
La importancia de la evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México.

The importance of assessing water quality in Laguna Bustillos, Chihuahua, Mexico.

¹Rey Manuel Quintana Martínez, ¹José Roberto Espinoza Prieto, ²Alfredo Daniel Frescas Martínez, ¹Carmelo Pinedo Álvarez.

¹Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

²Alumno de la Licenciatura de Ingeniero en Ecología.

Perif.Fco.R. Almada km.1 Chihuahua, Chih. Mex. (614)434-03-44. Email: jespinoza@uach.mx

RESUMEN. El agua se encuentra en la naturaleza en diversas formas y características y cada una de ellas tiene su función dentro del gran ecosistema del planeta Tierra mediante un proceso natural llamado ciclo hidrológico. Los contaminantes constituyen la principal causa de la degradación de la calidad de agua en el mundo. El estudio se realizó en la Laguna de Bustillos, la cual se localiza en las coordenadas 28°28' a 28° 42' latitud Norte y 106° 35' a 106° 55' longitud Oeste, con una altitud de 2,000 msnm. La Laguna de Bustillos es un icono ecológico en el estado de Chihuahua. Esta laguna natural ha sido un refugio ecológico de muchas especies silvestres así como proveedor de comida para habitantes establecidos a lo largo de la orilla y áreas circundantes. Sin embargo, es evidente la contaminación del agua debido a 3 factores. El primero es la industria de celulosa en la comunidad de Anáhuac cerca de la laguna tradicionalmente vierte sus aguas residuales en la laguna. El segundo factor es proveniente de las colonias menonitas asentadas en la parte oeste de la laguna de donde la escorrentía de campos de cultivo fuertemente fertilizados es canalizada hacia la laguna. El tercer factor es la ciudad de Cuauhtémoc con cerca de 300,000 habitantes, el cual normalmente vierte sus aguas residuales en la laguna. El objetivo de este estudio es evaluar la calidad del agua de la Laguna de Bustillos en términos de los parámetros de temperatura, pH, Alcalinidad y Turbiedad; además de los metales pesados y metaloides; Al, Cd, Cr, Fe, Ni. Se tomaron 28 muestras de agua al azar las cuales se analizaron en laboratorio. Se realizó un análisis estadístico ANOVA mediante una

Recibido: Mayo, 2015.

Aprobado: Julio, 2015

prueba t de Student para determinar las diferencias estadísticas significativas entre las zonas. Los resultados principales de los parámetros que se analizaron y determinaron en general se encontraron por debajo de los criterios establecidos por la CE-CCA-001/89 y por las normas mexicanas, salvo en el caso del parámetro pH en la zona de los Campos Menonitas que supero el valor establecido. También el parámetro de Turbiedad y Alcalinidad Total superaron los valores. Solo el Aluminio y Hierro sobrepasan los valores de los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (CE-CCA-001/89). Los metales de Cadmio y Níquel no los sobrepasan pero si se encuentran en el límite umbral. Se puede concluir según los criterios ecológicos de la calidad del agua y la normatividad mexicana que el agua de la Laguna de Bustillos se encuentra contaminada por los parámetros de Alcalinidad Total, Aluminio y Hierro, así como la recomendación de una restauración ecológica, la cual involucre la participación de instituciones correspondientes al problema ecológico así como las comunidades aledañas.

ABSTRACT. Water is found in nature in various forms and characteristics and each has its role within the larger ecosystem of planet Earth through a natural process called the hydrologic cycle. The contaminants are the major cause of the degradation of the quality of water in the world. The study was performed in the Laguna de Bustillos, which is located at coordinates 28 ° 28 ' to 28 ° 42' north latitude and 106 ° 35 ' to 106 ° 55' West longitude, at an altitude of 2,000 meters. The Laguna de Bustillos is a green icon in the state of Chihuahua. This natural lake has been an ecological refuge for many wildlife species as well as a provider of food for inhabitants settled along the shore and surrounding areas. However, it is clear water pollution due to 3 factors. The first is the pulp industry in Anahuac community near the lagoon which traditionally poured its sewage in the lagoon. The second is from the Mennonite colonies settled on the west side of the pond where runoff from heavily fertilized crop fields is channeled into the lagoon. The third factor is the city of Cuauhtémoc with about 300,000 inhabitants, which normally discharges its wastewater into the lagoon. The objective of this study is to evaluate the water quality of Laguna de Bustillos in terms of the parameters of temperature, pH, alkalinity and turbidity in addition to heavy metals and metalloids, Al, Cd, Cr, Fe, and Ni. 28 random water samples which were analyzed in the laboratory were taken. ANOVA statistical analysis was performed using Student's t test to determine significant statistical differences between the zones. The main results of the parameters that were analyzed and found generally determined under criteria established by the Mexican CE-CCA-001/89 and , except in the case of rules pH parameter in the Mennonite Campos I exceeded the set value . Also parameter Turbidity and Total Alkalinity values exceeded. Only Aluminum and Iron exceed the values of the Ecological Criteria for Water Quality (CE-CCA-001/89). The cadmium and nickel metals exceeded but not found in the threshold. It can be concluded according to ecological criteria for water quality and Mexican standards that water from the Laguna de Bustillos is contaminated by the parameters of Total Alkalinity, Aluminum and

Iron, and the recommendation of an ecological restoration, which involves the participation of relevant institutions to the ecological problem and the surrounding communities.

Palabras claves: Calidad agua laguna Bustillos.

Keywords: Lagoon water quality Bustillos.

ANTECEDENTES

El agua es un compuesto fundamental, prácticamente fuente de toda vida, constituyendo parte integrante de todos los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo fundamental para el proceso de las funciones orgánicas, además, es indispensable para toda una serie de usos humanos que aportan un mayor bienestar, desde la salud y la alimentación, a la industria y al esparcimiento. El agua se encuentra en la naturaleza con diversas formas y características y cada una de ellas tiene su función dentro del gran ecosistema del planeta Tierra mediante un proceso natural llamado ciclo hidrológico.

