

INCORPORACION A LA CURRICULA DE UNA METODOLOGIA PARA LA DEGRADACION DE CIANUROS

Laurenti, Rocío B.^{1,2}, Lottersberger, Javier¹, Macagno, Julio C.¹, Kergaravat, Silvina V.^{1,2}

¹Cátedra de Química Ambiental, Escuela Superior de Sanidad, Universidad Nacional del Litoral, Ciudad Universitaria – Paraje El Pozo, Santa Fe (CP 3000), Argentina.

²Laboratorio de Sensores y Biosensores, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral, Ciudad Universitaria – Paraje El Pozo, Santa Fe (CP 3000), Argentina.

Email: skergaravat@fcb.unl.edu.ar

Resumen

El propósito de este trabajo fue evaluar los procesos de enseñanza y aprendizaje de los alumnos de la carrera de Licenciatura en Saneamiento Ambiental frente a, la incorporación dentro de la asignatura de Química Ambiental, de un trabajo experimental en el laboratorio. Este trabajo consistió en el estudio de la degradación de un contaminante que actualmente está afectando una región de nuestro país, como es el cianuro, a partir de derrames hacia vertientes de agua que se han producido en una minera en San Juan. Para llevar a cabo esta incorporación se utilizaron estrategias expositivas y un trabajo experimental en el laboratorio, con la posterior evaluación del material generado por parte de los alumnos a partir de preguntas contenidas en una encuesta. Los resultados de la misma revelaron que, la incorporación de esta actividad, generó conciencia por parte de los alumnos de la importancia de la evaluación y control de la calidad del agua de consumo humano, el conocimiento de técnicas para lograr la degradación de un contaminante, con la posible remediación de un daño ocasionado, y el aprendizaje de como informar e interpretar los resultados.

PALABRAS CLAVE: enseñanza, aprendizaje, trabajo experimental, laboratorio, química ambiental, cianuro.

Abstract

The teaching-learning process of students of Licenciatura en Saneamiento Ambiental career was the purpose of this work by the incorporation of experimental work in environmental chemistry. This work consisted on the study of the degradation of a contaminant that is affecting one region in our country, cyanide, from spill to water slopes in the San Juan mine. In order to do that, expositive strategy and experimental work in the laboratory, with the ulterior evaluation of material by surveys to students, were used. The results revealed that the activity incorporation generated consciousness in the students about the importance of evaluation and quality control of water for human consumption. Also, it offered knowledge about techniques of degradation of contaminant as a possible remedy for damage and learning about how result inform and interpret.

Keywords: teaching, learning, experimental work, laboratory, environmental chemistry, cyanide.

Introducción

La actividad experimental es uno de los aspectos clave en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias tanto por la fundamentación teórica que puede aportar a los estudiantes, como por el desarrollo de ciertas habilidades y destrezas para las cuales el trabajo experimental es fundamental, asimismo, en cuanto al desarrollo de ciertas habilidades del pensamiento de los estudiantes y al desarrollo de cierta concepción de ciencia derivada del tipo y finalidad de las actividades prácticas propuestas (López et al., 2012).

La química ambiental es la aplicación de la química al estudio de los problemas y la conservación del ambiente. Estudia los procesos químicos que naturalmente tienen lugar en el ambiente global, o en alguno de sus compartimentos: el suelo, los ríos y lagos, océanos, la atmósfera, así como el impacto de las actividades humanas sobre nuestro entorno y la problemática que eso ocasiona. Asimismo, estudia los tratamientos de los contaminantes para reducir su carga dañina (Baird Colin, 2004). En este sentido, la asignatura "Química Ambiental" tiene como objetivo de estudio la generación, dispersión, permanencia, transformación y remoción de especies químicas en el ambiente y sus interacciones con los sistemas biológicos; y trata principalmente los aspectos químicos relativos a los problemas que los seres humanos han creado en el ambiente natural. La química juega un papel importante en el ambiente, ya que en él se transforman un gran número de compuestos químicos a través de la interacción de varios procesos, es por esto que el propósito principal de la asignatura es que el estudiante de la carrera de Licenciatura en Saneamiento Ambiental adquiera conocimientos sobre la química del ambiente y sobre los sucesos de interés ambiental debido a las actividades humanas, así como aprender a identificar, a partir de la información más actual, los problemas del medio y la posible defensa del mismo.

