

Contaminación del agua en el Lago de Zirahuén (Michoacán, México). Una experiencia de enseñanza-aprendizaje desde un enfoque social y de la química ambiental

Cynthia Armendáriz Arnez y Ana Yésica Martínez Villalba

(Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia de la Universidad
Nacional Autónoma de México)

NOTAS PARA EL MAESTRO



Water pollution in Zirahuén Lake (Michoacán, Mexico): Teaching-learning experience in a social and environmental chemistry approach by Cynthia Armendáriz Arnez, and Ana Yésica Martínez Villalba is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). This license does not apply to figures and photos as noted in the case, which are incorporated into these materials under “fair use” guidelines or by permission from the author.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio de caso se llevó a cabo gracias a los alumnos de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, ENES Morelia UNAM. Los autores agradecen a SESYNC por el recurso otorgado para asistir al curso “Teaching Socio Environmental Synthesis with case studies” del 19 al 22 de julio del 2016.

NOTA DE LAS AUTORAS: Por favor para cualquier retroalimentación sobre este caso escriban a amartinez@enesmorelia.unam.mx,
cynthia_armendariz@enesmorelia.unam.mx

RESUMEN DEL CASO

Este estudio de caso está diseñado para nivel superior, se proponen 7 sesiones. En la primera sesión los alumnos se enfrentan a una dinámica de “Hook” donde se les expone un caso de un niño que se enferma en una comunidad y tienen que investigar, a partir de los síntomas, de qué enfermedad se trata. En la segunda sesión se expone un panorama general de cómo se pueden entender los problemas ambientales a partir de la teoría de la complejidad. En la sesión tres se hace una caracterización básica del sub-sistema social y en la sesión 4 se identifican y proponen cuáles podrían ser las interacciones entre los diferentes actores involucrados en el problema socio-ambiental del Lago de Zirahuén. En la sesión 5 se hace una caracterización del sistema físico químico y cómo es que las esferas ambientales nos permiten poner en contexto que los flujos de materia y energía promueven la generación de residuos que pueden afectar el ambiente que nos rodea. En la sesión 6 se identifican cuáles son los parámetros físico químicos que determinan la calidad de diferentes tipos de agua y en la sesión 7 se hace una integración de las dos caracterizaciones (la social y la físico química) para identificar y caracterizar el problema socio-ambiental del Lago de Zirahuén y la importancia de abordar a los problemas ambientales como sistemas complejos que tienen una estructura y función definidas, que tienen ciclos de retroalimentación positiva y negativa que los mantienen en un estado dinámico de equilibrio o no.

El alumno deberá tener conocimientos básicos de química y de Introducción a las Ciencias Sociales para poder participar en esta experiencia. Se utiliza como marco conceptual el propuesto por Rolando García et al (2000) sobre complejidad e interdisciplina para abordar problemas ambientales.

Este caso de estudio se presenta como una estrategia de enseñanza para identificar y abordar un problema ambiental a partir del paradigma de la complejidad, del análisis sistémico de las esferas ambientales y la interdisciplina.

El paradigma de la complejidad se aborda desde la perspectiva de Zurlini (2007) quien dice que la interacción entre los sistemas ecológicos y sociales han puesto de manifiesto la necesidad de contar con marcos de referencia que incluyan estas dos interfases y habla de las características de estos sistemas: no son lineales, son jerárquicos, autoorganizados, tienen diferentes puntos de equilibrio, no tienen estados “ideales” de estabilidad y tienen por lo general una conducta caótica por lo que es difícil predecir su comportamiento futuro. Por otro lado García (2006) establece como criterios para delimitar sistemas complejos y estudiarlos. Propone incluir: sus límites, los elementos que lo componen y definir su estructura.

Para abordar el sistema biofísico se propone como marco teórico las esferas ambientales de Manahan (2012), donde primero se define qué es ambiente a partir de la comprensión del concepto de ambiente se incluyen cinco compartimentos ambientales a través de los cuales fluyen materia y energía. El alumno puede entender que para determinar el impacto de los contaminantes, es necesario estudiar su transporte y destino ambiental.

Finalmente, se trabajó con la integración de conocimiento a partir del análisis sistémico, donde a partir de la delimitación de los sistemas y sub-sistemas que componen nuestro universo de estudio, se definieron las funciones de cada sub-sistema, cuáles son las interacciones entre los diferentes sub-sistemas. La secuencia pedagógica llevó al alumno a una experiencia gradual de cómo se definen los sistemas complejos, a contestar algunas preguntas sobre cómo funcionan los sistemas, qué significa integrar conocimiento, cómo se aborda un problema ambiental, etc.

INTRODUCCIÓN

Anclaje. *Entre un grupo de señoras que llegan desesperadas desde la comunidad Copándaro, una mujer entra al Hospital Infantil de Morelia gritando y cargando un pequeño niño de 3 años, lánguido en los brazos de su madre, débil, con los ojos hundidos y la boca reseca, como un muñeco de trapo.*

Las otras mujeres le abren paso mientras ella llorando, le dice a la enfermera de urgencias: “¡Por favor, hagan algo que mi niño no responde!” Inmediatamente la pasan al primer consultorio disponible, ella entra y el médico en turno le pregunta qué le ocurre. Ella le dice que viene de lejos, de un poblado cercano al Lago de Zirahuén y que su hijo lleva días con diarrea, sin apetito y se queja mucho de un dolor en la pancita. El médico examina cuidadosamente al pequeño y nota un ligero color amarillento en sus ojos, después de examinarlo el médico dice: “Mmmm, su hijo es el cuarto paciente de Copándaro que llega al consultorio con los mismos síntomas”.

La mujer desesperada dice: “Por favor doctor ¿puede decirme que tiene mi hijo?”.

Copándaro es una pequeña población ubicada a las orillas del Lago de Zirahuén en el Estado de Michoacán, México. Esta población tiene alrededor de 400 habitantes (INEGI, 2010) y el agua que ahí se consume se toma directamente del Lago. Alrededor de este cuerpo de agua se ubican varias poblaciones, entre ellas: Copándaro, Agua Verde y Zirahuén, siendo esta última la zona de mayor urbanización, con una población de alrededor de 15 mil habitantes (INEGI, 2010).

La cuenca del Lago de Zirahuén es una importante fuente de abastecimiento para la agricultura y el consumo humano en las poblaciones aledañas. Se trata de una cuenca endorreica ubicada principalmente en el Municipio de Salvador Escalante, en la parte nor-central del Estado de Michoacán. Su principal corriente es el río El Silencio, también conocido como Arroyo La Palma, el cual se origina en el extremo oriente de la cuenca y desemboca en la parte occidental del Lago.

La vegetación de la región está caracterizada por bosques de pino, de oyamel, de encino, mesófilo de montaña, pastizales y vegetación acuática. Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado una importante erosión hídrica y desecación del Lago, proceso asociado a la deforestación, el sobrepastoreo, prácticas de cultivo inadecuadas en la agricultura de ladera y, por otro lado, a la sobreexplotación de acuíferos y a la pérdida de agua por fallamiento (Bravo, 2009).

Las principales actividades económicas de la zona son la agricultura, la ganadería intensiva, la silvicultura, la industria del cobre, la industria artesanal, la pesca y, por su gran atractivo escénico, el turismo tradicional y el ecoturismo (Paniagua et. al., 2010). Entre estas actividades resaltan la actividad artesanal del cobre, el turismo y el crecimiento acelerado del cultivo de aguacate.

En Santa Clara del Cobre, asentada entre el origen y la desembocadura del río El Silencio, se fabrican diversas artesanías de cobre, lo cual constituye una de sus principales actividades económicas. Durante el proceso de elaboración de estas artesanías se requieren insumos como agua, leña, productos químicos y, en su proceso de producción, se generan desechos y subproductos en forma sólida, líquida y gaseosa. Desafortunadamente, el manejo de estos desechos es inapropiado, pues una buena parte de ellos se arroja al río, lo que aunado a instalaciones inadecuadas de drenaje, ha ocasionado problemas de contaminación. Al respecto, diferentes trabajos limnológicos encontraron en el pasado concentraciones de cobre en el lago de Zirahuén (Ayala Ramírez et. al., 2010).

Por otro lado, aunque la ribera del Lago se perfila como un destino turístico secundario, es decir, es un lugar que se visita por su cercanía a centros turísticos de mayor afluencia como Pátzcuaro o la ciudad de Morelia, el turismo constituye una actividad importante en la región. Dentro de la Cuenca del Lago son principalmente Santa Clara del Cobre y Zirahuén las ciudades que presentan una actividad económica terciaria vinculada al turismo, esto es, actividades relacionadas con el comercio, principalmente la venta de artesanías, de comida y algunas actividades recreativas en el Lago y en sus alrededores (Paniagua et. al., 2010). Sin embargo, la infraestructura para ofrecer estos servicios es precaria, pues gran parte de los desechos generados por los restaurantes y habitaciones ubicadas a las orillas del Lago, así como parte importante de las aguas negras de la población, son vertidas directamente a este cuerpo de agua.

Históricamente, la vocación económica de la región ha estado orientada a la agricultura, sin embargo es hacia finales de la década de 1990, tras la adopción del cultivo de aguacate, que el valor de producción de este sector pasa de alrededor de 30 % a más del 90 %, empleando apenas la cuarta parte de la superficie agrícola; mientras que el maíz, en el mismo periodo, generó poco menos del 1 % del valor utilizando más de la cuarta parte de la superficie sembrada y cosechada (Paniagua et. al., 2010). Desde entonces, el cultivo de aguacate se ha extendido de forma importante en la zona y es uno de los cultivos más rentables, pues constituye uno de los productos de exportación más importantes del Estado y del país.

La proliferación de las huertas de aguacate ha provocado la pérdida de aproximadamente 30 % de la cobertura de bosque de la región (Barsimantov & Navia, 2012); además de

ocasionar algunos conflictos sociales. Por ejemplo, es uno de los principales motores de privatización de la tenencia de la tierra pues, antes de la reforma constitucional al artículo 27 en el año de 1992¹, era en su mayoría de propiedad comunal o ejidal. Ante la precariedad económica, los malos resultados de la agricultura de ladera y aprovechando la nueva ley, los dueños de tierras aledañas al Lago de Zirahuén las han vendido a productores privados de aguacate, situación que ha creado división y conflicto entre los habitantes de la región. Por otro lado, el alto consumo de agua en los cultivos de aguacate ha provocado disgusto entre los pobladores de la ribera del Lago, pues perciben un bombeo exagerado de agua hacia las huertas.