También el agua es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza y cubre alrededor del 71% de la superficie del globo terrestre y 0.15 % del volumen total del planeta. Pero aunque hay mucha agua en el planeta, algunos factores limitan su disponibilidad para uso humano. Más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, y es limitada la disponibilidad para propósito del hombre. Del 3% restante, por encima del 2% se encuentra en estado sólido, en forma de hielo, resultando prácticamente inaccesible. Por tanto, para el hombre y sus actividades sólo resta un 0.62% que se encuentra en lagos, ríos y aguas subterráneas. La cantidad de agua disponible es ciertamente escasa, aunque un problema mayor aún es su distribución irregular en el planeta (Young y Yong, 2003).

Entre la gran diversidad de contaminantes que afectan los recursos hídricos, los metales pesados deben de recibir especial interés teniendo en cuenta su fuerte toxicidad, incluso a bajas concentraciones. La presencia de metales pesados en los cuerpos de agua pueden ser de origen natural, es decir, por erosión de minerales en los sedimentos, la lixiviación de depósitos de minerales, y productos de la extrusión del vulcanismo o por el hombre, es decir, eliminación de residuos sólidos y efluentes industriales o domésticas (Nollet, 2007).

La laguna de Bustillos ha tenido tres fuentes inidentificables de contaminación: la primera fuente fue por el depósito de los desechos industriales de la fábrica de celulosa dentro del cuerpo de agua; la segunda fuente fue a causa de la papelera Pondercel de Chihuahua S.A de C.V., depositando de la misma forma sus desechos industriales en la Laguna; y por último, la tercera fuente fue gracias a la ciudad de Cuauhtémoc y sus colonias, principalmente Anáhuac, debido a sus descargas de aguas residuales, ya sea directamente en la laguna o en ríos y arroyos que desembocan en la misma. Sin embargo, hoy en día, el problema de estos grandes focos de contaminación ha disminuido por el cierre de la fábrica y la construcción de plantas de tratamiento en las otras dos fuentes restantes. Aunque también sigue siendo de preocupación los plaguicidas y agroquímicos utilizados en los campos agrícolas que se encuentran en el lecho de este espejo de agua. Debido a que estos aportes llevan grandes cantidades de compuestos formados a base de fósforo, nitrógeno y materia orgánica. Es de conocerse que las plantas que mueren y el aporte de materia orgánica producen mayor cantidad de materia en descomposición, sobre la que actúan las bacterias. Esta actividad consume la cantidad de oxígeno disuelto, modificando las condiciones del medio y restringiendo la vida por debajo de la superficie. El número de especies se reduce considerablemente y la actividad termina por limitarse a la superficie. Otra de las posibles fuentes es de las comunidades ejidales que también se encuentran a un lado de este sistema lentic, de las cuales, algunas se dedican a la pesca. Posiblemente estos peces bioacumulen ciertos metales, que a corto plazo puedan entrar en la cadena trófica y a la larga puedan provocar fuertes enfermedades o padecimientos.

La Dirección Regional de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en Chihuahua, ha mencionado que la laguna de Bustillos es uno de los principales cuerpos de agua del estado de Chihuahua, el segundo espejo de agua dulce más importante del país y uno de los más importantes a nivel internacional, gracias a su gran valor tanto para las aves acuáticas migratorias y residentes al ser parte del Programa Internacional de las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (AICA's), designada con el número 62 en México (CONABIO, 2007).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los parámetros físicos-químicos de temperatura del agua (T), potencial de Hidrógeno (pH), sólidos totales (ST), turbiedad y alcalinidad. Los metales evaluados fueron el Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Hierro (Fe) y Níquel (Ni), del agua de la laguna de Bustillos.

El agua representa uno de nuestros más preciados recursos, pues, además de ser indispensables para todos los seres vivos y de formar parte de la materia viva, es utilizada en casi todas las actividades humanas (Enciclopedia planeta, 1997). DuMars *et al.* (2003) detallan la importancia del recurso agua, tanto superficial y subterránea. Desafortunadamente el hombre ha abusado de las aguas del planeta utilizándolas como vehículo de sus desechos, en forma tal que sus actividades particularmente durante los últimos tiempos, han ido degradando paulatinamente el medio ambiente acuático (Vázquez, 1991).

La contaminación del agua de lagunas, ríos y arroyos, genera graves problemas para la salud humana, en forma directa o a través de la cadena trófica (Duarte, 2008). El problema de la contaminación del recurso agua es mundial (Duarte, 2008), tomando especial relevancia la contaminación debida a los metales pesados y metaloides (CNA, 1997). La contaminación en el agua se entiende como la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente para causar efectos dañinos mesurables en la flora, la fauna (incluido el humano) o en los materiales de utilidad y ornamentales (Duarte, 2008). Por ejemplo se estima que entre cinco y seis millones de personas fallecen anualmente por enfermedades transmitidas en el agua contaminada y entre 1.3 millones de niños menores de cinco años murieron a causa de enfermedades originadas por un suministro de agua de mala calidad (Annan, 2002).

México se ubica entre los países que se consideran con dificultades hídricas. En el país existen enormes diferencias en la disponibilidad del agua, en tanto que un gran aumento en la población y las actividades industriales han determinado su disminución. Así debido a su geografía y a su clima destacan dos zonas de disponibilidad natural del agua, la primera de ellas que comprende el sur y sureste y la segunda el norte, centro y noroeste del país. La disponibilidad natural de la primera de ellas es 7 veces mayor que en el resto del territorio nacional (CNA, 2005). México ocupa el segundo lugar a nivel mundial con más áreas irrigadas con aguas residuales, después de China popular (Garza *et al.*, 2001). Chihuahua se caracteriza por presentar bajas precipitaciones pluviales, recurrentes periodos de sequía, así como una explotación intensiva y sin control de los recursos naturales (Kelly, 2001).

