

## Evaluación del grado de transformación ecohidrológica, una herramienta para la gestión sostenible de los ecosistemas fluviales

### Evaluation of the degree of ecohydrological transformation, a tool for the sustainable management of river ecosystems

Alina de la Caridad Morell Bayard<sup>1</sup>(<https://orcid.org/0000-0002-5263-0341>)\*, Liliana Gómez Luna<sup>2</sup>(<https://orcid.org/0000-0002-1282-3392>), Arelis Abalos Rodríguez<sup>2</sup>(<https://orcid.org/0000-0002-5263-0341>), Euclides Fornaris Gómez<sup>1</sup>(<https://orcid.org/0000-0002-5263-0341>), Alberto de las Mercedes Beyris Mazar<sup>1</sup>(<https://orcid.org/0000-0003-1753-8299>), Leonor Villalón Poulot<sup>1</sup>(<https://orcid.org/0000-0003-2855-5545>)

<sup>1</sup>Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO)/ Santiago de Cuba/Cuba.  
[morellalina3@gmail.com](mailto:morellalina3@gmail.com)

<sup>2</sup>Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente. Cuba.

<sup>2</sup> Vice Rectora en Universidad de Oriente. Cuba.

\*Correspondence: [morellalina3@gmail.com](mailto:morellalina3@gmail.com); Tel.: +53 545267658

DOI: 10.70373/RB/2024.09.03.3

---

## RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos están siendo degradados a una velocidad más alta que su posible recuperación natural, en ello influyen diferentes factores como la contaminación, presiones antropogénicas, fragmentación, calidad del bosque de ribera, variabilidad del clima, entre otras. Se evalúa el estado ecohidrológico en los ríos permanentes de las cuencas San Juan, Las Guásimas y Carpintero en Santiago de Cuba, como herramienta para una gestión sostenible. La evaluación se realizó por análisis multicriterio utilizando 13 variables, contextualizada por criterios de expertos y distribuidas en tres subcomponentes: red fluvial, zona ribereña y la cuenca hidrográfica, las que fueron normalizadas logrando un índice entre 0 y 1 (poco alterado-muy alterado). Se demostró que en la cuenca San Juan, la subcuenca homónima presenta una alteración muy alta en los tres subcomponentes, mientras que las subcuencas Dos Bocas y Maisí-Zacateca sostienen la condición de alto. Por su parte, Las Guásimas y Carpintero clasifican como muy alto y alto, respectivamente en el subcomponente red fluvial, variando esta condición en el resto de

los subcomponentes. Se demostró que el análisis ecohidrológico constituye una herramienta eficaz para la gestión sostenible el ecosistema.

Palabras claves: Ecosistemas acuáticos, ecohidrología, cuencas hidrográficas, contaminación

## ABSTRACT

Aquatic ecosystems are being degraded at a faster rate than their possible natural recovery, influenced by different factors such as pollution, anthropogenic pressures, fragmentation, quality of the riparian forest, climate variability, among others. The ecohydrological state is evaluated in the permanent rivers of the San Juan, Las Guásimas and Carpintero basins in Santiago de Cuba, as a tool for sustainable management. The evaluation was carried out by multicriteria analysis using 13 variables, contextualized by expert criteria and distributed into three subcomponents: river network, riparian zone and the hydrographic basin, which were normalized achieving an index between 0 and 1 (little altered-very altered). It was shown that in the San Juan basin, the homonymous sub-basin presents a very high alteration in the three sub-components, while the Dos Bocas and Maisí-Zacateca sub-basins maintain the high condition. For their part, Las Guásimas and Carpintero classify as very high and high, respectively in the river network subcomponent, this condition varying in the rest of the subcomponents. It was demonstrated that ecohydrological analysis constitutes an effective tool for sustainable ecosystem management.

Keywords: Aquatic ecosystems, ecohydrology, hydrographic basins, pollution

---

## Introducción

Los ecosistemas acuáticos van desde los manglares que protegen las costas de la erosión y los fenómenos extremos, hasta los lagos y ríos<sup>1</sup>. Estos últimos constituyen un sistema de circulación lineal, vectorial, jerarquizado y estructurado para trasladar los fluidos vitales a través de las cuencas hidrográficas hasta su desembocadura en mares y océanos; irrigando durante su recorrido diferentes ecosistemas de la superficie terrestre<sup>2</sup>

Los ecosistemas fluviales están conformados por una red ramificada y alargada de cauces, con diversos arroyos, que son numerosos en la cabecera, menos en tramos medios y muy pocos en tramos bajos. Estos modelan el paisaje y reflejan las características de sus cuencas, su estructura y funcionamiento, las que dependen a su vez de un conjunto de factores y procesos geológicos, topográficos, climáticos y bióticos, originando diferencias en el número de especies de cada tipo de hábitat fluvial y la dinámica temporal de

las comunidades, la que depende de la conectividad de cada tramo<sup>3</sup>. La degradación de estos ecosistemas es un proceso en rápido ascenso, reconocido internacionalmente, e incluye entre otros elementos la contaminación y la interrupción de los ciclos del agua y nutrientes, como ejes centrales de este proceso, influenciados por las complejas presiones del cambio climático. Entender el proceso de degradación es difícil y complejo, al alterarse los ciclos de nutrientes establecidos evolutivamente, relacionados con la destrucción de la estructura biótica dentro de la cuenca y del sistema de provisionamiento de agua dulce<sup>4,5</sup>.

