



uaim

RA XIMHAI ISSN 1665-0441
Volumen 12 Número 4 Edición Especial
Enero – Junio 2016
153-168

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CUATRO JAGÜEYES DEL PARQUE ESTATAL “FLOR DEL BOSQUE”, PUEBLA, MÉXICO

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE WATER OF FOUR JAGÜEYES IN THE STATE PARK “FLOR DEL BOSQUE”, PUEBLA, MEXICO

Gabriela Pérez-Osorio¹; Janette Arriola-Morales¹; Tania García-Lucero², María Lourdes Saldaña-Blanco³ y José Carlos Mendoza-Hernández¹

¹ Profesor-Investigador. ² Estudiante de Licenciatura. ³ Estudiante de Maestría. Facultad de Ingeniería Química. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y 18 Sur S/N, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, Puebla 72570 Puebla, México.

RESUMEN

El abastecimiento de agua representa actualmente un problema, dada la sobre explotación de los mantos freáticos y la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, por lo que es de suma importancia encontrar alternativas de suministro. La captación de agua de lluvia en zonas con escasez o déficit de agua potable se considera una de las opciones más viables para el abastecimiento del vital líquido, algunos de los sistemas más utilizados para tal propósito son los jagüeyes.

El Parque Estatal General Lázaro Cárdenas del Río mejor conocido como “Flor del Bosque” ubicado al Oriente de la Ciudad de Puebla y catalogado como Área Natural Protegida, cuenta con jagüeyes que permiten almacenar agua proveniente de la lluvia. En este trabajo de investigación se determinaron los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua almacenada en cuatro jagüeyes de “Flor del Bosque”, de acuerdo a la normatividad mexicana correspondiente; con el objetivo de establecer su calidad y así determinar si los usos que se le dan como abrevadero y riego forestal no representan un riesgo para la flora y fauna del parque. Se analizaron muestras compuestas de cada jagüey, en dos temporadas de secas y dos de lluvias, entre noviembre de 2011 y octubre de 2012.

El agua de los cuatro jagüeyes presenta importante contaminación microbiológica por huevos de helminto, *Fasciola hepática*, coliformes fecales (180 UFC) y totales (475 UFC), lo que representa un riesgo a la salud de la flora y fauna; así como gran cantidad de sólidos sedimentables y suspendidos. Dado que estos sistemas se instalaron para contar con agua para el riego de las zonas boscosas y como abrevadero de los animales que ahí habitan, sería recomendable que antes de utilizarla se le diera un tratamiento apropiado, además de que se sugiere mejorar su diseño o construcción para que sea apta para los usos planeados.

Palabras clave: características físicas, características químicas, características microbiológicas, contaminación del agua, Índice de Calidad del Agua (ICA).

SUMMARY

The water supply is currently a problem, given the over-exploitation of groundwater and contamination of surface water, so it is important to find alternative supplies. The rain water harvesting is considered one of the most viable options for the supply of the vital liquid; some of the most utilized systems for this purpose are the jagüeyes.

State Park General Lázaro Cárdenas del Río better known as "Flor del Bosque", it is located east of the city of Puebla and listed as Protected Natural Area, this park has jagüeyes which store water from rain. In this research, the main physicochemical and microbiological parameters of water stored in four jagüeyes of “Flor del Bosque” were measured according to Mexican regulations, in order to establish its quality and determine the uses that are given as a watering wooded areas and drinking trough do not represent a risk to the flora and fauna of the park. Composite samples of each jagüey were analyzed, during two dry weather stations and two rainy weather stations between the months of November 2011 and October 2012.

The water of the four jagüeyes has microbiological contamination by helminth eggs, *Fasciola hepatica*, fecal (180 CFU) and total coliforms (475 CFU), this represents a risk to the health of wildlife; as well as lots of settleable and suspended

Recibido: 21 de octubre de 2015. Aceptado: 15 de enero de 2016.

Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai 12(4):
153-168.

solids. Since these systems have been installed for watering wooded areas and drinking trough of animals live there, it would be advisable before use be given appropriate treatment, plus it aims to improve its design or construction to be suitable for the intended uses.

Key words: physics characteristics, chemical characteristics, microbiological characteristics, Water pollution, Water Quality Index (WQI).

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural crítico debido a que de este dependen todas las funciones de los ecosistemas y sobre el cual se sustentan todas las actividades sociales y económicas del ser humano. La calidad del agua es tan importante como la cantidad para satisfacer las necesidades ambientales y humanas básicas. Un agua de mala calidad tiene costos económicos asociados incluyendo la degradación de los ecosistemas, problemas de salud, impacto en actividades como la agricultura, turismo, producción industrial y desde luego se eleva el costo de su tratamiento (UNESCO, 2000; UNESCO 2012; Ertug y Hoekstra, 2012).

Los jagüeyes, también conocidos como ollas de agua, cajas de agua, aljibes, trampas de agua o bordos de agua, son depresiones naturales o artificiales sobre el terreno, que permiten almacenar agua proveniente de la lluvia y de escurrimientos superficiales. Jagüey es un vocablo taíno que significa balsa, zanja o pozo lleno de agua, en el que abreva el ganado. Los jagüeyes artificiales son un caso particular de la captación de agua de lluvia, misma que ha sido conocida en nuestro país desde las épocas prehispánicas. Captar agua proveniente de escurrimientos superficiales durante la época de lluvia y utilizarla de manera controlada como fuente de abrevadero durante la época de estiaje, es el principal objetivo de estas obras (SAGARPA, 2009).

Anualmente México recibe del orden de 1,489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. Se estima que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.1% escurre por los ríos y arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, el país cuenta con 462 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable, por año, a lo que se denomina disponibilidad natural media. La disponibilidad media *per cápita* (por habitante) de agua a nivel nacional disminuye con el aumento de la población, ya que la disponibilidad natural media total se divide entre un mayor número de habitantes. La disponibilidad natural media *per cápita* de agua a nivel nacional disminuirá de 4,090 metros cúbicos por habitante por año en el año 2010 a 3,815 en 2030. En algunas regiones hidrológico-administrativas del país, el agua renovable *per cápita* alcanzará en 2030 niveles cercanos o incluso inferiores a los 1,000 metros cúbicos por habitante por año, lo que se califica como una condición de escasez grave (CNA, 2012).

