

## **Evaluación espacio-temporal de la calidad de las aguas en la Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón**

Space-time evaluation of the quality of waters in the Guaos-Gascón hydrographic  
basin

Alina González-Marañón<sup>1\*</sup> <http://orcid.org/0000-0003-3693-9805>

Israel Palacios-Mulgado<sup>1</sup> <http://orcid.org/0000-0002-3031-3476>

Alina Laritza Domínguez-González<sup>1</sup> <http://orcid.org/0000-0002-6931-4847>

Universidad de Oriente, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Santiago de Cuba, Cuba

\*Autor para correspondencia: correo electrónico: [agm@uo.edu.cu](mailto:agm@uo.edu.cu)

### **RESUMEN**

Las aguas provenientes de la Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón, localizada en la parte oeste de la ciudad de Santiago de Cuba, son utilizadas como zona de disposición de residuales producto de la actividad humana, afectando su composición natural y aumenta la carga contaminante que llega a la Bahía Santiaguera. Para realizar este estudio entre los meses de febrero y abril del año 2017 se analizaron 24 parámetros físico-químicos y 3 microbiológicos, en ocho estaciones de monitoreo. Los resultados obtenidos se comparan con las Normas Cubanas de agua potable, abasto, pesca y baño, encontrándose que no cumplen con las mismas. Estas corrientes hídricas están afectadas por los gérmenes patógenos: coliformes totales, fecales y E. coli. Se determina el

Índice de Calidad para Aguas Superficiales y se compara estadísticamente con estudios anteriores, existiendo diferencias significativas entre los mismos, observándose una disminución temporal, confirmando un aumento en la contaminación.

**Palabras clave:** contaminación; aguas superficiales; calidad.

## **ABSTRACT**

The waters coming from the Guaos-Gascón Hydrographic Basin, located in the western part of the city of Santiago de Cuba, are used as area of disposition of residual products of the human activity, affecting its natural composition and increasing the pollutant load that reaches Santiaguera Bay. To carry out this study were analyzed 24 physical-chemical and 3 microbiological in eight monitoring stations, between the months of February and April of the year 2017, The results obtained are compared with the Cuban Standards drinking water, supply, fishing and bathing, finding, that they don't fulfill the same ones. These hydraulic currents are affected by pathogenic germs: total coliforms, fecal and E. coli. The Quality Index for Surface Waters is determined and is statistically compared with previous studies, there being differences between them, observing a temporary decrease, confirming an increase in contamination.

**Keywords:** pollution; surface waters; quality.

Recibido: 20/7/2020

Aprobado: 10/12/2020

## **Introducción**

Las fuentes naturales de agua constituyen una parte esencial de todo ecosistema, tanto en términos cualitativos como cuantitativos, por lo que una reducción tanto en la cantidad disponible como en la calidad de la misma, provoca efectos negativos graves sobre el medio ambiente,

deteriorando la capacidad natural de absorción y de autolimpieza. Actualmente, el cambio climático y el estrés hídrico están limitando la disponibilidad de agua limpia en todo el mundo. Lo anteriormente expuesto da como resultado la pérdida de la biodiversidad de la zona afectada, disminución de los medios de subsistencia y el deterioro parcial o total de las fuentes naturales de alimentos, generando costos de limpieza extremadamente elevados. Por otro lado, pueden originar un incremento de los desastres naturales, pues las inundaciones aumentan allí donde la deforestación y la erosión del suelo impiden la neutralización natural de los efectos del agua.<sup>(1)</sup>

Los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca. La calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del agua. Si se tiene en cuenta, el análisis espacial y temporal de estas características se podrá evaluar cómo ha variado la contaminación en estos cuerpos de agua y si estos de manera natural pueden autodepurarse. De igual forma pudieran tomarse medidas para mitigar o eliminar el efecto de la contaminación a mediano o largo plazo en dichos cuerpos receptores.

Actualmente los aportes antrópicos de una variedad de fuentes suelen ser los principales factores que afectan a la mayoría de los cuerpos de agua, sobre todo aquellos cercanos a regiones muy urbanizadas, donde predomina el vertido de residuales industriales y domésticos.<sup>(2,3)</sup>

En nuestro país, específicamente en la provincia Santiago de Cuba, la falta de mantenimiento y operaciones no adecuadas, así como el deficiente control y monitoreo de la calidad de las aguas, la deficiente introducción de prácticas de producción más limpias por las principales entidades contaminadoras y la escasa cultura medioambiental de los pobladores de la zona provocan un alto nivel de contaminación en los cuerpos de agua que forman sus principales cuencas hidrográficas; Río Yarayó, Los Guaos, Gascón y El Cobre. Lo cual, sumado a los efectos de la urbanización, el desarrollo industrial y turístico, la actividad marítimo-portuaria y el empleo generalizado de las aguas de los ríos como cuerpos receptores de aguas residuales, hace que se originen cambios drásticos en los parámetros físicos y químicos los cuales, a su vez, afectan la comunidad biótica. Estos ríos, aportan un alto por ciento de la carga contaminante, fundamentalmente de origen orgánico, que llega a la bahía santiaguera, haciendo de este ecosistema uno de los de mayor fragilidad en el entorno de la ciudad.

El objetivo de este trabajo es evaluar la variación espacial y temporal de la calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón, provocada por el vertido de residuales domésticos e industriales en el período comprendido entre febrero y abril del año 2017.

## **Materiales y métodos**

### **Características del Área de Estudio**

La Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón está formada por los ríos Gascón y Los Guaos. La misma es uno de los principales focos contaminantes de la Bahía de Santiago de Cuba. El río Gascón, con una extensión de 11,6 km<sup>2</sup>, limita al sur con la Bahía de Santiago de Cuba, al norte con Alturas de las Cubas (Sierra de Boniato), al este con la cuenca del río Yarayó y al oeste la cuenca del río Los Guaos.<sup>(4)</sup> A lo largo de la cuenca se encuentran varios núcleos poblacionales de la ciudad. Los focos contaminantes fundamentales son el Centro Urbano del “Distrito José Martí”, la Fábrica de Asbesto Cemento y la Fábrica de Yeso.<sup>(4,5)</sup> Existen por lo menos 15 focos contaminantes o puntos de vertimiento. Este río es de poco caudal, con pocas posibilidades de autodepuración a corto plazo.<sup>(6)</sup>

El río Los Guaos tiene una extensión de 34,5 km<sup>2</sup>, la cuenca limita al norte con las cuencas de los ríos Ullao y El Cocal (Sierra de Boniato), al sur por la Bahía de Santiago de Cuba, al este por la ciudad de Santiago de Cuba y al oeste por la cuenca del río Parada.<sup>(4)</sup> Este recurso hídrico es uno de los más pequeños de la provincia y a la vez de los más contaminados. Es un río de poco caudal, corta longitud y mínimas posibilidades de autodepuración. Presenta 16 focos contaminantes entre los que se destacan los Combinados de Hormigón “Los Guaos I y II”, el Complejo Industrial “Celia Sánchez Manduley” y el Centro Genético Porcino.<sup>(4,6)</sup>

### **Localización de las estaciones de muestreo**

Se efectuaron tres muestreos en período de seca con periodicidad mensual. Los mismos fueron realizados aguas abajo, a una profundidad de 10 a 15 cm máximo. Se fijaron ocho estaciones de monitoreo considerando factores topográficos, geológicos e hidrológicos, y los puntos más

relevantes de descarga de contaminantes al río, la facilidad de acceso a los mismos y la representatividad.<sup>(7)</sup> Las estaciones de muestreo se ubicaron dentro del área de la Cuenca hidrográfica Guaos-Gascón, (figura 1). La localización de las estaciones de muestreo se realizó según la metodología establecida en las Normas ISO 5667-1, ISO 5667-3, ISO 5667-9 e ISO 5667-10.<sup>(8-11)</sup> En la tabla 1 se describen las características de cada estación de muestreo.



