

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAS LAGUNAS DE BUSTILLOS Y DE LOS MEXICANOS (CHIHUAHUA, MÉXICO)

Jesús Pilar Amado Álvarez¹

Pedro Pérez Cutillas²

Orlando Ramírez Valle¹

Juan Jose Alarcón Cabañero²

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)¹

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)²

RESUMEN

En la parte central del estado de Chihuahua (México) se encuentra la cuenca de drenaje que alimenta las lagunas endorreicas de Bustillos, y de los Mexicanos. Estos humedales de especial interés ambiental, se encuentran amenazados por una fuerte presión de actividades humanas. Para este trabajo se han planteado una serie de análisis químicos, físicos y microbiológicos, que determinan unos elevados índices de contaminación en estos hábitats acuáticos. Los resultados han mostrado bajos índices de oxígeno disuelto y elevadas concentraciones en nitratos y bacterias coliformes en el agua. Se ha detectado que las principales fuentes de contaminación de estos recursos hídricos son las actividades agropecuarias, los vertidos de aguas residuales de las áreas urbanas y, en mayor medida, por los desechos de los tratamientos industriales.

Palabras clave: Humedales, contaminación hídrica, recursos hídricos, ambientes semiáridos, aguas residuales.

WATER QUALITY ANALYSIS IN THE BUSTILLOS AND DE LOS MEXICANOS LAGOONS (CHIHUAHUA, MÉXICO)

ABSTRACT

The Bustillos and Mexicanos lagoons are located in the center of the state of Chihuahua (Mexico). These wetlands of special environmental interest are endangered by severe pressure from human activities. These wetlands of environmental relevance are endangered by severe pressure from human activities. This study has raised a series of chemical, physical and microbiological analyzes, which determine high rates of contamination in these aquatic habitats. The results showed in water low levels of dissolved oxygen and high concentrations of nitrate and coliform bacteria. Agricultural activities, wastewater discharges from urban areas and industrial waste has been identified as the main sources of pollution of these water resources.

Key words: Wetlands, water pollution, water resources, semiarid environments, wastewater.

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México). E-mails: amado.jesus@inifap.gob.mx ; ramirez.orlando@inifap.gob.mx

²Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC). E-mails: perezcutillas@cebas.csic.es ; jalarcon@cebas.csic.es

1. INTRODUCCIÓN

La dinámica de crecimiento poblacional se presenta como la mayor en toda nuestra historia, circunstancia que repercute de manera importante en el uso de los recursos hídricos y energéticos (PNUD, 2015).

La extensión y diversidad geográfica de México provocan una distribución restrictiva e irregular del agua en la mitad norte del territorio nacional, proporcionando un déficit constante de precipitaciones, aportando recursos hídricos insuficientes para los niveles de concentración demográfica y de desarrollo de los distintos sectores de actividad económica establecidos en esta parte del país. La escasez de agua ha propiciado una constante y creciente explotación hidráulica, muchas veces en forma incontrolable e incluso perjudicial para la recuperación del equilibrio en el ciclo natural del agua (CONAGUA, 2009).

Los últimos estudios sobre el calentamiento global y sus previsible escenarios a corto plazo no son nada esperanzadores, complicando con ello las perspectivas de desarrollo y sostenibilidad de los ambientes semiáridos. La compleja interrelación entre factores naturales y las actividades humanas han generado graves desequilibrios socio-políticos y ambientales, incrementando los procesos de desigualdad potenciados por una globalización regresiva con serias repercusiones en los hábitats naturales y efectos severos sobre la población (HELD y MCGREW, 2007; BRAUCH *et al.*, 2008).

La crisis del agua en México presenta cifras alarmantes, con más de 12 millones de personas que no tienen acceso al agua potable. De la población que cuenta con red de agua potable, el 65 % no hace efectivo el pago del servicio, y las redes de suministro de agua se encuentran en mal estado de conservación, por lo que el volumen de pérdidas es de alrededor del 35% (PALACIOS y ESCOBAR, 2010).

Los crecimientos urbanos, la industrialización y el desarrollo de las actividades agrícolas interactúan con los procesos naturales del ciclo hidrológico de manera cualitativa y cuantitativa. Los desechos generados por estas actividades humanas empeoran de manera notable la calidad de los recursos hídricos. En ambientes semiáridos donde el agua es un bien escaso, la percepción que tiene la población sobre la salud pública, se basa en normas establecidas para reutilizar el agua residual (TAYLOR *et al.*, 2006). Por lo general, estas pautas aconsejan intensos tratamientos aplicados a los efluentes para uso humano, sin embargo su reutilización con fines agrícolas por lo general es más laxo. Para ello, la calidad de un agua natural se valora por sus características físicas, químicas y biológicas, asociándose a cada parámetro un nivel que asegure que el agua reúne los requisitos necesarios para cada uno de los procesos de consumo.