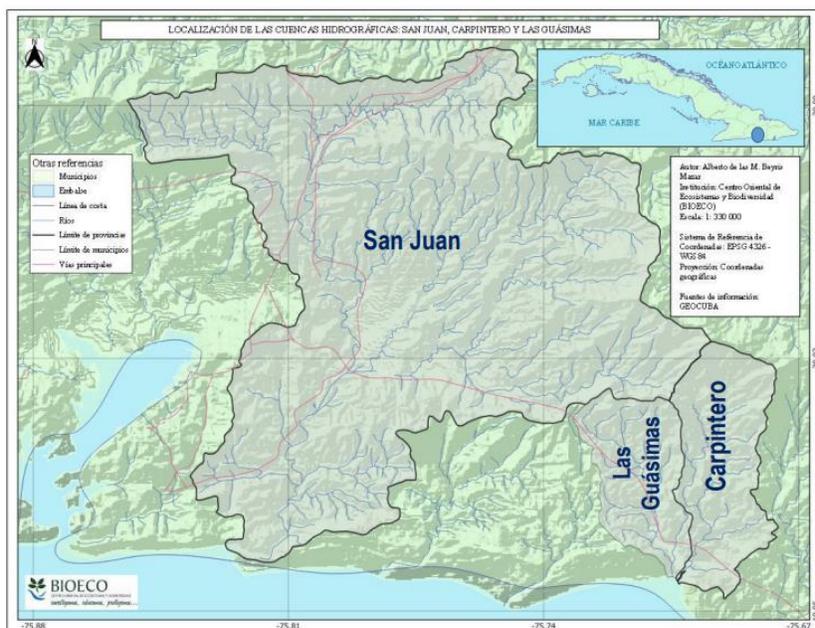
Del estudio de las interrelaciones entre la hidrología y la biota se encarga la Ecohidrología, ciencia funcional definida por Zalewski en 1997 en el marco del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. La misma ha tenido una espiral en ascenso con variadas temáticas y propuestas de soluciones basadas en la naturaleza (SbN)<sup>6,7</sup>. Los estudios ecohidrológicos presentan variedad de temas, enfocados en identificar amenazas, vulnerabilidades y riesgos en los ecosistemas acuáticos. Recientes estudios resaltan la necesidad de reducir los efectos antagónicos hacia estos ecosistemas, a través de la implementación de economías circulares y la reducción del consumismo<sup>8</sup> entre otras iniciativas.

La unidad para el análisis de gestión de los ecosistemas es la cuenca hidrográfica como eje central para los estudios ecohidrológicos, al confirmarse esta como un macro-sistema ecológico donde se establecen interacciones mutuas (ecológicas, hidrológicas y sociales), cuya fisiología es entendida como un sistema complejo, sujeto al conocimiento de la dinámica de los hidrosistemas. Países como Ecuador, Perú, México, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Panamá, Portugal y Etiopía, emplean los instrumentos ecohidrológicos para evaluar el estado de sus ecosistemas fluviales, además de poner en práctica las SbN. El actual desafío para aplicar instrumentos o realizar estudios con enfoque ecohidrológico es la interdisciplinariedad, orientada al proceso de toma de decisiones sobre la base de evidencias científicas, complementado con las ciencias sociales y del comportamiento<sup>9</sup>.

Cuba es un archipiélago con características singulares, con ríos alargados y estrechos. Sus cuencas generalmente son pequeñas; pocas llegan a sobrepasar un máximo de 200 km<sup>2</sup>, mientras que sus redes fluviales se caracterizan por tener ríos principales de longitudes promedio entre 40 y 50 km<sup>10</sup>. Resulta indispensable entonces la conservación de los recursos hídricos y de los ecosistemas fluviales, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar las transformaciones ecohidrológicas ocurridas en los ecosistemas fluviales San Juan, Carpintero y Las Guásimas, para contribuir a establecer estrategias adecuadas para su conservación.

## Materiales y métodos

Los ecosistemas fluviales objeto de estudio se encuentran dentro de las cuencas de interés (San Juan, Carpintero y Las Guásimas) localizadas en la parte Sur de la provincia de Santiago de Cuba, en su municipio homónimo (**Figura 1**). La cuenca San Juan, es de interés provincial, de ella se abastece aproximadamente el 33 % de la población del municipio de Santiago de Cuba, además de contar con un importante reservorio de agua subterránea de alta calidad. Por su parte, las cuencas Las Guásimas y Carpintero se ubican dentro de la Reserva de Biosfera Baconao.



**Figura 1. Localización geográfica de las cuencas San Juan, Carpintero y Las Guásimas en el municipio de Santiago de Cuba.**

La contextualización de los indicadores se realizó por consulta con expertos<sup>11</sup>, seleccionando aquellos con un coeficiente de competencia (K) entre 0,5-1. De los 55 indicadores presentados fueron seleccionados 13 (**Tabla 1**). Para la evaluación los indicadores estos fueron distribuidos en tres subcomponentes: red fluvial, zona riparia y cuenca hidrográfica, considerando valores de ponderación equivalentes a 0,57, 0,29 y 0,14, respectivamente<sup>12</sup>.