**Fig.1-** Localización de las estaciones de muestreo en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba

**Tabla 1-** Descripción de los puntos de muestreo en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba

| Estación          | Ubicación  | Descripción   |
|-------------------|--|---|
| <b>Río Gascón</b> |  |   |
| 1                 | A 1,5 km del vertedero municipal (20°3,90N, 78°50; 763W), punto cercano al nacimiento del río. | Área de superficie boscosa, abundante vegetación en la orilla, aguas cristalinas, fondo arenoso-pedregoso con abundante limo, presencia de vida acuática. El agua se utiliza para consumo humano, riego de cultivos y baño de personas y animales |
| 2                 | A 60 m del puente del Distrito Urbano José Martí (Micro 8) (20°3, 142N; 75°50,703W).           | Abundante vegetación, fondo arenoso-pedregoso con presencia de limo. Vida acuática. Casas en las orillas y terrenos particulares para la siembra de hortalizas. Vertido de residuales   |

|                      |  |  |
|----------------------|--|--|
|                      |  | domésticos a través de tuberías de desagüe. Aguas arriba el agua se utiliza para baño de animales, lavado de vehículos y ropa, riego de cultivos   |
| 3                    | A 30 m del puente del reparto Marimón (20°2, 716N; 75°50, 886W).   | Vegetación en la orilla del río. Vertido de desechos de diversos orígenes. Cercano al río, se acumulan residuos sólidos (basura) por los pobladores de la zona y una oficina de recolección de materias primas. En este punto existe un desagüe de aguas residuales domésticas, escasa presencia de vida acuática macroscópica. El agua es utilizada para la confección artesanal de ladrillos y riego de cultivos |
| 4                    | Proximidades del combinado Textil Celia Sánchez Manduley (20°2, 581N; 75°50, 956W).                                  | Zona muy antropizada. Abundante vegetación y presencia de desechos de origen doméstico en la orilla del río y dentro del mismo, no se presenta vida acuática macroscópica evidente, fondo con abundante limo   |
| <b>Río Los Guaos</b> |  |  |
| 5                    | A 2 km aproximadamente del poblado El Castillito, punto cercano al nacimiento del río                                | Área de superficie boscosa, aguas cristalinas, abundante vegetación, fondo arenoso-pedregoso con abundante limo. Presencia de vida acuática macroscópica. El agua se utiliza para consumo humano, riego de cultivo y baño de personas y animales   |
| 6                    | A 200 m antes de que viertan los residuales del Centro Genético Porcino (20°40,83N; 75°52,340W).                     | Aguas cristalinas, fondo arcilloso con abundante limo y escasa presencia de vida acuática macroscópica   |
| 7                    | A 500 m de la Estación 6 (20°4,031N; 75°52,285W), en el puente del poblado “El Castillito”                           | Situada después del vertido de las aguas residuales del Centro Genético Porcino. Presenta malezas en las orillas, fondo arenoso-pedregoso con presencia de limo  |
| 8                    | A 1,5 km del Camino Viejo del Cobre (20°3,008N; 75°51,890W), después que vierten los residuales la Cantera Los Guaos | Extensa área de superficie boscosa, abundante vegetación en la orilla del río; es la zona del río de mayor caudal y cauce más ancho. Aguas turbias, presencia de sólidos en suspensión, con limo en el fondo. Abundante vida acuática  |

Para la toma de muestras se tuvo en cuenta la metodología establecida en el Standard Methods, <sup>(12)</sup> empleándose envases de plástico de 1500 y 500 mL de capacidad debidamente etiquetados. La temperatura (T) se determinó *in situ* y las muestras se tomaron superficialmente para evitar el contacto con los sedimentos en cada una de las estaciones de muestreo.

## Parámetros analizados

Se determinaron 27 parámetros (24 físico-químicos y tres microbiológicos) para evaluar la presencia de contaminantes. En la tabla 2 se muestran las determinaciones realizadas y el método analítico seleccionado. Los análisis se realizaron según el Standard Methods.<sup>(12)</sup> Los resultados obtenidos fueron comparados con las normas cubanas de “Agua potable. Requisitos sanitarios” (NC 827:2012)<sup>(13)</sup>, “Fuentes de abastecimiento de agua” (NC 1021:2014)<sup>(14)</sup>, “Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones” (NC 25:19994)<sup>(15)</sup> y “Lugares de baño en costas y en masas interiores. Requisitos higiénico sanitarios” (NC 22:1999).<sup>(16)</sup>

**Tabla 2-** Parámetros analizados y métodos analíticos empleados.

**Tabla 2-** Parámetros analizados y métodos analíticos empleados.

| Parámetros   | Métodos analíticos            |
|--|-------------------------------|
| pH   | Potenciométrico               |
| Conductividad  | Conductimétrico               |
| Turbidez   | Nefelométrico                 |
| Oxígeno Disuelto (OD), Alcalinidad, Dureza Total (DT), Calcio, Magnesio, Sólidos Sedimentables (SS), Cloruro | Volumétrico                   |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sulfato, Fosfato, Nitrato, Nitrito, Amonio                                 | Espectrofotometría UV-Visible |
| Sodio, Potasio   | Fotometría de llama           |
| Sólidos Totales (ST), Fijos (STF), Volátiles (STV) y Sólidos Totales Disueltos (STD)                         | Gravimétrico                  |
| Metales (Al, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn)  | ICP-OES                       |
| Coliformes Totales, Fecales y <i>Escherichia coli</i>  | Microbiológico (NMP/100mL)    |

## Índice de calidad

Dada la diversidad de contaminantes en las aguas, resulta útil disponer de un índice que refleje las condiciones generales de la calidad de un cuerpo de agua, es decir, un índice de calidad. Entre los indicadores más aceptados se destaca uno desarrollado por autores cubanos, denominado Índice de Calidad para Aguas Superficiales (ICA-S). Es un indicador compuesto por 9 parámetros de calidad de las aguas.<sup>(17)</sup> Se calcula según la ecuación 1.

$$ICA-S = \sum_{i=1}^{i=9} W_i * Q_i \quad (1)$$

El ICA-S asume un valor de 0 a 100, asociado a diferentes categorías de calidad, las que se muestran en la tabla 3. Las aguas pueden ser clasificadas según su posible uso, para abasto y recreación.

