



## ORIGINAL ARTICLE /ARTÍCULO ORIGINAL

### SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL COST RELATIVE TO THE PHYSICOCHEMICAL VARIABILITY OF WATER ON THE AVAILABILITY OF METALS IN THE ECOSYSTEM OF SAN JUAN, SANTIAGO DE CUBA, CUBA

### COSTO AMBIENTAL SOSTENIBLE RELATIVO A LA VARIABILIDAD FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE METALES EN EL ECOSISTEMA SAN JUAN, SANTIAGO DE CUBA, CUBA

George Argota-Pérez<sup>1,2</sup>, Humberto Argota-Coello<sup>3</sup> & José Iannacone<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Avanzadas y formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI", Perú.

<sup>2</sup> American Pontifical Catholic University (USA) – Representación, Perú.

<sup>3</sup> Laboratorio de Minerales. Empresa Geominera Oriente, Cuba.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur (Científica), Perú.

<sup>5</sup> Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), Perú.

george.argota@gmail.com/h.argota@geominera.co.cu/joseiannacone@gmail.com

The Biologist (Lima), 14(2), jul-dec: 219-232.

## ABSTRACT

The environmental cost on the sustainability of aquatic resources is given by the use of an indicator that enables its assessment. The aim of the study was to evaluate the relative cost of environmental sustainability given the physicochemical variability of water over the availability of metals in the ecosystem of San Juan, Santiago de Cuba-Cuba. The study was conducted during the rainy period between the months of May to November, 2015. The physicochemical parameters of environmental quality of water analyze were dissolved oxygen, pH, electrical conductivity, total hardness, total alkalinity, total solids, biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand. The concentration of the metals Cu, Zn, Pb and Cd in the water was also determined. The relative environmental sustainability cost (RESC) was established by the sum of the observations of the cost of assessment (COA) between the sums of the total parameters, defined as cost of prevention policy (COPP). Five categories of sustainability of resource were established, with interval scores between 0 and 1. The parameters of the COA acquired scores of 1 or 0 depending on whether or not the established regulatory standards were met. The general physicochemical parameters did not meet the permissible standard, and the concentration of the availability of metals exceeded the referred set comparative value. The RESC was 0.17, indicating unsustainable water as a resource. It was concluded that the formula generated in terms of sustainable environmental risk assessed relative cost applied to the waters of San Juan ecosystem.

**Keywords:** Environmental cost – ecosystem of San Juan – metals – physicochemical parameters – Santiago de Cuba– sustainability

## RESUMEN

El costo ambiental sobre la sostenibilidad de los recursos acuáticos, está dado por la utilización de un indicador que posibilite su valoración. El objetivo del estudio fue evaluar el costo ambiental sostenible relativo ante la variabilidad físico-química de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba-Cuba. Durante el periodo de lluvia comprendido entre los meses mayo-noviembre de 2015 fue realizado el estudio. Se analizaron como parámetros físico-químicos de calidad ambiental de agua el oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, dureza total, alcalinidad total, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno. Asimismo, se determinó la concentración de los metales Cu, Zn, Pb y Cd en el agua. El costo ambiental sostenible relativo (COASOR) fue establecido mediante la sumatoria de las observaciones del costo de evaluación (COE) entre la sumatoria del total de parámetros definidos como costo de prevención normativo (COPNOR). Se establecieron cinco categorías de sostenibilidad del recurso, comprendidos por intervalos de puntuación entre 0 y 1. Los parámetros del COE, adquirieron valor de 1 o 0 en dependencia de cumplir o no la norma reguladora. Los parámetros físico-químicos en general, no cumplieron lo permisible y la concentración de la disponibilidad de metales, superaron el valor establecido de forma referida comparativa. El COASOR fue 0,17, indicando no sostenible las aguas como recurso. Se concluyó que la fórmula generada en término de riesgo evaluó el costo ambiental sostenible relativo aplicado a las aguas del ecosistema San Juan.

**Palabras clave:** costo ambiental – ecosistema San Juan – metales – parámetros físico –químicos – Santiago de Cuba – sostenibilidad

## INTRODUCCIÓN

La degradación ambiental sobre la calidad de las aguas, está condicionando que este recurso natural renovable, esté siendo cada vez más limitante en diversas partes del mundo; pues la persistencia de contaminantes disueltos y/o acumulados, pudieran indicar en algunos casos, un estado irreversible para su valor de uso, quizás como consecuencia de una mala interpretación sobre el Derecho Ambiental de ciertas generaciones en cuanto al manejo de este recurso (He *et al.* 2014).

El Derecho del Medio Ambiente o Derecho Ambiental, tal y como se entiende en la actualidad, surge en épocas muy recientes donde el primer texto de carácter internacional que analiza la problemática medioambiental y trata de darle respuesta a esta dimensión, es la reconocida “Declaración de Estocolmo” (DCNU-MAH 1972).

