

Artículo original

Caracterización química y agronómica del agua del río Tapaste, ubicado en el nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento

Yenisei Hernández-Baranda^{1*} 

Pedro Rodríguez-Hernández² 

Mirella Peña-Icart³ 

Yanitza Meriño-Hernández⁴ 

Reneé Pérez-Pérez¹ 

Loreilys Ortega-García¹ 

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). CP 520 038.

³Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales. Universidad de La Habana. CP 10 400.

⁴Departamento de Producción Agrícola. Universidad de Granma. CP 85 100

*Autor para correspondencia: yeniseihernandezbaranda@gmail.com

RESUMEN

La escasez y deterioro del agua dulce es uno de los problemas más alarmantes que enfrenta la humanidad en la actualidad. Como estrategia de solución, diferentes administraciones competentes, como la UNESCO y el Real Decreto Legislativo de España, han propuesto la reutilización de las aguas residuales. Cuba no está exenta de estos problemas y su política nacional del agua promueve la aplicación de esta práctica. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar y evaluar la calidad de las aguas del río Tapaste, ubicado en la parte alta del nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento. Para la realización del estudio, se estableció una red de monitoreo en el paso del río por la zona urbana del poblado de Tapaste. Los valores de los indicadores evaluados se compararon con los establecidos por la FAO, OMS y el Ministerio de Medio Ambiente y Estrategia de Cambio Climático del gobierno de Columbia Británica para su uso en la agricultura, doméstico y conservación de la vida acuática respectivamente. Como principales

resultados se encontró que la calidad del agua del río Tapaste no es apropiada para ninguno de los tres usos evaluados, debido a que la concentración de Cd, alcalinidad y DBO₅ superan los límites establecidos y en los puntos más contaminados se supera hasta 17, 11 y 22 veces para Cd, alcalinidad y DBO₅, respectivamente. La contaminación observada es consecuencia del nivel de estancamiento del agua y de las continuas descargas de residuales urbanos, las cuales varían con el sitio de muestreo.

Palabras clave: agricultura, calidad del agua, conservación biológica, consumo familiar, reutilización de aguas

Recibido: 03/12/2019

Aceptado: 31/03/2021

INTRODUCCIÓN

La pérdida de calidad de las aguas subterráneas y superficiales, así como la escasez de este recurso, es uno de los problemas ambientales más alarmantes que enfrenta la humanidad ^(1,2). Además de ello, numerosos estudios predicen aumentos en la intensidad, la duración y la extensión espacial de las sequías, cambios en los patrones de precipitación y disminución de los glaciares, todo ello como consecuencia del cambio climático. Por tanto, el agua dulce es uno de los recursos más vulnerables ante este fenómeno natural ⁽³⁾.

En Cuba, también se han presentado graves problemas de sequía en periodos recientes, que pueden afectar considerablemente las cosechas de los próximos años ⁽⁴⁾. Además, se ha observado eutrofización de los lagos e incremento del contenido de metales en zonas de acuíferos, debido a la descarga de residuos industriales y pecuarios, insuficientemente tratados ⁽⁵⁾. El río Almendares es el cuerpo de agua superficial más importante de la capital cubana, reflejo de prácticas antrópicas mal empleadas que afectan su vitalidad. Diferentes estudios evidencian la calidad deteriorada actual de este ecosistema, principalmente por los altos niveles de materia orgánica, metales pesados y otros contaminantes ⁽⁶⁻⁸⁾. Sin embargo, las evaluaciones realizadas en su nacimiento son muy escasas y, por tanto, es insuficiente la información acerca de la composición química del agua desde su inicio.

El problema de la escasez y la contaminación de las aguas es aún mayor si se considera que la agricultura utiliza el 70 % del agua dulce disponible. Como estrategia de solución, diferentes administraciones han propuesto la reutilización de las aguas residuales