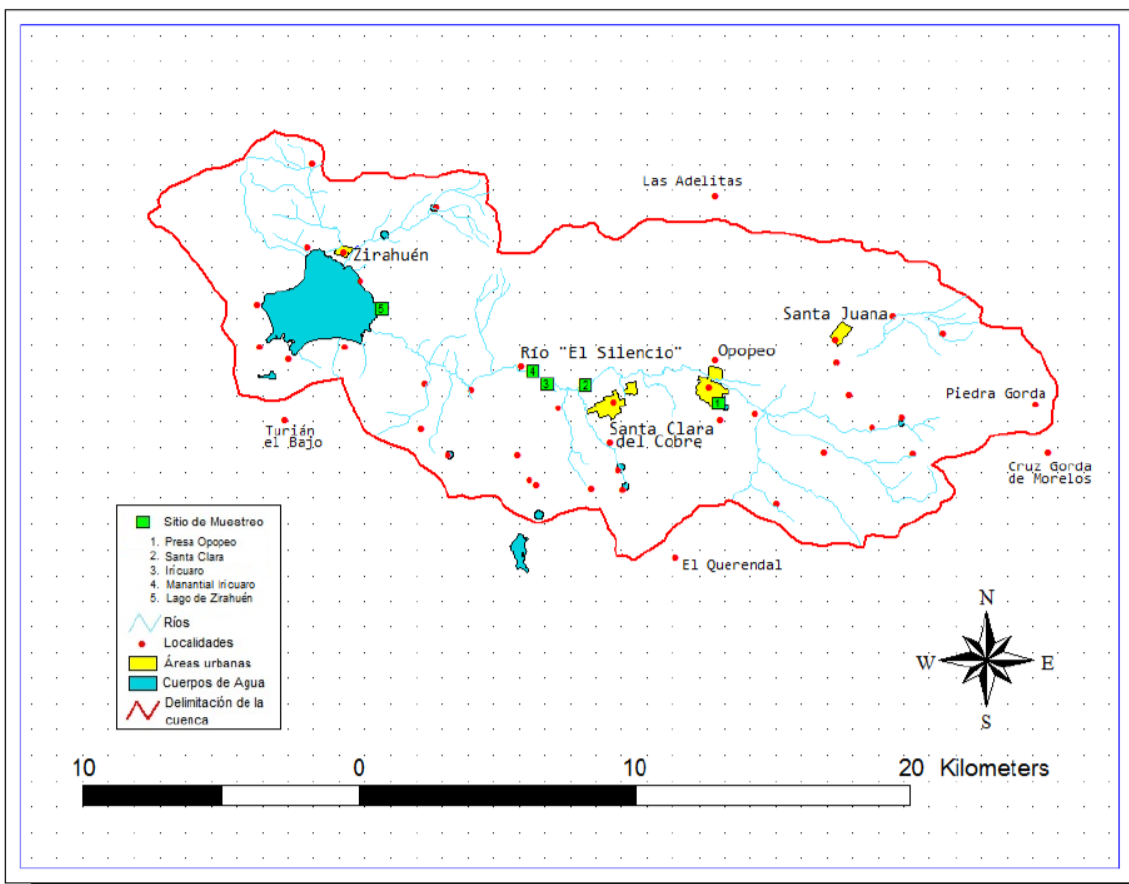


Figura 1. Mapa de la cuenca del Lago de Zirahuén, Fuente: González Villareal & Flores –Díaz, 2014.

Es en este marco, que en el año 2013 los habitantes de Zirahuén, Copándaro y de otros poblados aledaños al Lago, se acercaron a autoridades municipales, estatales y al sector académico para comunicar su preocupación por un cambio de coloración del lago y

¹ Ley que permite vender a propietarios privados tierras que históricamente habían sido de tenencia colectiva.

florecimientos algales excesivos. Entre las personas más preocupadas estaban los habitantes de Copándaro, pues es el único asentamiento que toma agua del Lago directamente para consumo humano.

La respuesta del gobierno del Estado de Michoacán fue, por un lado, hacer un llamado a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para generar un diagnóstico sobre el estado de Lago y, por otra parte, convocó a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a conformar la Comisión de Cuenca del Lago de Zirahuén.

Entre los resultados del diagnóstico hecho por la Universidad estatal se estableció que el cambio de coloración del Lago y la proliferación algal se debía a una condición eutrófica del Lago y a un proceso de deterioro acelerado que podría ser revertido con un manejo adecuado en su cuenca vertiente. Asimismo, el diagnóstico establece que el agua del lago no es apta para el consumo humano y puede ser potencialmente tóxica en ciertos periodos del año (Gómez Tagle, 2016).

Por su parte, la CONAGUA instaló en 2014 la Comisión de Cuenca del Lago de Zirahuén, la cual, se ha reunido un par de veces entre 2014 y 2016.

Sesión 1: Actividad introductoria (3 hrs)

Esta actividad busca atraer el interés de los estudiantes por el Caso de Estudio, así como dar un contexto general sobre la localización del sitio de estudio. Asimismo, en esta sesión se pretende que los estudiantes identifiquen las principales fuentes de información que les ofrece su institución, así como los principales motores de búsqueda a través de internet. Esta sesión está planeada para realizarse en tres horas.

Plan de clase

Esta clase está diseñada para introducir e interesar a los estudiantes en el Estudio de Caso. Inicia leyendo “el gancho” y la introducción al Caso. Después de esta lectura se pide a los estudiantes que en equipo busquen en internet los síntomas que se describen en la introducción e intenten encontrar de qué enfermedad se trata. En plenaria, los equipos revisan sus resultados y los registran en el pizarrón, posterior a ello el instructor hace una exposición sobre la relación entre Hepatitis A y la contaminación de agua. Con el objetivo de proveer un breve contexto del sitio de estudio, el instructor provee a cada equipo de estudiantes un mapa donde deben ubicar sitios clave en la zona de la cuenca de Zirahuén. Después de ubicar la comunidad que menciona la Introducción (Copándaro), los estudiantes discuten cuál puede ser el origen de casos de Hepatitis en la región. El (la) instructor(a) da una breve explicación de los estudios previos en el sitio relacionados con la calidad de agua del Lago de Zirahuén. La última hora de esta sesión se dedica a una visita a la biblioteca del campus donde el (la) encargado(a) muestra a los estudiantes los recursos de información de la institución, así como los principales motores de búsqueda por internet.

De tarea los estudiantes deberán hacer una búsqueda bibliográfica y hemerográfica sobre los estudios relacionados con el Lago de Zirahuén, usando las frases clave: contaminación del Lago de Zirahuén, poblado de Zirahuén, actividades económicas en Zirahuén.

Materiales:

- Videoprojector.
- Acceso a internet y computadora.
- Mapas del sitio de estudio.
- Un artículo donde se exponga un caso de estudio sobre hepatitis y contaminación de agua (link)

Actividades

1. Los estudiantes leen la historia “gancho” del caso (10 minutos).
2. Se forman equipos de 4 o 5 estudiantes y hacen una búsqueda rápida en internet sobre qué enfermedades pueden estar relacionadas con la enfermedad descrita en la introducción. Registran sus hallazgos en sus cuadernos (20 minutos).
3. En plenaria, un representante de cada equipo comenta cuáles han sido los resultados de su búsqueda. Se registran en el pizarrón las posibles enfermedades (15 minutos).
4. El instructor presenta una breve exposición sobre la relación entre contaminación de agua por *Escherichia coli* y la Hepatitis A en México (Presentación PPT). Se comenta si el resultado de la búsqueda de alguno de los equipos coincide con el diagnóstico de Hepatitis A y se discuten cuál puede ser el origen del caso que se describe en la introducción (30 minutos).
5. El instructor provee un mapa (ver Figura 1) de la cuenca de Zirahuén a cada uno de los equipos y los ayuda a localizar los poblados: Copándaro, Zirahuén, Agua Verde, Opopeo, Casas Blancas y Santa Clara del cobre. Se localizan también los siguientes cuerpos de agua: Lago de Zirahuén y Río del Silencio (20 minutos).
6. Después de localizados los puntos y habiendo escuchado las posibles causas de la Hepatitis A, los estudiantes discuten cuál podría ser el problema que enfrenta la comunidad mencionada en la Introducción (Copándaro) (15 minutos).
7. Se pide a los estudiantes que lean la síntesis del caso.
8. Plática sobre los recursos de la biblioteca (1 hr)

Tarea:

Contestar a las preguntas ¿Cuáles son las características de un sistema complejo? y ¿Qué podemos considerar como un problema ambiental? apoyándose en las siguientes lecturas:

- García, R. (2000). “Conceptos básicos para el estudio de sistemas”. En E. Leff (Ed.), *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo* (pp. 381–409). México: Siglo XXI Editores.
- Zurlini, G., Petrosillo, I., & Cataldi, M. (2008). “Socio-ecological System”. *Systems Ecology*, 4, 3264–3269.

Box 1. Lecture notes

Epidemiología de la Hepatitis A en México

En México los virus de Hepatitis A (VHA) y B (VHB) se empezaron a documentar desde la década de los setenta del siglo XX. La infección por el VHA tiene una alta incidencia en niños. En México, los principales factores de riesgo de contagio de la enfermedad en menores de nueve años incluyen:

- a) residir en entidades sureñas
- b) provenir de localidades rurales
- c) pertenecer a familias con bajos ingresos
- d) habitar viviendas con acceso limitado a servicios sanitarios (agua y drenaje)

En este país, las infecciones por Hepatitis A se adquieren a través de agua o alimentos contaminados con heces fecales que contienen el virus. Generalmente, como en muchos países en vías de desarrollo, la infección se asocia con deficientes programas de higiene.

La disminución de casos es significativa sólo en grupos o áreas de población con estratos sociales altos. Así, se considera que la pobreza asociada a la falta de higiene representa un factor de riesgo para estas infecciones.

Grupos de riesgo

El virus VHA es altamente contagioso y los niños son especialmente vulnerables a contraer la infección y la población adulta a desarrollar complicaciones. En México, existe una incidencia considerable de infecciones especialmente en poblaciones rurales y/o indígenas.

Síntomas

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, los principales síntomas de la **Hepatitis A** son:

- Fiebre
- Malestar
- Pérdida de apetito
- Diarrea
- Náuseas
- Molestias abdominales
- Coloración oscura de la orina
- Ictericia (coloración amarillenta de la piel y la esclerótica ocular).

Fuentes

OMS. (2016). Hepatitis A. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs328/es/>

Panduro, A., Meléndez, G. E., Fierro, N. A., Madrigal, B. R., Zepeda-carrillo, E. A., Sc, M., & Román, S. (2011). Epidemiología de las hepatitis virales en México, *53*(2), 37–45.

Valdespino, J. L., Ruiz-gómez, J., Olaiz-fernández, G., Arias-toledo, E., Biot, I., Conde-gonzález, C. J., ... C, D. (2007). Seroepidemiología de la hepatitis A en México. Sensor de inequidad social e indicador de políticas de vacunación. *Salud Pública de México*, *49*.

MÓDULO 1. PROBLEMAS AMBIENTALES COMO SISTEMAS COMPLEJOS (1 sesión)

Meta general de aprendizaje (S-ESLG):

Identificar las características básicas de un sistema complejo y discutir por qué un problema ambiental puede considerarse un sistema complejo.

Objetivos específicos (Learning objectives):

- Identificar cuáles son los límites, elementos y estructura que componen al problema de estudio: contaminación del Lago de Zirahuén.
- Identificar las características de los subsistemas básicos del problema de estudio: el físico-químico y el social.

Habilidades (SLO):

- Los estudiantes serán capaces de identificar, caracterizar y clasificar los elementos que componen el sistema de estudio.
- Los estudiantes serán capaces de identificar los agentes tanto sociales como físico-químicos relacionados con la contaminación del Lago de Zirahuén.

SESIÓN 2 (2 hrs). Visión sistémica del estudio de caso

Plan de clase: Esta sesión tiene el objetivo de establecer un marco conceptual común sobre qué es un sistema complejo, así como discutir por qué un problema ambiental debería considerarse un sistema complejo. A través de las lecturas de García (2000) y Zurlini et al. (2008) los estudiantes (con la ayuda de la exposición del profesor) elaboran una definición colectiva de “problema ambiental” y establecen cuál es el problema ambiental en Zirahuén. En equipos, los estudiantes delimitan su sistema de estudio (límites, elementos y estructuras, según el texto de García) e intenta identificar la interacción entre dos subsistemas: el social y el biofísico. Esta última actividad debe estar guiada por una pregunta guía, se sugiere: ¿Cuáles son los factores biofísicos, químicos y socioeconómicos que están provocando la contaminación del Lago de Zirahuén?. Asimismo, puede usarse la Introducción al estudio de caso como un insumo que apoye la realización de esta actividad.

