

# Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos

## Physicist-chemistry and Microbiological Water Quality in Aquatic Parks

Beatriz Helena Díaz-Solano,<sup>1</sup> María Vicenta Esteller<sup>2</sup>  
y Sofía Esperanza Garrido Hoyos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Ciencias Ambientales, Facultad de Química, Paseo Colon. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca (Estado de México).

<sup>2</sup>Centro Interamericano de Recursos del Agua-CIRA, Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.

<sup>3</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-IMTA, Jiutepec, Morelos.  
e-mail: bh\_diazsolano@yahoo.com

---

Díaz-Solano B. H, M. V. Esteller & S. E. Garrido-Hoyos. 2011. Calidad físico-química y microbiológica del agua en parques acuáticos. *Hidrobiológica* 21(1): XX-XX.

### RESUMEN

El propósito de esta investigación fue analizar la evolución de la calidad del agua en un parque acuático determinando niveles de deterioro y causas probables; para el estudio se analizaron diferentes parámetros determinando presencia de microorganismos midiendo procesos de deterioro, con el fin de proponer sistemas de control de calidad del agua para estos establecimientos. Como zona de estudio se eligió el estado de Morelos, México, el cual cuenta con cuatro parques acuáticos. La investigación analizó uno de estos parques, dividiéndose así: Fase 1) Muestreo del agua en la entrada y salida del parque, analizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; y Fase 2) Evaluación operativa en seis piscinas del parque acuático, valorándose la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (SDT), pH, color, turbiedad y cloro residual. Los resultados fueron analizados con Normas Oficiales Mexicanas para determinar si existe o no deterioro en la calidad del recurso en procesos operativos del parque. La Fase 1 dio como resultados elevados niveles en grasas y aceites (19.0 mg/L), color (100 UPt-Co), coliformes fecales ( $1.15 \cdot 10^4$  NMP/100 mL) y coliformes totales ( $1.70 \cdot 10^5$  NMP/100 mL). La Fase 2 mostró elevados valores de pH (7.9-8.4), disminuyendo eficiencia en la desinfección y comportamiento diferenciado en conductividad y SDT en piscinas con sistemas de filtrado. Como conclusiones se determinó que la calidad del agua en parques acuáticos debe controlarse en paralelo con la operatividad en piscinas, los procesos de cloración deben estandarizarse, que los usuarios son responsables del deterioro y que es necesaria la generación de un Sistema de Gestión Ambiental.

**Palabras clave:** Calidad de agua, parques acuáticos, gestión.

### ABSTRACT

The purpose of this investigation was to analyze the water quality evolution in a water park, determining deterioration levels and probable causes, in this study were analyzed different parameters determining the presence of microorganisms, presence and measuring processes of deterioration, to propose water quality control systems for these establishments. As study zone was chosen the Morelos State, Mexico, which has four water parks. The study analyzed one of these parks, dividing the study as follow: Phase 1) Sampling of water in and out of the park, analyzing physicochemical and microbiological parameters; and Phase 2) Operational evaluation in six pools of water Park, assessing the electrical conductivity, Total Dissolved Solids (TDS), pH, color, turbidity and residual chlorine. The results were compared with Mexican Official Standards, determining whether there is deterioration in the quality of the resource in the operational processes of the parks. The Phase 1 gave as results raised levels in fats and oils (19.0 mg/L), color (100 UPt-Co),

fecal coliforms (1.15 NMP/100 mL) and total coliforms (1.70 NMP/100 mL). The Phase 2 showed high values of pH (7.9-8.4), diminishing the efficiency in disinfection and a behavior differentiated in conductivity and TDS in swimming pools filtering systems. Since conclusions there decided that the water quality in Water Parks must be controlled in parallel to the operability in swimming pools, the processes of chlorination must be standardized. The users are responsible for the deterioration of water and require the generation of an Environmental Management System.

**Keywords:** Water quality, aquatic parks, management.

## INTRODUCCIÓN

Las piscinas son establecimientos públicos o privados que deben ser supervisados permanentemente por agencias gubernamentales con el objetivo de preservar la calidad del agua y la salud pública, debido a que se combinan una serie de elementos que deterioran el recurso hídrico y ponen en riesgo el bienestar de los usuarios de los parques acuáticos y de la comunidad en general. El estado de Morelos, México, alberga un total de 58 establecimientos entre balnearios y parques acuáticos usados con fines recreativos; quienes utilizan estos centros turísticos actúan como agentes contaminantes al introducir en el agua de las piscinas gérmenes a través de las mucosas, piel y sistema genito-urinario; estos aspectos brindan los medios apropiados para la proliferación de microorganismos con alta factibilidad de contagio (Colmenares et al. 2008), factores que aceleran el deterioro de la calidad del recurso hídrico en las piscinas, y representan un riesgo sanitario para los usuarios de estos establecimientos.

Una de las principales fuentes de contagio en piscinas lo constituye la ingestión accidental de agua, que es la principal vía de transmisión de microbios patógenos causantes de enfermedades gastrointestinales (Dufour et al. 2006), las cantidades ingeridas son variables tal como lo expresan Reiss et al. (2006), quienes estipulan un consumo por hora de aproximadamente 21 mL en adultos y de 49 mL en niños sin desestimar otros medios contaminantes como la absorción dérmica o la inhalación, este último con riesgos de absorción de aerosoles residuales de los productos químicos utilizados en la desinfección y generados por los movimientos del agua y sus consecuencias directas en la salud (Blando & Cohn 2004).

La gestión eficiente del recurso hídrico involucra conceptos de mantenimiento de la calidad, reuso y aprovechamiento del agua. Estos aspectos y su control se encuentran relacionados con la normatividad del país, debido a que ésta marca los parámetros de mantenimiento de la calidad del agua en aspectos químicos, físicos y metodológicos; es importante mencionar que México no cuenta en la actualidad con una normatividad específica para piscinas, y sólo existe un proyecto de norma (PROY-NOM-000-SSA1-2005 Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas). Aunque ésta especifica los parámetros de calidad del agua con los que debe cumplirse y límites máximos permisibles, no hace alusión a características como el volumen máximo de usuarios por m<sup>2</sup> en las piscinas, construcción, repa-

ración, reforma, operación, mantenimiento de piscinas, características de ubicación, entre otros, los cuales se pueden observar claramente en normas de otros países (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1988, Capítulo XXXVIII, de las piscinas.; Decreto 255/1994, Gobierno de Valencia, 1994, España; Gobierno de Québec 2007; Michigan Department of Environmental Quality Drinking Water and Radiological Protection Division, 2004; Government of South Australia.1991; Gobierno de Navarra, Decreto Foral 135/1993 Navarra, España), esta deficiencia normativa en el país no permite regular y estandarizar procedimientos y controles directos de entidades gubernamentales que eviten el deterioro del recurso hídrico.

El objetivo de este trabajo de investigación fue estudiar la calidad del agua en parques acuáticos considerando un caso de estudio, en el cual se hicieron pruebas físico-químicas y microbiológicas con el fin de determinar los procesos de deterioro del recurso y sus probables causas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Inventario.** - En primer lugar se llevó a cabo un inventario de los establecimientos en el estado de Morelos dedicados al esparcimiento a través de atractivos acuáticos, llámense estos balnearios o parques acuáticos, y los volúmenes de agua utilizados en la operación de estos mismos.

Para dar inicio al proceso de inventario se realizó una investigación previa en dos organismos públicos: la Secretaría de Turismo del estado de Morelos a través del Servicio de Orientación e Información Turística (INFOTUR) que proporcionó un inventario total de 35 establecimientos registrados (a noviembre de 2007), y la Asociación de Parques Acuáticos y Balnearios del estado de Morelos (APABAM), que proporcionó un registro de 25 socios (a noviembre de 2007). Para corroborar la información obtenida se realizó un estudio de campo, recorriendo el estado e inventariando físicamente todos los establecimientos que cumplieran las características de balnearios o parques acuáticos.

**Selección del caso de estudio:** Una vez obtenida la información a partir del inventario se procedió a comparar en paralelo a través de una matriz de caracterización, en la cual se analizaron las fuentes de abastecimiento del recurso hídrico, destino del efluente, capacidad instalada, número de atracciones, tiempo de residencia promedio de los visitantes y procesos de gestión del

recurso con el que cuenta el parque. En razón a los resultados arrojados en la matriz se eligió el caso de estudio ubicado en las coordenadas 18°51' de latitud norte y los 99°14' de longitud oeste, en el municipio de Temixco, estado de Morelos, México, a una altura de 1,280 msnm., ubicado en una zona orográfica semiplana y con clima que registra una temperatura media anual de 18°C.

