua.

En la tabla 37 se presentan los niveles de competencias científicas investigativas alcanzadas por los estudiantes tras la implementación de la secuencia didáctica y se compara con las competencias

iniciales identificadas en la situación problema 1. En el apéndice K se presenta el análisis por cada uno de los criterios evaluados en el artículo científico presentado.

Tabla 37
Competencias iniciales y competencias finales grupo 1

	SITUACIÓN 1			SITUACIÓN 2		
	I	INT	A	I	INT	A
INDAGACIÓN	X			INDAGACIÓN		X
METODOLOGÍA	X			METODOLOGÍA		X
SISTEMATIZACIÓN	X			SISTEMATIZACIÓN	X	
ARGUMENTACIÓN	X			ARGUMENTACIÓN		X

En la situación problema 1, el grupo de investigación 1 plantea como solución a la problemática la biorremediación con bacterias, teniendo en cuenta la propuesta investigativa y la ponencia realizada, las competencias científicas investigativas bajo los criterios de indagación, experimentación y argumentación quedaron inicialmente en un nivel inicial, la principal razón fue que el grupo no estableció hipótesis ni relaciones entre variables. Tras la fase de explicación en donde se establece los aspectos teóricos de la fitorremediación en el énfasis de tecnologías limpias, se presenta una segunda situación problema, en donde este grupo escoge la especie *Eichhornia crassipes* para la remoción de cromo hexavalente, tras el proceso de experimentación que duro alrededor dos meses, se volvieron a identificar las competencias científicas investigativas, lo cual permite constatar si existen cambios en los niveles de las competencias.

Tras la implementación de la secuencia didáctica diseñada desde un ciclo hipotético-deductivo, se observa en la tabla, que la secuencia favoreció el desarrollo de las competencias científicas investigativas en este grupo de investigación, ya que, a partir del planteamiento de preguntas, los estudiantes con las etapas establecidas en la secuencia, se dedicaron a deducir las explicaciones y a diseñar y llevar a cabo montajes experimentales para comprobar las hipótesis establecidas. El análisis de los resultados experimentales permitió corroborar o contrastar hipótesis, en este grupo, el tipo de fitorremediación de la especie (rizofiltración) corroboró la hipótesis establecido. Los conceptos relevantes y los patrones de razonamiento implicados y discutidos pueden ser aplicados en otras situaciones, en las recomendaciones, el grupo planteó establecer investigaciones en el tratamiento de la biomasa: “Una cuestión que debe resolverse es la disposición final de la planta cuando ya ha adsorbido los metales. Se propone la incineración como una alternativa, pues los

metales de las cenizas pueden permanecer estables y además puede aprovecharse la energía proveniente de su combustión.”

La secuencia didáctica preciso la comprobación de hipótesis por medio de deducciones lógicas con resultados empíricos y por ello se enmarca dentro de un ciclo de aprendizaje hipotético-deductivo.

Grupo de investigación 2

Nombre del artículo: Evaluación de la capacidad remediadora de la especie *Cyperus papyrus* en soluciones de cromo hexavalente.

Especie vegetal: *Cyperus papyrus* (Papiro chino)

Generalidades del artículo: el grupo de investigación presenta en el artículo, los resultados experimentales obtenidos en las determinaciones de la capacidad remediadora de cromo hexavalente de especie vegetal *Cyperus papyrus*, inicialmente, el grupo plantea un problema de investigación y a lo largo de artículo se da solución al problema.

Ponencia: En la ponencia oral, el grupo y argumentan los resultados experimentales en una presentación de 20 minutos, exponen las ventajas y desventajas de la fitorremediación en remoción de contaminantes en cuerpos de agua.

En la tabla 38 se presentan los niveles de competencias identificados en el grupo después de la implementación de la secuencia didáctica y se compara con los niveles iniciales de las competencias identificadas en la situación problema 1.

En el anexo L se evidencia los análisis de cada uno de los criterios que definen las competencias e identificados en el artículo científico y ponencia.

Tabla 38

Competencias iniciales y competencias finales grupo 2

	SITUACION 1			SITUACION 2		
	I	INT	A	I	INT	A
INDAGACIÓN	X			INDAGACIÓN	X	
METODOLOGÍA	X			METODOLOGÍA		X
SISTEMATIZACIÓN	X			SISTEMATIZACIÓN	X	
ARGUMENTACIÓN	X			ARGUMENTACIÓN	X	

En la situación problema 1 titulada “Tras los pasos del cromo”, los estudiantes plantearon la biorremediación con hongos para resolver el problema de la quebrada, en la segunda situación

problema, el grupo estableció la fitorremediación como una solución al problema de contaminación generado en los procesos de curtido en las curtiembres, el grupo selecciono la especie *Cyperus papyrus* para evaluar la eficacia de la especie frente a la remoción de cromo hexavalente. De acuerdo con lo anterior se identificaron las competencias científicas investigativas iniciales y las competencias alcanzadas después de la implementación de la estrategia didáctica.

Tras la implementación de la secuencia didáctica se observa que estas actividades diseñadas favorecieron al fortalecimiento de las competencias científicas investigativas en los criterios de indagación, experimentación (metodología) y en la argumentación. En el subcriterio de la sistematización de los resultados en ambas situaciones no hubo cambios debido a que los estudiantes en ninguno de los dos artículos evidenciaron la forma como se calcularon los datos obtenidos en la experimentación. en los aspectos metodológicos se pasó de un nivel inicial a uno avanzado, ya que, de acuerdo a la hipótesis planteada, los montajes experimentales se enfocaron a determinar el tipo de fitorremediación ya que con esto se podía contrastar la hipótesis.

De acuerdo con la definición de Chona et al (2006), las competencias científicas investigativas se evidencian cuando en este caso los estudiantes pueden construir explicaciones y comprensiones de la naturaleza desde los criterios mencionados anteriormente, donde a través de la formulación de un problema y la experimentación se pueden interrelacionar los conceptos con los cuales se establecen argumentaciones, teniendo en cuenta eso, la implementación de situaciones problemas causo en los estudiantes cierto conflicto cognitivo lo cual llevo a los estudiantes a la generación de nuevas ideas para la resolución de las situaciones, en este caso, el grupo evaluó una especie vegetal en cuanto a su eficacia en la remoción metales para contrarrestar la contaminación que generan las curtiembres, aunque el artículo final carece de ciertos elementos, en comparación con la propuesta investigativa inicial se evidencian cambios en la formulación de un problema de investigación que implica de la experimentación, así como al planteamiento de posibles explicaciones permite asegurar que las actividades de secuencia didáctica y los espacios de asesorías dieron al grupo de investigación más elementos para favorecer los procesos investigativos en cuanto a las tecnologías limpias.

Grupo de investigación 3

Título del artículo: Remoción de Cr (VI) por la especie *Spathiphyllum wallissi* como una solución a problemas de contaminación generados en las curtiembres.

Especie vegetal: *Spathiphyllum wallissi* (Lirio acuático)

Generalidades del artículo: el grupo de investigación planteó la fitorremediación como una solución viable al problema de contaminación que generan las curtiembres en una zona de Cundinamarca. Al establecer esta biotecnología, el grupo presento en el artículo los resultados obtenidos durante la experimentación en donde se determinó los porcentajes de retención y remoción del contaminante (cromo hexavalente) de la especie vegetal escogida, así como la aproximación a modelo cinético el cual describa la velocidad de adsorción del metal en la especie.

Generalidades de la ponencia: los estudiantes presentaron el artículo científico en donde explicaron los resultados obtenidos, al final de la presentación se generó un espacio de preguntas por parte del público frente a la eficacia de la especie en la remoción de cromo hexavalente y cromo total.

En la tabla 39 se presentan los niveles alcanzados e identificados en el grupo después de la implementación de la secuencia didáctica y se comparan con los resultados iniciales de la situación problema 1. En el apéndice M, se presentan los análisis realizados en los tres criterios establecidos a partir del artículo científico.

Tabla 39

Resultados de las competencias científicas investigativas finales grupo 3

SITUACION 1			SITUACION 2			
	I	INT	A	I	INT	A
INDAGACIÓN		X		INDAGACIÓN	X	
METODOLOGÍA			X	METODOLOGÍA		X
SISTEMATIZACIÓN	X			SISTEMATIZACIÓN	X	
ARGUMENTACIÓN	X			ARGUMENTACIÓN	X	

Este grupo de investigación en la situación problema 1 planteo como solución la elaboración y evaluación de la biomasa a partir de residuos orgánicos. En la situación 2, el grupo establece la fitorremediación como solución al problema de contaminación sobre cuerpos de agua que generan las aguas residuales en los procesos de curtido por las curtiembres, escogieron la especie Lirio acuático, a la cual le realizaron análisis frente a la remoción y retención del metal contaminante.

Tras la implementación de la secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje empírico deductivo, se observa que la ejecución de actividades desarrolladas favoreció en dos criterios al

grupo de investigación 3 en el desarrollo de las competencias científicas investigación. Uno de los criterios en donde se evidenció un cambio fue en la experimentación, específicamente en la sistematización de los resultados, este subcriterio hace referencia a la forma como son presentados los resultados y sí se utilizan de técnicas matemáticas en la sistematización. Inicialmente el grupo presento la información en forma de texto continuo, en el segundo artículo, el grupo presenta gráficas, tablas y esquema para sintetizar los resultados. Es importante resaltar, que al escribir textos científicos se necesita del procesamiento de la información científica y el abordaje de un lenguaje científico propio de las ciencias, se establece la necesidad de trabajar los textos discontinuos en los que se relaciona el mensaje verbal con diferentes tipos de representaciones, ya sean, gráficos, datos estadísticos, esquemas, que precisan de su decodificación para poder ser interpretados.

Otro de los criterios donde hubo cambios en los niveles de las competencias científicas investigativas, corresponde a la argumentación. En la construcción del conocimiento científico, es importante el proceso de negociación que tiene lugar entre los miembros de una comunidad cuando se comunican modelos y teorías con la finalidad de validar representaciones sobre el mundo (Sarda y Sanmartí, 2000), de acuerdo con esto, la argumentación y el razonamiento intervienen de forma fundamental como instrumento para relacionar las observaciones experimentales con los modelos existentes. Los estudiantes formularon una hipótesis la cual fue corroborada o confrontada a lo largo de la experimentación, en este proceso es necesario la discusión y el contraste de ideas, el cual se evidencio en la ponencia del artículo científico. La argumentación puede ofrecer una visión que entienda mejor la propia racionalidad de la ciencia, analizando su propia construcción: el “contexto de descubrimiento” para la generación de hipótesis y el “contexto de justificación” para comprobarlas y validarlas, los cuales toman sentido en un “contexto de conocimiento”. (Sarda y Sanmartí, 2000).

Grupo de investigación 4

Nombre del artículo: Fitorremediación de Cromo hexavalente por medio de la especie vegetal *Dracaena braunii* (Lucky Bambú)

Especie vegetal: *Dracaena braunii* (Lucky Bambú)

Generalidades del artículo: el grupo implementó la fitorremediación de aguas superficiales contaminadas por cromo hexavalente, para ello se realizó la determinación y cuantificación del

metal pesado, a partir de la exposición de una especie vegetal *Dracaena braunii*, conocida como Lucky bambú, a diversas concentraciones de una solución de Cromo Hexavalente, para observar el porcentaje de remoción, y a su vez, la capacidad fitorremediadora, por medio de la determinación de Cr^{+6} por el método de Difenilcarbazida, y de Cromo Total por espectrofotometría de absorción atómica.

Ponencia: En la ponencia oral, el grupo y argumento los resultados experimentales en una presentación de 20 minutos, se mencionaron los avances de esta biotecnología y establecen algunas recomendaciones para posteriores investigaciones.

En la tabla 40 se presentan los niveles de competencias identificados en el grupo después de la implementación de la secuencia didáctica y se comparan con los resultados obtenidos en la situación problema 1. En el apéndice N se presenta la matriz de análisis que se realizó al artículo investigativo para identificar el nivel de las competencias.

Tabla 40

Resultados de las competencias científicas investigativas finales grupo 4

	SITUACION 1			SITUACION 2		
	I	INT	A	I	INT	A
INDAGACIÓN	X				X	
METODOLOGÍA	X				X	
SISTEMATIZACIÓN	X			X		
ARGUMENTACIÓN	X			X		

En la situación problema 1, el grupo de investigación 4, establece la fitorremediación como una posible solución a la problemática planteada, en la primera propuesta investigativa, el grupo presento ciertas dificultades en el planteamiento de hipótesis y en el diseño de montajes experimentales, tras la implementación de la secuencia didáctica, se evidenciaron algunos cambios en los criterios que definen las competencias científicas investigativas, en la siguiente tabla se observan los niveles identificados antes y después del desarrollo de la secuencia didáctica.

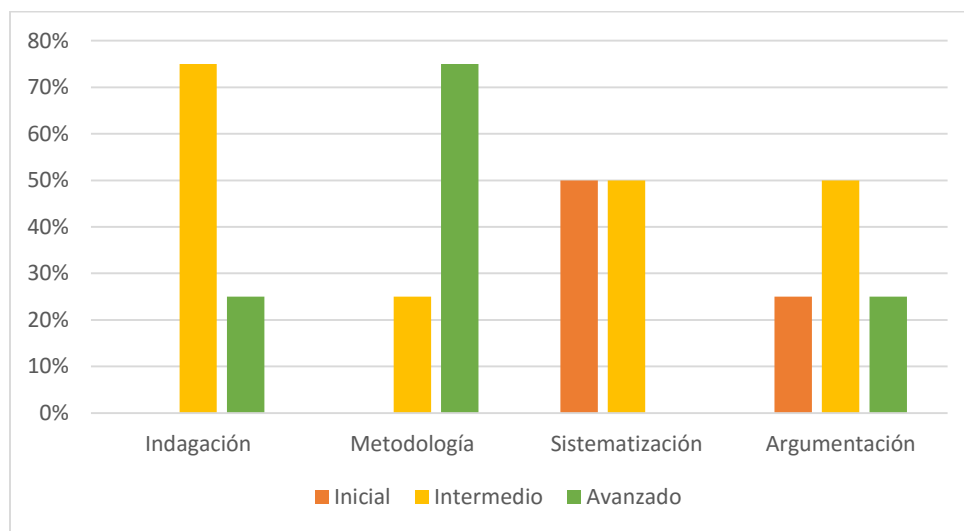
Los cambios significativos en los niveles de las competencias científicas investigativas se evidencian en los criterios de indagación y experimentación (metodología) en donde se pasa a un nivel intermedio en la situación 2, esto se debe al establecimiento de preguntas problema e hipótesis. Al plantear una pregunta problema de investigación esta debe permitir generar datos, plantear hipótesis, hacer referencia a variables dependientes e independientes, las preguntas deben

ser factibles es decir que puedan ser abordadas en el tiempo disponible para la investigación y que cuenten con los recursos necesarios para investigarlas. Teniendo en cuenta las dificultades experimentales que tuvo el grupo en las cuantificaciones de cromo total y hexavalente, el grupo cambia la pregunta problema que inicialmente tenían que consistía en evaluar la capacidad remediadora de la especie por determinar el tipo de fitorremediación.

En cuanto a la formulación de hipótesis, la teoría puede dar una orientación a la búsqueda de los hechos, al analizar los hechos de una teoría, pueden deducirse relaciones distintas de las establecidas, una hipótesis es una proposición que puede ser puesta a prueba para determinar su validez (Tamayo, 1998), una de las dificultades del grupo en la propuesta investigativa 1, es que la hipótesis propuesta no era específica, mientras que en la situación problema 2, se determina una explicación más puntual del problema pero con algunas inconsistencias en la relación de las variables por eso el nivel intermedio.

Otro de los cambios significativos se presentó en el criterio de la experimentación específicamente en la metodología, ya que el grupo estableció un diseño experimental para determinar el tipo de fitorremediación presente en la especie vegetal, el problema se presentó en la ejecución de los montajes que el grupo presento ciertos inconvenientes con los equipos para realizar las determinaciones, los estudiantes solo presentaron un dato experimental en cuanto al tipo de fitorremediación, sin embargo el trabajo pierde credibilidad ya que no tiene elementos que sustenten la hipótesis establecida.

8.4. Competencias científicas investigativas (Población en general)



Gráfica 13
Competencias científicas investigativas finales

Al finalizar la secuencia didáctica implementada con el grupo con la ponencia del artículo científico, los estudiantes participaron en un conversatorio organizado por el Departamento de química realizado en la semana del licenciado en química en octubre del año 2015. Al identificar las competencias científicas investigativas en los estudiantes después de la implementación de la secuencia didáctica se observaron cambios significativos en los criterios que definen las competencias científicas investigativas (indagación, experimentación y argumentación). En la gráfica 13 se evidencian los resultados generales de la población en cuanto a los niveles alcanzados.

Retomando la definición de las competencias científicas investigativas, los grupos de investigación presentaron cambios significativos en los niveles establecidos, las competencias identificadas y evaluadas buscaban describir las capacidades y habilidades que tienen los sujetos en la construcción de explicaciones y comprensiones referentes a la fitorremediación desde la indagación, experimentación y la argumentación o contrastación teórica, donde a partir de la formulación de un problema cada grupo desde un trabajo sistemático interrelaciona conceptos, procedimientos, métodos con los cuales se establecen argumentaciones que den cuenta al planteamiento de soluciones. Durante la implementación de la secuencia didáctica, se presentó un alto componente experimental, en el cual cada grupo de investigación reconoció los métodos más

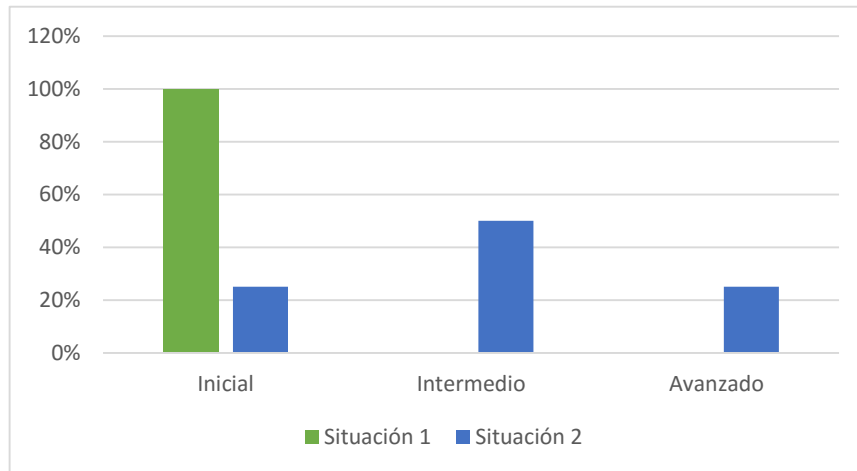
adecuados para las determinaciones y cuantificaciones de cromo hexavalente, con los resultados obtenidos cada grupo socializo los artículos investigativos lo cual permitió la construcción individual y colectiva del conocimiento a través de los espacios de discusión.

A continuación, en la tabla 41 se presentan los resultados generales de la población por cada criterio de las competencias científicas investigativas alcanzadas por los estudiantes tras la ejecución de la secuencia didáctica (situación 2) y se comparan con los resultados iniciales (situación 1). Después se analizan los cambios en cada uno de los criterios que definen las competencias científicas investigativas.

Tabla 41
Porcentajes iniciales y alcanzados por la población en general

Criterio	Inicial		Intermedio		Avanzado	
	Situación 1	Situación 2	Situación 1	Situación 2	Situación 1	Situación 2
Indagación	75%	0%	25%	75%	0%	25%
Metodología	75%	0%	0%	25%	25%	75%
Sistematización	100%	50%	0%	50%	0%	0%
Argumentación	100%	25%	0%	50%	0%	25%

1. Indagación



Gráfica 14
Cambios en los niveles: Indagación

De acuerdo con la gráfica 14, en la situación problema 1 titulada “Tras los pasos del cromo”, el 100% de la población se ajustó en un nivel inicial en este criterio, tras las actividades realizadas en la secuencia didáctica tales como la revisión de antecedentes frente a la fitorremediación, establecimiento de la situación 2 titulada “Sin solución para las curtiembres”, visita al humedal La Conejera (Bogotá) para el reconocimiento de las especies vegetales y explicación del término a

través de material audiovisual, (estas actividades se propusieron en las fases de engranaje y exploración del ciclo de aprendizaje), con esto los grupos de investigación tuvieron más elementos conceptuales y procedimentales para plantear una pregunta de investigación y formular hipótesis desde la fitorremediación, ello se reflejó en los niveles de las competencias identificados después de la implementación de la secuencia didáctica, en donde un 75% de los estudiantes se ubicó en un nivel intermedio y el 25% restante de la población en nivel avanzado.

Teniendo en cuenta los desempeños correspondientes a este criterio y de acuerdo con Arlet, Elvia y Arteta (2012) la indagación en las ciencias naturales se caracteriza por la formulación de preguntas, planteamiento de hipótesis, búsqueda de evidencias. La indagación científica se refiere a las diversas formas en las cuales los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo. (Garritz, 2006). A partir de ello, los estudiantes participantes plantearon preguntas puntuales de investigación referentes a las especies vegetales correspondientes. Todas las preguntas planteadas por los grupos se derivaban de la experimentación ya que buscaban evaluar la capacidad remediadora de la especie vegetal, determinar el tipo de fitorremediación o el modelo cinético de bioabsorción.

Las preguntas deben sintetizar lo que habrá de ser investigado, las preguntas problema de investigación establecidas por los grupos de investigación expresaban relaciones entre variables (capacidad remediadora, tiempo de contacto, concentración del contaminante), además eran factibles ya que, implicaban la posibilidad de realizar pruebas empíricas y recolectar datos a partir de las practicas experimentales.

En la formulación de hipótesis, los grupos de investigación integraron ciertos elementos y referentes conceptuales de la fitorremediación para la explicación del problema. Los estudiantes participantes desconocían los diferentes tipos de hipótesis, las hipótesis planteadas en los artículos en su mayoría se aproximaban a hipótesis investigativas ya que establecían posibles relaciones entre variables, los términos eran comprensibles, precisos y más concretos en relación a la situación problema 1, otro punto importante que se observa, en la formulación de hipótesis, es que esta deben ser observables y medibles, o sea tener referentes empíricos de la realidad, en este caso, todas las hipótesis o posibles explicaciones requirieron de la experimentación para la confrontación o corroboración.

De acuerdo con el análisis que se realizó a los artículos y ponencias realizadas por los grupos, las hipótesis establecidas se aproximan a hipótesis correlacionales o causales (variables independientes o dependientes) en donde se involucran términos estadísticos, ya que, especifican las relaciones entre dos o más variables, una de las dificultades encontradas fue que los grupos establecían que existían relaciones entre las variables, pero no se describía cómo eran esas relaciones.

Un grupo de investigación se aproximó a la formulación de una hipótesis nula, al afirmar que la especie vegetal Papiro chino no presentaría la rizofiltración como tipo de fitorremediación por su morfología, este tipo de hipótesis se caracteriza por negar o contradecir la relación entre las variables.

La redacción y formulación de las hipótesis causó en los estudiantes el replanteamiento de los objetivos de cada investigación, por tal motivo, al momento de formular una hipótesis, el investigador debe cuestionarse en los casos en los cuales pueden ser refutadas las hipótesis más que en los casos que pueden ser apoyados para que así tengan una mayor validez.