**Tabla 1.** Indicadores utilizados para evaluar el nivel de alteración ecohidrológica y fuente de obtención de los datos.

---

**Red Fluvial**

**Zona de Ribera**

**Cuenca**

---

---

1. OD	6. Objetivos socioeconómicos (densidad y frecuencia)	10. Población total
2. DBO	7. Extracción de agua (pozos, presas, embalses, micropresas)	11. Cobertura de la vegetación natural (%)
3. DQO	8. Redes lineales (densidad y frecuencia)	12. Focos contaminantes
4. Nitrato	9. Cobertura de la faja hidrorreguladora (%)	13. Gobernanza
5. Especies exóticas		

---

Fuente: Elaboración propia

## Descripción de los indicadores:

- **Parámetros físico-químicos (OD; DBO; DQO,  $\text{NO}_3^-$ ):** Los muestreos fueron realizados durante los años 2019 a 2021, incluyendo ambos períodos climáticos (lluvioso y poco lluvioso). Los resultados fueron comparados con la norma cubana vigente<sup>13</sup>. Las muestras colectadas fueron sencillas (tomada en el momento), en horario diurno, en el cauce principal del río, a contracorriente, en diferentes puntos correspondientes a la parte alta, media y baja de las cuencas, referenciando estas con el software Q-Yis 3.10. Estos análisis fueron realizados por la Empresa Nacional de Aseguramiento de Servicio Técnicos (ENAST) perteneciente al Instituto Provincial de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba, según técnicas analíticas reconocidas en el "Standart Methods of Examination of Water and Wastewater, versión 19"<sup>14</sup>.
- **Fragmentación del ecosistema:** se evaluó a través del análisis y distribución de los objetivos socioeconómicos, las redes lineales de transporte, y la cantidad de elementos destinados a la extracción del agua (canales, pozos, embalses o acueductos) establecidos dentro del área la cuenca. Para ello se tuvo en cuenta la densidad (equivalente al número de elementos dividido entre el área de la cuenca en  $\text{km}^2$ ) y la frecuencia de intersección de estos elementos (número de elementos identificados dividido entre la longitud total de la red hidrográfica en km), sobre la base de que, a mayor cantidad de concurrencias, mayor alteración en los ríos.
- **Cobertura de la vegetación:** para las fajas hidro-reguladoras se estimó una franja de 20 m de ancho a ambos lados del cauce del río principal y sus afluentes, en cada ecosistema estudiado<sup>15</sup>. La calidad de la vegetación fue determinada cualitativamente a través de consulta a expertos, considerando una estratificación en 4 niveles (buena, regular, mala y pésima), especificando en cada caso los atributos correspondientes.

- **Población Total:** se realizó consulta a documentos oficiales Oficina Nacional de Estadística e Información<sup>16</sup>.
- **Objetivos socioeconómicos:** se realizaron visitas a los diferentes Consejos Populares para la verificación de los indicadores<sup>17</sup>.
- **Focos contaminantes:** se consideró el total de focos, identificados por los datos obtenidos en el control establecido por la Unidad de Medio Ambiente (UMA) y la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Fueron considerados, además, datos de informes técnicos, constatando su presencia en cada cuenca<sup>18</sup>.
- **Gobernanza:** se tuvieron en cuenta documentos clave como la Estrategia Provincial y los ejes estratégicos del Plan de desarrollo económico y social 2020-2030<sup>19</sup>.

Los indicadores fueron estandarizados por el método de Mínimo-Máximo; la integración final se realizó por la sumatoria lineal ponderada, obteniendo un índice con valores entre 0 y 1 (Ec-1). Los cercanos a cero (0) indicativos de inexistencia de alteración, mientras que, al acercarse a (1) como valor máximo, se incrementa el estado de alteración.

$$V_i = \sum_j^n W_j * X_{ij} \quad (\text{Ec-1})$$

Donde,  $V_i$  es valor resultante de la alternativa,  $W_j$  es el peso asignado al criterio  $j$  para reflejar su importancia relacionada a otro criterio y  $X_{ij}$  es la calificación de la alternativa  $i$  sobre el criterio  $j$ .

Los criterios de puntuación para evaluar el nivel de alteración ecohidrológica (NAE) se muestran en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Rangos de estimación del ecosistema por subcomponente.

NIVEL DE IMPACTO	RED FLUVIAL	RIBERA	CUENCA	ALTERACIÓN ECHOHIDROLÓGICA
Sin alteración	0	0	0	0
Muy Bajo	0,001-0,114	0,001-0,058	0,001-0,028	0,01-0,2
Bajo	0,115-0,228	0,059-0,116	0,029-0,056	0,21-0,4
Medio	0,229-0,342	0,117-0,174	0,057-0,084	0,41-0,6
Alto	0,343-0,456	0,175-0,232	0,085-0,112	0,61-0,8
Muy alto	<b>0,457-0,57</b>	<b>0,233-0,29</b>	<b>0,113-0,14</b>	<b>0,81-1</b>

Fuente: Nivel de alteración ecohidrológica en ríos perennes de la cuenca del río Ayuquila-Armería (Garrido et al. 2010).

