

Variación temporal del nivel de contaminación en el río San Juan

Temporal variation of the pollution level in the San Juan river

Sandra Crombet-Grillet^{1*}, <https://orcid.org/0000-0002-3887-4286>

Arelis Abalos-Rodríguez², <https://orcid.org/0000-0002-0007-5825>

Norma Elena Pérez-Pompa², <https://orcid.org/0000-0002-4279-9709>

Lissethy Hernández-Nazario³, <https://orcid.org/0009-0002-8046-4106>

Saray Castillo-Moncada³, <https://orcid.org/0009-0003-1057-5035>

¹Departamento de Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

²Centro de Estudio de Biotecnología Ambiental (CEBI), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

³Cadeysa, Empresa Cárnica Santiago, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para la correspondencia: scrombet@uo.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se evalúa la variación temporal del nivel de contaminación del río San Juan, a partir del monitoreo del año 2019 y la media histórica registrada desde 1991 hasta 2007. Fueron establecidas seis estaciones de monitoreo, teniendo en cuenta los principales focos contaminantes. Las muestras se recolectaron con periodicidad mensual y se determinaron 16 parámetros ambientales. Los resultados fueron comparados con normas internacionales, normas cubanas y la media histórica. El procesamiento de los datos, se ejecutó mediante el empleo del programa Statistica versión 8.0. Estas aguas presentaron un alto contenido de materia orgánica (DQO: 15,8-62,1 mg/L; DBO₅: 6,9-27 mg/L), afectadas por organismos indicadores de contaminación fecal: coliformes totales y fecales (>1000 NMP/100 mL). Las aguas del río San Juan no están aptas para el consumo humano, abasto a la población y como agua para baño, la contaminación del río no se ha incrementado, sino que ha disminuido en varias estaciones.

Palabras clave: contaminación; parámetros ambientales; focos contaminantes.

ABSTRACT

In this work, the level of contamination of the waters of the San Juan river was evaluated. Six sampling stations were established. Sixteen environmental parameters were determined in 2019. The results were compared with international standards, Cuban Standards: NC 22:1999, NC 1021:2014 and NC 827:2017, and with the registered historical average. Data processing was carried out using the Statistica program version 8.0. These waters had a high organic matter content (COD: 15.8-62.1 mg/L; BOD5: 6.9-27 mg/L), affected by fecal contamination indicator organisms: total and fecal coliforms (>1000 MPN/100 mL). The comparison with the historical average showed that the contamination of the river has not increased, but rather has decreased in several stations. The San Juan river waters are not suitable for human consumption, supply to the population and as water for bathing.

Keywords: pollution; environmental parameters; polluting sources.

Recibido: 5/9/2023

Aprobado: 5/11/2023

Introducción

El agua es un recurso natural importante para los procesos biológicos de los seres vivos, imprescindible para el desarrollo de la vida en la tierra. Así mismo presenta valor económico en las actividades como agricultura, ganadería y agua potable. En la actualidad muchos sistemas acuáticos superficiales presentan alteraciones en la calidad del agua, debido a vertimientos de residuos domésticos e industriales, influyendo en la salud y en las actividades antropogénicas, afectando la red trófica del sistema. ^(1,2,3)

En Cuba la vigilancia de los cuerpos hídricos se ha incrementado por el interés de la conservación de este recurso, siendo una parte importante dentro del sector estratégico “Logística integrada a Redes e Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias” establecido por el Estado cubano en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030. Este sector comprende todas las acciones relacionadas con el uso eficiente y reutilización del agua dulce, así como el uso de agua de mar para el consumo agrícola, industrial y humano. Sin embargo, las aguas superficiales y subterráneas pueden contener niveles superiores de concentración de los parámetros ambientales: demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, iones nitrato, nitrito, amonio y

otros; debido al vertimiento y mal manejo de residuales industriales y domésticos en cuerpos receptores específicos.

El río San Juan se ubica geográficamente en la ciudad de Santiago de Cuba, la segunda más poblada de Cuba (Fig.1). Este río es uno de los cuerpos hídricos más importantes de la ciudad y una de las mayores reservas de agua subterránea ⁽⁴⁾. Sin embargo, factores como el crecimiento acelerado de la ciudad, las transformaciones del suelo por el desarrollo urbano en las áreas de mayor vulnerabilidad y la falta de un sistema de alcantarillado aceptable en todos los poblados aledaños, desde su fundación hasta nuestros días, han contribuido a que el río y sus afluentes sean receptores de los residuales líquidos de gran parte de la ciudad, de las industrias cercanas y centros agrícolas. Esta situación ha traído como consecuencia un deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca, poniendo en peligro las aguas subterráneas de las cuales se abastecen una gran parte de los habitantes de Santiago de Cuba ⁽⁵⁾, con un impacto ambiental, social y económico.



Fig. 1- Localización del Río San Juan de Santiago de Cuba (Foto satelital tomada 20/02/2023)

El cauce principal del río San Juan tiene su nacimiento en las elevaciones de Cuavitas y las alturas de Boniato conocida como La Purísima (20.0843, -75.8016) (Fig.1). Además, posee importantes aportes de sus afluentes, los ríos: Miel, Maisí y Seco, procedentes de la zona de La Gran Piedra e incorporándose desde el margen oriental de la cuenca.