en la agricultura ⁽⁹⁾. En Cuba, prácticamente no se reúsan las aguas residuales, pero dado los problemas de sequía que ha presentado el país y la conveniencia de darle un uso productivo, diferentes investigadores promueven la implementación de esta práctica ⁽⁴⁾. Sin embargo, la necesidad de implementarlas de manera segura para el medio ambiente requiere de estudios previos que evalúen su calidad. El río Almendares nace en el poblado de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, donde inicia un curso intermitente y las actividades agrícolas y urbanas desarrolladas en el lugar pueden modificar la composición química del agua. Por esta razón, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar el agua del Río Tapaste y evaluar su calidad para uso potencial en la agricultura, consumo familiar y conservación biológica de la vida acuática.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron cuatro muestras de agua en el río intermitente que pasa por el poblado de Tapaste, el cual se corresponde con el nacimiento de la cuenca Almendares-Vento. El muestreo se realizó el 11 de agosto de 2015, correspondiente a un período lluvioso en Cuba. Los puntos muestreados se ubicaron a los 23°02'53" de Latitud Norte y 82°13'23" Longitud Oeste (Punto I), 23°02'42" de Latitud Norte y 82°13'29" Longitud Oeste (Punto II), 23°02'13" de Latitud Norte y 82°13'52" Longitud Oeste (Punto III) y 23°01'88" de Latitud Norte y 82°14'36" Longitud Oeste (Punto IV) (Figura 1). Las muestras se colectaron siguiendo los procedimientos de muestreo y preservación establecidos ⁽¹⁰⁾.

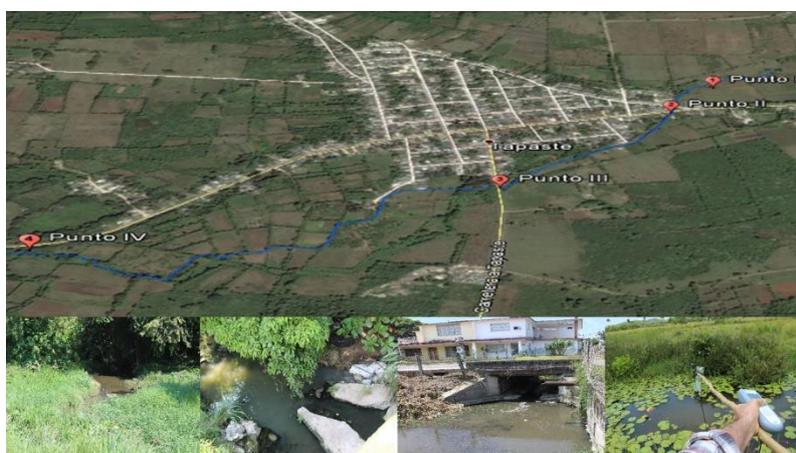


Figura 1. Puntos de muestreo en el Río Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque

En el lugar del muestreo se midió el pH y la conductividad eléctrica y se conservaron y almacenaron las muestras de acuerdo a los requerimientos de los análisis posteriores. El pH y la conductividad eléctrica se midieron por triplicado, utilizando un medidor multiparamétrico portátil Orion Star™ A325. Luego se realizaron los análisis de laboratorio en el departamento de Bioquímica y Fisiología Vegetal del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Se determinó la alcalinidad por valoración potenciométrica con H₂SO₄ 0.1N. Se evaluaron los residuos totales (RT), residuos fijos (RF) y residuos volátiles (RV) por gravimetría, a través del secado en estufa y mufla (HERON mod HD-150). Para este último análisis se realizaron sucesivos tiempos de calentamiento de 20 minutos hasta alcanzar peso constante. También se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) por el método respirométrico a través del OxiTop (WTW mod IS-12) y el contenido de Ca, Na, K, Mg, Cu, Pb, Cd, Mn por espectrofotometría de absorción atómica (Analytic Jena novAA 350). Los procedimientos para estos análisis se describen en el Manual de Análisis de Agua ⁽¹⁰⁾.

La calidad agronómica del agua fue evaluada mediante el cálculo de la relación de adsorción de sodio (RAS), dureza en grados hidrométricos franceses (°F) e índice de Kelly, según se muestra en las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente. Los resultados obtenidos se procesaron mediante un análisis factorial. Los indicadores que presenten diferencias entre los puntos se analizarán según la prueba de Comparación de Rangos Múltiples de Duncan con $p \leq 0,05$ %, utilizando el programa SPSS Statistics. v22 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó la calidad del agua en los cuatro puntos muestreados, según los criterios establecidos por la FAO ⁽¹¹⁾, OMS ⁽¹²⁾ y el Ministerio de Medio Ambiente y Estrategia de Cambio Climático del gobierno de Columbia Británica ⁽¹³⁾, para su uso en la agricultura, doméstico y conservación de la vida acuática, respectivamente. La evaluación de la calidad para uso agrícola se realizó sobre la base de las siguientes categorías: salinidad, problemas de infiltración y toxicidad ⁽¹¹⁾. La conductividad eléctrica (CE) en los puntos I, III y IV fue menor que los límites superiores establecidos por la FAO y, por tanto, no representan un problema de salinización del suelo (Tabla 1). En cambio, el punto II se encuentra en el rango establecido de “Problema creciente” de salinización (0,75-3 dS m⁻¹), lo que significa que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.