La Limnología facilita la comprensión natural de los procesos físicos, químicos y biológicos, que ocurren en los lagos, ríos y estuarios mediante el uso del método científico para investigar, y contrastar los fenómenos básicos ecológicos que permiten funcionar a estos sistemas (Quintana, 2009). La evaluación de la calidad del agua es una parte muy importante en el cumplimiento del objetivo principal de proyectos de investigación, ya que estos análisis brindan un panorama de las condiciones sanitarias del agua y de los suelos. Estos resultados pueden ser también indicadores del contenido de residuos de fertilizantes y plaguicidas en el agua (Saucedo, 1996).

Los tipos de contaminantes del agua varían entre compuestos minerales, compuestos orgánicos y microorganismos; siendo los primeros de estos elementos asociados a una contaminación o toxicidad potencial conocidos como metales pesados (Duffus, 2002); los contaminantes orgánicos tienen dos orígenes: como forma natural se encuentran en las aguas compuestas de ácidos carboxílicos, terpenos naturales, aldehídos, alcoholes, y otros. Sin embargo, existen otros compuestos (hidrocarburos poli insaturados, disolventes halogenados y pesticidas entre otros) que han sido incorporados a las aguas superficiales por el hombre a través de sus distintas actividades (Lasheras *et al.*, 1999). El uso de fertilizantes es un problema principal de contaminación de agua (Duarte, 2008), al filtrarse junto con pesticidas en las aguas de los drenes, así como el azolvamiento producido por el depósito continuo de las aguas residuales de la industria y la descarga inapropiada de aguas negras en los drenes. También el uso de aguas residuales en ciertos casos aporta materia orgánica a los cultivos incrementando el rendimiento, pero puede transferirse elementos

tóxicos de estos cultivos a los consumidores como el plomo, cromo y el cadmio (Silva *et al.*, 2002). Así mismo, afectan de manera negativa la calidad de vida del ambiente, contaminando suelos y aguas (Garza, 2002).

La presencia de metales pesados en los cuerpos de agua pueden ser de origen natural (es decir, erosiones en los sedimentos minerales, la lixiviación de depósitos de minerales, de productos extruidos y por el vulcanismo), o por causa del hombre (Gutiérrez, 2000). Por ejemplo, Rubio-Arias *et al.* (2010) indicaron que no se encontró diferencias en las concentraciones de metales entre las cinco localidades de la cuenca del Conchos, lo que sugiere que no se encuentra un punto de origen aparente. Por lo tanto, se puede suponer que la presencia de metales y características físicas y químicas del agua deben estar relacionadas principalmente a la escorrentía superficial. En otro estudio, realizado en el lago Colina se señaló que los niveles de metales pesados en el agua aumentaron debido a la actividad antropogénicas después de vacaciones de semana santa (Rubio-Arias *et al.*, 2011). Estos elementos metálicos se disuelven en el agua bajo condiciones fisicoquímicas específicas, al igual que tienden a precipitarse al sedimento, y en ocasiones, disolverse de nuevo (Lu *et al.*, 2005). Por ejemplo, al analizar el suelo en dos diferentes profundidades (30 y 50 cm) dentro de cuatro zonas con diferente régimen de riego en el estado de Chihuahua, se observó que las concentraciones del Ni, Cr, Cu, Fe y B se encontraron en capas más profundas del suelo, mientras que el K, Na, Cd y Pb mostraron un efecto contrario (Maldonado *et al.*, 2008). Los parámetros pH, CE y T del agua son factores que intervienen en la movilización de los metales pesados en un medio acuático (García *et al.*, 2006). La mayoría de estos elementos son más solubles a pH ácidos, con excepción del As, Mo, Se y Cr, los cuales son más disponibles a pH básicos (García *et al.*, 2006), esto se debe a que a pH básico se produce la precipitación de los metales como hidróxidos. La incorporación de algunas sustancias a las aguas residuales puede derivar en situaciones de riesgo, tanto para el medio ambiente como para las personas, cuando se incorporan al ciclo del agua (Contreras, 2008). El efecto de los metales pesados en aguas potables y residuales pueden ser beneficioso, tóxico o simplemente molestos. Algunos metales resultan esenciales mientras que otros pueden perjudicar a los consumidores del agua, a los sistemas de tratamiento de aguas residuales y a las aguas de depósito. En muchos casos el potencial benéfico o riesgoso depende de la concentración (APHA, 1992). Por ejemplo, en un estudio realizado por Gutiérrez *et al.* (2008) señalaron al analizar la calidad del agua del río San Pedro que esta se encuentra contaminada por la concentración de metales pesados (As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sr y Zn) y que estos pueden afectar la salud humana, así como la salud del ecosistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la laguna de Bustillos, la cual se localiza en las coordenadas $28^{\circ}28'$ a $28^{\circ}42'$ latitud Norte y $106^{\circ}35'$ a $106^{\circ}55'$ longitud Oeste, con una altitud de 2,000 msnm (Figura 1). La laguna es un cuerpo de agua natural que se ubica en la parte central del estado de Chihuahua, en la colonia Anáhuac del municipio de Cuauhtémoc a 97 kilómetros de la ciudad de Chihuahua. Tiene una longitud promedio de 16.5 kilómetros, 7.5 Kilómetros de ancho, con una profundidad media de 1.2 metros, y una capacidad aproximada de 148 millones de metros cúbicos de agua. Tiene forma ovoide rodeada por pastizales naturales, inducidos y tierras de cultivo. Hay algunos poblados alrededor de ella, pero sólo en la parte sur existen carreteras y vías de ferrocarril que comunican al poblado de Anáhuac. En 1989, la Comisión Nacional del Agua (CNA) informó que en la región hidrológica No. 34, conocida como “Cuenca Cerrada del Norte”, se encuentra localizada la laguna de Bustillos, donde se captan escurrimientos superficiales principalmente de 3 arroyos, el de San Antonio, Napavechi y el de la Vieja, los cuales van acompañados de sedimentos, producto de la erosión, debido a la deforestación, sobrepastoreo y cambios en el patrón de cultivos, este último por parte de los campos menonitas, las descargas de aguas negras de las ciudades de Cuauhtémoc y colonia Anáhuac y los desechos industriales de Pondercel de Chihuahua S.A. de C.V. Hay que mencionar que ahora Cuauhtémoc y la papelera Pondercel cuentan con plantas tratadoras y que desde hace 5 años la fábrica de celulosa de Anáhuac ha estado cerrada.