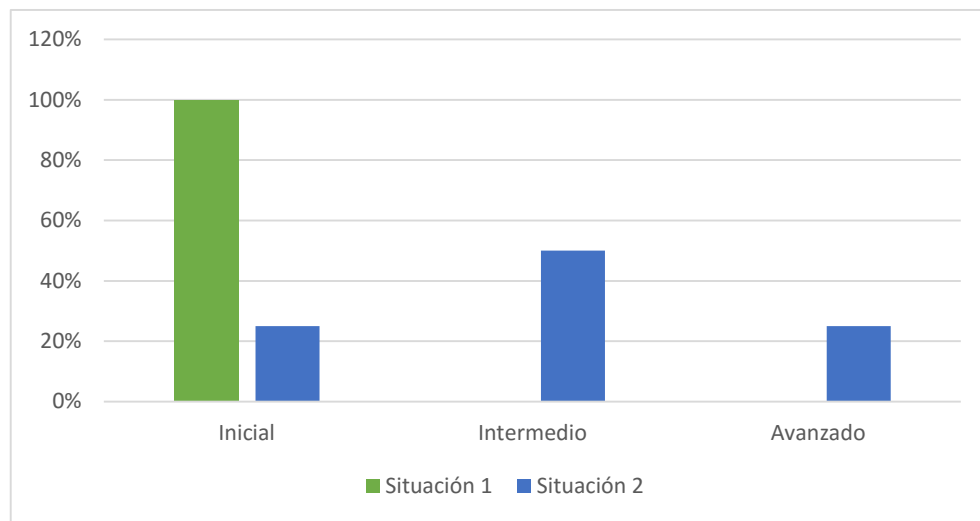
2. Experimentación

La experimentación es un método de investigación científica, el cual incluye también la descripción, comparación y el modelaje, la experimentación implica la manipulación de variables o condiciones. La experimentación científica determina la naturaleza de la relación entre variables las cuales deben estar descritas en una metodología o protocolos de trabajo.

Al dar solución a la situación problema 2, cada grupo de investigación diseñó montajes experimentales para realizar las determinaciones de cromo hexavalente y cromo total al cabo de un tiempo establecido con los cuales establecerían los porcentajes de remoción y retención, tipo de fitorremediación y modelo cinético de bioadsorción de las especies vegetales escogidas.

La experimentación como uno de los criterios que define las competencias científicas investigativas se divide en dos subcriterios, correspondientes a los aspectos metodológicos y a la forma como se sistematiza los resultados obtenidos.

Metodología



Gráfica 15
Cambios en los niveles: Experimentación (metodología)

En la gráfica 15 se presentan los cambios en los niveles a nivel general en la población en este criterio. En la situación problema 1, la mayoría de los grupos no formularon una hipótesis que permitiera evidenciar la manipulación y relación entre variables, por tal motivo, el 100% de la población se ajustó a un nivel inicial. Al presentar la segunda situación problema, los estudiantes establecieron la fitorremediación como la solución al problema planteado, cada grupo, en las asesorías hechas durante la implementación de la secuencia didáctica, debía proponer diseños experimentales o montajes experimentales que permitieran dar solución a la pregunta problema, por consenso general, se generalizaron los métodos analíticos para todos los grupos para llevar a cabo las determinaciones del metal captado por la especie vegetal.

Los desempeños presentes en la metodología se sintetizaban en el diseño de experimentos o montajes que permitieran corroborar o confrontar la hipótesis y establecimiento de variables. Los grupos de investigación en su mayoría plantearon montajes experimentales en los cuales se explicaban las condiciones, procedimientos y equipos que se utilizaron, de acuerdo con esto, el 50% de la población presentó un nivel intermedio, un 25% un nivel avanzado y el restante en un nivel básico. En la fase de exploración de la secuencia didáctica, los estudiantes debían diseñar montajes experimentales teniendo en cuenta el problema e hipótesis planteada, cada grupo elaboró un marco conceptual, al hablar de diseños, este se refiere al plan o estrategias (experimentales) concebidas para obtener la información que se desee, es el plan de acción a través de protocolos

experimentales, ya que el enfoque de todos los grupos era de tipo cuantitativo, los investigadores utilizaron diseños y montajes para analizar la certeza de las hipótesis formuladas.

Ya que el criterio general es la experimentación, antes de realizar cualquier tipo de actividad experimental, se establece un plan de trabajo que en este caso es la metodología, retomando la definición de experimento tomada de Gómez (2006) en donde establece: *“experimento es un estudio en el se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes, dentro de una situación de control creada por el investigador”*, es evidente que el investigador debe tener claridad de las variables para poder manipularlas y analizar los resultados, por eso en este criterio se incluye el establecimiento y relación entre las variables.

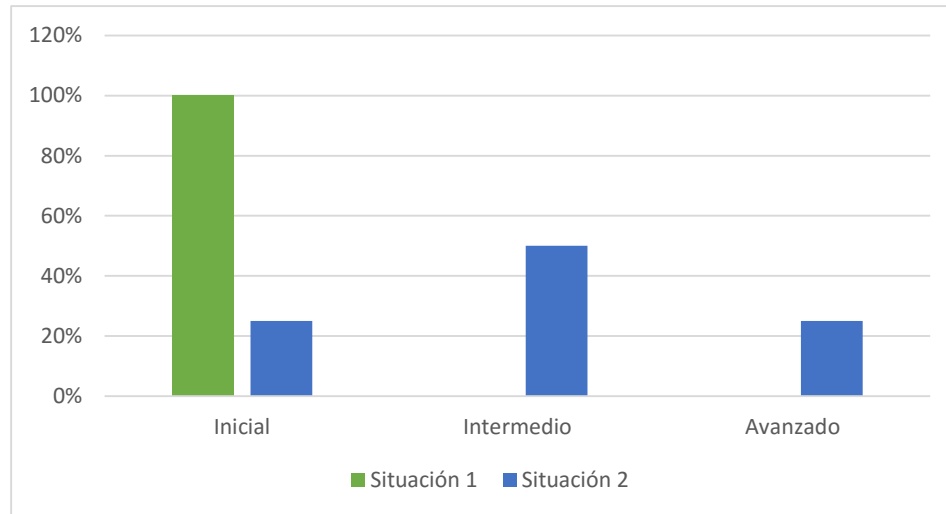
Los estudiantes presentaron diseños y montajes experimentales pertinentes para dar solución a la pregunta problema planteada que en su mayoría se orientaba en evaluar la capacidad fitorremediadora de cromo hexavalente en las especies vegetales, la mayor dificultad que se presentó en los grupos fue en el establecimiento de las variables, al revisar los artículos, implícitamente se identificaban las variables, pero al pedirles a los estudiantes que especificaran puntualmente las relaciones entre las variables y como estas se evidencian en los montajes experimentales presentaban ciertas falencias. Al tratarse experimentos puros o verdaderos, la manipulación de las variables es intencional, cada grupo podía modificar el tiempo de contacto de la especie vegetal con el contaminante (variable independiente) y observar si la concentración de las soluciones de cromo variaba y determinar si la especie retenía el metal, la variable dependiente no se manipula, se mide mediante las determinaciones y modelamiento matemático.

Al establecer una metodología de trabajo, depende del enfoque escogido y del planteamiento del problema, al tratarse de un enfoque cuantitativo, cada grupo selecciona el diseño de la metodología una vez que ha establecido y especificado el problema de investigación, desarrollado la perspectiva teórica y la formulación de hipótesis, es decir, en este enfoque se aplica una secuencia de pasos estructurados.

Las actividades realizadas en la fase de engranaje favorecieron a tres grupos de investigación en el desarrollo de este criterio de acuerdo a los resultados iniciales de los niveles de este criterio, los estudiantes asumían que el establecimiento de las relaciones entre las variables era obvio y no era

necesario explicarlo ante los otros grupos y en el artículo, por eso dos de los grupos quedaron en nivel intermedio y uno en avanzado.

Sistematización de los resultados



Gráfica 16

Cambios en los niveles: Experimentación (Sistematización de los resultados)

Una vez que cada grupo de investigación ejecuto los diseños y montajes experimentales para las determinaciones realizadas, en este criterio de la experimentación, se incluyó, la forma como los grupos sistematizaban los resultados obtenidos. Como se observa en la gráfica 16, en la situación 1, el 100% de la población se encontraba en un nivel inicial después de la implementación de la secuencia didáctica los niveles cambiaron, el 25% permaneció en el nivel inicial, mientras que el 50% de los estudiantes se ajustaron a un nivel intermedio y un 25% en un nivel avanzado. Los desempeños correspondientes a este subcriterio se orientaban a la forma como se presentaban los resultados y cómo se sistematizaron matemáticamente los datos obtenidos.

La sistematización es la conformación de un sistema, todo proceso investigativo debe contar con una estructura o sistema de pasos con el fin de obtener los resultados, en este caso, los estudiantes debían aplicar técnicas y modelos estadísticos para llegar a los resultados. Los resultados de las cuantificaciones realizadas se expresaron numéricamente, asociando valores concretos a las magnitudes medidas directamente e indirectamente, al asignar un determinado valor a una magnitud (concentración) mediante un proceso de medición, directa o indirecta, esta va ir acompañada de cierta imprecisión. El grupo de investigación 4 estableció en una recomendación

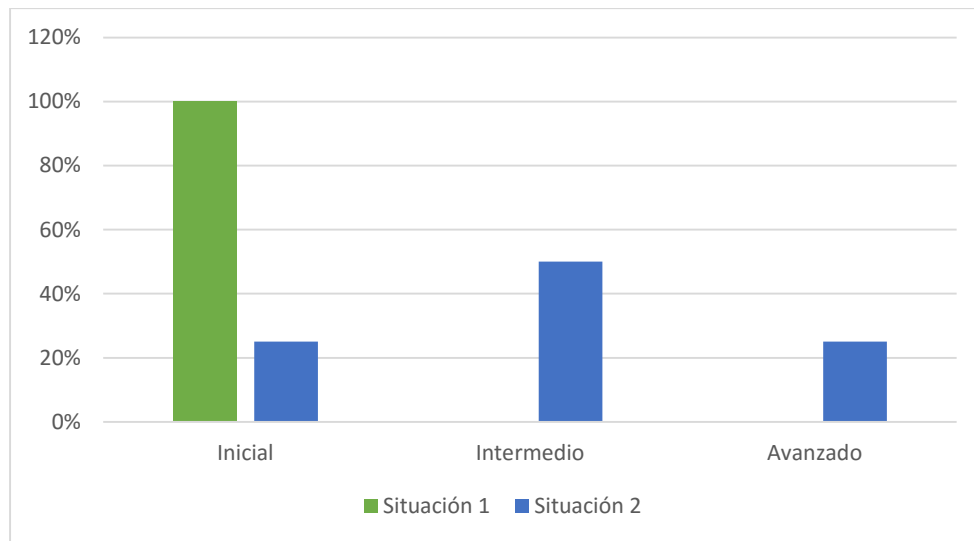
realizar nuevamente la determinación de cromo hexavalente ya que posiblemente pudo darse un error personal al darse una lectura inadecuada de la absorbancia en los equipos utilizados.

Todos los grupos de investigación expusieron los resultados experimentales manejando 3 o 4 cifras significativas en tablas y gráficas, en cuanto a la forma, este tipo de representaciones tenían las unidades de medida y contenían la información esencial. Las tablas se usan cuando se desean mostrar los datos más representativos y para indicar cambios importantes, por su parte, un gráfico permite obtener una impresión visual conjunta que facilita la comprensión de los datos, en los artículos analizados las gráficas son pertinentes, no se utilizan graficas tridimensionales, el manejo de los colores es adecuado para una fácil comprensión.

Una de las dificultades que se presentó en tres grupos de investigación fue la escasa explicación del tratamiento matemáticos de los datos, aunque en el artículo no era pertinente explicar este aspecto, los estudiantes debían entregar las hojas de cálculo como anexo para evidenciar el tratamiento estadístico, algunos grupos no incluyeron este anexo.

Luego de obtener los resultados tras los modelos estadísticos utilizados, los estudiantes los presentaron en el artículo y la ponencia en gráficas y tablas. Este tipo de representaciones permite una mejor visualización de los datos obtenidos. En la secuencia didáctica implementada, en la fase de explicación se abordaron los modelos matemáticos empleados en la sistematización de los datos (regresión lineal, modelos de pseudo primer y pseudo segundo orden), los estudiantes realizaron varios ejercicios teóricos para afianzar la explicación. En algunos grupos, estas actividades favorecieron el desarrollo de las competencias desde este criterio comparado con los resultados iniciales.

3. Argumentación



Gráfica 17
Cambios en los niveles: Argumentación

Una vez que cada grupo de investigación sistematizó los datos obtenidos, el grupo se encargó de analizar los resultados y elaborar un artículo científico y una ponencia ante el grupo. Para el análisis de los resultados era necesario que los estudiantes argumentaran dichos resultados en relación a la pregunta e hipótesis establecida. Al identificar las competencias científicas investigativas iniciales, la población en su totalidad presentó un nivel inicial en este criterio, después de la implementación de la secuencia didáctica la cual incluyó cinco fases descritas a través de un ciclo de aprendizaje, los niveles de las competencias en este criterio se modificaron, como se observa en la gráfica 17, el 25% de la población permaneció en el nivel inicial (1 grupo de investigación), el 50% (2 grupos de investigación) se ajustó a un nivel intermedio y el 25% (1 grupo de investigación) restante en un nivel avanzado. Los desempeños que evalúa este nivel corresponden a resolver el problema planteado a través de explicaciones que requieran de la argumentación y la discusión, así como la formulación de nuevos problemas de investigación.

Existen diversas definiciones frente a la argumentación, de acuerdo con Sanmartí (2003), es una actividad social, intelectual y verbal que sirve para justificar o refutar una opinión y que consiste en hacer declaraciones teniendo en cuenta al receptor y la finalidad con la cual se emiten, por su parte Jiménez (2003) propone que argumentar en ciencias es la capacidad de relacionar datos y conclusiones, de evaluar los resultados con los enunciados teóricos. Argumentar en ciencias

implica desarrollar habilidades que permitan evaluar enunciados a partir de pruebas, lo cual requiere analizar datos y contrastar teóricamente dichos resultados, la utilización de pruebas científicas permite elaborar y comunicar conclusiones e identificar los supuestos, pruebas y razonamiento que las sustentan.

El criterio de la argumentación define junto con los otros criterios mencionados anteriormente las competencias científicas investigativas ya que, a través de las pruebas realizadas, los investigadores elaboraron y comunicaron las conclusiones en las cuales se identificaron los razonamientos que las sustentan. En la implementación de la secuencia didáctica, en la fase de explicación, el grupo adquirió elementos conceptuales frente a la fitorremediación y la cinética de bioadsorción, lo cual contribuiría al desarrollo de explicaciones frente a los resultados obtenidos en la experimentación.

Los procesos de enseñanza y aprendizaje en los que se incluyen el razonamiento científico aporta significativamente al desarrollo de competencias científicas investigativas, ya que, teniendo en cuenta los aportes de Sarda (2000), la única manera para adquirir habilidades argumentativas es produciendo textos argumentativos en los cuales se discuten las razones, justificaciones y criterios necesarios respecto a una situación o problema.

La argumentación puede realizarse en distintos contextos, teóricos, empíricos, elección de modelos explicativos, toma de decisiones, confirmación de predicciones, en este trabajo investigativo, la argumentación se evidencio en la elaboración de un artículo científico y una ponencia donde se sintetiza todo el trabajo realizado. Para analizar este criterio se tuvo como referente las consideraciones de Sarda (2000), en donde afirma que una argumentación es válida cuando contiene datos justificados de forma relevante en función de razones fundamentales en el conocimiento científico, de la que surge una conclusión cuya fuerza estará influenciada por refutadores. Los grupos de investigación en su mayoría resolvieron el problema planteado al justificar los resultados obtenidos y estableciendo que la fitorremediación es una biotecnología ambientalmente positiva que puede aplicarse a gran escala ya que, la gran capacidad de las especies vegetales trabajadas pueden adsorber, metabolizar, acumular, estabilizar o volatilizar cromo hexavalente otorgan a esta tecnología, importantes ventajas sobre otros métodos fisicoquímicos convencionales de remediación de la contaminación.

Una de las mayores dificultades que se presentaron en este criterio se evidencio en las explicaciones propuestas de los modelos cinéticos de bioadsorción, al revisar las preguntas planteadas por los

grupos, ningún grupo profundizó en el tema, era la primera vez que se presentaban a los estudiantes los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden, y como estos modelos pueden predecir la velocidad y la forma como cada especie vegetal absorbe o adsorbe el metal, en el momento de construir argumentaciones sobre la cinética de bioadsorción, los grupos exhibieron falencias con el lenguaje específico de los procesos de adsorción (quimisorción y fisorción), al desconocer el significado de dichos procesos, los estudiantes no incluyeron la cinética de adsorción en las preguntas o hipótesis.

8.5 Análisis general de las competencias científicas investigativas alcanzadas por los estudiantes

Al finalizar la implementación de la secuencia didáctica, se evaluó la dicha secuencia a través de la revisión de los artículos científicos elaborados y la ponencia presentada, la población comprendió los rasgos característicos del conocimiento científico (fitorremediación) y evidenciaron la capacidad de identificar, explicar y tomar decisiones en el diseño de montajes experimentales involucrando biotecnologías amigables con el medio ambiente. La secuencia didáctica diseñada y ejecutada favoreció al desarrollo de competencias científicas investigativas a través de los desempeños establecidos organizados en tres criterios: Indagación, Experimentación y argumentación. Las actividades implementadas permitieron que los estudiantes se apropiaran de un proyecto de investigación en aula sobre la fitorremediación de metales pesados, en donde la actitud investigativa se fortaleciera en cada una de las etapas del ciclo de aprendizaje posibilitando el desarrollo de competencias investigativas.

Este proyecto de investigación permitió construir una mirada más crítica de las competencias investigativas que poseen y han adquirido los futuros docentes de química a través de los ciclos de fundamentación y profundización del programa de la licenciatura, lo cual hace reflexionar que no solo el docente necesita tener los conocimientos propios de la ciencia para ser competente, sino también tener en cuenta otros aspectos que se desarrollan quizás implícitamente, como la indagación, al plantear preguntas y explicaciones, la experimentación y la argumentación, estos elementos permitiría desenvolverse de una forma más eficaz. Al establecer la fitorremediación en un énfasis de tecnologías limpias se buscaba que los estudiantes adquirieran las herramientas necesarias para proponer soluciones reales y factibles a problemas ambientales y que no solo se quedara como una definición, al revisar las competencias que desarrolla el programa de

Licenciatura de la Universidad Pedagógica Nacional, las competencias investigativas buscan construir un sentido de la investigación a través de la documentación y análisis de diferentes perspectivas (Universidad Pedagógica Nacional, 2000), al adoptar actividades y metodologías que se enfoquen en identificar problemas, establecer posibles explicaciones, llevar a cabo experimentos, contrastar teóricamente los resultados, permitirá que los docentes en formación desarrollen este tipo de competencias.

Uno de los aspectos que causo más interés durante la implementación de la secuencia didáctica fue el hecho de que los estudiantes aseguraban que a lo largo de su formación académica no era común establecer y escribir puntualmente una hipótesis en un informe de laboratorio o artículo, estaban acostumbrados a realizar las practicas experimentales sin una preparación previa, por tal motivo, es de gran importancia, incluir en diferentes espacios académicos, actividades o secuencias didácticas que impliquen la resolución de problemas a través de la investigación desde los primeros semestres de la licenciatura, de tal forma que los estudiantes adquieran habilidades para observar, preguntar, planear, registrar, sistematizar, argumentar y escribir acerca de los fenómenos investigados.

9 CONCLUSIONES

La secuencia didáctica entendida en este trabajo investigativo como una estructura de actividades e interacciones relacionadas entre sí sobre la fitorremediación de cromo hexavalente, favoreció al desarrollo de las competencias científicas investigativas en los estudiantes participantes, ya que, con el planteamiento de una pregunta, cada grupo de investigación generó explicaciones para luego deducir las consecuencias lógicas de estas explicaciones y diseñar y ejecutar experimentos para comprobarlos. El análisis de los resultados experimentales permitió comprobar las hipótesis, los estudiantes dieron solución a las situaciones problema establecidas desde los roles correspondientes. Establecer situaciones problema reales con un contenido ambiental incrementó el desarrollo de los argumentos por parte de los estudiantes, les permitió apropiarse de un nuevo término como lo fue la fitorremediación, lo cual fortaleció las habilidades al momento de discutir frente a los resultados experimentales y desarrolló juicios propios que forman un pensamiento crítico frente a las problemáticas del contexto.

Los ciclos de aprendizaje son un modelo de enseñanza que integra la investigación, este se empleó en este trabajo de investigación para diseñar las secuencias didácticas en cinco fases (engranaje, exploración, explicación, elaboración y evaluación). Con la implementación de este ciclo los estudiantes construyeron la comprensión acerca de la fitorremediación consolidando un proyecto de investigación en el aula, en el cual los estudiantes plantearon y analizaron problemas de investigación, hicieron inferencias, relacionaron variables, redactaron artículos científicos, construyeron herramientas para llevar a cabo procesos de observación y análisis de documentos e interpretar resultados con el fin de solucionar problemas ambientales generados por la contaminación de cromo hexavalente.

La implementación de la secuencia didáctica favoreció el desarrollo de competencias científicas investigativas en los grupos de investigación conformados por los estudiantes del énfasis de tecnologías limpias del programa de la Licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, debido a que la implementación de la situación problema 1 titulada “Tras los pasos del cromo” los niveles generales de las competencias en los estudiantes se ajustaron en un 75% en un nivel inicial en la indagación y metodología y un 100% en un nivel inicial en sistematización de los resultados y argumentación, tras la implementación de la situación 2 titulada “Sin solución a las curtiembres”, en donde se establece la fitorremediación como una solución a un problema

ambiental, los niveles de las competencias científicas investigativas cambiaron significativamente, el 75% de los grupos de investigación se ajustó a un nivel intermedio en la indagación, 75% en un nivel avanzado en la metodología y un 50% en un nivel intermedio para la sistematización de los resultados y argumentación.

El diseño y estudio cuasi experimentales permitió evaluar los cambios de los niveles de las competencias alcanzados por los estudiantes tras la implementación de la secuencia didáctica, aunque este tipo de diseño no involucro un grupo de control, con la identificación de las competencias iniciales se compararon los porcentajes de la población en general en los criterios mencionados anteriormente para evidenciar los cambios en los niveles y constatar que la secuencia permitió favorecer y fortalecer el desarrollo de estas competencias a partir de la solución de situaciones problemas.

Tras la fase de experimentación, se identificó que la especie *Eichhornia crassipes* posee el mayor porcentaje de retención, este representa la cantidad de cromo hexavalente que ha adsorbido la especie vegetal al cabo de las 120 de horas de contacto; esta especie retiene 78,56% del contaminante, mientras que las especies *Cyperus papyrus* y *Spathiphyllum wallisi* retienen 70,13% y 50,62%, respectivamente. En las tres especies analizadas los efectos a causa de la exposición del contaminante empiezan en la raíz, ya que este es el órgano responsable de asimilar los nutrientes del medio, y afectan sucesivamente el resto de la planta. El cromo hexavalente se transporta aparentemente desde la raíz hasta las hojas mediante una serie células tubulares que pertenecen a un tejido leñoso denominado xilema. La fuerza que mueve esta solución no radica en las células del tejido xilemático, sino en dos tipos de fuerza, la osmosis y succión.

El tipo de fitorremediación posiblemente presentados en las especies vegetales se aproximan, para el caso de la especie *Eichhornia crassipes* y *Cyperus papyrus* es la rizofiltración y fitoextracción, para la especie *Spathiphyllum wallisi* y *Dracaena braunii* se presenta la fitoextracción y fitovolatilización.