Tabla 1. Parámetro que caracterizan la composición química del agua en los puntos muestreados y los valores de referencia establecidos por la FAO, OMS y el Ministerio de Medio Ambiente y Estrategia de Cambio Climático del gobierno de Columbia Británica

Indicadores	P- I	P- II	P- III	P- IV	Uso agricultura 11	Uso doméstico 12	Vida acuática 13
pH ES (0,11)	7,78 a	7,69 a	7,77 a	7,74 a	6,5-8,4	6,5-9,5	6,5-9
CE dSm ⁻¹ ES (0,008)	0,545 d	0,961 a	0,672 b	0,626 c	0,7	-	-
Ca meq L ⁻¹ ES (0,05)	1,10 d	1,95 a	1,70 b	1,48 c	0-20	2,49-7,49	-
Mg meq L ⁻¹ ES (0,005)	0,088 b	0,187 a	0,092 b	0,086 b	0-5	-	-
Na meqL ⁻¹ ES (0,01)	1,20 c	1,93 a	1,31 b	1,16 d	3	8,7	-
K mgL ⁻¹ ES (0,4)	11,0 c	32,9 a	16,0 b	16,2 b	0-2	-	-
Zn mgL ⁻¹ ES (0,01)	0 b	0,09 a	0,04 ab	0 b	2	3	0,03
Cd mgL ⁻¹ ES (0,005)	0,110 c	0,130 b	0,153 a	0,167 a	0,01	0,003	0,002
Mn mg L ⁻¹ ES (0,03)	0,37 a	0,10 b	0 b	0 b	0,2	0,4	-
Pb mg L ⁻¹	0	0	0	0	5	0,01	0,007
RAS ES (0,03)	1,56 b	1,86 a	1,39 c	1,31 c	0-3	-	-
Alcalinidad meq L ⁻¹ ES (0,2)	8,43 d	16,83 a	12,27 b	10,40 c	1,5	-	-

Las letras comparan los cuatros puntos en un indicador según Duncan $p \leq 0,5$. Error estándar (ES)

El análisis comparativo de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), con los límites de la FAO reflejó que el agua del río no presentó problemas de sodificación e infiltración en el suelo (Tabla 1). Sin embargo, estos problemas se deben, entre otros factores, a la combinación de los efectos asociados con la sodicidad y la salinidad del agua.

La evaluación simultánea de los indicadores RAS y CE en el diagrama de la FAO (1985), evidenció que el agua de los cuatro puntos presenta problemas de reducción leve o moderada en la velocidad de infiltración en el suelo. Por tales motivos se recomienda su uso sin descuidar los posibles efectos en cultivos que demanden de alto contenido de este recurso.

El pH y la concentración de la mayoría de los elementos (Tabla 1) fueron inferiores a los límites máximos permisibles, por lo que no representan un riesgo de toxicidad para las plantas, el uso doméstico y la conservación de la vida acuática. Entre los indicadores que no cumplieron con lo establecido se encuentra la concentración de Cd, la cual superó en un promedio de 14, 47 y 70 veces los criterios de aceptabilidad para el uso en la agricultura, doméstico y conservación de la vida acuática, respectivamente.

Es importante señalar que el Cd es uno de los metales pesados que más ha llamado la atención de las ciencias del suelo, las plantas y los seres vivos; en general, debido a su alta toxicidad, movilidad y poder bioacumulativo. Los niveles encontrados en el agua del

nacimiento del río Almendares no solo afectan su utilidad, sino que evidencian problemas alarmantes de contaminación. Dada su capacidad de acumulación es altamente probable que las concentraciones en los sedimentos y organismos vivos que se desarrollen en este medio sean superiores a las determinadas en el agua. En la década de 1940, la contaminación con Cd en el río Jinzu y en el cultivo del arroz se puso de manifiesto cuando en Japón más de 100 personas murieron a causa de la toxicidad por este metal ⁽¹⁴⁾. Estos hechos deben ser motivo de preocupación y alarma para otros países en similares situaciones ambientales.