Se realizó un muestreo del agua en la Laguna de Bustillos, la cual se dividió en 4 zonas: la zona de Anáhuac, que incluye a la descarga de la empresa papelera; la zona de los Ejidos; la zona de los Campos Menonitas (13B); y la zona de Cuauhtémoc. Esta zona se decidió separarla de la zona de Anáhuac, ya que su aporte tiene influencia en la mitad del cuerpo de agua, y se determinó observar si hay contribución significativa de la descarga de ciudad Cuauhtémoc, ya sea por medio del arrastre natural de sedimentos y contaminantes del arroyo San Antonio, o por medio de infiltraciones subterráneas. Se tomaron 7 muestras al azar por zona, siendo un total de 28 muestras de agua como se presenta en la siguiente figura.

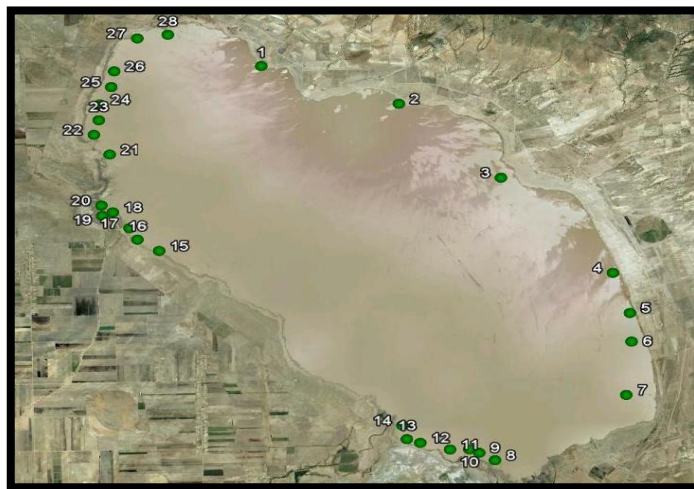


Figura 1. Ubicación Geográfica de los puntos de muestreo en la Laguna de Bustillos.

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal en la Facultad de Zootecnia y Ecología de acuerdo a los métodos normalizados para el análisis de aguas potables residuales, así como de acuerdo a lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas para el control de la calidad de resultados analíticos. Los parámetros de T del agua, y pH se determinaron en el momento de la toma de la muestra *in situ*, de acuerdo a la NMX-AA-007-SCFI-2000, NMX-AA-093-SCFI-2000 y NMX-AA-008-SCFI-2000, respectivamente, a través de un potenciómetro Marca Hanna-Instruments Modelo Waterproof.

La Turbiedad se obtuvo de acuerdo a la NMX-AA-038-SCFI-2001, el cual se realizó mediante un turbidímetro marca Hanna, utilizando 3 reactivos para poder preparar la muestra y el blanco midiendo el valor en NTU.

La Alcalinidad Total se obtuvo de acuerdo a la NMX-AA-036-SCFI-2001, se realizó mediante titulación con ácido sulfúrico (H_2SO_4) obteniendo la alcalinidad a la fenolftaleína y la alcalinidad al anaranjado de metilo o total. Indicador de Cromato de Potasio (K_2CrO_4).

La extracción de metales pesados de las muestras, se realizó de acuerdo a la NMX-AA-051-SCFI-2001. A una porción representativa de la muestra sin filtrar se le realizó una digestión con ácido nítrico concentrado (HNO_3) hasta digestión completa; esto se manifiesta por la presencia de un residuo de color claro. Enseguida se filtró la muestra digerida y se llevó a un volumen semejante al volumen de muestra tomada originalmente. En forma posterior, se almacenaron las muestras en refrigeración a $4^\circ C$ hasta su análisis. Los metales totales se determinaron en un Espectrómetro de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES) 2100 marca Perkin-Elmer propiedad del Rancho Experimental la Campana del INIFAP. Para su preparación se prepararon estándares de concentración conocida de cada uno de los 18 elementos ajustándose los parámetros de longitud de onda, posición del plasma, flujo de gases y sensibilidad para cada uno de los elementos.

Una vez calibradas las condiciones óptimas de cada uno de los estándares, se procedió a ajustar (cero de emisión) utilizando el blanco reactivo o matriz equivalente que en este caso es agua tridestilada con ácido, en la misma concentración que se utilizó para diluir la muestra, y que no contiene ningún analito o sustancia que altere el análisis. Una vez establecida la calibración se procedió a la lectura de las muestras por aspiración directa.