Con relación particular a la disponibilidad de agua dulce en todo el mundo, es crítica y cada día es más compleja, debido a factores como la contaminación del recurso hídrico, la manipulación económica y la fuente de poder que representa para quien la posee (Duarte *et al.* 2002). La creciente demanda de agua para la agricultura, industria y el consumo doméstico, han creado competencias que se reflejarán probablemente en unos 15 años debido al crecimiento demográfico; y a la falta de planificación, educación y conciencia para el manejo y uso adecuado del agua, lo que genera consecuencias como acidez de los suelos, sedimentos en ríos y lagos, enfermedades gastrointestinales derivadas de su consumo, así como aumento de abortos y malformaciones genéticas por la presencia de metales pesados en las aguas entre otras razones. La desmedida ambición que ciertos grupos económicos tienen por aumentar la explotación, control y administración de recursos como el petróleo, el gas natural y la

propia agua dulce, hacen que este último recurso sea estratégico para el siglo XXI, ya que es un elemento esencial, único e insustituible para la supervivencia de la humanidad (Agudelo 2005, He *et al.* 2014 MINAM 2016).

Durante el 3<sup>er</sup> Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, celebrado el 16 de marzo de 2009 en la ciudad de Estambul-Turquía, se mostraron con múltiples datos que en el 2030, el 47% de la población mundial vivirá en zonas con estrés hídrico (OECD 2008), donde diversos científicos sostuvieron el argumento que el calentamiento global intensificará, acelerará o aumentará el ciclo hidrológico global (Del Genio *et al.* 1991, Loaiciga *et al.* 1996, Trenberth 1999, Held & Soden 2000, He *et al.* 2014). Asimismo, una revisión realizada por Huntington (2006), sobre más de 100 estudios basados en observaciones sobre los cambios recientes en el ciclo hidrológico mundial, puso en evidencia que sobre la segunda mitad del siglo XX hubo una mayor tendencia a sufrir escorrentías, inundaciones y sequías, así como otros fenómenos y variables relacionados con el clima a niveles regionales y mundial (Montenegro-Canario *et al.* 2015). Todo esto confirma la percepción de que el ciclo hidrológico se ha intensificado (MINAM 2016). Zhang *et al.* (2007), indicaron que a lo largo del siglo XXI se han producido sequías más intensas, ligadas a un aumento de las temperaturas y un descenso de las precipitaciones, afectando a un mayor número de personas.

Desde hace más de veinte años la FAO (1992), definió la contaminación del agua como "la introducción por el hombre en el ambiente acuático (mares, ríos y lagos) de elementos abióticos o bióticos que causen efectos dañinos o tóxicos, perjudiquen los recursos vivos, constituyan un peligro para la salud humana, obstaculicen las actividades marítimas (incluida la pesca), menoscaben la calidad del

agua o disminuyan los valores estéticos y de recreación" (Iannacone *et al.* 1998, Wang & Zang 2014). Sin embargo, hoy en día la contaminación de las aguas es cada vez más preocupante, ya que están expuestas a sustancias y preparados químicos peligrosos, uso de biocidas y plaguicidas fitosanitarios, sustancias carcinógenas, mutágenas y tóxicas para la reproducción (CMR), compuestos orgánicos volátiles (COV) (Iannacone *et al.* 1998, Porta *et al.* 2002, Olivares-Calzado *et al.* 2012, Iannacone *et al.* 2016), sustancias persistentes bioacumulables y tóxicas: PBT, las dioxinas (Kogevinas & Janer 2000) y furanos, bifenilos policlorados: PCB, alteradores endocrinos (Olea *et al.* 2002), así como los metales pesados que afectan la salud animal en los ecosistemas acuáticos (Iannacone & Alvareño 2002, 2005, Argota *et al.* 2012; Argota & González, 2013, Argota-Pérez *et al.* 2014, Dixit *et al.* 2015), donde todos los contaminantes anteriormente mencionados, representan reales amenazas, por cuanto deberán ser objeto de medidas de evaluación, reducción y control de su riesgo, pudiendo ser entonces incorporados a cualquier legislación nacional e internacional para la protección ambiental de las aguas y por ende, su valoración económica (Wang & Zang 2014).

Considerando lo anterior, Butlerl (2005), refiere que la medición económica de la calidad ambiental ha sido abordada, desde diferentes perspectivas, externalidades, derecho de propiedad y eficiencia económica, así como desde la razón sobre la pérdida del bienestar. De igual forma, refiere que se han planteado otros enfoques donde se busca establecer conexiones teóricas entre los sistemas ecológicos y los económicos, integrándose en ellos la relación hombre-naturaleza (Volk *et al.* 2008, He *et al.* 2014, Zhang 2014).

Una de las grandes incertidumbres para muchas sociedades, es conocer cuál sería el

costo ambiental de la contaminación de los recursos hídricos, pues la problemática no es tan simple como pudiera parecer, ya que la calidad no solo es referida a la variabilidad de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, presencia de determinados elementos químicos naturales que sobrepasan sus concentraciones o determinados xenobióticos disponibles (Corwin & Bradford 2008, Argota-Pérez & Iannacone 2014ab, García & Iannacone 2014, Guimarães *et al.* 2012, He *et al.* 2014, Wang & Zang 2014), sino que entre las mayores preocupaciones estarían conocer, cuánto resultaría posible la recuperación y accesibilidad de los recursos hídricos una vez que se encuentren afectados o impactados (Garbisu & Alkorta 2001, Shortle 2013, Hu *et al.* 2014, Dixit *et al.* 2015).