**Tabla 3-** Clasificación de la calidad de agua superficial de acuerdo al valor del ICA-S.

| Clase | Valor del ICA-S | Clasificación del Cuerpo de Agua |
|-------|-----------------|----------------------------------|
| 1     | 90-100          | Excelente calidad                |
| 2     | 80-89,99        | Aceptable calidad                |
| 3     | 70-79,99        | Medianamente contaminada         |
| 4     | 60-69,99        | Contaminada                      |
| 5     | Menor de 59,99  | Altamente contaminada            |

*Leyenda:* Tomado de Valcarcel y colaboradores <sup>(17)</sup>

## Métodos estadísticos

Los resultados experimentales fueron procesados empleando Microsoft Office Excel 2019 y con ayuda de los Sistemas Estadísticos STATGRAPHIC Centurion y el ORIGIN 8.0. Para el resumen de la información fueron utilizados como medida de la tendencia central, la media y como medida de dispersión, la desviación estándar (DE). Una vez comprobado que los resultados obtenidos en los análisis no cumplían los criterios de normalidad y homogeneidad, se aplicaron las pruebas de la estadística inferencial y multivariada. Para el análisis estadístico de los distintos parámetros a lo largo del río se efectuó el Test de Kruskal -Wallis, para determinar la existencia o no de diferencias estadísticas con un nivel de significación de  $p < 0,05$ .



## Resultados y discusión

### Parámetros no específicos

En la tabla 4 se reflejan los valores obtenidos en las diferentes estaciones de muestreo para los parámetros no específicos en la cuenca hidrográfica. Se observa que la T, el pH y los SS no influyen en la contaminación de la cuenca. Los valores más elevados de turbidez se obtienen en las estaciones más contaminadas (4, 7 y 8) (tabla 4); existiendo diferencias significativas entre las estaciones en ambos ríos (Gascón p-valor=0,024, y Los Guaos p-valor=0,042).

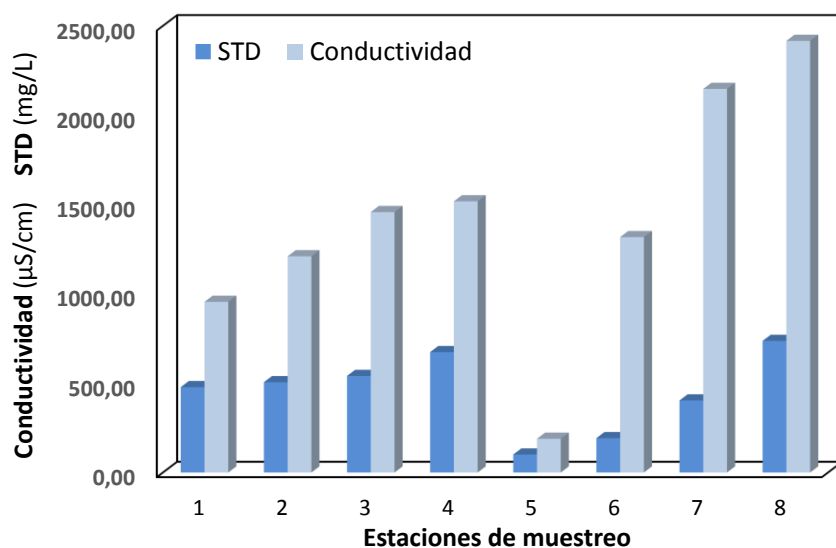
La conductividad presentó valores desde 189,03  $\mu\text{S/cm}$  hasta 2 416,11  $\mu\text{S/cm}$  en la cuenca hidrográfica, con valores medios de 1 285,32  $\mu\text{S/cm}$  para el río Gascón y 1517  $\mu\text{S/cm}$  para el río Los Guaos. Estos resultados indican, que las aguas de esta zona presentan salinidad elevada <sup>(18)</sup>, excepto en la estación 5 donde los valores son bajos. Este parámetro se encuentra dentro del rango normal para aguas dulces (100 a 2000  $\mu\text{S/cm}$ ) según Sardiñas y otros <sup>(19)</sup>, excepto en las estaciones 7 y 8 (2 147,11 y 2 416,11  $\mu\text{S/cm}$ , respectivamente). Los altos valores de conductividad en estas estaciones se corresponden con las mayores concentraciones de iones sulfato e hidrógenocarbonato. Estos valores pueden explicarse como efecto, por un lado, del bajo volumen de agua de los ríos que propicia una mayor concentración de las sustancias disueltas. Por otro lado, debido a las transformaciones de los contaminantes mediante procesos de oxidación que modifican el estado de carbonatación del agua, con sus correspondientes variaciones en los equilibrios iónicos de solubilización y de precipitación, y en la redisolución de iones, provocada por las transformaciones que sufre la materia orgánica al degradarse.<sup>(18)</sup>

**Tabla 4-** Valores medios obtenidos para el parámetro no específico en las estaciones de monitoreo estudiadas.

| Parámetros     | Estaciones Río Gascón |            |            |            |
|----------------|-----------------------|------------|------------|------------|
|                | 1                     | 2          | 3          | 4          |
| T (°C)         | 26,00±0,00            | 25,00±0,00 | 25,33±0,57 | 24,00±0,00 |
| pH (u)         | 7,59±0,28             | 7,40±0,09  | 7,24±0,37  | 7,53±0,43  |
| Turbidez (NTU) | 3,53±0,30             | 4,54±0,50  | 3,90±0,38  | 9,48±0,59  |

|                |                                 |            |            |            |
|----------------|---------------------------------|------------|------------|------------|
| SS (mL/L)      | 0,20±0,01                       | 0,20±0,01  | 0,11±0,01  | 0,6±0,01   |
| Parámetros     | <b>Estaciones Río Los Guaos</b> |            |            |            |
|                | <b>5</b>                        | <b>6</b>   | <b>7</b>   | <b>8</b>   |
| T (°C)         | 25,33±0,58                      | 25,67±0,58 | 25,67±0,58 | 25,67±0,58 |
| pH (u)         | 7,63±0,03                       | 7,87±0,05  | 7,86±0,04  | 7,86±0,04  |
| Turbidez (NTU) | 3,96±0,19                       | 3,34±1,17  | 13,88±1,50 | 9,68±1,31  |
| SS (mL/L)      | -                               | 0,20±0,00  | 0,93±0,35  | 0,20±0,03  |