Materiales:

- Videoprojector
- PPT sobre problema ambiental como sistema complejo
- Hojas de papel
- Una copia de la introducción al estudio de caso para cada equipo de estudiantes.

Actividades:

1. En plenaria, los estudiantes comparten la respuesta a las preguntas que quedaron de tarea. El profesor hace anotaciones sobre este ejercicio en el pizarrón (20 minutos).
2. El profesor ofrece una síntesis de las principales ideas desarrolladas en los textos sobre qué es un sistema complejo, cuáles son sus componentes y cuáles sus características (ver Box 2) (20 minutos).
3. Tomando en cuenta las tareas de los estudiantes y la exposición del profesor, se elabora una definición colectiva del “problema ambiental” y se establece cuál es el problema ambiental en Zirahuén (20 minutos).
4. Los estudiantes se reúnen en equipos para definir el sistema de estudio como un “sistema complejo”. Para ello se les solicita que definan cuáles son los límites y los elementos (siguiendo la propuesta de García, 2000) del sistema de estudio. Se debe hacer énfasis en que encontrarán al menos dos subsistemas: el bio-físico y el social. Para hacer más claro este proceso, se puede establecer una pregunta guía, por ejemplo ¿Cuáles son los factores biofísicos, químicos y sociales que están provocando la contaminación del Lago de Zirahuén? Otro insumo que puede servir a los estudiantes para llevar esta actividad, es releer la introducción de este estudio de caso (60 minutos).
5. Cada equipo entrega una redacción de una cuartilla donde señalen los límites del sistema de estudio, sus componentes (elementos) y donde expliquen su estructura (relaciones entre elementos).

Tarea: Los estudiantes deberán hacer una búsqueda bibliográfica y hemerográfica sobre los estudios relacionados con el Lago de Zirahuén, usando frases clave como: contaminación del Lago de Zirahuén, poblado de Zirahuén, actividades económicas en Zirahuén.

Box 2. Lecture notes

PROBLEMAS AMBIENTALES COMO SISTEMAS COMPLEJOS

Tanto García (2000), como Zurlini et al. (2007) se refieren a los ecosistemas naturales como sistemas que, inevitablemente, se encuentran en interacción con los sistemas sociales, especialmente a través de los procesos de explotación de los recursos naturales por parte de las comunidades humanas para satisfacer sus necesidades de producción. Así, las acciones de los sistemas sociales están determinando las funciones y la estructura de los ecosistemas naturales (Zurlini et al., 2007), lo cual frecuentemente constituye un problema, pues pone en riesgo la permanencia de los ecosistemas y, por lo tanto, los beneficios que ésta provee a las comunidades humanas.

García (2000) y Zurlini et al. (2007) proveen un modelo de estudio sobre las interacciones “problemáticas” entre el ecosistema natural y los sistemas sociales. Mientras que García habla de un “Sistema Global Complejo”, Zurlini y colaboradores hablan del estudio de “Sistemas Socio-ecológicos”, nosotros hablaremos simplemente de “Sistemas complejos”.

Dicho de forma general, un sistema complejo está conformado a partir de dos grandes sistemas de influencia mutua: el ecológico y el social. Se habla, por un lado, de un sistema natural que -entre otras cosas- provee los recursos naturales renovables y no renovables necesarios para las actividades productivas de las sociedades humanas y, por otro lado, un sistema social caracterizado por procesos socio-económicos y culturales que constituyen los principales motores de cambio (drivers) de los sistemas naturales.

Principales características de un problema complejo

Para Zurlini y colaboradores, los Sistemas Socio-Ecológicos son:

- a) No lineares: el sistema no puede ser comprendido aislando sus elementos.
- b) Jerárquicos: sus elementos se conjugan de forma jerárquica.
- c) Causalidad interna: son sistemas auto-organizados.
- d) Tienen una estabilidad dinámica: no hay puntos únicos de equilibrio del sistema.
- e) Tienen estados estacionarios múltiples: no hay un estado “ideal” de estabilidad del sistema.
- f) Conducta catastrófica: pueden sufrir cambios imprevistos, discontinuos, no predecibles, etcétera.
- g) Conducta caótica: es difícil hacer predicciones de estados futuros.

Por su parte García habla de un sistema complejo como “una representación de un *recorte* de la realidad, conceptualizado como una *totalidad organizada* (de ahí la denominación de sistema), en la cual los elementos no son ‘separables’ y, por lo tanto, no pueden ser estudiados separadamente” (García, 2000: 21). Entre las características de las que habla este autor encontramos:

- a) Heterogeneidad de los componentes: la naturaleza de los elementos es de diferente índole, en este caso: elementos bio-físicos y elementos sociales.
- b) Interdefinibilidad de los elementos: definición mutua entre los componentes.
- c) No linealidad: las relaciones entre los elementos son complejas, dialécticas.
- d) Jerarquía: el sistema es una totalidad organizada de manera jerárquica.
- e) No disciplinares: los problemas que nos presentan estos sistemas no pueden ser respondidos por una sola disciplina.

El estudio de los sistemas complejos

García (2006) nombró así al conjunto de elementos que dan cuenta de los procesos de interacción del ecosistema natural y los sistemas sociales, estos procesos incluyen tanto los de tipo bio-físico como los procesos sociales, económicos y políticos asociados.

En este modelo se establecen algunos criterios básicos para delimitar este tipo de sistemas de tal manera que puedan ser estudiados, a saber:

Límites: se refiere a límites geográficos y espaciales, así como a la delimitación de otros elementos, por ejemplo; actividades económicas específicas, grupos culturales particulares, formas de tenencia de la tierra, etcétera. Este paso nos ayuda a identificar con claridad qué está dentro de nuestro objeto de estudio y qué está afuera. En este estudio de caso se recomienda hacer la delimitación espacial a nivel de la microcuenca del Lago de Zirahuén, pues eso nos permite identificar qué factores están implicados en la contaminación del Lago (ver mapa de la cuenca).

Elementos: se refiere a la definición de las unidades que conforman al sistema de estudio, así como al tipo de relaciones entre ellas. En este estudio de caso se propone un análisis en base a los tipos de actividades económicas y sociales que se observan en la cuenca: Agricultura (industrial y de autoconsumo), turismo, artesanía y la regulación de la función pública. Asimismo, se identifican las relaciones entre estos elementos, especialmente en términos de las demandas, los desechos y las responsabilidades que cada uno de ellos tiene sobre la contaminación del Lago (Ver Figura 1).

Estructuras: como vimos parte importante de lo que caracteriza a cada elemento del sistema global complejo son la interacciones que tienen con el resto de los elementos. García apunta la necesidad de identificar la forma en la que estas interacciones se realizan, para lo cual es necesario identificar la “historicidad” de estas interacciones. Esa historicidad lo que muestra es el proceso de estructuración del sistema. En esta parte del ejercicio no se pretende que los estudiantes investiguen a profundidad las relaciones entre las actividades económicas de la región, será suficiente con que señalen su importancia en el desarrollo de la economía del lugar.

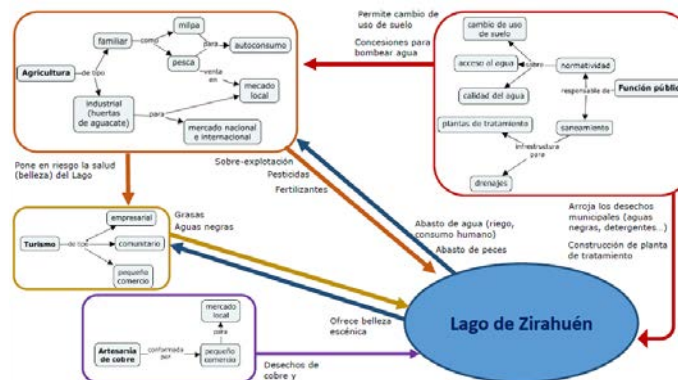


Figura 1. Ejemplo de construcción del sistema complejo sobre el “Problema de Contaminación del Lago de Zirahuén”. Elaboración propia.

Fuentes:

García, R. (2000a). Conceptos básicos para el estudio de sistemas. In E. Leff (Ed.), *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo* (pp. 381–409). México: Siglo XXI Editores.

García, R. (2000b). El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de los sistemas complejos. España: Gedisa.

MÓDULO 2. CARACTERIZACIÓN BÁSICA DEL SUBSISTEMA SOCIAL (2 sesiones)

Meta general de aprendizaje (S-ESLG):

Identificar y clasificar las actividades económicas y los intereses de los principales actores involucrados en el problema de contaminación del Lago de Zirahuén.

Objetivos específicos (Learning objectives):

- Identificar y clasificar las principales actividades económicas que se desarrollan alrededor del sitio de estudio y su relación con la generación de desechos que contaminan el Lago de Zirahuén.
- Caracterizar a los actores sociales involucrados en el caso de estudio según sus actividades e intereses económicos.
- Identificar las interacciones entre los actores sociales y con el medio físico-químico.

Habilidades (SLO):

- Los estudiantes serán capaces de identificar e ilustrar la relación entre las actividades económicas que se desarrollan alrededor del sitio de estudio y generación de desechos que contaminan el Lago.

SESIÓN 3 (2 hrs). Caracterización de las actividades socio-económicas desarrolladas en el sitio de estudio

Plan de clase: Esta sesión tiene la finalidad de que los estudiantes identifiquen y clasifiquen las principales actividades económicas que se desarrollan alrededor del sitio de estudio. Asimismo, el ejercicio pretende que el estudiante sea capaz de relacionar las actividades económicas con la generación de desechos que contaminan el Lago de Zirahuén. El ejercicio se desarrolla en equipos y requiere de información científica y periodística sobre el sitio de estudio, así como la hoja de trabajo # 1. La clase está dividida en dos momentos: el primero donde cada equipo identifica, clasifica y caracteriza a los principales actores sociales involucrados en el caso de estudio, y un segundo momento donde los equipos comparten los resultados del ejercicio e intentan llegar a una sola clasificación de los actores sociales.

Materiales:

- Información (artículos científicos y periodísticos) reunidos como tarea.
- Una copia de la Introducción del Estudio de Caso.

- Una copia de la hoja de trabajo #1 para cada equipo.

Actividades:

1. En los mismos equipos que han trabajado en las sesiones anteriores y usando la información que encontraron de la búsqueda bibliográfica, se pide a los estudiantes que caractericen a los actores sociales involucrados en el sistema de estudio (60 min). La información deberá sistematizarse de la siguiente manera (ver los materiales para estudiantes):

- a) Su categoría: en este caso deberán señalar si se trata de una institución pública perteneciente al Estado (por ejemplo, la Comisión Nacional del Agua, gobierno municipal, gobierno estatal, etc); una institución privada (empresas comercializadoras de aguacate) o a la clase trabajadora (campesinos, artesanos, obreros asalariados, etc.
- b) Descripción de su principal actividad económica. En este caso deberán identificar si es una actividad primaria, secundaria o terciaria, así como la intensidad y escala de la actividad.
- c) Recursos naturales que utilizan para el desarrollo de su actividad económica: agua, suelo, leña, minerales, etc. Impacto ambiental (desechos, consecuencias) de su actividad económica: agroquímicos, fertilizantes, degradación del suelo, deforestación, etc.
- d) Jerarquización de su poder en la toma de decisiones (alto, medio, bajo).