En la primera etapa se obtuvieron estadísticas descriptivas como la media y desviación estándar de las 28 muestras para cada uno de los parámetros analizados, utilizando el paquete estadístico MiniTab 11. En la segunda etapa se elaboraron graficas de control de cada parámetro utilizando la media de cada sitio de muestreo comparándolo con los mismos; es decir se determinó la media de las 7 muestras de cada sitio de muestreo para compararlas entre sí.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la temperatura el ANOVA mediante una prueba de t de student detectó diferencias estadísticas en el parámetro de la temperatura del agua entre las cuatro zonas ($P < 0.05$). La media en la zona de los Ejidos fue de 16.91 °C; en la colonia de Anáhuac de 21.37 °C; en la zona de Cuauhtémoc de 19.44 °C; mientras que la media en los Campos Menonitas fue de 14.73°C (Figura 2). La temperatura de las cuatro zonas se encontró dentro del rango permitido por los criterios de CE-CCA-001/89 la cual establece como condiciones naturales de temperatura del agua de más de 1.5 °C. De la misma forma, quedo por debajo de los 40 °C marcados para embalses naturales y artificiales por la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. La temperatura del agua varió debido a los cambios normales durante el día y por las horas del muestreo, las cuales fueron entre las 10 am a 6 pm. La temperatura del agua influye en la presencia de organismos que prefieren aguas calientes o aguas frías (Smith *et al.*, 2001). Esto implica que la temperatura elevada, por ejemplo, disminuye la concentración de oxígeno disuelto, y si las aguas son deficientes en oxígeno, puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces. Las temperaturas elevadas pueden dar lugar a crecimientos indeseables de plantas acuáticas y hongos.

En el pH el ANOVA detectó diferencias estadísticas para la variable de pH por efecto de las zonas ($P < 0.05$). La media en la zona de los Ejidos fue de 8.91; en la colonia de Anáhuac de 9.0; en la zona de Cuauhtémoc de 8.81; mientras que la media en los Campos Menonitas fue de 9.22 (Figura 3). Los resultados obtenidos al compararlos con los criterios ecológicos establecidos en la CE-CCA-001/89, donde se establece que los límites permisibles del pH para agua potable deben estar en un rango de 5 a 9. Así mismo, al comparar estos resultados con los estipulados en agua para uso de riego agrícola, donde los valores fluctúan entre 4.5 a 9, se puede observar que en las zonas de los Ejidos, Anáhuac y Cuauhtémoc cumplen con lo establecido con la Normativa Mexicana ya que la media del pH se encuentra dentro de los lineamientos establecidos, pero en el caso particular de la zona de los Campos Menonitas sobrepasa ligeramente estos límites. Esto se puede deber a que las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, pero la mayoría son ligeramente básicas, debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos de los metales alcalinos y alcalinotérreos (Cano, 2001). También, hay evidencias de que en un sistema acuático el aumento de la temperatura del agua potencia, el proceso de la fotosíntesis, y por ende los niveles de dióxido de carbono disminuye, mientras que los niveles de oxígeno aumentan, ocasionando que el pH del sistema aumente (Hernández *et al.*, 2003).

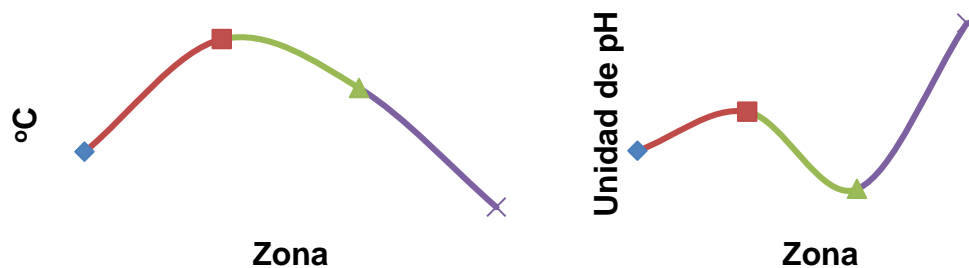


Figura 2 y 3. Media por zona del parámetro Temperatura y de pH en el agua de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México.

En la turbiedad el ANOVA detectó diferencias estadísticas para el parámetro de turbiedad por efecto de las zonas ($P < 0.05$). La media en la zona de los Ejidos fue de 671.63 UTN; en la colonia de Anáhuac de 576.63 UTN; en la zona de Cuauhtémoc de 1514.71 UTN; mientras que la media en los Campos Menonitas fue de 946.34 UTN (Figura 4). Los resultados obtenidos al compararlos con el límite que establece la organización mundial de la salud, que es de 1.33 UTN, los niveles de las cuatro zonas superan este valor. Pero cabe recalcar que la determinación del grado de esta variable no puede dar información sobre el grado general de contaminación (Seoane, 1999). Sin embargo, reduce la penetración de la luz solar y la concentración de nutrientes, y por tanto la producción de fitoplancton (Poi de Neiff *et al.*, 1994). También la materia en suspensión formada por sustancias sólidas de pequeño tamaño producen problemas de obstrucciones en las tuberías de conducción, así como un aumento en la turbiedad, lo que interrumpe la fotosíntesis (Contreras, 2008).

En la alcalinidad el ANOVA detectó diferencias estadísticas por efecto de las zonas ($P < 0.05$). La media en la zona de los Ejidos fue de 214.22 ppm; en la colonia de Anáhuac de 221.76 ppm; en la zona de Cuauhtémoc de 238.77 ppm; mientras que la media en los Campos Menonitas fue de 233.55 ppm (Figura 5). Los resultados muestran valores muy parecidos entre las cuatro zonas. Las cuatro zonas sobrepasan los valores marcados por los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua CE-CCA-001/89 para protección vida acuática para agua dulce que menciona que la alcalinidad natural no debe reducirse en más del 25%, ni cuando esta sea igual o menor a 20 ppm. El prolongado contacto del agua con ciertas formaciones geológicas puede disolver sales hasta obtener los productos de solubilidad respectivos, pudiéndose originar así las precipitaciones de estos productos, siendo el primero el carbonato de calcio y luego con mayor dificultad el sulfato cálcico (Córdova, 1980). También posiblemente estas altas concentraciones son provocadas por las actividades antropogénicas de esta región. En los cuerpos de agua naturales la alcalinidad desempeña una función muy importante en la productividad, sirviendo como fuente de reserva para que la flore acuática realice la fotosíntesis.