En el municipio de Cuauhtémoc, la agroindustria es la actividad productiva con mayor responsabilidad en la contaminación de las aguas debido a la utilización de productos químicos, muy difíciles de detectar por su presencia a nivel prácticamente molecular y que requieren de complejos sistemas de filtración para poder ser neutralizarlos (ORREGO, 2002), desencadenando efectos nocivos sobre la salud humana y la biota acuática en general. La contaminación de los recursos hídricos queda patente en gran parte del país, donde los ríos se han convertido en desagües de aguas residuales, y menos del 35% de los vertidos se realizan sin ningún tratamiento previo (ETCHEVERS *et al.*, 2008). Las aguas subterráneas absorben los gases de la materia orgánica en disgregación, los carbonatos, sulfatos y cloruros se disuelven en el agua, aumentando su dureza, pudiendo solubilizar también hierro y manganeso. El metano y ácido sulfhídrico son gases de descomposición que pueden encontrarse en estos acuíferos contaminados (FAIR *et al.*, 2005).

A mediados de la década de los 90, el Gobierno Federal elaboró una serie de normas a través de la Secretaría de Economía (1996) para regular la gestión y el uso de las aguas residuales (NOM-001-SEMARNAT-1996), estableciendo los límites máximos permisibles de contaminantes de aguas en su vertido a redes hídricas y bienes nacionales. Pero ante la situación actual, queda patente que estos esfuerzos han sido insuficientes y deben ser reforzados con nuevas intervenciones que permitan un aprovechamiento mejor del agua y a la previsión de este recurso para las próximas décadas.

Con el presente estudio se pretende evaluar el estado del agua superficial en la cuenca endorreica de la Laguna de Bustillos, área con presencia de importantes humedales de especial

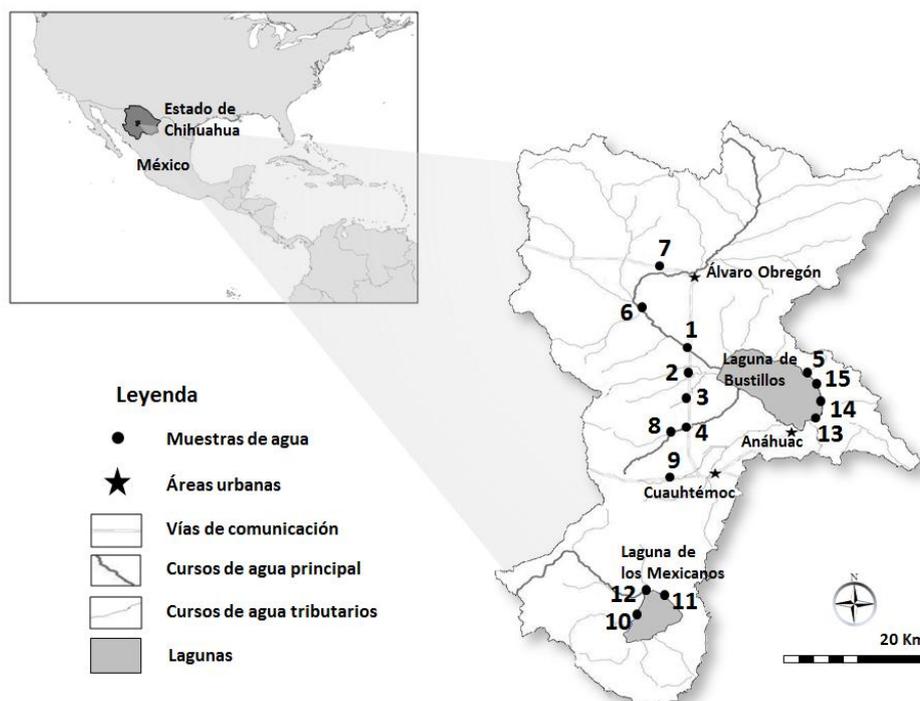
interés ambiental, que se encuentran amenazados por la fuerte presión de las actividades agrícolas e industriales que se desarrollan en sus proximidades. El objetivo principal que se plantea es determinar la calidad agua superficial, a través de una serie de parámetros químicos, físicos y microbiológicos, e identificar las causas y problemas asociados a los contaminantes específicos, así como el establecimiento de alternativas de solución en la gestión hídrica del entorno.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, ubicada en el municipio de Cuauhtémoc, se encuentra localizada en la parte central del estado de Chihuahua (México) (Figura 1). Constituye una amplia zona de transición entre las estribaciones de la Sierra Madre Occidental y la meseta mejicana, formando una altiplanicie con una altitud media cercana a los 2.000 msnm. La morfología de sus relieves configura una gran cuenca de drenaje endorreica de 4.072 km², en la que pequeños arroyos alimentan las lagunas de los Mexicanos, y de Bustillos (CONAGUA, 2016).

FIGURA 1
Mapa de localización del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