El constante desarrollo de la humanidad, principalmente en los últimos cien años, ha generado efectos negativos sobre el ambiente. Estas acciones deben ser controladas y los efectos subsanados en pos de su conservación. En este sentido, es sumamente importante que los futuros profesionales estén formados con contenidos teóricos y prácticos actualizados y que sean de utilidad para la resolución de problemas reales en un futuro como profesional.

La contaminación del agua abarca una enorme amplitud de aspectos, desde el agua como parte de las bondadosas capacidades naturales que proveen el recurso, para el desarrollo de la vida humana, y que, la actividad humana devuelve al entorno natural, en niveles de calidad que alteran, hasta ocasionar rupturas en equilibrios naturales

frágiles, que sustentan a esa misma vida. Desequilibrios que crecen paralelamente al crecimiento de las poblaciones en los ecosistemas y, que, en términos de balance energético, contribuyen con entropía creciente a los daños irreparables a nuestro planeta (Mendizabal, 2010). Uno de los usos del agua es en los procesos industriales. La contaminación derivada de este sector es una importante problemática ambiental, pues se trata de aguas que contienen sustancias tóxicas y que necesitan de un tratamiento específico y efectivo. Desde este punto de vista, un contaminante muy importante es el cianuro, ya que es una problemática que afecta actualmente a una región de nuestro país, debido a que se han reportado varios derrames de cianuro a partir de la mina Veladero, ubicada a 350 kilómetros de la ciudad de San Juan. Esta minera, realiza explotación a cielo abierto desde 2005. Se han conocido cinco derrames de cianuro: tres en 2011 y 2012 que no se hicieron públicos, uno en septiembre de 2015, donde se informó un derrame en la cuenca del río Jáchal en San Juan de más de un millón de litros de agua contaminada, y otro en septiembre de 2016, con cifras de derrame inciertas aún (Infobae).

Además de los procesos de minería, el cianuro se utiliza en la obtención de productos químicos orgánicos como el nitrilo, en plásticos acrílicos, galvanoplastia, procesamiento de metales, endurecimiento de acero, aplicaciones fotográficas y producción de caucho sintético (Akcil, 2003). Anualmente, se utilizan más de un millón de toneladas de cianuro de las cuales cerca del 20 % se emplean en aplicaciones mineras en todo el mundo, principalmente, para la hidrometalurgia del oro (Sancho et al., 2009).

Ambientalmente las formas de cianuro libre (HCN y CN^-) no son generalmente detectables en efluentes mineros, la preocupación por la toxicidad de los mismos radica en las formas complejas de cianuro y la posibilidad de ruptura y generar cianuro libre en el nuevo sistema (Gaviria et al., 2006).

Para el vertido de efluentes que contengan este tipo de sustancias, cada provincia resuelve dictar una ley teniendo como referencia leyes nacionales como la 25.674 de "Política Ambiental" y la 24.051 de "Residuos Peligrosos", y establecen los límites admisibles de contaminante según los usos del agua. En la provincia de Santa Fe el Ente Regulador de Servicios Sanitarios, ENRESS, en Anexo I.2.2 establece para la provisión de agua potable, que el límite máximo tolerable es $100 \mu\text{g/L}$ de cianuro y el límite recomendable $50 \mu\text{g/L}$ de cianuro. En el mismo sentido, el Anexo II del decreto 831/93 que promulga la ley 24.051 de Residuos Peligrosos, establece los niveles guía de calidad de agua para fuentes de agua de bebida humana con tratamiento

convencional, y los niveles guía de calidad de agua para protección de la vida acuática de 100 y 50 $\mu\text{g/L}$ de cianuro total respectivamente. Las aguas residuales generadas en las empresas resultan peligrosas para el ambiente por lo que deben de ser gestionadas adecuadamente. Para ello, se tratan con procesos de detoxificación y se acumulan en balsas de contención impermeabilizadas donde pueden ser causa de desastres medioambientales (Sancho et al., 2009).