**Calidad del agua del muestreo.**- En la fase 1 se analizó la calidad del agua en sus fuentes de entrada (afluente) y salida (efluente), lo que permitió identificar el deterioro general del recurso en su paso por el parque y con las condicionantes de uso que se presentan en él. Para el desarrollo de esta fase se tomaron muestras en los siguientes puntos (figura 1):

Afluente del apancle (Muestreo antes de la entrada a las instalaciones del parque).

1. Afluente procedente del agua del pozo.
2. Efluente de las piscinas.
3. Efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

4. Efluente del apancle (muestreo a la salida de las instalaciones del parque).

Se realizaron dos ciclos de muestreo: una en época de secas (febrero) y la segunda, al inicio de la época de lluvias (mayo) del 2008. En cada una de las campañas se tomó una muestra simple por cada punto de muestreo. Para el análisis del agua para uso y consumo humano se realizó el muestreo según los estándares establecidos en la Norma Mexicana NOM-230-SSA1-2002, y para las aguas residuales, de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980.

Las técnicas analíticas en las pruebas físico-químicas y microbiológicas se realizaron según las Normas Mexicanas, Standard Methods (APHA, 1995) y Métodos Hach, los cuales fueron:

1. Físicos: Color (IMTA CAQAF6-43), Materia Flotante (NMX-AA-006, 1973), Sólidos Disueltos Totales (SDT) (IMTA CAQAF7-35), Sólidos Sedimentables (IMTA CAQAF7-50), Sólidos Suspendidos Totales (SST) (IMTA CAQAF7-34) y Turbiedad.

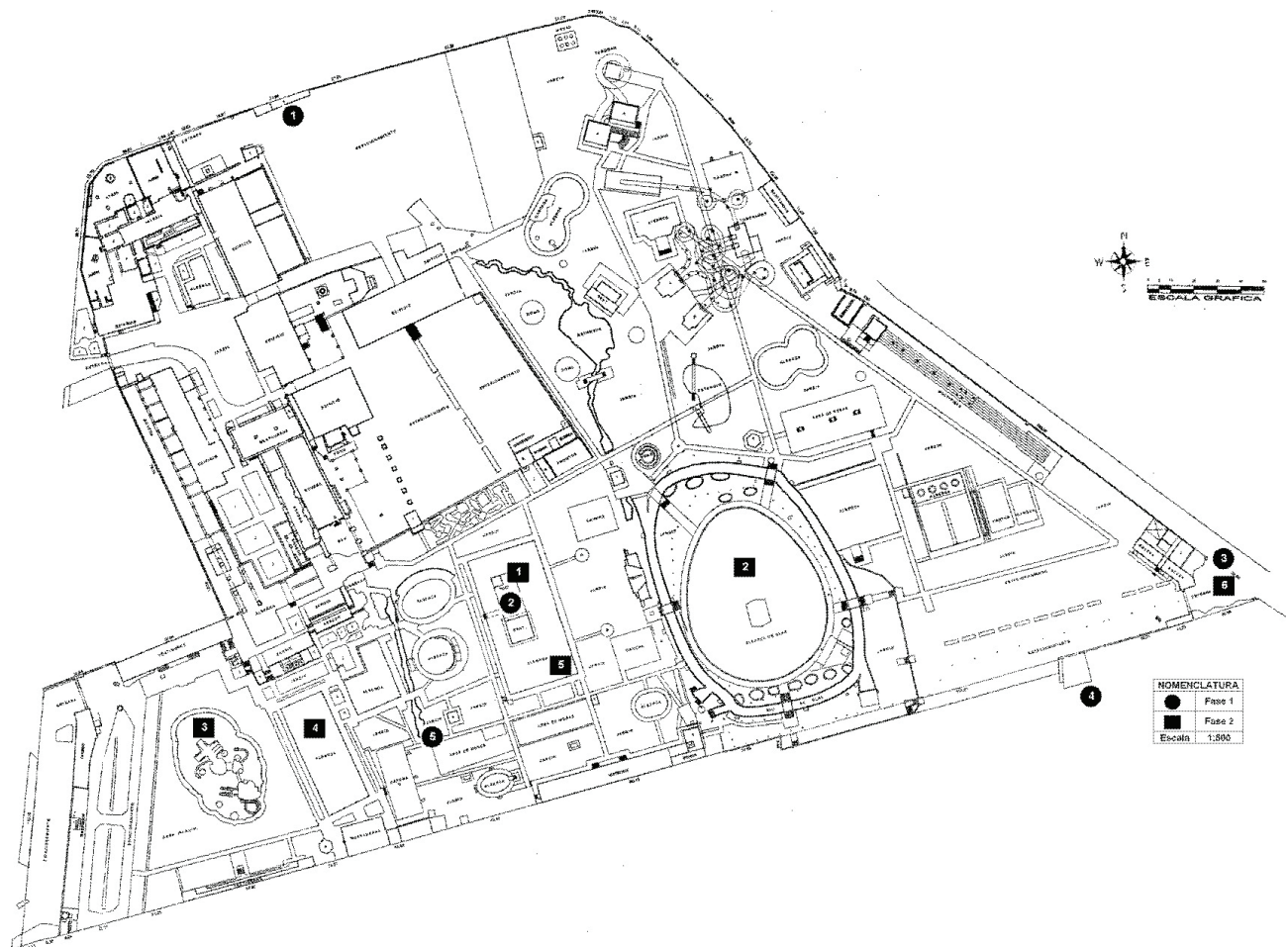


Figura 1. Diagrama de flujo del parque acuático seleccionado como caso de estudio.

2. Químicos: pH (IMTA CAQAF6-43), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) (NMXAA-028 -1981), Nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) (IMTA CAQAF6-67), Nitratos (N-NO<sub>3</sub>) (IMTA CAQAF6-28), Nitrógeno Total (Método Kjeldahl NMX-AA-0261980), Fósforo Total (NMX-AA-02, 1981), Cloruros (IMTA CAQAF6-59), Fluoruros (IMTA CAQAF6-20), Sulfatos (IMTA CAQAF6-37), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Grasas y Aceites (G y A), Arsénico (As), Bario (Ba), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Zinc (Zn) (IMTA CAHBAA6-03), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) (IMTA CAHBAA6-09).
3. Microbiológicos: Coliformes Totales y Coliformes Fecales (IMTA CAMB6-02).

Debido a que no existen normas mexicanas específicas que señalen los niveles máximos permisibles para la calidad el agua en piscinas y las descargas, fue necesario establecer el nivel de deterioro del recurso con base a los resultados obtenidos tomando en cuenta las siguientes normas: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (Agua para uso y consumo humano), NOM-001-SEMARNAT-1996 (Descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales) y la NOM-003-SEMARNAT-1997 (Aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público).

En la fase 2 se evaluó el funcionamiento de las piscinas en relación al deterioro que éstas presentan, se eligieron parámetros de operación y unidades con características muy diferentes (figura 1), que a continuación se enumeran:

- 1.- Afluente (pozo)
- 2.- Mayor nivel de aireación (piscina con olas)
- 3.- Piscina con sistema de filtrado (piscina infantil)
- 4.- Piscina sin sistema de filtrado (piscina olímpica)
- 5.- Piscina con posible contacto de alimentos, pues existe un restaurante en el centro de ésta (Isla).
- 6.- Efluente de las piscinas

Se realizaron dos ciclos de muestreo: uno en época de baja afluencia de visitantes (marzo) y el otro, en días con alta afluencia de visitantes (mayo). Se tomaron en la primera campaña tres muestras por punto de muestreo en los siguientes horarios: 10:00, 13:00 y 16:00 horas durante los cuatro días de muestreo. Para la segunda campaña se tomaron cuatro muestras por punto de muestreo en los siguientes horarios: 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 horas durante los cuatro días de muestreo. La colecta de muestras de agua se realizó en recipientes de polipropileno lavados cuidadosamente primero con agua y después con mezcla de HNO<sub>3</sub> (1:1), y enjuagados posteriormente con abundante agua bidestilada, además en el momento de tomar las muestras cada recipiente fue enjuagado con abundante agua del punto de muestreo.

Los parámetros analizados en la evaluación de la operación fueron: color, Turbiedad, Conductividad, Sólidos Disueltos Totales, pH, y Cloro Residual. Estos análisis se realizaron in situ por duplicado, según los métodos Hach.