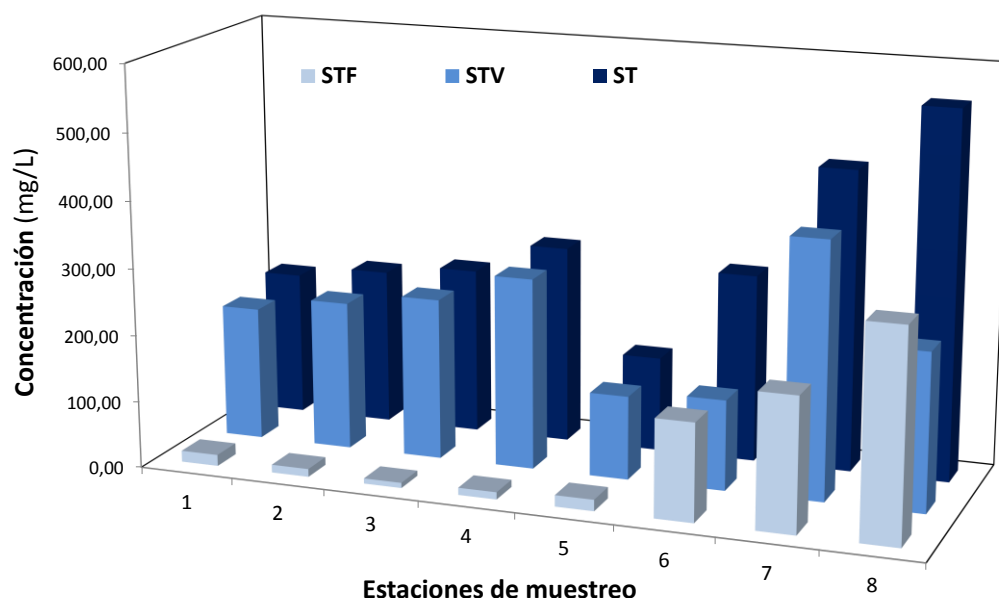
Como se observa en la figura 2 no se aprecian grandes diferencias en las estaciones de la 1 a la 4 y de la 6 a la 8 lo cual se corrobora con el Test de Kruskal-Wallis para un nivel de significación del 95 %. No ocurriendo así en la estación 5 (p-Valor=0,03) con respecto al resto de las estaciones. Los valores obtenidos para los STD se muestran en la figura 2, los mismos no representan peligro de contaminación según lo establecido en las NC 827:2012 y NC 1021:2014.



**Fig. 2-** Variación de la conductividad (μS/cm) y de la concentración de STD (mg/L) en la Cuenca hidrográfica Guaos-Gascón

En la figura 3 se presentan las variaciones de las concentraciones promedio de los sólidos totales, totales fijos y totales volátiles en ambos ríos. Las mismas varían en los intervalos entre 142 -549 mg/L, 8-313 mg/L y 125 -286 mg/L para los ST, STF y STV, respectivamente. Las

estaciones 1 y 5 presentan los menores contenidos de ST, considerándose zonas poco perturbadas antropogénicamente. Se observa claramente como a partir de las mismas, las concentraciones se incrementan debido a los vertidos de contaminantes en los cauces de ambos ríos. En las estaciones de la 1 a la 7 predomina la materia orgánica y en la estación 8 la inorgánica, lo cual se debe a las características de los focos contaminantes de la zona (tabla 1). Resultados similares fueron obtenidos en 2011 y 2014 por Marañón y otros.<sup>(6)</sup>

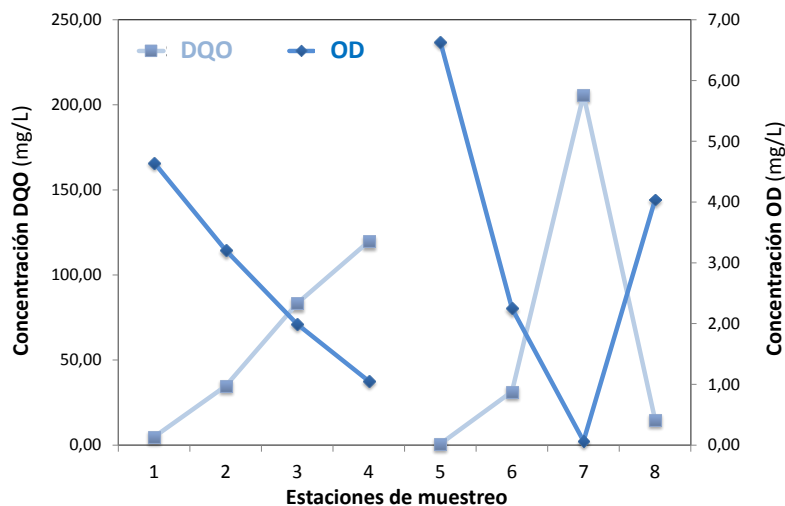


**Fig. 3-**Variación de los sólidos totales (ST), sólidos totales fijos (STF) y sólidos totales volátiles (STV) en las estaciones de muestreo.

La disminución de oxígeno disuelto en ecosistemas acuáticos afecta su calidad y representa un factor determinante para la biodiversidad.<sup>(20,21)</sup> Las concentraciones promedio de OD se reflejan en la figura 4 para las ocho estaciones de muestreo. Se puede plantear que solo las estaciones 1 y 5 cumplen con lo establecido en la NC 1021:2014 (4 mg/L), lo que confirma su selección para evaluar zonas del río poco perturbadas por la acción del hombre, con 79,35 % y 58,50 % de saturación de oxígeno, respectivamente. Del análisis de la NC 25:1999 se obtiene que las estaciones 2, 6 y 8 presentan calidad dudosa y el resto mala calidad (<2 mg/L). En ambos casos, la concentración de OD disminuye hacia las zonas más contaminadas por consumo del mismo, durante los procesos de oxidación microbiológica y química de materiales en

descomposición.<sup>(21,22)</sup> Por otro lado, la poca pendiente del cauce unido a una baja profundidad facilita la pérdida de OD como resultado del calentamiento solar. En las estaciones de la 7 a la 8 se observa una recuperación de la corriente de agua, lo cual puede deberse a la distancia que existe entre ambas (3,5 km), al mayor caudal y turbulencia existente en la zona, mayor pendiente del cauce y la vegetación circundante.<sup>(2,20,23)</sup> Existen diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones 1 y 5 con las 2, 3, 4, 6, 7 y 8 (p-valor=0,03).

Los valores de DQO oscilan entre 0,72 y 205,94 mg/L como se observa en la figura 4. Las aguas de las estaciones 1, 5 y 8 se consideran de calidad buena (valores por debajo de 15 mg/L). El resto se clasifica de calidad mala (mayor de 30 mg/L), según lo reportado en la NC 25:1999. Esto indica un alto contenido de materia orgánica susceptible a oxidarse, en la mayoría de los casos hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  <sup>(24)</sup> y está relacionado con lo explicado con anterioridad para el oxígeno disuelto. Las aguas del río son inadecuadas para baño según la NC 22:1999 (concentraciones por encima de 2 mg/L). Como era de esperar estos parámetros presentan comportamientos inversos (figura 4). Existen diferencias significativas entre las estaciones 1 y 2, y a su vez entre la 1 con la 3 y 4 para el río Gascón (p-valor=0,04), y entre las estaciones 1 con la 6, 7 y 8 (p-valor=0,04) para el río Los Guaos.