Por lo general, los programas de muestreo y monitoreo como diseño estratégico de vigilancia ambiental, refieren resultados sobre la calidad o fluctuaciones que se producen en los cuerpos de agua; pero generalmente son limitados los estudios que comprenden la interpretación sobre la relación existente entre determinados parámetros físico-químicos con la disponibilidad por presencia química de determinados elementos como son los metales pesados, bajo una determinada fórmula que indique, cuál podría ser el costo ambiental para la sostenibilidad del recurso hídrico (Volk *et al.* 2008, Argota *et al.* 2013, Hu *et al.* 2014, Zhang 2014).

El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el costo ambiental sostenible relativo a la variabilidad físico-química de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba, Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Muestreo

El ecosistema San Juan, ubicado en la ciudad de Santiago de Cuba-Cuba, recorre una longitud aproximada de 23.0 Km<sup>2</sup> (figura 1), donde a su río principal son descargados diversos efluentes con cargas contaminantes de naturaleza orgánica como inorgánica, encontrándose dentro de esta última determinadas concentraciones de metales pesados. Las aguas de este ecosistema, representan de gran importancia para la ciudad, ya que en esta cuenca hidrográfica del mismo nombre, existen identificados un gran número de pozos que son utilizados para el abastecimiento potable a la población humana. La evaluación de parámetros físico-químicos, metales pesados y análisis del costo ambiental sostenible relativo sobre el ecosistema San Juan se realizó en el periodo de lluvia comprendido entre mayo a noviembre del 2015.



Figura 1. Ecosistema San Juan (●) en Santiago de Cuba-Cuba.

En la presente investigación de tipo descriptiva, se analizaron en muestras de agua los parámetros físico-químicos de calidad ambiental como oxígeno disuelto ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), pH, conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), alcalinidad total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), dureza total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), sólidos totales ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y demanda química de oxígeno ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Además de concentraciones referidas a Cu, Zn, Pb y Cd en  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Los elementos fueron probados por triplicado, a partir de un muestreo probabilístico aleatorio con una frecuencia trimestral de análisis.

Fueron seleccionadas seis estaciones de muestreo, las cuales se escogieron a partir de un muestreo no probabilístico por conveniencia, teniendo como principal criterio de selección su estado de convergencia tributaria o zona de mezcla, donde se requirió de condiciones prácticas de accesibilidad al lugar, posibilidad de muestreo en ambas orillas del río, profundidad, existencia de construcciones cercanas o accidentes geográficos del relieve muy llamativos que pudieran servir como puntos de referencia.

#### **Análisis de parámetros físico-químicos de calidad ambiental y metales pesados en aguas**

El muestreo de las aguas se realizó utilizando una vara plástica de 1,5 m de largo con un vaso de precipitado plástico de 1L de capacidad. Las muestras se tomaron con cuidado de la capa

superficial sin remover el sedimento, fundamentalmente en los lugares poco profundos. El volumen de muestra tomada en cada estación fue aproximadamente de 5L (ISO 1980, 1991, 1994). Luego, las muestras se homogenizaron en un tanque de polietileno previamente endulzado con las aguas del propio ecosistema.

El OD, pH, CE, AT, DT y los ST fueron medidos *in-situ*, mediante el analizador multiparamétrico con marca HI 98.28 (HANNA). La  $\text{DBO}_{5,20}$  fue determinada por el método del respirómetro de Warburg, mientras que la DQO fue determinada, según el método del dicromato empleándose Kits provenientes de Hydrochec/Wpa. (El OD, pH,  $\text{DBO}_{5,20}$  y DQO). El OD, pH,  $\text{DBO}_{5,20}$  y DQO fueron evaluados mediante la Norma Cubana: NC. 1999 – Evaluación de los Objetos Hídricos de Uso Pesquero. En el caso de la CE, AT, DT y ST, fueron evaluados de acuerdo a lo establecido por la Norma Cubana: NC. 1985 – Higiene Comunal. Agua Potable.

#### **Requisitos sanitarios y muestreos**

Se determinaron las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd mediante Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma Inductivamente Acoplado con Vista Axial (ICP-AES) de la firma alemana Spectro-Arco (tabla 1) (Argota-Pérez *et al.* 2014). Todos los análisis se realizaron por triplicado a partir de muestras independientes.

**Tabla 1.** Condiciones instrumentales del Espectrómetro de Emisión Atómica por Plasma Inductivamente Acoplado con Vista Axial (ICP-AES).

PARÁMETROS	CONDICIONES
Tipo de nebulizador	Meinhard (concéntrico)
Gráticula	2400 líneas $\cdot\text{mm}^{-1}$
Frecuencia	27,0 MHz
Energía del plasma	1,4 KW
Velocidad de flujo del gas	18,8 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$
Pre flujo	2,0 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$
Velocidad de bombeo de la muestra	15,0 rpm
Tiempo de integración	3,0 seg
Ranura de entrada de la radiación	25,0 $\mu\text{m}$

La curva de calibración se realizó a partir de reactivos de calidad espectral, verificando las características metrológicas del método, usando valores certificados de muestras patrones de referencia (cada tipo de muestra). La preparación se comenzó a partir de una solución patrón de 1000 mg·L<sup>-1</sup> y los estándares de calibración se prepararon por dilución de la misma con solución de HNO<sub>3</sub> (0,7 M).