Tratamiento de datos: Para evaluar los datos de la fase 1 (calidad del agua), se analizaron por separado cada uno de los puntos de muestreo, generando una tabla en la cual se registraron los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros tanto en el primero como en el segundo muestreo, con el fin de poder analizar estos resultados con la normatividad correspondiente y determinar los niveles de deterioro del recurso.

Para el análisis comparativo de los datos en la fase 2 (evaluación de la operación), se tomaron cada una de las campañas por separado, se les aplicó estadística descriptiva, promediando los datos obtenidos en los cuatro días de muestreo de cada campaña para cada uno de los parámetros y puntos de muestreo, y se calculó el valor promedio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del inventario. Del análisis del inventario realizado en el estado de Morelos se contabilizó un total de 58 establecimientos acuáticos, de los cuales 54 son catalogados como balnearios y los cuatro restantes como parques acuáticos (figura 2). Para efectos de diferenciación del concepto es necesario definir qué es un parque acuático, para lo cual se toma la expresada por el Gobierno de Valencia en su decreto 255/1994 como todo recinto acotado, con control de acceso de público y constituido por diversas instalaciones, atracciones recreativas acuáticas y complementarias (cafeterías, restaurantes, etc.). El objeto principal de un parque acuático consiste en permitir el contacto de sus usuarios con el agua a través del uso de las atracciones recreativas.

Para el análisis de asistencia de visitantes y establecer un comparativo entre estos parques acuáticos se estimó el total de visitantes promedio al año, para lo cual se sumó la capacidad total en los cuatro establecimientos y se calculó una asistencia correspondiente al 30% de sus capacidades sumadas por día, lo cual dio un resultado de 13939200 personas al año. Si esta cifra se compara con la población total del estado de Morelos (1.555.296 habitantes) podría estimarse que la población total rotaría al año estos establecimientos 8.96 veces.

La alta afluencia a los parques acuáticos del estado de Morelos permite visualizar las dimensiones del riesgo en salud pública si se asume no existe un control adecuado de la calidad del agua en este tipo de establecimientos.

Caso de estudio. El parque seleccionado cuenta con una superficie de 130000 m<sup>2</sup>, utiliza un volumen parcial de 11043 m<sup>3</sup> de agua para las piscinas y atracciones y de 250 m<sup>3</sup> para vestidores

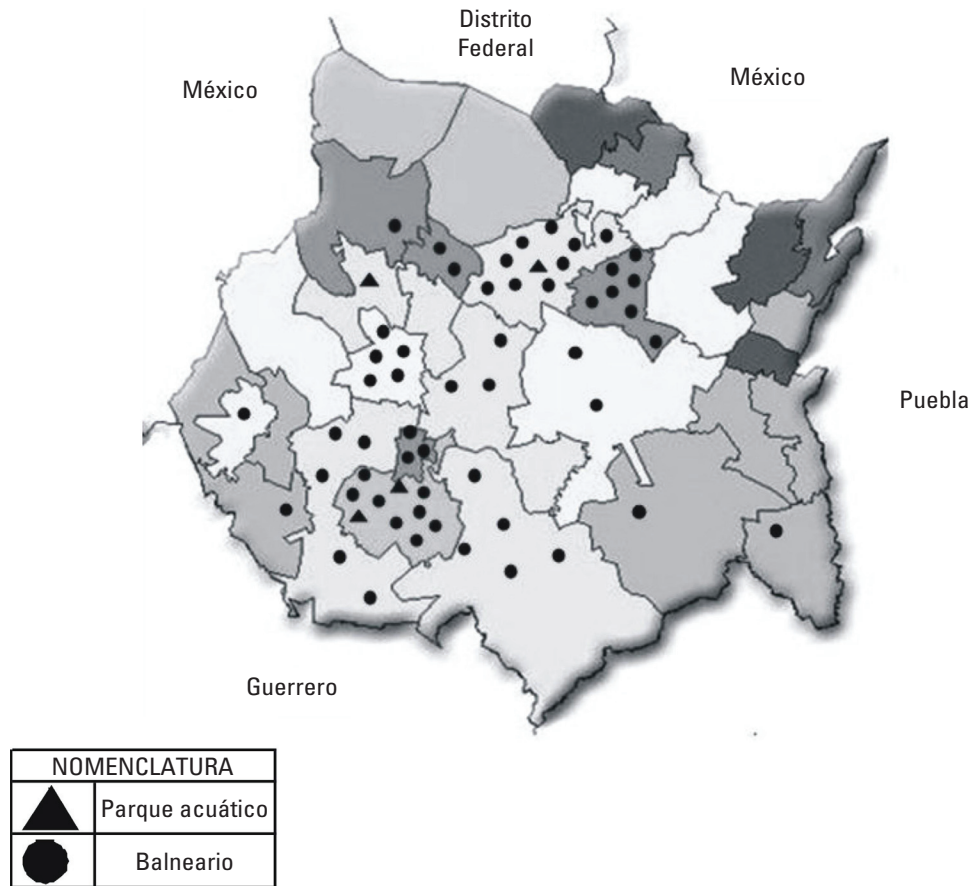


Figura 2. Ubicación de balnearios y parques acuáticos en el estado de Morelos.

y sanitarios. El parque tiene una capacidad de admisión máxima diaria de 35000 visitantes, y funciona los 365 días del año, cuenta con 21 piscinas. Como características específicas este parque acuático se encuentra en un casco urbano, lo que propicia que el tiempo de residencia de los visitantes sea mayor (en promedio de dos a tres horas mayor a parques ubicados fuera de cascos urbanos). Posee dos puntos de vertido del efluente, uno al sistema de alcantarillado de la ciudad y otro directo al río Apatlaco; tiene dos fuentes de abastecimiento de agua: un pozo profundo y un apancle (mexicanismo de acequia para riego). El parque que se eligió como caso de estudio no aplica procesos de gestión del recurso establecido, sino que se limita a procedimientos de desinfección y mantenimiento de piscinas y controles anuales de volúmenes y calidad de afluentes y efluentes del recurso hídrico.

La figura 1 muestra el diagrama de flujo del parque en el cual se identifican la entrada del agua (afluente, apancle y pozo) y salidas de agua (efluente de piscinas, de planta de tratamiento y al drenaje de la ciudad), las piscinas y su distribución espacial y las áreas de baños, lugares de venta de alimentos y la posición y recorrido del apancle, los cuales influyen en el uso y calidad del agua.

Fase 1: Análisis de la calidad del agua: El primer punto estudiado fue el afluente del apancle (tabla 5), el cual se analiza más adelante comparándolo con el efluente del mismo punto de muestreo; como segundo análisis se muestreó el agua obtenida del pozo, la cual representa el afluente para la mayoría de las actividades del parque tanto recreativas como de operatividad, siendo éste: el afluente de las piscinas, los juegos acuáticos, los baños y las áreas de venta de alimentos.

La tabla 1 muestra los valores obtenidos para los diferentes parámetros analizados en el agua del pozo y los límites máximos permisibles marcados en la normatividad NOM-127-SSA1-1994 para agua de uso y consumo humano. Se observa que los parámetros analizados se encuentran por debajo de los valores de la NOM-127-SSA1, por lo que el afluente se considera un agua de buena calidad para el desarrollo de las actividades del parque acuático. Es importante apreciar que la calidad del agua en el pozo no tuvo variaciones importantes entre los dos muestreos.

El efluente de las piscinas se analizó igualmente con la NOM-127-SSA1-1994, ya que este efluente es vertido directamente al

Tabla 1. Calidad del agua en el afluente procedente del pozo.

|                           | Unidad     | 1er. muestreo | 2o. muestreo | NOM-127-SSA1-1994 |
|---------------------------|------------|---------------|--------------|-------------------|
| Color aparente            | UPt-Co     | 2.0           | 2.0          | 20                |
| Sólidos disueltos totales | mg/L       | 478           | 470          | 1,000             |
| pH                        | Unidades   | 7.0           | 7.09         | 6.5-8.5           |
| Cloruros                  | mg/L       | 43            | 39.1         | 250               |
| Fluoruros                 | mg/L       | 0.26          | <0.211       | 1.50              |
| Sulfatos                  | mg/L       | 51.80         | 69.90        | 400               |
| N-amoniaco                | mg/L       | <0.248        | <0.248       | 0.50              |
| N-nitratos                | mg/L       | 8.09          | 8.1          | 10.00             |
| Grasas y aceites          | mg/L       | <5.4          | <5.4         | —                 |
| Arsénico                  | mg/L       | <0.005        | <0.005       | 0.025             |
| Bario                     | mg/L       | <0.50         | <0.50        | 0.70              |
| Cadmio                    | mg/L       | <0.0010       | <0.0010      | 0.005             |
| Magnesio                  | mg/L       | 33.936        | 35.668       | —                 |
| Hierro                    | mg/L       | 0.056         | <0.05        | 0.30              |
| Manganeso                 | mg/L       | <0.050        | <0.050       | 0.15              |
| Plomo                     | mg/L       | <0.0050       | <0.0050      | 0.01              |
| Sodio                     | mg/L       | 33.568        | 34.872       | 200.00            |
| Coliformes totales        | NMP/100 mL | Ausencia      | Ausencia     | Ausencia          |
| Coliformes fecales        | NMP/100 mL | Ausencia      | Ausencia     | Ausencia          |

río Apatlaco, el cual continúa su recorrido de manera superficial por el casco urbano de la ciudad teniendo contacto directo con parte de los habitantes pudiendo ser igualmente utilizada como agua de consumo por algunos de ellos.