10 RECOMENDACIONES

Este trabajo de investigación busco favorecer al desarrollo de competencias científicas investigativas en los estudiantes del último año del programa de Licenciatura en química, los cuales se encuentran en un ciclo de profundización, sin embargo, tras la implementación de la secuencia didáctica se encontraron ciertas falencias en cuanto a la formulación y redacción de hipótesis, los estudiantes tenían claridad frente a lo que debían hacer para resolver la pregunta problema pero dejaban muchos aspectos explicativos de forma implícita, por tal motivo, se sugiere, implementar este tipo de actividades desde los primeros semestres de la Licenciatura, donde el estudiante se enfrente a situaciones reales donde implique formular problemas de investigación y posibles explicaciones.

Teniendo en cuenta los desempeños establecidos por Chona et al (2006), en este trabajo se decidió reorganizar los desempeños en tres criterios (indagación, experimentación y argumentación) que definen las competencias científicas investigativas, algunos desempeños se ajustaron y complementaron de los desempeños originales ya que se adaptaron al tipo de población, el diseño y estudio cuasi-experimental es un óptimo enfoque metodológico para analizar el impacto de estrategias didácticas, ya que estudia los cambios que se observan en los sujetos en función del tiempo de la implementación.

De acuerdo a los resultados experimentales de las especies vegetales tratadas, se podría contemplar la fitorremediación en la remoción de cromo hexavalente como una posible solución al tratamiento de aguas residuales generadas en los procesos de curtido de las curtiembres, se podrían elaborar pruebas piloto con aguas residuales reales ya que durante la experimentación se usaron aguas preparadas. Como recomendación frente a la fitorremediación, se deben buscar alternativas eficientes para tratar la biomasa generada en los procesos de remediación.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, J. (2002). Experiencias en biotecnología. Tesis de pregrado. Universidad de Buenos Aires. Departamento de Biología y Biotecnología.
- Acevedo, J., Vasquez, A. y Manassero, M. (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Volumen 2* (2), 80-111
- Álvarez, S.; Maldonado, M.; Gerth, A. y Kusch, P. (2004) Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo. *Inf. tecnol.* [online]. *Volumen* (15), 75-80
- Artuz, L. (2012). Las industrias curtiembres y su incidencia en la contaminación del Río Bogotá. *Revista digital Isocuanta, Volumen* (1), 45-52
- Atehortua, E. & Gartner, C. (2013). Estudios preliminares de la biomasa seca de eichhornia crassipes como adsorbente de plomo y cromo en aguas. *Colombiana de materiales, Volumen* (4). 81-92
- Bedoya, J., Ardila, A., Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de aguas residuales generadas en la institución universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Rev. Int. Contam. Ambie. Volumen* 30 (2) 275-283
- Beltrán, M. (2010). Una cuestión socio-científica motivarte para trabajar pensamiento crítico. Zona próxima. *Revista del Instituto de estudios en educación. Volumen* (12), 23-31
- Benítez, I. (2011). Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas jacinto de agua (eichhornia crassipes) y tul (thypa spp) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales la cerra, villa canales por medio de fluorescencia de rayos x. Tesis inédita de maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala
- Benítez, R., Calero, V., Peña, E. & Martin, J. (2011). *Evaluación de la cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua (eichhornia crassipes). Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial,* 9(2), pp. 66-73 Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-3561201100020000

Brown, F. (2003). Aprendizaje mediante la investigación: enseñanza para el cambio conceptual en la educación ambiental. *Revista Green Teacher* 71. Volumen (5), 31-34.

Brunner, I., Luster, J., Günthardt-Goerg, M.S., Frey, B., (2008). Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution* 152, 559-568

Castro, A. y Salcedo, L. (2008). Situaciones problema en ciencias naturales como punto de partida para desarrollar competencias interpretativas, argumentativas y propositivas. *Revista Memorias IIEC. Volumen* (2), 91-96.

Camacho, H., Castilla, D. (2009). La indagación: una estrategia innovadora para el aprendizaje de procesos de investigación. *Revista Laurus educación. Volumen* (14). Número 16. 33-42.

Canal, P y Porlan, R. (1987). Una experiencia de aprendizaje por investigación directa del medio en la formación de maestros. *Simposio sobre Teoría y Práctica de la Innovación en la Formación y el Perfeccionamiento del Profesorado*. M.E.C. Madrid.

Cejas, Y. E. (2006). La formación de competencias laborales: proyecto de diseño curricular para el técnico en Farmacia Industrial. Tesis en opción al título de Dra. en Ciencias Pedagógicas. Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona. Ciudad de la Habana. Cuba.

Cuberos, E., Rodríguez, E., (2009). Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de las curtiembres en Bogotá. *Revista Salud Publica. Volumen* (11), 278-289.

Chona, G., Arteta, J., Martínez, S., Ibáñez, X., Pedraza, M., Fonseca, G. (2006). ¿Qué competencias científicas promovemos en el aula? *Revista TEA. Volumen* (20), 62-79.

Cheng, H. y Mulla, D. (1999). The soil Environment, pp. 1-13. In: Bioremediation of contaminated soils. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Davis, H. (2003). "Pesticides in canals of South Florida". *Arch. Environ. Contam.Toxicol.* 32: 337-345.

Dewey, J. (1929). *The quest for certainty*. Editorial. Putma, New York

Dewey, J. (1965). *La Relación Teoría Práctica en Educación*. Buenos Aires. Editorial Losada

- Flaherty, E. (1993). Chromium as an essential and toxic metals. *Scandinavian Journal Working Environmental Health*. Vol (19). 124-126
- Flathman, P., Lanza, G. (1998). Phytoremediation: current views on emergent green technology. *Journal of soil contamination* 7:415-432.
- García, G., Ladino, Y. (2009). Desarrollo de competencias científicas a través de proyectos de investigación escolar orientados por el modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación. *Revista Studiositas*. Volumen (3), 7-16.
- Gallego, R. (1999). Competencias Cognoscitivas: Un enfoque epistemológico, pedagógico y didáctico. Editorial Magisterio. Bogotá.
- Garritz, A. (2006). Naturaleza de La Ciencia e Indagación: Cuestiones Fundamentales Para La Educación Científica Del Ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, Volumen (20).
- Jiménez, M., Díaz, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: Cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*. Volumen 3, 359-370.
- Hernández, C., Rocha, A., Verano, L. (1998). Las competencias como posible objeto de evaluación: elementos teóricos. *Serie de investigación y Evaluación educativa*. Volumen (4).
- Higuera, F., Flórez, L., Arroyave, J. (2009). Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias de cueros. *Revista Dyna*. Volumen 76 (160). 107-119.
- Ho y Mackey. (1999) Pseudo second order model for sorption processes. *Processes Biochemistry*. 451-459.
- Hodson, D. (1994). Seeking directions for change the personalisation and politisation of science education. *Curriculum Studies*, 2 (1), 71-98.
- Karplus, R (1980). Teaching for the development of reasoning, en Lawson, A.E. (ed.), *AETS Yearbook: The Psychology of Teaching from Thiking and Creativity*.

Kyambadde J. (2004). A comparative study of *Cyperus papyrus* and *Miscanthidium violaceum*-based constructed wetlands for wastewater treatment in a tropical climate. *Water Res* 38:475–485

Lawson, A. (1994). Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Revista Enseñanza de las ciencias. Volumen 12 (2)*. 165-167.

León, O. y Toro, P. (2007). Métodos de investigación en psicología y educación. Editorial UOC , Tercera edición. Capítulo 11.

León, O. y Montero, I. (2008). Metodologías científicas en psicología. Editorial UOC. Cuarta edición. México.

Meldivieso, M. (2006). Hacia un aprendizaje comprensivo de la investigación. *Revista TEA. Volumen (18)*, 65-71

Mellado, V. (1998). The classroom practice of preservice teachers and their conceptions of teaching and learning science. *Science Educations*, 82 (2). 197-214.

Molina, M. (2012). Argumentar en clases de ciencias naturales: una revisión bibliográfica. *Actas III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación*. Universidad Nacional de La Plata.

Montaña, K.; Moreno, P.; Torres, A.; y Rodríguez, R. (2009). Obtención de biodiesel usando fenómenos catalíticos a partir de la semilla de la *Jatropha curcas*. Una estrategia para el desarrollo de competencias investigativas. *Revista TEA. Volumen (2)*, 89-93

Morikawa, H.y, Erkin, O. (2003). “Basic processes in phytoremediation and some applications to air pollution control”. *Chemosphere. Vol. 52* 1553–1558.

Navarro, P., Aguilar, A., López, K., Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16: 10-25.

Oferta y desarrollo de programas académicos de educación superior, Decreto 1295, Capítulo 2, artículo 5, 2010, 20, abril.

ONIDI (1994). “Estudio de asistencia a la zona industrial de curtiembres de San Benito”. Secretaria de ambiente. Bogotá.

Organista, P. (2000). El concepto de competencias: una mirada histórica desde la psicología de la cognición. *Cuadernos hispanoamericanos de psicología. Volumen (7)*, 69-76

Orozco, A., Enamorado, E., Arteta, J. (2012). Concepciones de la competencia científica indagar en docentes de ciencias naturales. *Revista EDUCyT. Vol. Extraordinario*. 34-23

Parada G. (2001). “La fitorremediación: una experiencia que debería formar parte de nuestra educación ambiental básica”. Instituto de Ecología y Ambiente Humano

Patiño, F. (2015). Estudio comparativo de la capacidad depuradora de *Cyperus papyrus* en humedales artificiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el cantón Santa Isabel. (tesis de pregrado). Universidad de la Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Pilon, S. (2005). Phytoremediation. Biology Department, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Rubinos, D. (2007) Utilización de lodos rojos de bauxita en la contención e inactivación de residuos tóxicos y peligrosos. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

Ruiz, A., Torres, E. (2005). La formación de competencias ciudadanas. Publicaciones Facino. Universidad de los Andes. Bogotá.

Saad, I., Castillo, J., Rebolledo, D. (2009) Fitorremediación: estudio de la inteligencia tecnológica competitiva. *Revista Sincco. Volumen (6)*

Sánchez, J., Torres, L. (2012). Fitorremediación de Mercurio como una estrategia para el desarrollo de habilidades argumentativas. Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.

Saunders M (2007) Fluxes of carbon and water in *Cyperus papyrus* L. tropical wetlands. Ph.D Thesis, University of Dublin, Trinity College, Ireland

Sarda, A.y Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*.3, 405-422.

Tapia, N. (2002). “Adsorción y Biosorción, mecanismo y principales modelos para describir el fenómeno de biosorción”, Proyecto Palma PUCP. 35-50

Tamayo, M. (2002). Modulo: La investigación. Serie aprender a investigar. ICFES. Bogotá.

Tejeda J.C. (2010). Diseño de un humedal para la remoción de Cd, As y Cr con plantas de *Typha latifolia* (espadaña). Tesis de maestría en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 121 pp.

Tellez, M., Carvajal, R., Gaitan, A. (2003). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Revista Facultad de medicina UNAL. Volumen 2.* 45-59.

Trowbridge, W. y, Bybee, R. (1997). Teaching secondary School Science. *Merril Publishing Company. Volumen (12),* 32-35

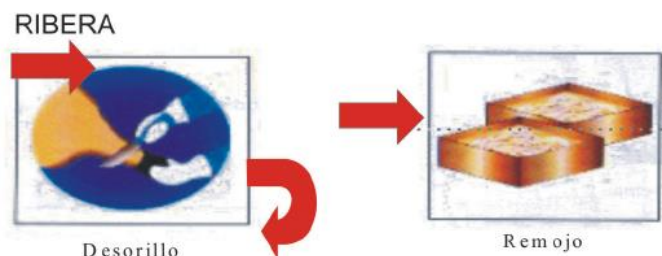
Universidad Pedagógica Nacional. (2015). *Competencias del programa de Licenciatura en química*. Recuperado de <http://www.pedagogica.edu.co/>

12 APENDICES

APENDICE A

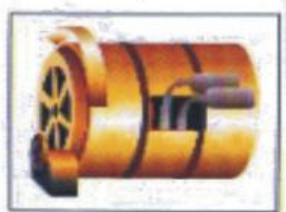
PROCESO DE PRODUCCION DE LAS CURTIEMBRES (Téllez, et al, 2003)

FASE DE RIBERA



Se inicia con la recepción de las pieles provenientes de los centros de sacrificio o mataderos, se salan y se efectúa un proceso de selección de acuerdo a la calidad de las mismas, el remojo tiene por objeto retirar de las pieles la sal, sangre, estiercol e impurezas adheridas, mediante el uso de agua y agentes humectantes o tensoactivos como soda cáustica, bicarbonato de sodio y otros álcalis.

Pelambre y encalado



El apelmbrado y depilado consiste en sumergir las pieles en una solución alcalina de sulfuro de sodio, cal y agua para blanquearla o encalarla con el propósito de remover el pelo de la piel, saponificar en forma parcial las grasas naturales y dilatar las fibras para el posterior curtido.

FASE DE CURTIDO

Esta etapa se inicia con el desencalado que consiste en remover el sulfuro de sodio y la cal de la piel mediante el uso de dióxido de carbono y sulfato de amonio, con el fin de eliminar la alcalinidad de la misma, también se adicionan enzimas pancreáticas y bacteriales con el fin de modificar la proteína de las fibras de la piel y convertirla en suave y flexible que facilite la penetración de los curtientes; se continúa con el piquelado que consiste en tratar las pieles con ácidos y sales como el sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, acético y cloruro sódico, para dar a la piel pH entre 2 y 3.5 y recibir el curtido mineral a base de cromo; en el curtido se aplica a la piel un curtiente vegetal o mineral para formar un complejo (cuero) resistente a la degradación física o biológica, los curtientes vegetales son principalmente taninos, mientras los curtientes minerales son compuestos químicos inorgánicos derivados especialmente de cromo, circonio, aluminio y hierro;





El escurrido es la operación mecánica mediante la cual el cuero pierde la humedad y aumenta su área; por último el rebajado consiste en rebajar mecánicamente el calibre del cuero hasta obtener un espesor uniforme.

FASE DE ACABADO



En esta fase se involucran operaciones que permiten que la piel pueda ser curtida mediante la utilización de productos químicos y transformada finalmente en cuero; al final de esta etapa se obtiene el denominado **"wet blue"** y la piel pasa a denominarse cuero. Esta fase comprende varios subprocesos como el recurtido, engrase y teñido, secado y terminado. El recurtido consiste en someter el cuero nuevamente a agentes curtientes como el cromo con el objeto de afianzar el fijado de las fibras del cuero al

curtiente. El teñido y engrase consiste en darle al cuero el color deseado mediante colorantes y restituirle las grasas perdidas mediante la aplicación de engrasantes dándole al cuero mayor elasticidad, textura y brillo, para la fijación de los engrasantes y colorantes se emplea ácido fórmico o sulfúrico; el secado consiste en eliminar la humedad de los cueros en forma mecánica; por último el terminado consiste en aplicar al cuero tratamientos de superficie para darle mayor resistencia al medio ambiente, mejorar el brillo y la textura. (Téllez, et al, 2003)



APENDICE B

TOXICOLOGIA DEL CROMO (AST, 2012)

El cromo es un elemento que ocurre naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos para formar varios compuestos. Las tres formas principales del cromo son: cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Pequeñas cantidades de cromo (III) son necesarias para mantener buena salud.		
Fuente	Se puede encontrar cromo en el aire, el suelo y el agua después de ser liberado por industrias que usan cromo, tales como industrias involucradas en galvanoplastia, curtido de cuero, producción de textiles, y en la manufactura de productos en base a cromo.	
Degradación	El cromo generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua. El cromo puede cambiar de una forma a otra en el agua y el suelo, dependiendo de las condiciones presentes.	
Exposición	Aire	El cromo se puede liberar al aire desde: industrias que usan o manufacturan cromo, sitios de desechos peligrosos que contienen cromo y humo de cigarrillo
	El agua y el suelo	Ocasionalmente se detecta cromo en muestras de agua subterránea, agua potable o de suelo. Exposición al cromo puede ocurrir: bebiendo agua que contiene cromo o bañándose en agua que contiene cromo
Organismo	Inhalación	Cierta cantidad de cromo entrará al cuerpo a través de los pulmones. Algunas formas de cromo pueden permanecer en los pulmones durante años.
	Ingestión	Un pequeño porcentaje del cromo que se ingiere entrará al cuerpo a través del tubo digestivo.
	Contacto cutáneo	Cuando la piel entra en contacto con cromo, pequeñas cantidades de cromo entrarán al cuerpo.
Toxicología	Vías respiratorias	El problema de salud más común que ocurre en trabajadores expuestos al cromo involucra a las vías respiratorias. Estos efectos incluyen irritación del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, y problemas para respirar (asma, tos, falta de aliento, respiración jadeante).
	Cáncer	La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. El undécimo Informe sobre Sustancias Carcinogénicas del Programa Nacional de Toxicología clasifica a los compuestos de cromo (VI) como sustancias reconocidas como carcinogénicas en seres humanos. En trabajadores, la inhalación de cromo (VI) ha causado cáncer del pulmón. Los estudios de poblaciones que viven en áreas con niveles altos de cromo (VI) han dado resultados mixtos.

APENDICE C

TRAS LOS PASOS DEL CROMO

“Mientras la Secretaría de Salud se muestra alarmada por los índices de Cromo en la sangre y cabello de sus habitantes, ellos creen que los quieren sacar de allí para expandir el relleno sanitario”

Por: Tomado y adaptado Elespectador.com
21 Ene 2011 - 10:28 pm



Isaías Ramírez, habitante de la zona, explica que el nacedero de la quebrada La Porquera no tiene problemas de Cromo

Los habitantes de Mochuelo Alto, al suroccidente de Bogotá, se despertaron ayer alarmados por la noticia de que por las venas de su acueducto veredal corría Cromo, pero más los alarmó el hecho de que RCN informara que se estaba pensando en reubicarlos. De inmediato se corrió la voz: que el agua está envenenada y nos van a sacar, se decía; pero ellos no le temen al Cromo, le temen más a tener

que salir de las tierras que durante años han cultivado.

Miriam Páez, líder de la vereda, manifestó que lo ocurrido es una "falsa alarma" y sostuvo que ha consumido del agua del acueducto Asoporquera y no le ha ocurrido nada. Está segura que más perjuicios le puede causar a su comunidad la cercanía al relleno Doña Juana.

Por su parte, Héctor Zambrano, secretario de Salud del Distrito, menciona que se realizó un análisis de laboratorio a 44 muestras de personas residentes en ese sector encontrando presencia de Cromo por encima de los límites permitidos para la salud en la orina de una persona, en la sangre de otras dos, y en otros 33 habitantes se halló que en un 75% de estos, la concentración de Cromo era superior al máximo aceptable.

Agregó, que esos análisis se comenzaron a hacer, luego de que hace cerca de un año, las mediciones de la calidad del agua de uno de los acueductos veredales que abastece a esa zona de la ciudad presentaban trazas de Cromo Hexavalente, por encima de los límites fijados por las normas nacionales.

La normatividad permite que el agua para consumo humano tenga un máximo de concentración de Cromo hexavalente de 0.001 miligramos por litro, pero en el agua estudiada se halló que contenía hasta 7 miligramos de ese metal. La presencia de Cr (VI) en altos niveles constituye un gran riesgo para la salud pública, pues la sustancia puede generar cáncer, enfermedades degenerativas y neurológicas, malformaciones e interrupciones de embarazos. Ese es el gran riesgo que parece asomarse por esta zona rural de la ciudad, de no más de 40 casas, desgarrada por la actividad de curtido de cueros y en la que lo único que divide el basurero bogotano y los sembrados de papa es una triste carretera destapada.

Sin embargo, Miriam Páez aseguró que ellos mismos buscarán determinar con "un estudio confiable" si hay contaminación, e investigarán la posibilidad de que manos criminales hayan estado relacionadas con el hecho para presionar su salida del lugar, pues varios sectores económicos estarían interesados en adquirir tierras en esa zona.

Para Julio Fierro, geólogo que ha trabajado desde hace años el tema de las canteras en este sector de la ciudad, desde el punto de vista geológico es imposible que el Cromo sea una manifestación natural, debido a que es una zona de rocas sedimentarias.

Según Fierro, esta sustancia puede provenir de tres escenarios: por la contaminación de las curtiembres ubicadas en el barrio San Benito las cuales están relativamente cerca de la quebrada o por un vertimiento accidental desde la base militar ubicada en la parte alta del cerro.

Cristina Bustos, investigadora de la U. Nacional, asegura que el agua en la zona no cumple con los estándares mínimos de calidad. En un comunicado de la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAAB), se aclara que no operan las aguas contaminadas en Mochuelo Alto, por lo que la responsabilidad de éstas la tienen los acueductos veredales que administra la comunidad. Sobre el respecto, el Secretario de Salud afirmó que ha pedido varias veces a la EAAB hacerse cargo de los acueductos veredales, pero su elevado costo no lo permite; de otro lado varios grupos de investigación de varias entidades del país han propuesto diferentes soluciones a dicha problemática, existe un grupo de investigación que proponen utilizar una tecnología sustentable que emplea algunos tipos de organismos para remover este metal de tal forma que se disminuya su peligrosidad en el agua; la técnica propuesta se denomina **biorremediación específicamente con bacterias**, por otro lado, un segundo grupo propone la **biorremediación con hongos** para remediar el metal, un tercer grupo propone la utilización de **biomasa** como material absorbente y por último el cuarto grupo propone la **fitorremediación**.

Pero los habitantes de Mochuelo Alto tienen otra versión de lo que está pasando con el Cromo. Para Edison Montaña, uno de los cinco veedores ambientales, ellos no tienen problema con el líquido: *“Desde que nací he tomado agua de la llave y no estoy enfermo. Aquí el problema es otro y lo quieren tapar. Ellos han intentado voltear la información para sacarnos de esta zona, porque aquí se han planeado muchos proyectos económicos. La EPM tiene pensado pasar energía, la Longitudinal del Sur y la expansión del relleno. Para realizar esos proyectos necesitan esta tierra”*.

En este barrio de la capital existen desde hace décadas problemas sin solucionar. Todos referenciados por las autoridades distritales como posibles fuentes del vertimiento de Cromo. La hipótesis señala al parque minero, al relleno sanitario de Doña Juana (que recibe diariamente más de 6.000 toneladas de desechos producidos en la ciudad) y a los cultivos de papa que cada vez se trepan más en los páramos. Todas estas hipótesis van por el mismo camino, la comunidad de Mochuelo Alto no ha sido protegida contra estos factores de contaminación. Otro habitante, cuyo nombre pidió no ser publicado, se inclina por una vieja tesis que involucra al vecino más famoso del sector: *“Quieren sacarnos para expandir el relleno”*.

En cuanto a los residuos agrícolas, los lugareños dicen que las autoridades ambientales no han sido diligentes para proteger los nacederos. “La CAR ha sido incapaz de ponerlos (a los cultivadores) en cintura, porque ellos pagan para que los dejen sembrar con sus químicos y tumbar el monte”, dice Lucí Hernández.

Tras el escándalo por la aparición de cromo en la zona hay dos versiones: la oficial y la de los habitantes de Mochuelo Alto, pero lo que sí queda claro es que una y otra van por el mismo canal: falta atención a la problemática ambiental y social del sector, atacado con basura, agroquímicos y retroexcavadoras.

