



Fotografía: Julio César González Gómez

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN EL AULA SOBRE LA FITORREMEDIACIÓN DE CR (VI) COMO UNA ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS CIENTÍFICAS INVESTIGATIVAS

Design and Implementation of a Research Project in the Classroom on Phytoremediation of Cr (VI) as a Strategy for the Development of Scientific Investigative Competences

Jenny Andrea Sánchez García
Dora Luz Gómez Aguilar¹

Fecha de recepción: 3 de abril de 2016
Fecha de aprobación: 16 de octubre de 2016

Resumen

Dentro del programa curricular de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia) el término *competencia* está relacionado con la capacidad de uso del conocimiento y de las habilidades apropiadas para desempeñarse en una sociedad. A su vez, el programa busca el desarrollo de competencias científicas investigativas en los estudiantes, las cuales se proponen formar profesionales con amplios conocimientos y destrezas para emprender proyectos y programas de investigación que den solución a problemas. El desarrollo de dichas competencias pretende estructurar el pensamiento crítico, sistémico y reflexivo. Por tal motivo, partiendo de la contaminación por cromo (VI) en cuerpos de agua a causa de las curtiembres como problema ambiental, se busca desarrollar competencias científico-investigativas en docentes en formación, implementando una secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje de tipo hipotético-deductivo. Las actividades se orientan a la consolidación de un proyecto investigativo en el aula, en el que se establece la fitorremediación como una biotecnología de bajo costo que puede dar solución a la problemática planteada.

Palabras clave: competencias científicas investigativas, fitorremediación, secuencia didáctica, situación problema, especies vegetales

Abstract

In the curriculum of the Chemistry degree from Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia), the term *competence* is related to the use of knowledge and appropriate skills for performing in society. In turn, it seeks development of scientific investigative competences in teachers, which aim to train professionals with extensive knowledge and skills to undertake projects and research programs so that they can solve problems. The development of these competences looks for building critical, systemic and reflective thinking. Starting from contamination by chromium (VI) in water bodies because of the tanneries, it seeks to develop scientific and

¹ Magíster en Docencia de la química y Docente del Departamento de química de la Universidad Pedagógica Nacional. Correo electrónico: jennysanchez504@hotmail.com; doralgomez@gmail.com

investigative competences in teachers training by implementing a teaching sequence designed from a hypothetical deductive learning cycle. The activities are aimed to the consolidation of a research project in the classroom, where phytoremediation is a low-cost biotechnology, which can solve the issues raised and established.

Keywords: investigative scientific competences, phytoremediation, teaching sequence, problem situation, plant species

Introducción

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

De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo de investigación, realizado como trabajo de grado de la Maestría en Docencia de la Química, de la UPN, 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 UPN, de Bogotá, Colombia, a través de la implementación de una secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje hipotético-deductivo, con el cual se consolidó un proyecto investigativo en el aula partiendo de problemas ambientales, y en el que se estableció la fitorremediación de Cr (VI) como una posible solución al tratamiento de las aguas residuales causadas en medio de los procesos de curtido en las curtiembres de Villa Pinzón (Cundinamarca, Colombia).

Referentes teóricos

Sobre las competencias científicas investigativas

Las competencias científicas investigativas hacen referencia a la capacidad del sujeto para construir explicaciones y comprensiones de la naturaleza desde la indagación,

la experimentación y la contrastación teórica (argumentación) desde donde se formula un problema o una situación que generen cierto conflicto cognitivo.

Chona *et al.* (2006) proponen una serie de desempeños para poder identificar y evaluar las competencias científicas investigativas, las cuales clasifican en tres niveles: inicial, intermedio y avanzado. Para este trabajo de investigación, se tomaron como referente tales desempeños; 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 que definen las competencias científicas investigativas: indagación, experimentación y argumentación. A continuación, se abordarán algunas características de cada uno de estos criterios.

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 hacerse preguntas, habilidad que tiene su origen en las necesidades del ser humano, lo cual se convierte en un medio o instrumento para comprender y aprehender el objeto de estudio.

De acuerdo con Orozco, Enamorado y Arteta (2012), la indagación en las ciencias naturales se caracteriza por la formulación de preguntas, el planteamiento de hipótesis y la búsqueda de evidencias. La indagación científica se refiere a las diversas formas como los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo (Garritz, 2006). Tomando en cuenta lo anterior, se reorganizaron los desempeños propuestos por Chona *et al.* (2006) en tres niveles (inicial, intermedio y avanzado); los desempeños hacen alusión a la formulación de preguntas y al planteamiento de problemas, así como a la formulación de hipótesis, o posibles explicaciones frente a un problema.

Experimentación

La experimentación es un método de investigación científica, el cual incluye también la descripción, la comparación y el modelaje. La experimentación implica manipular 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 y abstraer los rasgos distintivos del problema. La realización de experimentos está condicionada a la naturaleza y las 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 definen las competencias científicas investigativas, se divide en dos categorías, correspondientes a los aspectos metodológicos y a la sistematización los resultados obtenidos: metodología y sistematización de los resultados.

Metodología

La metodología puede ser vista como un ordenamiento lógico de los pasos que es necesario seguir para concretar de la manera más eficaz posible los objetivos planteados. En el aspecto metodológico se encuentran los desempeños relacionados con los diseños experimentales, el establecimiento de variables y la selección de los instrumentos adecuados, de tal forma que se puedan contrastar las hipótesis propuestas. En la metodología propia del presente estudio, los estudiantes diseñaron distintos montajes experimentales frente a la fitorremediación; dichos resultados permitirían contrastar o confrontar las explicaciones o las hipótesis establecidas durante la indagación.