### Análisis del costo ambiental sostenible relativo

Dado que no existe una expresión matemática referida a determinaciones de parámetros físico-químicos de calidad ambiental de las aguas que presenten relaciones con la

disponibilidad de metales pesados y que indique posible costo ambiental sostenible, se diseñó una fórmula (siglas en inglés), la cual indicó lo siguiente:

$$\text{RESCO} = \frac{\sum_i^n \text{COA}}{\sum_i^n \text{CONP}}$$

*Dónde*

- RESCO = costo ambiental sostenible relativo
- COA = costo de evaluación
- CONP = costo de prevención normativo
- i) observación inicial y n) observación final

En la tabla 2, se muestra la consideración sobre las categorías del costo ambiental sostenible relativo.

**Tabla 2.** Categorías de sostenibilidad del recurso/intervalo.

categoría de sostenibilidad relativa	intervalo
recurso sostenible relativo	1,0
recurso moderadamente sostenible relativo	0,85 – 0,99
recurso ligeramente sostenible relativo	0,6 – 0,84
recurso poco sostenible relativo	0,41 – 0,59
recurso no sostenible relativo	0,0 – 0,4

En la tabla 3, se muestra el criterio de puntuación para el costo de evaluación (parámetros).

**Tabla 3.** Criterio de puntuación para el costo de evaluación (parámetros).

criterio	puntuación
cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada	1
no cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada	0

### Análisis de los datos

Para el tratamiento de los resultados se aplicaron métodos estadísticos los cuales correspondieron al análisis de la varianza factorial con réplicas para definir las fuentes de variación significativas y la prueba de intervalos múltiples de Duncan para determinar las magnitudes individuales de las

diferencias que resulten significativas según lo expresado por Montgomery (1991). Todos los cálculos, incluyendo el ACP (Análisis de Componentes Principales), se realizaron utilizando el software profesional Statgraphics (Statpoint Technologies, 1994-2001), donde los resultados se consideraron significativos a un nivel de confianza del 95% ( $p \leq 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de parámetros físico-químicos y metales pesados en aguas

En la tabla 3, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos

por estaciones de muestreo, su análisis de componentes principales, el peso de los parámetros físico-químicos (tabla 4 y 5) y representación gráfica de dichos parámetros físico-químicos según el propio análisis de componentes principales (figura 2).

**Tabla 3.** Parámetros físico – químicos por estaciones de muestreo (may/nov, 2015) en el ecosistema San Juan, ubicado en la ciudad de Santiago de Cuba-Cuba. OD=Oxígeno disuelto. CE=Conductividad eléctrica. AT=Alcalinidad total. DT=Dureza total. ST= Sólidos totales. DBO=Demanda bioquímica de Oxígeno. DQO=Demanda química de oxígeno.

estación	periodo	OD	pH	CE	AT	DT	ST	DBO	DQO
1		5,1	7,2	132,2	160	220	543,33	22	112
		3,5	6,8	122,3	212	200	553,33	11,2	132
3	lluvia	4,7	7,3	140,8	228	272	473,33	5,59	247
4		3,0	6,8	138,9	220	300	560	39	312
5		3,1	6,7	122,7	212	312	543,33	16	332
6		3,2	6,7	150,5	220	340	590	15	432
referencia		4,0	6,0 – 9,0	≤ 100,0	≤ 200,0	≤ 200,0	≤ 1000,0	≤ 4,0	≤ 15,0

**Tabla 4.** Análisis de componentes principales dado parámetros físico-químicos en el ecosistema San Juan, ubicado en la ciudad de Santiago de Cuba-Cuba. OD=Oxígeno disuelto. CE=Conductividad eléctrica. AT=Alcalinidad total. DT=Dureza total. ST= Sólidos totales. DBO=Demanda bioquímica de Oxígeno. DQO=Demanda química de oxígeno.

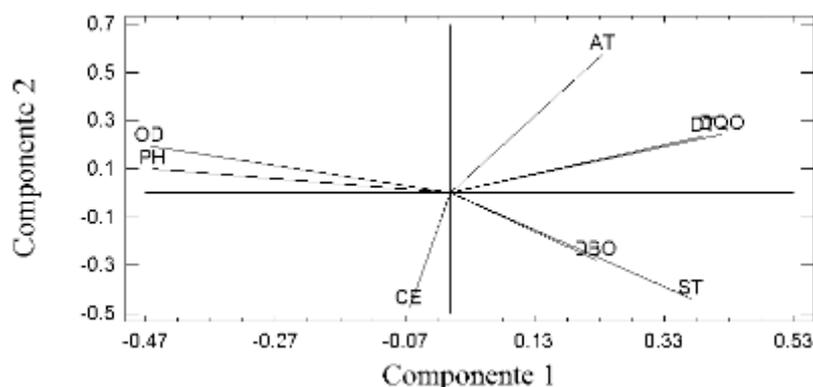
parámetros	eigenvalor	porcentaje de varianza	porcentaje acumulado
DBO	3,82	47,84	47,84
DQO	2,09	26,18	74,03
OD	1,19	14,88	88,91
pH	0,75	9,45	98,36
ST	0,13	1,63	100,00
CE	2.75923E-16	0,00	100,00
AT	6.4747E-17	0,00	100,00
DT	0,0	0,00	100,00