Se puede apreciar (tabla 2) que para el primer muestreo (época de estiaje) los parámetros que no cumplen con el valor máximo permisible marcado en la NOM-127-SSA1-1994 son: sólidos disueltos totales, cloruros, sodio, coliformes totales y coliformes fecales. Los altos contenidos para el primer muestreo de sodio (330.41 mg/L) y cloruros (623 mg/L). El cloruro como subproducto de la cloración formado en concentraciones de pocos microorganismos por litro, el cloruro de cianógeno es el subproducto más importante, ésta es resultado de las reacciones de precursores orgánicos con el ácido hipocloroso en presencia de ión amonio. El cloruro de cianógeno en humanos se metaboliza rápidamente a cianuro, el cual es tóxico (Olmedo 2008). También se presentó un aumento en el contenido de SDT. Si el agua presenta materia orgánica (restos de alimentos, protectores solares, piel, orina, saliva, etc.), el cloro libre reacciona con los constituyentes orgánicos para producir subproductos clorados orgánicos como trihalometanos (THM), éstos y en especial el cloroformo, es un compuesto muy volátil exponiendo a los bañistas a daños por inhalación. Se ha reportado que los THM pueden causar cáncer en hígado y riñón según Colmenares et al. (2008) y Olmedo

(2008), estudios en que se han encontrado THM y cloroformo en intervalos de 18 a 365 ppm en el agua de piscinas, de 91 a 214 µg por metro cúbico en el aire sobre el agua, y de 0.56 a 5.23 µg por litro en el plasma de sangre de nadadores adultos (Blando y Cohn 2004, Kozłowska et al. 2006). Para el segundo muestreo (época de lluvias) los parámetros que superan los valores límites estipulados por la norma son: color (100 UPt-Co), fluoruros (2,17 mg/L), coliformes totales ( $1.70 \cdot 10^5$  NMP/100 mL) y coliformes fecales ( $1.15 \cdot 10^4$  NMP/100 mL).

Es importante resaltar que en el segundo muestreo la afluencia de visitantes fue 8 veces mayor que para el primero, lo que explicaría los altos niveles de grasa y aceites (19 mg/L) en particular, por el uso de cremas y aceites bronceadores; existe una relación directa entre la intervención de bañistas y la calidad del agua en piscinas siendo las más recurrentes el uso de lociones protectoras y bronceadores, y la descarga de fluidos por la nariz y boca (Colmenares et al. 2008). La misma consideración cabe para los coliformes fecales que muestran una amplia diferencia entre el primer y segundo muestreo ( $1.87 \cdot 10^2$  NMP/100 mL y  $1.15 \cdot 10^4$  NMP/100 mL, respectivamente), debe tenerse presente que según Castor & Beach (2004), un individuo habitualmente presenta 0.14 g de materia fecal en la zona perianal y un niño puede tener hasta 10g que, en contacto con el agua en las piscinas se diluye convirtiéndose en factor contaminante.

Tabla 2. Calidad del agua en el efluente de piscinas.

|                             | Unidad     | 1er. muestreo        | 2o. muestreo         | NOM-127-SSA1-1994 |
|-----------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Color aparente              | UPt-Co     | 5.00                 | 100                  | 20                |
| Sólidos disueltos totales   | mg/L       | 1,555                | 796                  | 1,000             |
| Turbiedad <sup>1</sup>      | UTN        | 22.05                | 30.9                 | 5.0               |
| pH                          | Unidades   | 7.0                  | 8.18                 | 6.5-8.5           |
| Cloro residual <sup>1</sup> | mg/L       | —                    | 0.805                | 0.2-1.5           |
| Cloruros                    | mg/L       | 623                  | 166                  | 250               |
| Fluoruros                   | mg/L       | 1.34                 | 2.17                 | 1.50              |
| Sulfatos                    | mg/L       | 70.9                 | 69.90                | 400               |
| N-amoniaco                  | mg/L       | <0.248               | —                    | 0.50              |
| N-nitratos                  | mg/L       | 0.155                | <0.132               | 10.00             |
| Grasas y aceites            | mg/L       | 5.46                 | 19                   | —                 |
| Arsénico                    | mg/L       | <0.005               | <0.005               | 0.025             |
| Bario                       | mg/L       | <0.50                | <0.50                | 0.70              |
| Cadmio                      | mg/L       | <0.0010              | <0.0010              | 0.005             |
| Magnesio                    | mg/L       | 40.769               | 34.474               | —                 |
| Hierro                      | mg/L       | 0.211                | 0.159                | 0.30              |
| Manganeso                   | mg/L       | <0.050               | <0.050               | 0.15              |
| Plomo                       | mg/L       | <0.0050              | <0.0050              | 0.01              |
| Sodio                       | mg/L       | 330.410              | 107.841              | 200.00            |
| Coliformes totales          | NMP/100 mL | 7.18 10 <sup>3</sup> | 1.70 10 <sup>5</sup> | Ausencia          |
| Coliformes fecales          | NMP/100 mL | 1.87 10 <sup>2</sup> | 1.15 10 <sup>4</sup> | Ausencia          |

<sup>1</sup> Valores promedio del efluente de las piscinas durante la evaluación de la operación del parque acuático.

Estudios realizados por varios investigadores con respecto a la calidad del agua en piscinas, han demostrado una variabilidad en los resultados de los parámetros físico-químicos y microbiológicos como Turbiedad, pH, cloro residual, coliformes totales y fecales principalmente (tabla 3).

Se observa que todas las muestras de agua analizadas microbiológicamente se encuentran contaminadas por un tipo de microorganismo (tabla 3).

Según Al-Khatih & Salah (2003), las piscinas en general, no tienen una estricta regulación, monitoreo y control de la calidad del agua en West Bank de Palestina, por lo que existen riesgos de salud para los bañistas al estar en contacto con microorganismos patógenos oportunistas contenidos en el agua de estas piscinas.

Por otra parte, Rigas et al. (1998) comentan que los parámetros críticos implicados en la baja calidad del agua de las piscinas en Grecia son los parámetros relacionados con la salud como el potencial redox; físicos como la turbiedad, y microbiológicos como los patógenos *staphylococcus* y *pseudomonas*.

Colmenares et al. (2008) establecen que los principales factores contaminantes en las piscinas lo constituyen el uso de cremas y aceites bronceadores, así como la descarga de fluidos por parte de los bañistas, los cuales ocasionan un decaimiento del índice de calidad del agua (ICA).