Sistematización de los resultados

En esta categoría se toman en cuenta los desempeños correspondientes a los resultados obtenidos en la experimentación; así mismo, se evidencia la forma como es presentada la información.

Argumentación

Argumentar en ciencias implica varias habilidades; una de ellas es la de identificación de pruebas y de datos. Utilizar pruebas científicas permite elaborar y comunicar conclusiones e identificar los supuestos, las pruebas y el 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"* (p. 22; cursivas originales).

Los desempeños correspondientes a este criterio se ajustan a las habilidades que evidencian los estudiantes al explicar los resultados obtenidos y al dar solución a los problemas investigativos planteados.

Problema ambiental

Uno de los objetivos de este trabajo de investigación fue desarrollar y fortalecer las competencias científicas investigativas. Una forma para generar cierto conflicto cognitivo a los estudiantes es presentándoles problemas reales de tipo ambiental. Desde hace más de 30 años, para el caso de la presente investigación, el tema de las curtiembres ha causado debate en cuanto al tratamiento de las aguas residuales que causan los procesos de curtido.

En Colombia, las curtiembres se constituyen como una industria reconocida; sin embargo, por el uso 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 la Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, ONUDI (como se citó en Poveda y Sánchez, 2008) algunas de dichas empresas no hacían inversión en infraestructura, lo cual generaba un deterioro del medio ambiente.

Materiales y métodos

Este trabajo investigativo se llevó a cabo a través de un estudio cuasi experimental de tipo "antes y después", el cual buscó fortalecer las competencias científicas investigativas en 17 estudiantes de noveno semestre pertenecientes al Énfasis de Tecnologías Limpias del programa de Licenciatura en Química de la UPN, quienes se hallaban en medio de un ciclo de profundización (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 del pensamiento crítico y del razonamiento complejo: la resolución de problemas y el pensamiento crítico).

Con este grupo se planteó la ejecución de un proyecto de investigación en el aula mediante la implementación de una secuencia didáctica diseñada desde un ciclo de aprendizaje de tipo hipotético-deductivo, en el cual se establece la fitorremediación de cromo hexavalente como una posible solución a las problemáticas propias de la contaminación en cuerpos de agua a causa de las aguas residuales generadas en los procesos de curtido en las curtiembres en Villa Pinzón (Cundinamarca, Colombia).

Siguiendo el ciclo de aprendizaje de Trowbrigg y Bybee (como se citó en Brown, 2003), la secuencia didáctica fue diseñada a través de este ciclo, el cual ha derivado en el desarrollo del enfoque de aprendizaje mediante la investigación. La metodología propuesta al respecto en

la tabla 1 presenta cinco fases: engranaje, exploración, explicación, elaboración y evaluación.

Con las actividades propuestas en la secuencia didáctica, los estudiantes constituyeron en cada fase, una etapa de un proyecto de investigación. Durante la fase de engranaje se buscaba identificar las competencias iniciales, para luego compararlas con las alcanzadas al final de la implementación (estudio cuasi experimental). Luego, durante la fase de exploración se expuso la situación problema, titulada “Sin solución a las curtiembres”, donde se menciona toda la problemática ambiental que generan los procesos de

curtido en el nacimiento del río Bogotá; a partir de ello, los estudiantes generaron soluciones viables al problema, a través de procesos investigativos sobre la fitorremediación.

La situación problema B establecida corresponde a una noticia real, tomada de un diario nacional; esta narra los problemas de contaminación que generan las curtiembres, así como las escasas soluciones que proponen las secretarías de ambiente. Por tal razón, se planteó la necesidad de abordar esta situación desde el énfasis, de tal forma que los estudiantes generaran soluciones amigables con el medio ambiente.

Tabla 1. Fases del ciclo de aprendizaje

Fase	Objetivo	Actividad
Engranaje	Introducir de una manera dinámica e interesante el tema que se está investigando; se espera, de esa forma, que aumente la conciencia del estudiante respecto al tema.	Identificación de los niveles iniciales a través de la solución de una situación problema A.
Exploración	Diseñar, experimentar, llevar a cabo observaciones y recolectar y analizar la información teniendo como guía las preguntas identificadas.	Formulación del proyecto de investigación escolar a partir de una situación problema B.
Explicación	Sintetizar la información al estudiante y formalizar los conceptos aprendidos mediante la aplicación de los términos a patrones y los procesos que surgen durante el desarrollo de la actividad de exploración.	Mesa redonda, ponencias y simposios.
Elaboración	Aplicar los conceptos investigados en un contexto o una circunstancia diferentes.	Prácticas experimentales; solución de la situación problema.
Evaluación	Permite saber la comprensión de los conceptos por parte de los estudiantes.	Ponencia de un artículo científico.

Fuente: elaboración propia

Durante las fases ya mencionadas se buscó dar solución a dos situaciones, en las cuales los estudiantes debían identificar una pregunta o un problema de investigación, plantear hipótesis, diseñar y ejecutar montajes experimentales en los que se estableciera la fitorremediación de cromo (VI) como una solución a las situaciones planteadas.

La fase de engranaje corresponde a un momento en el cual se enfrenta a los estudiantes a una situación problema sobre la contaminación de cromo (VI) en una quebrada de Bogotá, Colombia. Cada grupo de investigación plantea una propuesta investigativa, la cual incluye una pregunta problema, hipótesis, metodología y sistematización de resultados, y en la que, finalmente, dan solución a la problemática de la situación planteada. En esta fase se identificaron las competencias científicas investigativas de los estudiantes de acuerdo con la adaptación y la modificación de los desempeños establecidos por Chona *et al.* (2006). Se determinaron tres criterios para las competencias científicas investigativas (indagación, experimentación y argumentación). Una vez los estudiantes diseñaron la propuesta

investigativa, redactaron un artículo científico y una ponencia de 20 minutos.