2. En plenaria, los equipos comentan sus resultados e intentan establecer una caracterización común de actores (60 min). Se sugiere:

- a) Pequeños agricultores de maíz o de aguacate.
- b) Artesanos del cobre
- c) Industria aguacatera
- d) Sector turístico local (venta de comida, paseos en lanchas)
- e) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- f) Gobierno municipal
- g) Pobladores

Nota: es probable que nadie identifique a los pobladores como un actor, pues no se les relaciona con una actividad económica. Si esto sucede es necesario incluirlo y llenar los campos del c) al f). Este actor es especialmente importante pues las aguas negras y grises producidas de sus actividades domésticas se descargan en afluentes del Lago de Zirahuén.

Box 3. Lecture notes

Mapeo de actores clave

El mapeo de actores o *stakeholder analysis* es una estrategia ampliamente difundida. Se conocen también como mapas sociales o sociogramas y su uso tiene como uno de sus principales objetivos la elaboración de esquemas conceptuales que nos ayuden a “representar la realidad social en que estamos inmersos, comprenderla en su extensión más compleja posible... [para] conocer sus acciones y los objetivos del por qué están en el territorio y sus perspectivas en un futuro inmediato” (Tapella, 2007: 2).

Estos esquemas se centran en las relaciones entre los sujetos involucrados en nuestro problema de investigación, lo cual nos permiten reconocer:

- Las relaciones sociales entre los actores involucrados.
- Densidades y discontinuidades de las relaciones entre los actores.
- Los roles y el poder de decisión de los actores involucrados con respecto al problema de estudio.
- Necesidades y expectativas de los actores.
- Conflicto de intereses entre los actores.

En este estudio de caso:

- Identificar a los actores involucrados por la actividad económica que desarrollan en la región.
- Identificar la relación entre la actividad económica y el tipo de demandas de recursos naturales y la generación de desechos.
- Identificar la “estructura” del sistema complejo que estamos estudiando (ver Box 2).
- Evaluar la viabilidad o inviabilidad de soluciones específicas.

Para el desarrollo de un análisis de este tipo es necesario establecer un enfoque de estudio, conocer la historia de manejo de los actores involucrados y datos empíricos sobre esto último.

En este estudio de caso se parte, por un lado, de la teoría de los sistemas complejos y del enfoque de los sistemas socio-ecológicos y, por el otro lado, se propone un análisis socioeconómico de los actores, pues la identificación de su actividad económica evidencia el tipo de recursos naturales que necesitan para llevar a cabo su actividad, el tipo de desechos que generan y los conflictos de interés que pueden generarse entre ellos.

Para el desarrollo de esta sesión el instructor puede de apoyarse en los siguientes artículos:

Olander, S. (2007). Stakeholder impact analysis in construction project management, (March), 277–287. <https://doi.org/10.1080/01446190600879125>

Tapella, E. (2007). *El mapeo de Actores Claves. Documento de trabajo del proyecto “Efectos de la biodiversidad funcional sobre procesos ecosistémicos, servicios ecosistémicos y sustentabilidad en las Américas: un abordaje interdisciplinario”*. Universidad Nacional de Córdoba,. Córdoba.

SESIÓN 4 (2 hrs). Interacciones entre los actores sociales del sitio de estudio

Plan de clase: Utilizando una matriz (ver el Manual del Estudiante), los estudiantes identifican las interacciones entre los actores sociales, diferenciando aquello que cada actor ofrece al conjunto de actores y lo que recibe de estos. Con esta matriz se pretende que el estudiante sea capaz de identificar la densidad (entre mayor número de relaciones interdependientes, mayor densidad) de las relaciones entre actores, así como identificar aquellos puntos en los que pueden surgir conflictos entre actores u obstáculos para establecer solución a la problemática ambiental. Al final de la clase, se ofrece a los estudiantes algunos consejos básicos de cómo se construyen mapas conceptuales, pues como actividad final, deberán construir un mapa conceptual que explique “El problema socio-ambiental en el Lago de Zirahuén”.

Materiales:

- Manual del estudiante.
- Acceso a internet.
- Computadora.

Actividades:

1. En los mismos equipos en los que han trabajado durante todo el estudio de caso, los estudiantes elaboran una matriz de interacciones en la cual deberán describir en cada intersección el tipo de relación que existe entre los actores identificados (45 min). Deben diferenciar entre lo que el actor provee (recurso positivo o negativo) y lo que recibe del resto de los actores. Lo que provee se coloca en el recuadro que va en dirección de las columnas (verticales), mientras que lo que provee en la dirección de las filas (horizontal). Por ejemplo:

Actores - Reciben

Actores - Proveen

	Actor 1	Actor 2
Interacciones	Pequeños agricultores	Artesanos del cobre
Actor 1 Pequeños agricultores		Los pequeños agricultores no tienen relación directa con los artesanos.
Actor 2 Artesanos del cobre	Los desechos del cobre viajan por el Río el Silencio y llegan al Lago. De forma indirecta estos desechos pueden llegar a los cultivos a través del riego	

2. En plenaria, los equipos comparten el resultado de su matriz de interacciones (30 min), deben centrarse en la identificación de las relaciones que podrían provocar conflicto entre actores y cómo esto podría dificultar la solución de la problemática ambiental.

3. En equipo, los estudiantes escriben algunas conclusiones de la discusión anterior (15 min).

4. El profesor explica que, a partir de toda la información generada hasta ahora, cada equipo deberá elaborar un mapa conceptual que explique “El problema socio-ambiental en el Lago de Zirahuén” (30 min). Para la elaboración del mapa conceptual, los estudiantes deberán considerar:

a) Representar dos subsistemas: **el social** (caracterización de las actividades económicas de los actores y de los desechos que estas actividades generan) y el **físico-químico** (caracterización de contaminantes presentes en el Lago de Zirahuén, reacciones químicas entre contaminantes y mecanismos de transporte de los contaminantes).

b) Dentro de las nubes se colocan desde una palabra y máximo tres.

c) Todas las nubes deben relacionarse a través de palabras o frases cortas de enlace.

d) Escribir una cuartilla que explique detalladamente el mapa (aunque este debe explicarse por sí mismo).

Se sugiere el uso de Cmap Cloud para la elaboración de los mapas, el cual está disponible en: <https://cmapcloud.ihmc.us/>

MÓDULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA BIOFÍSICO (3 SESIONES)

Meta general de aprendizaje (S-ESLG)

Los alumnos identificarán las interfases entre las 5 esferas ambientales donde ocurren los problemas ambientales que acontecen en su entorno. Trabajarán, desde una perspectiva sistémica, la identificación, planteamiento y entendimiento de un problema ambiental, identificará los componentes fisico-químicos que conforman el sistema Lago y delimitarán los diferentes sub-sistemas implicados en el problema ambiental de Zirahuén.

Objetivos específicos (learning Objectives)

- El alumno analizará el ambiente como un sistema conformado por 5 esferas ambientales.
- Se discutirá como a través del flujo de materia y energía entre las diferentes esferas ambientales, se puede caracterizar un sistema y definir su estructura y comportamiento.
- El alumno reflexionará sobre la importancia de entender el horizonte de tiempo o la escala temporal en la que se analiza o manifiesta un problema ambiental; argumentará cómo estas consideraciones temporales afectan el manejo de un sistema dinámico.
- El alumno identificará los diferentes sub-sistemas que conforman el problema ambiental en Zirahuén.
- Identificará los flujos más importantes de energía y materia entre las esferas ambientales.

SESIÓN 5 (2 hrs). Caracterización de las esferas ambientales

Plan de clase:

Esta clase tiene como finalidad que los alumnos conozcan el planteamiento de las 5 esferas ambientales (atmósfera, hidrósfera, antropósfera, geósfera y biósfera) y cómo se da el flujo de materia y energía en estas esferas. Esta forma de abordar los problemas ambientales se basa en el análisis de sistemas y pone de manifiesto la complejidad y múltiples horizontes de tiempo del problema de contaminación del agua que se presenta en este caso de estudio.

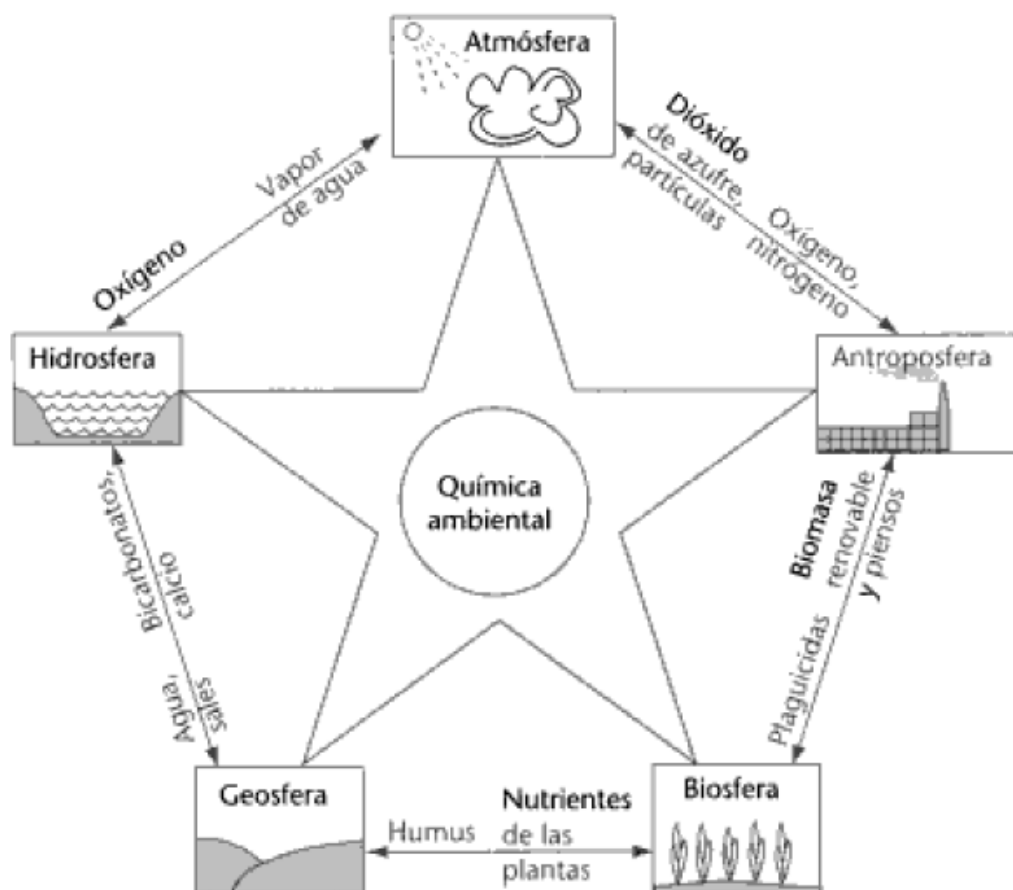


Figura 2. Las cinco esferas ambientales y sus intercambios de materia y energía

A partir de la lectura del capítulo 1 del libro *Introducción a la Química Ambiental*, de Stanley Manahan (2011), los alumnos discutirán cómo la definición de química ambiental contribuye a entender la complejidad del análisis de un sistema multi-dimensional, su estructura, función y posibilidades de intervención para mitigar los efectos potenciales que causa un problema ambiental.