Dado que el pH, en todos los puntos muestreados, es inferior a 8,3, la alcalinidad se debe casi totalmente a los iones bicarbonatos. Este es otro de los indicadores que superó el límite para el uso en la agricultura (Tabla 1) y además sobrepasó el rango habitual de la concentración de iones bicarbonatos en el agua de riego (0-10 meq L⁻¹). El bicarbonato, incluso a concentraciones muy bajas, es un problema, principalmente cuando los cultivos de frutas se riegan por aspersión durante periodos de muy baja humedad (HR<30 %) y alta evaporación. Bajo estas condiciones, se forman depósitos blancos en frutos y hojas que no son lavados por riego posterior y reducen su comerciabilidad.

Según la caracterización química realizada, el agua del río se clasifica como del tipo bicarbonatada cálcica sódica. Se atribuye que el Ca y la alcalinidad deben sus contenidos en el agua a la interacción de la misma con las rocas de la formación Cojímar, que consisten en margas calcáreas suaves y, en ocasiones, se endurecen formando calizas compactas ⁽¹⁵⁾.

Las concentraciones de los elementos Ca, Mg, Na y K mostraron una tendencia casi similar en su transcurso por los puntos de muestreo (Figura 2). El punto II presentó los mayores valores de concentración para los cuatro elementos. El punto III le siguió en el orden, excepto para el Mg, y los puntos I y IV mostraron los menores valores, lo cual se corresponde con el comportamiento de la CE. Los elementos Ca, Mg y K se encuentran dentro del rango de concentraciones habituales definidos por la FAO para el agua de riego. Para estos elementos no se establecen valores límites sino determinadas relaciones que deben cumplirse entre ellos y el Na, con el objetivo de mantener el equilibrio deseado. Los elementos Ca y Na están casi en similar proporción, superior al Mg y cumplen con la relación establecida por la FAO para que el Ca pueda contrarrestar los efectos dispersantes del Na en el suelo y su toxicidad en los cultivos.

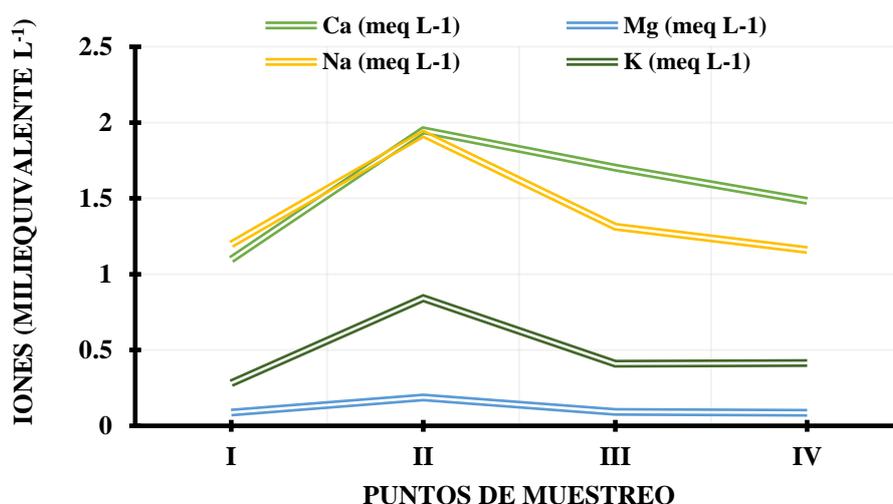


Figura 2. Comportamiento de los elementos Ca, Mg, Na y K en su transcurso por los puntos muestreados

Las concentraciones de los elementos Ca, Mg y K fueron menores que las determinadas por otro investigador en su estudio de la calidad del agua de diferentes pozos cercanos al lugar de muestreo ⁽¹⁶⁾. Sin embargo, el agua de río mostró mayores valores de concentración de Na que el agua de los pozos. Estas diferencias se deben a que las aguas subterráneas, en su paso a través del suelo, adquieren mayor contenido de nutrientes y elementos presentes en las rocas y minerales. El Na no parece ser un elemento característico de la litología del lugar y su mayor concentración en las aguas superficiales podría deberse a las descargas de residuales.

Los mayores valores de residuo total (RT), residuo fijo (RF) y residuo volátil (RV) (Tabla 2) se obtuvieron en el punto II.

Tabla 2. Parámetros e indicadores de calidad agronómica del agua en los puntos muestreados

	P-I	P-II	P-III	P-IV
RT mg L ⁻¹ ES (121)	858 ab	1094 a	636 b	517 b
RF mg L ⁻¹ ES (51)	394 b	627 a	388 b	280 b
RV mg L ⁻¹ ES (99)	464 a	467 a	248 a	237 a
Dureza (°F) ES (1)	24 d	43 a	36 b	31 c
IK (%) ES (1)	46 b	48 b	55 a	54 a

Estos datos confirman los resultados obtenidos de alcalinidad, concentración de metales y DBO₅ (Figura 3). La alta alcalinidad, al igual que los valores de residuos totales por encima de 1000 mg L⁻¹, indica que las aguas analizadas presentan tendencia a formar incrustaciones.