Durante las fases de exploración y de explicación se plantea, nuevamente, una situación problema, la cual consiste en la contaminación que generan los procesos de curtido en las curtiembres a causa del cromo (VI). De nuevo, los estudiantes plantean un problema investigativo, hipótesis y metodología, pero en este caso todos los grupos plantean la fitorremediación como una solución viable al problema de contaminación. Cada grupo trabajó con una especie vegetal, para determinar la efectividad de remoción de la especie frente al metal.

En la fase de elaboración, los estudiantes pusieron los montajes experimentales diseñados para cuantificar el porcentaje de cromo (VI) removido por las especies vegetales implementadas. Las especies vegetales utilizadas fueron: *Eichhornia crassipes*, *Cyperus papyrus*, *Spathiphyllum wallissi* y *Dracaena braunii*.

En la figura 1 se presentan los patrones de la sal dicromato de potasio con los cuales se realizó la curva de calibración.

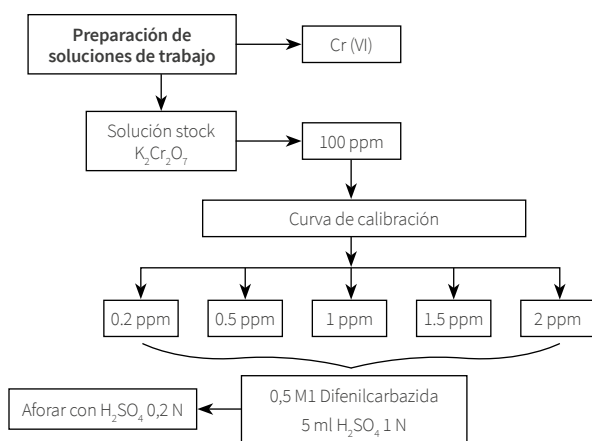


Figura 1. Curva de calibración

Inicialmente, cada grupo de investigación diseñó un montaje experimental para determinar el porcentaje de remoción de Cr (VI); sin embargo, se hizo un consenso con todos los grupos investigativos, y a raíz de este, la determinación de Cr (VI) por el método colorimétrico difenilcarbazida fue el elegido. En las figuras 2 y 3 se presentan los protocolos para dichas determinaciones.

Con los resultados obtenidos en esta fase de experimentación, los estudiantes determinaron la eficacia de las especies vegetales escogidas. Tal información fue expuesta por cada grupo en la ponencia y en el artículo científico elaborado como producto final del proyecto de investigación.

Determinación de Cr (VI) por el método difenilcarbazida en medio ácido (Colorimétrico)



Longitud de onda: 540 nm

Figura 2. Curva de calibración

Cuantificación cromo hexavalente en el sobrenadante de fitorremediación

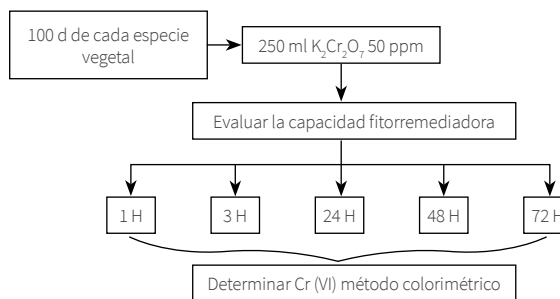


Figura 3. Longitud de onda: 540 nm

Resultados

Competencias científicas investigativas iniciales

Para identificar las competencias científicas investigativas iniciales, se parte de una situación problema frente a una problemática ambiental que se presenta en una zona de Bogotá por la contaminación de cromo hexavalente en una quebrada. Los estudiantes trabajaron en grupos de cuatro personas. En la situación problema A se presentan diferentes roles investigativos; cada grupo se responsabilizó de un rol, correspondiente a una solución desde una biotecnología mencionada en la situación problema del caso (biorremediación-bacterias; biomasa; biorremediación-hongos y fitorremediación), la cual es presentada en un artículo científico y en una ponencia.

Cada rol investigativo elaboró una propuesta investigativa en la que, a través de la biotecnología correspondiente, daba solución al problema ambiental mencionado; es decir, la contaminación por cromo en una quebrada de la ciudad, que afecta la salud de la población. En la figura 4 se presentan algunas de las propuestas diseñadas por los estudiantes.

Rol 1: Biorremediación (bacterias)

*Empleo de microalga *scenedesmus obliquus* en la eliminación de cromo presente en aguas residuales galvanicas*

El vertido de aguas residuales con alto contenido de cromo, procedentes de las industrias galvanoplásticas, es un peligro potencial que se le presenta a la población y al medio ambiente. Se conoce que algunos metales, incluyendo los pesados, a concentraciones bajas participan en diferentes rutas metabólicas, pero en altas concentraciones pueden ser tóxicos para muchos organismos vivos. Algunos microorganismos toman los metales pesados del medio ambiente, siendo capaces de concentrar y acumular grandes cantidades de los mismos en diferentes estructuras citoplasmáticas, sin que lleguen a ocasionar efectos tóxicos en los mismos. Las microalgas son un ejemplo de este comportamiento, ya que tienen afinidad por los metales polivalentes, de ahí la posibilidad de su aplicación como agentes descontaminantes en aguas que contengan iones metálicos disueltos como método alternativo cuando no se pueda utilizar otro método de recuperación. En este trabajo se realizó un estudio de eliminación de cromo presente en las aguas residuales galvanicas, empleando un cultivo de *scenedesmus obliquus*. Se obtuvo una eficiencia de eliminación de Cr (VI) del 12 % y del 27 % para el Cr (III), y en condiciones de inmovilización del alga fue del 95 % para el Cr (III).