Se propone una definición de química ambiental como el estudio de fuentes, reacciones, transporte, efectos y destino de las especies químicas en el agua, suelo, aire y ambientes vivos. Se analizan las diferencias con la química verde y se introduce al alumno a la importancia de los ciclos geoquímicos.

Se revisarán y discutirán conceptos como contaminación, destino químico y transporte de contaminantes.

Materiales:

- Capítulo 1 Química ambiental: la ciencia química sustentable o sostenible. 2011. Stanley E. Manahan. Introducción a la Química ambiental, Editorial Reverté, UNAM. Páginas 1-29. México, DF. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Esquema esferas ambientales. Adaptado de Manahan 2011.
- Computadora

Actividades:

1. En equipos de 3 personas se realiza la actividad de “Balancing tubes” para sensibilizar a los alumnos en relación a que depende de donde ponga la mirada en su sistema, así responderá. Si colocamos la mirada en la base del sistema, será difícil entender como funciona, qué factores son los que lo equilibran y cuáles los que modifican su estructura. Si colocamos la mirada por encima del sistema, perderemos por completo la visión de qué es el sistema, cuáles son los componentes que lo forman, cómo interaccionan entre ellos y como mantenerlo equilibrado. Finalmente si colocamos la mirada justo en el tope del sistema, podremos tener una mejor perspectiva, entender como se mueve el sistema, qué elementos lo componen, cómo reaccionan al movimiento o a algún factor externo, que estrategias de movilidad son cambios suaves que el sistema puede soportar sin perder su estructura y función y cuáles lo llevan a un nuevo estado de equilibrio.

Tarea:

1. Lectura del capítulo 1 del libro Introducción a la Química ambiental de Stanley E. Manahan.
2. Contesta las siguientes preguntas:
 - a. ¿Qué papel juega la química ambiental en el análisis de problemas ambientales? Aunque el uso inadecuado de productos químicos y su producción han causado un deterioro ambiental en los últimos años, es menester de las diferentes disciplinas del conocimiento buscar entender los problemas ambientales y proponer soluciones viables que tomen en cuenta consideraciones sociales, ambientales, económicas. La química ambiental contribuye a identificar, entender, explicar, prevenir y mitigar problemas entre el hombre y su ambiente. La química verde busca disminuir los efectos

adversos de la práctica de la ciencia y la ingeniería química. Minimiza los riesgos y el consumo de recursos no renovables.

- b. ¿Cuáles son las esferas ambientales?
- c. ¿Cuáles son las características de las esferas ambientales?
- d. ¿Qué es la química ambiental?
- e. Explica qué intercambian las diferentes esferas ambientales en términos de materia y energía y como crees que esta interacción contribuye al planteamiento de un problema ambiental.

SESIÓN 6 (2hrs). Parámetros físico químicos (FQ) de calidad de agua

Plan de clase:

En el salón de clase los alumnos formarán equipos de 3 personas y discutirán sobre cómo las propiedades del agua afectan la estructura y el comportamiento de este vital líquido en los diferentes medios donde podemos encontrarla. Analizarán qué significa que el agua se comporte de la forma en la que lo hace en relación con propiedades intensivas y extensivas: densidad, punto de ebullición, punto de fusión, calor específico, calor de evaporación, propiedades como disolvente.

Relacionarán las propiedades físico químicas del agua con el ciclo hidrológico, los mecanismos a través de los cuales se usa y distribuye el agua así como la proporción de los diferentes tipos de agua con los que contamos en el planeta Tierra. Finalmente se expondrán las dificultades asociadas a la solución de los conflictos que emergen por el uso y distribución del agua así como las posibilidades de contaminantes que pueden presentarse en los distintos tipos de agua.

Box. 4 Lecture notes

Contaminantes del agua

- a) Distribución del agua
- b) Usos
- c) ¿Qué es un contaminante?
- d) ¿Cuáles son los contaminantes potenciales?
- e) ¿Cuáles son las concentraciones típicas en AR municipales?
- f) Parámetros básicos medibles (dependiendo del tipo de agua que tenga es necesario el análisis de X o Y parámetros, no todos)
- g) Ejemplos

¿Cuáles son las fuentes que pueden contaminar el agua?

Desechos municipales, industriales, agrícolas

Y cómo sabemos que el agua está contaminada?

A simple vista no lo sabemos. La composición de las aguas residuales: Agua (99%) y sólidos (1%). Dentro del 10% de sólidos, tenemos 70% orgánico (proteínas, carbohidratos, grasas) e inorgánicos 30% (arenas, sales y metales).

Contaminantes potenciales

¿Por qué una sustancia se vuelve un contaminante?

Contaminantes del agua

- **Calor.** Afecta las propiedades del agua y puede generar el crecimiento de bacterias patógenas que generan perjuicios. El parámetro que medimos es la temperatura. Con el calor se ven afectadas la densidad, viscosidad, oxígeno disponible. Como la temperatura del agua depende de muchos factores (altitud, clima, topografía, profundidad). Las aguas residuales se encuentran entre 23-25°C.
- **Alcalinidad/Acidez.** Permite que el agua tenga la capacidad de neutralizar una base fuerte. El pH es el parámetro que me permite verificar el grado de acidez y alcalinidad; el rango que permite la vida es 6.5-8.5. Afecta los procesos biológicos y las estructuras vitales, interviene en la movilidad de metales pesados y la solubilidad de otras especies. Se tienen que analizar las condiciones del sitio de muestreo, el uso de suelo, la presencia de industria en el lugar, para definir qué tipo de análisis se realizará. Es necesario tener un enfoque sistémico.
- **Materia orgánica.** Desechos municipales, Es parte de un ciclo, hay bacterias que lo toman para transformarlo y que puedan obtener energía para su crecimiento. Se mide a través de DBO y DQO. La NOM quiere cambiar el parámetro de DQO porque a la industria no le conviene tener regulación en cuanto a DQO. Puedo tener fertilizantes y algunos otros compuestos que me alteren muchísimo la cantidad de oxígeno disuelto y que formen parte del DQO y no del DBQ.
- **Sólidos.** Afectan la penetración de la luz en la columna de agua, el color, la intensidad de la radiación disponible. Es necesario tener en cuenta la población circundante, el trayecto por donde pasa el agua porque puede influir determinantemente en la calidad del agua.
- **Grasas y aceites.** Interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, no permiten el libre paso de O₂ al agua ni la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera., interfieren con la penetración de la luz solar.
- **Detergentes.** Su poder de limpieza se debe a que son buenos emulsificantes y rompen la tensión superficial del agua. Tienen una cabeza polar que disuelve lo soluble y una cola que disuelve lo orgánico. Se consumen alrededor de 450 millones de toneladas de detergente en EU.
- **Nitrógeno / fósforo.** Estamos hablando de la cantidad de nutrientes. Cuando tenemos un exceso se produce la eutrofización, que es el crecimiento de algas, tenemos una entrada enorme de nutrientes, hay un crecimiento desmedido de algas, no entra la luz, hay un exceso de MO y las bacterias degradan la MO, se consume el oxígeno, se crean condiciones anóxicas y se mueren los peces. Se pueden tener lagos de agua oligotróficos donde hay un equilibrio y los organismos viven, están en equilibrio. Es un proceso natural la eutrofización pero con las actividades antropogénicas aceleramos el proceso. Las toxinas producidas por las algas pueden ser letales, afectan el cerebro, el hígado y tienen efectos muy perjudiciales en la salud de los pobladores. En el sistema de Cuitzamala, la planta de los Berros, tienen problemas fuertes de algas. Cambia el olor y el sabor del agua potable.
- **Metales pesados.** Hay elementos que son muy necesarios para la vida. El Cd, Pb y Hg producen efectos en el organismo dependiendo de las concentraciones en las que estén presentes. El Cd altera el metabolismo de Ca, daño renal irreversible, por inhalación se producen enfermedades crónicas de los pulmones. El caso de Minamata en Japón en 1956

Contaminantes del agua

- **COP's.** Pueden permanecer en la naturaleza durante largos periodos o indefinidamente. Plaguicidas, fungicidas, herbicidas, BPC's bifenilos policlorados, dioxinas y furanos.
- **Contaminantes emergentes.** Contaminados no regulados, que pueden ser candidatos a regulación futura dependiendo de investigaciones sobre sus efectos potenciales en la salud y la incidencia.
- **Microorganismos.** Cuando hay un exceso o son bacterias que nos pueden causar un efecto negativo es cuando hay un problema. Hay varias bacterias que se usan como indicadores de la calidad de agua. Coliformes: Shigella, Eschericcia coli.

Reflexión: ¿qué es lo que está pasando en el sistema de agua que estamos analizando?. La química nos da una herramienta para entender los problemas relacionados con el agua en diferentes fuentes.

Preguntas finales:

¿Es importante el manejo de los residuos pero más importante pensar en disminuir el consumo de recursos para bajar la cantidad de residuos en los diferentes sistemas (suelo, agua, aire).

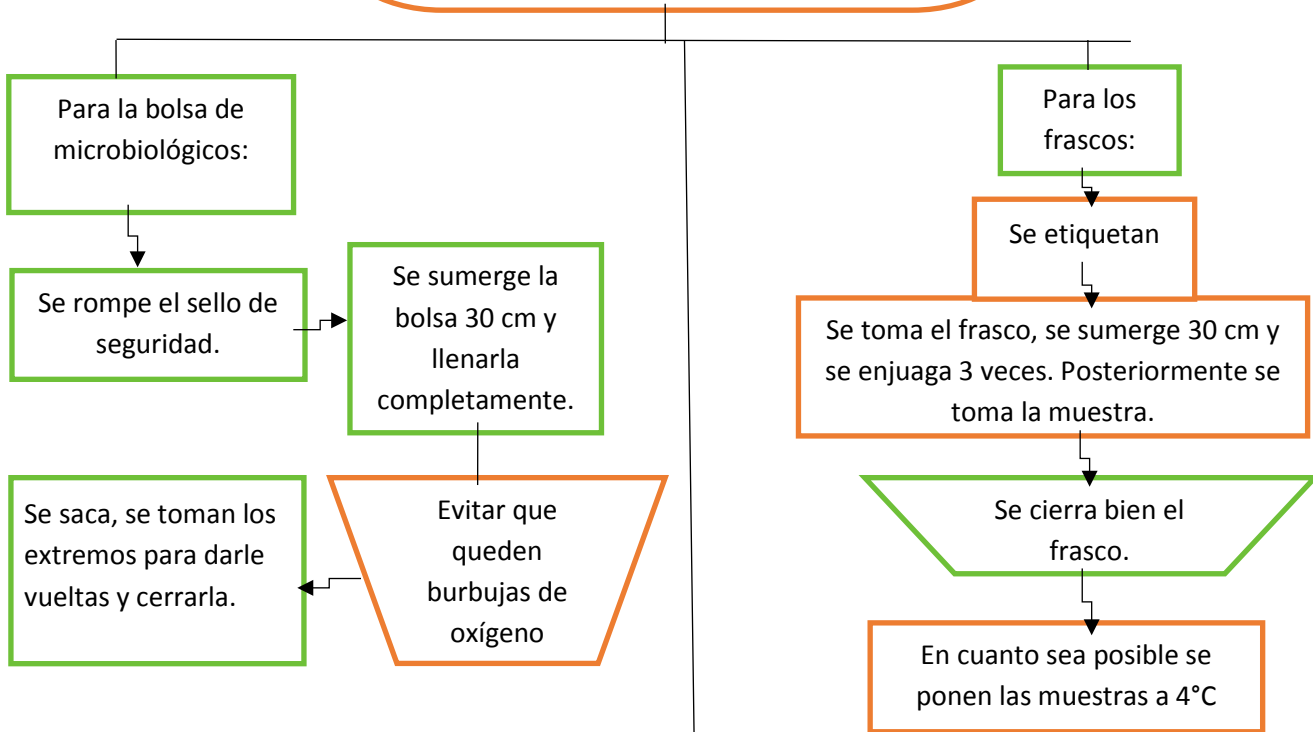
Materiales:

- Lectura del capítulo 2 del libro Introducción a la Química ambiental de Santley E. Manahan. Química de la Hidrósfera.
- Rotafolios para que cada equipo integre su aportación al proyecto grupal.
- Plumones
- Cinta adhesiva para pegar los rotafolios.