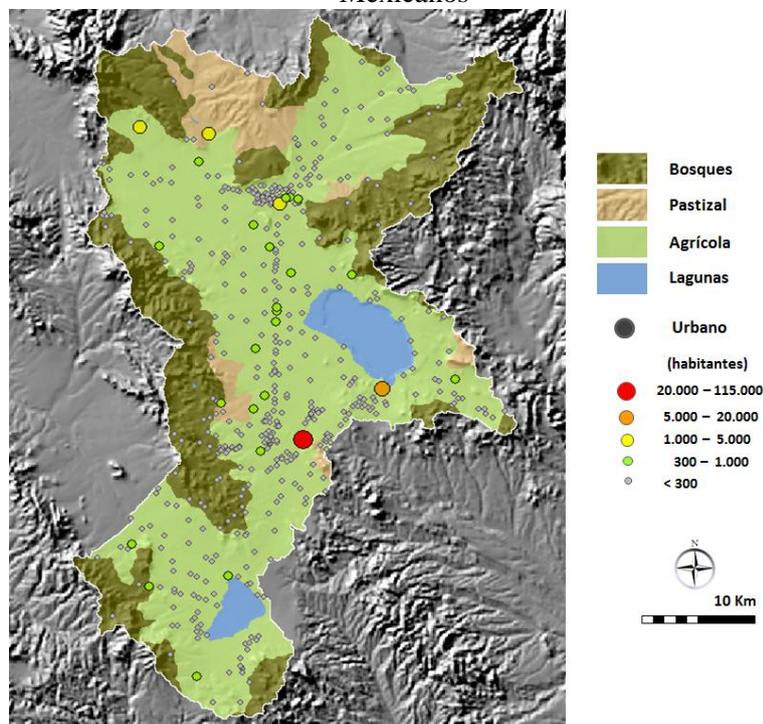
Las características ambientales están determinadas por un clima semiárido con precipitaciones escasas (450 mm.) y temperaturas medias de 12-14°C, pero una amplitud térmica anual elevada, con temperaturas mínimas por debajo de los -10°C y máximas superiores a los 40°C. Estas lagunas presentan una elevada importancia ecológica, sirviendo de hábitat a más de 25 especies de aves acuáticas y proporcionan áreas de estancia y descanso a especies migratorias durante la época invernal (CREEL, 2014).

Los usos del suelo destinados a la cuenca muestran una enorme importancia de la agricultura, que con más de un 58 % de la superficie total se presenta como el principal aprovechamiento del suelo. Desde el punto de vista agropecuario, la zona de estudio es una de las más importantes del estado, y su producción participa de manera importante en el PIB

nacional. El principal cultivo es el maíz con una superficie de más de 35.000 ha. (680.000 ton/año), seguido del cultivo del manzano (145.000 ton/año) (INEGI, 2007). También, con una cabaña bovina de más de 500.000 cabezas que proporcionan cerca de 750.000 litros de leche al día, se muestra como una de las áreas de producción láctea más importantes del estado (SAGARPA, 2008).

La superficie de cobertura vegetal natural ocupa más del 35 %, caracterizada por una vegetación xerófila, formada por algunas comunidades de pino y encino (29 %), asociado a grandes áreas de pastizal y matorral desértico (7 %). Finalmente, la ocupación del suelo por las áreas urbanas solo representan el 0,48 %, pero su elevada dispersión hace aumentar su impacto en el territorio (CONABIO, 2016). La ciudad de Cuauhtémoc (115.000 habitantes) aparece como el núcleo más importante, polarizando la mayor parte de los más de 160.000 habitantes que conforman los asentamientos de población de la cuenca (Figura 2).

FIGURA 2
Distribución espacial de los usos del suelo en la cuenca de las lagunas de Bustillos y los Mexicanos



Fuente: Elaboración propia

2.2. METODOLOGÍA

El trabajo se llevó a cabo en la cuenca endorreica que drena a las lagunas de Bustillos y de los Mexicanos, alimentadas por un conjunto de arroyos de tipo radial. Para poder evaluar correctamente el nivel de calidad del agua, en primer lugar se determinó el caudal de los arroyos que recorren la cuenca, a través de la medición de la velocidad del flujo y la determinación de su área transversal.

Durante el periodo de 2010-2011 se realizaron tres fases de muestreo en 15 puntos elegidos aleatoriamente, (Tabla 1) situados dentro de la cuenca hidrológica (Figura 1). Las tres réplicas de los muestreos se efectuaron durante los días 15 de julio del 2010, 15 de noviembre del 2010 y 15 de marzo del 2011. Las fechas corresponden con tres periodos distintos de precipitación, con el fin de obtener en los análisis unos valores medios en los que no interfiera el volumen de los caudales en los tramos muestreados.

TABLA 1
Puntos de muestreo distribuidos en la cuenca de las lagunas de Bustillos y los Mexicanos

Punto	Muestras de agua
	Localidad
1	Arroyo La Vieja
2	Carretera Cuauhtémoc Km 16
3	Carretera Cuauhtémoc Km 10
4	Arroyo San Antonio
5	Arroyo Ejido La Selva
6	Quesería Campo 105
7	Reni Picot
8	Quesería Sello de Oro
9	Quesería Pampas
10	Lag. de los Mexicanos 01
11	Lag. de los Mexicanos 02
12	Lag. de los Mexicanos 03
13	Lag. de Bustillos Ejido Favela
14	Lag. de Bustillos Ejido Centro Calles
15	Lag. de Bustillos Ejido La Selva

Fuente: Elaboración propia

Los procesos analíticos para determinar el nivel de calidad de agua en la cuenca de estudio establecieron con precisión las condiciones de la calidad integral del agua, siguiendo el método de SMITH (1990). Pero estos análisis por si mismos presentar unas condiciones momentáneas muy concretas que pueden enmascarar la calidad del estado hídrico, por lo que es conveniente utilizar índices biológicos que muestren un rango temporal más amplio del grado de alteración de estos ecosistemas acuáticos (ALBA-TERCEDOR y SÁNCHEZ-ORTEGA, 1988). Para ello, se ha calculado un índice de calidad del agua (ICA) de acuerdo a la metodología desarrollada por la Universidad de Wilkes (2006), la cual utiliza un sencillo cálculo mediante nueve parámetros: Turbidez, pH, Oxígeno Disuelto (OD), Nitratos, Fósforo total, Sólidos totales disueltos (STD) y Temperatura, relacionados con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y algunas especies bacterianas (coliformes).