El río recibe aguas residuales de varias zonas de la ciudad a través de zanjas, desde el Consejo Popular de Boniato hasta la desembocadura de Aguadores, detectándose más de 100 focos contaminantes de orígenes diversos, impactando en la calidad ambiental del acuatorio. En los últimos tiempos, debido a: la implementación de la Estrategia Ambiental Nacional (EAN), la introducción de prácticas de producción más limpia y las nuevas alternativas para el tratamiento y aprovechamiento económico de residuales en las industrias aledañas, se ha disminuido la carga contaminante de los residuales de varios de los focos contaminantes, antes de su disposición final. Este río ha sido estudiado en diferentes puntos, empleando diversas técnicas, tanto biológicas como fisicoquímicas, evidenciando la contaminación que posee. ^(4,5,6,7,8)

Debido a la importancia que posee el Río San Juan para la ciudad de Santiago de Cuba como fuente de abasto, se hace imperativo evaluar la calidad actual que poseen sus aguas, debido al impacto causado por los focos contaminantes que vierten en el mismo. Es por ello que en este trabajo se evalúa la variación temporal del nivel de contaminación del río San Juan, a partir del monitoreo del año 2019 y la media histórica registrada desde 1991 hasta 2007.

Materiales y métodos

Localización y características de las estaciones de muestreo: Se fijaron seis estaciones de muestreo (Fig. 2) establecidas por el Centro de Energía Solar en los años comprendidos entre 1991 y 2007, sobre la base de facilidad de acceso a los mismos y la representatividad.

Estación 1 (E-1)- Dos Bocas (20.0820, -75.8018): Zona cercana al nacimiento del río. Las actividades que más se realizan son: baño de personas, animales y vertimiento de residuos sólidos en las cercanías. El principal foco contaminante son los residuales de los asentamientos poblacionales aledaños.

Estación 2 (E-2)- Boniato (20.0794, -75.8024): Posee fuerte antropización, desprovista de vegetación. Presenta acumulación histórica de sedimentos terrígenos, arenas y arcillas originadas por la erosión fluvial. Área de pastoreo de ganado de autoconsumo y bebedero de animales

domésticos. Los principales focos contaminantes son: Consejo Popular de San Vicente, Centro Penitenciario “Boniato” y Consejo Popular de Boniato.

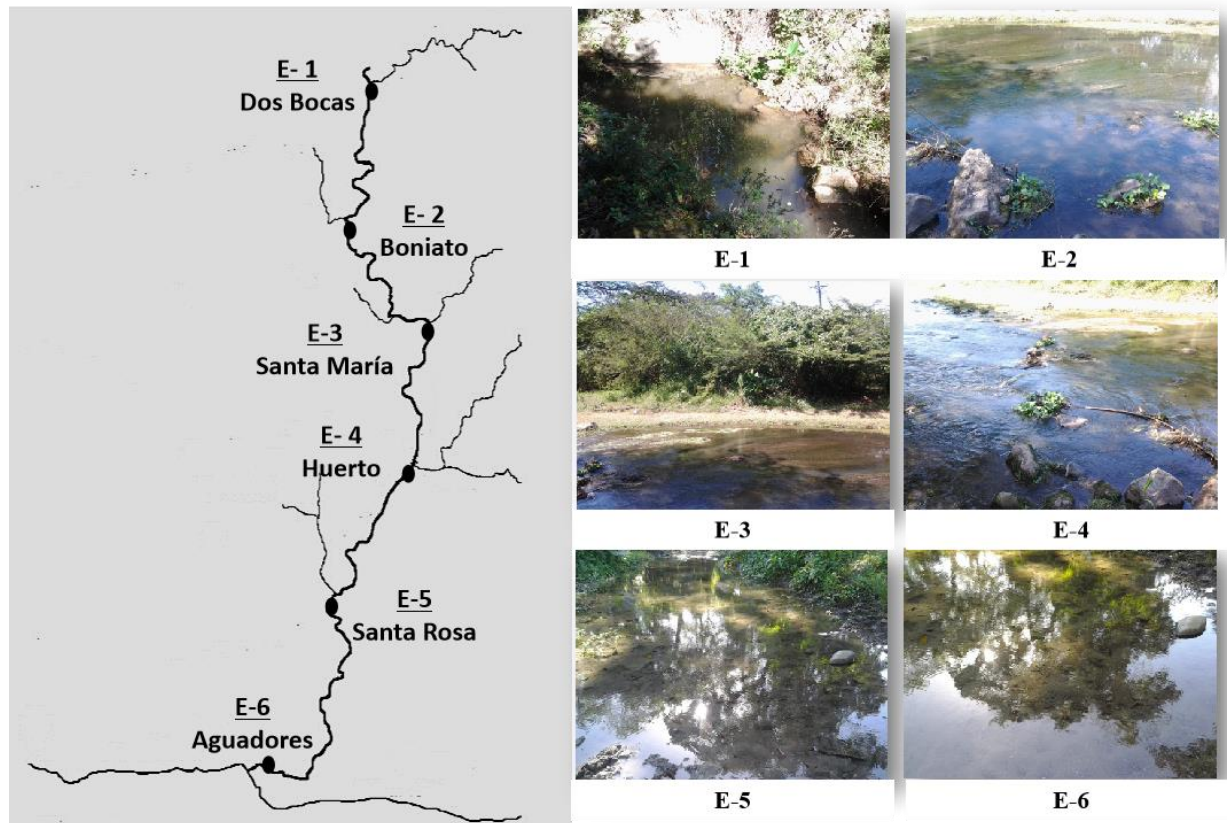


Fig. 2- Localización de las estaciones de muestreos del río San Juan de Santiago de Cuba

Estación 3 (E-3)-Santa María (20.0591, -75.8070): Cauce paralelo a la autopista, con márgenes de relativa pendiente y presencia de un suelo rico en humus, asociado a actividades agrícolas. El lecho del río es arenoso-arcilloso. Los principales focos contaminantes son: Poblado "Cuabitas", Vaquería "Ketty, Fábrica de Conservas “La Santiaguera y Consejo Popular Santa María. La toma de muestra se realizó a una profundidad de 70 a 80 cm de la superficie del río.