## Resultados y discusión

Para la realización de la investigación se tuvieron en cuenta aspectos claves que ayudaron en la organización del trabajo, tales como:

1. Monitoreo de campo: permitió la recolección de datos en las áreas de estudio, ya sean referidos a la caracterización físico-geográfica, mediciones de calidad del agua, de la biodiversidad o parámetros meteorológicos.
2. Análisis estadístico: como apoyo en la interpretación de los datos recolectados y determinando patrones y tendencias.
3. Empleo de imágenes satelitales para obtener información sobre el uso del suelo y cobertura vegetal y tipo de vegetación en una cuenca hidrográfica.
4. Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramientas para analizar y representar a través de mapas los resultados.

La caracterización físico-geográfica, develó similitudes y diferencias entre las cuencas estudiadas. Las mismas comparten formaciones geológicas, tipos de suelo y la condición de ser exorreicas. Sin embargo, difieren en su nacimiento, caudal, y aportaciones de sus tributarios, siendo las más importante la cuenca San Juan, al ser esta la de mayor extensión e importancia en el territorio y de la que se abastece buena parte de la población del municipio (**Tabla 3**).

**Tabla 3. Caracterización físico-geográfica de las áreas de trabajo.**

Variable físico-Geográfica	Río San Juan	Río Carpintero	Río Las Guásimas
Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	138,3	17,3	11,3
Longitud (km)	25,9	8,41	6,76
Geología <sup>20</sup>	Grupo El Cobre; rocas vulcanógenas y sedimentarias, Formación Caney en el Norte de la cuenca. Formación La	Grupo El Cobre y formación Maya encontradas en la cuenca reportándose, además, la formación Jaimanita	Río la coincidentes con las San Juan,

	Cruz que ocupa la porción centro y sur de la cuenca.	
	Formación Maya, con una pequeña y estrecha franja.	
<b>Características climáticas<sup>21,22</sup></b>	<p>Clima tropical marítimo, con dos períodos bien definidos, el poco lluvioso y el lluvioso.</p> <p>Precipitación: 800 a 1600 mm</p> <p>Humedad relativa media anual: 70 y 75 %</p> <p>Temperatura media anual: 24 °C y 26 °C</p>	<p>Precipitación media menor de 800 mm, alcanzándose los mayores valores en la parte alta de las cuencas.</p> <p>Período poco lluvioso: 200-400 mm</p> <p>Período lluvioso: 800 a 1000 mm.</p> <p>Humedad relativa: 70-80 %.</p> <p>Evaporación media anual: 4-6 mm.</p> <p>Temperatura media anual: 22-26°C.</p>
<b>Tipo de cuenca<sup>23</sup></b>	Exorreica	
<b>Afluentes<sup>24</sup></b>	<p>Principal tributario el río San Juan.</p> <p>Principales afluentes: Guamá, Río Seco, Zacateca, Maisí, Cocal y los arroyos Las Lajas, Jagüey, Naranjo y Majín</p> <p>Desde su nacimiento la parte más ancha se encuentra en la zona media, volviendo a estrecharse y finaliza su recorrido en las cercanías de la playa Agüadores.</p>	<p>Los principales ríos a los que tributan las aguas de las cuencas son el Carpintero y Las Guásimas, los que desembocan en el Mar Caribe. El río Las Guásimas recibe aportaciones de escasa importancia por sus tributarios, ocurriendo lo contrario con el Carpintero, lo que condiciona un mayor caudal que las Guásimas</p> <p>La parte más ancha se encuentra en la zona media, volviendo a estrecharse; finaliza su recorrido en las cercanías del poblado de Siboney, desembocando al mar</p>
<b>Suelo<sup>25</sup></b>	<p>Pardos (47,2 %)</p> <p>Rendzina roja (cerca de la desembocadura),</p>	<p>Pardos sin carbonatos</p> <p>Esqueléticos</p> <p>Pardo grisáceos</p> <p>Fersialíticos</p>

	Aluviales (parte central)	Pardo-rojizos
	Esqueléticos	Rendzina roja
		Aluviales
<b>Relieve<sup>26</sup></b>	Heterogéneo debido a las diferentes superficies por las que atraviesa. El 73,5 % presenta valores de hipsometría inferior a 200 msnm, hacia su parte media e inferior. La parte norte tiene alturas entre 201 y 400 msnm, fundamentalmente hacia la Sierra de Boniato y los sistemas de alturas de la Gran Piedra por el Este. Los valores superiores a 401 msnm solo ocupan una pequeña porción del área y se corresponden con la Sierra de la Gran Piedra	El relieve está fuertemente diseccionado con valores que oscilan entre los 251 y 500 m en la porción superior de la cuenca del río Carpintero, descendiendo a ligeramente en la porción media de la cuenca. La disección horizontal oscila entre 0,5 y 2,0 km por km <sup>2</sup> .

Fuente. Elaboración propia

### - Análisis por subcomponentes

Los resultados se realizan por subcomponentes. En la cuenca San Juan, el análisis se realizó por subcuencas por disponer de la información necesaria, al ser una cuenca mucho más estudiada.