Se evaluaron in situ los parámetros de (a) Turbidez por el método Nefelométrico basado en una comparación instrumental de la intensidad de luz dispersada por un amuestra patrón de referencia bajo las mismas condiciones en capsulas de 15 ml. (Termo, AQ5000); el (b) pH a través la determinación de la actividad de los iones Hidrogeno (H^+) en la solución por medición potencio métrica empleando un electrodo de vidrio, previa calibración del instrumento con soluciones estándar de pH (Hanna Instrument pH/CE/TSD/T meter). Con este potenciómetro también se obtuvieron los valores de (c) STD (mg/L) y la (d) Temperatura en °C; el (e) OD, en % de saturación y mg/L, se midieron con un Oxímetro portátil (Hanna Instrument - HI 9146); los (f) Nitratos (NO_3) se tomaron con un medidor portátil (HORBA modelo B-343) utilizando el método de lectura con electrodo de ion. Los datos de (g) Fósforo total, el (h) DBO y las (i) bacterias coliformes fecales (BCF) se obtuvieron en laboratorio de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT- 1996 (Secretaría de Economía, 1996).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS CAUDALES

Una de las principales corrientes es el arroyo San Antonio, en su recorrido el cauce es utilizado habitualmente para la irrigación de amplias zonas de cultivo. Los registros de caudal mostraron unos valores de $4,18 \text{ m}^3/\text{seg.}$, corriente que incluye aguas residuales provenientes de una planta de tratamiento. EL aforo de mayor volumen ($5,7 \text{ m}^3/\text{seg}$) se registró en el arroyo de

La Vieja, debido a que tiene una mayor área de captación procedente del paraje denominado 'Ojo de la Llegua' en el municipio de Rivapalacio, donde las precipitaciones son un poco más elevadas. Finalmente se cuantificaron 2,0 m³/seg, en el arroyo de Napavechi, al este de este municipio. En la figura 2 se muestran otros cauces importantes, como los arroyos los Álamos y la Ciénaga que drenan a la laguna de los Mexicanos en la parte sur de la cuenca, pero la estacionalidad de los cauces asociada al periodo de lluvias no ha permitido su cuantificación.

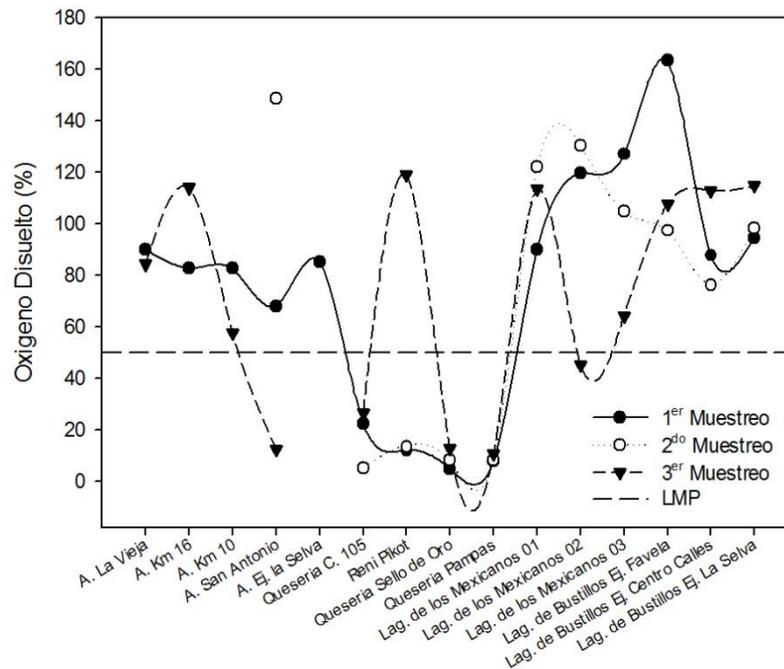
Los resultados obtenidos indican caudales escasos, que además sufren una severa sobreexplotación especialmente por las actividades agropecuarias. Un claro ejemplo es el acuífero Cuauhtémoc, con más de 4200 pozos, que provocan una extracción anual de 292 millones de metros cúbicos (Mm³) y una recarga natural de 115 Mm³, lo que genera un déficit anual de 177 Mm³ (Parra et al., 2009). Otro factor importante, que han venido sufriendo los cauces en los últimos años, son los índices de contaminación elevados producidos por el desarrollo descontrolado de la actividad humana (Amado Alvarez y Ortiz Franco, 2001), sustancias que han sido vertidas a estos humedales a través de los arroyos que circundan la depresión natural. A esto se añade el alto grado de deforestación que ha padecido el entorno, es conocido que la vegetación ejerce un control importante sobre la regulación del balance hídrico, siendo previsible que la degradación de estos paisajes naturales favorezca impactos apreciables en el ciclo hidrológico (PINEDO *et al.*, 2007). Son por lo tanto prioritarias las acciones que eviten el agotamiento de los recursos hídricos de la región (CONAGUA, 2009), pero la ausencia de evaluaciones que identifiquen el impacto de los cambios de uso del suelo sobre la infiltración o escorrentía, ha propiciado que se haga énfasis en la regulación de las extracciones.