**Tabla 5.** Tabla de pesos de los componentes dado parámetros físico-químicos en el ecosistema San Juan, ubicado en la ciudad de Santiago de Cuba-Cuba. OD=Oxígeno disuelto. CE=Conductividad eléctrica. AT=Alcalinidad total. DT=Dureza total. ST= Sólidos totales. DBO=Demanda bioquímica de Oxígeno. DQO=Demanda química de oxígeno.

parámetro	Componente	
	1	2
DBO	0,22	-0,27
DQO	0,41	0,24
OD	-0,46	0,19
pH	-0,45	0,09
ST	0,37	-0,43
CE	-0,06	-0,48
AT	0,23	0,57
DT	0,38	0,23

Dado los valores de la tabla 5, donde se han estandarizado restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar, quedaría para el primer componente principal, la siguiente ecuación:

$$0,225364*DBO + 0,419003*DQO - 0,463647*OD - 0,458206*pH + 0,370447*ST - 0,0628343*CE + 0,23611*AT + 0,389615*DT$$



**Figura 2.** Gráfica de componentes principales en 2D de parámetros físico-químicos en el ecosistema San Juan, ubicado en la ciudad de Santiago de Cuba-Cuba. OD=Oxígeno disuelto. CE=Conductividad eléctrica. AT=Alcalinidad total. DT=Dureza total. ST= Sólidos totales. DBO=Demanda bioquímica de Oxígeno. DQO=Demanda química de oxígeno.

En la tabla 6, se muestra las concentraciones de la especiación de metales pesados en agua, donde no se observó diferencias estadísticas

significativas entre las estaciones para los cuatro metales. (tabla 7).

**Tabla 6.** Concentración de metales pesados en agua ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en el ecosistema San Juan, ubicado en la ciudad de Santiago de Cuba-Cuba.

Estación	Cu	Zn	Pb	Cd
1	9,21±1,23a	20,2±3,45a	0,11±0,07a	0,008±0,001a
2	14,2±1,03a	28,1±2,21a	0,17±0,06a	0,13±0,002 a
3	9,24±1,23a	18,5±2,59a	0,12±0,03a	0,007±0,001a
4	15,2±2,26a	27,2±2,17a	0,16±0,05a	0,12±0,02 a
5	7,76±0,74a	21,6±2,30a	0,11±0,04a	0,008±0,002a
6	14,3±1,68a	30,3±2,33a	0,16±0,03a	0,13±0,02 a
Referencia* $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	2,0	5,0	0,05	0,005

Leyenda (\*) Norma Cubana: 1021, 2014. Higiene Comunal – Fuentes de Abastecimiento de Agua – Calidad y Protección Sanitaria. Letras iguales en una misma columna indican promedios estadísticamente iguales.

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso fue igual a 0,88, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P para los cuatro metales de la razón-F fue mayor o igual que 0,05, no existe

una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las seis estaciones con un nivel del 95% de confianza.

### Evaluación del costo ambiental sostenible relativo

Como parámetros de calidad del agua se entienden aquellos propios de la composición

de los ríos, así quedan englobados dentro de éstos, los parámetros físico-químicos siempre que se encuentren dentro de los rangos propios de las aguas superficiales libres de la influencia del hombre, el cual hace sobrepasar los valores de estos parámetros a niveles muy superiores a los esperados. La determinación de los parámetros físico-químicos se realiza en general, para tener un criterio evaluativo de la calidad de los cuerpos de agua, independientemente del tipo de uso. Se determinó, que en general los parámetros físico-químicos se encontraron fuera del valor o rango establecido por la norma ambiental reguladora utilizada, por cuanto indicaron que las condiciones de calidad ambiental no son adecuadas. La DBO, la DQO y el OD, justificaron más del 85% de la variabilidad dentro del sistema, por lo que quizás puede interpretarse que se está consumiendo altas concentraciones de oxígeno para degradar la materia orgánica por parte de organismos aerobios, así como para oxidar químicamente la materia orgánica presente.

En cuanto a los metales pesados, su determinación quizás pudo estar en forma biodisponible, a pesar que fue medido como contenido total pero lo preocupante estuvo en que sus concentraciones superaron los límites establecidos por la norma utilizada, siendo una gran preocupación ambiental, debido a que no solo los posibles costos de inversión para los tratamientos serán de tipo primario sino además pudieran ser terciarios, encareciendo tales procesos (Garbisu & Alkorta 2001, Dixit *et al.* 2014).

Con todos los resultados determinados tanto de los parámetros físico-químicos como por la exposición a metales pesados, fueron analizados según la fórmula indicada (RESCO), la cual dividió la sumatoria de aquellos parámetros que sumaron uno (1) entre el número de parámetros analizados.

En la tabla 7, se muestra el costo ambiental sostenible relativo dado los parámetros físico-químicos de calidad de agua y metales pesados determinados.

**Tabla 7.** Costo ambiental sostenible relativo.

parámetros	criterio de puntuación	valor	RESCO	
			intervalo	categoría
DBO	0			
DQO	0			
OD	0			
pH	1			
ST	1			
CE	0	0,17	0,0 – 0,4	recurso no sostenible relativo
AT	0			
DT	0			
Cu	0			
Zn	0			
Pb	0			
Cd	0			

Como el cociente fue 0,17, ello indicó que el recurso agua es no sostenible relativo dado la categoría correspondiente, pudiendo verse afectado no solo la biodiversidad acuática y

asociada, sino que por balance de transferencia de masa de este recurso, puede generarse contaminación hacia otras matrices como es el suelo y en el caso poder biomagnificarse las

concentraciones de estos metales pesados por valor de uso de este último recurso (Iannacone & Alvarino 2005, He *et al.* 2014, Zhang 2014).