La información climatológica recabada por el servicio meteorológico nacional, indica que durante el 2011, la escasez de lluvia registrada se extendió y se acentuó en la parte de la meseta centro norte de la república mexicana, con graves efectos agrícolas y ganaderos en varios estados. En diversas zonas del país la sequía se clasificó como extrema y excepcional, afectando hasta por periodos mayores a seis meses (CNA, 2012).

Aunado a los problemas de sobreexplotación y sequía, la sociedad enfrenta el grave problema de la contaminación del agua. En México, la Comisión Nacional del Agua se encarga del monitoreo de la calidad del agua superficial, subterránea y de las zonas costeras, siendo un total de 1627 sitios analizados. Para la evaluación de la calidad del agua se utilizan tres indicadores principales: la

Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO₅ y la DQO se utilizan para la estimación de la materia orgánica en los cuerpos de agua, mientras que los SST miden todos aquellos sólidos que no se disuelven en el agua, y quedan suspendidos (CNA, 2012).

Dos son los principales desafíos en materia de agua que afectan a la sostenibilidad de los asentamientos urbanos: la falta de acceso a agua potable y saneamiento y el aumento de desastres relacionados con el agua como inundaciones y sequías. Estos problemas conllevan enormes consecuencias para la salud y el bienestar humano, la seguridad, el medio ambiente, el crecimiento económico y el desarrollo. De ahí la necesidad de buscar alternativas para el suministro de agua con el fin de satisfacer las necesidades básicas del ser humano (Allen y Richard, 2005; CNA, 2011).

La determinación de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos asociados a la calidad del agua, son indispensables para establecer su posibilidad de uso. Además, que permiten establecer la causa u origen de contaminantes que pudieran estar presentes (Serwan, 1993; Mckenzie, 2010).

El Parque Estatal “Flor del Bosque”, está ubicado en el municipio de Amozoc de Mota, Puebla. Fue inaugurado el 24 de enero de 1987, entre los objetivos establecidos al crear el parque destaca constituir uno de los mejores parques de educación ambiental. Cuenta con una superficie de 699,7 hectáreas, donde se encuentran cuatro tipos de vegetación: el bosque de encino, el matorral espinoso, el pastizal y el bosque de eucalipto. En cuanto a la fauna silvestre se han identificado 4 especies de anfibios y 14 especies de reptiles, mientras que para el grupo de las aves se han registrado 105 especies y 14 especies de mamíferos. En las últimas décadas, la mancha urbana fue creciendo y casi terminó con los bosques de esa zona, reduciendo el hábitat de animales como el venado cola blanca, el mapache, la ardilla gris y la víbora de cascabel, que huyeron a refugiarse a este espacio de bosque protegido, donde continúan habitando en libertad. Dentro de este Parque Estatal se construyeron jagüeyes con el objetivo de captar el agua de lluvia y utilizarla como abrevaderos para los animales que ahí habitan, así como para el riego forestal (SSAOT, 2012).

En esta investigación se realizó el muestreo y análisis del agua acumulada en cuatro jagüeyes del parque con el objetivo de establecer su calidad y determinar si es adecuada para el propósito establecido o si puede representar un riesgo para la flora y fauna del Parque. Se determinaron 20 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, asociados a la calidad del agua. Encontrándose que el principal problema del agua acumulada en estos sitios es la contaminación microbiológica por la presencia de coliformes totales y fecales, y por *Fasciola Hepática*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El primer paso fue la ubicación geográfica de los cuatro jagüeyes de acuerdo al registro del Parque y mediante el recorrido a pie. El Parque está ubicado en Carril a San Bartolo S/N, Ex hacienda San Bartolo, Col. Casa Blanca, Amozoc de Mota, Puebla, entre los paralelos: 19° 02' 36" y 19° 03' 11" de latitud Norte, y entre los meridianos 98° 08' 10" y 98° 08' 25" de longitud Oeste, y una altitud de 2300 m. s. n. m. y de 2200 m. s. n. m. La ubicación geográfica de los cuatro jagüeyes (*Figura 1*) es: 1) 19° 00' 56.14" Latitud Norte y 98° 06' 27.80" Latitud Oeste, 2) 19° 00' 42.37" Latitud Norte

y 98° 06' 05.60" Latitud Oeste, 3) 19° 00' 29.64" Latitud Norte y 98° 05' 56.63" Latitud Oeste, 4) 19° 00' 20.32" Latitud Norte y 98° 05' 28.17" Latitud Oeste.

Posteriormente se realizó el muestreo del agua, que consistió en una muestra compuesta para cada jagüey, donde se recolectaron tres litros de agua de tres puntos diferentes, teniendo un total aproximado de 10 litros de agua por jagüey, la cual fue almacenada en recipientes de polietileno con tapa. Durante el muestreo se realizó la medición de los parámetros de campo: conductividad (NMX-AA-093-SCFI-2000), temperatura (NMX-AA-007-SCFI-2001), pH (NMX-AA-008-SCFI-2000), oxígeno disuelto (NMX-AA-012-SCFI-2001) y materia flotante (NMX-AA-006-SCFI-2000).



Figura 1.- Ubicación de los cuatro puntos de muestreo del agua de los jagüeyes del Parque Estatal “Flor del Bosque”, Puebla, México.