El tercer punto de muestreo lo constituyó la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y grises que provienen del agua usada en los baños, vestidores, áreas de alimentos y el vertido de agua de 5 de las 21 piscinas del parque acuático. La PTAR funciona con un sistema de proceso bio-enzimático, con una capacidad de tratamiento de 2 L/s. Las aguas tratadas son vertidas de forma directa al río Apatlaco, razón por la cual los resultados obtenidos de este muestreo se analizaron con base en los parámetros presentes en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Se observó para el primer muestreo que algunos de los parámetros están fuera de la NOM-001-SEMARNAT-1996 como es el caso de los sólidos sedimentables (3.0 mL/L) y las grasas y acei-

Tabla 3. Calidad del agua en piscinas reportada por diferentes investigadores.

| Parámetro                              | Rigas <i>et al.</i> , (1998) |                                   | Al-Khatib y Salah (2003) |                                   | Colmenares <i>et al.</i> , (2008) |                                   |
|--|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|  |                              | Límite <sup>1</sup><br>permisible |                          | Límite <sup>2</sup><br>permisible |                                   | Límite <sup>3</sup><br>permisible |
| Número de muestras analizadas          | 11                           |                                   | 44/82/81/23/81/23        |                                   | 13                                |                                   |
| Turbiedad (NTU)                        | 0.14-2.07                    | <0.5                              | —                        | —                                 | —                                 | —                                 |
| pH                                     | 6.8-7.8                      | 6.5-7.8                           | —                        | —                                 | 6.8-7.5                           | 7.2-8.2                           |
| Cloro residual (mg/L)                  | 0.43-4.00                    | 0.3-0.6                           | 0-2.5                    | 1-2.5                             | 0->5                              | 0.4-1.0                           |
| Ácido cianúrico (mg/L)                 |                              | <200                              |                          | —                                 |                                   |                                   |
| Coliformes totales NMP/100 mL          | 0-8                          | 0                                 | 0-10                     | 0                                 | <1->80                            | 200                               |
| Coliformes fecales NMP/100 mL          | 0-6                          | 0                                 | 0->0                     | 0                                 | <1-2                              | <1                                |
| <i>Streptococcus</i> fecal NMP/100 mL  | —                            | 0                                 | 0-888                    | —                                 | —                                 | —                                 |
| <i>Staphylococcus total</i> NMP/100 mL | —                            | —                                 | 0-50                     | —                                 | —                                 | —                                 |
| <i>Salmonella</i> (+/-/1)              | —                            | —                                 | -/+                      | —                                 | —                                 | —                                 |

<sup>1</sup> Según German Standard DIN 19605;

<sup>2</sup> Según norma UK Department of Environment (1979); APHA (1995);

<sup>3</sup> Según Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 4.044 Extraordinaria (1988).

tes (48.6 mg/L) (Tabla 4), debido al vertido de aceites de las áreas de venta de comidas y el uso de cremas bronceadoras utilizadas por los usuarios en las piscinas. En el caso de los coliformes totales y coliformes fecales también mostraron resultados altos para el primero ( $1.10.10^8$  y  $2.40.10^5$  NMP/100 mL, respectivamente) y segundo muestreo ( $2.10.10^6$  y  $1.50.10^4$  NMP/100 mL, respectivamente), valores que están por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la norma.

Se determinó que la PTAR no opera con una eficiencia del 100% debido a que el agua contiene cloro residual proveniente del desagüe de piscina, sumado al agua mezclada con hipoclorito usado en el lavado de baños, los cuales afectan el proceso bioenzimático, unidos estos factores a la falta de mantenimiento de la misma. Cabe agregar que no es posible incluir un proceso de desinfección al efluente de la PTAR, ya que no es permitido por la NOM-001-SEMARNAT-1996. La calidad del agua del apancle se estudió desde un enfoque de reuso debido a que es agua residual previamente tratada al acceso al parque (NOM-003-SEMARNAT-1997), norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios públicos). Cabe mencionar que el agua es utilizada en el parque acuático para el riego de jardines y como parte ornamental del área.

Los coliformes fecales para el primer muestreo presentan un incremento de  $3.90.10^4$  a  $4.60.10^5$  NMP/100mL desde que entra

(afluente) el apancle hasta que sale (efluente) del parque acuático (tabla 5). Para el segundo muestreo se presenta un menor aumento que fue de entre  $3.90.10^2$  y  $6.40.10^2$  NMP/100mL. Gran parte del recorrido del apancle es de manera superficial, siendo el hábitat de varias especies de aves e iguanas que de manera silvestre se encuentran en las instalaciones, produciendo contacto con focos contaminantes que se manifiestan en el aumento de los niveles de coliformes fecales.

Cabe referir, en cuanto a los sólidos suspendidos totales (SST), que en el primer muestreo se cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997 en el punto de entrada al parque (afluente 17 mg/L), y que durante el recorrido por las instalaciones se produce un incremento de los valores llegando a la salida con niveles superiores de los permisibles (efluente 28 mg/L) (tabla 5), lo que demuestra que en su recorrido interno existen focos de contaminación como son basura arrojada al cuerpo de agua por los mismos usuarios del parque, lo cual se comprobó bajo observación.

Fase 2: Evaluación de la operación de las diferentes unidades que conforman el parque acuático. Como primer factor a considerar en el análisis de datos obtenidos para determinar la calidad del agua en los muestreos de la Fase 2 fue el número de visitantes en ambos muestreos comprobándose una diferencia muy marcada, ya que durante el primer muestreo asistieron durante los cuatro días un total de 11347 personas, y en el segundo muestreo



Tabla 4. Calidad del agua en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

|  | Unidad     | 1er. muestreo        | 2o. muestreo         | NOM-001-SEMARNAT-1996 |
|--|------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Temperatura                                | °C         |                      |                      |                       |
| Grasas y aceites                           | mg/L       | 48.60                | 12.90                | 25                    |
| Materia flotante                           |            | Ausente              | Ausente              | Ausente               |
| Sólidos sedimentables                      | mL/L       | 3.0                  | <0.5                 | 2                     |
| Sólidos suspendidos totales                | mg/L       | 10.1                 | 40                   | 125                   |
| Demanda bioquímica de oxígeno <sub>5</sub> | mg/L       | 13.4                 | 102                  | 150                   |
| Nitrógeno total                            | mg/L       | 24.5                 | 7.18                 | 60                    |
| Fósforo total                              | mg/L       | 4.93                 | —                    | 30                    |
| Arsénico                                   | mg/L       | <0.005               | <0.005               | 0.2                   |
| Cadmio                                     | mg/L       | <0.02                | <0.02                | 0.2                   |
| Cianuro                                    | mg/L       | —                    | —                    | 2.0                   |
| Cobre                                      | mg/L       | <0.05                | <0.05                | 6.0                   |
| Cromo                                      | mg/L       | <0.05                | <0.05                | 1.0                   |
| Mercurio                                   | mg/L       | <0.0005              | <0.0005              | 0.01                  |
| Níquel                                     | mg/L       | <0.05                | <0.05                | 4                     |
| Plomo                                      | mg/L       | <0.1                 | <0.1                 | 0.4                   |
| Zinc                                       | mg/L       | 0.210                | 0.316                | 20                    |
| Coliformes totales                         | NMP/100 mL | 1.10 10 <sup>8</sup> | 2.10 10 <sup>6</sup> | 1.00 10 <sup>3</sup>  |
| Coliformes fecales                         | NMP/100 mL | 2.40 10 <sup>5</sup> | 1.50 10 <sup>4</sup> | 1.00 10 <sup>3</sup>  |

NOM-001-SEMARNAT-1996: Vertido a ríos: Uso público urbano (B). Promedio diario (P. D.).

Tabla 5. Calidad del agua en el afluente y efluente del apacble.

|  | Unidad     | 1er. influente       | 1er. efluente        | 2o. influente        | 2o. efluente         | NOM-003-SEMARNAT-1997 |
|--|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Grasas y aceites                           | mg/L       | 6.91                 | 5.86                 | 14.3                 | 4.89                 | 15                    |
| Sólidos suspendidos totales                | mg/L       | 17                   | 28                   | 16                   | 11                   | 20                    |
| Demanda bioquímica de oxígeno <sub>5</sub> | mg/L       | 12.5                 | 10.5                 | 17.6                 | 12.8                 | 20                    |
| Huevos Helmintos                           | huevos/L   | 0                    | 0                    | 0                    | 0                    | 5                     |
| Coliformes fecales                         | NMP/100 mL | 3.90 10 <sup>4</sup> | 4.60 10 <sup>5</sup> | 3.90 10 <sup>2</sup> | 6.40 10 <sup>2</sup> | 240                   |

Servicios al público con contacto directo.

hubo una afluencia de 3814 personas, lo que arroja una diferencia de visitantes entre los dos muestreos de 7535 personas.

Otro factor que influye en la calidad del agua de las piscinas es que se encuentran a cielo abierto, aspecto muy importante debido a que se debe tener en cuenta la ubicación de la piscinas para evitar exposiciones a contaminantes como polvo, humo, hojas

secas, excrementos de aves, etc., así como crear separaciones físicas de la piscinas con los jardines cuando éstos las circundan (Colmenares et al. 2008).