Rol 2: Solución-biomasa

PROPUESTA METODOLÓGICA 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. Ésta 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.

Rol 3: Biorremediación (hongos)

Propuesta de Biorremediación para tratar contaminantes de Cromo Hexavalente en distintos entornos

*Cárdenas Rincón Karen Milena, Moreno Bejarano Anderson Alexis,
Ospina Medina Andrés Camilo*

CROMO HEXAVALENTE

Características

Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. Sin embargo, es relativamente suave y dúctil cuando no está tensionado o cuando está muy puro. Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza, resistentes al calor y como recubrimiento para galvanizados.

Rol 4: Fitorremediación

LA FITORREMEDIACIÓN COMO ALTERNATIVA SOCIO-AMBIENTAL PARA LA PROBLEMÁTICA GENERADA EN LA QUEBRADA LA PORQUERA POR CONTAMINACIÓN DE CROMO (VI)

Sindi Faisuli Mancipe Peña,
SFMP (doi_smancipe524@pedagogica.edu.co)

RESUMEN

Existe gran preocupación frente a la problemática socio-ambiental que presenta la quebrada La porquera en el barrio San Benito en el suroccidente de Bogotá, ya que se evidencia contaminación de cromo (VI) en agua de consumo humano, de acuerdo al análisis realizados por el secretario de salud del distrito Héctor Zambrano las concentraciones de cromo se encuentran por encima de los límites permitidos para la salud. De la misma manera Cristina Bustos, investigadora de la U. Nacional, asegura que el agua no cumple con los estándares mínimos de calidad.

Figura 4. Propuestas investigativas

Una vez los estudiantes presentaron en una ponencia los artículos realizados, se identificaron los niveles iniciales de las competencias. En la tabla 2 se presentan los resultados de los niveles iniciales de las competencias científicas investigativas partiendo de los criterios y los desempeños establecidos (I: Inicial, In: intermedio y A: Avanzado).

Tabla 2. Resultados iniciales

	Indagación			Experimentación			Argumentación		
	I	In	A	I	In	A	I	In	A
Grupo 1	X			X			X		
Grupo 2		X			X			X	
Grupo 3	X			X			X		
Grupo 4	X				X		X		

Fuente: elaboración propia

Indagación

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

Teniendo en cuenta la tabla 2, el 75% de la población se encuentra en un nivel inicial; ello se evidencia en la formulación de preguntas problema: los cuestionamientos

establecidos son generales y no exponen una situación específica; son preguntas que no implican un proceso investigativo, pues, al ser tan generales, pueden existir múltiples soluciones. Solo un grupo planteó una hipótesis teniendo en cuenta la problemática establecida. Después de la discusión en la ponencia de artículos, los estudiantes reformularon las preguntas tomando en cuenta los referentes conceptuales. En la tabla 3 se evidencian las preguntas formuladas por los estudiantes en las propuestas investigativas.

Tabla 3. Ejemplos de preguntas

Grupo	Pregunta
Grupo 1	¿Cuál es la mejor solución para remediar el metal de la quebrada?
Grupo 2	¿Cómo la biomasa a partir de frutas con alto contenido en vitamina C puede remediar el cromo hexavalente de la quebrada?
Grupo 3	¿Cómo la biorremediación puede contribuir a la remoción de cromo (VI) en la quebrada?
Grupo 4	¿Cuál es la capacidad remediadora de Cromo (VI) de la especie <i>Ricinus communis</i> ?

Fuente: elaboración propia

El nivel inicial de este criterio se caracteriza por la habilidad para formular preguntas. Al revisar las preguntas diseñadas por los estudiantes, estas, en su mayoría, no especifican la solución del rol investigativo correspondiente; en el planteamiento de hipótesis, algunas no precisan los aspectos metodológicos de la propuesta. Cabe destacar, por otra parte, que los estudiantes participantes cursaban noveno y décimo semestres; es decir, lo que corresponde a un ciclo de profundización de la Licenciatura en Química en el cual se desarrollan las competencias investigativas.

Experimentación

En este criterio se incluyen los desempeños correspondientes a la metodología y la sistematización de la información recolectada durante el proyecto investigativo. Los resultados obtenidos en este criterio denotan que el 50% de la población tenía un nivel intermedio, mientras que el restante mostraba un nivel bajo. El nivel inter-

medio se evidencia en el diseño de experimentos para contrastar las hipótesis y establecer relaciones entre variables. En cuanto a la sistematización de la información, solo un grupo de investigación representa la información a través de tablas, gráficas y diagramas. Una de las dificultades que se presentaron en las propuestas investigativas fue el establecimiento de las variables en los montajes experimentales, así como la selección de procedimientos e instrumentos adecuados para las prácticas diseñadas. En la sistematización de la información se presenta toda la información de los artículos en textos continuos, y no se presentan técnicas matemáticas para determinar los resultados.

En la figura 5 se presentan algunos diseños experimentales expuestos por los estudiantes donde se evidencia, en su mayoría, el texto continuo, no se presentó la información en esquemas o representaciones mentales. En ninguno de los grupos se establecieron las variables de la experimentación.

Rol 1: Biorremediación (bacterias)

Bioadsorción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa Celular de Cryptococcus neoformans y Helminthosporium sp.