Finalmente, en el laboratorio se determinaron los siguientes parámetros: sólidos sedimentables (NMX-AA-004-SCFI-2000), disueltos, totales, suspendidos, fijos y volátiles (NMX-AA-034-SCFI-2001); acidez y alcalinidad (NMX-AA-036-SCFI-2001), dureza (NMX-AA-072-SCFI-2001), demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (NMX-AA-028-SCFI-2001), nitritos (NMX-AA-099-SCFI-2001), fósforo total (NMX-AA-029-SCFI-2001), huevos de helminto (NMX-AA-113-SCFI-1999), coliformes totales y fecales (NMX-AA-42-1987), estos últimos reportados como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por 100 mL de muestra. Las determinaciones se realizaron por triplicado para tener un promedio representativo de cada parámetro. Los muestreos se llevaron a cabo en cuatro periodos diferentes, dos de estiaje y dos de lluvia: 24 de noviembre de 2011 (Seca 1, S1), dos de abril (Seca 2, S2), tres de julio (Lluvia 1, L1) y ocho de octubre del 2012 (Lluvia 2, L2). El muestreo y las determinaciones de los 20 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mencionados se realizaron de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas de Análisis de Agua correspondientes.

Dado que no existe una normatividad específica para determinar la calidad del agua de un jagüey, se toman como referencia las siguientes Normas Oficiales Mexicanas (NOM), con el fin de comparar los valores obtenidos con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en ellas: NOM-127-SSA1-1994, *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*, NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales, NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público.

De acuerdo con varios especialistas en el área, se establece que existen nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua. El Índice de Calidad de Agua (ICA), propuesto por Brown y mejorado por varios investigadores (Samboni, 2007; Varcancel, 2009), es una suma lineal ponderada de estos nueve parámetros, como se indica a continuación:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub)_i^{w_i}$$

Donde:

w_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i : Subíndice del parámetro i .

Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua como se muestra en el *Cuadro 1*.

Cuadro 1.- Parámetros del ICA y ponderación de acuerdo a su importancia

I	sub _i	w _i
1	Coliformes fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO ₅	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

El ICA adopta para condiciones óptimas un valor determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del agua en estudio, hasta llegar al valor de cero que se asocia a agua de pésima calidad, como se observa en la clasificación del *Cuadro 2* (Samboni, 2007; Varcancel, 2009).

Dependiendo del método utilizado, puede variar el valor para cada nivel de calidad, sin embargo permanece la tendencia de que cercano a cero es mala la calidad y cercano al 100 se va teniendo la mejor calidad del agua (UNEP-GEMS, 2007).

Cuadro 2.- Clasificación de la calidad del agua, de acuerdo al valor del ICA calculado

CALIDAD DEL AGUA	VALOR
Excelente	91 a 100
Buena	71 a 90
Regular	51 a 70
Mala	26 a 50
Pésima	0 a 25

Con los valores obtenidos experimentalmente, promediados de un análisis por triplicado en la mayoría de los casos, se estimó el ICA para cada jagüey. En este trabajo, se calculó el valor del ICA para los periodos S2 y L1 tomando las concentraciones de sólidos disueltos como turbidez y nitritos como nitratos. Por lo anterior, se considera que los valores del ICA obtenidos son sólo una aproximación del valor real. Sin embargo, representan una idea clara y rápida de entender y conocer la calidad del agua de los jagüeyes en estudio.

La *Figura 2*, muestra las gráficas de los parámetros físicos: pH, temperatura y conductividad. La *Figura 3* presenta las gráficas de los parámetros físicos: sólidos sedimentables y totales. La *Figura 4*, muestra las gráficas de las concentraciones de sólidos suspendidos, disueltos, fijos y volátiles en el agua de los cuatro jagüeyes en las cuatro temporadas de muestreo. Las concentraciones de fósforo y nitritos en el agua de los cuatro jagüeyes en las temporadas S1, S2 y L1, se observan en la *Figura 5*. La *Figura 6* presenta los resultados de las determinaciones de los parámetros: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, acidez, alcalinidad y dureza. La *Figura 7* presenta los resultados de las determinaciones microbiológicas, donde se observa la presencia tanto de coliformes totales como fecales. El *Cuadro 4* presenta los resultados del cálculo del Índice de Calidad del Agua, de acuerdo al modelo y procedimiento descrito anteriormente, para los cuatro jagüeyes en las temporadas S2 y L1. Finalmente, en el *Cuadro 5* se presentan los valores de la desviación estándar por parámetro para cada jagüey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera general, no se observó materia flotante en los cuatro jagüeyes. En algunos casos, se observó la presencia escasa de follaje de árboles circundantes al cuerpo de agua. Los resultados de la mayoría de los parámetros analizados, muestran un gran incremento en la temporada de estiaje S2 con respecto a las demás temporadas S1, L1 y L2, debido a que en dicha temporada la cantidad de agua disminuye por lo menos en un 40% produciendo un aumento en la concentración de varios de los parámetros analizados.

La gráfica correspondiente a pH muestra variaciones mínimas entre temporadas y jagüeyes, los valores varían entre 6.3 y 8. Sin embargo, es apreciable la misma tendencia de variación en todos los jagüeyes, valores cercanos a 6 en la primera temporada de secas (S1), aumenta ligeramente en la segunda temporada de secas (S2), disminuye en la primera temporada de lluvias (L1) y aumenta a pH de 8 en la segunda temporada de lluvias (L2). En general, los valores de pH medidos están

debajo del LMP (8.5) de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 (*Cuadro 3*). En el caso de la temperatura los resultados variaron entre 11 y 21 °C, estas variaciones corresponden a la época del año y horario en los que se realizaron los muestreos. De manera general, estos valores están por debajo del LMP (40°C) de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996. La conductividad eléctrica muestra variaciones notables entre temporadas y jagüeyes, sobresaliendo la segunda temporada de secas en los jagüeyes 1 y 3, con valores superiores a 280 µS/cm, lo que indica mayor concentración de sólidos y sales disueltas; mientras que el resto de temporadas los valores están por debajo de 150 µS/cm. Siendo la segunda temporada de lluvia, la de valores de conductividad eléctrica más baja dado que la cantidad de agua almacenada ha aumentado en todos los jagüeyes (*Figura 2*).