CASO SIMULADO

FUNCIONES DE LOS ROLES INVESTIGATIVOS

Este anexo presenta la de forma general, la función que debe desempeñar cada rol investigativo. Se planteó una pregunta general para que cada grupo de investigación desde su rol diseñó una propuesta investigativa.

¿Cuál es la mejor alternativa para solucionar el problema socio-ambiental generado en la quebrada por la contaminación de Cromo (VI)?

ACTOR	FUNCION
Moderador Docente investigador	Se encargó de presentar la noticia, organizar la controversia, moderar, y presentar una relatoría de la sesión
Grupo de investigación 1	Investigar y argumentar su postura al decir que la biorremediación con bacterias es la mejor estrategia para solucionar la problemática ambiental. Exponer la propuesta investigativa.
Grupo de investigación 2	Investigar y argumentar su postura al decir que la biorremediación con hongos es la mejor estrategia para solucionar la problemática ambiental. Exponer la propuesta investigativa.
Grupo de investigación 3	Investigar y argumentar su postura al decir que el uso de la biomasa es la mejor estrategia para solucionar la problemática ambiental. Exponer la propuesta investigativa.
Grupo de investigación 4	Investigar y argumentar su postura al decir que la fitorremediación es la mejor estrategia para solucionar la problemática ambiental. Exponer la propuesta investigativa.
Conciliador Docente investigador	Hacer las respectivas conclusiones después de terminar el debate teniendo en cuenta todos los aportes hechos por los roles.

Para el debate, cada grupo de investigación, elaboro un documento (artículo científico) donde expuso la formulación de un problema de investigación, el planteamiento de hipótesis la metodología (montajes experimentales), sistematización de la información de acuerdo al rol investigativo. Cada grupo tuvo de 20 min para presentar la propuesta e incluído un espacio para responder preguntas por parte de los otros grupos de investigación. Al final de la sesión el conciliador realizó unas conclusiones de los diferentes roles.

APENDICE D

SIN SOLUCIÓN A LAS CURTIEMBRES

TOMADO: www.elspectador.com.co
BOGOTÁ 24 ABR 2014 - 10:27 PM

Para descontaminar el río Bogotá antes de 2044, como lo ordenó el Consejo de Estado, las autoridades ambientales deberán formular un plan para las empresas de cuero.



Por: Santiago Valenzuela. Dos curtiembres, de 110 que existen en Chocontá y Villapinzón, cuentan con permisos ambientales. / Gustavo Torrijos

El deterioro ambiental de la cuenca alta del río Bogotá tiene origen en Villapinzón y Chocontá. Las empresas de curtiembre asentadas en la ronda del río han sido el principal agente de contaminación, aunque se suman los desechos de ambos municipios, que no cuentan con plantas domésticas de tratamiento residual. Este escenario es uno de los primeros a intervenir para que el río Bogotá, como lo ordenó el Consejo de Estado, sea descontaminado antes de 2044.

Detrás de la purificación del río está la tradición de cientos de familias que han utilizado el cuerpo de agua para convertir la piel de los animales en cuero. Por esta actividad, según estudios de la Universidad Nacional, el río ha recibido químicos como sulfuro y cromo, ambos indispensables para la producción de cuero. Antes de 2017, como lo estipuló el Consejo de Estado, la ronda del río debe estar libre de curtiembres.

De las 74 empresas de curtiembre que la Secretaría de Ambiente de la Gobernación de Cundinamarca tiene registradas en Villapinzón, solamente dos cumplen con las normas ambientales. De estas empresas dependen 662 personas que trabajan en la industria del cuero. Si se suman las de Chocontá (ver infografía), son 862 empleos generados por las compañías de cuero.

Descontaminar el río sin afectar la producción de cuero es el dilema que las autoridades ambientales tienen que enfrentar. Sin embargo, es poco lo que han hecho en los últimos años para resolverlo. Tanto la Gobernación como la Alcaldía de Villapinzón y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) han señalado que reubicar a las empresas de curtiembres en menos de tres años es un objetivo difícil de cumplir.

Los planes para recuperar la ronda del río no están tan claros. Por un lado, existe una propuesta formulada desde 2006 para construir un parque ‘ecoficiente’ en la vereda Chingacio, ubicada en Chocontá, en donde las empresas curtidoras podrán trabajar sin contaminar el río y con una planta común para el tratamiento de agua. Por otro, los dueños de las empresas de curtiembre han señalado que lo más eficiente es construir un conector por toda la ronda del río Bogotá que recoja las aguas residuales. Ambos proyectos, como lo pudo confirmar este diario, no han sido estructurados.

La propuesta del parque tomó forma durante la administración de Andrés González Díaz (2008-2011). Los diseños, el área de construcción y las características arquitectónicas quedaron

archivados en la Gobernación. Según la Secretaría de Ambiente, los diseños propuestos no se ajustan del todo a las aspiraciones del Consejo de Estado.

Aunque la idea no ha sido descartada, en la Gobernación sostienen que es necesario realizar “algunos ajustes” para que sea viable. Marcela Orduz, secretaria de Ambiente de la Gobernación, le dijo a este diario que “el parque está por fuera de cualquier proyección presupuestal del departamento y el Distrito. Necesitamos recursos adicionales por parte del Gobierno Nacional. El lote ya fue seleccionado, pero es necesario considerar que hay que indemnizar a las empresas curtidoras”.

Para el alcalde de Villapinzón, Hernán Rogelio Garzón, existen varias dudas sobre el proceso de reubicación: “No sabemos exactamente cuántos curtidores tendrán que ser reubicados en el parque. Y lo más complicado: ¿quién paga la reubicación?, ¿quién asume el costo de las instalaciones?, ¿en qué circunstancias se van a entregar los terrenos?”.

Hasta el momento, explica el director de la CAR, Alfred Ignacio Ballesteros, “se tiene planeada una forma de permuta, que las empresas le entreguen los predios a la CAR y nosotros los reubicamos en la vereda Chingacio. En lo que tiene que ver con la financiación, nosotros consideramos que ellos, como sector privado, tendrán que hacer un esfuerzo y el Gobierno Nacional tiene que meterse la mano en el bolsillo. Los avances dependen, en gran medida, de lo que el sector proponga como iniciativa privada”.

Propuesta de los curtidores

Édgar Gil es presidente de la empresa Colombo Italiana de Curtidos y representante del sector ante la Gobernación y la CAR. Su empresa es una de las que cumplen con los requisitos ambientales. No obstante, es consciente de las dificultades que tienen las otras curtiembres para ser legalizadas: “La mayoría de empresas que están en la ronda del río son pequeñas y es difícil que puedan cumplir con los requisitos ambientales. Una planta de tratamiento para una empresa pequeña puede costar \$300 millones”.

Por esta razón ha propuesto, con empresarios de la industria, “hacer una gran planta de tratamiento, con un conector en donde se canalicen todas **las aguas residuales**. Se haría en año y medio a más tardar y solucionaría el problema casi de manera definitiva”.

El traslado al parque ecoeficiente es un escenario que también representa problemas para algunos curtidores. El presidente de la Asociación de curtidores de Villapinzón y Chocontá (Acurtir) asegura que “las familias que trabajan en la ronda del río, que son cerca de 44, no están dispuestas a irse así como así. Ellos solamente se van si hay un negocio justo, pero no por medio de desalojo y sin indemnización. La opción más sencilla, por esa razón, es implementar el conector que recoja todas las aguas residuales de las pequeñas y medianas empresas”.

Los reparos de la CAR

El director de la CAR considera que la propuesta de los curtidores es inviable: “La ley no permite que existan empresas de curtiembre en la ronda del río. La idea no es descabellada, pero requeriría de un marco jurídico especial”.

De acuerdo con la CAR, el 95% de las empresas de curtiembre tienen medida preventiva: “se nos ha salido de las manos la posibilidad de controlarlos. Trabajan en la noche o los fines de semana. La gran mayoría son familias que realizan el proceso en sus mismas casas”, explica Ballesteros.

Adicionalmente, la ausencia de **Plantas de Tratamiento de Agua Residual** (PTAR) en cada uno de los municipios ha provocado que el río Bogotá siga siendo contaminado. Al respecto, Ballesteros señala que la CAR ha invertido cerca de \$100 mil millones en la construcción de plantas de tratamiento. Sin embargo, advierte que “para construir todas las plantas serían necesarios \$400 mil millones más. Y en el aspecto financiero, el fallo del Consejo de Estado no especifica cuáles son las entidades que financiarán las obras”.

Tampoco hay certeza sobre el número de empresas a reubicar. Aunque Acurtir tiene sus propias cifras sobre el número de productores, la Gobernación no cuenta con un censo actualizado. Se espera que en junio de este año el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional (Idea) entregue un diagnóstico sobre las empresas de curtiembre en la cuenca alta del río.

El Idea, que firmó un convenio con la Gobernación para desarrollar **una investigación sobre la descontaminación del cuerpo de agua**, tiene la meta de legalizar 10 curtiembres y capacitar otras 30 en los próximos seis meses. El director de la investigación, José Stallin Rojas, dijo que “a pesar de que los vertimientos de las aguas residuales de las curtiembres van hacia el río Bogotá, la problemática ambiental ha disminuido en la última década. Cerca del 80% realiza separación de aguas y un 60% de las curtiembres tienen un sistema de tratamiento ambiental”.

Establecimiento de la fitorremediación

Teniendo en cuenta los grupos de investigación conformados en la situación problema 1, cada grupo escogió una especie vegetal con la cual se estableció la fitorremediación como una solución viable para la problemática ambiental que generan las curtiembres.

Especie vegetal	Grupo de investigación
<i>Eichhornia crassipes</i>	Grupo 1
<i>Cyperus papyrus</i>	Grupo 2
<i>Spathiphyllum wallissi</i>	Grupo 3
<i>Dracaena braunii</i>	Grupo 4

Cada grupo de investigación elabora un artículo científico en el cual incluyeron los resultados y análisis experimentales de cada una de las especies vegetales, incluyendo, los porcentajes de remoción y retención del contaminante, tipo de fitorremediación y modelo cinético.

APENDICE E

La siguiente imagen representa un ejemplo del análisis de las propuestas y artículos científicos elaborados por cada grupo de investigación. Se analizaron las preguntas problemas, hipótesis, metodología, sistematización de los resultados, análisis de los resultados, conclusiones y anexos. Cada una de las partes del artículo evaluó los criterios establecidos que definen las competencias científicas investigativas. (Indagación, Experimentación y argumentación).

realización de proyectos

Pregunta problema

¿Cuál es la mejor solución para remediar el metal de la quebrada?

Metodología

Aislamiento, pruebas de resistencia y obtención de la biomasa celular Se prepararon cajas de Petri con medio mínimo de sales adicionado de 500 mg/L de Cr (VI) y se colocaron destapadas durante 10 minutos en una zona cercana a la Facultad de Ciencias Químicas, de la UASLP, San Luis Potosí, México (temperatura media anual de 18.6°C y 1860 metros sobre el nivel del mar) y se trasladaron al laboratorio, donde se incubaron a 28°C durante 7 días. Las colonias resultantes se purificaron por resiembra sucesivas en AEM-Cr y AEM. Los cultivos puros del hongo se identificaron por sus características macro y microscópicas en Agar Papa Dextrosa (López Martínez et al., 2004). La resistencia del hongo se analizó inoculando el hongo en medio mínimo de Lee et al., (1975), conteniendo de 200-2000 mg/L de Cr (VI), incubando durante 7 días a 28°C y 100 rpm, determinando el peso seco del hongo, comparándolo con un control sin metal. La biomasa celular fue obtenida mediante el crecimiento del hongo en caldo tioglicolato (8 g/L), a 28°C con agitación constante (100 rpm). 4 días después de la incubación, se obtuvo la biomasa por filtración en papel Whatman No. 2. Posteriormente se centrifugó (3000 rpm, 5 min), se lavó 3 veces con agua tridesionizada, se secó (80°C, 12 h) en estufa bacteriológica, se molió en mortero y se guardó en frasco de vidrio ámbar a temperatura ambiente hasta su utilización.



Jenny Sanchez Hace 2 minutos

Pregunta problema, no se presenta hipótesis



Jenny Sanchez

Se presenta en texto continuo instructivo, no se tienen en cuenta la relación entre las variables.

APENDICE F

PROPUESTA INVESTIGATIVA GRUPO 3

PROPUESTA METODOLOGICA PLANTEADA:

Biosorbentes, Fruta con Alto Contenido de Vitamina C

BIOMASA A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.

Se entiende por biomasa cualquier materia orgánica obtenida a partir de vegetales o de animales que puede ser transformada en energía. Al realizar la biomasa a base de fruta con alto contenido de Vitamina C, es porque en cada una de las células de nuestro cuerpo tenemos un ácido lipídico el cual permite generar la energía necesaria de las funciones vitales que nos mantiene vivos, es un antioxidante como la Vitamina C quien solo funciona en el agua (Gómez, S.F). La biomasa puede ser de varios tipos, natural, residual o de cultivos energéticos, la madera es generalmente utilizada, para crear: pellets, astillas, entre otras.

La biosorción es un término que describe la eliminación de metales pesados por la unión pasiva a biomasa no viva a partir de soluciones acuosas. La contaminación hídrica es la transformación de ella, generalmente provocada por la mano humana. Esta se vuelve peligrosa para su consumo y en general para el ecosistema. Gran parte de esta se ha generado debido a la industrialización, en la cual se generan mayor cantidad de residuos, que van directamente a las fuentes hídricas.

Como resultado, la introducción de tecnologías limpias en los procesos industriales ha logrado disminuir las descargas de sustancias contaminantes al ambiente. Sin embargo, en la mayoría de las empresas todavía se generan aguas residuales con concentraciones de sustancias contaminantes de consideración. Esta se vuelve peligrosa para su consumo y en general para el ecosistema. Gran parte de esta se ha generado debido a la industrialización, en la cual se generan mayor cantidad de residuos, que van directamente a las fuentes hídricas. Las industrias desechan más de 500.000 sustancias contaminantes de su mismo tratamiento. Las más contaminantes son la química, textil (tinturas), curtición de pieles, minera, refinado de petróleo, petroquímica, entre otros (d'Igualada, S.F). Muchas de estas sustancias son metales pesados, estos son cinco veces más pesados que el agua, presentan una densidad alta, en general son tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua están el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. Lo que genera la contaminación en el agua es la concentración de dichos metales, ya que el agua posee todos los metales pesados, pero en muy bajas concentraciones, técnicamente el agua químicamente pura, no existe. Aunque muchos de los metales como el Zinc, Cobre, Cromo, Cobalto, Hierro y Magnesio son necesarios para el funcionamiento normal de nuestro cuerpo como para metabolizar el azúcar, las proteínas, y las grasas, no son saludables ya que pueden acumularse y esto se torna peligroso (INNO-VITA HEALTH THROUGH REAL INNOVATION, S.F).

PREGUNTA PROBLEMA

¿Cómo la biomasa a partir de frutas con alto contenido en vitamina C puede remediar el cromo hexavalente de la quebrada?

HIPOTESIS

La biomasa de frutas con alto contenido de Vitamina C puede remediar altos contenidos de cromo hexavalente en aguas residuales debido a la protonación o desprotonación de los grupos carboxilos que

conforman las cascaras de la frutas, reducen el valor de pH, debido a la competencia de iones hidrógeno en las sustancias.

METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Con la práctica experimental en los laboratorios de la UPN, se pretende consolidar y desarrollar la propuesta investigativa a partir del manejo de residuos sólidos en pro de la generación de una biotecnología, enfocada en la caracterización de una biomasa de materia orgánica con alto contenido de vitamina C, que permita la descontaminación mediante la adsorción de metales pesados.

OBJETIVOS

- Fabricar la biomasa con residuos sólidos orgánicos.
- Estandarizar un patrón stock del contaminante Cr (IV)
- Cuantificar mediante absorción atómica la cantidad de cromo que adsorbe la biomasa elaborada.

RESULTADOS ESPERADOS

- Desarrollo de habilidades de pensamiento crítico con respecto a la finalidad y uso que se le puede dar a la reutilización de material orgánico desechado.
- Fortalecimiento en la argumentación mediante la experimentación en ciencias.
- Apropiación del espacio de laboratorio como una herramienta de formación educativa, encaminada a resolver problemas específicos.

Practica No.1: Se debe realizar una esterilización de la materia orgánica a trabajar, por lo menos durante 24 de antelación a la práctica experimental, para lo cual se realizará un procedimiento por expertos, en el laboratorio de biología de la Universidad Pedagógica Nacional. (Nota: llevar la materia orgánica en bolsas herméticas).

Practica No.2: Preparación de Cromo IV a 500ppm.

Realizar los cálculos necesarios para preparar una solución de cromo IV a 500ppm en 250mL; medir los gramos de $K_2Cr_2O_7$ en un vidrio de reloj, seguido pasarlos a un vaso de precipitado y adicionar agua desionizada hasta que se diluya y luego aforar a 250mL. Seguido realizar una dilución de 250mL a 50ppm (concentración a medir)

Ecuación Determinar Gramos de Dicromato:

$$gr\ Cr_{6+} = 500 \frac{mg}{L} * 0.25L * \frac{0.001g}{1mg} * \frac{peso\ formula\ K_2Cr_2O_7}{2eq - g * peso\ formula\ Cr} * \%pureza$$

Preparar patrones de 0.5ppm, 1ppm, 2ppm, 3ppm, 5ppm y 10 ppm para la absorción atómica

Practica No.3: Fabricación de la biomasa. Seguido de la esterilización previa, se produce con un triturado de alimentos se deposita la materia orgánica para la fabricación de la biomasa, (por separado se realizará una biomasa de cascaras y otra de semillas), el producto resultante se lleva a calentamiento por 60 minutos.

Practica No.4: Caracterización de la Biomasa. Grupos de tres integrantes.

Procedimiento 1. Se mide 1 gr de la biomasa, y se adicionan 100mL de la solución de Cromo IV a una concentración de 50ppm (hacer dilución de 500ppm a 50ppm) y se mantiene a una temperatura de 25°C y

un pH óptimo de 1. Agitación en bortex durante 1 minutos y esperar durante 1 hora. Este proceso se repite con el cambio de variable de temperatura a 40°C y 60°C – cada pro

Procedimiento 2. Se miden 5 gr de la biomasa, y se adicionan 100mL de la solución de Cromo IV a una concentración de 50ppm (hacer dilución de 500ppm a 50ppm) y se mantiene a una temperatura de 25°C y un pH óptimo de 1. Agitación en bortex durante 1 minutos y esperar durante 1 hora. Este proceso se repite con el cambio de variable de temperatura a 40°C y 60°C

Este procedimiento se realizara con biomasa de semilla y biomasa de cascara.

Practica No.5: Cuantificación del Contaminante. Con el residuo producto de la práctica experimental se realizara una absorción atómica para determinar la cantidad de Cromo IV que fue absorbido.

Bibliografía

Acciona. (S.F de S.F de S.F). *¿Qué es y cómo funciona la biomasa?* Obtenido de <http://www.sostenibilidad.com/que-es-y-como-funciona-la-biomasa>

Azario, R., Salvarezza, S., Ibarra, A., & García, M. (2010). *Efecto del Cromo Hexavalente y Trivalente sobre el Crecimiento de Escherichia coli ATCC 35218* . Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v21n1/art09.pdf>

Pavas, E. G., Limpas, M. C., & Jiménez, S. A. (2003). Foto-oxidación del sistema cromo hexavalente-4-clorofenol. *Universidad EAFIT*, 60-76.

Tapia, J., Freer, J., Mansilla, H., Villaseñor, J., Brihn, C., & Basualto, S. (2002). Estudio de Reducción Fotocatalizada de cromo hexavalente. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*.

APENDICE G

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 1

Niveles iniciales de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	La pregunta que plantea este grupo de investigación parte de la problemática sobre la contaminación de cromo (VI) en la quebrada. ¿Cuál es la mejor solución para remediar el metal de la quebrada?	La pregunta que plantea el grupo es muy general, aunque se propone la biorremediación, no se especifica en la pregunta una relación con la biorremediación, qué tipo de organismos se trabajarán, además la pregunta planteada puede tener múltiples soluciones.
	Proponer posibles Explicaciones	En la propuesta investigativa se abordan algunos aspectos frente a los procesos de curtido en las curtiembres.	La información sobre el contexto de la problemática no es evidente en la propuesta escrita, ni en la ponencia. Puesto que la solución que se plantea es en relación a la noticia, el grupo de investigación no resalta este aspecto.
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	La pregunta que se plantea es general y no se deriva de la experimentación. La propuesta presenta una gran variedad de antecedentes sobre la biorremediación de Cr (VI)	La formulación de la pregunta se basa principalmente en el hecho de dar solución a una problemática expuesta, sin embargo, la pregunta que plantean no es derivada de la experimentación ni de los antecedentes propuestos. La propuesta no cumple con este desempeño.
	Formular y contrastar hipótesis	No es evidente en la propuesta la formulación de una hipótesis.	El grupo investigativo no tuvo en cuenta este aspecto en la propuesta.
	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización.	En la propuesta no se hace el uso de la matematización en la construcción de explicaciones.	
	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.	Se Plantea una situación problema a partir de una noticia de un diario nacional.	El grupo no tiene en cuenta el contexto, ni aborda el problema de contaminación por Cromo (VI) en la propuesta.

AVANZADO	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos	El grupo no planteo una hipótesis que orientara la propuesta.	La propuesta no se ajusta este nivel de competencia.
-----------------	---	---	--

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	El grupo plantea un diseño experimental de acuerdo a uno de los antecedentes citados, el cual busca eliminar en un 70% el Cr (VI) de la muestra de agua o reducirlo a la forma más estable es decir Cr (III)	Aunque la hipótesis en el artículo se intuye en la metodología, el grupo plantea la metodología propuesta por Ramírez y Benítez (1993), en donde se utiliza Bacillus cereus B1 para la reducción de Cr (VI) en aguas residuales en una curtiembre.
	Establecer variables	Las variables que establece el grupo es la concentración del metal en la muestra del agua.	El grupo solo establece una variable en la metodología.
MEDIO	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis	No es evidente en la propuesta ya que no se planteó hipótesis	El grupo se base enteramente al protocolo establecido en uno de los antecedentes referenciados.
	Establecer relaciones entre variables		Solo se establece una variable.
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados		El procedimiento es adecuado sin embargo no tienen en cuenta las condiciones fisicoquímicas de las bacterias que mencionan en el antecedente.
AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.	No es evidente en la propuesta ya que no se planteó hipótesis	Puesto que era una propuesta investigativa, no se pusieron a prueba los diseños experimentales. Solo se analizaron los experimentos o diseños experimentales planteados.
	Predecir situaciones en la que intervengan		Solo se establece una variable. (Concentración del contaminante)

	diversas condiciones sobre variables		
--	--------------------------------------	--	--

2.2.Sistematización de los resultados

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada.	En la propuesta se tiene en cuenta la clasificación taxonómica de la bacteria y algunas condiciones estándar para su manipulación.	Ya que en la metodología solo se establece una variable (concentración del contaminante), en la sistematización de la información, mencionan las condiciones de manipulación de la bacteria, sin embargo no se presenta una relación en la forma como se va a sistematizar los posibles resultados obtenidos.
	Presentar la información a través de textos.	En la propuesta toda la información se presenta en texto continuo.	Este grupo de investigación no utiliza el texto discontinuo en la propuesta investigativa, todo está presentando a través de textos extensos.
MEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.	No presenta	La información es presentada en texto continuo.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas	No presenta	No se plantea ninguna técnica matemática para el análisis de los posibles resultados.
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	No presenta	No se plantean modelos explicativos.