Existen varios métodos para el tratamiento de efluentes que contengan cianuros, el objetivo de los mismos es reducir su concentración hasta niveles permisibles, dentro de los más conocidos se encuentran: degradación natural, recuperación del cianuro, precipitación, conversión a formas menos tóxicas y degradación por oxidación, dentro de esta última, el uso de peróxido de hidrógeno es la base de uno de los métodos más efectivos para la degradación del cianuro, es fácil de manejar, no forma sales insolubles (que constituyen un problema para su posterior disposición) y el peróxido residual se degrada en agua y oxígeno (Iordache et al., 2003), lo cual constituye una importante ventaja desde el punto de vista ambiental, ya que no se forman durante a reacción subproductos que resulten tóxicos.

Es por todo lo expuesto anteriormente que se propuso incorporar a la currícula de Química Ambiental, un trabajo experimental en el laboratorio sobre la degradación de cianuros a través del método por oxidación utilizando peróxido de hidrógeno, como recurso educativo para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje a través de acercar al alumno a un problema real y a una posible solución práctica del mismo.

Metodología

I. Aspectos teóricos:

Esta actividad se realizó previamente a la experimental y consistió en dar un marco teórico y todas las explicaciones necesarias para que el alumno comprendiera la problemática, los pasos a seguir en el laboratorio y la interpretación de los resultados. Para ello, se recurrió a la ayuda de recursos audiovisuales y presentaciones orales a través de estrategias expositivas.

II. Aspectos prácticos:

Muestra de cianuro:

Se preparó una muestra artificial de 306 ppm de cianuro constituida por 0,11 g L^{-1} de ZnSO_4 , 0,014 g L^{-1} de KOH y 0,7 g L^{-1} de NaCN .

Método de degradación de cianuros:

El peróxido de hidrógeno oxida al cianuro en cianato, el cual, es mucho menos tóxico. Posteriormente el cianato se hidroliza a amoníaco y bicarbonato, como se indica en las reacciones (1) y (2):



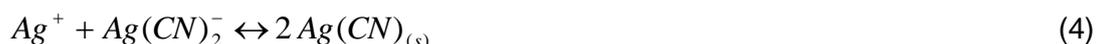
Experimentalmente, se tomaron muestras de 250 ml y a cada una se le agregó volúmenes crecientes de H₂O₂ 100 vol O₂. Luego, se mantuvo la reacción durante 15 minutos en agitación constante, controlando el pH entre 9 y 10 (Farez Román et al., 2011).

Método de cuantificación de cianuros:

Para determinar la concentración de cianuros inicialmente presentes en la muestra y luego del proceso de degradación, se utilizó el método argentométrico, que consiste en la titulación de cianuro con una solución valorada de nitrato de plata mediante el Método de Liebig (Skoog y West, 2002). Al adicionar iones plata a una solución de cianuro alcalino, se forma un complejo estable según la reacción (3):



En exceso de ion plata, este reacciona con el anión Ag (CN)₂⁻ para formar un precipitado de cianuro de plata según la reacción (4):



El punto final de la titulación está señalado por la aparición de turbidez producto del precipitado que se forma. A fin de mejorar la visualización del punto final de valoración se utiliza como indicador una solución de cromato de potasio, el que reacciona con exceso de ión plata para dar un precipitado color naranja. Para ello, se tomó una alícuota de 10 mL de la muestra del efluente a estudiar, se le agregó 1 mL de cromato de potasio como indicador, y se tituló con la solución valorada de nitrato de plata hasta viraje del indicador.

A partir de los datos obtenidos, se calculó el contenido de cianuro en la muestra, mediante la ecuación (5):

$$ppm_{CN^{-}} = \frac{V_{AgNO_3} (mL) * N_{AgNO_3} (meq/mL) * Peq_{CN^{-}} (mg/meq) * 1000 mL}{V_{muestra} (mL) * L} \quad (5)$$

Teniendo los valores de cianuro obtenidos antes y después del proceso de degradación, se calcula un porcentaje de degradación siguiendo la siguiente ecuación (6):

$$\% \text{ de degradación} = 100 - \left(\frac{CN_{final}^-}{CN_{inicial}^-} \times 100 \right) \quad (6)$$

En forma posterior a la realización del trabajo práctico se entregó una encuesta a los alumnos con la finalidad de tener su opinión sobre el desarrollo del mismo, de manera de poder evaluar el material didáctico elaborado por los docentes y corregir aquellos aspectos cuestionables por el alumnado en los posteriores dictados de la asignatura. La encuesta consistió en 10 preguntas relacionadas a la importancia de los conceptos adquiridos, la claridad de interpretación de las consignas, la cantidad de actividades acorde al tiempo establecido y el pedido de comentarios o sugerencias que mejoren la calidad del material brindado.