#### a) Impacto en el subcomponente red fluvial

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de las variables físico-químicas durante la etapa 2019-2021, así como los referentes de la NC 25/1999, y las evidencias encontradas sobre la presencia de especies exóticas.

**Tabla 4.** Parámetros físico-químicos evaluados para determinar la calidad del agua en los ecosistemas y valores límites de acuerdo con la norma.

Cuencas/indicadores	Carpintero	Las Guásimas	San Juan	NC 25/99
<b>pH (U)</b>	8,08	8,0	8,0	<b>6,5-8,5</b>
<b>NO<sub>3</sub><sup>-1</sup> (mgL<sup>-1</sup>)</b>	12,54	41,24	26,4	<b>9</b>
<b>DBO (mgL<sup>-1</sup>)</b>	8,6	8,4	10,5	<b>3</b>

<b>OD (mgL<sup>-1</sup>)</b>	4,6	4,6	4,78	<b>5</b>
<b>DQO (mgL<sup>-1</sup>)</b>	32,2	42	48,7	<b>15</b>
<b>Especies exóticas</b>	P	P	P	<b>N/A</b>

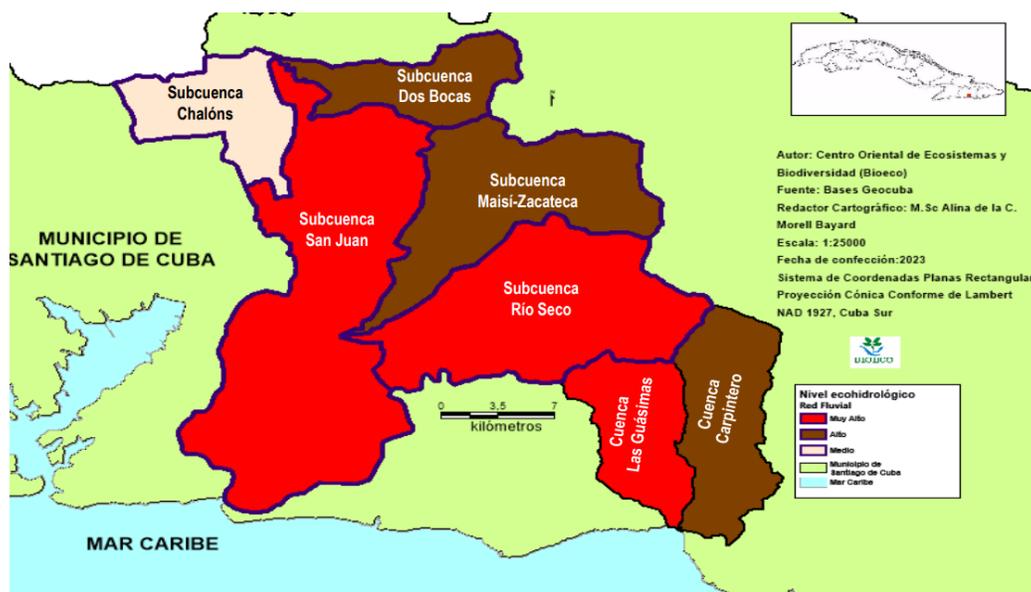
P- Presencia

N/A- No aplica

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que en los tres ecosistemas solo el valor de pH se encuentra dentro de los límites establecidos, el resto de los parámetros exceden los límites normados. Con respecto a la presencia de especies exóticas, esta estuvo centrada en el pez gato (*Amiurus nebulosus*). Esto fue conformado por documentación de avistamientos durante el monitoreo, pesca y/o declaraciones de pobladores residentes en las áreas de la cuenca, confirmando su presencia en todos los ecosistemas estudiados. Se confirma además que la contaminación de las aguas es la principal problemática en las tres cuencas, manteniendo esta condición San Juan, de acuerdo con los resultados aportados por otros estudios<sup>27</sup>.

El nivel de alteración ecohidrológica para este subcomponente se presenta en como evidencia (**Figura 2**). En la cuenca San Juan el 40% del ecosistema evaluado presenta una condición de (**Muy Alta degradación**), otro 40 % clasifica como Alto, mientras que el 20 % presentan una condición media. En el caso de las cuencas Las Guásimas y Carpintero, presentan una condición de **Muy Alto** y **Alto**, respectivamente.



## Figura 2. Nivel ecohidrológico para el subcomponente red fluvial.

### b) Impacto en la zona de ribera

Los indicadores estuvieron asociados con la fragmentación del ecosistema fluvial, problemática vinculada con la continuidad y buen funcionamiento de este. Mientras mayor sea la intercepción ocasionada, mayor es su discontinuidad, estimulando cambios en las estructuras de las poblaciones, comunidades de plantas y animales, lo que afecta su funcionamiento<sup>28-30</sup>.

Para evaluar el fraccionamiento de los ecosistemas, se calculó la densidad de los objetivos socioeconómicos existentes y la frecuencia de interrupción por las redes lineales de transporte (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Fraccionamiento del ecosistema de acuerdo con su densidad y frecuencia de intercepción en el ecosistema dentro de la cuenca.