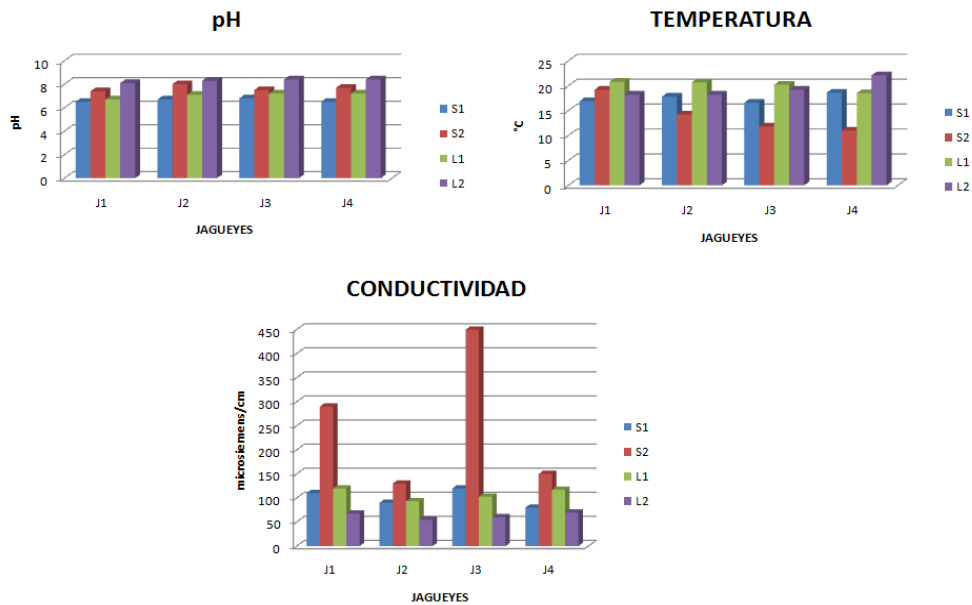


Figura 2.- Resultados de medición de los parámetros de físicos: pH, temperatura y conductividad.

Los sólidos sedimentables tienen concentraciones menores a 2 mL/L en todos los jagüeyes y temporadas, con excepción del J3 en la temporada S2 que contiene 17 mL/L. Por consiguiente, de acuerdo a las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002-SEMARNAT-1996 (*Cuadro 3*), las concentraciones que se encontraron están por debajo de los LMP, excepto para el J3 en S2. Por otra parte los sólidos totales presentan concentraciones variables, entre 200 y 2000 mg/L, registrándose el valor de sólidos totales más alto en la temporada S2, para todos los jagüeyes excepto para J1 (*Figura 3*).

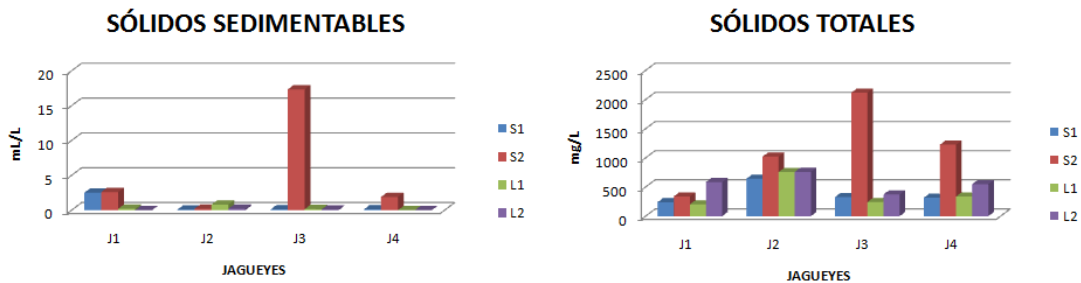


Figura 3.- Concentraciones de sólidos sedimentables y totales.

Las variaciones en los valores de sólidos obtenidos no muestran una tendencia particular ni por jagüey ni por temporada. Sobresale el valor de sólidos disueltos en el J3 temporada S2, con un valor de 1600 mg/L, mientras que en los demás casos los valores están por debajo de 800 mg/L. Los sólidos disueltos únicamente están normados para el caso de agua potable (1000 mg/L, Cuadro 3), se podría decir que todos los jagüeyes cumplen con la norma dado que los valores medidos están por debajo del LMP, de la NOM-127-SSA1-1994, excepto para J3 en S2. Los sólidos suspendidos tienen su valor máximo en la temporada S2, excepto para el J1. Teniendo la mayor concentración en J4, cerca de 1000 mg/L, mientras que el valor más bajo se registró en J1 con 120 mg/L. Comparando las concentraciones de sólidos suspendidos con el LMP establecido en la NOM-003-SEMARNAT-1997, se considera que en todos los casos no cumple con esta norma dado que todos los valores están por arriba de 30 mg/L (Cuadro 3). En el caso de los sólidos fijos, la temporada S2 registra las concentraciones más altas excepto para J1, mientras que para los sólidos volátiles todos los jagüeyes contienen la concentración más alta en la temporada S2. Siendo el J3, el que registra un mayor concentración de sólidos fijos y volátiles (Figura 4). Los sólidos suspendidos totales (SST) en general, pueden tener su origen por contaminación con aguas residuales o por procesos de erosión hídrica en este caso se considera este último la causa de SST en los jagüeyes del Parque Estatal. La principal problemática asociada al aumento de este parámetro, es que puede ocasionar turbiedad en el agua, además de una disminución en el paso de luz solar a través del agua, impidiendo o reduciendo la actividad fotosintética de organismos acuáticos, de gran importancia para la producción de oxígeno disuelto (Atlas Digital del Agua México 2012). Lo anterior conllevaría a la descomposición del cuerpo de agua, imposibilitando el uso del agua para ningún tipo de servicio. Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural, de acuerdo con lo establecido en los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001-1989).