3. Argumentación

Para identificar los niveles correspondientes a este criterio, se tuvo en cuenta además del artículo, la ponencia de 20 minutos, donde cada grupo presentaba oralmente la propuesta investigativa.

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
	Resolver problemas sencillos	De acuerdo a la pregunta problema planteada, los estudiantes dan solución a la problemática a través de la	La pregunta plateada por el grupo es general, ya que en la metodología es claro el uso de las bacterias, en el problema no

INICIAL		remoción del metal contaminante usando un tipo de bacteria <i>Bacillus cereus</i> B1.	es evidente la biorremediación como la solución al problema ambiental.
	Buscar información pertinente para explicar los resultados.	Inicialmente el grupo plantean una serie de antecedentes en donde la biorremediación con bacterias remueve ciertas cantidades del contaminante.	La información es pertinente para la elaboración de un marco referencial y la metodología, sin embargo no se relaciona directamente con la pregunta problema.
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	El grupo de investigación se basó en tres artículos en los cuales las bacterias citadas en la propuesta remueven cantidades de cromo hexavalente.	En la ponencia los estudiantes exponen que la biorremediación es una buena técnica para remediar Cromo (VI), sin embargo al mencionar la metodología, solo es claro, la identificación de una variable (concentración del contaminante) pero no se especifica las cantidades, los instrumentos, los métodos analíticos que se utilizarían en la implementación.
AVANZADO	Resolver problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad	No es evidente en la propuesta.	La pregunta problema no especifica a la biorremediación como una solución a la pregunta planteada.

APENDICE H

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 2

Niveles iniciales de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	Teniendo en cuenta la noticia, el grupo de investigación plantea una pregunta teniendo en cuenta la problemática. Se plantea la siguiente pregunta: <i>¿Cómo la biorremediación puede contribuir a la remoción de cromo (VI) en la quebrada?</i>	Este grupo de investigación tomo el rol de la biorremediación específicamente con hongos, sin embargo, a formular la pregunta el termino biorremediación es amplio, ya que pueden ser bacterias, hongos, plantas, etc. La pregunta planteada es bastaste abierta y no especifica el tipo de biorremediación de la propuesta.
	Proponer posibles Explicaciones	En la propuesta se aborda la explicación de los procesos de curtido en las curtiembres y a través de los antecedentes justifican el tipo de biorremediación con hongos como una posible solución para la remoción de cromo (VI).	En la propuesta se evidencia una amplia bibliografía en el marco referencial, los estudiantes justifican: <i>“El Paecilomyces sp. Tienen actividad nematófaga (materia orgánica en descomposición) y se desarrollan en materia orgánica, por ende, la adquisición del hongo materia prima es más accesible y ha mostrado los mejores resultados en biorremediación, adicional a ello los costos no son elevados, factores determinantes en la realización de proyectos”</i>
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	La pregunta planteada se relaciona con los hechos de la noticia o situación planteada pero no se derivan de la experimentación.	La propuesta no cumple con estos desempeños.
	Formular y contrastar hipótesis	La propuesta carece de una hipótesis, implícitamente se aborda que el hongo utilizado es un buen remediador de cromo y otros metales pesados.	
	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización.	En la propuesta no se abordan explicaciones a partir de matematización, el problema	

AVANZADO	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.	planteado no especifica a la biorremediación con hongos como un problema disciplinar y por ultimo no se aborda el manejo de conceptos científicos.	La propuesta no cumple con estos desempeños.
	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos		

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	Los estudiantes determinan tres fases experimentales para llevar a cabo la propuesta, cabe anotar, que este grupo no planteo una hipótesis formal y explicita en la propuesta. La metodología es presentada en texto continuo en una serie de pasos.	Las fases metodológicas que incluyen la parte experimental, los estudiantes las nombraron de la siguiente manera: Aislamiento, pruebas de resistencia y obtención de la biomasa celular. En cada fase se mencionan los protocolos experimentales que se llevarían a cabo en cada momento.
	Establecer variables	En la propuesta no es evidente el establecimiento de variables.	En la metodología se menciona la concentración de las soluciones de Cromo (VI) como una variable que puede cambiar al estar en contacto con los hongos.
MEDIO	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis	En la propuesta se identifican unos diseños experimentales para la remoción de cromo a partir de los hongos mencionados, se expone una fase de incubación del hongo y se determina la cantidad de cromo removida por el método analítico difenilcabazida, sin embargo en la propuesta no establece una hipótesis formal frente a la problemática mencionada.	La propuesta no cumple con estos desempeños.
	Establecer relaciones entre variables		
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados		

AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.		
	Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables		

2.2.Sistematización de la información

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada.	En la propuesta se aborda varios referentes frente al tema de biorremediación de tal forma que estos contribuya a la justificación e interpretación de los resultados.	En el debate, este grupo de investigación expone la información que considera pertinente para abordar la biorremediación con hongos, mencionan varios antecedentes en donde la especie ha removido altas concentraciones de cromo hexavalente.
	Presentar la información a través de textos.	Todo la información que se encuentra en la propuesta se presenta a través de textos, carece de esquemas y diagramas explicativos.	La metodología es presentada en forma de texto instructivo, es decir a una secuencia de indicaciones sobre cómo lleva a cabo los experimentos de la remoción del contaminante.
MEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.	No se presenta la información en texto discontinuo, ni se emplean técnicas o procedimientos matemáticos para los resultados y posterior sistematización.	La propuesta no cumple con estos desempeños.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas		
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	No se evidencian modelos explicativos.	Un modelo explicativo se evidencia cuando se conectan las variables para explicar el fenómeno que se estudia de tal forma contrastar o demostrar las hipótesis, al no plantear hipótesis la propuesta no cumple con este desempeño.

3. Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
-------	-----------	-----------	----------

INICIAL	Resolver problemas sencillos	Los estudiantes plantearon la biorremediación como una posible solución a la problemática planteada en la noticia “Tras los pasos del cromo”, teniendo en cuenta la pregunta establecida en la propuesta con la biorremediación con hongos resuelve el problema planteado.	Retomando el problema planteado por los estudiantes en la propuesta al revisar los antecedentes, metodología y exposición, el grupo de investigación posiblemente resuelve el problema estableciendo la biorremediación.
	Buscar información pertinente para explicar los resultados.	En el debate y en la propuesta, el grupo de investigación plantea las posibles causas de la contaminación de cromo hexavalente en la quebrada, para posteriormente abordar todo el tema de biorremediación especificando el uso de hongos.	La información presenta es pertinente, las referencias mencionadas corresponden a artículos científicos tomados de revistas especializadas en la temática. La propuesta cumple con estos desempeños en el criterio de la argumentación.
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	En el debate, los otros grupos de investigación planteaban preguntas frente a las ventajas y desventajas de la biorremediación con hongos.	En el debate los estudiantes explicaron la biorremediación usando hongos a través de un video, los otros grupos planteaban preguntas acerca de él, sin embargo, la explicación se basó más en la ayuda audiovisual que en la argumentación y discusión de las ideas y planteamientos de la propuesta. Por tal motivo la propuesta no cumple con este desempeño.
AVANZADO	Resolver problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad	El problema planteado en la propuesta es muy general y no involucra el uso de hongos.	La propuesta no cumple con este desempeño.

APENDICE I

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 3

Niveles iniciales de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	Este grupo de investigación plantea y formula una pregunta teniendo en cuenta una situación problema planteada donde se expone la biomasa a partir de residuos orgánicos como una posible estrategia.	La pregunta planteada por el grupo corresponde a una pregunta derivada de la experimentación.
	Proponer posibles Explicaciones	En la propuesta se evidencia la formulación de hipótesis frente a la biomasa como material adsorbente para la remoción de cromo hexavalente, además se mencionan algunas posibles causas de la contaminación en la quebrada.	En la propuesta investigativa se evidencia la formulación y planteamiento de hipótesis más que proponer posibles explicaciones.
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	Teniendo en cuenta la noticia, el grupo de investigación plantea una pregunta problema: <i>¿Cómo la biomasa a partir de frutas con alto contenido en vitamina C puede remediar el cromo hexavalente de la quebrada?</i>	El grupo de investigación plantea una pregunta que se deriva de prácticas experimentales citadas en los antecedentes, se tiene como referente la obtención de biomasa a partir de residuos de frutas con alto contenido en vitamina C, los referentes que tienen en cuenta para la formulación de la pregunta corresponden a investigaciones sobre la obtención y evaluación de biofiltros a partir de residuos orgánicos. la pregunta problema corresponde a este nivel.
	Formular y contrastar hipótesis	Los estudiantes plantean la siguiente hipótesis: <i>“La biomasa a base de fruta con alto contenido de Vitamina C puede remediar altos contenidos de cromo</i>	El grupo de investigación formula una hipótesis en donde se plantea una relación directamente proporcional entre el contenido de vitamina C que tiene la fruta con la

		hexavalente en aguas residuales...”	efectividad en la remoción de cromo hexavalente. La hipótesis se formula de acuerdo a los antecedentes mencionados en la propuesta. La propuesta evidencia este desempeño.
AVANZADO	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización.	La propuesta no evidencia la simbolización de conceptos ni explicaciones que impliquen matematización. Aunque plantea un problema de tipo disciplinar, no se conciben alternativas de explicación a la situación mencionada.	La propuesta no cumple con estos desempeños.
	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.		
	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos		

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	En la propuesta se evidencia protocolos experimentales para la remoción de cromo con biomasa de frutas con alto contenido en vitamina C.	El grupo plantea montajes experimentales en la propuesta en donde se desea caracterizar la biomasa con alto contenido de vitamina C, la cual permita la descontaminación mediante la adsorción del metal contaminante. En la metodología se establecen algunas variables las cuales se evidencian en los montajes experimentales. La metodología no corresponde a este nivel.
	Establecer variables	En la propuesta se tienen en cuenta las siguientes variables: masa de la biomasa, concentración de las soluciones piloto de cromo hexavalente.	
	Identificar los diseños experimentales	Los estudiantes plantearon montajes experimentales de acuerdo a la solución que proponen. (Biomasa a partir de residuos solidas). La cual	El grupo de investigación más que diseños experimentales, plantean montajes experimentales en cuatro fases en donde se caracteriza la biomasa hasta la cuantificación de

MEDIO	pertinentes para contrastar hipótesis	consiste en aplicar cuatro fases experimentales.	cromo hexavalente removido, además de esto, en la propuesta se evidencia el establecimiento de relaciones entre las variables establecidas, en donde los altos contenido de vitamina C favorecen los procesos de remoción del metal, además en los montajes se presentan los métodos analíticos necesarios para la cuantificación del cromo (VI), así como para la caracterización de la biomasa.
	Establecer relaciones entre variables	Los estudiantes plantean la siguiente relación: <i>“la concentración de vitamina c en las frutas (Ácido ascórbico) favorece a la remoción de bajas concentraciones de cromo hexavalente”</i>	
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados	En la propuesta se menciona los procedimientos para esterilizar la materia orgánica, fabricación de biomasa y cuantificación del cromo a través de absorción atómica.	
AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.	Los estudiantes diseñaron montajes experimentales en los cuales buscaban contrastar la hipótesis planteada. Aunque no se puso a prueba en tiempo real, los estudiantes presentaron un video sobre la metodología y posibles resultados.	Un montaje experimental describe los procedimientos utilizados para contrastar las hipótesis planteadas, en un montaje se describen los equipos, herramientas, instrumentos y materiales necesarios. En la propuesta se evidencian cuatro momentos experimentales: 1. Esterilización de la materia orgánica. 2. Preparación de las soluciones de Cromo 3. Fabricación de la biomasa 4. Caracterización de la biomasa (cuantificación del cromo)
	Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables	Como posibles recomendaciones establecen realizar un estudio comparativo entre diferentes frutas con alto contenido en vitamina C y evaluar su capacidad remediadora sobre altas concentraciones de cromo hexavalente.	El grupo de investigación propone situaciones en donde establecen estudios comparativos entre diferentes tipos de frutas con altos contenido de vitamina C a diferentes concentraciones de Cromo (VI), de igual forma para contrastar la hipótesis también plantean protocolos con frutas con bajas concentraciones de vitamina C. en la propuesta es evidente el establecimiento de diversas condiciones sobre las variables.

			La metodología corresponde a los desempeños dados para este nivel en el criterio de metodología correspondiente a la experimentación.
--	--	--	---

2.2.Sistematización de la información

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada.	Los estudiantes plantean algunos aspectos teóricos frente a la biomasa y su caracterización.	Para poder explicar los montajes experimentales, los estudiantes tienen en cuenta en la propuesta escrita ciertos referentes conceptuales, sin embargo, en la ponencia no fueron muy claros ya que en la ponencia se les dio más importancia a los aspectos metodológicos, además de esto, toda la información presentada en el artículo se presenta en forma de texto. Por tal motivo, esta parte de la sistematización de la información corresponde a un nivel inicial, estos desempeños se ajustan a la propuesta.
	Presentar la información a través de textos.	Toda la información de la propuesta se presenta en forma de texto continuo instructivo.	
MEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.	En la propuesta no se presenta información en texto discontinuo.	La propuesta no cumple con estos desempeños.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas	En la propuesta no se evidencia técnicas ni procedimientos matemáticas para el tratamiento de los resultados.	
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	Un modelo explicativo se evidencia cuando se relacionan las variables para explicar el fenómeno que se estudia de tal forma contrastar o demostrar las hipótesis, aunque el grupo plantea una hipótesis y mencionan las variables, no se evidencia un modelo explicativo en la propuesta investigativa.	

3. Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Resolver problemas sencillos	Los estudiantes dieron solución al problema planteando la biomasa como un material absorbente que puede remediar cromo hexavalente	A lo largo de la propuesta, el grupo de investigación propone la caracterización de biomasa de fruta con alto contenido de vitamina C como una solución amigable con el medio ambiente, con la metodología propuesta se podría caracterizar la biomasa y determinar su capacidad remediadora. La propuesta cumple con este desempeño
	Buscar información pertinente para explicar los resultados.	La información presentada en la propuesta escrita y en el debate fue pertinente para ilustrar el problema que plantearon.	En la propuesta escrita presentan varios antecedentes frente al uso de biofiltros, reactores y biomasa, los cuales permitieron justificar la propuesta e ilustrar el problema. La propuesta cumple con este desempeño.
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	En una parte de la propuesta escrita, el grupo de investigación justifica porque usar biomasa a partir de residuos orgánicos es una posible solución a la problemática, pero no es claro la argumentación del uso de las frutas con alto contenido de vitamina C.	En la propuesta se argumenta la utilización de la biomasa, sin embargo, en el debate, cuando los otros grupos de investigación planteaban preguntas frente a la biomasa, varios interrogantes no fueron contestados puesto que los estudiantes tenían ciertas dificultades al argumentar oralmente la propuesta escrita. Por tal motivo la propuesta no cumple con este desempeño.
AVANZADO	Resolver problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad	Al no argumentar de forma oral la propuesta planteada, el problema fue posiblemente resuelto solamente desde la metodología planteada de forma escrita.	La propuesta no cumple con este criterio

APENDICE J

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 4

Niveles iniciales de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	En la propuesta se evidencia la formulación de una pregunta teniendo en cuenta la problemática establecida. <i>¿Cuál es la capacidad remediadora de Cromo (VI) de la especie Ricinus communis?</i>	En la propuesta se formula una pregunta relacionada con la capacidad remediadora de la especie vegetal, se plantean algunas explicaciones frente a los procesos de remoción de metales con especies vegetales. Al carecer de hipótesis, la propuesta de ajusta a este nivel de competencia.
	Proponer posibles explicaciones	En la propuesta se evidencian algunas posibles explicaciones del porqué la fitorremediación es viable para la remoción de metales pesado.	
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	La pregunta planteada se deriva de acuerdo a la remoción de la especie vegetal y de la cuantificación del metal en la especie.	La pregunta planteada se deriva de la experimentación ya que se desean determinar la capacidad remediadora de la especie sobre el metal contaminante, la propuesta carece de la formulación de hipótesis, en el documento ni en la ponencia no se presentan, por tal motivo, la propuesta investigativa no se ajusta a estos desempeños ni al nivel de competencia.
	Formular y contrastar hipótesis	La propuesta no presenta hipótesis	
AVANZADO	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización.	En la propuesta investigativa no se evidencian los desempeños correspondientes a este nivel de competencia.	En la propuesta se expone la fitorremediación como una solución viable para la remoción de metales pesados, sin embargo, no se implica ningún tipo de matematización en la explicación. Además de esto, la propuesta concibe la fitorremediación como una solución alternativa, en la ponencia oral, el grupo no expone procedimientos ni conceptos que sustenten esto. Por tal motivo la propuesta no se ajusta a estos desempeños en este nivel de competencia.
	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.		
	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos		

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	En la propuesta se plantea una práctica de laboratorio para la determinación del cromo hexavalente removido por la especie vegetal.	La práctica experimental que se plantea consiste en la determinación de cromo hexavalente removido por la especie en un lapso de 72 horas, aunque la práctica menciona procedimientos, métodos y equipos, el grupo no plantea una hipótesis la cual pueda ser contrastada mediante la experimentación, por tal motivo, en este criterio el grupo corresponde a un nivel inicial.
	Establecer variables	El grupo establece como variables la cantidad biomasa de la especie, la concentración de cromo y el tiempo de contacto como variables en la práctica experimental	En la propuesta se mencionan en un enunciado, dos tipos de variables, consideran al tiempo como una variable independiente, ya que se evaluará la remoción del cromo en unos tiempos y la variable dependiente la consideran como la concentración del metal a medida que pasa el tiempo. La propuesta investigativa se ajusta a estos desempeños.
MEDIO	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis	El grupo no presenta hipótesis, por tal motivo, las practicas experimentales no contrastarían algún tipo de explicación. La propuesta no se ajusta a un nivel medio ni avanzado en el criterio de experimentación (metodología).	La propuesta presenta ciertas relaciones entre variables y menciona algunos procedimientos e instrumentos para la cuantificación del cromo hexavalente removido por la especie, pero al no presentar una hipótesis, la experimentación no estaría corroborando o contrastando algún tipo de explicación, por tal motivo la propuesta no se ajusta a estos desempeños, ni a este nivel de competencia.
	Establecer relaciones entre variables		
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados		
	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.	Los desempeños no aplican para esta propuesta investigativa.	De igual forma, al no evidenciar una hipótesis, los desempeños de este nivel no se ajustan a la

AVANZADO	Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables		propuesta elaborada por el grupo de investigación.
-----------------	---	--	--

2.2.Sistematización de la información

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL		El grupo de investigación selecciona ciertos referentes teóricos sobre la fitorremediación como una posible solución a la problemática planteada.	Teniendo en cuenta la información presentada por el grupo, se presentan las ventajas y desventajas de la fitorremediación. En la ponencia, se abordan algunas generalidades de esta biotecnología para la posible explicación de los resultados. Este desempeño se ajusta a la propuesta.
	Presentar la información a través de textos.	En su totalidad la propuesta investigativa es presentada en texto continuo, la metodología es presentada de forma instructiva.	La propuesta no presenta la información en tablas o diagramas, por tal motivo la propuesta se ajusta a este desempeño.
MEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.	En la propuesta no se evidencia texto discontinuo, no se emplean ideas y técnicas matemáticas para la sistematización de la información o los resultados obtenidos.	Los desempeños correspondientes a estos niveles (intermedio o avanzado) no se ajustan a la propuesta investigativa.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas		
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	En la propuesta no se evidencian modelos explicativos.	

3. Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
	Resolver problemas sencillos	El grupo planteo la fitorremediación como la solución a la problemática establecida.	Aunque el problema planteado no es sencillo, el grupo no formulo hipótesis. La propuesta se ajusta a este desempeño puesto que desde la propuesta la fitorremediación es

INICIAL			viable para solucionar el problema de la quebrada.
	Buscar información pertinente para explicar los resultados.	Aunque las prácticas de laboratorio diseñadas no se llevaron a cabo puesto que era una propuesta, era necesario que los estudiantes explicaran cómo la fitorremediación es utilizada para la remoción de metales pesados.	Tanto en la propuesta como en la ponencia, el grupo tuvo en cuenta artículos de revistas investigativas los cuales permitirían explicar el uso de esta biotecnología en la remoción de metales pesados. La propuesta y la ponencia se ajustan a este nivel de competencia.
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	En la propuesta se establecen algunos referentes teóricos que sustentan la fitorremediación como una solución a la problemática.	En la ponencia, los otros tres grupos planteaban preguntas sobre la fitorremediación, las preguntas relacionadas con los mecanismos de absorción de la especie y cinética de bioabsorción no fueron resueltas por el grupo, por tal motivo, la propuesta y la ponencia no corresponden a este nivel de competencia.
AVANZADO	Resolver y argumentar problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad	En la propuesta se establece la fitorremediación al utilizar una especie vegetal específica para la remoción del metal, sin embargo, en la ponencia, no es clara, la explicación de los mecanismos por los cuales la especie remueve el metal.	Desde la propuesta, el problema fue resuelto a través de la fitorremediación, sin embargo, la propuesta carece de varios aspectos como hipótesis, procedimientos y argumentación de ideas, por tal motivo la propuesta no se ajusta a este nivel de competencia.

APENDICE K

Cinética de bioadsorción

Muestra de cálculo Cr^{6+}

$$\begin{aligned}C_e &= 50 \text{ ppm Cr (VI)} \\m &= 100g \text{ (Masa de la especie vegetal)} \\V &= 250 \text{ mL (Volumen de la solución 50 ppm)}\end{aligned}$$

- C_e : La concentración inicial, corresponde a 50 ppm.
- q_t es la cantidad de Cromo (VI) absorbida en un tiempo determinado, según Rubinos (2007), q_t puede también llamarse capacidad de sorción de la especie vegetal al cabo de un tiempo, se trabaja en unidades de masa, mg g^{-1} .
- q_e hace referencia a la concentración o cantidad de Cromo (VI) (mg g^{-1}) adsorbidos en el equilibrio o en el máximo tiempo que estuvo expuesta la especie vegetal con el contaminante, es decir al cabo de 120 horas, q_e se evidencia en negrilla.

$$\begin{aligned}q_t &= 50 \text{ ppm Hg} - 30 \text{ ppm Cr (VI)} = 20 \text{ ppm Cr (VI)} = 20 \frac{\text{mg Cr (VI)}}{\text{L}} \left(\frac{0.250 \text{ L}}{100g} \right) \\&= 0.05 \frac{\text{mg Cr (VI)}}{g}\end{aligned}$$

APENDICE L

ARTICULO CIENTÍFICO GRUPO DE INVESTIGACIÓN 1

EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA EN LA ACUMULACIÓN DE CROMO EN EL BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*)

Beltrán Alejandra; Moreno Anderson; Ospina Andrés¹
dqu_mbeltran856@pedagogica.edu.co; dqu_amoreno212@pedagogica.edu.co;
dqu_aospina875@pedagogica.edu.co

RESUMEN.

La no apropiada disposición de los metales pesados generados en las actividades humanas (industriales y domesticas), propicia la toxicidad de estos elementos químicos en las fuentes hídricas a nivel mundial, hecho de sumo interés debido su acumulación y transmisión en la cadena trófica. En este trabajo se evaluó la efectividad de fitorremediación de la acumulación de cromo en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) y con los estudios llevados a cabo mediante las técnicas de absorción atómica y espectrofotometría de Ultravioleta Visible, se evidenciaron los sitios de acumulación de cromo en la planta, y además establecer la cinética de acumulación.

ABSTRACT.