Los resultados que se presentan en las tablas 6 y 7 corresponden a los valores promedios de la primera y la última toma de muestras del día, agrupadas por parámetro para cada uno de los

Tabla 6. Evaluación de la operación de las unidades que conforman el parque acuático, para el primer muestreo marzo 2008.

| Unidad                | Primer muestreo, 1er día |                       |                    |               |      | Primer muestreo, 3er día |                       |                    |               |      |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|------|--------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|------|
|                       | Color A.<br>(UPt-Co)     | C.E.<br>( $\mu$ S/cm) | Turbiedad<br>(UTN) | SDT<br>(mg/L) | pH   | Color A.<br>(UPt-Co)     | C.E.<br>( $\mu$ S/cm) | Turbiedad<br>(UTN) | SDT<br>(mg/L) | pH   |
| Afluente <sup>1</sup> | 17.5                     | 662.0                 | 0.4                | 424.4         | 7.2  | 46.3                     | 665.3                 | 2.5                | 426.4         | 7.2  |
| SD $\pm$              | 35.00                    | 13.14                 | 0.31               | 8.42          | 0.07 | 91.17                    | 13.40                 | 3.18               | 8.59          | 0.05 |
| Olas                  | 65.0                     | 2106.7                | 1.8                | 1350.4        | 7.8  | 59.5                     | 1894.0                | 2.6                | 1214.1        | 8.1  |
| SD $\pm$              | 45.45                    | 20.82                 | 0.30               | 13.34         | 0.32 | 100.60                   | 124.18                | 1.81               | 79.60         | 0.24 |
| Área infantil         | 84.3                     | 2373.3                | 4.1                | 1521.4        | 8.4  | 69.3                     | 2367.5                | 3.8                | 1517.6        | 8.5  |
| SD $\pm$              | 50.34                    | 120.55                | 2.87               | 77.28         | 0.41 | 107.78                   | 156.28                | 2.51               | 100.18        | 0.15 |
| Olímpica              | 79.5                     | 2150.0                | 1.6                | 1378.2        | 6.8  | 56.5                     | 2140.0                | 2.6                | 1371.8        | 7.0  |
| SD $\pm$              | 43.84                    | 50.00                 | 1.29               | 32.05         | 0.09 | 98.27                    | 64.81                 | 1.99               | 41.54         | 0.05 |
| Isla                  | 69.0                     | 1836.3                | 1.1                | 1177.1        | 7.1  | 52.0                     | 1830.3                | 1.5                | 1173.2        | 7.2  |
| SD $\pm$              | 46.70                    | 55.20                 | 0.76               | 35.38         | 0.08 | 100.69                   | 68.81                 | 1.01               | 44.11         | 0.05 |
| Efluente <sup>2</sup> | 277.3                    | 1622.0                | 22.9               | 1039.7        | 7.9  | 155.3                    | 1721.8                | 21.2               | 1103.7        | 8.0  |
| SD $\pm$              | 167.03                   | 318.99                | 10.82              | 204.48        | 0.19 | 20.40                    | 465.38                | 3.96               | 298.32        | 0.18 |

<sup>1</sup> Agua de pozo.

<sup>2</sup> Efluente de las piscinas.

Tabla 7. Evaluación de la operación de las unidades que conforman el parque acuático, para el segundo muestreo mayo 2008.

| Unidad                | Segundo muestreo, 1er día |                      |                       |                    |               |   | Segundo muestreo, 4o. día |                      |                       |                    |               |   |
|-----------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------|---|---------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------|---|
|                       | pH                        | Color A.<br>(UPt-Co) | C.E.<br>( $\mu$ S/cm) | Turbiedad<br>(UTN) | SDT<br>(mg/L) | Cloro <sub>Res</sub><br>(mg/L) <sub>i</sub> | pH                        | Color A.<br>(UPt-Co) | C.E.<br>( $\mu$ S/cm) | Turbiedad<br>(UTN) | SDT<br>(mg/L) | Cloro <sub>Res</sub><br>(mg/L) <sub>i</sub> |
| Afluente <sup>1</sup> | 7.0                       | 6.0                  | 706.7                 | 17.3               | 225.5         | 0.3   | 7.0                       | 12.0                 | 702.3                 | 12.5               | 225.5         | 0.02  |
| SD                    | 3.50                      | 6.0                  | 13.20                 | 13.44              | 2.12          | 0.37  | 0.08                      | 9.54                 | 7.76                  | 5.74               | 2.12          | 0.017                                       |
| Olas                  | 8.0                       | 10.5                 | 3765.0                | 10.8               | 1212.4        | 1.3   | 8.0                       | 14.3                 | 3750.0                | 12.3               | 1201.3        | 0.03  |
| SD                    | 0.07                      | 3.11                 | 112.69                | 5.62               | 30.80         | 0.96  | 0.05                      | 4.03                 | 105.83                | 3.40               | 33.56         | 0.013                                       |
| Área infantil         | 8.2                       | 19.3                 | 2907.5                | 9.8                | 881.8         | 1.3   | 8.3                       | 22.0                 | 2807.5                | 13.3               | 900.0         | 0.04  |
| SD                    | 0.16                      | 12.45                | 80.57                 | 9.29               | 111.62        | 1.23  | 0.08                      | 10.80                | 307.07                | 5.06               | 98.11         | 0.010                                       |
| Olímpica              | 7.1                       | 10.3                 | 2372.5                | 7.0                | 762.8         | 1.3   | 6.7                       | 24.5                 | 2377.5                | 10.8               | 761.1         | 0.02  |
| SD                    | 0.94                      | 5.91                 | 22.17                 | 6.32               | 6.69          | 0.94  | 0.18                      | 22.04                | 20.62                 | 1.89               | 6.50          | 0.010                                       |
| Isla                  | 7.1                       | 13.0                 | 2255.0                | 9.5                | 722.1         | 0.8   | 7.2                       | 26.0                 | 2250.0                | 11.5               | 722.1         | 0.02  |
| SD                    | 0.17                      | 12.99                | 73.26                 | 7.19               | 23.09         | 0.73  | 0.23                      | 22.11                | 70.71                 | 5.00               | 23.09         | 0.013                                       |
| Efluente <sup>2</sup> | 7.8                       | 136.0                | 1466.8                | 37.8               | 646.0         | 1.5   | 7.7                       | 55.0                 | 2016.5                | 24.0               | 646.0         | 0.11  |
| SD                    | 0.21                      | 148.04               | 369.69                | 38.85              | 63.15         | 1.23  | 0.06                      | 30.82                | 196.08                | 12.33              | 63.15         | 0.054                                       |

<sup>1</sup> Agua de pozo;

<sup>2</sup> efluente de las piscinas.

muestreos. Se observa de forma general en las tablas 6 y 7, que la calidad del agua varía en los parámetros analizados entre el primer y segundo muestreo e inclusive en los días que se realizaron cada uno de los muestreos, debido a que la afluencia de

visitantes al parque es muy variada, y a la deficiente operación y mantenimiento de las piscinas.

Con respecto a la evaluación de la calidad del agua entre el afluente procedente del pozo y el efluente de piscinas se observa

que hay un deterioro de la calidad del agua en cada uno de los muestreos.

En cuanto a las diferencias en el comportamiento del color aparente en ambos muestreos se observan valores más altos para el primer muestreo (tabla 6), los cuales están relacionados con una mayor afluencia de visitantes al parque acuático, lo que implica mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua provenientes de los productos para protección al sol usados por los bañistas y con la deficiente operación en la limpieza de las piscinas y tratamiento del agua (figura 3). Las desviaciones estándar muestran valores mayores al promedio para cada parámetro analizado para el primer muestreo del tercer día, debido a que los valores del color aparente para el tercer día del primer muestreo fueron en UPt-Co de: pozo 183; Olas 209; Área Infantil 227; Olímpica 203; Isla 203 y efluente (piscinas) no fue confiable el valor obtenido.

Con respecto a la conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales para los dos muestreos se presenta una tendencia similar. Se observa que valores para las unidades evaluadas son más altos en el primer muestreo (tabla 6), que para el segundo muestreo (tabla 7), lo cual está en concordancia con el número de visitantes lo que demuestra que a mayor número de bañistas mayor valor de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. El aumento de los valores para la C.E. y SDT variaron entre 2.08 a 5.33 para ambos muestreos.

La turbiedad para el segundo muestreo (tabla 7) presenta valores más altos en el influente a las piscinas (pozo) (17.3 UTN y 12.5 UTN para el día primero y cuarto días, respectivamente), lo cual puede resultar incongruente pero se puede explicar considerando que en las primeras horas de la mañana el parque realiza procesos de limpieza (aspirado de piscinas), por lo que se desagua gran cantidad de sedimentos en volúmenes bajos de agua aumentando los niveles de turbiedad.