3.2. VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de calidad del agua que refleja, en general, la salud de los sistemas acuáticos. En agua dulce de río, el oxígeno disuelto no debería bajar del 80% de saturación, para poder mantener un cierto nivel de diversidad de biota (RAMOS, 2003), siendo al menos la concentración de OD superior a 5 mg/L (50% de saturación) para poder permitir la vida acuática (CALVO *et al.*, 2007). Los resultados extraídos en los análisis realizados determinan unos valores de OD muy contrastados según las zonas de muestreo (Figura 3).

Se observan unos índices muy deficientes, según el límite mínimo permisible (Secretaría de Economía, 1996), en los arroyos situados en las proximidades de las actividades industriales, especialmente las productoras de derivados lácteos. Cuando un compuesto con una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), como puede ser el suero de leche o el material orgánico de las plantas de celulosa, son vertidos a un sistema ecológico acuático, los microorganismos que lo degradan necesitan una gran cantidad del oxígeno disuelto en el agua, y si la cantidad de éste baja significativamente se provoca la muerte por asfixia de la fauna de estos ecosistemas (ECHARRI, 2007). La alta capacidad contaminante del suero de leche, con una DBO que puede variar entre 30.000 a 50.000 mg/L, además de la cantidad de ácido láctico presente en él, necesitan sistemas de tratamiento más avanzados, ya que los sistemas convencionales de depuración de aguas son insuficientes para el correcto tratamiento de estos residuos (MARCIAL RODRÍGUEZ, 2012). Por su parte, los muestreos realizados a orillas de las lagunas muestran niveles más adecuados de OD, aunque con fluctuaciones importantes dependiendo de la fase de muestreo. Esto refleja la dependencia de estos humedales de los ritmos industriales, con mejoras de los niveles en los episodios de aportes de aguas naturales por precipitación.

FIGURA 3
 Contenido total de Oxígeno Disuelto en la Cuenca Laguna de Bustillos y de los Mexicanos.
 Chihuahua, México

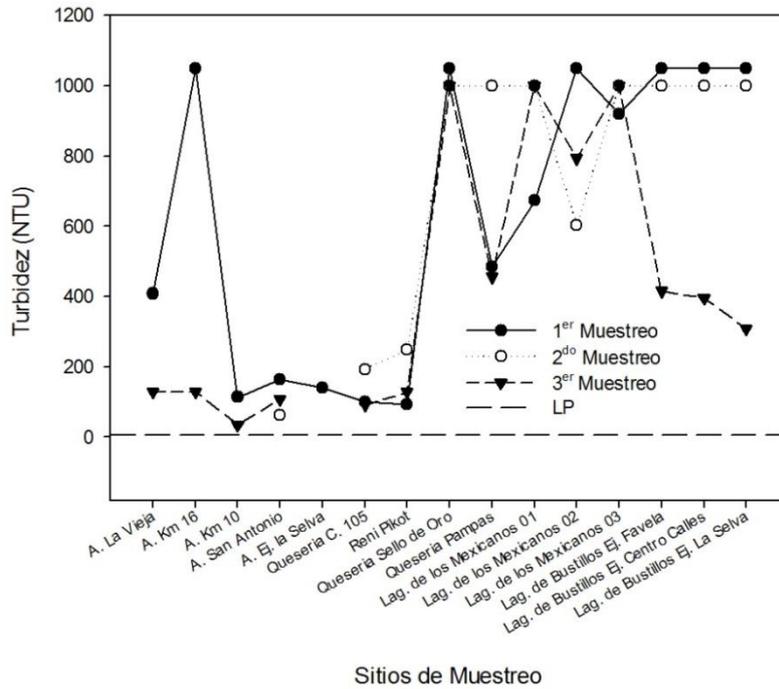


Sitios de muestreo
 Fuente: Elaboración propia

En los análisis de agua llevados a cabo, la variable que más influye en su baja calidad, junto al OD, es la turbidez. Este indicador físico del agua manifiesta sus limitaciones para el consumo humano prácticamente en todos los puntos de muestreo (Figura 4), donde el límite máximo permisible para el agua potable es de 5 unidades nefelométricas de turbidez (NTU), (NOM-127-SSA1-1994). Se observan valores excesivos de turbidez en ambas lagunas, en concentraciones que algunos casos superan las 1000 NTU. Solo en la fase tercera de los muestreos se reducen algo los elevados índices en la laguna de Bustillos, relacionados con el mismo momento del aumento de OD propiciado por el aporte de caudales naturales. El resto de resultados únicamente denotan el deteriorado estado de estas lagunas que sufren el aporte casi continuado de los desechos de las industrias que son arrastrados por los arroyos, elevando la turbidez debido a los sólidos y microorganismos en suspensión.