Resultados

A continuación se señalan los resultados producto del desarrollo del trabajo autónomo de los alumnos. En el Figura 1 podemos observar los porcentajes de degradación obtenidos frente a las distintas adiciones de agua oxigenada desde una concentración de 0,8 a 40 volúmenes de oxígeno, para un mismo tiempo de reacción (15 min.). Coincidiendo con los resultados esperados, los alumnos lograron demostrar que a medida que se adicionan mayores cantidades de agua oxigenada, se logran mayores porcentajes de degradación de cianuro, hasta valores no detectado (límite de detección de 5 ppm calculado teniendo en cuenta la incertidumbre del material volumétrico utilizado) con la volumetría basada en el método de Liebig frente a la adición de una concentración de 40 volúmenes de oxígeno.

Esto demuestra que la contaminación de cianuro no es irremediable y que existe un potencial tratamiento para las aguas contaminadas.

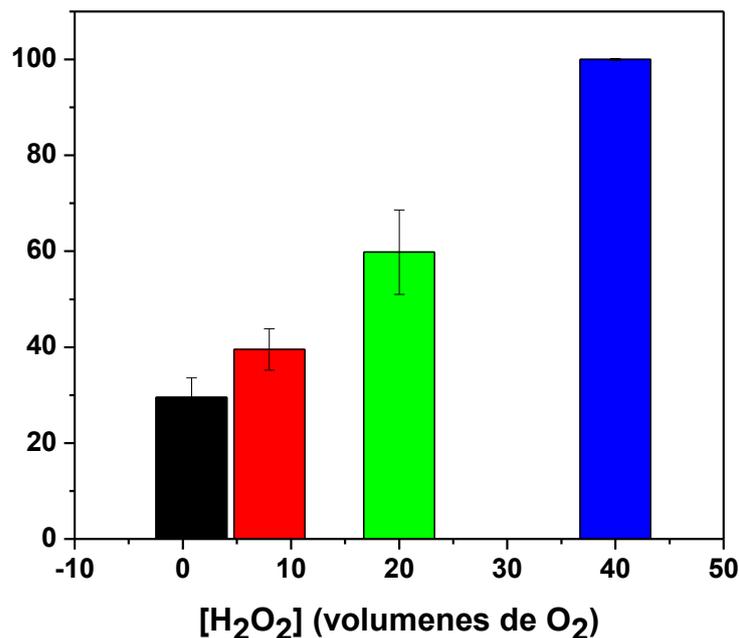


Figura 1: Gráfico de barras del %degradación de cianuros frente a diferentes concentraciones de H₂O₂

De la encuesta realizada a los alumnos luego del trabajo práctico se pudieron extraer las siguientes reflexiones:

- ❖ Les pareció de gran importancia la implementación de este trabajo práctico, teniendo en cuenta las incumbencias de la carrera.
- ❖ Les resultó interesante la temática ya que se trata de una problemática que afecta nuestro país debido a los sucesivos derrames de cianuro por parte la minera de San Juan.
- ❖ Les resultaron claras las explicaciones del trabajo práctico, ya que utilizaron herramientas adquiridas previamente en otras asignaturas, como Química Analítica.
- ❖ Ven correcta la implementación del trabajo práctico en esta asignatura.
- ❖ Les sirvieron los conocimientos adquiridos previamente en otras asignaturas, sobre todo en Química Analítica.
- ❖ El tiempo se extendió más de lo previsto, por lo que sería un punto a mejorar en el próximo dictado.
- ❖ El material brindado fue óptimo para la comprensión de la temática.
- ❖ No hubo dificultades en el desarrollo del trabajo práctico.
- ❖ En el informe final tuvieron algunas dificultades en los cálculos de concentraciones de cianuro y en la interpretación de los resultados.

❖ Como sugerencia, reducir las actividades del trabajo práctico para que no se extienda el tiempo más allá de lo establecido.

Discusión

Cuando tratamos estrategias de intervención educativa debemos tener presente dos cuestiones complementarias: estrategias de la enseñanza y del aprendizaje.