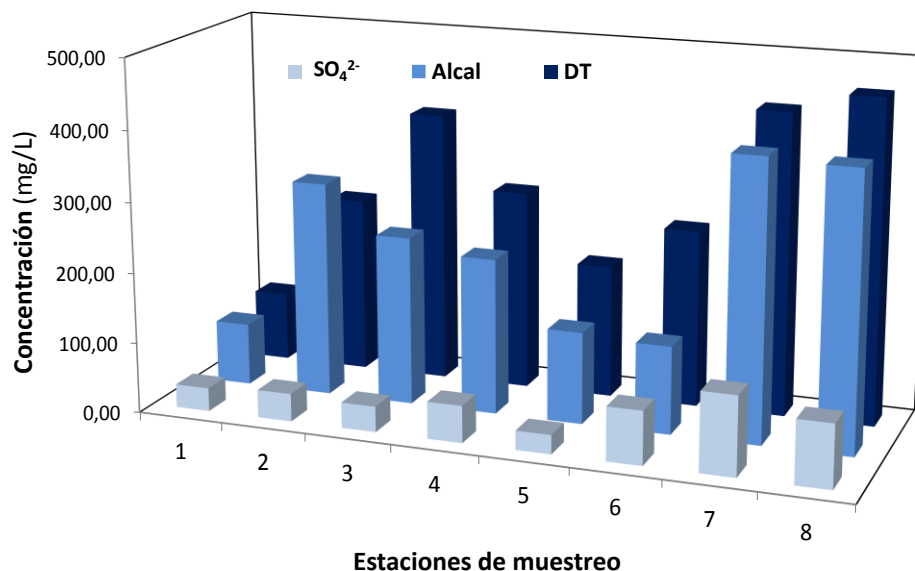
**Fig. 4-** Relación entre el OD y la DQO para el conjunto de los muestreos en las estaciones de monitoreo estudiadas

## Parámetros específicos. Componentes mayoritarios

Teniendo en cuenta el valor de pH de las aguas de la cuenca se puede plantear que en las mismas prevalece la especie  $\text{HCO}_3^-$ , teniendo en cuenta, el diagrama de distribución de especies carbonatadas en función del pH.<sup>(18)</sup> La concentración media a lo largo de la cuenca fue de 249,31 mg/L y oscila en el intervalo de 88,12 a 396,10 mg/L. Estas aguas se clasifican de alcalinidad media (100–250 mg/L; estaciones 3, 4, 5 y 6) a alcalinidad fuerte y muy fuerte (250 a mayores de 350mg/L; estaciones 2, 7 y 8). Existen diferencias estadísticamente significativas entre la estación 1 con la 2, 3 y 4 (p-valor=0,02) y las estaciones 5 y 6 con la 7 y 8 (p-valor=0,05).

Por lo general, en las aguas superficiales la presencia de iones sulfato prevalece con respecto a los otros compuestos del azufre, que solo suelen aparecer debido a la contaminación por aguas residuales. La concentración del mismo en la cuenca oscila entre 27 – 112 mg/L (figura 5). Los valores más elevados se encuentran en la estación 8, lo cual puede deberse al vertido de los residuales del Centro Genético Porcino, sin embargo, las aguas cumplen con la NC 827:2012 y NC 1021:2014, que establecen como concentración máxima permisible 400 mg/L. Existen diferencias estadísticas entre las estaciones 1, 2 y 3 con la 4 (p-valor=0,02), y la 5 con la 6, 7 y 8 (p-valor=0,01).

La dureza total a lo largo de la cuenca varió entre 98 y 458 mg/L (figura 5). Las concentraciones en las estaciones de la 1 a la 6 se encuentran por debajo de lo reportado por las NC de abasto y agua potable (400 mg/L), no siendo así para las estaciones 7 y 8. Existen diferencias estadísticamente significativas entre la estación 1 con la 2, 3 y 4 para el río Gascón (p-valor=0,03), y entre la 5 y 6 con la 7 y 8 (p-valor=0,04). Las aguas de la cuenca se caracterizan por ser muy duras, concentraciones por encima de los 180 mg/L.<sup>(25)</sup> En la figura 5 se presentan las concentraciones promedio por estación de la alcalinidad (como  $\text{HCO}_3^-$ ), dureza total y sulfato, donde se aprecia que la dureza de las aguas de la cuenca es bicarbonatada y no sulfatada, pudiendo clasificarse como aguas con dureza temporal, lo cual concuerda con lo reportado por Marañón y otros.<sup>(6)</sup>



**Fig. 5-** Comportamiento de la dureza total, los sulfatos y el hidrógenocarbonato en las estaciones de muestreo

Las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  (tabla 5) a lo largo de la cuenca están por debajo del Límite Máximo Admisible (LMA) según NC 827:2012 y NC 1021:2014, por lo que no indican contaminación. Las concentraciones de potasio en la cuenca se encuentran en el intervalo de 0,6 a 22 mg/L. Todas las estaciones se encuentran por encima del nivel máximo permisible según normativas internacionales ( $1\text{mg/L}$ )<sup>(4)</sup>, excepto la estación 1. Existen diferencias entre las estaciones 1, 2 y 3 con la 4 ( $p\text{-valor}=0,02$ ) en el río Gascón y entre las estaciones 5, 6 con la 7 y 8 de Los Guaos ( $p\text{-valor}=0,02$ ).

**Tabla 5-** Valores de concentración promedio obtenidos para los componentes mayoritarios y minoritarios en las estaciones de muestreo estudiadas.

| Parámetros                    | Estaciones Río Gascón |            |            |            |
|-------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
|                               | 1                     | 2          | 3          | 4          |
| $\text{Ca}^{2+}(\text{mg/L})$ | 51,74±3,94            | 70,88±3,17 | 75,83±2,40 | 63,50±3,67 |
| $\text{Mg}^{2+}(\text{mg/L})$ | 23,15±0,63            | 24,87±1,42 | 28,56±1,59 | 29,13±1,71 |
| $\text{Na}^+(\text{mg/L})$    | 51,23±1,73            | 56,30±0,66 | 61,93±1,05 | 63,48±1,71 |
| $\text{K}^+(\text{mg/L})$     | 0,61±0,26             | 2,88±2,54  | 4,73±2,51  | 9,39±2,31  |
| $\text{Cl}^-(\text{mg/L})$    | 50,62±1,99            | 65,25±2,75 | 91,70±1,87 | 95,18±0,94 |
| $\text{NO}_3^-(\text{mg/L})$  | 0,29±0,15             | 63,35±2,03 | 70,12±1,60 | 64,35±1,76 |
| $\text{NO}_2^-(\text{mg/L})$  | 0,57±0,45             | 3,19±0,66  | 4,32±0,98  | 10,27±0,29 |

| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | -                        | 0,05±0,01  | 0,03±0,02   | 0,15±0,17  |
|--------------------------------------|--------------------------|------------|-------------|------------|
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L) | 0,95±0,09                | 1,93±0,95  | 3,72±1,15   | 5,79±1,11  |
| Parámetros                           | Estaciones Río Los Guaos |            |             |            |
|                                      | 5                        | 6          | 7           | 8          |
| Ca <sup>2+</sup> (mg/L)              | 33,54±3,44               | 51,69±4,62 | 150,31±3,10 | 97,92±3,36 |
| Mg <sup>2+</sup> (mg/L)              | 14,24±0,89               | 37,31±0,57 | 58,96±0,52  | 51,32±1,55 |
| Na <sup>+</sup> (mg/L)               | 49,79±0,80               | 49,50±1,34 | 62,36±0,29  | 60,37±0,98 |
| K <sup>+</sup> (mg/L)                | 1,72±0,23                | 1,07±0,65  | 21,98±2,60  | 4,07±2,79  |
| Cl <sup>-</sup> (mg/L)               | 46,02±3,79               | 49,50±1,34 | 62,36±2,29  | 60,37±1,98 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0,74±2,56                | 2,65±0,50  | 221,90±3,90 | 51,65±1,65 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)  | 0,33±0,33                | 0,62±0,62  | 106,01±1,01 | 38,59±1,59 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)  | 0,04±0,00                | 0,05±0,00  | 0,03±0,01   | 0,03±0,02  |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L) | 1,00±0,09                | 1,47±0,65  | 13,21±0,97  | 3,17±0,46  |