The inappropriate disposal of heavy metals generated by human activities (industrial and domestic), promotes the toxicity of these chemicals in water sources worldwide, made of great interest because of their accumulation and transmission in the food chain. In this paper the effectiveness of fitorremediación accumulation of chromium in the water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the studies carried out are assessed by atomic absorption techniques Ultraviolet and Visible spectrophotometry, sites showed accumulation of chromium on the ground, and also to establish the kinetics of accumulation.

PALABRAS CLAVE.

Cinética, fitorremediación, buchón de agua, metales pesados, Cromo.

KEY WORDS.

Kinetics, phytoremediation, water hyacinth, heavy metals, Chrome.

PREGUNTA PROBLEMA:

¿Cuál es la capacidad remediadora de Cr⁶⁺ en la especie Eichhornia Crassipes a partir de la cinética de acumulación?

HIPOTESIS

Durante este trabajo investigativo se establece la siguiente hipótesis: la especie *Eichhornia crassipes* posee una alta capacidad para remediar metales pesados debido a su sistema de raíces lo cual favorece la acción de bioacumulación, reteniendo el metal por tal motivo se establece la rizofiltración como el tipo de fitorremediación más frecuente en esta especie.

MARCO TEORICO.

¹ Docentes en formación de licenciatura en química. Universidad Pedagógica Nacional 2015-Bogotá.

Buchón de agua:

Atehortua y Gartner (2013) indican que la *eichhornia crassipes* es una planta macrófita de la familia de las monocotiledóneas. Es conocida como Buchón de Agua. Está constituida por un tejido de polisacáridos estructurales como celulosa y hemicelulosa, además de lignina, un polímero aromático, heterogéneo e insoluble en ácidos.

De acuerdo con Benítez (2008) es una especie flotante de raíces sumergidas. Carece de tallo aparente, provisto de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo y forma una vejiga llena de aire (ver Imagen), mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.



Imagen 1: planta de Buchón de agua, Recuperado de <http://diarioadn.co/especiales/galerias/invasores-que-amenazan-a-la-biodiversidad-nativa-del-valle-del-cauca-1.125614>

Atehortua y Gartner (2013) mencionan que la *E. crassipes* es considerada una maleza acuática que aparece en lagunas, ríos y embalses en todo el mundo. Su capacidad de invasión afecta los ecosistemas acuáticos debido a su alto ritmo de multiplicación. Su ocupación de la superficie impide el paso de la luz solar y del oxígeno, afectando la supervivencia de otros seres, causando mortandad de especies acuáticas y promoviendo el crecimiento de microorganismos patógenos vectores de enfermedades. Además pueden taponar en poco tiempo una vía fluvial, afectando la navegación y la pesca. Actualmente, se utilizan métodos mecánicos para contener su crecimiento, con equipos que la recolectan y luego la desechan en las orillas.

En otros casos de infestación severa, son necesarias técnicas de amplia cobertura basadas en el control químico con herbicidas. De acuerdo con Benítez, Calero, Peña & Martin (2011) el buchón de agua ha sido relativamente bien estudiado por su capacidad en procesos de filtración de aguas contaminadas, y por su facilidad de proliferación en ambientes eutrofizados. Se ha demostrado que el sistema de raíces asociado con microorganismos favorece la acción de bioacumulación de metales, reteniendo cadmio, cromo y arsénico en tejidos, mediante acomplejamiento de aminoácidos presentes en la célula con el metal pesado, previa absorción a través de las raíces.

Hurtado, Torres y Peña (2010) manifiestan que el buchón de agua se ha convertido en un elemento de importancia desde el punto de vista de la biorremediación porque posee potencial para capturar metales pesados, tales como arsénico, cadmio, cromo y mercurio, entre otros, en fuentes hídricas contaminadas; apoyando esta tendencia Gómez & Pinzón (2012), citando a Roldán y Álvarez (2002) indican que en canales sembrados con el buchón de agua, se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados y hasta el 98% en sólidos suspendidos

Fitorremediación:

Garbisu, Epelde, y Becerril, (2008) manifiestan que la fitorremediación es una ecotecnología, basada en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes, que en la actualidad está siendo aplicada en diversos países para recuperar suelos contaminados tanto con compuestos orgánicos como inorgánicos. Frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas entre las que se puede destacar su menor coste económico, su aproximación más respetuosa con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico, y el hecho de ser una tecnología social, estética y ambientalmente más aceptada. Por ello, no es de extrañar que la

fitorremediación se contemple cada vez más como una alternativa medioambientalmente respetuosa, frente a las técnicas físico-químicas.

Es importante recordar que el término fitorremediación engloba una serie de fitotecnologías diferentes en lo concerniente, sobre todo, a los mecanismos fisiológicos implicados en la recuperación de los suelos contaminados por ejemplo, fitoextracción, fitovolatilización, fitodegradación, rizofiltración, fitoestabilización, etc.

Bioadsorción:

La bioadsorción es un proceso de adsorción que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido.

Cinética de bioadsorción:

La cinética de la adsorción describe la velocidad de atrapamiento del adsorbato, lo cual controla el tiempo de residencia de éste en la interfase sólido-disolución y además su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado, por tal razón se requiere el conocimiento de las leyes de velocidad que describen el sistema de adsorción, las cuales se determinan por experimentación y no pueden ser inferidas en ningún caso.

Harris (2001) indica que la espectrofotometría es el conjunto de procedimientos que utilizan la luz para medir concentraciones químicas

La espectrometría ultravioleta-visible o espectrofotometría UV-Vis implica la espectroscopia de fotones en la región de radiación ultravioleta-visible. Utiliza la luz en los rangos visible y adyacentes (el ultravioleta (UV) cercano y el infrarrojo (IR) cercano). En esta región del espectro electromagnético, las moléculas se someten a transiciones electrónicas.

Absorción Atómica:

De acuerdo con Rivas (2007) la espectrometría de absorción atómica en sus dos modalidades más importantes, llama y horno de grafito, es posiblemente la técnica más extendida para la determinación de metales en aguas, debido a su alta selectividad y rapidez. La espectroscopia de absorción atómica se basa en la absorción de radiación por parte de átomos o iones elementales. Las regiones del espectro que proporcionan más información atómica son la ultravioleta/visible y la de rayos X; generalmente se trabaja en ultravioleta/visible que es la zona en la que absorben los átomos o iones gaseosos, los cuales dan lugar a lo que se denomina como espectros atómicos.

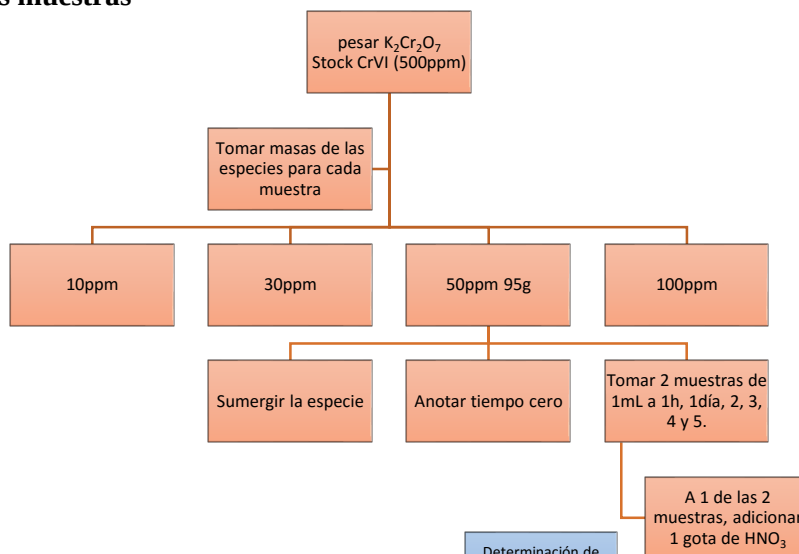
Metales Pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano; Manahan (2007) indica que la importancia de analizar metales pesados en aguas radica en la afectividad que estos tienen con el ecosistema biótico, debido a que la mayoría de los metales pesados tienen una gran afinidad por el azufre, evitando la función de las enzimas y formando enlaces con ellas a través de sus grupos con azufre.

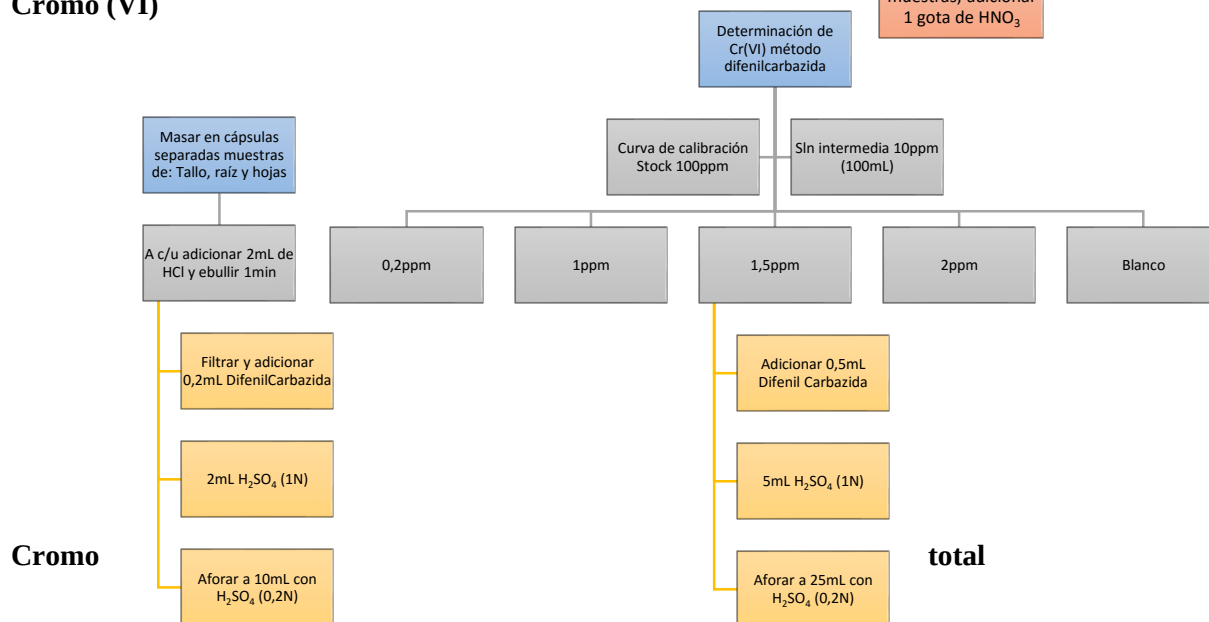
En el caso del cromo (Cr), es un metal que se encuentra presente en los procesos de producción industrial tales como aleaciones con otros metales, pigmentos para pinturas, producción de papel, de cuero, y de otros materiales.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

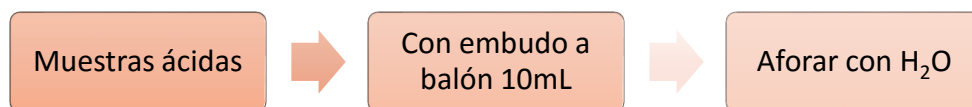
Preparación de las muestras



Cromo (VI)



Cromo



RESULTADOS.

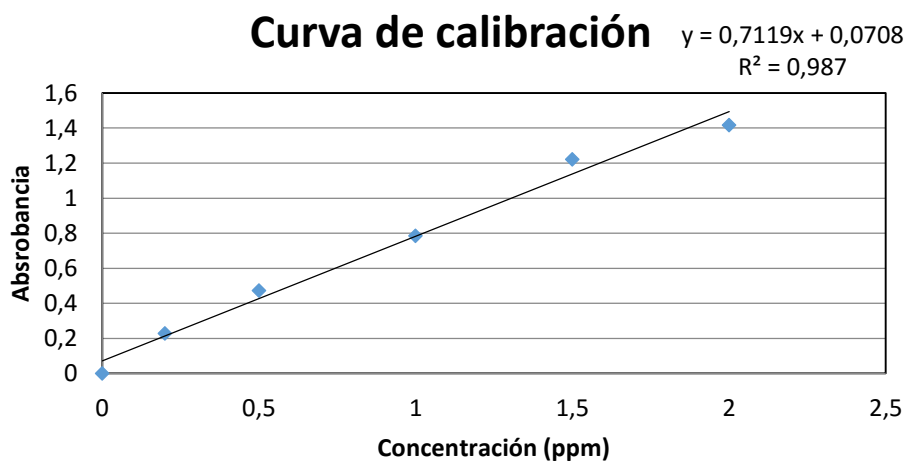
Partes de la planta	Masa (g)
Hojas	52,5451
Tallo	82,0332

Raíz

59,0765

Determinación Cr (VI)

Curva de calibración	
C (ppm)	A
0	0
0,2	0,229
0,5	0,473
1	0,785
1,5	1,222
2	1,418

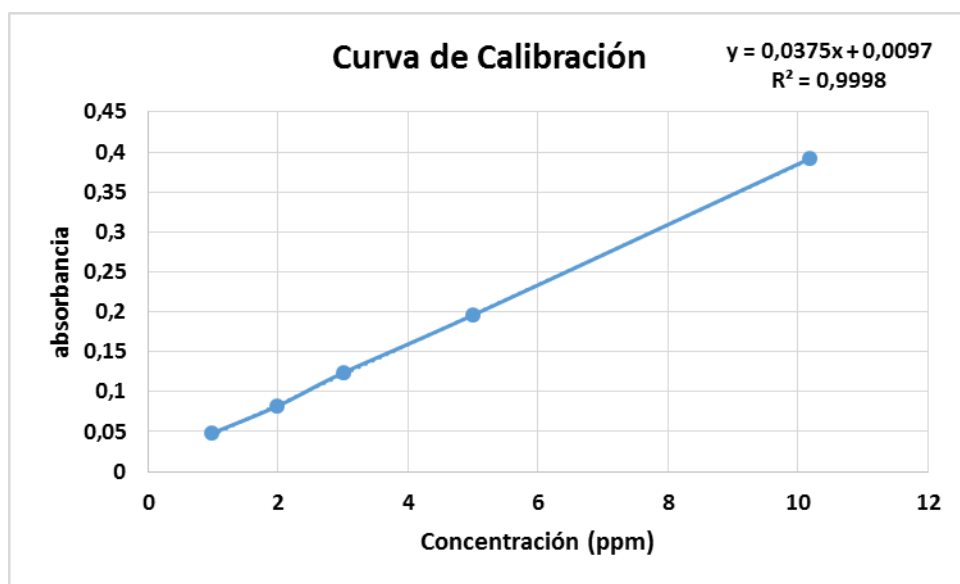
**Datos del Buchón de agua Determinación Cr (VI)***Porcentajes de remoción y retención Cr(VI) de la especie Buchón de agua*

Tiempo (h)	Abs	C (ppm)	C final (C*25)	% Retención	% Remoción
1	1,112	1,463	36,56	26,87	73,13
24	0,970	1,263	31,57	36,84	63,15
48	0,912	1,181	29,54	40,91	59,08
72	0,886	1,145	28,62	42,74	57,25
96	0,376	0,429	10,71	78,56	21,43

C*25 (Factor de disolución 25 ml)

Determinación Cr total

Curva de calibración	
C (ppm)	A
0,98	0,048
1,99	0,082
3,01	0,124
5,00	0,124
10,187	0,392



Datos del Buchón de agua para Determinación Cr total

Porcentajes de remoción y retención de cromo total de la especie Buchón de agua

Tiempo (h)	Abs	C (ppm)	C final (C*10)	% Retención	%Remoción
1	0,113	2,754	27,540	44,920	55,080
24	0,058	1,288	12,880	74,240	25,760
48	0.024	0,381	3,81	92,37	7,626

C*10 (Factor de disolución 10 ml)

Tratamiento de datos para Cr total

$$\frac{mg}{Kg} = \frac{34,9 \text{ mgCr}}{L} * \frac{0,01L}{95gmuestra} * \frac{1g}{1 * 10^{-3}kg} = 3,674$$

% Retención Cr total en las partes de la especie 1

Parte de la planta	Abs	C (ppm)	C*10 (ppm)	% retención
Tallo			No aplica	
Hoja			No aplica	
Raíz	0,063	1,421	14,21	85,78

Masa de la especie vegetal: 100 g

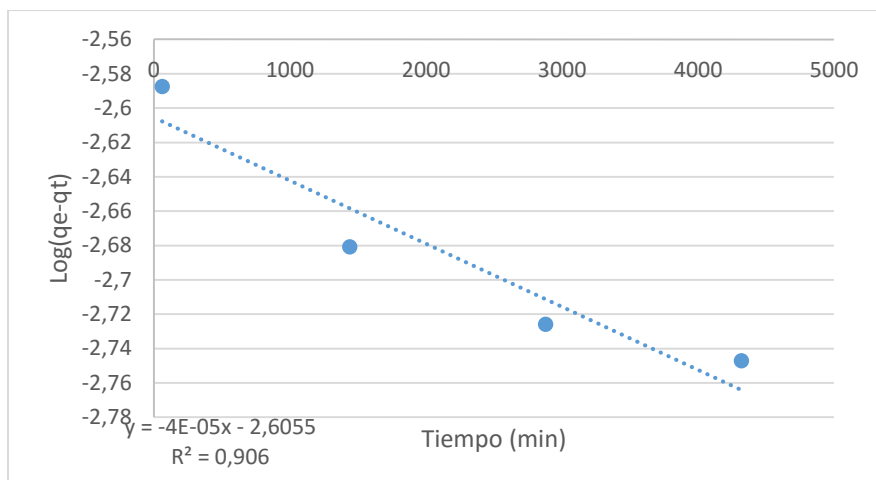
MODELOS CINÉTICOS

Determinación del modelo cinético: especie vegetal Buchón de agua

Tiempo (h)	Tiempo (min)	C (ppm)	Ce-C	qt	qe-qt	Log(qe-qt)	t/qt
1	60	1,463	48,53	0,121	0,002585	-2,587	494,46
24	1440	1,263	48,74	0,121	0,002085	-2,680	11818,5
48	2880	1,181	48,82	0,122	0,00188	-2,725	23597,3
72	4320	1,145	48,85	0,122	0,00179	-2,747	35369,9
96	5760	0,429	49,57	0,123	0		46478,7

Modelo de pseudo primer orden de Lagergren

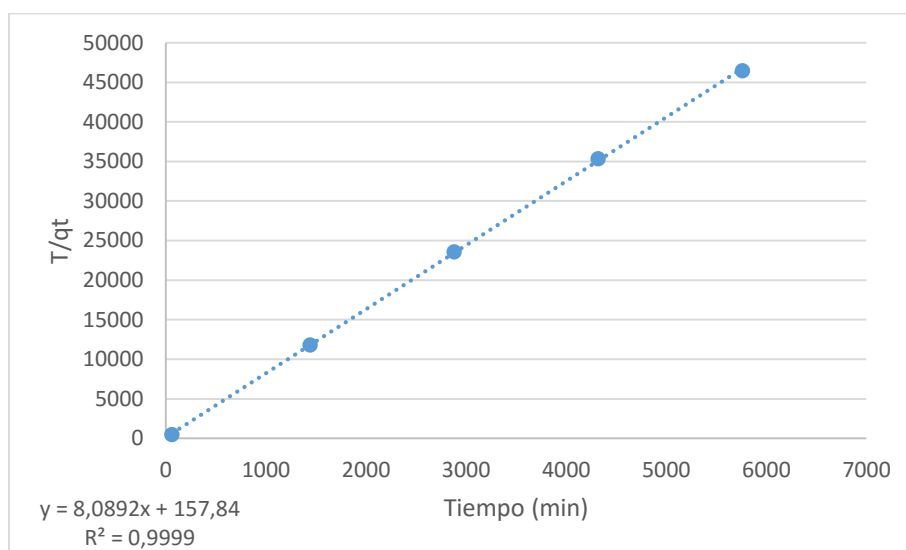
$$\log (qe-qt) = \log (qe) - (k1/2.303) t$$



Gráfica 5
Modelo de Pseudo primer orden

Modelo de pseudo segundo orden de Ho y Mckey

$$dq/dt = k_2 (q_e - q_t)^2$$



Gráfica 6
Modelo de Pseudo segundo orden

Comparación coeficiente de correlación

Modelo cinético	Coeficiente de correlación
Pseudo primer orden	0,906
Pseudo segundo orden	0,999

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Características organolépticas

Al iniciar la investigación son distribuidas 5 plantas de la especie conocida como Buchón de agua en montajes para la absorción de Cromo (ver imagen 2), las cuales se ponen en un medio con disoluciones de diferentes concentraciones de Cr (imagen 2) a partir de una solución patrón de concentración 500ppm (ver imagen 3), así como un blanco para contrastar el cambio físico en las especies. A estas plantas se les realiza un registro fotográfico durante el muestreo durante 5 días con el fin de observar cambios físicos.

Como resultado se evidencia que al quinto día las plantas presentan una coloración amarilla en las hojas (ver imagen 4) lo cual indica la absorción de cromo, fundamentando el hecho de que la capacidad de metabolismo del buchón de agua, en especial las plantas arbóreas, les permiten sintetizar, modificar y degradar una gran y mayor cantidad de moléculas presentes en el agua. En este día, ya no hay presencia de analito (solución) para realizar el muestreo).

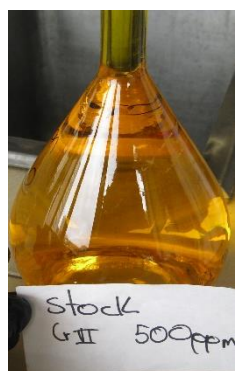


Imagen 1 Soln Cr 500 ppm



Imagen 3 Montaje inicial de especies en sln de distintas concentraciones de Cr



Imagen 4 Evidencia de cambio de coloración en la especie

El hecho de que la planta mantenga su vitalidad durante el muestreo frente al contaminante, se debe a que como indican los investigadores Garbisu, Epelde, y Becerril (2008), algunas plantas poseen la capacidad para tolerar, absorber, acumular y degradar compuestos contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, proceso conocido como la fitorremediación.

Determinación Cr VI

La determinación de Cr total, se realizó mediante el método de Difenilcarbazida, el cual se fundamenta en que los iones hexavalentes de cromo en medio ácido reaccionan con difenilcarbazida para formar un complejo rojo violeta. En primer lugar el cromo (VI) oxida la difenilcarbazida a difenilcarbazona reduciéndose a su vez a cromo (III). Estos iones cromo (III) se combinan con la carbazona formando el complejo coloreado intenso. La concentración de cromato se determina mediante la espectrofotometría de Absorción atómica.

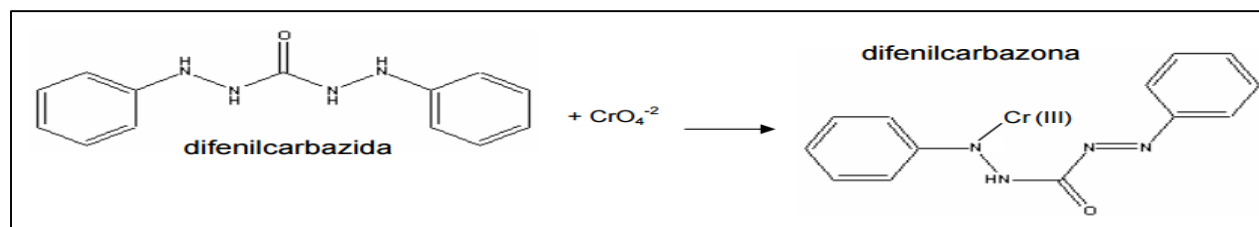


Imagen 6 Reacción de difenilcarbazida con Cr

Durante el laboratorio se visualiza la anterior reacción en la preparación de los patrones de calibración del espectrofotómetro (ver imagen 5) remitiendo de esta manera la viabilidad del proceso de determinación de la sustancia objeto de estudio (Cr VI).