Estación 4 (E-4) -Huerto (20.0170, -75.7932): zona transformada por la actividad agrícola. Suelo arcilloso-arenoso, con poca elevación de sus bordes, pero de gran inclinación, facilitando la esorrentía laminar en épocas de lluvia. El río posee poco caudal y una relativa profundidad. Entre los principales focos se encuentran: Consejo Popular del Caney, las vaquerías Sabana

Ingenio, Niña Bonita y Millares, Matadero de aves "Ducureaux", Facultad #2 de Medicina, Banco de Sangre, Mini- industria "La Micaela", Pasteurizadora y RETOMED.

Estación 5 (E-5) -Santa Rosa (19.9956, -75.8095): sitio altamente antropizado, márgenes arcillosas-arenosas desprovistas de vegetación. Las márgenes del río son bajas, pero con relativa pendiente, que facilita los procesos de erosión lateral en épocas de lluvia. El caudal en esta zona es medio, aunque en períodos de lluvia puede ser intenso. Los focos contaminantes que más inciden son: Fábrica de Compotas "El Néctar, Fábrica de Conservas "La Avispa, Fábrica de Gases Industriales, Reparto "Abel Santamaría" y otros repartos localizados en este sector de la cuenca.

Estación 6 (E-6) -Aguadores (19.9649, -75.8155): las márgenes son muy bajas, ocurriendo en periodos de lluvia desbordamiento del cauce del río. Se observa sedimentación salina en las márgenes arcillosas. La margen Oeste está desprovista de vegetación y la Este presenta formación de manglar, confirmando la influencia marítima. Los principales focos contaminantes lo componen: Los Repartos Vista Alegre y Terrazas de la Ciudad de Santiago de Cuba, residuales del huerto escolar, contaminantes de todos los afluentes del río San Juan y Zanja del Zoológico con parte de los residuales de los Repartos Vista Alegre y Terrazas.

Muestreo y conservación de muestras: se realizaron cinco muestreos durante el año 2019, en seis estaciones de muestreo a lo largo del río, en el horario de 7:00 am-4:00 pm. La toma de muestra se realizó a una profundidad de 70 a 80 cm de la superficie del agua para las estaciones E-3, E-4 y E-5; mientras que para E-1 fue entre 8 a 10 cm y para E-6 de 10-15 cm, debido a la baja profundidad en estas partes del río. Se tomaron muestras simples en las diferentes estaciones, se utilizaron envases de plástico de 1.5 L de capacidad y frascos ámbar de 120 mL y 250 mL. La toma y conservación de las mismas se realizó mediante la metodología establecida por APHA (2017) ⁽⁹⁾, debidamente etiquetadas, parafinadas y preservadas en el lugar de la toma de la muestra. La temperatura se determinó in situ y para el caso del oxígeno se fijó en el campo para evitar errores negativos.

Parámetros analizados: en el estudio químico-físico y bacteriológico de las aguas superficiales del río San Juan se determinaron los siguientes parámetros ambientales: Temperatura (T), pH, Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Alcalinidad Total (HCO_3^-), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Oxígeno Disuelto (OD), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-), Amonio (NH_4^+), Cloruro (Cl^-), Dureza total (DT),

Sulfato (SO_4^{2-}), Turbiedad, Bacterias Coliformes totales (BCT) y Bacterias Coliformes Fecales (BCF).

Normativa empleada: Para el análisis de los resultados y determinar los posibles usos de estas aguas se tuvieron en cuenta los límites establecidos por las normas cubanas: NC 22:1999 agua para baño ⁽¹⁰⁾, NC 1021:2014 agua para abasto ⁽¹¹⁾ y NC 827:2017 Agua potable ⁽¹²⁾. Además, algunos parámetros se compararon con datos reportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (ONUAA) ⁽¹³⁾ y las guías para el saneamiento y la salud ⁽¹⁴⁾. El procesamiento estadístico de los datos se realizó en el programa Statistica versión 8.0.

Resultados y discusión

Las muestras analizadas, en las diferentes estaciones, fueron incoloras e inodoras, sin presencia de material flotante. Los resultados obtenidos para los parámetros físico-químicos en cada una de las estaciones de muestreo, son presentados en el tabla 1.

Tabla 1. Valores medios de los parámetros físico-químicos determinados a las aguas del río San Juan.