### Componentes minoritarios

El nitrógeno en el agua se encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos. Teniendo en cuenta, las normas cubanas empleadas en esta investigación, niveles de nitrato por encima de 80 mg/L superan los límites recomendados para que un agua se utilice para la pesca (NC 25:1999). Por otro lado, se aceptan como aguas de buena calidad para el abasto a la población y como agua potable aquellas que presentan concentraciones del mismo por debajo de 45 mg/L. En este trabajo el rango de concentración de nitrato fluctuó de 0,29 a 222 mg/L. Los valores obtenidos se encuentran por encima del LMA propuesto por la NC 827:2012 y NC1021:2014, considerándose aguas de muy mala calidad, excepto en las estaciones 1, 5 y 6. Estos resultados confirman el aporte sistemático de residuos albañales a los cuerpos acuíferos <sup>(25,26)</sup>, y demuestran el alto valor contaminante de los residuales del Centro Genético Porcino. Solo las estaciones 1, 5 y 6 son recomendables para la pesca ya que tienen buena calidad según lo establecido para este parámetro (<10 mg/L).

La presencia de nitritos es indicadora de contaminación fecal reciente. En aguas bien oxigenadas el nivel de nitrito no suele superar 0,1 mg/L y concentraciones por encima de 0,01 mg/L podrían indicar contaminación fecal elevada.<sup>(18)</sup> En toda la cuenca hidrográfica las concentraciones superan el LMA según la NC 827:2012 (0,01 mg/L) con valores desde 0,3 hasta 106 mg/L. Las aguas de las estaciones 1, 5 y 6 se clasifican de calidad dudosa para la pesca (0,1-3 mg/L) y el resto como aguas de mala calidad >3mg/L). Los valores elevados en la estación 7 se deben a que

alrededor y sobre el cauce del río se depositan los desechos vertidos por el Centro Genético Porcino que, aunque presenta un sistema de tratamiento para sus residuales, el mismo no cumple con la calidad para ser vertidos al cuerpo receptor (río Los Guaos).

El amonio está íntimamente relacionado con descargas recientes de desagües, de ahí que su detección en cantidad significativa en el agua se asocie con contaminación albañal reciente.<sup>(27,28)</sup>

En toda la cuenca, las concentraciones se encuentran por encima de 0,01 mg/L, con valores desde 0,03 hasta 0,15 mg/L, lo cual indica contaminación fecal en toda su extensión. Sin embargo, cumplen con el LMA establecido por las NC 827:2012 (0,5 mg/L) y se clasifican como de buena calidad para uso pesquero (NC 25:1999). La cuenca Guaos-Gascón posee una grave alteración en su composición natural presentando una contaminación albañal y fecal en ambos ríos. Existen diferencias para el caso de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en el río Gascón (p-valor= 0,05; 0,02 y 0,03) respectivamente y en el río Los Guaos existen diferencias solo entre  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  en las estaciones 5 y 6 con la 7 y 8 (p-valor= 0,05 y 0,02), respectivamente.

La concentración de iones fosfato osciló entre 0,9 y 13 mg/L (tabla 5). La misma aumenta aguas abajo en ambos ríos. Según los índices obligatorios para cuerpos de agua dulce de uso pesquero (NC 25:1999) las aguas de las estaciones 1, 2, 5 y 6 son de calidad dudosa (1-3 mg/L), y las estaciones 3, 4, 7 y 8 se clasifican de calidad mala (>3 mg/L). Estos valores pueden deberse, fundamentalmente, a detergentes y fertilizantes que se incorporan a la corriente hídrica durante su recorrido, mostrándose la mayor concentración en la estación 7, lo que concuerda con el aporte del residual que vierte el Genético Porcino.<sup>(5,25)</sup> En el río Gascón existen diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones 1, 2 y 3 con la 4 (p-valor=0,02); y en el río Los Guaos entre las estaciones 5, 6 y 8 con la 7 (p-valor=0,05).

## Metales

Todas las concentraciones de los iones metálicos (Al, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn) se encuentran por debajo del LMA según lo establecido en la NC 827: 2012, por lo que no indican contaminación en el río. No existen diferencias estadísticamente significativas.



## Parámetros microbiológicos

En la tabla 6 se presentan los resultados correspondientes a los parámetros microbiológicos. Del análisis de los mismos se puede plantear que todas las estaciones presentan contaminación albañal severa, excepto la 1 y 5 (estaciones cercanas al nacimiento de ambos ríos). En las estaciones 4 y 7 el NMP/100mL de coliformes totales y fecales coinciden, lo que advierte una alta concentración de materia fecal. Las aguas de la cuenca no están aptas para baño (NC 22:1999), para la pesca (NC 25:1999), como agua potable y para abasto (NC 827:2012; NC 1021:2014, respectivamente). Aunque las aguas de la cuenca están afectadas por descargas albañales sin tratar, los valores de *Escherichia coli*, indican que esta no representa un peligro, pues se encuentra por debajo de la dosis infectiva ( $10^6$  microorganismos).<sup>(29,30)</sup>

**Tabla 6-** Resultados correspondientes a los parámetros microbiológicos.

| Método (NMP/100 mL) | Estaciones de muestreo |                    |                    |                    |       |                   |                    |                    |
|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------------------|--------------------|--------------------|
|                     | Gascón                 |                    |                    |                    |       | Los Guaos         |                    |                    |
|                     | 1                      | 2                  | 3                  | 4                  | 5     | 6                 | 7                  | 8                  |
| <b>C. Totales</b>   | 95                     | 22x10 <sup>3</sup> | 14x10 <sup>3</sup> | 16x10 <sup>3</sup> | 200   | 5x10 <sup>3</sup> | 43x10 <sup>3</sup> | 16x10 <sup>3</sup> |
| <b>C. Fecales</b>   | 15                     | 94                 | 120                | 16x10 <sup>3</sup> | 18    | 150               | 43x10 <sup>3</sup> | 145                |
| <b>E. Coli</b>      | < 1,8                  | 1,8                | 9,7                | 14,8               | < 1,8 | 2,7               | 5,4                | 2,5                |

## Índice de calidad

Las aguas se clasificaron según su calidad y posible uso para el abasto y la recreación como se muestra en la tabla 7. Las estaciones 1 y 5 se clasifican como medianamente contaminadas y de calidad aceptable, respectivamente. Debido a esto, sus aguas pueden ser utilizables, resultado que se corresponde con su selección como zonas para evaluar poca perturbación antropogénica. Las estaciones de la 2 a la 4 y de la 6 a la 8 se clasifican como altamente contaminadas, lo que confirma el resultado de los parámetros fuera de norma, y se recomienda que no sean utilizadas para abasto ni con fines recreativos.