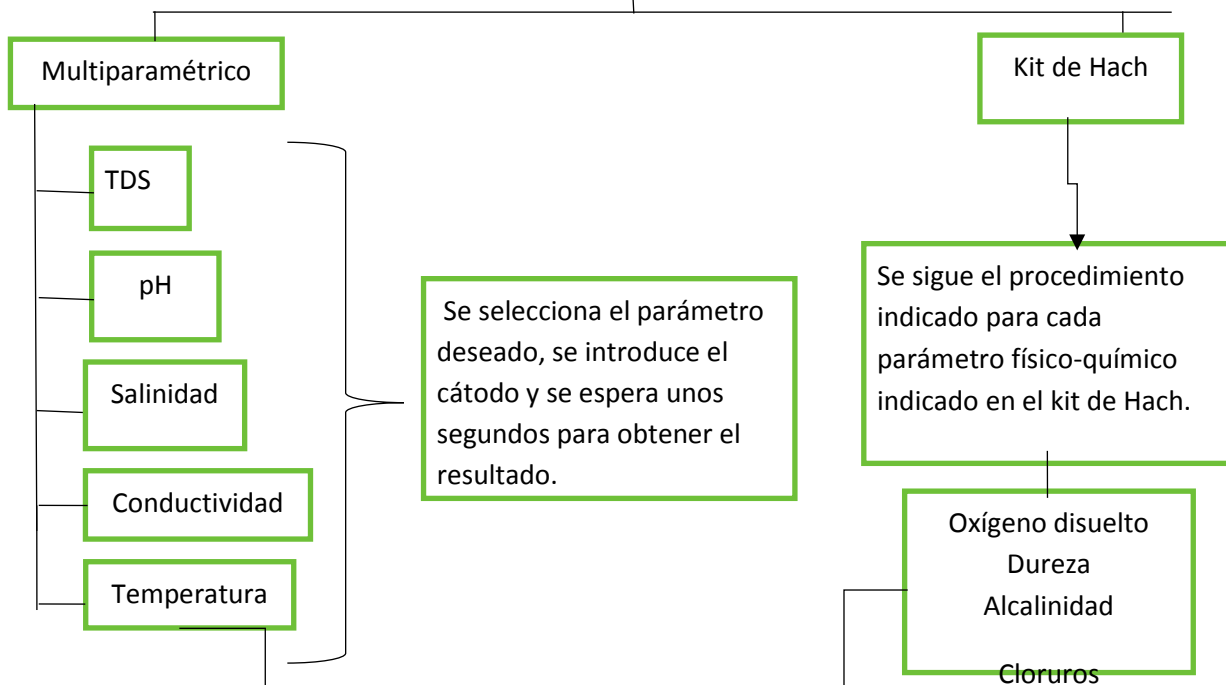
Actividades:

- Se trabajará en equipos de 3 personas y cada equipo escogerá uno de los siguientes aspectos para determinar la calidad de agua del Lago de Zirahuén: el diseño de los puntos de muestreo de agua en el Lago de Zirahuén, los materiales necesarios para tomar las muestras de agua, la técnica para tomar las muestras en los diferentes puntos de muestreo, las condiciones de almacenamiento y traslado de las muestras de agua, las técnicas a partir de las cuales se harán las pruebas de calidad para determinar parámetros físico químicos del agua en campo y en el laboratorio, el formato de campo que deberán llevar los alumnos para tomar las muestras de agua y documentar adecuadamente el proceso de toma.

Metodología de muestreo y determinación de parámetros físico-químicos



Parámetros físico-químicos



Se selecciona el parámetro deseado, se introduce el cátodo y se espera unos segundos para obtener el resultado.

Los resultados son comparados con la norma para

Figura 2. Ejemplo Diagrama de flujo “metodología de toma de muestras para análisis microbiológicos y fisico químicos de agua”.

Tarea:

- Todos los alumnos leerán el contenido del capítulo 2 sobre química de la hidrósfera. Responderán las siguientes preguntas en plenaria:

- a) Si accidentalmente se descaragaran 100 Kg de azucar de caña (dextrosa o sacarosa) $C_{12}H_{22}O_{11}$ en el Lago de Zirahuén saturado con oxígeno del aire a 25°C ¿Cuántos litros de esta agua se contaminarían hasta el grado de eliminar todo el oxígeno disuelto por biodegradacion?
- b) ¿Cómo afecta la estratificación térmica de un cuerpo de agua su química?
- c) A través de un esquema, relaciones la vida acuática con la química acuática incluyendo los siguientes aspectos: organismos autótrofos, productores, organismos heterótrofos, descomponedores, eutrofización, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno.

- Los equipos participantes investigarán el punto que les toca preparar para el muestreo y entregarán un reporte con la metodología completa articulada según la información de todos los equipos participantes. Se dicutirá en plenaria y se tomarán decisiones sobre la cantidad de muestras y los puntos críticos del muestreo de agua del Lago.

SESIÓN 7 (2hrs). La utilidad de las bases de datos para analizar la calidad de agua en Zirahuén

Plan de clase:

Analizar los resultados de parámetros fisico químicos de calidad de agua para determinar cuáles de las muestras colectadas en campo cumple con los límites establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas. Comparar los resultados entre los diferentes tipos de agua colectadas para familiarizarse con los rangos en los que se encuentra cada parámetro analizado y las razones de este comportamiento.

Materiales:

- Base de datos con los resultados de las muestras de agua analizadas
- Computadora para graficar los resultados en excel.
- Programa para análisis estadístico de los datos

Contaminación del agua en el Lago de Zirahuén (Michoacán, México). Una experiencia de enseñanza-aprendizaje desde un enfoque social y de la química ambiental



#control	PROCEDENCIA	F.MUESTREO	F.ANALISIS	HORA	COLOR	OLOR	T.AMB oC	T.AGUA o C	pH campo	t
LMAU 279	Presa Opopeo UNAM	18/09/14	19/09/14	12:15	s/color	no	no	20.0 oC		
LMAU 280	Pileta Santa Clara del Cobre UNAM	18/09/14	19/09/14	13:30	turbia	no	no	20.0 oC		
LMAU 281	Manantial La Estrella UNAM	18/09/14	19/09/14	14:50	s/color	no	no	20.0 oC		
LMAU 282	Lago de Zirahuén, Capitanía de Puerto, UNAM	18/09/14	19/09/14	10:38	s/color	si	no	20.0 oC	8.38	
LMAU 283	Lago de Zirahuén, Agua Verde, UNAM	18/09/14	19/09/14	11:38	s/color	si	no	20.0 oC	8.47	
LMAU 284	Lago de Zirahuén, Copandaro, UNAM	18/09/14	19/09/14	12:07	s/color	si	no	20.0 oC	8.44	
LMAU 285	Manantial el Carrizal, UNAM	18/09/14	19/09/14	11:20	amarillo	si	25.0 oC	20.0 oC	7.34	
LMAU 286	Junta de Manantiales Zirahuén UNAM	18/09/14	19/09/14	13:05	amarillo	si	22.0 oC	20.0 oC	7.83	
LMAU 287	Pozo casa de Sr. Paz por la iglesia UNAM	18/09/14	19/09/14	14:12	s/color	no	22.0 oC	20.0 oC	6.5	
LMAU 288	Planta de Tratamiento de Santa Clara UNAM	18/09/14	19/09/14	11:47	café	si	no	20.0 oC	7.51	
LMAU 289	Rio del Silencio, UNAM	18/09/14	19/09/14	15:00	s/color	no	no	20.0 oC	6.76	
LMAU 290	Rio del Silencio, puente parcela escolar UNAM	18/09/14	19/09/14	14:07	gris	no	no	20.0 oC	7.22	
LMAU 291	Rio del Silencio, puente de la palma UNAM	18/09/14	19/09/14	13:05	gris	no	no	20.0 oC	7.3	
LMAU 292	Desembocadura en el lago de Zirahuén (rio del)	18/09/14	19/09/14	14:44	café	si	no	20.0 oC	7.22	
LMAU 293	Manantial Iricuaro	18/09/14	19/09/14	11:10	s/color	no	no	20.0 oC		
LMAU 294	Manantial Iricuaro	18/09/14	19/09/14	12:15	turbia	si	no	20.0 oC		
LMAU 295	Manantial Iricuaro	18/09/14	19/09/14	13:15	turbia	si	no	20.0 oC		

Tabla 1. Base de datos con resultados del análisis microbiológico y parámetros físico químicos de muestras de agua del Lago de Zirahuén.

Actividades:

- En equipos se revisarán los resultados obtenidos de cada parámetro determinado en el laboratorio o en campo.
- Se pondrá un encabezado a cada columna que conforma la base de datos de resultados.
- Se identificarán las columnas que componen la base de datos.
- Se revisarán las unidades en las que se reporta cada parámetro.
- Se harán ejercicios con diferentes tipos de gráficas para identificar la que mejor muestre el comportamiento de los datos así como las diferencias entre las muestras de agua colectadas.

Tarea:

- Proponer diferentes tipos de gráficas para analizar los datos de calidad de agua. Observar las tendencias de los datos utilizando diagramas de dispersión, gráficos de frecuencias, de barras, acumulados, etc.
- Dicotir cuál sería la mejor opción para reflejar el comportamiento de los datos y los resultados del análisis de calidad de agua.