Parámetros	ESTACIONES						NC	NC	NC
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	827:2017	1021:2014	22:1999
pH (U)	8,1±0,1	8,1±0,1	8±0,2	8,1±0,2	8,3±0,1	7,9±0,3	6,5-8,5	6,5-8,5	6,1-8,9
T (°C)	20±0,0	23±2,7	22±2,7	23±2,7	25±0,0	26±1,1	NR	25	NR
CE (uS/m)	647±57	751±8	744±85	743±139	670±16	789±96	NR	NR	NR
SDT (mg/L)	414±36,6	481±5,4	476±54,6	475±88,9	429±10	505±61,6	1 000	1 000	NR
OD (mg/L)	6,7±2,5	9,6±3,2	9,2±1,0	10,4±33,0	8,6±2,8	9,4±3,9	NR	4 (LMP)	70% Sat.
DQO (mg/L)	15,8±3,4	33,5±14,1	29,0±10,3	34,0±7,7	58,0±7,5	62,1±13,1	NP	4	2 (LMA)
DBO ₅ (mg/L)	6,9±1,5	14,6±6,1	12,6±4,5	14,8±3,3	25,2±3,3	27,0±5,7	NP	NP	3
Turbiedad (UTN)	0,4±0,0	1,41±1,9	1,9±0,9	1,5±0,2	0,8±0,6	2,0±0,8	5	10	NP
Cl ⁻ (mg/L)	24,3±2,7	28±5,2	28,1±1,9	54,1±2,3	30,7±0,9	55,6±2,3	250	250	NP
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	48±5,7	49±5,5	96±5,5	152±11,0	154±8,9	166±8,9	400	400	NP
DT (mg/L)	190±22,4	310±22	330±27,4	252±2,4	240±22,4	280±27,4	400	400	NP
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,01±0,0	0,02±0,01	0,01±	0,02±	0,13±	2,26±	0,01	0,01	NP
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,4±0,3	0,3±0,02	0,4±0,4	3,5±0,7	7,4±0,5	7,5 ±0,4	0,5	NP	NP
NO ₃ ⁻ (mg/L)	4,6±0,5	15,8±2,5	21,94±1,8	45,3±0,8	88,3±4,6	90±1,1	45	45	NP

NP: No presente, **NR:** No reportada, **LMP:** Límite mínimo permisible, **LMA:** Límite máximo admisible, **E:** Estaciones

En los muestreos realizados los valores de T oscilaron entre (22-25 °C) encontrándose los más altos en la E-6, esto puede deberse al aumento de la temperatura ambiental al encontrarse en una zona de menor elevación del terreno. Este parámetro no constituye una fuente de contaminación, pues esta se considera si su valor es superior a 25 °C, según la NC 1021:2014.

La conductividad media a lo largo del río es de 726,92 µS/cm y oscila entre 667 y 789 µS/cm, lo que indica que las aguas de esta cuenca presentan una cantidad considerable de electrolitos

disueltos. Sin embargo, el valor obtenido no influye en la calidad del agua para ser empleada para riego agrícola. La ONUAA recomienda hasta 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para ser utilizadas las aguas para este fin.⁽¹³⁾

Las concentraciones promedio de ST a lo largo del río se encuentran entre 555 -756 mg/L, evidenciando variabilidad en los valores de este parámetro, lo que era de esperar por los diversos focos que vierten en las estaciones y las diferentes características que poseen. Los sólidos presentes en las aguas del río San Juan están mayoritariamente disueltos, el contenido de STD osciló entre 414-505 mg/L, encontrándose dentro de los límites establecidos por las normas cubanas evaluadas. Los valores de Turbiedad, a lo largo del río, cumplen con los requisitos establecidos por la NC 827:2017 y NC 1021:1014 e incumple con la NC 22:1999, a pesar de que las muestras de agua del río San Juan fueron tomadas en época de lluvias frecuentes.

Los mayores valores de DQO fueron detectados en las últimas estaciones 5 y 6 (58,0 y 62,1 mg/L, respectivamente) (Fig. 3), indicando un alto contenido de materia orgánica susceptible a oxidarse. Al ser las últimas estaciones, este comportamiento puede estar dado por la acumulación de contaminantes y el vertido de las aguas residuales del Zoológico y los repartos Vista Alegre y Terrazas. La E-1, a pesar de encontrarse próximo nacimiento del río se encuentra contaminada, presentando valores de DQO cuatro veces por encima del LMP por NC 1021:1014. La materia orgánica presente en el río se encuentra principalmente disuelta y con una pequeña parte particulada, con constituyentes tales como: carbono, nitrógeno, fósforo, patógenos y sólidos suspendidos.

Según Orozco *et al.* (2008) el agua está contaminada cuando la $\text{DBO}_5 > 8 \text{ mg/L O}_2$ y presenta pureza intermedia cuando la DBO_5 oscila de 3-5 mg/L O_2 , además, si la relación entre $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,2$ los compuestos presentes son no biodegradables y si $\text{DBO}_5/\text{DQO} > 0,6$ son biodegradables.⁽¹⁵⁾ Los valores obtenidos de DBO_5 en las estaciones oscilan entre 6,9 y 27 mg/L, resultando estas aguas inadecuadas para ser empleada para baño, abasto y como agua potable (Fig.3). Teniendo en cuenta la clasificación establecida por Orozco *et al.* (2008), solo la E-1 posee una pureza intermedia, las aguas del resto de las estaciones se consideran contaminadas. Las aguas a partir de E-2 presentan una relación DBO_5/DQO de 0.4, los compuestos presentes se consideran ligeramente biodegradables, por lo que se pueden aplicar tratamientos biológicos para el mejoramiento de su calidad.