Una estrategia de la enseñanza equivale a la actuación secuenciada potencialmente consciente del profesional en educación, del proceso de enseñanza en su triple dimensión de saber, saber hacer y ser. Mientras que, una estrategia del aprendizaje equivale a la actuación secuenciada, consciente o inconscientemente, por parte del alumno con la intencionalidad de aprender de forma total o parcial un nuevo concepto a partir de la actuación de otra persona que juega el rol de educador que pretende enseñar (Rajadell, 1993).

En el presente trabajo se utilizaron la estrategia expositiva y el trabajo experimental en el laboratorio como estrategias de enseñanza y aprendizaje, respectivamente.

Para llevar adelante las estrategias expositivas, el docente comunicó a sus alumnos un conjunto de conocimientos específicos sobre la temática a desarrollar en el trabajo experimental. Se trató de una exposición oral en donde los alumnos escucharon y tomaron apuntes, que permitió la rápida transmisión de información de contenidos estructurados y la aclaración de nuevos conceptos. Para la ejecución de la estrategia, se tuvo en cuenta: la estructura de los contenidos, utilizar la expresión oral en su máxima amplitud, buscar la continua atención y motivación de los alumnos y utilizar recursos variados, como pizarra y presentaciones audiovisuales, los cuales facilitaron el recuerdo a los docentes del orden de la temática a desarrollar, teniendo en cuenta que el tiempo de exposición no sea mayor a lo previsto.

La utilización del trabajo experimental en el laboratorio fue una herramienta para enseñar ciencia y poder demostrar la conexión entre el modelo teórico y el dominio de los fenómenos. Para poder enseñar teorías es imprescindible disponer de un “mundo” apropiado e intervenir en él de forma consciente y reflexiva (Izquierdo et al., 1999). Con el trabajo experimental en el laboratorio, se buscó favorecer el análisis de resultados por parte de los estudiantes, abolir la estructura tipo “receta” de las guías prácticas y elaborar un informe final, en el cual se tuvo en cuenta el diseño experimental realizado, los resultados obtenidos y las conclusiones y, finalmente, producir una evaluación coherente por parte de los alumnos, del trabajo científico abordado mediante las respuestas de una encuesta elaborada por los docentes.

Para lograr un óptimo aprendizaje, es importante tener en cuenta que en los trabajos experimentales son de mayor importancia los enunciados “abiertos” según el carácter metodológico siguiendo el criterio de Perales (1994) y Caamaño (2003), capaces de generar una resolución acorde con las características del trabajo científico (Hodson, 2000; Dourado, 2006), que los cerrados (tipo “recetas”). En nuestro caso, la práctica fue del criterio “semiabierto”, ya que no se les facilitó a los alumnos todos los conocimientos elaborados y se los motivó a indagar, suponer y hasta emitir alguna hipótesis.

La elaboración de las encuestas se realizó con la finalidad de que los alumnos evaluaran la calidad del material didáctico brindado y aportaran sugerencias o comentarios sobre las posibles mejoras al mismo. Del análisis de las mismas, surge que la actividad experimental cumplió un papel importante dentro del proceso enseñanza-aprendizaje, ya que los alumnos lograron que las ideas previas, adquiridas en otras asignaturas, evolucionen a conceptos más elaborados y los ayuden con la interpretación de los resultados (Tamayo, 2009). Además la temática les resultó de gran interés y utilidad en su formación como futuros profesionales, logrando aprendizajes profundos al establecer relaciones entre lo que el estudiante sabe, lo que debe saber y la experiencia (Ramírez y Tamayo, 2011). Dentro de las dificultades encontradas, se pueden mencionar, el tiempo que requirió el desarrollo de las actividades planteadas que superó al establecido para dicha actividad en la asignatura y algunos inconvenientes en los cálculos e interpretación de resultados para la confección de los informes finales.

Conclusión

El trabajo práctico propuesto por la cátedra Química Ambiental a los estudiantes de la Licenciatura en Saneamiento Ambiental permitió extraer las siguientes conclusiones:

- ❖ Se proporcionó a los alumnos un recurso de aprendizaje que trascendió el aula.
- ❖ Se fortaleció el conocimiento de los alumnos en el uso y manejo de metodologías para la cuantificación de contaminantes.
- ❖ Se los estimuló a explorar y manejarse de manera independiente en el laboratorio.
- ❖ Se manejó el marco legal vigente.
- ❖ Se determinó cuantitativamente a través de cálculos la concentración de un contaminante en una matriz artificial.