Cuencas/Subcuencas	Densidad (objetivos socioeconómicos) vs área total de la cuenca	Frecuencia de intercepción de las redes lineales de transporte con la red hidrográfica
Carpintero	0,54	0,54
Guásima	1,00	1,26
Subc-Río seco	0,69	3,89
Subc-San Juan	<b>3,82</b>	<b>45,79</b>
Subc-Chalón	0,08	4,69
Subc-Maisi-Zacateca	0,33	4,48
Subc-Dos Bocas	0,13	1,95

Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que la mayor densidad respecto a los objetivos socioeconómicos y frecuencia de intercepción con la red hidrográfica se presenta en la subcuenca San Juan, seguida por Río Seco, la cuenca Las Guásimas, y con menor incidencia la subcuenca Chalóns. Esta última subcuenca y la de Maísi-Zacateca presentan valores relativamente altos en cuanto a la presencia de caminos de 2do orden

y carreteras, que se vinculan con el ecosistema fluvial, proporcional al desarrollo socioeconómico de cada una.

La extracción de agua es otro de los indicadores analizados por su importancia; un incremento no considerado altera el flujo de especies migratorias, el establecimiento de especies de peces e invertebrados acuáticos locales, con efectos en la vegetación circundante<sup>29</sup>. La estimación de este indicador demostró que la cuenca San Juan presenta una condición de vulnerabilidad, pues en ella se ubican un total de 80 pozos, de estos el 86,25 % en la subcuenca homónima; y seis micro presas, destinando el 94,1 % de sus aguas al abasto de la población, y un 5,19 %, para la agricultura.

Las cuencas Las Guásima y Carpintero, no muestran evidencias documentadas sobre su potencial hidráulico. Se reporta un total de 30 pozos para Las Guásimas y cuatro para Carpintero. Teniendo en cuenta las consultas realizadas, aún se muestran insuficiencias con respecto a la extracción de agua y su distribución. Por otra parte, fue evidente durante el período poco lluvioso la disminución del caudal de las aguas del río, influyendo esto en el incremento de la concentración de los contaminantes, degradando el hábitat de las especies acuáticas, y agudizando los procesos de salinización, situación identificada en la parte baja de la cuenca San Juan.

Se trabajó en la caracterización de la vegetación, por lo que se realizó consulta con expertos para unificar criterios en la clasificación de la vegetación de esta zona, y de esta forma identificar tramos de río con elevado valor ecológico, con una tipificación apropiada, lo que posibilita el desarrollo de acciones para una correcta reforestación y recuperación de las áreas degradadas. En la **Tabla 6** se presenta la estratificación propuesta para evaluar la calidad de ribera de los ecosistemas, teniendo en cuenta la cobertura de la vegetación.

**Tabla 6. Calidad y tipo de vegetación de las fajas hidrorreguladoras.**

Clasificación	Descripción
C-1 (Buena)	Bosque semideciduo micrófilo; manglar; bosque siempreverde antropizado, en ocasiones mezclado con cafetales. Bosque secundario mixto; bosque secundario con dominancia de leguminosas; arbolado asociado a cursos de aguas; bambusal.
C-2 (Regular)	Pastos con abundantes árboles y palmas, frutales y árboles alrededor de casas aisladas; plantación de leguminosas pura.

---

<b>C-3 (Mala)</b>	Matorral secundario con árboles y arbustos, pastos con árboles y arbustos; frutales extensos.
<b>C-4 (Pésima)</b>	Herbazal secundario; pastos casi puros; mezcla de cultivos, asentamientos, instalaciones sociales o económicas. Carreteras, autopistas, canteras, arenas o suelo desnudo.