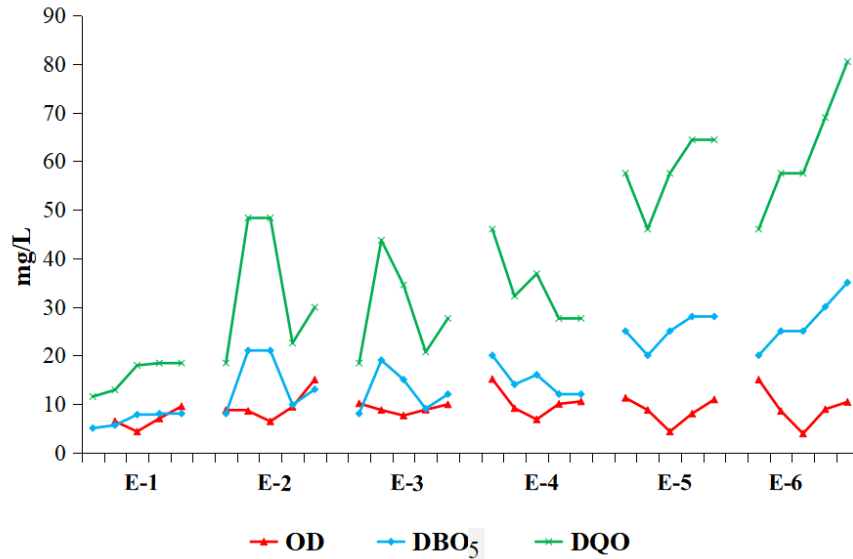


Fig. 3-Relación entre el OD, DQO y DBO₅ por muestreo en las estaciones de monitoreo

Los valores correspondientes al OD (6,7-10,4 mg O₂/L) en las estaciones analizadas se encuentran por encima del LMP (4 mg/L) que establece la NC 1021:2014 (Tabla 1), existiendo suficiente OD para mantener y conservar la vida acuática de las especies más sensibles. Este parámetro experimenta un importante aumento a partir de E-2 (Fig. 3), superior al valor de saturación (8,3 mg O₂/L a 25 °C) ⁽¹⁵⁾, resultando un % de saturación de O₂ promedio en estas estaciones de 113,3 %, evidenciando una sobresaturación de oxígeno e incumpliendo con la NC 22:1999. Los altos valores de OD pueden deberse a: incremento de la materia orgánica en estas estaciones, la salinidad y al crecimiento de algas verdes, que pueden influir en la sobresaturación de oxígeno durante el día, al incidir los rayos solares directamente en el agua estimula el proceso de fotosíntesis.

Los valores de dureza total (DT) a lo largo del río oscilaron entre 190 y 330 mg/L, encontrándose en todos los casos dentro del LMA establecido por NC 827:2017 y NC 2021:2014 (400 mg/L). Estas aguas se clasifican como aguas muy duras teniendo en cuenta al criterio de Sánchez (1993), que plantea en las aguas blandas tienen valores de DT menores que los 60 mg/L, moderadamente duras oscilan entre 61-120 mg/L, duras 121-180 mg/L y muy duras más de 180 mg/L. Estas aguas pueden provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución, las tuberías y los depósitos al poseer una dureza mayor a 200 mg/L y en función de la interacción con el pH y la alcalinidad. Según plantea la OMS, concentraciones de

sulfatos por arriba de los 400 mg/L en el agua potable pueden tener un efecto laxativo en humanos. ⁽¹⁴⁾

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran concentraciones que puedan afectar su calidad. Estos provienen mayoritariamente de la meteorización de evaporitas como el yeso y la anhidrita. La concentración de iones SO_4^{2-} oscila entre 48-166 mg/L. Todas las muestras analizadas cumplen con los LMA (400 mg/L) por las normas: NC 1021: 2014 y NC 827: 2017.

El ion Cl^- puede estar presente en las aguas naturales debido la disolución de depósitos minerales, contaminación proveniente de diversos afluentes de la actividad industrial, riegos agrícolas, entre otros. Un incremento esporádico del contenido de cloruros puede ser consecuencia de contaminaciones domésticas, en particular procedentes de la orina del hombre y de los animales, o debido a la presencia de minerales evaporíticos como la halita y la silvina. Las concentraciones de cloruro a lo largo del río están en el intervalo de 24-56 mg/L, valores muy por debajo de las NC 1021:2014 y NC 827:2017) (250 mg/L). Este parámetro no influye en la contaminación del río según las normas cubanas evaluadas. Sin embargo, puede causar problemas graves en cultivos si supera los 10 mg/L según establece la NC 1048: 2014, como son: estrés osmótico, el desbalance iónico y su acumulación en las plantas, que afecta los procesos metabólicos.

Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, que, en contacto con el oxígeno disuelto y en presencia de bacterias nitrificadoras, se irá transformando por oxidación en NO_2^- y NO_3^- . Los valores de los iones NO_3^- (Tabla 1) en las estaciones E-1, E-2, y E-3 están por debajo de la concentración admisible 45 mg/L para la NC 1021:2014 y NC 827:2017. En cambio, los valores de las estaciones E-4, E-5 y E-6 no cumplen con las normas e indican una contaminación albañal, lo cual está asociado a las descargas de aguas residuales urbanas e industriales y a fertilizantes sintéticos y/o naturales (estiércol).

La presencia de NO_2^- en las aguas es un indicador de contaminación albañal reciente, de condiciones anóxicas o de aportes contaminantes introducidos por líquidos residuales con presencia de nitrógeno amoniacal, como es el caso de los líquidos cloacales. Situación que contribuye a que se eleve los niveles bacteriológicos en estas estaciones. ⁽¹⁷⁾ Las normas cubanas establecen que los valores de nitrito no pueden superar los 0,01 mg/L, así mismo cabe resaltar que el NO_2^- se halla en un estado de oxidación intermedio entre el NH_4^+ y el NO_3^- . En el río San

Juan los valores detectados de este ion son superiores a lo reportado en la NC 827:2017 en las estaciones E-2, E-5 y E-6, debido a la diversidad de focos que vierten sus aguas en él (Fig. 4) que no contienen sistema de alcantarillado o el sistema de tratamiento es ineficiente.