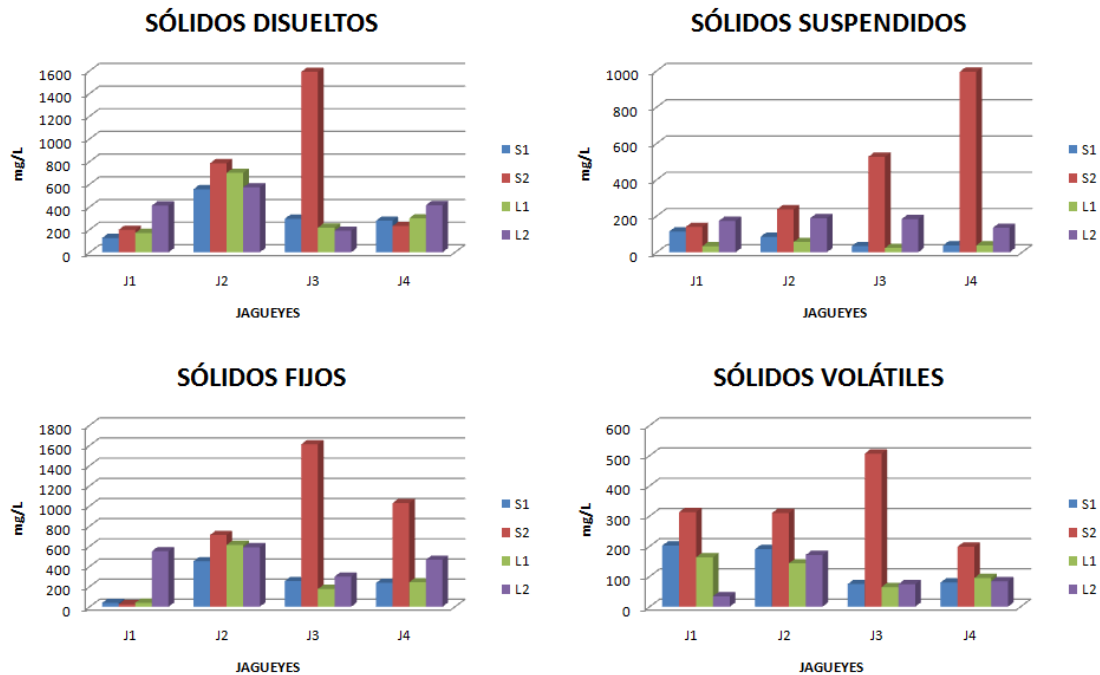


Figura 4.- Concentración de los diferentes tipos de sólidos presente en el agua de los cuatro jagüeyes.

Para ambos parámetros fósforo y nitritos, el periodo de S2, presenta los valores más altos, con una diferencia notable para los demás periodos. En el caso de fósforo las concentraciones están por debajo del LMP establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1997 (*Cuadro 3*). Los valores encontrados de nitritos presentan concentraciones altas, por arriba del LMP establecido en la NOM-127-SSA1-1994, excepto para el jagüey 1 (*Figura 5*). En este caso, la presencia del fósforo puede atribuirse a la entrada de compuestos fosforados por el agua proveniente de las lixiviaciones de los suelos y rocas. Los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/ en influentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/ dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutroficación acelerada, como lo marcan los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001-1989).

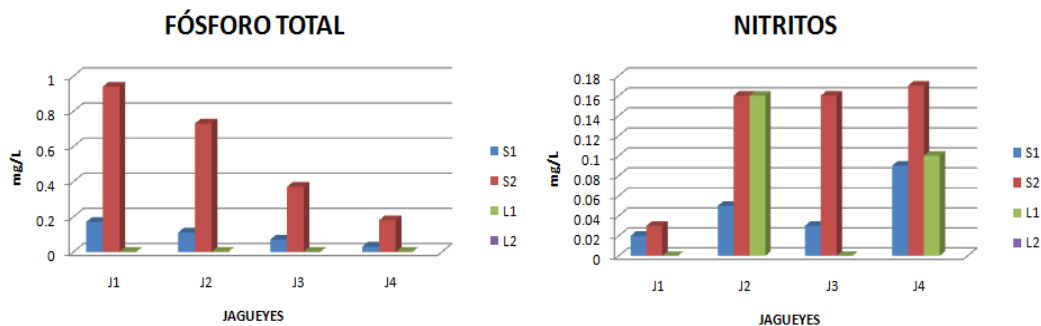


Figura 5.- Resultados de la concentración de nutrientes en el agua analizada.

Los valores de oxígeno disuelto están en un intervalo muy cercano entre 5.8 y 9.2 mg/L. Siendo el periodo de lluvia 1, L1, el que tiene mayor concentración para los jagüeyes J1 y J2, mientras que en el periodo de lluvia 2, L2, el mayor valor se observa en los jagüeyes J3 y J4. En el caso de la demanda bioquímica de oxígeno, se observan los valores más bajos en el jagüey J3, en los tres periodos medidos, alrededor de 4 mg/L. Mientras que en los demás jagüeyes, el periodo de secas 2, presenta las concentraciones más altas, entre 9.6 y 13.7 mg/L. Este parámetro está normado, por lo que comparando con las normas oficiales correspondientes NOM-001-SEMARNAT-1996, y de la NOM-003-SEMARNAT-1997, los valores encontrados están por debajo de los LMP establecidos (*Cuadro 4*). El aumento en la concentración de la DBO₅ significa una reducción en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, afectando considerablemente a los organismos y los ecosistemas acuáticos (Atlas Digital del Agua México 2012). El agua de los cuatro jagüeyes presenta acidez por debajo de los 5 mg/L, siendo mayor en el periodo S1 para los jagüeyes J1, J2 y J4. Mientras que para el J3, el valor permanece casi constante en las dos temporadas de secas, alrededor de 3 mg/L. Los valores de dureza del agua se encuentran entre 18 y 48 mg/L, siendo mayor en la temporada de secas 2. Según la clasificación de dureza del agua, se considera que es agua muy blanda (0 – 75 mg/L). La dureza del agua en los jagüeyes puede estar asociada con la presencia de iones metálicos, especialmente Ca⁺² y Fe⁺² y por los aniones HCO³⁻, Cl⁻, NO³⁻ y SO₄⁻², y refleja que la naturaleza geológica de los sitios de estudio están relacionados con caliza y rocas impermeables como el granito (Mackenzie, 2010) (*Figura 6*).