**Tabla 7-** Clasificación de la calidad de agua superficial y su posible uso de acuerdo al valor del ICA-S.

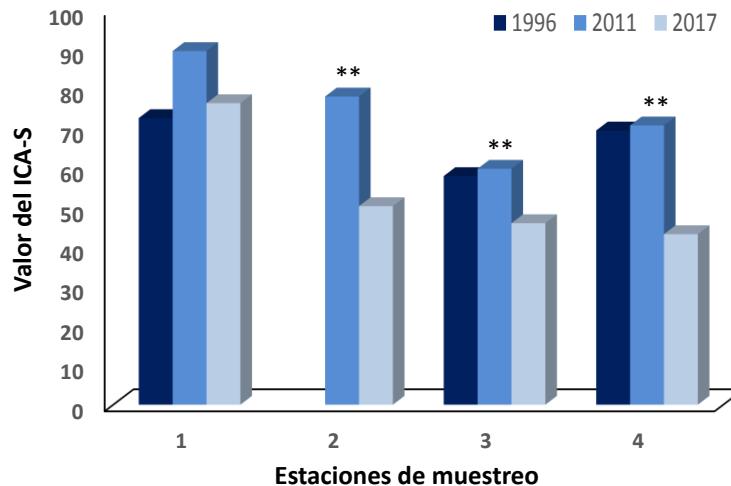
| Estación | Valor del ICA-S | Clasificación del cuerpo de agua | Clasificación según su uso |                 |
|----------|-----------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
|          |                 |                                  | Para abasto                | Para recreación |
| 1        | 76,25           | Medianamente contaminada         | Utilizable con tratamiento | Utilizable      |
| 2        | 50,21           | Altamente contaminada            | No utilizable              | No utilizable   |
| 3        | 45,90           | Altamente contaminada            | No utilizable              | No utilizable   |
| 4        | 43,12           | Altamente contaminada            | No utilizable              | No utilizable   |
| 5        | 84,53           | Aceptable calidad                | Utilizable                 | Utilizable      |
| 6        | 52,68           | Altamente contaminada            | No utilizable              | No utilizable   |
| 7        | 34,22           | Altamente contaminada            | No utilizable              | No utilizable   |
| 8        | 55,79           | Altamente contaminada            | No utilizable              | No utilizable   |

### Comparación entre los ICA-S

Para evaluar cómo ha variado el nivel de contaminación en la cuenca, se realizó un análisis espacial mediante la comparación de los valores del ICA-S. En la figura 6 se muestran de forma espacial dichos valores para el río Gascón, por estaciones de muestreo, y en tres épocas diferentes (1996, 2011, 2017). Como se observa, en la estación 1 existen diferencias estadísticamente significativas entre los años 1996 y 2017 con el 2011 ( $p$ -valor= 0,01), encontrándose los menores valores en el año 1996 (72,48) lo cual indica una ligera mejoría en el estado de calidad de la misma. Diferente comportamiento se observa para las estaciones 2, 3 y 4 donde existen diferencias estadísticamente significativas ( $p$ -valor= 0,03) entre los años 1996 y 2011 con el 2017, manifestándose en un descenso en el valor del ICA-S en este último con respecto a los otros años. Por lo que se puede plantear que la calidad de las aguas del río Gascón, de forma general, ha disminuido desde el 1996 hasta la fecha para un 95 % de confianza. Existen diferencias estadísticamente significativas ( $p$ -valor= 0,02) entre las cuatro estaciones de muestreo, en los tres años estudiados.

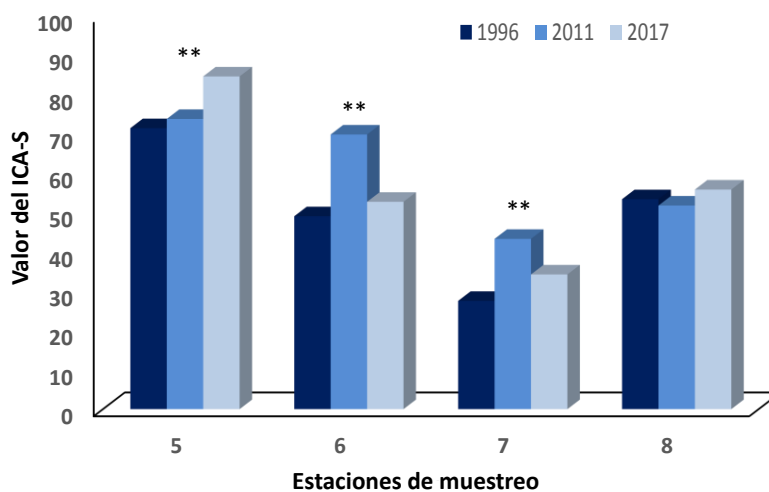
Para el río Los Guaos, en las estaciones 5, 6 y 7 existen diferencias estadísticamente significativas entre los años analizados ( $p$ -valor=0,04) (figura 7), los mayores valores aparecen en la estación 5 para el año 2017 (84,53), lo cual demuestra que ha existido al igual que en el río

Gascón una ligera mejoría. Sin embargo, en las estaciones 6 y 7 el comportamiento no es similar. Los menores valores del ICA-S se encuentran en el año 2017. En la estación 8 no existen diferencias estadísticamente significativas entre los años estudiados. A manera de resumen, se puede plantear que la estación 5 se clasifica como medianamente contaminada y el resto de las estaciones como altamente contaminadas desde el 1996.



**Fig. 6-** Valores del ICA-S para las estaciones del río Gascón durante los años 1996, 2011 y 2017

Los (\*\*) indican diferencias estadísticamente significativas entre los años 1996 y 2011 con el año 2017 a un nivel de significación de  $p < 0,05$ .



**Fig. 7-** Valores del ICA-S para las estaciones del río Los Guaos durante los años 1996, 2011 y 2017

En la tabla 7 los (\*\*) indican diferencias estadísticamente significativas entre los años 1996 y 2011 con el año 2017 a un nivel de significación de  $p < 0,05$ .

## Conclusiones

Teniendo en cuenta la caracterización físico-química y microbiológica de las aguas de la Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón se evidencia el elevado grado de contaminación de ambos ríos. Sus aguas no son aptas como agua potable, para abasto a la población, uso pesquero y para baño. Se demuestra el aporte sistemático de residuales albañales en los cuerpos de agua debido a las altas concentraciones de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*. Las aguas de la cuenca se consideran como altamente contaminadas según el valor del ICA-S, por lo que se recomienda desestimar su uso. Las aguas correspondientes a los nacimientos de ambos ríos pueden ser utilizadas previo tratamiento. Al compararlo con la data histórica la calidad de estas aguas ha disminuido de forma considerable.