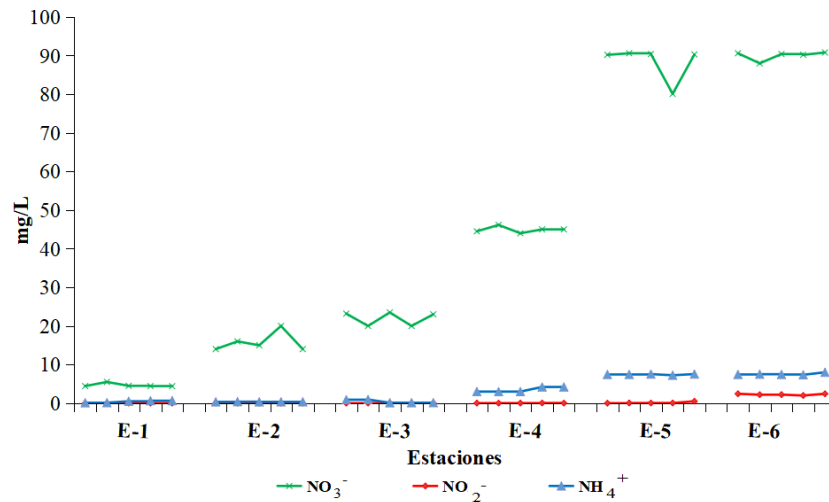


Fig.4- Relación entre Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻) y Amonio (NH₄⁺) en las diferentes estaciones.

Los iones NO₂⁻ en concentraciones elevadas reaccionan dentro del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitroso aminas de alto poder cancerígeno y tóxico; en general la concentración de este ion en las aguas superficiales es baja, pero puede apreciarse ocasionalmente concentraciones inesperadamente altas, debido a la contaminación industrial y al agua residual doméstica. ⁽¹⁵⁾

Los iones NH₄⁺ provienen de los desechos de proteínas de plantas y animales, se hidrolizan en los correspondientes aminoácidos y después se degradan a amonio, lo que favorece la multiplicación microbiana; de ahí que su detección en el agua, en cantidad significativa, se asocie con la contaminación albañal reciente. ⁽¹⁶⁾ En las estaciones E-4, E-5 y E-6 se encontraron los mayores valores (Fig. 4), por encima de lo establecido en las normas para agua potable y agua para abasto, por lo que no pueden ser empleada con estos fines ni como lugar de baño, ya que la NC 22:1999 plantea que: “el lugar de baño debe encontrarse alejado de puntos de vertimiento de residuales líquidos de todo tipo”. ⁽¹⁰⁾ De forma general las aguas del río San Juan se caracterizan por presentar una contaminación albañal reciente y acumulada, acentuándose en las últimas estaciones.

Las bacterias coliformes agrupan una variedad de bacterias similares a *Escherichia. Coli (E. coli)* y que se proceden del tracto intestinal de animales de sangra caliente. ⁽¹⁷⁾ Los coliformes son evidencia de contaminación reciente, debido a que sobreviven sólo por cortos lapsos de tiempo en las aguas. En algunos ríos y lagos se ha encontrado que pueden ser parte de la microflora ambiental acuática de climas tropicales, siendo así su uso como indicadores de contaminación fecal.

En las aguas del río el contenido de bacterias fue de 1328 NMP/100 mL para BCT y para BCF de 1326 NMP/100 mL. Del análisis de los parámetros microbiológicos se puede plantear que el río San Juan presenta una contaminación albañal reciente y no están aptas para ser utilizadas como agua potable (NC 827: 2017) ni agua para abasto a la población (NC 1021:2014), el contenido de estas bacterias deben ser <2 NMP/100 mL. Igualmente no puede emplearse como lugar de baño según la NC 22:1999, por poseer valores superiores al límite máximo permisible que se establece en esta norma ($\leq 2 \times 10^2$ NMP/100 mL) para BCF y ($<10^3$ NMP/100 mL) para BCT. El componente fecal es el mayoritario en todas las estaciones, lo que corrobora que este cuerpo de agua recibe vertimientos de aguas albañales de las localidades aledañas sin o con tratamiento ineficiente. Estas aguas necesitan un tratamiento convencional para ser empleada con los fines establecidos en las diferentes normas evaluadas.

La contaminación fecal de aguas que sirven como fuente de abastecimiento es uno de los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo. Para OMS los organismos indicadores de contaminación fecal son los que más preocupan a la hora de fijar metas de protección de la salud. En general, son los niños pequeños, los ancianos y otras personas con un sistema inmunológico debilitado los más vulnerables a las bacterias en el agua. Los efectos en la salud son: diarrea, retorcijos, coloración amarillenta de la piel y los ojos, dolores de cabeza, fatiga, insuficiencia renal y otros. ⁽¹⁵⁾

El estudio para evaluar la variación temporal de la contaminación del río San Juan se basó en la comparación de los resultados del monitoreo realizado en el 2019 con los datos históricos reportados para las mismas estaciones, analizadas desde 1991 hasta el 2007. Los parámetros empleados fueron los indicadores de materia orgánica y contaminación albañal reciente, por entrarse fuera de los límites establecidos en las diferentes normas evaluadas. Se desarrolló una prueba de ANOVA que permitió analizar si la media actual de los parámetros: NH_4^+ , DBO_5 , DQO , OD eran significativamente diferentes a la media histórica registrada para cada estación

(Tabla 2), para un valor $p < \alpha$ (0,05). La significación indica la probabilidad de que se cumpla la hipótesis nula de que exista diferencia entre la media actual y la histórica (tabla 2).