Imagen 5 patrones para Curva de Calibración de Cr

Para muestras con color, es necesario analizar un blanco de muestra leyendo la absorción de ésta a 540 nm sin adicionar los reactivos para el desarrollo del color.

La curva de calibración se realiza bajo el método de adición estándar agregando cantidades conocidas de la solución madre de cromo en el intervalo comprendido entre 0.2 y 2.0 ppm. Dichas mediciones se ejecutan por triplicado con el fin del tratamiento estadístico pertinente.

De acuerdo al tratamiento de datos el R^2 obtenido fue de 0,987, valor que permite deducir que la curva de calibración nos fundamentara una representación gráfica de una señal (absorbancia) en función de la concentración del analito de alta exactitud y confiabilidad, para el posterior tratamiento de datos.

Al realizar el ensayo con las soluciones tomadas en los distintos intervalos de tiempo vemos la tendencia de disminuir la absorción en torno al aumento del tiempo, hecho que nos indica la mayor absorción a corto tiempo del analito, lo cual sugiere que la planta realiza un buen proceso de biorremediación.

Al determinar el % de remoción y el % retención en el muestreo con intervalo y en las partes de la planta se observa la eficacia de la especie que contrastada con la teoría es coherente a los estudios presentados por Benítez, Calero, Peña y Martín (2011) en donde manifiestan que el aumento de la concentración del metal en el tejido de la planta correspondió a una disminución en el medio, que genera posiblemente cambios en el gradiente osmótico; esta exposición tan prolongada generalmente aumenta la condición de estrés de la planta incrementando su fitness, que podría conducir a liberar parte de la carga de metal al medio, manteniendo con ello la regulación homeostática mediante mecanismos que permiten una menor afinidad de los sitios de adhesión por los metales o empleando mecanismos que detectan de manera rápida la presencia del metal, facilitando su excreción activa, o menor permeabilidad de la membrana celular.

Determinación Cr Total

Dicho proceso es realizado mediante la espectrofotometría de absorción atómica en donde de acuerdo con los resultados la curva de calibración arrojó un R^2 de 0,9998, dicha curva de calibración se realizó bajo el método de adición estándar agregando cantidades conocidas de la solución madre de cromo en el intervalo comprendido entre 0.98 y 10.187 ppm. Dichas mediciones se ejecutaron por triplicado con el fin del tratamiento estadístico pertinente.

De acuerdo con este R^2 , es un valor que permite deducir que la curva de calibración nos fundamentara una representación gráfica de una señal (absorbancia) en función de la concentración del analito de alta exactitud y confiabilidad, para el posterior tratamiento de datos.

Al realizar el ensayo con las soluciones tomadas en los distintos intervalos de tiempo se observa que solo presenta absorbancia hasta las 24 horas, y que luego en las siguientes muestras no hay lectura, indicando de esta manera que el punto máximo de absorbancia de la planta fue hasta 24 horas después de la exposición de esta a la solución.

Al determinar el % de remoción y el % retención en el muestreo con intervalo y en las partes de la planta observamos la eficacia de la especie coherente al proceso desarrollado a la determinación de la especie de Cr VI.

Determinación Cr III

Esta determinación se realizó restando el valor de Cromo VI del valor de cromo Total de la Concentración inicial en las partes de la planta.

Dicha determinación nos permite identificar la especie de Cr III en las partes de la planta fundamentando de este modo el proceso de fitodegradación de la especie VI a III, como se evidencia en el tratamiento estadístico.

Modelos Cinéticos

Teniendo en cuenta que al último día (120h), la planta absorbió todo el Cr, este dato se descarta para la determinación del modelo cinético.

El valor de q_e , hace referencia a la concentración o cantidad de cromo absorbido en el equilibrio o en el máximo tiempo que estuvo expuesto el buchón con el cromo, es decir al cabo de 4 días (96h), este valor fue de 0,10337422 mg/g.

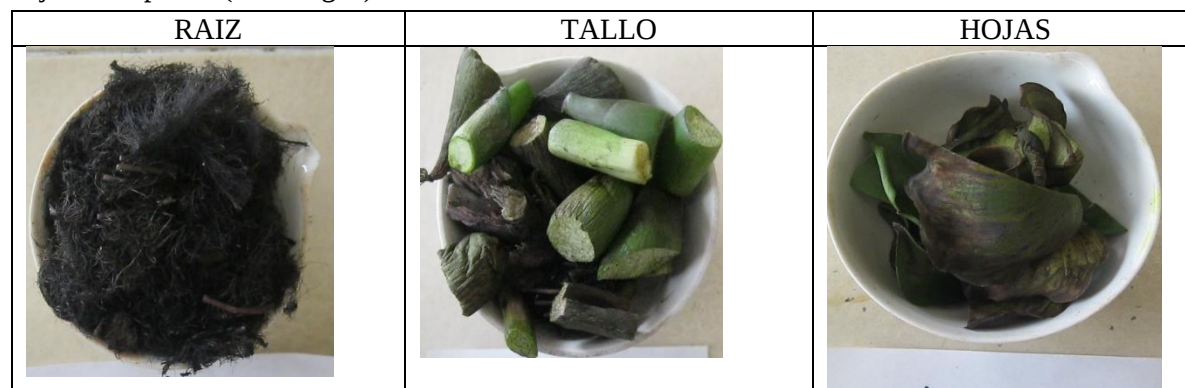
De acuerdo con el tratamiento de datos, el modelo que mejor se ajusta en concordancia con la cinética de adsorción del Buchón de agua es el modelo cinético de pseudo segundo orden, evidenciando que uno de los reactantes de la reacción química no se pone de manifiesto es decir siempre va a presentar una concentración constante, por eso se dice que aparenta ser una reacción de segundo orden.

Evidenciando de esta manera que la cinética de la adsorción describe la velocidad de atrapamiento del adsorbato, lo cual controla el tiempo de residencia de éste en la interfase sólido-disolución y además su conocimiento permite predecir la velocidad a la cual el contaminante se remueve del efluente tratado, por tal razón se requiere el conocimiento de las leyes de velocidad que describen el sistema de adsorción, las cuales se determinan por experimentación y no pueden ser inferidas en ningún caso.

Biorremediación

Además de las intervenciones anteriores se debe aclarar que la capacidad de metabolismo de las plantas verdes, en este caso el Buchón de agua y en especial las plantas arbóreas, les permite sintetizar, modificar y degradar una gran y mayor cantidad de moléculas.

Al iniciar la determinación de la tasa de acumulación de Cromo, se seleccionaron las raíces, el tallo y las hojas de la planta (ver imagen).



Estas partes seleccionadas de la planta se llevaron a un proceso de carbonizado, con el fin de eliminar la posible humedad en H_2O , primero a llama viva y luego a estufa, acto seguido se realizó una digestión ácida, y se llevaron a disolución con agua destilada para realizar el debido muestreo (ver imagen 6).

De acuerdo al análisis es evidente que el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), realiza un buen proceso de biorremediación en un poco tiempo, hecho que lo califica como un buen recurso para el tratamiento de las aguas residuales con presencia de metales pesados en este caso el Cromo.

En relación a las partes seleccionadas de la especie y corroborado por los tratamientos se deduce que ocurren dos tipos de fitorremediación, la fitodegradación y la fitovolatilización debido a que se ha encontrado de acuerdo al tratamiento de datos, la posible existencia de la especie Cr III en las partes de la planta; ante la posibilidad de la volatilización del analito, ya que en este proceso los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera en bajas concentraciones por medio de la transpiración; teniendo en cuenta que la concentración final de cromo determinado en las partes de la planta fue de 34,900 ppm de Cr y el inicial de la solución era de 50 ppm, presentando el hecho de un faltante de 15,1 ppm del analito, hecho por el cual proponemos este tipo de fitorremediación.



Imagen 6 Soluciones de las partes del Buchón

CONSIDERACIONES FINALES

Es de suma importancia el constatar que el medio ambiente nos brinda los recursos para tratar de reparar los efectos causados por nuestras actividades humanas, uno de ellos el buchón de agua en el tratamiento de las aguas residuales que junto al avance científico de la fitorremediación es una propuesta en potencia para mitigar dicho problema socio-ambiental.

El desarrollo de las tecnologías limpias en el marco del ciclo de énfasis de la licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional, permite la adquisición del conocimiento, reflexión crítica y pensamiento constructivo de los profesores en formación como insumo para su papel como ente de cambio de la sociedad en fin de fomentar el cuidado de los recursos no renovables como el agua.

Es muy interesante el trato de un problema de humedal como lo es el buchón de agua y sus implicaciones en el sistema biótico de los humedales debido a su proliferación y su posible utilización, como ente purificador de aguas contaminadas con metales pesados para la mitigación de estos problemas de contaminación y para la recuperación de cuerpos hídricos.

CONCLUSIONES

Se encontró que la planta *E. crassipes* seca, por ser un material de constitución lignocelulósica y por consiguiente altamente hidrofílica, es muy efectiva como adsorbente de Cr en solución, de una forma rápida y sin requerir una infraestructura complicada para su uso.

Una cuestión que debe resolverse es la disposición final de la planta cuando ya ha adsorbido los metales. Se propone la incineración como una alternativa, pues los metales de las cenizas pueden permanecer estables y además puede aprovecharse la energía proveniente de su combustión.

La presencia de este tipo de plantas en humedales implica una función depurativa, por lo cual puede traer muchos beneficios siempre y cuando se controle su proliferación.

BIBLIOGRAFIA:

APHA-AWWA. (1992). *Standard Methods: Examination of Waste and Wastewater_ Hexavalente chromium*. 17th Edition: APHA.

Atehortua, E. & Gartner, C. (2013). *Estudios preliminares de la biomasa seca de eichhornia crassipes como adsorbente de plomo y cromo en aguas*. *Colombiana de materiales*, 4, pp. 81-92

Benítez, I. (2008). *Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas jacinto de agua (eichhornia crassipes) y tul (thypa spp) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales la cerra, villa canales por medio de fluorescencia de rayos x*. Tesis inédita de maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Benítez, R., Calero, V., Peña, E. & Martin, J. (2011). *Evaluación de la cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua (eichhornia crassipes)*. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 9(2), pp. 66-73 Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000200008

Garbisu, C., Epelde, L. & Becerril, J. (2008). *Fitorremediación*. Recuperado de <http://www.ecologistasenaccion.org/article17857.html>

Gómez, H. & Pinzón, G. (2012). *Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque la florida, por fitorremediación usando buchón de agua*. Tesis inédita de maestría. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.

Harris, D. (2001). *Análisis químico Cuantitativo*. 2nd ed. México: Reverte

Hurtado, A., Torres, C. & Peña, S. (2010). *Identificación de procesos de bioacumulación de cromo en la laguna de sonso*. *Eidenar*, 9. Recuperado de <http://eidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/9/j.htm>

Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Reverte

Rivas, S. (2007). *Contribución a la determinación de la fracción de metales traza ligados a las proteínas similares a las metalotioneínas en muestras de mejillón*. España: Universidad Santiago de Compostela.

APENDICE M

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 1

Niveles alcanzados (finales) de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	El grupo de investigación planteó una pregunta problema teniendo en cuenta la experimentación.	El grupo de investigación propuso un problema de investigación teniendo en cuenta la especie vegetal correspondiente y planteo posibles explicaciones a través de hipótesis, por tal motivo, los resultados de este grupo no se ajustan a este nivel de la competencia.
	Proponer posibles Explicaciones	Dada la situación problema y la pregunta problema, el grupo plantea posibles explicaciones a través de hipótesis.	
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	La pregunta planteada se deriva de la experimentación sin embargo se contempla como un problema de tipo disciplinar.	Aunque la pregunta planteada se deriva de la experimentación, involucra otros elementos y modelos matemáticos los cuales hacen de la pregunta, un problema de tipo disciplinar. El grupo formulo una hipótesis como una posible explicación desde conceptos científicos tales como la fitorremediación y cinética química. Teniendo en cuenta lo anterior, el grupo no se ajusta a este nivel de la competencia.
	Formular y contrastar hipótesis	El grupo planteo una hipótesis en la cual involucra explicaciones desde la matematización de conceptos científicos.	
AVANZADO	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.	A partir de una situación problema y teniendo en cuenta la fitorremediación como la solución a la problemática, el grupo planteo la siguiente pregunta: <i>¿Cuál es la capacidad remediadora de Cr^{6+} en la especie <i>Eichhornia Crassipes</i> a partir de la cinética de acumulación?</i>	La pregunta planteada corresponde a un problema de tipo disciplinar, ya que este se orienta a indagar la capacidad remediadora del cromo hexavalente a través de la evaluación de la cinética de acumulación del contaminante en la especie. El problema planteado se ajusta a este nivel de competencia.

	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización.	En los avances del proyecto investigativo, el grupo plantea explicaciones a partir de la siguiente hipótesis: “...la especie <i>Eichhornia crassipes</i> posee una alta capacidad para remediar metales pesados debido a su sistema de raíces lo cual favorece la acción de bioacumulación, reteniendo el metal...”	Al evaluar la capacidad remediadora de la especie, el grupo expone que posiblemente al sistema de raíces que presenta la especie, esta puede bioacumular o retener el metal más fácilmente, esta hipótesis es confrontada con el tipo de fitorremediación que presenta la especie. Además desde la cinética de bioadsorción, el grupo de investigación asegura aproximarse a un modelo matemático que explique la velocidad de acumulación del metal.
	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos	Para plantear las posibles explicaciones a la situación dada, el grupo planteo procedimientos experimentales para dar solución a la pregunta planteada, además en el artículo se evidencio el manejo de conceptos científicos, tales como la fitorremediación y cinética de acumulación.	El grupo de investigación contemplo el uso de conceptos científicos para la explicación de la situación problema estableciendo la fitorremediación y las características morfológicas de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> como punto de partida para abordar el proyecto investigativo. De acuerdo con lo anterior, el artículo se ajusta en un nivel avanzado en este criterio de las competencias científicas investigativas.

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	En el artículo investigativo se propuso un montaje experimental para evaluar la cinética de acumulación de la especie vegetal correspondiente. De igual forma se establecieron variables, tales como el tiempo de contacto, masa de la especie y concentración del contaminante.	Ya que el grupo establece un montaje experimental para contrastar la hipótesis, el artículo no evidencia un nivel inicial en este criterio de las competencias científicas investigativas.
	Establecer variables		
	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis	El grupo estableció un montaje experimental en la metodología para contrastar la hipótesis en donde se menciona que la raíz es la parte que mayor retiene el contaminante la cual se evalúa	El grupo de investigación cumple con todos los desempeños de este nivel, sin embargo, en la metodología, el grupo estableció un montaje experimental el cual involucró los procedimientos

MEDIO	Establecer relaciones entre variables	mediante la cinética de acumulación. Se establece relaciones entre las variables mencionadas (relaciones directamente proporcionales entre el tiempo de contacto y la concentración del contaminante), de igual forma se evidencia el manejo de procedimiento e instrumentos para las determinaciones.	adecuados para contrastar la hipótesis, se describen los equipos, herramientas e instrumentos necesarios para la determinación de cromo (VI) retenido por la especie. Al presentar el montaje experimental, el grupo de investigación se ajusta en un nivel avanzado.
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados		
AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.	El grupo planteo la determinación de cromo hexavalente por el método colorimétrico de difenil carbazida y la determinación de cromo total por el método de absorción atómica, se determinó el modelo cinético de adsorción y se estableció el tipo de fitorremediación.	Al plantear como hipótesis, que la mayor cantidad del contaminante queda retenido en el sistema de las raíces de la especie vegetal, los estudiantes plantean un estudio cinético alrededor de 96 horas en donde se evalúa la capacidad remediadora de la especie finalmente se identifica el tipo de fitorremediación en donde se evidencia en que parte de la especie se retiene la mayor cantidad del contaminante (hoja, raíz o tallo).
	Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables	De acuerdo con la hipótesis, el grupo estableció que el tipo de fitorremediación que mejor describiría a la especie es la rizofiltración por el sistema de raíces que posee la especie, por esta razón, el grupo evaluó los cambios de concentración del metal de acuerdo al tiempo del contacto.	El grupo de investigación predijo de acuerdo a los antecedentes los posibles resultados a través del establecimiento de una hipótesis, por tal motivo el montaje experimental se orientó a la evaluación de la velocidad de acumulación de la especie y en la determinación del tipo de fitorremediación. Por todo lo anterior, el artículo y ponencia se ajusta a este nivel de competencia.

2.2.Sistematización de la información

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada los resultados.	El grupo presento un amplio marco teórico explicando los métodos analíticos de cuantificación de cromo hexavalente y total, los cuales permitieron explicar los resultados obtenidos en la experimentación.	El grupo presento información pertinente para el análisis de los resultados en cuanto a la explicación de los métodos analíticos utilizados, así como para la determinación de los modelos cinéticos. El grupo presenta los resultados en textos discontinuos,

	Presentar la información a través de textos.	El grupo presenta la información y los resultados en gráficas, diagramas y tablas.	por tal motivo, el grupo de investigación no se ajusta en este nivel de la competencia.
MEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.	Los resultados obtenidos en la experimentación se presentan a través de tablas y gráficas.	Los textos discontinuos requieren de lectura no lineal, los estudiantes emplean representaciones icónicas de los datos obtenidos.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas	En la sistematización de los resultados obtenidos, es necesario aplicar técnicas y modelos matemáticos. En este caso se utilizaron técnicas estadísticas y modelos matemáticos para predecir los modelos cinéticos de acumulación.	Para la sistematización de los resultados, los estudiantes emplearon dos modelos matemáticos para determinar la cinética de adsorción. Los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden describen el proceso de bioacumulación del contaminante en la especie. A través de la regresión lineal se determinó estadísticamente los % de retención, remoción y tipo de fitorremediación de la especie vegetal empleada. El artículo se ajusta a los desempeños del nivel intermedio de la competencia.
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	Los resultados son presentados en forma de artículo científico, se establece una hipótesis inicial, sin embargo, los resultados se inclinan en la cinética de bioacumulación y no al tipo de fitorremediación en la cual se basa la hipótesis.	Un modelo explicativo busca comprobar o contrastar hipótesis de acuerdo a la relación de las variables establecidas, el artículo se centra en su mayoría al estudio cinético de bioacumulación y no en el tipo de fitorremediación en la cual la hipótesis se sustenta, por tal motivo, el artículo no se ajusta a este nivel de competencia.

3. Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Resolver problemas sencillos	Teniendo en cuenta el problema planteado, en el artículo se da solución a la pregunta, estableciendo que al cabo de 120 horas la especie vegetal ha removido alrededor de 78% del contaminante.	El problema planteado implica de la experimentación y la contrastación teórica, por tal motivo el problema establecido no es sencillo de resolver.
	Buscar información	Los estudiantes explican de manera adecuada los resultados	El grupo presenta una amplia bibliografía actualizada, la cual es pertinente para el análisis de los resultados. El grupo de

	pertinente para explicar los resultados.	obtenidos, tienen en cuenta trabajos investigativos de remoción de metales pesados además presentan una explicación de los modelos cinéticos obtenidos.	investigación concluye: “Se encontró que la planta <i>E. crassipes</i> seca, por ser un material de constitución lignocelulósica y por consiguiente altamente hidrofílica, es muy efectiva como adsorbente de Cr en solución, de una forma rápida y sin requerir una infraestructura complicada para su uso.” El artículo investigativo no se ajusta a los desempeños de este nivel de la competencia.
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	En el artículo y la ponencia, los estudiantes explicaron de forma detallada los resultados obtenidos, argumentaron la cinética de absorción desde los modelos cinéticos establecidos.	Los estudiantes justifican en el artículo y ponencia que la especie vegetal tratada realiza un buen proceso de biorremediación en un poco tiempo, hecho que lo califica como un buen recurso para el tratamiento de las aguas residuales con presencia de metales pesados en este caso el Cromo, como en el caso de la situación problema planteada en la secuencia didáctica.
AVANZADO	Resolver y argumentar problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad	Los estudiantes resolvieron el problema planteado, estableciendo: “Es de suma importancia el constatar que el medio ambiente nos brinda los recursos para tratar de reparar los efectos causados por nuestras actividades humanas, uno de ellos el buchón de agua en el tratamiento de las aguas residuales que junto al avance científico de la fitorremediación es una propuesta en potencia para mitigar dicho problema socio-ambiental.”	El problema planteado por el grupo de investigación fue de tipo disciplinar al involucrar conceptos científicos tales como, la fitorremediación y la cinética de acumulación, el grupo establece a la <i>Eichhornia crassipes</i> como una especie bajo ciertas condiciones puede remover concentraciones altas de cromo hexavalente, la cual puede mitigar problemas ambientales como los que provocan los procesos de curtido en las curtiembres de Cundinamarca, Colombia. El artículo y la ponencia se ajusta a este nivel de las competencias científicas investigativas.

APENDICE N

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 2

Niveles alcanzados (finales) de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	El grupo de investigación planteo un problema de investigación teniendo como referente la situación problema dos titulada “Sin solución a las curtiembres”	Teniendo en cuenta la situación problema establecida, los estudiantes plantean un problema de investigación relacionado con la capacidad remediadora de la especie vegetal correspondiente, de igual forma, formulan una hipótesis como una posible explicación al problema planteado. De acuerdo con lo anterior, el artículo no se ajusta a los desempeños de este nivel.
	Proponer posibles Explicaciones	El grupo propuso una posible solución a la problema planteado a través del establecimiento de una hipótesis.	
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	El grupo de investigación planteo la siguiente pregunta problema: <i>¿Cuál es la eficacia de la especie Cyperus papyrus en la remoción de cromo (VI)?</i>	La pregunta establecida se deriva de la experimentación y del modelamiento matemático para poder determinar la eficacia de la especie.
	Formular y contrastar hipótesis	El grupo de investigación formulo la siguiente hipótesis: <i>“la especie Cyperus papyrus tiene una alta eficacia en la remoción de cromo (VI) en sus raíces debido a que son un medio para la filtración y adsorción de nutrientes, por consiguiente la densidad y profundidad de las raíces influirá en su remoción”</i>	La hipótesis planteada sugiere que la especie es eficiente en la remoción del metal debido a que sus extensas raíces permiten la filtración y adsorción del contaminante, de igual forma establecen que dicha remoción dependerá de la densidad de la raíz y la profundidad en que se sumerja. El artículo se ajusta en estos desempeños correspondientes a este nivel.
	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.	El problema planteado es de tipo disciplinar, involucra la explicación de conceptos científicos como la fitorremediación, cinética de bioadsorción.	Aparentemente el artículo cumple con los desempeños correspondientes a este nivel, sin embargo en el segundo desempeño, el grupo no establece una explicación de los % de retención y remoción desde

AVANZADO	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de explicaciones y su matematización.	Para dar solución a a la pregunta problema, se asume la matematización para la determinación de los % de retención y remoción del metal, en el artículo no es evidente la construcción de las posibles explicaciones desde la matematización, se menciona que la cinética de absorción se va a determinar mediante dos modelos cinéticos, pero no se explican.	las matematización, no es evidente la diferencia entre ambos, por tal motivo, el artículo no se ajusta en su totalidad en este nivel de las competencias científicas investigativas.
	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos	El grupo exhibe en el artículo el manejo de conceptos y procedimientos científicos, al establecer la fitorremediación y en la determinación de los % de cromo hexavalente y cromo total.	