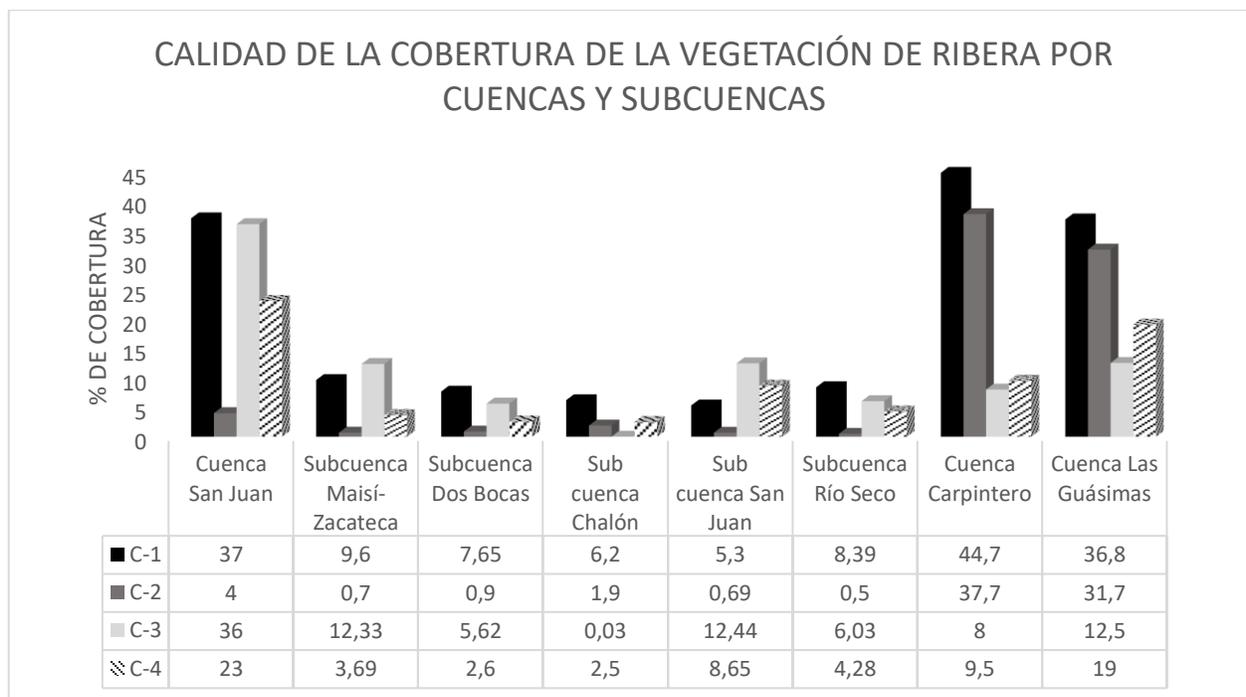
---

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 3** se presenta la calidad por cuencas y el aporte de las subcuencas a la cuenca San Juan, revelando que, en la misma el 41,7 % de la vegetación clasifica entre buena y regular, esta clasificación fue de un 68,5 % para Las Guásimas, y 81,7 % en Carpintero, esta última con mejores condiciones en la vegetación de ribera.

Estudios realizados por el colectivo de autores de Bioeco en 2022, en el ecosistema San Juan explican que el número de especies y ensamblaje de la vegetación de ribera en su subcuenca homónima difiere significativamente desde su nacimiento hasta la desembocadura. En su origen, se evidencian elementos típicos de la estructura y composición de bosques de galería, destacando la presencia de especies nativas tales como: (*Cyper usalternifolius* (paragüitas), *Cuphea lobelioides*, *Turnera ulmifolia* (marilope) y *Pilea microphylla* y solo cuatro exóticas con predominio de *Syzygium jambos* (pomarroza), incrementando estas últimas su predominio en el resto de la cuenca.

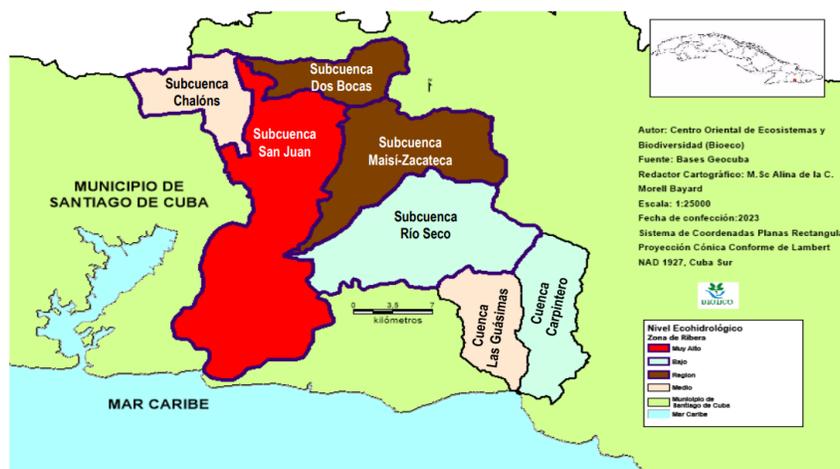
Entre las principales problemáticas encontradas destacan el impacto de la población y la modificación de la estructura física del hábitat de la vegetación de ribera, en su mayoría eliminada, fragmentada, o profundamente modificada y reducida a una estrecha franja junto al cauce; sustituida por cultivos agrícolas e infraestructuras hidráulicas, lo que coincide con lo descrito por otros autores<sup>30</sup>.



**Figura 3. Calidad de la vegetación de ribera de las fajas hidrorreguladoras en cuencas y subcuencas.**

Fuente: Elaboración propia

El criterio de nivel de alteración para el subcomponente zona de ribera es como sigue (**Figura 4**): (**Muy Alto**) para la subcuenca San Juan, (**Alto**) para las subcuencas Dos Bocas y Maisí-Zacateca, (**Medio**) clasifican la subcuenca Chalóns y la cuenca Las Guásimas y (**Bajo**) la subcuenca Río Seco y la cuenca Carpintero.



**Figura 4. Nivel ecohidrológico para el subcomponente zona de ribera.**

Fuente. Elaboración propia

## c) Impacto en la cuenca

De acuerdo con los datos confrontados entre 1998 y 2015 el incremento poblacional en la cuenca San Juan, fue de más de 46 298 personas. Para 2022, se observó un ascenso de 253 051 habitantes<sup>16</sup>. En ella se ubican seis industrias identificadas como contaminadoras por sus vertimientos directos a las aguas superficiales del río. A estas se suman 11 focos con igual condición. Con respecto a la vegetación solo el 1,11 % es natural, aunque se identifican áreas con algún tipo de protección por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas: la Reserva de la Biósfera Baconao (35,9 %), la Reserva Ecológica Siboney-Juticí, (0,08 %) y el Paisaje Natural Protegido Estrella-Aguadores (0,17 %)<sup>31</sup> (Bioeco 2022).