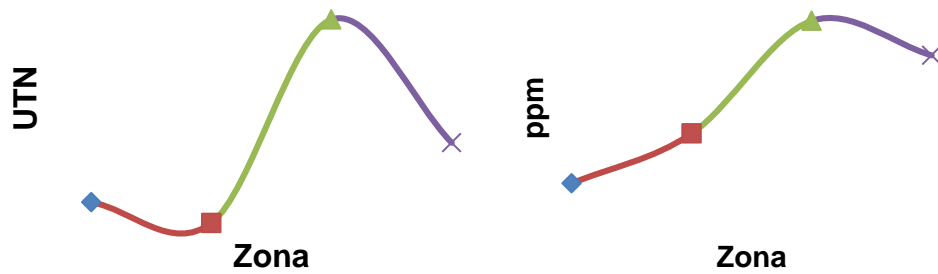


Figura 4 y 5. Media por zona del parámetro turbiedad y alcalinidad Total en el agua de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México.

El Aluminio el ANOVA detectó diferencias estadísticas entre por efecto de las zonas para este elemento ($P < 0.05$). La media en la zona de los Ejidos fue de 71.43 ppm; en la colonia de Anáhuac de 58.95 ppm; en la zona de Cuauhtémoc de 136.94 ppm; mientras que la media en los Campos Menonitas fue de 80.08 ppm (Figura 6). Los resultados muestran que la media de las cuatro zonas rebasan los criterios establecidos de 5 ppm en la CE-CCA-001/89 para uso de riego agrícola y pecuario. Esto se puede deber al carácter geológico de la zona ya que este metal es el más abundante en la corteza terrestre y debido a la gran cantidad de escorrentías que llegan a la laguna puede propiciar su alta concentración, otra posible razón puede ser por las plantas tratadoras ya que en ellas es común el uso del alumbre, compuesto que contiene aluminio en su mayor parte, también el alto contenido de este elemento pudo ser propiciado por parte de la antigua actividad industrial de la zona. Cabe recalcar que el aluminio no se acumula de manera significativa en plantas ni animales, pero la exposición a cantidades altas de este elemento puede afectar la salud humana (ATSDR, 2008a). Otro efecto negativo en el ambiente del Aluminio es que estos iones pueden reaccionar con los fosfatos, los cuales causan que el fosfato no esté disponible para los organismos acuáticos.

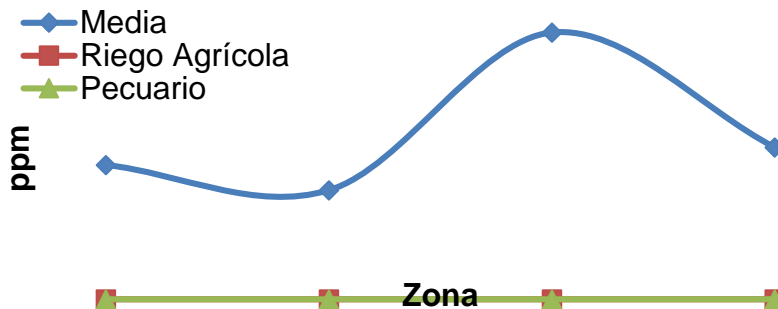


Figura 6. Efecto por zona del parámetro Aluminio en el agua de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México. Las líneas de referencia (Inferiores) hacen mención a los criterios establecidos para uso del agua por la CE-CCA-001/89.

El cadmio (Cd) el ANOVA detectó diferencias estadísticas entre por efecto de las zonas para este elemento ($P < 0.05$). La media en las zonas de los Ejidos, Anáhuac y de los Campos Menonitas fue la misma con una concentración de 0.01 ppm; para la zona de Cuauhtémoc fue menor la concentración con un valor de 0.006 ppm (Figura 7). Los resultados muestran que los criterios marcados por la CE-CCA-001/89 que establece los valores de 0.01 ppm para uso del agua para riego agrícola y 0.02 ppm para uso pecuario del agua para este elemento, no son sobrepasados pero si se encuentran en el límite umbral. Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen una cantidad de cadmio. El cadmio entra en el ambiente por medio del suelo, al agua y al aire durante actividades industriales y de minería, y durante la combustión de carbón y desechos domésticos (ATSDR, 2008b). El uso de aguas residuales en los cultivos aporta materia orgánica, pero puede transferirse elementos tóxicos a los consumidores como el cadmio, plomo y cromo (Silva *et al.*, 2002). Así mismo, afectan de manera negativa la calidad de vida del ambiente, contaminando suelos y aguas (Garza, 2002). Las plantas, los peces y otros animales incorporan cadmio del ambiente. Se puede dar una exposición de este elemento al consumir alimentos que lo contienen. Otra fuente importante de emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del Cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos.

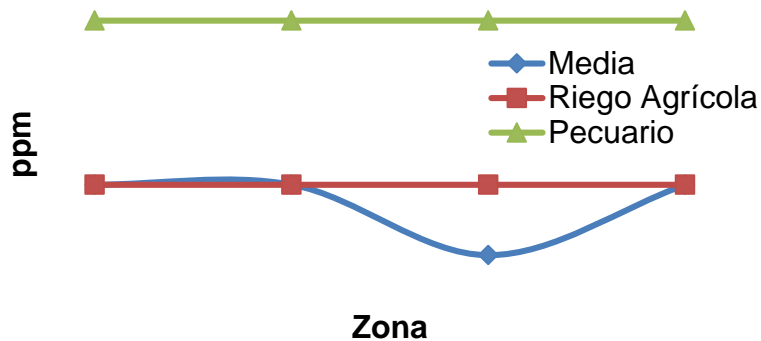


Figura 7. Efecto por zona del parámetro Cadmio en el agua de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México. Las líneas de referencia (Superiores) hacen mención a los criterios establecidos para uso del agua por la CE-CCA-001/89.