Se determinó la bioadsorción de Cromo (VI) en solución por la biomasa celular de la levadura capsulada *Cryptococcus neoformans* y del hongo micelial *Helminthosporium sp.*, por el método colorimétrico de la difenilcarbazida. La biomasa de *C. neoformans* fue más eficiente en la remoción de Cromo (VI) en solución (98%) que la de *Helminthosporium sp.* (65%). La mayor bioadsorción para *C. neoformans* fue a pH=2.0 +/- 0.2, mientras que para *Helminthosporium sp.* fue a pH=4.0 +/- 0.2, ambas a 28°C durante 24 horas con 0.2 mg/L de biomasa celular. Se concluye que las biomásas fúngicas remueven eficientemente Cromo (VI) en solución y pueden utilizarse para descontaminar nichos acuáticos contaminados con este metal.

Rol 2: Solución-biomasa

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 (VI)
- Cuantificar mediante absorción atómica la cantidad de cromo que adsorbe la biomasa elaborada.

Rol 3: Biorremediación (hongos)

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 UAGSP, 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 resiembras sucesivas en AEM-Cr y ASM. 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 206-2080 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 glicólico (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 tridestilada, se secó (80°C, 12 h) en estufa bacteriológica, se molió en mortero y se guardó en frascos de vidrio ámbar a temperatura ambiente hasta su utilización.

Rol 4: Fitorremediación

METODOLOGÍA (Práctica experimental)

Se diseñó una estrategia ambiental para lograr implementar un sistema de producción más limpia con el fin de que sea implementado en el sector de cultivos de San Isidro resaltando los posibles beneficios ambientales y sociales. Esta solución alternativa se viene practicando en diferentes países, uno de ellos es Quito Ecuador donde utilizan la *fitoremediación*.

“La *fitoremediación*, es una técnica de fitorremediación que usa raíces de plantas para descontaminar agua superficial, subterránea o efluentes líquidos contaminados con metales pesados, toxinas orgánicas, entre otros elementos.”

1. Elección del tipo de planta: Se selecciona el tipo de planta para la absorción del cromo. Se toma la planta de pasto que tenga su raíz una longitud de 30cm y estas se ponen en contacto con el cromo por 24 horas (se registran los cambios que presentará).
2. Cultivos hidropónicos: Se realiza un cultivo de semilla de Samba. Una vez que las plantas ubicadas en las bandejas tienen de 8 a 10 cm de altura se las lleva a recipientes (vasos) de 1 litro de capacidad. Estos recipientes también contienen solución nutritiva para asegurar que las plantas crezcan hasta un tamaño de entre 30 a 60 cm. de altura y que desarrollarán raíces resistentes.

VARIABLES

- Tablas
- Gráficas

Figura 5. Propuestas investigativas

Argumentación

En este criterio se encuentran los desempeños correspondientes al análisis de los resultados obtenidos durante la experimentación y la resolución de la pregunta planteada en la indagación. De acuerdo con la tabla 2, el 75% de la población, presenta un nivel inicial en este criterio; es decir, los grupos resolvieron la pregunta, pero no es evidente la argumentación en la discusión de las ideas: parafrasean a los autores citados en el marco teórico y no relacionan el contenido de este y la cotidianidad. Las referencias bibliográficas citadas en los artículos investigativos de los estudiantes son desactualizadas.

Para poder identificar este criterio, se evaluó el artículo científico y la presentación oral de la propuesta investigativa. La argumentación se convierte en una dificultad y un problema al momento en que se intenta expresar de forma oral y escrita explicaciones referentes a fenómenos en el contexto específico de las ciencias, lo cual

exige rigurosidad, precisión, estructuración y coherencia. De acuerdo con Izquierdo y Sanmartí (1998), la única manera de aprender a producir argumentaciones científicas es producir textos argumentativos en ciencias, ya sean escritos u orales, y en los que se discutan las razones, las justificaciones y los criterios necesarios para elaborarlos. Este aprendizaje implica aprender a utilizar unas determinadas habilidades cognitivo-lingüísticas (describir, definir, explicar, justificar, argumentar y demostrar), que, a su vez, necesitan el uso de determinadas habilidades cognitivas básicas del aprendizaje (analizar, comparar, deducir, inferir, valorar...) (Prat, 1998).

El término competencia para el programa de Licenciatura en química de la universidad 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, de un oficio o de un campo determinado del saber, manifiestan desempeñarse eficaz y eficientemente en una sociedad (UPN, 2015).

Hablar de competencia se ha convertido en tema de investigación pedagógica y didáctica, por cuanto este trabajo investigativo se enfoca en el desarrollo de competencias científicas. Chona *et al.* (2006) definen una competencia científica como la capacidad de un sujeto, expresada en desempeños observables y evaluables, y 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 las ciencias. De acuerdo con ello, es necesario establecer unos desempeños para poder identificar las competencias científicas investigativas, las cuales se evidencian en la propuesta desde la formulación de preguntas problema hasta la presentación oral del proyecto investigativo.

Implementación de la propuesta didáctica de fitorremediación

De acuerdo con la metodología elegida, se aplicó una secuencia didáctica diseñada desde el ciclo de aprendizaje propuesto por Trowbrigg y Bybee (como se citó en Brown, 2003). En ella se planteó a los estudiantes una segunda situación problema sobre la contaminación en las curtiembres; para el caso, la noticia se enfocó en la fitorremediación como una posible solución a la problemática. Cabe destacar que la fitorremediación es una técnica para descontaminar suelos y los cuerpos de agua usando plantas vasculares, algas u hongos.

Cada grupo de investigación trabajó con una especie vegetal diferente; con base en ello, formularon, aplicaron y ejecutaron un proyecto de investigación en el aula para determinar la capacidad de remoción del metal pesado en la especie tratada.

En la figura 6 se presentan, de izquierda a derecha, las especies empleadas durante la investigación (*Eichhornia crassipes*, *Dracaena braunii*, *Spathiphyllum wallisii* y *Cyperus papyrus*).