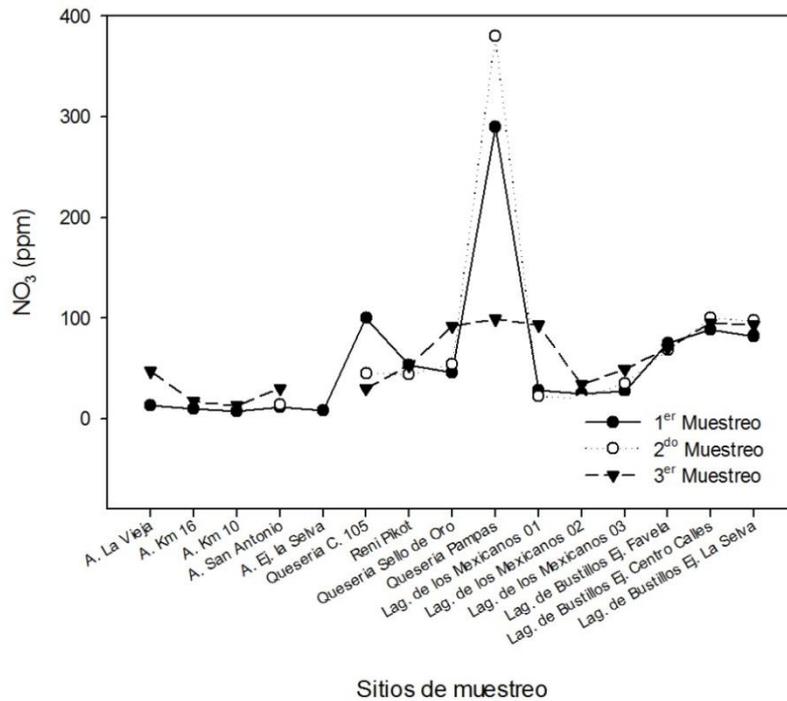
Respecto al resto de pruebas analíticas, los valores de nitratos (NO_3) han sido los más relevantes. Los NO_3 son alimentos esenciales para las plantas, aunque en concentraciones altas puede provocar crecimiento excesivo de plantas y algas; siguiendo las normas el valor permisible en la concentración de NO_3 es 10 partes por millón (ppm) o 10 mg/L. Se observan valores relativamente altos en casi todas las zonas muestreadas (Figura 5), pero de manera notable ciertos puntos que llegan a valores cercanos de 380 ppm, valor que corresponde a efluentes de la industria lechera. También se han detectado valores altos de fósforo (P) procedentes de los desechos de la industria lechera con valores máximos de 142 mg/L.

FIGURA 4
 Concentración de la Turbidez en la Cuenca Laguna de Bustillos y de los Mexicanos.
 Chihuahua, México



Sitios de Muestreo
 Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5
 Concentración de Nitratos en la Cuenca Laguna de Bustillos y de los Mexicanos. Chihuahua,
 México

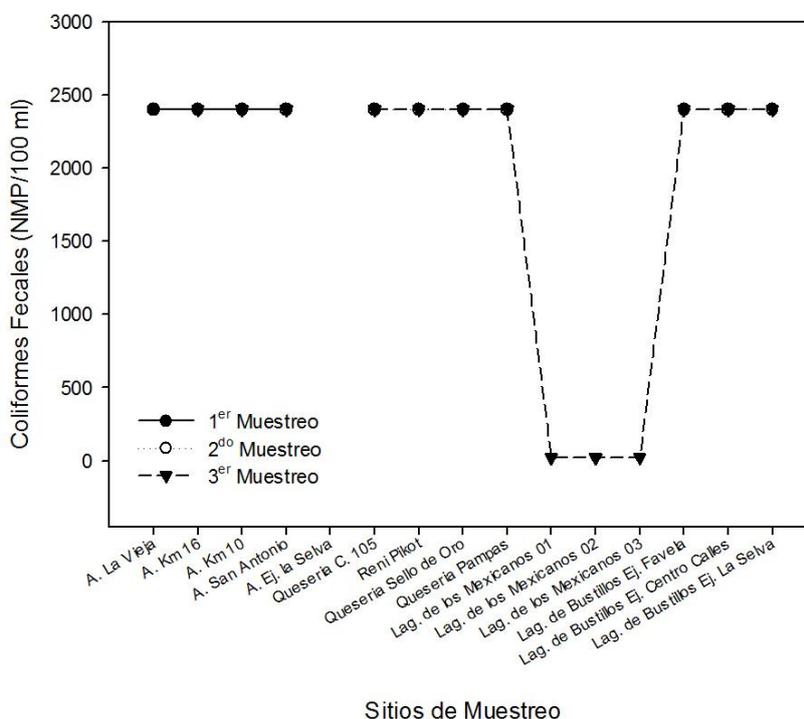


Sitios de muestreo
 Fuente: Elaboración propia

En estos casos los aportes de estas sustancias en el agua derivan en gran medida de las fuentes de contaminación puntuales de las plantas de tratamiento de desechos industriales, pero también proceden de forma menos intensa de la aplicación extensiva de fertilizantes o abonos en zonas de cultivo localizadas en la cuenca de drenaje. La concentración de NO_3 y P en las aguas superficiales pueden originarse por el lavado de los suelos, que son almacenados como residuos de las actividades ganaderas o agrícolas (ORTÍZ y AMADO, 2001), así como de aguas residuales domésticas vertidas a las aguas naturales (MARÍN, 2003). Finalmente la medición de pH, como variable esencial de la química de los sistemas acuáticos, muestra aspectos interesantes sobre las características litológicas de la cuenca de drenaje, el cambio de los usos del suelo, así como la actividad biológica que se desarrolla en las lagunas y su dinámica de nutrientes (TILMAN *et al.*, 1982). En todas las mediciones realizadas, los resultados de pH se enmarcan en intervalos estables para todas las fases de muestreos, con niveles extremadamente bajos de pH 3,1 que determinan una alta acidez en los puntos de desechos industriales, mientras que en el resto de puntos de agua y arroyos se registraron valores alcalinos de pH 9,4, relacionados con la tipología de suelo aportados por los sedimentos, producto de la erosión, deforestación y sobrepastoreo que sufre la zona de estudio (AMADO y ORTÍZ, 2001).