Analizando los valores de turbiedad y su diferencia entre el primer muestreo (0.4 y 2.50 UTN para el primer y cuarto día respectivamente) y el segundo muestreo (17.3 UTN y 12.5 UTN para primero y cuarto día, respectivamente), es importante mencionar que para el segundo muestreo ya había iniciado la temporada de lluvias lo que igualmente estaría afectando la turbiedad del agua.

El pH es el factor ambiental que más influye en la acción desinfectante del hipoclorito, ya que cuando éste es muy alcalino (8.0 o superior) como en el caso de la piscina de olas y área infantil, el hipoclorito baja su efectividad en un rango de 20 al 23% (Catalán 1990, Colmenares et al. 2008), por lo que no importa la cantidad de hipoclorito que se esté aplicando a las piscinas, su efectividad es demasiado baja para mantener una calidad de agua segura para los usuarios de las instalaciones. Los promedios de pH obtenidos en el primero y segundo muestreos se muestran en las tablas 6 y 7, respectivamente.

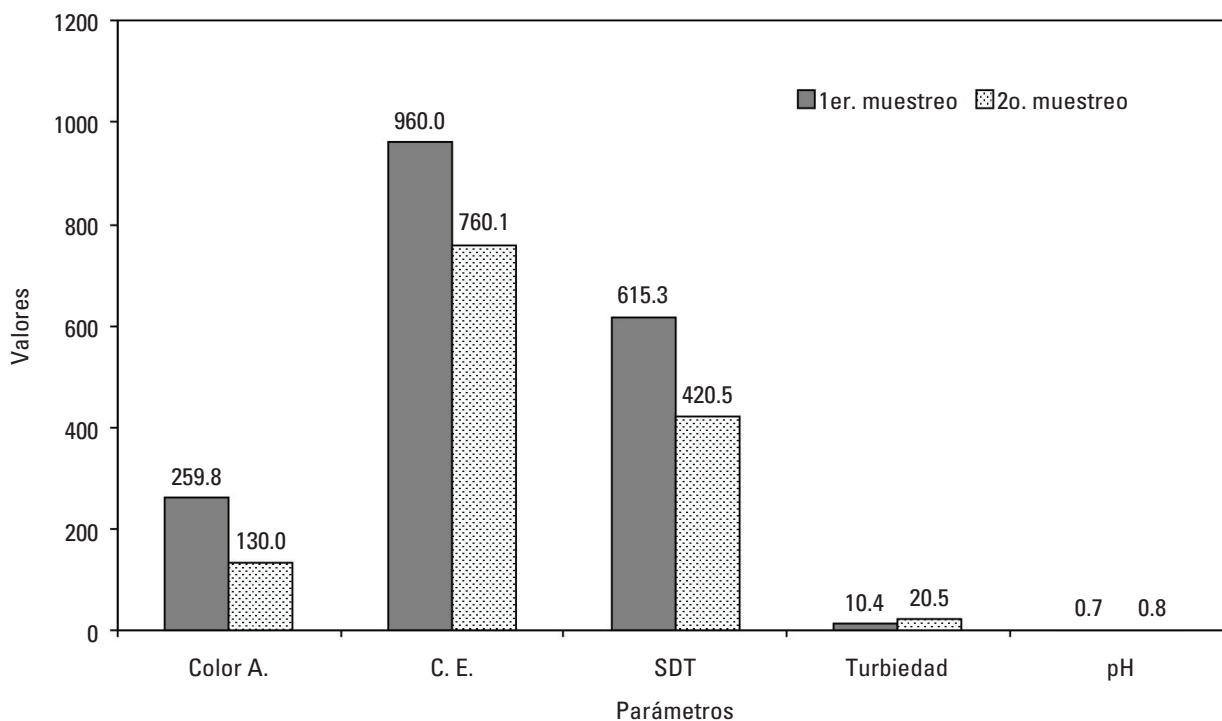


Figura 3. Valores remanentes de los parámetros: Color A, C.E, SDT y turbiedad en el afluente (pozo)-efluente (piscinas). Para el pH es el incremento en unidades de pH para el primero y segundo muestreos del día 1, en la operación del parque acuático.

La concentración de cloro residual varió en el segundo muestreo de aproximadamente de 1.3 mg/L a 0.03 mg/L del primero día al cuarto día para cada una de las piscinas (tabla 7), con lo que la desinfección no se mantiene constante y por lo tanto, la operación es deficiente.

Es importante resaltar que este tipo de establecimientos por lo regular no cuentan con manuales de operación y mantenimiento para la desinfección y funcionamiento de las piscinas. La costumbre es aplicar el hipoclorito en razón a la afluencia de visitantes que se presume llegarán y suponiendo que entre más afluencia de bañistas mayor cantidad de hipoclorito es necesario, sin tener en cuenta el pH de las piscinas, el volumen de agua en éstas y el hecho de tener o no un sistema de filtrado, ocasionando trastornos por irritación de mucosas, resequedad en la piel, etc., a los bañistas (Kelsall & Sim 2001), a la vez que se elevan los costos operativos sin observarse un beneficio específico.

La figura 4 muestra la comparación que se hace entre el afluente (pozo), efluente (piscinas) y la piscina más contaminada, que la del área Infantil. Se observa que los valores de la C.E. y SDT aumentan con respecto al agua del pozo 3.58 veces y el pH 1.2 unidades más alto.

Por último, la comparación entre las cuatro piscinas, respecto a los parámetros analizados del parque acuático, se observa nuevamente que la piscina más contaminada sigue siendo la del área infantil (figura 5).

Con base en el análisis de los resultados obtenidos a través de esta investigación, se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

1. El deterioro del recurso hídrico en el uso recreativo en parques acuáticos está directamente relacionado al número de bañistas, por lo que se hace necesario incluir en el proyecto de norma mexicana un aparte respecto a los volúmenes máximos de bañistas por metro cuadrado en piscinas públicas, con el fin de controlar este aspecto, disminuyendo los procesos de contaminación y los riesgos en salud pública para los usuarios.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se determinó que un factor altamente contaminante y que constituye la principal causa de riesgos a la salud pública es la falta de cultura del usuario al no cumplir normas básicas como el ducharse antes de entrar a las piscinas, no orinar dentro de ellas, escupir o sonarse la nariz dentro de la piscina, ingerir bebidas o alimentos tanto dentro como a los alrededores de las áreas de baño. Estos establecimientos deben mantener campañas de educación ambiental con los usuarios dándoles a conocer los riesgos en salud que pueden ocasionar las prácticas inadecuadas en estos establecimientos, con el fin de disminuir las fuentes contaminantes y evitar los riesgos en la salud.
3. Es necesario la generación de un sistema de gestión ambiental en los parques acuáticos que permita un manejo

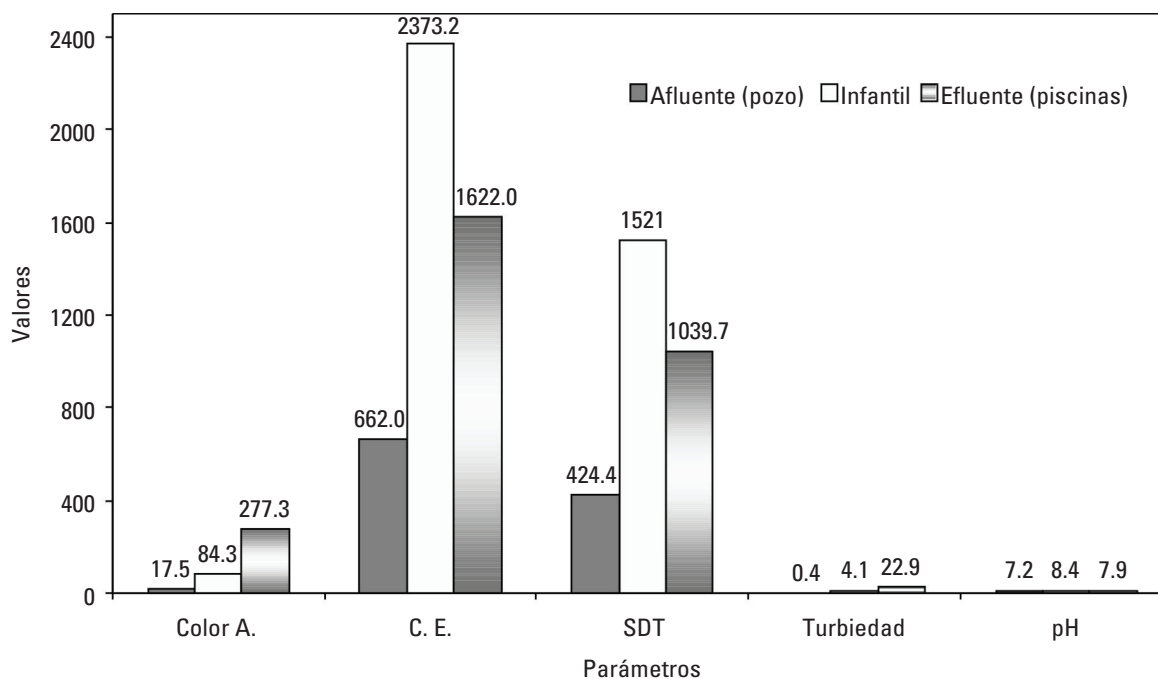


Figura 4. Comparación de los parámetros analizados en la operación del parque acuático para el afluente (pozo), área infantil y efluente (piscinas).