En el texto de Contabilidad de Costos (FCE-UDELAR 2002), se establece como fórmula lo siguiente:

$$i = n$$

$$CA = \sum QX(i) A \times PX(i)$$

Donde bien se reconoce que existe un componente físico (QX) y otro monetario (PX). Sin embargo, diversos recursos son de libre accesibilidad, donde no tienen un costo monetario por su utilidad, aunque se reconoce que su pérdida y posterior reposición o restauración, si tendrían un costo en sí mismo, por lo que aplicando la fórmula anterior, el segundo múltiplo en determinadas circunstancias, tendría valor de "cero". Considerando solo la existencia del componente físico, una de las interrogantes sería el cómo valorar los posibles efectos o impactos sin previamente conocerse mediante acciones preventivas por muestreo o monitoreo, la calidad ambiental de un determinado recurso que en ocasiones pudiera llegar a ser no sostenible. Es por ello, que en este estudio, la fórmula empleada permitió conocer el comportamiento del recurso agua y su terminología de relatividad, estuvo en función a que fue referida únicamente por los parámetros físico-químicos y los metales determinados. En cualquier circunstancia, pueden medirse más parámetros que finalmente no invalidan la fórmula empleada.

Asimismo, en la literatura científica internacional, pueden citarse diversos estudios que refieren indicar costos ambientales dado determinada situación adversa que generan contaminaciones o impactos antrópicos (Guimarães *et al.* 2012, He *et al.* 2014). Un ejemplo de ello fue el realizado por Rodríguez & Morales (2011), quienes refirieron el tema contaminación e internalización de costos en la

industria textil. Sin embargo, gran parte de dichos estudios consideran la aplicación del método cualitativo etnometodológico donde pudieran existir sesgos a la hora de analizar determinadas técnicas de recolección de la información como son las encuestas, unido a que no siempre las fuentes contaminantes declaran oficialmente indicadores de eficacia como es el tipo de tecnología utilizada que justifica determinadas cargas contaminantes tributarias de sus propios procesos productivos. Desde luego, la fórmula empleada en este estudio, solo es válida si y solo si, se realizan las determinaciones de forma objetiva y no considerar una opinión, menos dejar de fiscalizar las cargas contaminantes que se tributan.

Otro estudio registrado por Herrera & Millones (2011), titulado "¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú?", indicó que los costos aumentaron de un año a otro, pues se señaló la existencia de una dicotomía entre los costos invertidos por incrementar sus producciones a los precios prevalecientes en el mercado de los minerales y los supuestos costos que deberían invertir en remediar los daños que generan a las aguas superficiales. En este particular, hubiese sido relevante, el poder realmente valorar o al menos estimar los tipos de daños generados y como apreciar su grado sostenibilidad por cualquier tipo de uso.

Según Azqueta (1994), la valoración económica significa contar con un indicador de la importancia del medio ambiente en el bienestar social; y este indicador debe permitir compararlo con otros componentes del mismo (He *et al.* 2014). En tal sentido, el trabajo realizado se refirió a utilizar una ecuación que reflejara el daño ambiental de las aguas dado la variabilidad de sus parámetros físico-químicos y exposición a un elemento contaminante como los metales pesados. Pearce (1993), indicó que la esencia de la valoración económica del medio ambiente es encontrar la

disposición a pagar por obtener los beneficios ambientales o por evitar los costos ambientales medidos donde el mercado revele esta información. Fue por ello que, la fórmula establecida estuvo referida al sentido evaluativo preventivo, pues es bien conocido que los costos a pagar por daños, generalmente son superiores y significativos en comparación a la evaluación de calidad *a priori* de cualquier recurso ambiental.

Osorio & Correa (2004), señalan que valorar económicamente un costo ambiental implica encontrar un indicador monetario que permita determinar el valor de una alteración desfavorable en el medio natural provocada por una acción o actividad económica (Guimarães *et al.* 2012). Aunque en este trabajo como se señaló, la fórmula empleada no estuvo referida como indicador monetario pero si fue coincidente en determinar una alteración que en este caso se refirió al recurso agua.

En general, puede mencionarse que el tema de costo ambiental abordado en este estudio, tiene un basamento en política ambiental y donde Bohm (1997), indicó que toda política ambiental que se pone en práctica en la mayor parte de los países, tiene sus raíces en la economía ambiental, la cual es una rama relativamente joven de la economía neoclásica con sustento en competencia (Costanza 1989).