Tabla 2- Comparación del contenido de NH_4^+ , DBO_5 , DQO y OD con la media histórica.

Estaciones	Variables	$\bar{X} \pm s$	n	Error est.	\bar{X} referencia	t-valor	p-valor
E-1	OD(mg/L)	6,75±2,5	4	1,25	4,14	2,09	0,128
	NH_4^+ (mg/L)	0,41±0,27	5	0,12	0,22	1,52	0,2027
	DBO_5 (mg/L)	6,88±1,46	5	0,65	15,33	-12,94	0,0002
	DQO(mg/L)	15,82±3,36	5	1,5	52,36	-24,33	0
E-2	OD(mg/L)	9,6±3,29	5	1,47	3,6	4,08	0,015 1
	NH_4^+ (mg/L)	0,35±0,02	5	0,01	0,92	-76,61	0
	DBO_5 (mg/L)	14,56±6,15	5	2,75	17	-0,89	0,424 8
	DQO(mg/L)	33,49±14,13	5	6,32	61,36	-4,41	0,011 6
E-3	OD(mg/L)	9,2±0,84	5	0,37	2,2	18,71	0
	NH_4^+ (mg/L)	0,44±0,44	5	0,2	2,99	-12,9	0,000 2
	DBO_5 (mg/L)	12,6±4,51	5	2,01	14,61	-1	0,375
	DQO(mg/L)	28,98±10,36	5	4,63	49,2	-4,36	0,012
E-4	OD(mg/L)	10,4±2,97	5	1,33	1,88	6,42	0,003
	NH_4^+ (mg/L)	3,48±0,66	5	0,29	3,23	0,85	0,443
	DBO_5 (mg/L)	14,8±3,35	5	1,5	16,96	-1,44	0,222 4
	DQO(mg/L)	34,04±7,7	5	3,44	49,38	-4,46	0,011 2
E-5	OD(mg/L)	8,6±2,88	5	1,29	2,47	4,76	0,008 9
	NH_4^+ (mg/L)	7,44±0,12	5	0,05	4,74	49,28	0
	DBO_5 (mg/L)	25,2±3,27	5	1,46	14,5	7,31	0,001 9
	DQO(mg/L)	57,96±7,52	5	3,36	55,82	0,64	0,559 3
E-6	OD(mg/L)	9,4±3,91	5	1,75	1,6	4,46	0,011 2
	NH_4^+ (mg/L)	7,54±0,26	5	0,12	7,57	-0,22	0,837 8
	DBO_5 (mg/L)	27±5,7	5	2,55	23,88	1,22	0,288 2
	DQO(mg/L)	62,1±13,11	5	5,86	64,47	-0,4	0,706 8

En la E-1 los valores de DQO y DBO_5 fueron significativamente diferentes en relación a los años anteriores, evidenciando una disminución en el contenido de materia orgánica, principalmente,

biodegradable. En las estaciones 2 y 3 se observa una disminución significativa del contenido de materia orgánica expresada como DQO, a su vez una mejora en las condiciones de oxigenación del río y una menor contaminación albañal reciente. En la Estación 4 existen diferencias en cuanto a los parámetros OD y DQO, lo que señala una disminución del contenido de materia orgánica y, por tanto, aumento del OD en el río. En la E- 5 se observa un aumento significativo del contenido de materia orgánica biodegradable y aumento de la contaminación albañal reciente. En la E- 6 no existieron diferencias entre los valores históricos y actuales en cuanto a DQO, DBO₅ y NH₄⁺, sin embargo, difiere en el OD. Cabe destacar que, el OD no presentó diferencias con respecto a la media histórica en la E-1, observándose que en el resto de las estaciones existe una sobresaturación de oxígeno y un aumento considerable de este con respecto al valor histórico, lo que corrobora que en los últimos diez años el río ha comenzado un proceso de eutrofización. Teniendo en cuenta la comparación de los parámetros indicadores de materia orgánica, NH₄⁺, DBO₅, DQO y OD reportados en la media histórica, con respecto a los valores obtenidos en el año 2019, se demuestra que existen diferencias significativas, lo que evidencia que el nivel de contaminación del río no se ha incrementado, sino que ha disminuido en varias estaciones.

En Cuba, se han reportado varios eventos de sequía moderada y severa en la última centuria: 1931-1960, 1961-1990, 2001-2005 con déficit significativo de lluvias en la región oriental del país, 2005-2014 siendo la provincia de Santiago de Cuba una de las afectadas. ⁽¹⁸⁾ En el periodo 2014-2017 la sequía meteorológica afectó fundamentalmente la región occidental y central. ⁽¹⁹⁾ La media histórica utilizada en el estudio (1991 y 2007) está comprendida en los periodos de sequía meteorológica registrados, lo que repercute en el cuerpo hídrico e influyendo en su caudal y la calidad del agua. La disminución del contenido de materia orgánica en el Río San Juan, respecto a la media histórica, puede deberse entre otros factores, al aumento del caudal del río por una disminución de la sequía en la provincia en el año 2019. ⁽²⁰⁾ A esto se suma las diversas regulaciones y normas medioambientales establecidas por el CITMA (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente) en conjunto con el INRH (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos) y el MINSAP (Ministerio de Salud Pública) para minimizar el vertido de efluentes industriales al río.