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	En el artículo investigativo se propuso un montaje experimental para evaluar la eficacia de la especie papiro chino en la remoción de cromo hexavalente y cromo total. Además se determinó el tipo de fitorremediación y modelo cinético de bioadsorción.	Ya que el grupo establece un montaje experimental para contrastar la hipótesis, el artículo no evidencia un nivel inicial en este criterio de las competencias científicas investigativas.
	Establecer variables		
MEDIO	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis	El grupo estableció unos montajes experimentales para contrastar la hipótesis, en donde se enunciaba que la raíz era la parte más eficiente para la remoción del metal, para tal fin, los estudiantes en la metodología establecen protocolos para la cuantificación el cromo hexavalente y total retenido por la especie, así como el estudio cinético de bioadsorción. El grupo selecciona los equipos e	El grupo de investigación cumple con todos los desempeños de este nivel, sin embargo, en la metodología, el grupo estableció montajes experimentales los cuales les permitieran contrastar o corroborar la especie. Al establecer las variables, el grupo considero que un factor que podía ser decisivo en la remoción es la longitud de las raíces de la especie, al tener raíces tan extensas, el grupo decidió cortar parte de las raíces para la cuantificación de cromo hexavalente y dejar las raíces
	Establecer relaciones entre variables		
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados		

		instrumentos necesarios en la metodología.	intactas para la cuantificación de cromo total. Al plantear montajes experimentales, el grupo de investigación se ajusta en un nivel avanzado.
AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.	El grupo planteo la determinación de cromo hexavalente por el método colorimétrico de difenil carbazida y la determinación de cromo total por el método de absorción atómica, se determinó el modelo cinético de adsorción y se estableció el tipo de fitorremediación teniendo en cuenta la parte de la especie de mayor retención del contaminante.	Los estudiantes establecieron 120 horas como el tiempo de contacto de la especie con las soluciones de cromo, a partir de ello se evalúa la eficacia de la especie al retener y remover el contaminante en los lapsos de tiempo, junto con eso, se determina el tipo de fitorremediación en donde se puede contrastar o corroborar la hipótesis.
	Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables	El grupo predice el comportamiento de la especie con el contaminante de acuerdo a la morfología de la especie en donde se deben establecer las condiciones de la experimentación.	En la hipótesis el grupo predice que la raíz de la especie, es la parte que mayor eficacia tiene en la remoción del contaminante. Establecen diversas condiciones sobre las variables, tales como el tiempo de contacto, el volumen de la solución y la longitud de la raíz de la especie. Los desempeños de este nivel de la competencia se ajustan al artículo presentado por el grupo.

2.2.Sistematización de la información (resultados)

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada los resultados.	El grupo presenta un marco referencial y conceptual con el cual interpretan los resultados obtenidos frente a la remoción de metales pesados a través de especies vegetales acuáticas.	El grupo presento en el artículo algunas concepciones frente a la fitorremediación y las consecuencias sobre la salud por efectos del cromo hexavalente, se mencionan las características morfológicas de la especie y como estas pueden influir en la remoción y retención de metales pesados. El articulo cumple con los desempeños de este nivel de la competencia.
	Presentar la información a través de textos.	El grupo presenta la información y los resultados en gráficas, diagramas y tablas.	
	Presentar la información a través de tablas, graficas,	Los resultados obtenidos en la experimentación se presentan a través de tablas y gráficas.	Los textos discontinuos requieren de lectura no lineal, los estudiantes

MEDIO	diagramas y esquemas.		emplean representaciones icónicas de los datos obtenidos.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas	En la metodología y en los resultados no se presenta la forma como fueron sistematizados los datos obtenidos en la experimentación.	Los estudiantes no presentan una hoja de cálculo como anexo en donde se evidencia la sistematización de la información obtenida, no se establece la diferencia entre los porcentajes de remoción y retención de la especie vegetal. Aunque el grupo presenta la información en tablas y gráficas, no cumple con el segundo desempeño de este nivel de competencia.
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	Los resultados son presentados en forma de artículo científico, se establece una hipótesis inicial, sin embargo, al no presentarse la forma como se sistematizaron los resultados no se contempla como un modelo explicativo.	El artículo sistematiza los resultados obtenidos sin embargo no se explica cómo se obtuvieron, ni cómo influye la manipulación de las variables, por tal motivo, el artículo no se ajusta a este nivel de la competencia.

3. Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANÁLISIS
INICIAL	Resolver problemas sencillos	El grupo resolvió la pregunta planteada, la pregunta se contempla como un problema de investigación que implica de la experimentación.	La información que presentan para explicar el tipo de fitorremediación es pertinente ya que esta permite corroborar o contrastar la hipótesis establecida. La propuesta cumple con los desempeños, pero al tratarse de un problema de investigación, el grupo no se ajusta al nivel inicial de la competencia.
	Buscar información pertinente para explicar los resultados.	En el análisis de los resultados, los estudiantes presentan los porcentajes de retención y remoción de la especie, especificando el tipo de fitorremediación de la especie y el modelo cinético de bioadsorción.	
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	En la ponencia, el grupo expone sus resultados obtenidos, aborda los mecanismos de absorción de la especie en tres fases y el tipo de fitorremediación. El grupo no explica la cinética de bioadsorción.	La argumentación es la capacidad de relacionar datos y conclusiones, de evaluar enunciados teóricos a la luz de los datos empíricos o procedentes de otras fuentes, los estudiantes relacionaron los datos obtenidos con el fin de dar solución a la pregunta planteada, estableciendo la rizofiltración como el tipo de fitorremediación, además evaluaron la eficacia de la especie durante 120 horas,

			concluyendo que la especie es óptima para remediar cromo hexavalente a bajas concentraciones. El artículo y la ponencia corresponden a los desempeños establecidos en este nivel.
AVANZADO	Resolver y argumentar problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad, proponer otros problemas de investigación	Los estudiantes resolvieron el problema planteado, la argumentación se establece desde el tipo de fitorremediación, de donde se sustentaba la hipótesis, sin embargo no se expone la importancia de la cinética de bioadsorción, ni se proponen nuevos problemas de investigación.	Los estudiantes resuelven y comprueban la pregunta establecida, sin embargo, no se argumenta otros aspectos que se mencionaron en la metodología, como la aproximación en los modelos cinéticos. Por tal motivo, el artículo y la ponencia no se ajustan a los desempeños de este nivel.

APENDICE O

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 3

Niveles alcanzados (finales) de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	El grupo de investigación planteo un problema de investigación teniendo como referente la situación problema dos titulada “Sin solución a las curtiembres”	El grupo de investigación plantea una pregunta problema desde la experimentación, además se formula una hipótesis la cual fue confrontada o corroborada con los resultados obtenidos, por esta razón, el artículo no se ajusta a este nivel de las competencias científicas investigativas.
	Proponer posibles Explicaciones	El grupo propuso una posible solución a la problema planteado a través del establecimiento de una hipótesis.	
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	El grupo de investigación planteo la siguiente pregunta problema: <i>¿Cuál es la capacidad remediadora de especie <i>Spathiphyllum wallissi</i> en soluciones de Cr (VI) al cabo de 120 horas de contacto?</i>	La pregunta formulada por el grupo establecer evaluar la capacidad remediadora de la especie vegetal escogida frente al contaminante en un tiempo establecido, lo cual implica que se realicen pruebas experimentales. De igual forma, en el artículo se enuncia una hipótesis en la cual se establece que la capacidad de remoción dependerá del tiempo de contacto y la concentración inicial del metal, pero además el grupo predice de acuerdo a los antecedentes el sitio de bioacumulación. A pesar de la posible explicación que plantea el grupo, no se explica la relación de los polisacáridos con la adsorción de metales pesados. El artículo se ajusta a los desempeños correspondientes a este nivel.
	Formular y contrastar hipótesis	El grupo de investigación formulo la siguiente hipótesis: <i>“la capacidad remediadora de la especie vegetal dependerá de la concentración inicial del contaminante, de acuerdo con los antecedentes, el tallo o las hojas son los lugares donde mayor se bioacumula el contaminante debido a los polisacáridos constituyente de la pared celular”</i>	
AVANZADO	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.	El problema que establece el grupo es de tipo disciplinar el cual busca dar solución a una situación real de contaminación por parte de las curtiembres.	La pregunta problema que plantea el grupo de investigación es pertinente y clara frente a lo que se quiere indagar, sin embargo, en el momento de establecer la hipótesis, esta carece de explicación ya que no se establece la relación que tienen los polisacáridos constituyentes de la pared celular con la remoción de
	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de	Al establecer la hipótesis, el grupo plantea una explicación a la situación dada, sin embargo,	

	explicaciones y su matematización.	la hipótesis carece de procedimientos, conceptos científicos y explicaciones desde la matematización.	metales. La hipótesis fue planteada de acuerdo a la revisión de antecedentes, sin embargo, en el artículo no se evidencia una explicación utilizando conceptos ni procedimientos. Por tales motivos, el artículo no se ajusta en este nivel.
	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos		

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	En el artículo investigativo se propuso un montaje experimental para evaluar la capacidad remediadora de la especie en soluciones de cromo (VI). Además el grupo establece experimentalmente el tipo de fitorremediación y modelo cinético de bioadsorción.	Ya que el grupo establece un montaje experimental para las determinaciones experimentales, el artículo no evidencia un nivel inicial en este criterio de las competencias científicas investigativas.
	Establecer variables		
MEDIO	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis	El grupo estableció tres montajes experimentales para contrastar la hipótesis. Los montajes buscaron determinar los % de retención y remoción de la especie, el tipo de fitorremediación y la aproximación a un modelo cinético de bioadsorción. El grupo selecciona los equipos e instrumentos necesarios en la metodología.	El grupo explico los montajes experimentales de forma clara a través de esquemas, se tuvieron en cuenta las condiciones y el medio para que la planta pudiera captar el contaminante. En cuanto a las variables, el grupo considero que la remoción del metal dependería del tiempo de remoción y la concentración del contaminante.
	Establecer relaciones entre variables		
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados		
AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.	El grupo planteo la determinación de cromo hexavalente por el método colorimétrico de difenil carbazida y la determinación de cromo total por el método de absorción atómica, se determinó el modelo cinético de adsorción y se estableció el tipo de fitorremediación con los métodos analíticos mencionados.	Los estudiantes establecieron 120 horas como el tiempo de contacto de la especie con las soluciones de cromo hexavalente y total, a partir de ello se evalúa la capacidad remediadora de la especie al retener y remover el contaminante en los lapsos de tiempo, con los protocolo establecidos el grupo busco confrontar o corroborar la hipótesis planteada.

	Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables	En la hipótesis plantean que el sitio de mayor captación del metal puede ser en el tallo, para corroborar esta predicción, el grupo determina en la metodología un montaje experimental para la identificar el tipo de fitorremediación de la especie vegetal.	El grupo establece diversas condiciones sobre las variables, tales como el tiempo de contacto, el volumen de la solución, la concentración de las soluciones de cromo hexavalente y total. Los desempeños de este nivel de se ajustan al artículo presentado por el grupo.
--	---	--	--

2.2.Sistematización de la información (resultados)

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada los resultados.	El grupo presento un marco conceptual con el cual interpretan los resultados obtenidos frente a la remoción de metales pesados a través de especies vegetales acuáticas.	El grupo presento en el artículo algunas concepciones frente a la fitorremediación y los tipos de fitorremediación, se mencionaron las características de los modelos cinéticos implementados. El articulo cumple con los desempeños de este nivel de la competencia.
	Presentar la información a través de textos.	El grupo presenta la información y los resultados en gráficas, diagramas y tablas.	
MEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.	Los resultados obtenidos en la experimentación se presentan a través de tablas y gráficas.	Los textos discontinuos requieren de lectura no lineal, los estudiantes emplean representaciones icónicas de los datos obtenidos. El grupo presento los modelos estadísticos para la obtención de los resultados de igual forma en el artículo se anexa una hoja de cálculo con los resultados obtenidos. Los modelos cinéticos trabajados fueron los modelos de pseudo primer y segundo orden propuestos por Lagergreen y Ho & Mackey, respectivamente. El articulo cumple con los desempeños establecidos para este nivel.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas	Los estudiantes plantean técnicas matemáticas para explicar la determinación de los modelos cinéticos de bioadsorción, de igual forma, presentaron una hoja de cálculo como anexo donde se explica la sistematización de los datos obtenidos.	
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	Los resultados son presentados en forma de artículo científico, se establece una hipótesis inicial y a través de la metodología y la experimentación se buscó corroborar la hipótesis planteada.	En la metodología se evidenciaron los protocolos experimentales, pero al revisar la hipótesis, esta se sustenta en la capacidad de remoción de las hojas por el contaminante, en los resultados no se aborda a profundidad el tipo de fitorremediación para contrastar la hipótesis.

3. Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Resolver problemas sencillos	El grupo resolvió la pregunta planteada al determinar la capacidad remediadora de la especie a través de los porcentajes de remoción y retención de la especie vegetal.	La información que presentan para explicar el tipo de fitorremediación es pertinente en relación con los resultados obtenidos, sin embargo, no se justifica en los análisis de los resultados, la relación de los polisacáridos de la pared celular con la remoción de cromo que se establece en una parte de la hipótesis.
	Buscar información pertinente para explicar los resultados.	En el análisis de los resultados, los estudiantes presentan los porcentajes de retención y remoción de la especie, especificando el tipo de fitorremediación de la especie y el modelo cinético de bioadsorción.	
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	En la ponencia y en el artículo, el grupo expone los resultados obtenidos, dan respuesta a la pregunta planteada, sin embargo, no se confronta o corrobora la hipótesis de acuerdo con los resultados.	La argumentación es la capacidad de relacionar datos y conclusiones, de evaluar enunciados teóricos a la luz de los datos empíricos o procedentes de otras fuentes, los estudiantes argumentan los resultados obtenidos teniendo en cuenta los procesos de fisisorción y quimisorción que se producen en la especie vegetal. Sin embargo, no se hace referencia a una parte de la hipótesis y su relación con los resultados obtenidos.
AVANZADO	Resolver y argumentar problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad, proponer otros problemas de investigación	Los estudiantes resolvieron el problema planteado, a partir de la experimentación se determinó la capacidad remediadora de la especie al cabo de un tiempo establecido.	Los estudiantes dan respuesta a la pregunta planteada, sin embargo, existen algunas falencias frente a la comprobación o confrontación de la hipótesis, el grupo no propone otros problemas de investigación a partir del trabajo realizado con la especie. Por tal motivo, el grupo no se ajusta a este nivel de la competencia.

APENDICE P

MATRIZ DE ANALISIS GRUPO DE INVESTIGACIÓN 4

Niveles alcanzados (finales) de las competencias científicas investigativas

1. Indagación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos	El grupo estableció una pregunta problema estableciendo la fitorremediación, la cual implica de la experimentación.	La pregunta que formulo el grupo parte de una problemática ambiental generada por las curtiembres en Villa Pinzón, Cundinamarca, la cual buscó evaluar la capacidad remediadora de una especie e identificar el tipo de fitorremediación, el grupo establecio explicaciones del problema a través de una hipótesis. El grupo de investigación no se ajusta a este nivel de la competencia
	Proponer posibles Explicaciones	En el artículo se plantea una posible explicación del problema mediante el establecimiento de una hipótesis.	
MEDIO	Formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de la experimentación	El grupo de investigación planteo la siguiente pregunta problema: <i>¿Cuál es el tipo de fitorremediación de la especie Dracaena braunii en presencia de cromo hexavalente?</i>	Teniendo en cuenta los pocos antecedentes encontrados frente a la remoción de metales de la especie vegetal correspondiente, el grupo establece una pregunta orientada en la identificación del tipo de fitorremediación de la especie vegetal en presencia del contaminante. El grupo de investigación formulo una hipótesis estableciendo que el mayor sitio de acumulación del metal es en el tallo de especie debido a su morfología, establecen, además, que las raíces al ser tan pequeñas, no se daría una rizofiltración. El grupo formula otro tipo de fitorremediación la cual fue corroborada o contrastada en la experimentación. De acuerdo con lo anterior, el artículo se ajusta a este nivel.
	Formular y contrastar hipótesis	El grupo de investigación formulo la siguiente hipótesis: <i>“De acuerdo a la morfología de la planta, es poco probable que el contaminante quede retenido en las raíces, por tal motivo no se daría un proceso de rizofiltración, debido a que al ser el tallo de gran longitud, se establece una fitoextracción.”</i>	
	Plantear problemas de tipo contextual o disciplinar.	El problema establecido es de tipo disciplinar ya que este implica de la experimentación y la contrastación teórica.	El problema planteado por el grupo se centra en identificar el tipo de fitorremediación de la especie, al establecer la hipótesis, esta carece de ciertas explicaciones al afirmar que la especie no presenta la rizofiltración. El grupo no expone explicaciones desde la
	Simbolizar los conceptos y utilizarlos en la construcción de	En grupo estableció un marco referencial en donde se mencionan los tipos de fitorremediación.	

AVANZADO	explicaciones y su matematización.		matematización ni a partir de procedimientos o conceptos científicos. Por tal motivo, el artículo no se ajusta a este nivel de las competencias.
	Concebir formas alternativas de explicación a una situación dada, a partir del manejo de procedimientos y conceptos científicos	Se manejan conceptos científicos de la fitorremediación, sin embargo, no se estableció el manejo o tipo de procedimientos que se utilizarían en la hipótesis.	

2. Experimentación

2.1. Metodología

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Diseñar experimentos para contrastar una hipótesis	En el artículo investigativo se propuso un montaje experimental para determinar el tipo de fitorremediación que presento la especie vegetal seleccionada.	Ya que el grupo establece un montaje experimental para contrastar la hipótesis, el artículo no evidencia un nivel inicial en este criterio de las competencias científicas investigativas.
	Establecer variables		
MEDIO	Identificar los diseños experimentales pertinentes para contrastar hipótesis	Los estudiantes identificaron diseños experimentales para determinar el tipo de fitorremediación, para llegar a esta cuantificación era necesario establecer los diseños experimentales para determinar los porcentajes de retención y remoción de la especie vegetal.	Los estudiantes propusieron diseños experimentales para la determinar el tipo de fitorremediación, sin embargo, no se mencionan en el artículo los protocolos para determinar la capacidad remediadora de la especie. Los estudiantes establecen como variables el tiempo de contacto, la concentración del contaminante y la longitud del tallo de la especie. Se menciona los procedimientos y técnicas para la determinación del tipo de fitorremediación (absorción atómica y método difenilcarbazida). De acuerdo con lo anterior, el artículo se ajusta en su mayoría a este nivel.
	Establecer relaciones entre variables		
	Seleccionar procedimientos e instrumentos adecuados		
AVANZADO	Diseñar y poner a prueba montajes experimentales o procedimientos para contrastar hipótesis.	El grupo establece un protocolo experimental para determinar el tipo de fitorremediación para contrastar la hipótesis planteada.	El diseño experimental carece de procedimientos para la determinación de la capacidad remediadora de la especie vegetal, no se mencionan las condiciones de la especie, ni de los equipos que se utilizaron.

	Predecir situaciones en la que intervengan diversas condiciones sobre variables	En la hipótesis se predice el posible tipo de fitorremediación presente en la especie vegetal.	No es claro como las condiciones de las variables establecidas (tiempo, concentración del contaminante y longitud del tallo) intervienen en la determinación del tipo de fitorremediación, ya que, para tal fin, es necesario determinar la capacidad remediadora de la especie. Por tal motivo, el artículo no se ajusta a los desempeños de este nivel.
--	---	--	---

2.2.Sistematización de la información (resultados)

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Utilizar selectivamente la información para interpretar e interactuar de forma adecuada los resultados.	Los estudiantes presentaron un amplio marco teórico para explicar los resultados obtenidos frente al tipo de fitorremediación presentes en la especie vegetal.	Inicialmente en las asesorías realizadas con el grupo, ellos plantearon determinar la capacidad remediadora de la especie vegetal para aproximarse al tipo de fitorremediación, sin embargo, en la experimentación, los resultados obtenidos mostraron ciertas irregularidades, por tal motivo en el artículo no se presentan los datos experimentales de los porcentajes de remoción y retención, ni un modelo cinético que describa el proceso de adsorción. El grupo solamente obtuvo datos experimentales en para el tipo de fitorremediación. Por tal motivo, el artículo se ajusta a este nivel en este criterio de la competencia.
	Presentar la información a través de textos.	Los estudiantes presentan la información en textos discontinuos.	
MEDIO	Presentar la información a través de tablas, graficas, diagramas y esquemas.	Los resultados obtenidos en la experimentación se presentan a través de tablas y gráficas. En la metodología y en los resultados no se presenta la forma como fueron sistematizados los datos obtenidos en la experimentación.	El grupo no presenta que técnicas estadísticas se utilizaron para sistematizar los resultados obtenidos en la experimentación. El artículo no se ajusta a este nivel de este criterio.
	Emplear ideas y técnicas matemáticas		
AVANZADO	Presentar la información a través de modelos explicativos	Los resultados son presentados en forma de artículo científico, se establece una hipótesis inicial, sin embargo, al no presentarse la totalidad de los resultados experimentales, no se puede	El artículo sistematiza los resultados obtenidos sin embargo no se explica cómo se obtuvieron, ni cómo influye la manipulación de la variables, por tal motivo, el artículo no se ajusta a este nivel de la competencia.

		corroborar o confrontar por completo la hipótesis planteada.	
--	--	--	--

3. Argumentación

NIVEL	DESEMPEÑO	PROPUESTA	ANALISIS
INICIAL	Resolver problemas sencillos	El grupo a través de los resultados expuestos respondió a la pregunta planteada en cuanto al tipo de fitorremediación que presenta la especie.	los estudiantes plantearon algunas explicaciones frente a los resultados obtenidos, justificando que la especie vegetal solo remueve bajas concentraciones del contaminante por tal razón no se pudo hacer la lectura de la absorbancia en el equipo, es decir la planta se saturó del contaminante, otra posible razón, es que el equipo se encontraba descalibrado y por tal los datos obtenidos no se ajustan a la curva de calibración. Teniendo en cuenta esta situación, el artículo se ajustan a este nivel de las competencias en cuanto a la argumentación.
	Buscar información pertinente para explicar los resultados.	Los estudiantes explican los resultados desde los tipos de fitorremediación para contrastar o confrontar la hipótesis planteada. El grupo presento solamente resultados del tipo de fitorremediación.	
MEDIO	Utilizar la argumentación en la discusión de las ideas	El grupo establece como tipo de fitorremediación la fitodegradación teniendo en cuenta el % de retención obtenido en el tallo de la especie, teniendo en cuenta eso la explicación de los resultados se basa en este tipo de fitorremediación.	El grupo argumenta el tipo de fitorremediación desde los resultados experimentales, sin embargo, la discusión pierde cierta validez al solo presentar tres datos experimentales. La discusión se centra en por qué la especie no retiene altas concentraciones del contaminante, sin embargo, esta información no se evidencia en el artículo.
AVANZADO	Resolver y argumentar problemas disciplinares o derivados de la cotidianidad, proponer otros problemas de investigación.	Teniendo en cuenta el problema planteado, el grupo resuelve la pregunta, sin embargo, el artículo carece de ciertos elementos que permitan la argumentación de los resultados.	El grupo propuso realizar nuevamente las determinaciones de cromo hexavalente y cromo total a bajas concentraciones es decir menos de 10 ppm para evaluar la capacidad remediadora de la especie.