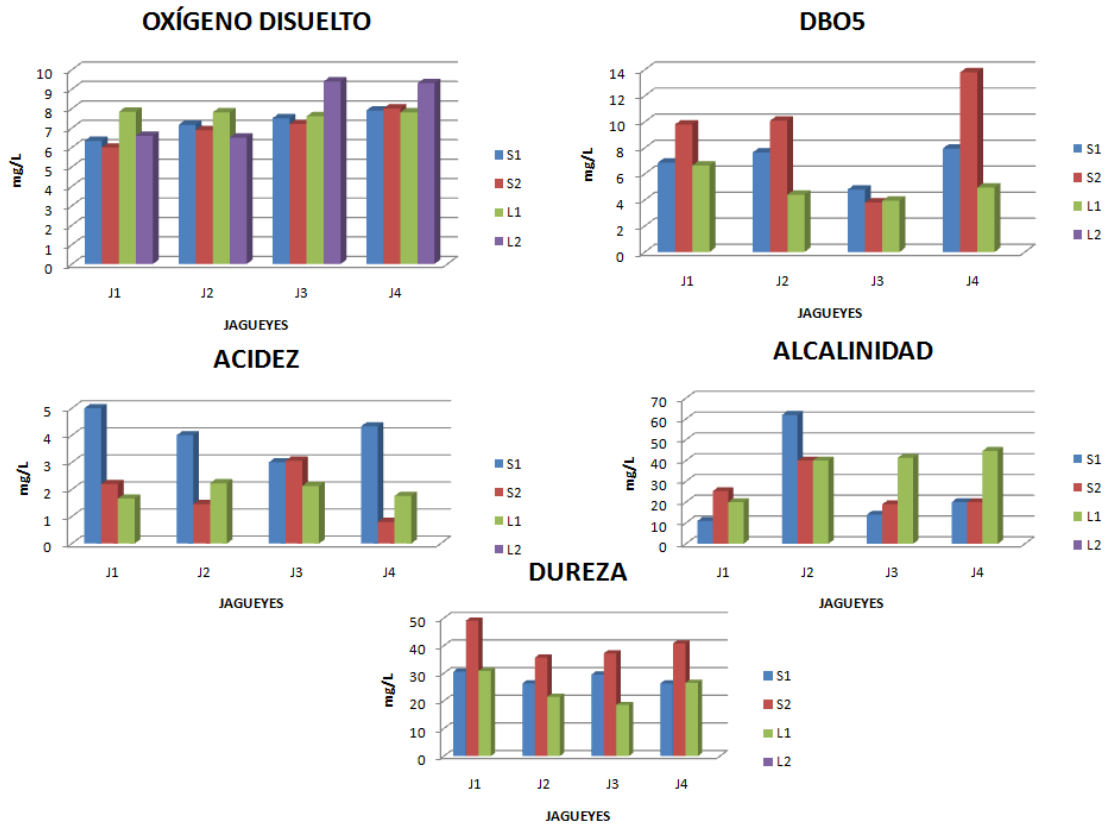


Figura 6.- Resultados de los parámetros químicos: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, acidez, alcalinidad y dureza.

El J1 contiene la concentración más baja de coliformes totales, por debajo de 50 UFC. Mientras que el J2, presenta una concentración por arriba de 200 UFC en el periodo S2. Finalmente, en J3 y J4 se observa el valor más alto en el periodo L1, entre 200 y 500 UFC. En consecuencia las concentraciones de los coliformes totales, en todos los jagüeyes y temporadas, se encontraron arriba de los LMP de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 (*Cuadro 3*). En el caso de los coliformes fecales, el J1 presenta los valores más bajos, sin embargo en todos los jagüeyes se aprecia que la temporada S2 muestra los valores más altos. El J2, presenta valores altos de coliformes fecales en ambas temporadas de secas, entre 40 y 180 UFC. Por lo anterior, las concentraciones de coliformes fecales se encontraron arriba de los LMP de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 (*Cuadro 3*). Sin embargo, aunque no se trata de agua potable si representan un riesgo sanitario dado que en las cercanías de los jagüeyes se encuentran ubicadas cabañas que se rentan al público en general y por lo tanto hay gente que sin precaución tiene contacto directo con estas aguas (*Figura 7*).

La Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua (GSCA) de la Comisión Nacional del Agua (Centro de Derecho Ambiental, 2006), establece que existe un grupo básico de variables que por su representación y por la información que provee en cuanto a características y propiedades del agua de cuerpos superficiales pueda dar una idea adecuada de la calidad del agua en un sitio y tiempo determinados. Los indicadores ambientales desarrollados en la GSCA, junto con las variables que se emplean, son:

- Riesgo potencial sanitario: Coliformes fecales.
- Tendencia a la eutrofización: Fosfatos solubles y nitratos.
- Arrastre de sólidos: Conductividad específica y sólidos suspendidos totales.
- Agua residual: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto

Por lo anterior, las aguas de los jagüeyes se consideran con riesgo potencial sanitario, con tendencia a eutrofización e importante arrastre de sólidos.

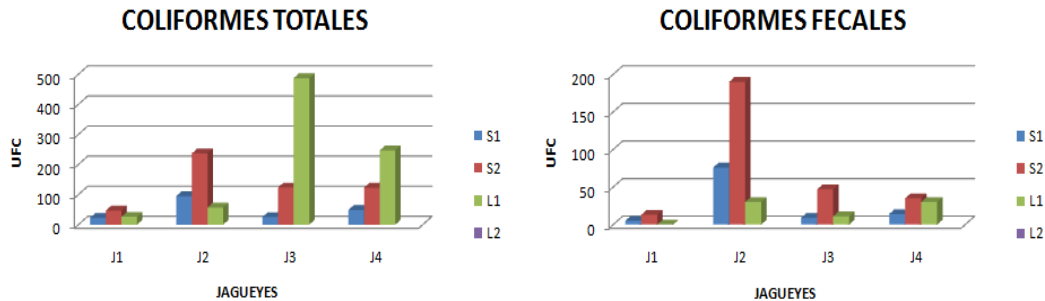


Figura 7.- Concentración de parámetros microbiológicos durante tres periodos de muestreo (S1, S2 y L1).