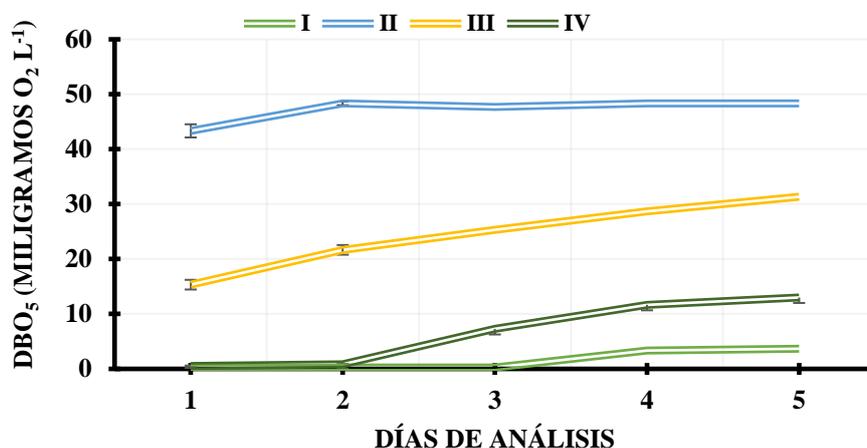


Figura 3. Evolución de la DBO₅ durante el período de análisis

La tendencia a la precipitación química de CaCO₃ se predijo utilizando el índice de saturación de Langelier⁽¹¹⁾. Los resultados indicaron que las aguas de los puntos I, II, III y IV presentaron índices de saturación de CaCO₃ de 0,18; 0,69; 0,67 y 0,44, respectivamente. Este aspecto puede ser una limitante, especialmente en el fertirriego, debido a que se obstruye el flujo de agua y, además, contribuye a la alcalinización del suelo. El aumento en el pH propicia un desaprovechamiento de los nutrientes, debido a su baja disponibilidad en valores superiores a 8,0. Uno de los posibles mecanismos para minimizar estos efectos es ajustar el pH a 7,0 en el agua de riego y de esta manera el índice de saturación se hace negativo y, por tanto, no debe precipitar el carbonato.

Según los valores de dureza en grados hidrométricos franceses (°F), las aguas de los puntos I y IV son consideradas medianamente duras y los puntos II y III se corresponden con aguas duras. El índice de Kelly (IK) es uno de los indicadores que definen las proporciones adecuadas de los iones Ca, Mg y Na y su valor superior a 35 % indica que las aguas de los cuatro puntos son aptas para el riego (Tabla 2)⁽¹⁷⁾.

Los valores de DBO₅ son superiores a los límites establecidos en la Norma de Calidad del Agua y Control de Descargas AG-CC-01 para aguas que son destinadas al abastecimiento público (2 mg O₂ L⁻¹) y la preservación de la fauna y la flora (5 mg O₂ L⁻¹)⁽¹⁸⁾. Los puntos II y III, incluso superan el límite (10 mg O₂ L⁻¹) para la

utilización como agua de riego a los cultivos alimentarios, incluidos aquellos cultivos de raíces que se consumen crudos y cultivos donde la porción comestible está en contacto directo con el agua ⁽¹⁹⁾. Por tanto, debido al alto contenido de materia orgánica, las aguas de los diferentes puntos no son aptas para los usos mencionados. Es importante destacar que en los puntos I y IV se alcanzaron los menores valores de esta variable, dado que se corresponden con la entrada y salida del río por el poblado. Este resultado indica que la contaminación está dada por las descargas residuales urbanas y los residuos de crianza animal.

CONCLUSIONES

- La composición química del agua del río Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, refleja las características de la formación a la que pertenece y también el impacto negativo que recibe de las descargas de aguas residuales urbanas.
- Los mayores valores de CE, RAS, RT, RF, alcalinidad, dureza y concentraciones de Ca, Mg, Na, K, Zn, se encontraron en el punto II, que coincidentemente es el que recibe mayores descargas de residuales domésticos y de crianza animal.
- Los altos contenidos de Cd en el agua de los cuatro puntos la califican no apta para riego, uso doméstico y conservación de la vida acuática y representan un problema ambiental alarmante. También los altos contenidos de bicarbonatos representan un problema para su uso en la agricultura dada la tendencia a formar incrustaciones.
- La carga orgánica contaminante calificó al agua de los cuatro puntos no apta para uso doméstico y conservación de la vida acuática y en los puntos II y III tampoco es apta para el uso en la agricultura.