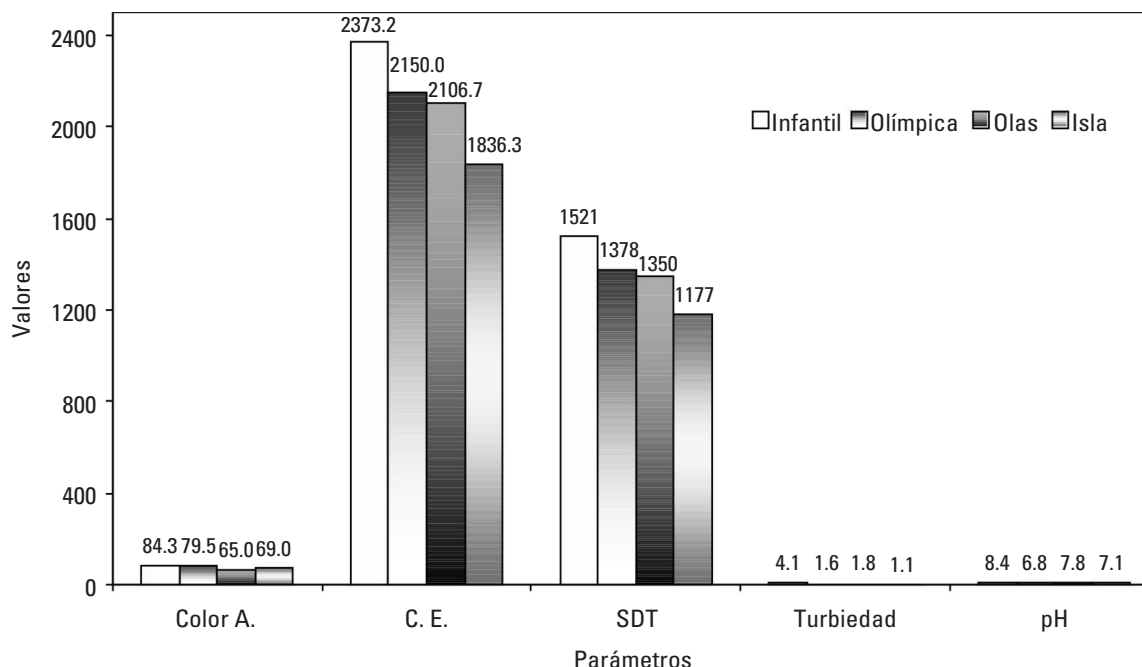


Figura 5. Comparación de la operación de las cuatro piscinas con base en los parámetros analizados en la operación del parque acuático.

más eficiente del recurso y procesos estandarizados que coadyuven al mantenimiento de la calidad del agua, para el inicio de este proceso es necesario crear una base estandarizada, la cual se puede implementar a través de una norma que establezca los procesos de desinfección y mantenimiento de piscinas públicas, especificando en estas los procedimientos según las dimensiones, características (sistemas de filtrado, recirculación del agua, materiales de construcción, etc.) de cada una de las unidades, lo que permitiría generar una obligatoriedad mínima para estos establecimientos; lo cual a su vez produciría una necesidad particular de crear los manuales operativos internos que les permitirán cumplir con mayor eficiencia la norma establecida.

- De acuerdo con los resultados obtenidos, principalmente en inventario, se observa la necesidad de que exista un ente o institución gubernamental que regule, coordine y supervise las actividades de estos establecimientos con el fin de velar por el cumplimiento de procesos que permitan minimizar el deterioro del recurso evitando un daño ambiental, así como minimizar los riesgos en salud pública de este uso recreativo.

## REFERENCIAS

- Al-Khatib, I. A. & S. Salah, 2003. Bacteriological and chemical quality of swimming pools water in developing countries: a case study in the West Bank of Palestine. *International Journal of Environmental Health Research* 13: 17-22.
- APHA (American Public Health Association). 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Fourteen edition, New York. 64-71 p.
- Blando, J. D. & P.Cohn. 2004. Exposure and health risk from swimming in outdoor pools contaminated by Trichloroethylene. *Human and Ecological Risk Assessment* 10: 717-731.
- Castor, M. L. & M. J. Beach. 2004. Reducing illness transmission from disinfected recreational water venues-swimming, diarrhea and the emergence of a new public health concern. *Pediatric Infectious Diseases Journal* 23: 866-870.
- Catalán L, J. G. 1990. *Química del Agua*. Editorial Bellisco. Madrid, España.
- Colmenares, M. C., A. Correia de Soto & C. De Sousa. 2008. Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica en piscinas del estado de Carabobo, Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* 48 (1): 73-82.
- Dufour, A. P., Evans, O., T. D. Behymer & R. Cantú. 2006. Water Ingestion During Swimming Activities in a Pool: A Pilot Study. *Journal of Water and Health* 4 (4): 425-430.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela 1988. *Norma Sanitaria para Proyectos de Construcción, Reparación, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones*. Año CX. Mes XI No. 4.044 (Extraordinaria). Decreto MSAS No. G-1.126. Caracas, Venezuela.

- Gobierno de Navarra. 1993. *Por el qué se establecen las normas sanitarias de obligado cumplimiento en piscinas de uso público*. Decreto Foral 135/1993. Boletín oficial de Navarra. No. 63. 21 de mayo de 1993. Navarra. España.
- Gobierno de Québec. 2007. Water quality in swimming pools and others artificial pools, Regulation respecting, R.Q.c.Q-2,r.18.1.02. Gazette Officielle of 31 January. Québec, Canadá.
- Gobierno de Valencia. 1994. *Por el qué se regulan las normas higiénico-sanitarias y de seguridad de las piscinas de uso colectivo y de los parques acuáticos*. Decreto 255-1994. Diciembre 7. España.
- Government of South Australia. 1991. *Standard of the operation of swimming pools and spa pools in South Australia*. Department of human services, South Australian Health Commission. December 1991. South Australia.
- Kelsall, H. L. & M. R. Sim. 2001. Skin irritation in users of brominated pools. *International Journal of Environmental Health Research* 11: 29-40.
- Kozłowska, K., Z. Polkowska & J. Namiesnik. 2006. Effect of treated swimming pool water on the levels of trihalomethanes in swimmer's urine. *Toxicological & Environmental Chemistry* 88 (2): 259-272.
- Michigan Department of Environmental Quality Drinking Water and Radiological Protection Division. 2004. *Public acts and rules governing public swimming pools*. EQC 1753 (11/2004). Michigan, U.S.A.
- Olmedo, S. M. T. 2008. Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud. *Higiene y Sanidad Ambiental* 8: 335-342.
- Reiss, R., G. P. Schoenig & G. A. Wright. 2006. Development of Factors for Estimating Swimmer's Exposures to Chemical in Swimming Pools. *Human and Ecological Risk Assessment* 12:139-156.
- Rigas, F., A. Mavridou & A. Zacharopoulos. 1998. Water quality of swimming pools in Athens area. *International Journal of Environmental Health Research* 8: 253-260.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 1980. *Aguaresiduales. Muestreo NMX-AA-003-1980*. Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. 1996. NOM-001-SEMARNAT-1996. Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1997. *Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para la aguas Residuales Tratadas que se Reusen en Servicios al Público*. NOM-003-SEMARNAT-1997. Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Salud. 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-127-SSA1-1994. Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Salud. 2002. *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo*. NOM-230-SSA1-2002. Diario Oficial de la Federación, México.
- Secretaría de Salud. 2005. Requisitos sanitarios y calidad de agua que deben cumplir las albercas. PROY-NOM-000-SSA1-2005. Proyecto de Norma Oficial Mexicana. México.

Recibido: 17 de noviembre de 2010.

Aceptado: 8 de febrero de 2011.