## Referencias bibliográficas

1. UNESCO Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos. 2019, Francia. 198. ISBN 978-92-3-300108-4
2. FONTOVA M., *et.al* “Recursos hídricos en Cuba: una visión”. En: Dorticós del Río P.L., Arellano Acosta M., García Fernández J.M. (Eds.) *Diagnóstico del agua en las Américas*, 2012, 245-265. ISBN: 978-607-9217-04-4
3. FLORES C., DEL ANGEL E., FRÍAS D. y GÓMEZ A. “Evaluation of Physicochemical Parameters and Heavy Metals in Water and Surface Sediment in the Ilusiones Lagoon, Tabasco”. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*. 2018, **9**(2), 33-47. ISSN: 0186-4076
4. GONZÁLEZ A., PALACIOS I., ÁBALOS A. “Impacto ambiental del vertido de residuales en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba”. *Revista Cubana Química*. 2020.

**32** (1), 154-171. e-ISSN: 2224-5421

5. ARIAS, T. “Caracterización de algunas de las principales fuentes contaminantes de la bahía de Santiago de Cuba y sus consecuencias en el Medio Ambiente”. *Revista Tecnología Química*. 2008, **28** (2), 79-89. ISSN 2224-6185

6. MARAÑÓN-REYES, A., PÉREZ-POMPA, N., DIP-GANDARILLA, A., GONZÁLEZ-MARAÑÓN, A., PÉREZ-SILVA, R., RUIZ-ESTRELLA, A. “Evaluación temporal de la calidad de las aguas del río Los Guaos de Santiago de Cuba”. *Revista Cubana de Química*. 2014, **26** (2), 15-125. ISSN: 2224-5421

7. GONZÁLEZ-MARAÑÓN, A., MARAÑÓN-REYES, A., PÉREZ-POMPA, N., REYES-TUR, B., DÍAZ-AGUIRRE, S., PÉREZ-SILVA, R., RUIZ-ESTRELLA, A. Influencia del cierre de la Mina Grande en la calidad de las aguas del río Cobre de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*. 2009, **21** (2), 37-44. ISSN: 2224-5421.

8. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5667-1, *Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques*. Tercera Edición. Ginebra, Suiza. 2006. ISBN: 92-4-154696-4.

9. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5667-3, *Water quality - Sampling - Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples*. Tercera Edición. Ginebra, Suiza. 2006, ISBN: 92-4-154696-4

10. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5667-9, *Water quality - Sampling - Part 9: Guidance on sampling from marine waters*. Tercera Edición. Ginebra, Suiza. 2006. ISBN: 92-4-154696-4

11. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5667-10, *Water quality - Sampling - Part 10: Guidance on sampling of waste waters*. Tercera Edición. Ginebra, Suiza. 2006. ISBN: 92-4-154696-4

12. RICE, E., BAIRD, R., EATON, A. (Eds.) *Standard methods for examination of water and wastewater*. 23aed. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, Washington, DC. 2017. ISBN: 9780875532875.

13. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN. NC/CTN 3 DE GESTIÓN AMBIENTAL. Agua potable. Requisitos sanitarios, NC 827:2012. 2da Edición. La Habana, Cuba, 2012.

14. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. COMITÉ TÉCNICO DE

NORMALIZACIÓN. NC/CTN 3 DE GESTIÓN AMBIENTAL. Fuentes de abastecimiento de agua, NC 1021:2014, La Habana, Cuba, 2014.

15. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN. NC/CTN 3 DE GESTIÓN AMBIENTAL. Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones, NC 25:1999, La Habana, Cuba, 1999.

16. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN. NC/CTN 3 DE GESTIÓN AMBIENTAL. Lugares de baño encostas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénicos sanitarios, NC 22:1999, La Habana, Cuba, 1999.

17. VALCARCEL L, ROJAS N, FRÍAS D., “El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Cub@”. *Revista Medio Ambiente y Desarrollo*. 2009, (16), 2. ISSN-1683-8904

18. OROZCO C, GONZÁLEZ M, PÉREZ A, ALFAYATE J., RODRÍGUEZ, F. *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*. Pearson Educación, Madrid. España. 2002. ISBN: 84-9732-178-2

19. SARDIÑAS O, CHIROLES S, FENÁNDEZ M, HERNÁNDEZ Y, PERÉZ A., “Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba)”. *Revista Higiene Sanidad Ambiente*. 2006, **6**, 202-206. ISSN 1579-1734

20. MORA-OROZCO C., *et.al* “Variaciones espacio-temporales y modelaje de la concentración de oxígeno disuelto en el lago de Chapala, México”. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 2018, **9** (1), 39-52. ISSN 0187-8336.

21. NULL, S. E., MOUZON, N. R., & ELMORE, L. R. “Dissolved oxygen, stream temperature, and fish habitat response to environmental water purchases”. *Journal of Environmental Management*. 2017, **197**, 559-570. ISSN: 0301-4797

22. CHÁVEZ E, ALAYÓN G, LÓPEZ P, GARCÍA A, MIRAVEST B. “Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores”. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 2015, **37** (2), 110-119. ISSN:1680-0338

23. RAMÍREZ P, BELTRÁN R, SÁNCHEZ J. “Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México”. *Hidrobiológica*, 2012, **22** (1), 94-98. ISSN: 0188-8897

24. MANAHAN S. *Química Ambiental*. Primera Edición. España: Editorial Reverte S.A, 2007. ISBN: 84-291-7907-0

25. CERÓN-VIVAS A., GAMARRA Y., VILLAMIZAR M., RESTREPO R., ARENAS R. “Water quality of Mamarramos stream. The Sanctuary of Fauna and Flora Iguaque, Colombia”. *Tecnología y ciencias del agua*. 2019, **10** (6), 90-116. ISSN: 2007-2422
26. BRENES R., CADENA A., RUIZ-GUERRERO R. “Monitoreo de la concentración de nitrato en el acuífero del Valle de Puebla”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2011, **27** (4), 313-321. ISSN: 0188-4999
27. SPIRO T.G. STIGLIANI W.M. *Química Medioambiental*. Segunda Edición: Editorial Pearson Educacion, Prentice Hall, 2003. ISBN: 9788420539058
28. CONNELL, D. W. *Basic Concepts of Environmental Chemistry*. Primera edición: CRC Press. New York, 2005. ISBN: 9780-203-02538-3
29. CABRAL J. “Water microbiology. Bacterial pathogens and water”. *International Journal Environmental Public Health*. 2010, 7(10), 3567-3703. ISSN: 1660-4601
30. MEGCHÚN-GARCÍA J., LANDEROS-SÁNCHEZ C., SOTO-ESTRADA A., CASTAÑEDA-CHÁVEZ M., MARTÍNEZ-DÁVILA J. *et al.* “Total coliforms and *Escherichia coli* in surface and subsurface water from a sugarcane agroecosystem in Veracruz, México”. *Journal of Agricultural Science*. 2015, 7 (6), 110-119. ISSN: 2156-8561

### **Conflicto de interés**

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

### **Contribución de los autores**

Alina González Marañón: concepción y diseño metodológico de la investigación, participación activa en la discusión de los resultados y redacción del manuscrito. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Israel Palacios Mulgado: experimentación y participación activa en la discusión de los resultados. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Alina Laritza Domínguez González: experimentación y participación activa en la discusión de los resultados. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.