Figura 6. Especies vegetales

Resultados experimentales

Determinación de los porcentajes de remoción de cada especie vegetal

Aunque la técnica empleada se denomina fitorremediación, el proceso llevado a cabo con cada una de las especies vegetales también es un proceso de bioacumulación, pues se presenta un aumento de la concentración de Cr^{6+} en un organismo biológico en un lapso determinado.

En la figura 7 se muestra el porcentaje de retención de Cr^{6+} para cada una de las especies vegetales, en un lapso de 72 horas.

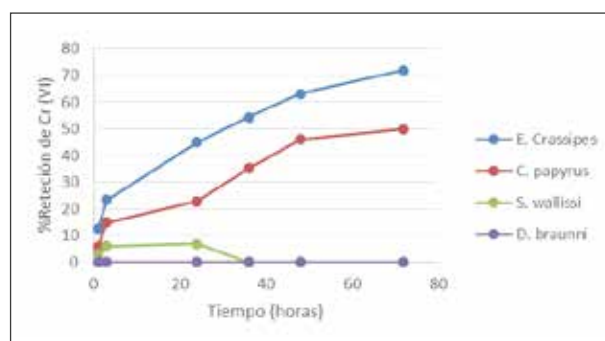


Figura 7. Capacidad remediadora

En la figura 7 se observan diferencias significativas en cuanto a la capacidad remediadora de las cuatro especies vegetales: en tiempo 0 horas, se parte de una concentración de 50 ppm. A medida que va pasando el tiempo, cada una de las especies, exceptuando *D. braunii*, va reteniendo en sus tejidos parte del contaminante. De acuerdo con la figura, la especie con mayor capacidad de retención es *E. crassipes*: cerca ya de las 72 horas, esta especie ha removido cerca del 72% del contaminante. En el caso de las especies *S. wallisii* y *D. braunii* ocurre una saturación del contaminante en las plantas inmediatamente se ponen en contacto; ello indica que dichas especies pueden remover solo bajas concentraciones de cromo (VI).

La especie *E. Crassipes* es la que tiene la mayor capacidad remediadora del contaminante; esta planta se puede emplear fácilmente en procesos de fitorremediación, pues cumple con algunas características como alta productividad, alta eficiencia en cuanto a remoción de nutrientes y de contaminantes, alta predominancia en condiciones naturales adversas y fácil cosecha (Olguín y Hernández, 1998).

Según Arroyabe y Posada (2004), la acumulación de metales por los organismos acuáticos consiste, primero que todo, en una adsorción rápida (biosorción), seguida por un transporte lento, controlado, principalmente, por difusión en el interior de la célula (bioacumulación).

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, *E. Crassipes* y *C. papyrus* 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 hallado que existe una relación directa entre la capacidad de adsorción de las especies vegetales acuáticas y su contenido en polisacáridos.

En las especies vegetales del presente estudio ocurre, en primera instancia, un proceso de fisorción; 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 encuentran libres en la interface. Luego de este proceso, el adsorbato interacciona químicamente con el adsorbente; tal 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 son (Cheng y Mulla citados en Kral y Viney, 1999):

1. Hay especificidad: solo 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.

Los problemas de contaminación por metales pesados que existen actualmente en los cuerpos de agua requieren tecnologías costo-efectivas y ambientalmente positivas que puedan aplicarse a gran escala; tal es el caso de la fitorremediación. La gran capacidad de las especies vegetales acuáticas para absorber, adsorber, metabolizar, acumular, estabilizar o volatilizar contaminantes le otorga a esta tecnología importantes ventajas sobre otros métodos fisicoquímicos convencionales de remediación de la contaminación.

Competencias científicas investigativas finales

Una vez cada grupo de investigación cuantificó los porcentajes de retención del metal, los estudiantes elaboraron un artículo y una ponencia en los que exponían los resultados obtenidos durante la fase de elaboración. Después de la implementación (tabla 4), se identificaron de nuevo los niveles de las competencias científicas investigativas teniendo en cuenta el proceso investigativo de cada grupo durante los tres meses de la implementación, el cual finaliza con la exposición de un artículo científico.

Tabla 4. Resultados finales

	Indagación			Experimentación			Argumentación		
	I	In	A	I	In	A	I	In	A
Grupo 1		X			X		X		
Grupo 2			X		X				X
Grupo 3		X			X			X	
Grupo 4		X			X			X	

Fuente: elaboración propia

Indagación

Después de la implementación didáctica, el 75% de la población tuvo un nivel intermedio, y el 25%, un nivel avanzado. El nivel intermedio se caracteriza por formular preguntas sobre hechos y fenómenos derivados de

la experimentación, la formulación y la contrastación de hipótesis. Todos los grupos tomaron en cuenta antecedentes experimentales para el planteamiento de preguntas e hipótesis. En un nivel avanzado, el grupo restante planteó un problema disciplinar simbolizando los conceptos sobre hechos derivados de la experimentación.

En la tabla 5 se evidencian las preguntas formuladas por los estudiantes en los artículos investigativos sobre la fitorremediación.

Tabla 5. Ejemplos de preguntas

Grupo	Pregunta
Grupo 1	¿Cuál es la capacidad remediadora de Cr ⁶⁺ en la especie <i>Eichhornia crassipes</i> , a partir de la cinética de acumulación?
Grupo 2	¿Cuál es la eficacia de la especie <i>Cyperus papyrus</i> en la remoción de cromo (VI)?
Grupo 3	¿Cuál es la capacidad remediadora de especie <i>Spathiphyllum wallissi</i> en soluciones de Cr (VI) al cabo de 120 horas de contacto?
Grupo 4	¿Cuál es el tipo de fitorremediación de la especie <i>Dracaena braunii</i> en presencia de cromo hexavalente?