Los jagüeyes 1, 3 y 4 presentan contaminación por huevos de helminto en las dos épocas evaluados, S2 y L1. Se encontró *Fasciola Hepática* (Figura 8), la cual está asociada a una enfermedad conocida como fasciolosis común en animales herbívoros y eventualmente puede ser adquirida por el hombre atacando principalmente al hígado. La *Fasciola* es un parásito eurixeno, es decir, tiene un amplio número de mamíferos que pueden funcionar como huéspedes. Esta puede medir entre 150-160 micras, estos se albergan en el intestino delgado e hígado donde puede desprender sus huevos. La *Fasciola hepática*, es un parásito trematodo con distribución en todo el mundo, es la causa de pérdidas importantes en la industria láctea. Algunas investigaciones demuestran que su distribución está influenciada por los factores climáticos / ambientales como: precipitación anual, siega de pastos, la proporción de hierba de los pastos en la dieta y la duración de la temporada de pastoreo. Además, los resultados de estas investigaciones también indican que en las zonas templadas, estos factores de manejo afectan la distribución espacial de *F. hepática*, y tienen efecto sobre la supervivencia y la tasa de desarrollo del parásito en el pasto y en el huésped intermediario (Bennema, *et al.*, 2011; Howell, *et al.*, 2015). Por lo anterior, el contacto directo con el agua almacenada en dichos jagüeyes, representa un riesgo a la salud de la fauna que habita en el parque, así como de la vegetación que se riega con dicha agua.

Cuadro 3.- Límites máximos permisibles (LMP) de algunos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados en este estudio, establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas

Parámetro	NOM-127-SSA1-1994	NOM-001-SEMARNAT-1996	NOM-002-SEMARNAT-1996	NOM-003-SEMARNAT-1997
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	-----	150	-----	30
Dureza mg/L	500	-----	-----	-----
Fósforo Total mg/L	-----	30	-----	-----

Nitritos mg/L	0.05	-----	-----	-----
pH	6.5-8.5	-----	-----	-----
Sólidos Sedimentables mL/L	-----	2	10	-----
Temperatura °C	-----	40 °C	-----	-----
Materia Flotante	-----	ausente	-----	-----
Coliformes Fecales UFC/ 100 ml de muestra	0	-----	-----	-----
Coliformes Totales UFC/ 100 ml de muestra	2	-----	-----	-----
Huevos de helminto	-----	-----	-----	≤5 h/L mensual
Sólidos suspendidos mg/L	-----	125	-----	30
Sólidos disueltos mg/L	1000 mg/L	-----	-----	-----

En los resultados del cálculo del Índice de Calidad del Agua (*Cuadro 4*), se destaca el hecho de que en todos los casos se tienen valores muy cercanos, entre 34.29 y 45.50, lo que corresponde a un agua de mala calidad de acuerdo a la escala del método utilizado. A pesar de que estos son valores aproximados, es importante considerar que ésta agua es utilizada para el riego de las zonas boscosas y para el consumo de los animales que habitan en la reserva del parque, lo que podría representar un riesgo para la flora y fauna en general.

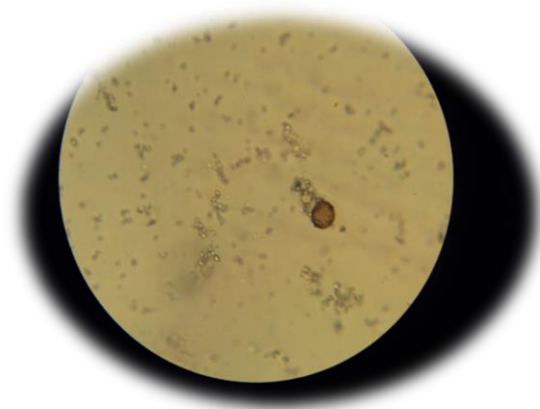


Figura 8.- *Fasciola hepática* encontrada en los jagüeyes 1, 3 y 4.

Cuadro 4.- Resultados del cálculo del ICA, para los cuatro jagüeyes durante la segunda temporada de secas y la primera de lluvias.

Temporada	J1	J2	J3	J4
S2	39.71	34.29	37.84	36.17
L1	45.50	39.40	45.37	42.14

Realizando una análisis estadístico de ANOVA ($p < 0.05$) de los 4 jagüeyes se encontró una diferencia significativa en ST entre 1 y 2, SST, alcalinidad a la fenolftaleína entre el 1, 3, y 4, acidez entre 1 y 2, 3; temperatura 1 y 2; conductividad entre 1 y 2, 3, 4; y comparando entre el muestreo

de época de lluvias y el de secas se encontró diferencias significativas en todos los parámetros analizados excepto para la temperatura.

Se observa que el pH y oxígeno disuelto no varían de manera notable a lo largo del año para los cuatro jagüeyes. Los parámetros de temperatura, acidez, sólidos sedimentables y DBO₅ muestran poca variación a lo largo del año en los cuatro jagüeyes. Las concentraciones de sólidos y sales disueltas tienen variación importante a lo largo del año, lo que se asume por los valores altos de desviación estándar para conductividad y sólidos totales. Tales variaciones a lo largo del año son resultado de las variaciones en el contenido de agua almacenada, concentraciones altas en la temporada de secas por la evaporación del agua. Resalta el hecho de que los valores de coliformes totales tienen grandes variaciones en los cuatro jagüeyes, siendo mayor para el jagüey 3. En general, el jagüey 3 parece estar más expuesto a las variaciones climáticas y al contacto con la fauna del lugar, dado que sus desviaciones estándar son mayores que los otros tres jagüeyes. (Cuadro 5) Los coliformes fecales muestran la mayor variación el jagüey 2, seguido del J3, J4 y J1, lo que nos indica que cerca del J2 y J3 hay materia fecal que es arrastrada por el viento hasta el agua, o llega a estos por las escorrentías de las temporadas de lluvia.