Conclusiones

Las aguas del río San Juan no están aptas para el consumo humano, abasto a la población y como agua para baño, por presentar varios parámetros ambientales fuera del límite establecido por las normas NC 22:1999, NC 1021:2014 y NC 827:2017 en varias estaciones. Presentan alto contenido de materia orgánica, elevadas concentraciones de oxígeno disuelto, afectadas por organismos indicadores de contaminación fecal: coliformes totales y fecales. La comparación con la media histórica evidenció que la contaminación del río no se ha incrementado en los últimos años, sino que ha disminuido el nivel en varias estaciones.

Referencias bibliográficas

1. ORTIZ-VILLOTA, M. T.; ROMERO-MORALES, M. A.; Y MEZA-RODRÍGUEZ, L. D. “La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia”. *Rev. investig. desarro. Innov.* 2018, **9** (1), 163-176. <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8153>
2. QUINTEROS-CARABALÍ, J.; GÓMEZ-GARCÍA, J.; SOLANO, M.; LLUMIQUINGA, G.; BURGOS, C.; CARRERA-VILLACRÉS, D. “Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco”. *Siembra.* 2019, **6** (2), 46–57. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
3. RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.P.; SERNA-MOSQUERA, J.A.; SÁNCHEZ-CÉSPEDES, J.M. “Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos”. *Logos Ciencia & Tecnología.* 2016, **8** (1), 159-167. <https://doi.org/10.22335/rlct.v8i1.306>
4. NARANJO, C.; PORTUONDO, E.; REYES, J.; LÓPEZ, P.; GARCÉS G. “Determinación de la calidad de las aguas en cinco localidades del río San Juan, Santiago de Cuba, Cuba”. *Ciencia en su PC.* 2014, (3), 1-12. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181333032001>
5. MORALES, M.; RIVERA, M. “Estudio ambiental en la cuenca del río San Juan de Santiago de Cuba”. *Tecnología Química.* 2017, **37**(2), 249-263. ISSN 2224-6185
6. ARGOTA, G.; ARGOTA, H.; IANNAONE, J. (2013). “Evaluación ecotoxicológica histórica del ecosistema San Juan, Santiago de Cuba, Cuba”. *The Biologist (Lima).* 2013, **11**(2), 251-265. <https://doi.org/10.24039/rtb2013112403>

7. OLIVARES, G.; NARANJO, C.; LÓPEZ P.; MORELL, A. “Valoración de la calidad del agua del río San Juan de Santiago de Cuba asociado a un foco de contaminación industrial”. *Ciencia en su PC*. 2012, (4), 99-111. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181325081008>
8. MORELL-BAYARD, A.C.; BERGUES-GARRIDO, P.; LÓPEZ-DEL CASTILLO, P.; ALMARALES-CASTRO, A. “Estado ecológico del río San Juan en Santiago de Cuba: período 2013-2015”, *Ciencia en su PC*. 2020, **1** (3), 36-49. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181365138003/html>
9. APHA. BAIRD, R.B.; EATON, A.D.; RICE, E.W. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th ed. American Public Health Association, Washington DC. USA, 2017. ISBN: 978-0875532875
10. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénico-sanitarios, NC 22:1999. 1ra edición. Ciudad de La Habana, Cuba. 1999.
11. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección Sanitaria, NC 1021:2014. 1ra edición. Ciudad de La Habana, Cuba. 2014.
12. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Agua potable- requisitos higiénicos sanitarios, NC 827:2017. 3ra edición. Ciudad de La Habana, Cuba. 2017.
13. ALHARBI, S. A.; ZAYED, M. E.; CHINNATHAMBI, A.; ALHARBI N, S.; WAINWRIGHT, M. “Evaluation of the microbiological and hysicochemical quality of artesian well water used for irrigation in ArRiyadh”. *Journal of Food, Agriculture & Environment* . 2014, **12** (3), 355-359. <https://doi.org/10.1234/4.2014.5411>
14. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para el saneamiento y la salud. Ginebra: OMS. 2019. ISBN 978-92-4-351470-3
15. OROZCO, C.; PÉREZ, A.; GONZÁLEZ, M.; RODRÍGUEZ, F.; ALFAYATE, J. Contaminación ambiental: una visión desde la Química. 1a Ed., 4ª imp. Paraninfo S. A. España. 2011. ISBN: 978-84-9732-178-5
16. GIL-MARÍN J.A.; VIZCAINO, C.; MONTAÑO-MATA, N. J. “Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela”. *Anales Científicos*. 2018, **79** (1): 111-119. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>

17. PAUTA-CALLE, G.; VÁZQUEZ, G. B.; ABRIL, A. F.; TORRES, C. S.; LOJA-SARI, M. C.; PALTA-VERA, A. J. “Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en los ríos de Cuenca, Ecuador”. *Maskana*. 2020, **11** (2), 46-57. <https://doi.org/10.18537/mskn.11.02.05>
18. PONVERT, D. R.; BATISTA, D. “Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación”. *Cultivos Tropicales*. 2016, **37** (3), 22-41. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>
19. BARCIA-SARDIÑAS, S.; FONTES-LEANDRO, M.; RAMÍREZ-GONZÁLEZ, M.; VIERA-G, E.Y. “La sequía meteorológica 2014-1017, características e impactos en la provincia Cienfuegos”. *Revista Cubana de Meteorología*. 2019, **25**, 319-333. ISSN: 0864-151X
20. FONSECA-RIVERA, C.; ALPIZAR-TIRZO, M.; HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ. “Estado del Clima en Cuba 2019. Resumen ampliado”. *Revista Cubana de Meteorología*. 2020, **26** (4), 1-18. ISSN: 2664-0880

Conflicto de interés

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

Contribuciones de los autores

Los autores contribuyeron en igualdad de condiciones en la concepción y elaboración del manuscrito.