Fuente: elaboración propia

A diferencia que en la situación problema 1, las preguntas establecidas por los grupos se enmarcan desde la experimentación, se caracterizan por ser más específicas teniendo en cuenta la especie vegetal correspondiente.

Después de la fase de engranaje, cada grupo de investigación recibe una asesoría con los docentes investigadores, y mediante esta se revisan semanalmente los avances frente a la propuesta de la situación problema B y se replantean el problema, la hipótesis y la metodología. En esta parte, cada grupo de investigación se hace cargo de una especie vegetal; por ende, las preguntas planteadas son más específicas, y, de igual forma, las hipótesis son relacionadas con la capacidad retenedora y remediadora de la especie según la concentración del metal.

Castro y Salcedo (2008) plantean la implementación de situaciones problema de carácter ambiental en el aula, lo que exige al estudiante la interpretación, la profundización y el afianzamiento de conceptos, la emisión de hipótesis, el planteamiento de estrategias de solución, la contrastación entre posibles hipótesis, la obtención de

resultados y el análisis de estos al contrastarlos con la opinión de la comunidad científica. Paralelamente, tal tipo de actividades conllevan la aplicación de procesos que favorecen el desarrollo de competencias investigativas, así como de estrategias de lectura, que permitan, además, implementar técnicas de argumentación que faciliten el planteamiento de proposiciones acordes con su contexto.

Experimentación

Tras la implementación de la propuesta, en este criterio, el 100% de la población se encuentra en un nivel intermedio, comparado con el nivel inicial de la fase de exploración. Todos los grupos de investigación diseñaron experimentos para contrastar las hipótesis planteadas y seleccionaron procedimientos e instrumentos adecuados para determinar la capacidad de remoción de cada especie vegetal. En cuanto a la sistematización de la información, cada grupo empleó técnicas y modelos matemáticos para explicar los resultados. En la figura 8 se evidencian las prácticas experimentales realizadas por los estudiantes mediante la técnica colorimétrica de difenil carbazida.



Figura 8. Experimentación

Aunque se estandarizó el método analítico de cuantificación de cromo (VI) para todos los grupos, cada uno de ellos planteó inicialmente prácticas y diseños experimentales,

que incluían cuantificación de cromo total por absorción atómica y el método colorimétrico por difenilcarbazida. Los resultados obtenidos fueron óptimos para dos de las

especies empleadas (figura 1); sin embargo, en cuanto a las especies que no removieron el metal, los grupos investigativos propusieron, a modo de recomendación, algunas modificaciones a los montajes experimentales y la manipulación de las variables para posteriores investigaciones. Una de ellas es trabajar usando concentraciones más bajas del metal, para no sobresaturar la especie vegetal; también, disminuir a una hora el tiempo de contacto y realizar la cinética de bioadsorción por este tiempo.



Figura 9. Montajes experimentales

Argumentación

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos después de la implementación didáctica, el 50% de la población se encuentra en un nivel intermedio; el 25%, en un nivel avanzado, y el 25% restante, en un nivel inicial. El nivel avanzado se caracteriza por resolver problemas disciplinares; un grupo de investigación resolvió la problemática de la contaminación de cromo con especies vegetales disponibles en los humedales de la ciudad. Por otro lado, el nivel intermedio se evidenció en las ponencias elaboradas por cada grupo, donde sustentaron los resultados y los análisis obtenidos planteando recomendaciones para próximas investigaciones.

La implementación didáctica se evaluó a través de los artículos científicos que elaboró cada grupo de investigación, y los cuales fueron admitidos en revistas indexadas.

Argumentar en ciencias implica varias habilidades; una de ellas es la identificación de pruebas y de datos. La utilización de pruebas científicas permite elaborar y comunicar conclusiones e identificar los supuestos, las pruebas y los razonamientos que las sustentan (Molina, 2012). La explicación de los resultados obtenidos tiene un papel importante: sustentar o refutar una explicación científica. Y para favorecer su uso en el aula, lo más importante es diseñar tareas y actividades que demanden de los estudiantes un papel activo.

La enseñanza, el aprendizaje y el desarrollo de la argumentación implementando situaciones problema en el aula busca que los estudiantes tengan elementos que les permitan, por ejemplo, interpretar una noticia, discutir una decisión, defender una posición, realizar una acción, persuadir a un determinado auditorio y, también, poner en juego las diferentes perspectivas conceptuales, procedimentales y actitudinales, de tipo tanto intrapersonal como interpersonal.

Proponer en el aula problemas ambientales reales permite a los estudiantes cuestionarse y enfrentarse a situaciones que impliquen un proceso investigativo, para llegar a solucionarlas. Al aproximarse a la consolidación de un proyecto investigativo, los estudiantes generaron nuevas ideas para resolver la problemática de la contaminación que generan las curtiembres en Bogotá y sus alrededores; los grupos de investigación evaluaron la eficacia de las especies vegetales y establecieron que utilizar dichas especies es una buena opción para el tratamiento de aguas residuales. Con la implementación de la secuencia didáctica enfocada en problemas de corte ambiental, se favoreció el desarrollo de las competencias científicas investigativas.

En la figura 10 se presenta parte de un artículo científico elaborado por uno de los grupos de investigación.

Presentación

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

Beltrán Alejandra, Moreno Anderson, Ospina Andrés
 dqu_mbeltran856@pedagogica.edu.co; dqu_amoreno212@pedagogica.edu.co;
 dqu_ospina875@pedagogica.edu.co

RESUMEN.