El cromo (Cr) el ANOVA detectó diferencias estadísticas por efecto de las zonas para este elemento ($P < 0.05$). La media en las zona de los Ejidos y de Anáhuac fue de 0.20 ppm; en la zona de Cuauhtémoc de 0.33 ppm; mientras que la media en los Campos Menonitas fue de 0.27 ppm (Figura 8). Los resultados exponen que las medias de las zonas se encuentran por debajo de los criterios de la calidad del agua de 1.0 ppm para riego agrícola y pecuario

marcados por la CE-CCA-001/89. El Cr se puede encontrar comúnmente en sus formas de cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). El cromo (VI) y el cromo (III) se usan en el cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y en la preservación de la madera (ASTDR, 2008c). Los cultivos contienen sistemas para gestionar la toma de Cromo para que esta sea lo suficientemente baja como para no causar cáncer. Pero cuando la cantidad de Cromo en el suelo aumenta, esto puede aumentar las concentraciones en los cultivos. La acidificación del suelo puede también influir en la captación de Cromo por los cultivos. Las plantas usualmente absorben sólo Cromo (III). Esta clase de Cromo probablemente es esencial, pero cuando las concentraciones exceden cierto valor, efectos negativos pueden ocurrir. No es conocido que el Cromo se acumule en los peces, pero altas concentraciones de Cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales el Cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores.

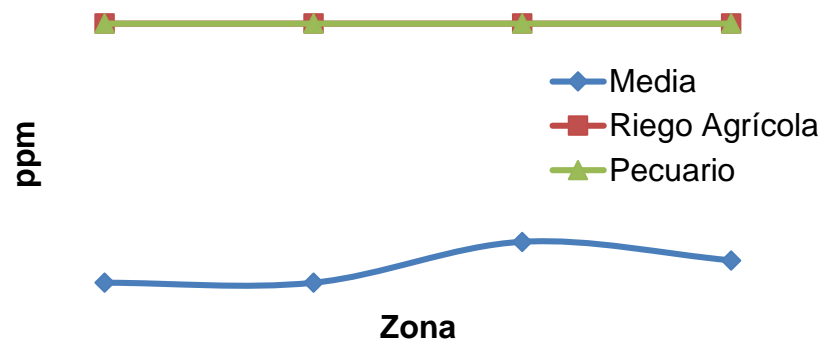


Figura 8. Efecto por zona del parámetro Cromo en el agua de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México. Las líneas de referencia (Superiores) hacen mención a los criterios establecidos para uso del agua por la CE-CCA-001/89.

En el Hierro (Fe) el ANOVA detectó diferencias estadísticas por efecto de las zonas para este elemento ($P < 0.05$). La media en la zona de los Ejidos fue de 32.11 ppm; en la colonia de Anáhuac de 26.73 ppm; en la zona de Cuauhtémoc de 59.51 ppm; mientras que la media en los Campos Menonitas fue de 35.41 ppm (Figura 9). Los resultados muestran que la media de las cuatro zonas rebasan los criterios establecidos de 5 ppm en la CE-CCA-001/89 para uso de riego. Encontrándose la concentración mayor en la zona de Cuauhtémoc y la de menor en Anáhuac. Esto se puede deber a las características geológicas (se considera que el hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre ocupando el 5%), aun en un mismo sitio dentro del mismo cuerpo de agua, estas características varían (Santos-Bermejo *et al.*, 2003). También puede deberse a las actividades antropogénicas llevadas a cabo en dichas zonas ocasionando variaciones en los niveles de las concentraciones de este elemento. De la misma manera, el alto contenido de este elemento pudo ser propiciado por

parte de la antigua actividad industrial de la zona. Es de relevancia mencionar que concentraciones altas de este metal pueden provocar ciertas alteraciones como conjuntivitis, coriorretinitis y retinitis si tiene contacto con los tejidos del cuerpo y permanece en ellos (ATSDR, 1997).

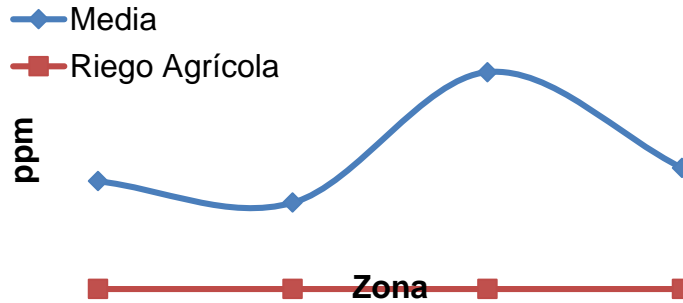


Figura 9. Efecto por zona del parámetro Hierro en el agua de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México. La línea de referencia (Inferior) hace mención al criterio establecido para uso del agua por la CE-CCA-001/89.

En el Níquel (Ni) el ANOVA detectó diferencias estadísticas por efecto de las zonas para este metal ($P < 0.05$). La media en la zona de los Ejidos fue de 0.17 ppm; en la colonia de Anáhuac de 0.20 ppm; en la zona de Cuauhtémoc y de los Campos Menonitas la media fue de 0.08 ppm (Figura 10). Los resultados muestran que la media de las zonas de los Ejidos y de Anáhuac se encuentra cerca o en el umbral de los criterios establecidos con los valores de 0.2 ppm y 1 ppm en la CE-CCA-001/89 para uso en riego agrícola y para uso pecuario, respectivamente. Las zonas de Cuauhtémoc y los Campos Menonitas se encuentran por debajo de estos criterios ecológicos. Muchos compuestos de níquel se disuelven fácilmente en agua. También se encuentra en todos los suelos. El níquel liberado en desagües industriales termina en el suelo o en el sedimento, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso (ATSDR, 2005a).