RECOMENDACIONES

Por las razones expuestas se sugiere la necesidad de un muestreo sistemático para confirmar el nivel de contaminación y obtener conclusiones definitivas sobre la calidad ambiental del río en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Restrepo Gutiérrez E, Zárate Yepes CA. El mínimo vital de agua potable en la jurisprudencia de la Corte Constitucional colombiana. *Opinión Jurídica*. 2016;15(29):123–40.
2. Zhou X, Lei K, Khu S-T, Meng W. Spatial flow analysis of water pollution in eco-natural systems. *Ecological Indicators*. 2016;69:310–7.
3. Guppy L, Anderson K. *Global Water Crisis: the facts*. Hamilton, Canadá: United Nations University Institute for Water, Environment and Health; 2017 p. 16.
4. Díaz Duque JA. El agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 2018;39(2):46–59.
5. Sanchez BLM, Rivero AEG, Chávez ES. Carga contaminante dispuesta en cuenca Ariguanabo, provincia Artemisa, Cuba. *Revista Cubana de Ingeniería*. 2016;7(2):55–63.
6. Díaz Rizo O, Rudnikas AG, Lavin Pérez RD, Arencibia Carballo G. XRF analysis of sediments from Nuevitas Bay (Cuba): assessment of current heavy metal contamination. 2014;
7. Argota Pérez G, Argota Coello H, Iannacone J. Bioaccumulative exposure to heavy metals in *Gambusia punctata* and *Gambusia puncticulata* from the ecosystem of Almendares, Havana-Cuba. *The Biologist (Lima)*. 2016;14(2):339–50.
8. Santana JL, Massone CG, Valdés M, Vazquez R, Lima LA, Olivares-Rieumont S. Occurrence and source appraisal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface waters of the Almendares River, Cuba. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 2015;69(2):143–52.
9. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. 2018. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature- Based Solutions for Water*. Paris, Francia: UNESCO; 2018. 139 p.
10. L Nollet LM, P de Geldes LS. *Handbook of Water Analysis*. 3ra ed. London, England: CRC press; 2014. 979 p.
11. Ayers RS, Westcot DW. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and drainage paper. Vol. 1. Rome, Italy: Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1985. 174 p.
12. Organization WH. *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. 4ta ed. Perú: Ginebra; 2018. 606 p.

13. Ministry of Environment and Climate Change Strategy. British Columbia Approved Water Quality Guidelines: Aquatic Life, Wildlife and Agriculture: Summary Report. [Internet]. 2019 Aug [cited 25/05/2021] p. 39. Available from: <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/water/water-quality/water-quality-guidelines/approved-water-quality-guidelines>
14. Ogawa T, Kobayashi E, Okubo Y, Suwazono Y, Kido T, Nogawa K. Relationship among prevalence of patients with Itai-itai disease, prevalence of abnormal urinary findings, and cadmium concentrations in rice of individual hamlets in the Jinzu River basin, Toyama prefecture of Japan. *International Journal of Environmental Health Research*. 2004;14(4):243–52.
15. Bermúdez PJ. Las Formaciones Geológicas de Cuba. *Geología Cubana*. 1ra ed. Cuba: Instituto Cubano de Recursos Minerales; 1961. 177 p.
16. Dell’Amico-Rodríguez JM, Morales-Guevara D, Calana-Naranjo JM. Monitoreo de la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la cuenca Almendares-Vento. *Cultivos Tropicales*. 2011;32(4):49–59.
17. Loera-Alvarado LA, Torres-Aquino M, Martínez-Montoya JF, Cisneros-Almazán R, Martínez-Hernández J de J. Calidad del agua de escorrentía para uso agrícola captada en bordos de almacenamiento. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 2019;6(17):283–95.
18. Secretaría de estado de medio ambiente y recursos naturales. Norma de Calidad de Agua y Control de Descargas AG CC 01. Santo Domingo, República Dominicana; 2001 p. 52.
19. Alcalde-Sanz L, Gawlik BM. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge. Towards a legal instrument on water reuse at EU level. 2017; 57 p. ISBN: 978-92-79-77175-0, doi: 10.2760/804116.