Cuadro 5.- Valores de la desviación estándar por parámetro para cada jagüey

PARÁMETRO	J1	J2	J3	J4
Conductividad	98.0938	30.6485	179.6169	36.5912
Temperatura	1.6459	2.6775	3.7536	4.6765
pH	0.7274	0.75	0.6800	0.8020
Oxígeno disuelto	0.8000	0.5480	0.9979	0.7047
Sólidos sedimentables	1.4174	0.3201	8.6016	0.9303
Sólidos totales	172.1223	160.8195	903.3774	425.7080
Sólidos disueltos	127.2533	108.6982	680.1468	77.8947
Sólidos suspendidos	59.7185	84.8804	234.5992	464.5890
Sólidos fijos	258.4688	107.5017	686.0143	372.1053
Sólidos volátiles	115.2539	73.4551	217.6148	56.2699
Acidez	1.7929	1.3023	0.5204	1.8251
Alcalinidad	7.2429	12.7017	14.5349	14.2374
Dureza	10.6096	7.2308	9.4124	8.2831
DBO ₅	1.7643	2.8498	0.5414	4.5008
Coliformes totales	13.0766	94.8753	243.3737	100.0466
Coliformes fecales	6.5574	82.3731	21.3853	10.9696

CONCLUSIONES

Con los parámetros analizados se pudo identificar que en la temporada de estiaje la calidad del agua de los 4 jagüeyes en general disminuye, de tal forma que no se considera adecuada para que esta pueda ser consumida por la fauna que se encuentra en el parque y de la misma manera no es viable utilizarla para riego pues no beneficia al mismo. El valor del ICA, es una forma clara y fácil de interpretar la calidad del agua para cualquier usuario. En general, el principal problema en el agua de los jagüeyes estudiados, es la contaminación microbiológica causada por la presencia de huevos de helminto, *Fasciola hepática*, coliformes fecales y totales dado que está directamente asociada a enfermedades hepáticas y gastrointestinales. Lo anterior representa un gran riesgo a la

salud de la fauna que habita el parque y bebe del agua almacenada en los jagüeyes. Finalmente, las aguas de los jagüeyes se consideran con riesgo potencial sanitario y tendencia a eutrofización.

LITERATURA CITADA

Allen, P. D. y Richard H. M. (2005). *Stormwater management for smart growth*. New York: Springer.

Atlas Digital del Agua México. (2012). Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo19.html>

Bennema, S. C., Ducheyne, E., Vercruyse, J., Claerebout, E., Hendrickx, G., y Charlier, J. (2011). “Relative importance of management, meteorological and environmental factors in the spatial distribution of *Fasciola hepatica* in dairy cattle in a temperate climate zone”, *International Journal for Parasitology*, 41, pp. 225–233.

CE-CCA-001/89 Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4837548&fecha=13/12/1989

Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C. (2006). Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, Sistema Nacional de Información del Agua. El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. México.

CNA. (2011). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

CNA. (2012). Atlas del Agua en México 2012. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Ertug, E. A. y Hoekstra, A. Y. (2012). “Carbon and water footprints”. UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, France.

Howella, A., Baylisb, M., Smith, R., Pinchbeck, G., y Williams, D. (2015). “Epidemiology and impact of *Fasciola hepatica* exposure in high-yielding dairy herds”, *Preventive Veterinary Medicine*, 121, pp. 41–48.

Mackenzie, L. D. (2010). *Water and wastewater engineering*. United States of America: Mc Graw Hill.

SSAOT. (2012). Parques estatales. Disponible en: http://ssaot.puebla.gob.mx/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=94&Itemid=181

SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2009). “Ollas de agua, Jagüeyes, Cajas de agua o Aljibes”, Abraham Domínguez Acevedo. México.

Samboni, R. N. A., Caravajal, E. Y., Escobar, J. C. (2007). "Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua", Revista Ingeniería e Investigación, 27(3), pp. 172-181.

Serwan, M. J. B. (1993). "Detecting water quality parameters in the Norfolk broads, U.K., using Landsat imagery", International Journal of Remoting sensing, 14(7), pp. 1247-1267.

UNEP-GEMS. (2007). "Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report", United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System/ Water Programme. Canada.

UNESCO. (2000). Cómo se usa el agua en el planeta. Disponible en: http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/index.shtml

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2012). "Managing water under uncertainty and risk", The United Nation World Water Development Report 4. Volume 1. Luxembourg.

Valcarcel, R. L., Alberro, M. N., Frías, F. D. (2009). "El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo", Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, 9 (16), pp. 1-5.

MÉTODOS DE PRUEBA

NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de agua.-determinación de la conductividad electrolítica.- Método de prueba.

NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-008-SCFI-2000 Análisis de agua.-determinación del pH- Método de prueba.

NMX-AA-004-SCFI-2000 Análisis de agua.-determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-007-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

NMX-AA-036-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-073-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO₅) y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-030-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-072-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-099-SCFI-2001 Análisis de agua – determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales – métodos de prueba

NMX-AA-026-SCFI-2001 Análisis de agua.-determinación de nitrógeno KJENDAHL en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

NMX-AA-042-1987 Calidad del agua - determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales.

NMX-AA-113-SCFI-1999 Análisis de agua.- determinación de huevos de helminto.- Método de prueba.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial por el apoyo y facilidades otorgadas para la realización de esta investigación dentro del Parque Estatal “Flor del Bosque”, Puebla.

Se agradece a la Secretaría de Educación Pública, por el financiamiento otorgado a través de Proyecto PROMEP 2012. Tania García Lucero agradece la beca otorgada a través del proyecto mencionado para la realización de su tesis de licenciatura.

Síntesis curricular

Gabriela Pérez Osorio

Doctora en Ciencias en Física de Materiales por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). Profesor-Investigador de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), titular del Colegio de Ingeniería Ambiental e integrante del Cuerpo Académico PRODEP: “Control de la Contaminación Ambiental”. Reconocimiento de perfil PRODEP, e integrante del Padrón de Investigadores de la BUAP. Líneas de Investigación: Síntesis y caracterización de materiales para aplicaciones ambientales; Análisis y determinación de la calidad del agua. Correo electrónico: gabriela.perez@correo.buap.mx