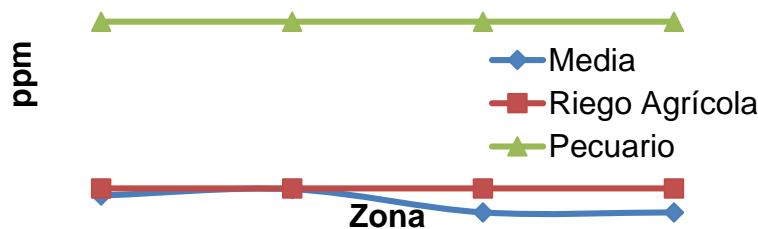


Figura 10. Efecto por zona del parámetro Níquel en el agua de la Laguna de Bustillos en Chihuahua, México. Las líneas de referencia (Superiores) hacen mención a los criterios establecidos para uso del agua por la CE-CCA-001/89.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio se limitó a la evaluación de parámetros físicos, químicos y algunos metales pesados y metaloides del agua de la laguna de Bustillos, ya que los contaminantes constituyen la principal causa de la degradación de la calidad de agua.

Los parámetros físicos que se analizaron y determinaron de este sistema lenticó en general se encontraron por debajo de los criterios establecidos por la CE-CCA-001/89 y por las normas mexicanas.

El parámetro de Turbiedad superó los valores que establece la Organización Mundial de la Salud. El parámetro de Alcalinidad Total sobrepasó los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua para protección de vida acuática en agua dulce. Los metales de Cadmio y Níquel no sobrepasan los criterios pero si se encuentran en el límite umbral, esto probablemente debido a las descargas de aguas industriales y residuales en la laguna sin previo tratamiento. Por lo anterior descrito, se puede concluir según los criterios ecológicos de la calidad del agua y la normatividad mexicana que en el agua de la laguna de Bustillos se encuentra una presencia de Alcalinidad Total, Al y Fe en concentraciones superiores a las condiciones naturales, esto debido al prolongado contacto del agua con ciertas formaciones geológicas ya que se pueden disolver sales, además el Al y el Fe son abundantes en la corteza terrestre y debido a la gran cantidad de escorrentías que llegan a la laguna puede propiciar su alta concentración. También posiblemente estas altas concentraciones son provocadas por las actividades antropogénicas de esta región, propiciado por parte de la antigua actividad industrial de la zona.

También se recomienda un análisis del agua dirigido a encontrar el porcentaje de Cromo hexavalente ya que se considera muy cancerígeno y el análisis que se realizó fue solo basado en encontrar el Cromo total. De la misma manera se recomienda un análisis de las especies de peces que habitan en este ecosistema acuático dirigido a la búsqueda de elementos que puedan ser más susceptibles a entrar a las cadenas tróficas. Y por último, el análisis del parámetro color para el agua, ya que en el momento de muestreo se detectó a simple vista.

BIBLIOGRAFÍA

Annan, K. 2002. Informe de la Cumbre de Johannesburgo. Cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible. Johannesburgo, Sudáfrica.

<http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/>. Consultado Abr. 20, 2011.

APHA. 1992. American Public Health Association. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17ª edición. Madrid, España.

ATSDR. 1990. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica de la Plata. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU.

Balance, R., y J. Bartram. 1996. Water Quality Monitoring-A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmer. UNEP/World Health Organization.

Benavides A., M. Moreno, M. Sosa, S. Puga, J. Alcalá, y C. Quintana. 2007. Evaluación de la Calidad del Agua en las Principales Lagunas del Estado De Chihuahua. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 4(2):84 -88.

Campillo, A. R. 2006. Análisis de parámetros Físico-Químico de la cuenca del río Conchos en el estado de Chihuahua. Tesis de Licenciatura. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih, Mex.

Cano de los Ríos, O. C. 2001. Manual de Prácticas de Laboratorio. Contaminación del Agua. UACH.

CE-CCA-001/89. 1989. Gestión Ambiental Mexicana. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua. Tratados y otros instrumentos internacionales. Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1989.

Duarte, C. S. 2008. Análisis de contaminación por metales pesados en la cuenca del río Conchos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Mex.

Duffus, J. 2002. Heavy metals. Pure applied Chemistry. 74:793-807.

Garza, V., L. Villareal, I. Fernández, M. Badii, L. Havad, A. Flores, y J. Verde. 2001. Indicadores para la Evaluación del Impacto al ambiente y la Salud de las aguas Residuales Municipales no tratadas: Salud Pública y Nutrición. Vol. 2(1).

Garza, V. 2002. Reusó Agrícola de las aguas residuales de Cd. Juárez, Chih., México. En el Valle de Juárez y su impacto en la Salud Pública. Salud pública y nutrición. Vol. 1(3).

Gutiérrez, M. 2000. Trace elements concentration patterns in sediments of the lower río Conchos, México. Water, air and soil pollution. 121:259-270.

Kelly, M. E. 2001. El Rio Conchos: A preliminary Overview. Texas Center for Policy Studies. <http://www.texascenter.org/publications/rioonchos.pdf>. Consultado Ene. 14, 2011.

Nollet, L. M. 2007. Handbook of water analysis. 2^a ed. Taylor & Francis Group. New York.

Rubio-Arias, H., C. Quintana, J. Jiménez-Castro, R. Quintana, y M. Gutiérrez. 2010. Contamination of Conchos river in Mexico: Does it pose a health risk to local residents? *J. Environ. Res. Public Health*. 7:2071-2084.

Saucedo, M. L. R. 1996. La calidad del agua y el uso de plaguicidas y fertilizantes en los municipios de Delicias, Rosales y Meoqui del Estado de Chihuahua. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Mex.

Vásquez, A. V. 1991. Cuantificación de Plomo y Cadmio en Agua Potable de la Ciudad de Chihuahua. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. Mex.

Young M. A., y J. M. Yong. 2003. Ecología y medio ambiente. Compañía Editorial Nueva Imagen. México.