Se concluye que la fórmula generada en este estudio, permite evaluar el costo ambiental sostenible de las aguas del ecosistema San Juan, Cuba, ya que su dimensión de relatividad estuvo en función de la disponibilidad de datos a medir, siempre considerando la plataforma de riesgo donde Albert (1997), Silveira & Oliveira-Filho (2013), refieren como una de las probabilidades la aparición de un resultado no deseable, por lo que haber establecido un indicador con visión preventiva del costo ambiental, fue de relevancia (Escobar & Erazo 2006, Argota-Peréz & Iannacone 2014a,b).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argudelo, R. 2005. El agua, recurso estratégico del siglo XXI. Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública, 23: 91-102.
- Albert, L. 1997. *Evaluación de riesgo*. Cap 22. *Introducción a la toxicología ambiental*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. División de salud y ambiente. OPS/OMS. Metepec. Estado de México. pp 387.
- Argota, G. & González, Y. 2013. Determinación enzimática en órganos dianas por exposición a metales pesados en la *Gambusia punctata* (Poeciliidae). Rev. MEDISAN, 17: 221-229.
- Argota, G.; Iannacone, J. & Eguren, G. 2012. Proteínas totales y factor de bioconcentración por exposición a metales en la *Gambusia punctata* (Poeciliidae). Rev. MEDISAN, 16: 1731-1735.
- Argota, G.; Argota, H. & Iannacone, J. 2013. Historical ecotoxicological assessment of San Juan Ecosystem, Santiago de Cuba, Cuba. The Biologist (Lima), 11: 251-265.
- Argota-Peréz, G. & Iannacone, J. 2014a. Computerized ecotox methodology for the prediction of ecotoxicological risk from exposure to contamination effects in environmental effluents and aquatic ecosystems. The Biologist (Lima), 12: 181-193.
- Argota-Peréz, G. & Iannacone, J. 2014b. Similarity in the prediction of ecological risk between the software gecotox® and biomarkers in *Gambusia punctata* (Poeciliidae). The Biologist (Lima), 12: 85-98.
- Argota-Pérez, G.; Argota-Coello, H. & Fernández-Heredia, A. 2014. Determinación de Cu, Zn, Pb, y Cd por espectrometría de emisión con plasma inductivamente acoplado en aguas y sedimentos del ecosistema San Juan,

- Santiago de Cuba. Revista Cubana de Química, 26: 85-93.
- Azqueta, D. 1994. *Valoración económica de la calidad ambiental*. Madrid, Editorial Mc. Graw Hill.
- Bohm, P. 1997. *The Economics of Environmental Protection*. Edward Elgar Pub. Great Britain.
- Butler, D. 2005. Human Health, well-being, and global ecological scenarios. *Ecosystems*, 8:153-162.
- Corwin, D.L. & Brandford, S.A. 2008. Environmental Impact and sustainability of degraded water reuse. *Journal of Environmental Quality*, 37: 1-7.
- Costanza, R. 1989. *What is Ecological Economics*. *Journal of Ecological Economics*, 1: 1-7.
- Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano de Estocolmo (DCNU-MAH). 1972. Se definió del 5-12 de junio, que el medio ambiente como el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas.
- Del Genio, D.; Laci, A. & Ruedy, R. 1991. Simulations of the effect of a warmer climate on atmospheric humidity. *Nature*, 351: 382-385.
- Dixit, R.; Wasiullah; Malaviya, D.; Pandiyan, K.; Singh, U.B.; Sahu, A.; Shukla, R.; Singh, B.; Rai, J.P.; Sharma, P.K.; Lade, H. & Paul, D. 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental process. *Sustainability*, 7: 2189-2212.
- Duarte, R.; Sánchez-Chóliz, J. & Bielsa, J. 2002. Water use in the Spanish economy: an input-output approach. *Ecological Economics*, 43: 71-85.
- Escobar, L. & Erazo, A. 2006. Valoración económica de los servicios ambientales del Bosque de Yotoco: Una estimación comparativa de valoración contingente y coste de viaje. *Gestión y Ambiente*, 9:25-38.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1992. *Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades a fin*. Informes sobre temas hídricos. Santiago de Chile, Chile. disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i1629s.pdf> leído el 22 de mayo del 2016.
- FCE-UDELAR. 2002. Contabilidad de Costos (CC). *Tomo teórico I. Facultad de Contabilidad y Economía (FCE). Universidad de la República (UDELAR)*. Consultado 31 de mayo de 2016. Disponible en: <http://eco.unne.edu.ar/contabilidad/costos/VIIIcongreso/194.doc>
- Garbisu, C. & Alkorta, I. 2001. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. *Bioresource Technology*, 77: 229-236.
- García, L. & Iannacone, J. 2014. *Pseudomonas aeruginosa* an additional indicator of drinking water quality: A South American bibliographic analysis. *The Biologist (Lima)*, 12: 133-152.
- Guimarães, M.H.; Mascarenhas, A.; Sousa, C.; Boski, T. & Ponce-Dentinho, T. 2012. The impact of water quality changes on the socio-economic system of the Guadian Estuary: an assessment of management options. *Ecology and Society*, 17: 38.
- He, J.; Zhang, H.; Zhang, H.; Guo, X.; Song, M.; Zhang, J. & Li, X. 2014. Ecological risk and economic loss estimation of heavy metals pollution in the Beijiang River. *Ecological Chemistry and Engineering*, 21: 189-199.
- Held, M. & Soden, J. 2000. Water vapour feedback and global warming. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25: 441-475.
- Herrera, P. & Millones, O. 2011. *¿Cuál es el*

- costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú?": Informe final. Departamento de Economía. Universidad Pontificia Católica del Perú. Consultado: 28 de mayo de 2016.*
- Hu, H.; Jin, Q. & Kavan, P. 2014. A study of heavy metal pollution in China: Current status, pollution-control policies and countermeasures. *Sustainability*, 6: 5820-5838.
- Huntington, G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319: 83-95.
- Iannacone, J. & Alvarino, L. 2002. Evaluación del riesgo ambiental del insecticida cartap en bioensayos con tres invertebrados. *Agricultura técnica*, 62: 366-374.
- Iannacone, J. & Alvarino, L. 2005. Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. *Agricultura técnica*, 65: 198-203.
- Iannacone, J.; Alvarino, L. & Dale, W. 1998. Pruebas ecotoxicológicas como una herramienta para la evaluación del impacto ambiental de los ecosistemas acuáticos. *Boletín de Lima (Perú)*, 74: 17-28.
- Iannacone, J.; Alvarino, L.; Valle Riestra, V.; Ymaña, B.; Argota, G.; Fimia, R.; Carhuapoma, M. & Castañeda, L. 2016. Toxicidad de agentes antiparasitarios, antimicrobianos e insecticidas sobre larvas del camarón salino *Artemia franciscana* (Crustacea: Artemiidae). *Revista de Toxicología*, 33: 31-38.
- Kogevinas, M. & Janer, G. 2000. Dioxinas y Salud. *Medicina Clínica (Barcelona)*, 115: 740-748.
- Loaiciga, A.; Valdes, J.; Vogel, R.; Garvey, J. & Schwarz, H. 1996. Global warming and the hydrologic cycle. *Journal of Hydrology*, 174: 83-127.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. *Objetivos del Desarrollo Sostenible e Indicadores* Ministerio del Ambiente. Dirección General de Investigación e Información.
- Montenegro-Canario, S.S.; Ambrocio-Barrios, N. & Iannacone, J. 2015. Modelo estadístico para estimar la población que recibe ayuda humanitaria por desastres en el Perú. *The Biologist (Lima)*, 13: 375-390.
- Montgomery C. 1991. *Diseño y Análisis de Experimentos*. Grupo Ed. Iberoamérica S.A de C.V. México DF.
- Normalization Standart International (ISO 5667-1). 1980. *Water quality. Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programmes*.
- Normalization Standart International (ISO 5667-2). 1991. *Water quality. Sampling. Part 2: Guidance on sampling techniques*.
- Normalization Standart International (ISO 5667-3). 1994. *Water quality. Sampling. Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples*.
- Olea, N.; Fernández, F.; Araque, P. & Olea, S. 2002. Perspectivas en disrupción endocrina. *Gaceta Sanitaria*, 16: 250-256.
- Olivares-Calzado, G.; Naranjo-López, C.; López-del Castillo, P. & Morell-Bayard, A. 2012. 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*, 4: 99-111.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). 2008. *OECD Environment Outlook to 2030*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development.
- Osorio, J.D. & Correa, F. 2004. Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación. *Semestre Económico*, 7: 159-193.
- Pearce, D. 1993. *Economic Value and the*

- natural world*. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
- Porta, M.; Kogevinas, M.; Zumeta, E.; Sunyer, J.; Ribas-Fito, N. & Grupo de Trabajo sobre Compuestos Tóxicos Persistentes y Salud del IMIM. 2002. Concentraciones de compuestos tóxicos persistentes en la población española: el rompecabezas sin piezas y la protección de la salud pública. *Gaceta Sanitaria*, 16: 257-266.
- Rodríguez, T.L. & Morales, J.A. 2011. Contaminación e internalización de costos en la industria textil. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, Sociotam*, 21: 143-169.
- Shortle, J. 2013. Economic and Environmental markets: Lessons from Water-quality trading. *Agricultural and Resource Economics Review*, 42: 57-74.
- Silveira, S. & Oliveira-Filho, E. 2013. *Principios de toxicología Ambiental*. Ed. Interciência. Rio de Janeiro. pp 216.
- Statgraphics Plus for Windows (SGPW). 2001. Version 5.1. Copyright 1994-2001 for Statistical Graphics Corporation
- Trenberth, E. 1999. Conceptual Framework for Changes of Extremes of the Hydrological Cycle with Climate Change. *Climatic Change*, 42: 327-339.
- Volk, M.; Hirschfeld, J.; Dehnhardt, A.; Schmidt, G.; Bohn, C.; Liersch, S. & Gassman, P.W. 2008. Integrated ecological-economic modelling of water pollution abatement management options in the Upper Ems river Basin. *Ecological Economics*, 66: 66-76.
- Wang, X. & Zang, S. 2014. Distribution characteristics and ecological risk assessment of toxic heavy metals and metalloids in surface water of lakes in Daqing Heilongjiang Province, China. *Ecotoxicology*, 23: 609-617.
- Zhang, X.; Zwiers, F.; Hegerl, G.; Lambert, F.; Gillett, N.; Solomon, S., Stott, P.A. & Nozawa, T. 2007. Detection of human influence on twentieth century precipitation trends. *Nature*, 448: 461-465.
- Zhang, X.L. 2014. Assessing the economic cost of water pollution in the Yangtze River, China. *Journal of Ocean and Coastal Economics*, Article 2.

Received May 29, 2016.  
Accepted July 15, 2016.