En el bloque de análisis bacteriológicos, se han encontrado en todas las muestras restos de bacterias coliformes fecales (Figura 6), en la mayoría de ellas con magnitudes contaminantes que rebasan los límites especificados por la NOM-127-SSA1-1994, indicando que el agua no es apta para consumo humano. Solo los resultados obtenidos en la laguna de los Mexicanos muestran valores aceptables, debido a la menor presión humana que registra este humedal, y que se ve menos afectado por el desecho de aguas residuales urbanas.

FIGURA 6
Concentración de Coliformes en la Cuenca Laguna de Bustillos y de los Mexicanos.
Chihuahua, México



Sitios de Muestreo
Fuente: Elaboración propia

Por último, se han obtenido los resultados del índice ICA que puede servir para la comparación de los datos de calidad del agua de estas lagunas con otras de entornos similares, lo cual requiere estándares predefinidos de calidad integral del agua como componentes de los criterios de optimización (STRASKRABA y GNAUCK, 1995; AMADO *et al.*, 2006; RAMOS

et al., 2016). Destaca la elevada contaminación de las aguas en todas las áreas muestreadas con valores ICA que no superan el valor del 50%, umbral que determina el paso de un nivel de aguas de mala calidad (Tabla 2).

La combinación de todos los factores expuestos en los resultados disponen los recursos hídricos de la zona bajo unos límites de salubridad bajos. Las causas principales se dan por la fuerte presión agrícola de la zona (INEGI, 2010) y los deficientes sistemas productivos industriales, indicando que ambas actividades intervienen de manera directa en la contaminación hídrica.

TABLA 2
Índice de calidad del agua (ICA)

Localidad	ICA
Arroyo San Antonio	30
Arroyo la vieja	32
Centro Calles	38
Ejido Favela	36
Ejido la Selva	36
Quesería Camp 105	28
Quesería Pampas	19
Quesería Sello de Oro	25
Reny Picot	33
Arroyo Campo 6	34
Laguna Mexicanos	49

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

La particularidad de estos hábitats situados en ambientes semiáridos determina la existencia de unos espacios muy sensibles y vulnerables a las variaciones provocadas por los cambios ambientales. La escasa disponibilidad de agua determina la importancia de este elemento, por lo que la contaminación de origen natural o antrópico de los recursos hídricos limita todavía más su aprovechamiento, especialmente para consumo humano. El uso de herramientas de diagnóstico rápidas y representativas como el ICA garantiza una evaluación integral de la calidad del agua, lo cual es fundamental en la toma de decisiones para el manejo y control del riesgo sanitario.

Las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos son las prácticas agropecuarias, los vertidos de aguas residuales de las poblaciones de Anáhuac y de Ciudad Cuauhtémoc y, en mayor medida, los desechos de los tratamientos industriales. Las actividades humanas son el factor más influyente en el deterioro de las aguas superficiales, siendo alarmante en el caso de la laguna de Bustillos, donde es evidente la necesidad de revisar los sistemas de saneamiento hídrico, debido a la falta de eficiencia de las plantas de tratamiento existentes en las industrias. El establecimiento de un suministro de agua adecuado y seguro se hace indispensable, ya que se ha observado que los niveles de contaminación de los principales cursos de agua han aumentado alarmantemente debido al incremento de la actividad agrícola e industrial en los últimos años.