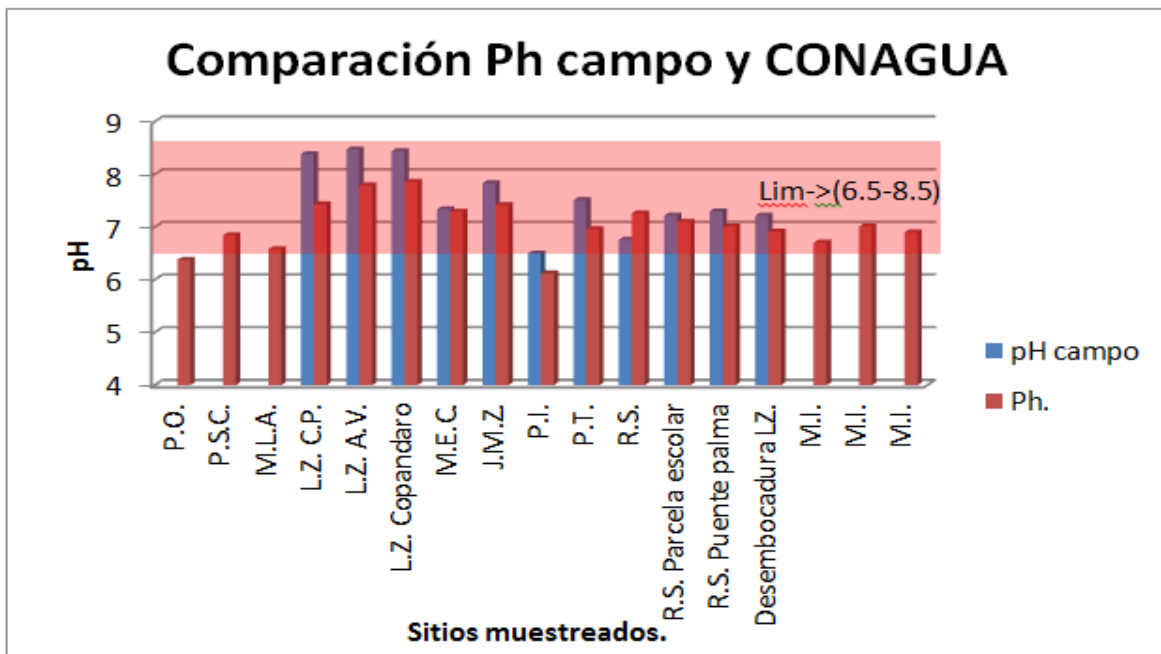


Figura 3. Ejemplo de la comparación de los valores de pH obtenidos en campo y en laboratorio para las muestras colectadas de agua.

- Hacer ejercicios con datos inventados para familiarizarse con el procedimiento para graficar.
- Argumentar cuál es el tipo de gráfico que mejor representa las diferencias entre los parámetros físico químicos de los distintos tipos de agua.
- Identificar la importancia de utilizar instrumentos de análisis estadístico adecuados para reportar los resultados obtenidos en el análisis de muestras de agua.
- Discutir y concluir sobre como los resultados obtenidos del análisis de diferentes tipos de agua dentro de Zirahuén, determina el uso que se le da a este recurso y las decisiones que se toman por parte de la comunidad en torno a la calidad de agua que debieran tener para satisfacción de sus necesidades primarias.

MÓDULO 4. INTEGRACIÓN

SESIÓN 9 (2 hrs). Presentación de producto final

Meta general de aprendizaje (S-ESLG):

Identificar los componentes sociales, biofísicos y químicos involucrados en el problema ambiental observado en Zirahuén, así como la interacción entre ellos.

Objetivos específicos (Learning objectives):

- Distinguir los componentes biofísicos, químicos y sociales relacionados con la calidad del agua en el Lago de Zirahuén.
- Explicar las interacciones entre los componentes relacionados con la calidad de agua de Zirahuén.
- Generar un conflicto cognitivo a partir de un problema ambiental real de la región

Habilidades (SLO):

- Los estudiantes serán capaces de identificar e ilustrar la heterogeneidad de los componentes relacionados con la calidad de agua del Lago de Zirahuén.
- Los estudiantes serán capaces de identificar los agentes (drivers) tanto sociales como físico-químicos relacionados con la contaminación del Lago de Zirahuén, así como explicar sus interacciones usando mapas conceptuales.
- Los alumnos tendrán la capacidad para identificar diferentes componentes de un problema ambiental y podrán establecer interacciones entre los componentes profundizando el en entendimiento de la complejidad de un sistema.

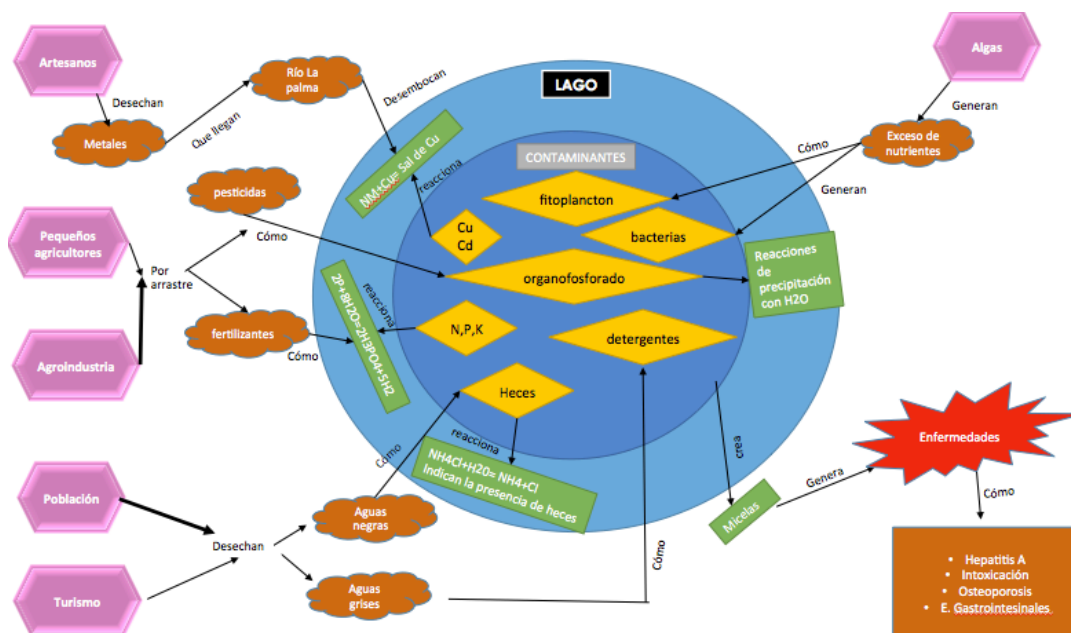


Figura 4. Esquema ejemplo del trabajo grupal para la caracterización de un problema socio-ambiental del Lago de Zirahuén

Plan de clase:

Esta sesión está diseñada para que los estudiantes integren la información obtenida a partir de los módulos de caracterización del sistema socio-ambiental y físico químico. Se les pedirá que construyan un diagrama donde ilustren la problemática socio-ambiental del Lago de Zirahuén. Deberán identificar actores sociales, actividades socio-económicas relacionadas con cada actor involucrado en la problemática, parámetros relacionados con la calidad de agua del lago, principales fuentes de contaminación, movilidad, población afectada y Normatividad. A partir del trabajo y la experiencia acumulada en 6 sesiones de discusión y actividades de Aula para identificar el problema socio-ambiental en el Lago de Zirahuén, los alumnos podrán enfrentarse a los desafíos de integrar la información de dos áreas del conocimiento para caracterizar la contaminación del Lago. Podrán discutir sobre cómo se pueden estudiar los sistemas complejos, en qué nos beneficia tener una mirada sistémica a los sistemas de estudio y cómo esta mirada nos brinda elementos para integrar información y poder determinar cuál es la estructura del sistema y como funciona.

Materiales:

- Rotafolios de papel
- Plumones

Actividades:

En equipos de 3 personas, escogerán el rol que quieren interpretar durante la actividad de plantear el problema ambiental de Zirahuén.

Tarea:

- Hacer una propuesta de mapa mental donde se pongan explícitamente los subsistemas y elementos que integran el Sistema Lago de Zirahuén.
- Cada equipo deberá explicar cómo se da la relación entre los componentes sociales y físico-químicos; cómo es que la interacción de los dos subsistemas nos acerca o no al entendimiento del problema socio-ambiental del Lago de Zirahuén.

Sitios sobre “Role play practices”:

<https://www.mindtools.com/CommSkill/RolePlaying.htm>

<http://www.businessballs.com/roleplayinggames.htm>

Discusión:

Esta secuencia de actividades brindó a los alumnos una guía para que pudieran identificar un problema ambiental. A partir de los primeros dos módulos, los alumnos pudieron identificar cuáles son los componentes del sistema socio-ambiental y cuáles los del físico químico. El alumno manifestó que si bien los problemas ambientales son complejos, el poder plantear dos sub-sistemas enriqueció su entendimiento de qué elementos están presentes en la comprensión, identificación y solución de un problema ambiental.

Les costó mucho trabajo integrar la información, tuvieron un acercamiento a los retos que implica el trabajo colaborativo, la importancia de contar con herramientas de comunicación efectiva, de escucha y de compromiso con el trabajo sostenido.

Cada equipo pudo resaltar los principales argumentos a partir de los cuales actúa de la forma en la que lo hace, cómo es que a partir de sus actividades socio-económicas genera una dinámica de uso de los recursos y producción de desechos, mismos que tienen repercusiones en el ambiente que nos rodea.

En la caracterización de los sub-sistemas social y biofísico, los alumnos pudieron identificar las actividades económicas e intereses de los principales actores involucrados en el problema de contaminación del Lago de Zirahuén. Definieron cuáles son las esferas ambientales en las que ocurren diferentes problemas relacionados con la basura, el vertimiento de sustancias al Lago, la aplicación de agroquímicos y pesticidas en zonas de cultivo, la tala de los bosques, los conflictos sociales, etc.

El abordaje del problema ambiental en el Lago de Zirahuén, utilizando como recurso pedagógico el Estudio de Caso permitió generar una experiencia situada, una reflexión continua por parte de estudiantes y profesores; no solamente consideramos una construcción de conocimiento como proceso cognitivo integral sino que se promovió el desarrollo de habilidades, incorporando saberes y contenidos. A partir del EC utilizamos un referente real para que los alumnos pudieran mantener la experiencia en la memoria significativa y a partir de los elementos revisados durante el EC pudieran dar significado a lo aprendido en cada etapa. El rol del estudiante fue activo, el diseño de las actividades requirió que el estudiante se involucrara para ir construyendo la experiencia de definir el problema ambiental en el Lago de Zirahuén.

Partimos de la premisa central de que el conocimiento es situado, es parte y producto del contexto y la cultura en la que se desarrolla y utiliza. Claramente pudimos observar que el “contenido” no es lo más importante del proceso de aprendizaje, es decir centrarnos en el “qué” en lugar del “cómo” no le permite al alumno incorporar gradualmente los diferentes elementos de un sistema. En el abordaje de problemas complejos es necesario trabajar en paralelo con el contenido y el aprendizaje auténtico, coherente, significativo y propositivo, dejar que el alumno estructure su proceso de pensamiento, dosificando la información para que pueda concentrarse en el proceso de ir construyendo e integrando los elementos que le permitan abordar un problema ambiental. De esta forma hay un proceso de reflexión permanente que incentiva el diálogo, el debate y vamos sembrando en conocimiento desde la base.

El EC nos permitió representar un instrumento sumamente efectivo en el proceso de enseñanza pues permite: hacer una evaluación gradual del alumno, establecer reglas de funcionamiento al interior del grupo, la construcción de pensamiento en diferentes niveles para promover los procesos de generalización y transferencia de conocimiento, desarrollar habilidades sociales, cognitivas, perceptivas y emocionales, permite una comprensión gradual cada vez de mayor complejidad donde el alumno tiene siempre un rol activo en la construcción de su propio proceso de pensamiento.