❖ Se desarrolló un pensamiento crítico respecto a posible toma de soluciones respecto de problemas que resultan reales.

A partir de todas estas cuestiones, creemos que la propuesta presentada ha contribuido al aprendizaje autónomo del estudiante y a la observación crítica fuera del ámbito tradicional del aula, aportando al aprendizaje de una ciencia dinámica y actual, que ayude a tomar decisiones para un planeta sostenible.

Sin embargo, al tratarse de un proceso dinámico que forma parte de la enseñanza y de los aprendizajes, además de los logros alcanzados, también se resalta, que las opiniones de los alumnos a través de las encuestas, fueron de relevante importancia para plantear las mejoras en el material didáctico a utilizar en los próximos cursados de la asignatura.

Agradecimientos

A los alumnos de la Licenciatura en Saneamiento Ambiental (ESS-UNL) por brindarse a responder las encuestas.

Referencias bibliográficas

Akcil, A. (2003). Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments. *Biotechnology Advances*, 21, 501– 511.

Anexo I.2.2 ENRESS. Normas de calidad de agua potable y efluentes cloacales. Autor: Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda Cearinsa. Santa Fe, Argentina.

Baird, C. y Cann, M. (2004). *Química Ambiental. Segunda edición*. Ed. Reverté.

Caamaño, A. (2003). “Los trabajos prácticos en ciencias”. En: Jiménez-Aleixandre, M.P. (coord.). Enseñar ciencias (pp. 95-118). Barcelona: Editorial Graó.

Decreto 831/93. Residuos peligrosos. Anexo II: Niveles guía de calidad de agua para fuentes de agua de bebida humana con tratamiento convencional y para protección de la vida acuática. Autor: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, Argentina.

Dourado, L. (2006). “Concepções e práticas dos professores de Ciências Naturais relativas à implementação integrada do trabalho laboratorial e do trabalho de campo”. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5, 192-212.

Farez Román, C. V., Landi Durán, P.E. y Parra Narváez, A.L. (2011). Reducción de la concentración de cianuro con tratamiento de peróxido de hidrógeno en las aguas residuales de la industria de galvanizado. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

Gaviria, A.C. y Meza, L.A. (2006). Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antiquía y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas. *Dyna*, 149, 3-44.

Hodson, D. (2000). "The place of practical work in science education". En: Sequeira, M. et al. (orgs.). *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga: Universidade do Minho.

Iordache, I., Nechita, M.T., Aelenei, N., Rosca, I., Apostolescu, G. y Peptanariu, M. (2003). Sonochemical enhancement of cyanide ion degradation from wastewater in presence of hydrogen peroxide. *Polish Journal of Environmental studies*, 6, 735-737.

Infobae. <http://www.infobae.com/politica/2016/09/14/confirman-un-nuevo-derrame-de-cianuro-en-la-mina-de-barrick-gold-en-san-juan/>. (Consulta: 30/06/2017)

Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999). "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de Ciencias Experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 45-59.

López, R., Ana, M., Tamayo, A. y Óscar, E. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)* 8, 145-166.

Mendizabal, M. (2010). Contaminación del agua. *Revista virtual REDESMA*, 4, 6-8.

Perales, F.J. (1994). "Los trabajos prácticos y la didáctica de las ciencias". *Enseñanza de las Ciencias*, 12, 122-125.

Rajadell, N. (1993). *Entrenamiento de estrategias de aprendizaje: estrategias de enseñanza y estrategias de aprendizaje*. Barcelona PPU.

Ramírez, L.P. y Tamayo, A. (2011). "Aprendizaje profundo en semiología neurológica mediante una herramienta informática". *Hacia la Promoción de la Salud*, 16, 109-120.

Sancho J.P., Fernández B., Ayala J., García M.P y Lavandeira A. (2009). Aplicación del permanganato potásico para la eliminación de cianuros de cobre en aguas residuales de la planta de lixiviación en una mina de oro. *Revista de metalurgia*, 45, 415-423.

Skoog, D.A. y West, D.M. (2002) *Introducción a la Química Analítica*. Editorial Reverté, S.A., Barcelona, España.

Tamayo, A. (2009). *Didáctica de las ciencias: La evolución conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias*. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.