La transformación de los hábitats naturales provocado por importantes procesos de deforestación, erosión y sobreexplotación de acuíferos, hace necesaria la puesta en marcha de planes estatales que permitan establecer procedimientos de gestión integrales para recuperar y mantener la sostenibilidad ambiental del entorno, no solo desde el punto de vista ecológico, sino por la propia viabilidad de las producciones agrarias y los actuales asentamientos urbanos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ALBA-TERCEDOR, J. y SÁNCHEZ-ORTEGA, A. (1988): «Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978)». *Limnética*, 4, pp. 51-56.
- AMADO ALVAREZ, J.P. y ORTÍZ FRANCO, P. (2001): *Terra*. «Consecuencia de la fertilización nitrogenada y fosfórica sobre la producción de avena irrigada con agua residual». 19, pp. 175-182.
- AMADO, J.P.; RUBIÑOS, E.; GAVI, F.; ALARCON, J.J.; HERNANDEZ, E.; RAMIREZ, C.; MEJIA, E.; PEDRERO, F.; NICOLAS, E. y SALAZAR, E. (2006): *Pyton*. «Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo Estado de México». Diagnóstico y predicción., 75, pp. 71-83.
- BRAUCH, H. G.; OSWALD S., U.; GRIN, J.; MESJASZ, C.; DUNAY, P.; BEHERA CH., N.; CHOUROU, B.; LIOTTA, P. H. y KAMERI M., P. (2008). «Globalisation and Environmental Challenges: Reconceptualising Security in the 21st Century». Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, Vol. 3, Springer-Verlag, Berlin, Alemania.
- CALVO B.; MORA, G. y MOLINA, J. (2007): *Tecnología en Marcha*. «Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón Parte I: Análisis de la contaminación de cuatro ríos del área metropolitana». 20.
- CONAGUA. (2009): «Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea Acuífero 0805 Cuauhtémoc. Estado de Chihuahua».
- CONAGUA (2016): «Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua». Web: www.conagua.gob.mx
- CONABIO. (2016) Web visitada: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. Comisión intersecretarial del Gobierno de México.
- CREEL, J. E. B. (2014): «Espacios destinados a la conservación y aprovechamiento sustentable». Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903 Parques del Pedregal, 172.
- ECHARRI, L. (2007): *Población, Ecología y Ambiente*. «Contaminación del Agua». pp. 5-6.
- ETCHEVERS B., J. D.; GÓMEZ D., J. D.; MONTERROSO R., A. I. y TINOCO R., J. A. (2008): «Formulación de indicadores para evaluar y monitorear la desertificación en México». SEMARNAT-INE-COLPOS-UACH. 151 p.
- FAIR, G. M.; GEYER, J. CH. y OKUN, D. A. (2005): «Purificación de aguas y tratamientos y remoción de aguas residuales». Ingeniería sanitaria y de aguas residuales 2. Traducción del Ing. Consultor Salvador Ayanegui J. Editorial Limusa S.A. de C. V. GRUPO NORIEGA EDITORES. Balderas 95, México, D. F.. C. P.06040, pp.660-662.
- HELD, D. y Mc GREW, A. (2007): «Globalization Theory: approaches and controversies». Polity Press, Cambridge.
- INEGI. (2007). Censo Agropecuario. SNIEG. México. Web: <http://www.inegi.org.mx/>
- INEGI. (2010): «XIV Censo General de Población y Vivienda en el Estado de Chihuahua, México».
- MARCIAL RODRÍGUEZ, S.G. (2012): «Reducción del impacto de la contaminación provocada por el deficiente tratamiento en el evacuado del suero de leche en la quesería rural asociativa abelito del Cantón Ambato». Tesis doctoral. Universidad Técnica de Ambato.
- MARÍN G, R. (2003): «Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas». Editorial Díaz de Santos. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España.
- ORREGO, J. (2002): «El estado de las aguas terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas». Fundación Terram. Santiago, Chile.
- ORTIZ FRANCO, P. y AMADO ALVAREZ, J.P. (2001): *Terra*. «Uso del agua de la laguna de bustillos para la producción de maíz». 19, pp. 183-189.
- PALACIOS V., E. y ESCOBAR VILLAGRÁN, B. S. (2010): «El problema del agua en el municipio de Texcoco». 1ª ed., Edit. Comité de Acción para el Saneamiento del Ambiente A. C. C. P. Montecillo, Estado de México. 177 p.

- PARRA QUEZADA, R.A., ORTIZ FRANCO, P. AMADO ÁLVAREZ, J.P. y CHÁVEZ SÁNCHEZ, N. (2009): *Terra Latinoamericana* «Productividad y crecimiento de manzano bajo déficit de riego controlado». 27, pp. 337-343.
- PINEDO, C., PINEDO, A., QUINTANA, R. y MARTÍNEZ, M. (2007): *Tecnociencia*. «Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental, Chihuahua, México». 1, pp. 36-43.
- PNUD. (2015): «Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo». One United Nations Plaza, Nueva York, NY 10017.
- RAMOS, O.R.; SEPÚLVEDA, M.R. y VILLALOBOS, M.F. (2003): «Agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis». Universidad Autónoma de Baja California. Ed. Plaza y Valdés, México.
- RAMOS, M.A.G.; BUENO DE OLIVEIRA, E.S.; PIÃO, A.C.S.; NALIN DE OLIVEIRA LEITE, D.A. y DE FRANCESCHI DE ANGELIS, D. (2016): *Environmental Monitoring and Assessment*. «Water Quality Index (WQI) of Jaguari and Atibaia Rivers in the region of Paulínia, São Paulo, Brazil». 188, pp. 1-14.
- SAGARPA, (2008): Secretario de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. Web: <http://www.gob.mx/sagarpa>
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA (1996): «Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales. NOM-001-SEMARNAT (1996)». Diario Oficial de la federación. 6 de enero de 1997. México. 15 p.
- SMITH, D.G. (1990): *Water Research*. «A better water quality index system for rivers and stream». 24, pp.1237-1243.
- STRASKRABA M. y AH GNAUCK. (1995). *Development in Environmental Modelling*. «Freshwater Ecosystems. Modeling and Simulation». 8, pp. 373-375.
- TAYLOR, K.S.; ANDA, M.; STURMAN, J.; MARTHEW, K. y HO, G. (2006): *Desalination*. «Subsurface driplinetubing-an experimental design for assessing the effectiveness of using dripline to apply treated wastewater for turf irrigation in Western Australia». 187, pp. 375-385.
- TILMAN, D.; KILHAM, S. S. y KILHAM, P. (1982): *Ann. Rev. Ecol. Syst.* «Phytoplankton community ecology: The role of limiting nutrients».13, pp. 349-372.
- WIKES UNIVERSITY (2006): «Calculating NSF Water Quality Index». Center for Environmental Quality. Environmental Engineering and Engineering Department. <http://www.water.research.net/waterqualindex/Index.htm>