Los retos que se presentaron durante el EC fueron múltiples e incluyen: el trabajo colectivo, mantener una secuencia ordenada y clara de las actividades donde el docente y el alumno mantengan claros los objetivos de aprendizaje en cada módulo, lograr mantener la atención y concentración del alumno a lo largo de las diferentes sesiones en las que se desarrolla en EC, promover la autonomía del estudiante, mantener la motivación y un clima afectivo que promoviera el aprendizaje, mantener un balance en los momentos de interacción profesor-alumno, considerar el punto de partida de cada uno de los alumnos, sus concepciones previas, su contexto para avanzar gradualmente en la integración y coherencia de las actividades propuestas, que el alumno no vea como segmentado el conocimiento y esto redunde en una contradicción con los objetivos de hacer un proceso de integración con la experiencia didáctica. Finalmente el reto del tiempo es clave, tener claridad en la sesión de cierre para llegar al objetivo de que el alumno realmente viva el proceso de integración de conocimiento.

Hubo ciertas dificultades propias del abordaje de los problemas complejos, como el reto de que el significado de la experiencia didáctica lo den los elementos que consideramos para el abordaje del problema del Lago de Zirahuén, en este caso el contexto como parte de una realidad cercana al estudiante, los retos de integrar conocimiento, de generar procesos de

actividad mental donde el alumno pudiera ir gradualmente construyendo una propuesta para entender un problema ambiental pero también para eventualmente proponer soluciones encaminadas a mitigar estos problemas.

El EC es una herramienta efectiva en la identificación, comprensión y solución de los problemas ambientales. A través de la experiencia, los alumnos manifestaron interés en el trabajo colectivo, mantuvieron una actitud perceptiva, crítica, reflexiva que les permitió profundizar en el estudio de los sistemas complejos. El análisis sistémico proporcionó una estrategia útil para que el alumno pudiera transitar en un proceso de menor a mayor complejidad de pensamiento.

Bibliografía:

- Manahan
- National Chemical Society

ANEXO I. GUÍA PARA LA DISCUSIÓN DEL REPORTE DE CALIDAD DE AGUA.

“Calidad de Agua en Morelia: la importancia de la determinación de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos”

Todos los resultados del análisis de muestras de agua se deben comparar con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

¿Cuándo llegamos a campo qué sucede?

Debemos tener el material debidamente etiquetado. Dependiendo de lo que se vaya a determinar. Físicoquímicos (garrafa de 2L de plástico, con lugar preciso de la toma de muestra, GPS, fecha, hora, ID o número secuencial de muestra).

Parámetros de campo: pH, temperatura, salinidad, conductividad, oxígeno disuelto. Calibrar bien el multiparamétrico. Se toma la muestra directamente en la garrafa. En cada garrafa se toma agua, se tapa, se agita y se tira el agua para que cualquier residuo que tenga la garrafa no nos interfiera en el análisis. El pH de campo debe tener una relación con el pH del laboratorio. Se debe preservar la muestra en hielo. La temperatura es sumamente importante, en el Estado hay lugares con termalismo y la Ruta de la Salud Araró, Huandacareo, Zamora. En esos lugares podemos llegar a tener hasta 60°C. La temperatura ambiental es importante porque se afecta la actividad microbiana del cuerpo de agua y esto se refleja en el Oxígeno disuelto. Sobre la salinidad (60% de la conductividad) y conductividad (sales presentes). Es muy importante tener una secuencia lógica de muestras, la procedencia.

Sobre la hora. En la presa, hubo un problema muy importante, de lirio, se trituró y se sedimentó, se descompuso y la degradación de la materia orgánica abatió el oxígeno disuelto por lo tanto tengo valores muy pequeños de oxígeno disuelto. Si se llega a las 6 am a muestrear hay valores muy pequeños de oxígeno disuelto. Hay una cantidad de fosfatos, nitratos y minerales que es el alimento propicio para el fitoplancton. En la fase lumínica de la fotosíntesis, hay mucha actividad, hay mucho oxígeno disuelto. EN la fase oscura, anaerobia, hay poco oxígeno disuelto porque los microorganismos lo están tomando. La radiación solar, si está nublado, también es un indicador de la actividad microbiana

Sobre el color del agua. Cuando el agua tiene sólidos o es agua charandosa, tiene muchas arcillas y estas nos dan el color característico. Se puede tener color también por otros factores, por ejemplo materia orgánica en descomposición. El Río Grande (gris) o amarillento en zonas mineras por el beneficio de metales; cuando los metales se oxidan y entran en contacto con el agua se torna amarillenta.

Se debe tener en cuenta el gasto. Las burbujas, cuando hay actividad microbiana anaerobia, hay olores fétidos, se liberan burbujas de metano o algún otro gas producto del metabolismo.

Los tipos de análisis: Físicoquímicos, orgánicos, metales pesados, bacteriológicos. Si es una misma muestra llevan la misma info. Dependiendo del muestreo, se obtendrán buenos o malos resultados. Hay laboratorios certificados donde se lleva la muestra y se anota en un reporte de campo que el usuario está entregando la muestra y el laboratorio no la tomó.

¿Las NOM's son para cada parámetro o por fuente de agua?

NOM para temperatura NOM –AA-007

NOM para conductividad NOM-AA-093-SCFI-2000

Cuando tenemos valores de conductividad muy pequeños se trata de aguas naturales residuales o industrial. Donde el agua es muy somera, podemos tener valores altos (Cuitzeo).

Morelia se abastece de la Mintzita, de agua tratada y de los pozos. El Río Grande tiene un nivel permisible (ver tabla de Olga). Valores de agua de uso dudoso donde la conductividad es de 2000-3000 microS/cm y sólidos de 1,400-2,100. Cuando son acuíferos muy viejos, de agua prehistórica, tienen más de 1,000 m de profundidad. Son aguas con mayor dureza.

Para usos agrícolas, hay plantas que son muy sensibles a la cantidad de sales presentes, especialmente cuando se está trabajando en viveros para hacer almácigos, son muy sensibles a la presencia de carbonatos y bicarbonatos.

Los principales factores que influyen sobre la cantidad de oxígeno disuelto son la temperatura, salinidad o cloruros (a mayor salinidad o cloruros impiden que el fitoplancton se reproduzca adecuadamente y no tenemos una buena cantidad de oxígeno disuelto) y la presión atmosférica (a mayor altitud, mayor presión).

Sobre microbiológicos.

Podemos tener contaminación microbiológica por arrastre de materiales, contaminación difusa, capacidad iónica, sustancias disueltas. Hay ciertos criterios ecológicos de calidad de agua de acuerdo a la Ley Federal de Derechos DQO y SST.

Los humedales naturales en la Costa son una zona de amortiguamiento. Cuando llegan los huracanes los humedales impiden que llegue la fuerza completa del huracán. Hay diferentes NOM's en función del uso.

Alcalinidad y dureza. NMX-AA-072-SCFI-2001. Capacidad de un agua para precipitar el jabón. Se basa en la presencia de iones Mg y Ca.

La dureza está en función del CaCO_3 y podemos tener aguas blandas, duras o muy duras.

¿Cuál es el origen de los CO_3 y HCO_3 ? Los suelos se van enriqueciendo naturalmente con el arrastre de estos compuestos.

¿Cuál es la importancia de la alcalinidad?

Nos permite neutralizar la contaminación, si hay mayor precipitación, hay neutralización, mantenimiento de un pH en un intervalo óptimo y da soporte a fluctuaciones diarias de las concentraciones e CO_2 .

Clasificación para la alcalinidad total: Muy débil, débil, fuerte, muy fuerte. Se hacen pruebas de alcalinidad a la fenolftaleína, a anaranjado de metilo y Total.

DBO, DQO, COT. Dependiendo del tipo de agua y sus características tendremos ciertos valores. La DBO_5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales de origen municipal y no municipal.

DBO: Determina la cantidad de materia orgánica biodisponible. Se pone la muestra en un frasco Wrinkler, se incuba, se pone oxígeno, se guarda en incubadora donde los microorganismos se desarrollen, toman el oxígeno disuelto en el agua y toman la materia orgánica presente en el agua y se observa la cantidad de oxígeno consumido. Cuando hay toxicidad se afecta la DBO, no permite que los microorganismos

La DQO mide la cantidad total de materia orgánica. Sulfato mercúrico y el H_2SO_4 y la temperatura. Se ponen en digestión 2 horas, se degrada la materia orgánica total presente. Con tiosulfato de sodio se titula cantidad de materia orgánica presente. La DQO es una medida de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica contenida en una muestra de agua bajo condiciones energéticas de alta temperatura (148°C), sulfato de amonio, catalizador de plata y una digestión en dos horas. Siempre la DQO es más alta, nos representa un 40% más que la DBO.

El COT (carbono orgánico total). Son fundamentales para cuantificar contaminación porque podemos inferir cuánta contaminación tenemos en descargas de agua municipales. El valor es cerca de la mitad de la DBO_5 .

Capacidades de autodepuración de contaminantes:

Cuando tenemos un DBO de 3 mg/l en un caudal de 40,000 l/s entonces tendremos oxígeno > 6 mg/l por lo tanto pueden vivir los peces. Pero si tenemos un DBO de 15 mg/l en un caudal de 2,500 l/s solo habrá vida de ciertas especies acuáticas porque tendremos un valor de oxígeno disuelto de 4 mg/l, como es el caso de Cazones, Veracruz. Pero si tenemos una DBO de 60 mg/l en un caudal de 400 l/s entonces nuestro oxígeno disuelto será < 2 mg/l y sólo sobrevivirán las carpas como en San Juan Querétaro.

Fósforo y nitrógeno. Llegan a través de aguas residuales y por escurrimiento. Hay una secuencia de degradación del nitrógeno, en función de su procedencia (nitrógeno orgánico de proteínas y aminoácidos, nitrógeno orgánico de urea, aminas y presencia de nitrógeno inorgánico de nitratos, nitritos).

Si tenemos nitrógeno amoniacal es inversamente proporcional a los nitratos. Esto se debe a las diferentes fases de degradación del nitrógeno. Esto me indica en qué proceso de depuración está mi agua.

SDT. Sólidos disueltos totales. Se determina en laboratorio pero también lo da el multiparamétrico. Si tenemos $SDT < 1000$ tenemos agua dulce, de $1000-2000$ salobre y > 2000 agua salina.

SST. Es el residuo retenido por un filtro de tamaño de poro $0.45-2$ microm y secados a temperatura de $105^{\circ}C$. Una validación alternativa para este parámetro es comparando con la turbidez.

A partir de la actividad agrícola, industrial o residencial y urbana podemos tener contaminación que puede llegar a aguas subterráneas. Es muy importante determinar la presencia de P y N porque nos da las condiciones perfectas para que los microorganismos y el fitoplancton y zooplancton se reproduzca. El cuerpo se pone verde y vamos a tener un montón de oxígeno disuelto a mediodía y en la noche tendremos anoxia, se mueren los seres vivos. En la Alberca, Tacámbaro, habían fertilizado aguas arriba. Llovió y por escurrimiento o arrastre llegó mucho fertilizante que contenían nitrógeno y fosfatos y los peces se murieron por anoxia. En la presa Melchor Ocampo le echaron la culpa a CELANESE que descarga en el Río Angulo y se murieron los peces. Se muestreó y pasó lo mismo, los peces se murieron por anoxia.

La principal fuente de contaminación del Río Grande son las aguas municipales. Tenemos una conductividad variable en función de los periodos de lluvia o secas. La papelera descarga en el Río Grande. Por el tipo de suelo, hay sólidos en estado coloidal que aumentan la cantidad de sólidos suspendidos pero esto no quiere decir que tengamos un agua de mala calidad. Checar en la tabla el punto de Cointzio que tiene mu bajos valores de fisicoquímicos. En el caso de pozos tenemos nitratos altos y amoniacales pequeños.