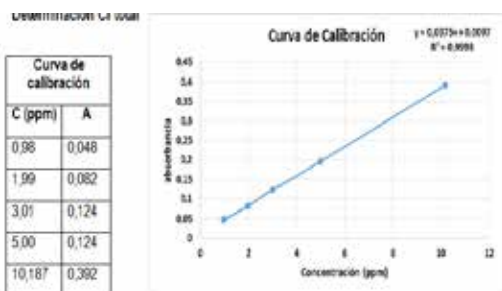
La no apropiada disposición de los metales pesados generados en las actividades humanas (industriales y domésticas), propicia la toxicidad de estos elementos químicos en las fuentes hídricas a nivel mundial, hecho de sumo interés debido su acumulación y transmisión en la cadena trófica. En este trabajo se evaluó la efectividad de fitoremediación 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.

Metodología

DISEÑO EXPERIMENTAL. Preparación de las muestras



Resultados



Discusión y análisis



Figura 10. Artículo de investigación final

Conclusiones

Los problemas ambientales que genera la contaminación por metales pesados en el agua son un claro ejemplo del tipo de problemáticas actuales que se pueden llevar al aula, y a las cuales se logra proponer alternativas de solución. Partir de una situación problema, como lo fue la contaminación por cromo hexavalente en cuerpos acuíferos a causa de las curtiembres, exigió a los docentes en formación buscar una solución amigable con el medio ambiente y que se pueda llevar al aula como una estrategia didáctica para desarrollar competencias científicas investigativas.

Mediante la elaboración de proyectos de investigación sobre problemas ambientales, se fortaleció el desarrollo de las competencias científicas investigativas, las cuales permitieron al docente en formación interpretar, argumentar y proponer soluciones frente a una situación problema, al darle la oportunidad de concienciarse sobre su entorno, así como ampliar sus conocimientos para impulsar los procesos de prevención y resolución de los problemas ambientales presentes y futuros.

Enseñar nuevos conocimientos en un énfasis de tecnologías limpias a docentes de química en formación —en este caso, la fitoremediación de metales pesados— implicó que el estudiante vea el conocimiento científico no solo en el cuerpo teórico de la biotecnología, sino desde sus implicaciones sociales y ambientales y su relación con el mundo que lo rodea. Utilizar situaciones problema, reales o ficticias, que impliquen el conocimiento científico en su resolución favoreció el desarrollo y el fortalecimiento de habilidades investigativas por parte de los estudiantes, y permite el afianzamiento de competencias en ellos.

Los porcentajes de retención representan la cantidad de cromo (VI) que ha adsorbido al cabo de 72 horas cada una de las especies vegetales trabajadas; la especie *Eichhornia crassipes* remueve el 72,55% del contaminante, mientras que la especie *Cyperus papyrus* retiene el 49,9%. Las especies *Spathiphyllum wallisii* y *Dracaena braunii* no remueven concentraciones altas de cromo hexavalente.

Referencias

- Arroyabe, M. y Posada, M. (2004). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*, 6, 57-67. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia.
- Brown, F. (2003). Aprendizaje mediante la investigación: enseñanza para el cambio conceptual en la educación ambiental. *Revista Green Teacher*, 5 (71), 31-34.
- 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*, 2, 91-96.
- Chona, G., Arteta, J., Martínez, S., Ibáñez, X., Pedraza, M. y Fonseca, G. (2006). ¿Qué competencias científicas promovemos en el aula? *Revista TEA*, 20, 62-79.
- Davis, H. (2003). Pesticides in canals of South Florida. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 32, 337-345.
- García, G. y 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*, 3, 7-16.
- Garriz, A. (2006). Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, 20.
- Ho, S. y Mackey, G. (1999). Pseudo second order model for sorption processes. *Processes Biochemistry*, 451-459.
- Izquierdo, M. y Sanmartí, N. (1998). Enseñar a llegar i a escriure textos de ciències de la naturalesa. En: J. Jorba, I. Gómez y A. Prat (Eds.). *Parlar i escriure per aprendre. Úsde la llengua en situació d'ensenyament-aprenentatge de les àreescurriculars* (pp. 210-233). Bellaterra: ICE de la UAB.
- Kral, D. y Viney, M (1999). *Biorremediation of contaminated soils*. Madison, Wisconsin, Estados Unidos: American Society of Agronomy, Inc. pp. 1-13.
- Medivelso, M. (2006). Hacia un aprendizaje comprensivo de la investigación. *Revista TEA*, 18, 65-71.
- 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.
- Olgúin, E. y Hernández, E. (1998). *Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater*. Institute of Ecology, Environmental Biotechnology. Vancouver. Recuperado de: www.idrc.ca/industry/canada.
- Orozco, A., Enamorado, E. y Arteta, J. (2012). Concepciones de la competencia científica indagar en docentes de ciencias naturales. *EDUCyT. Vol. extraordinario*. 34-23.
- Prat, A. (1998). Habilitats cognitivo-lingüístiques i tipologia textual. En: J. Jorba, I. Gómez y A. Prat (Eds.). *Parlar i escriure per aprendre. Ús de la llengua en situació d'ensenyament-aprenentatge de les àreescurriculars*, pp. 59-84. Bellaterra: ICE de la UAB.
- Poveda, L. y Sánchez, M. (2008). *Hacia una producción limpia con la adecuada administración de los recursos naturales*. Tesis de grado para obtener el título de Administración. Universidad Minuto de Dios. Bogotá.
- Universidad Pedagógica Nacional, UPN. (2015). *Competencias del programa de Licenciatura en Química*. Recuperado de: <http://www.pedagogica.edu.co/>