En las cuencas Las Guásima y Carpintero la población residente es preferentemente rural, representando el 84% y 86%, respectivamente, con poco cambio en su variación durante el período 2015-2022, corroborado con los datos obtenidos oficialmente<sup>15</sup>. En las mismas se reportan un total de 23 instalaciones, demostrando un desarrollo inferior al de la cuenca San Juan.

El análisis de la vegetación se realiza de manera conjunta, mostrando que el 52 % de la superficie está cubierta por bosques naturales. Estas cuencas se encuentran dentro de la Reserva de Biosfera de Baconao, una de las primeras Áreas Protegidas de Cuba, con reconocimiento internacional por su labor sostenida en la conservación y preservación de los recursos naturales, declarada Reserva Mundial de la Biosfera por la Unesco en 1987<sup>32</sup>.

La gobernanza y su influencia en el desarrollo socioeconómico es tomado como indicador al permitir evaluar el desarrollo de los gobiernos locales y la toma de decisiones para realizar acciones de mejoras en la gestión de conservación de los ecosistemas. En Cuba se trabaja con ejes estratégicos que se imbrican en la evaluación de proyectos y planes provinciales hasta 2030. En el municipio de Santiago de Cuba, fueron establecidos nueve sectores estratégicos para apoyar con la implementación del desarrollo económico-social para el impulso económico<sup>33</sup>. Del total de propuestas de proyectos aprobados (11), tres se ubican dentro de la cuenca San Juan y dos en la cuenca Las Guásimas, referidas todas al desarrollo alimentario. Se reconoce como insuficiencia que dentro de los proyectos no se menciona la gestión ambiental como uno de sus propósitos para la conservación sostenible de los ecosistemas.

Se demuestra que el nivel ecohidrológico considerado de (**Muy Alto**) se ubica para la subcuenca San Juan. Mientras que clasifican como (**Alto**) Río Seco, Maísi-Zacateca, Dos Bocas y la cuenca Carpintero. Con categoría (**Media**) está la subcuenca Chalóns y (**Bajo**) la cuenca Las Guásimas (**Figura 5**).

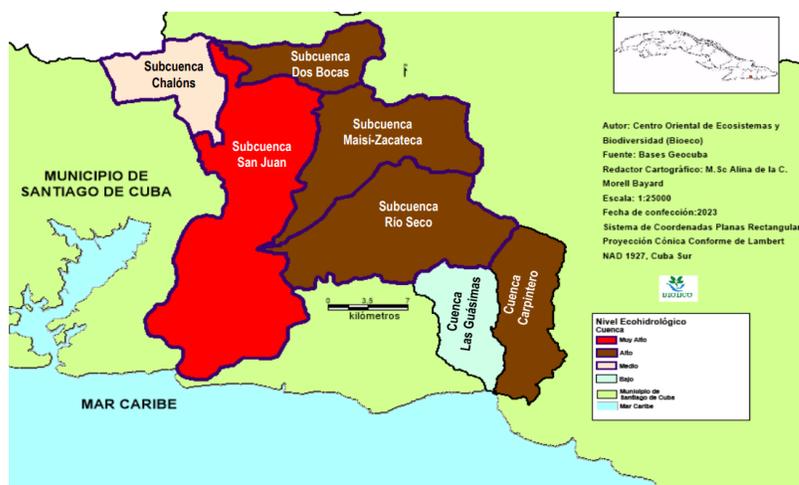


Figura 5. Nivel ecológico para el subcomponente cuenca.

Fuente: Elaboración propia

- Evaluación del estado de alteración ecológico total

Los análisis realizados anteriormente por subcomponente, subcuencas y cuencas, permiten tener una base para el cálculo del nivel de alteración ecológico total (Figura 6).

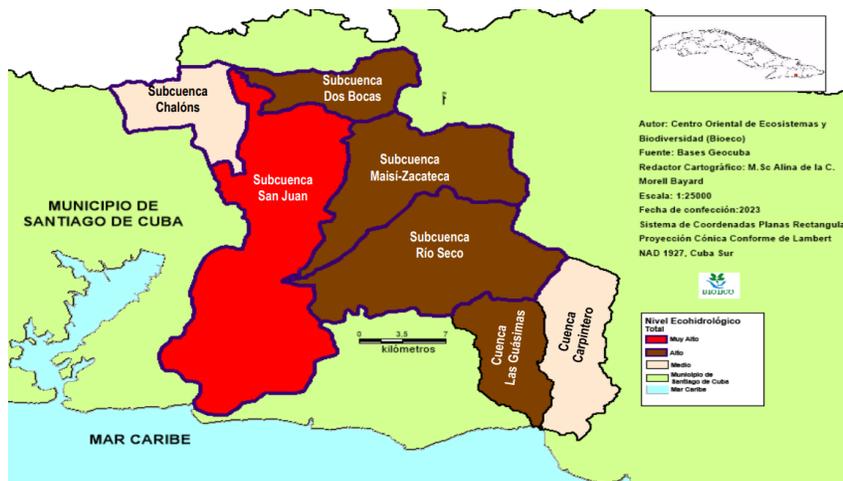


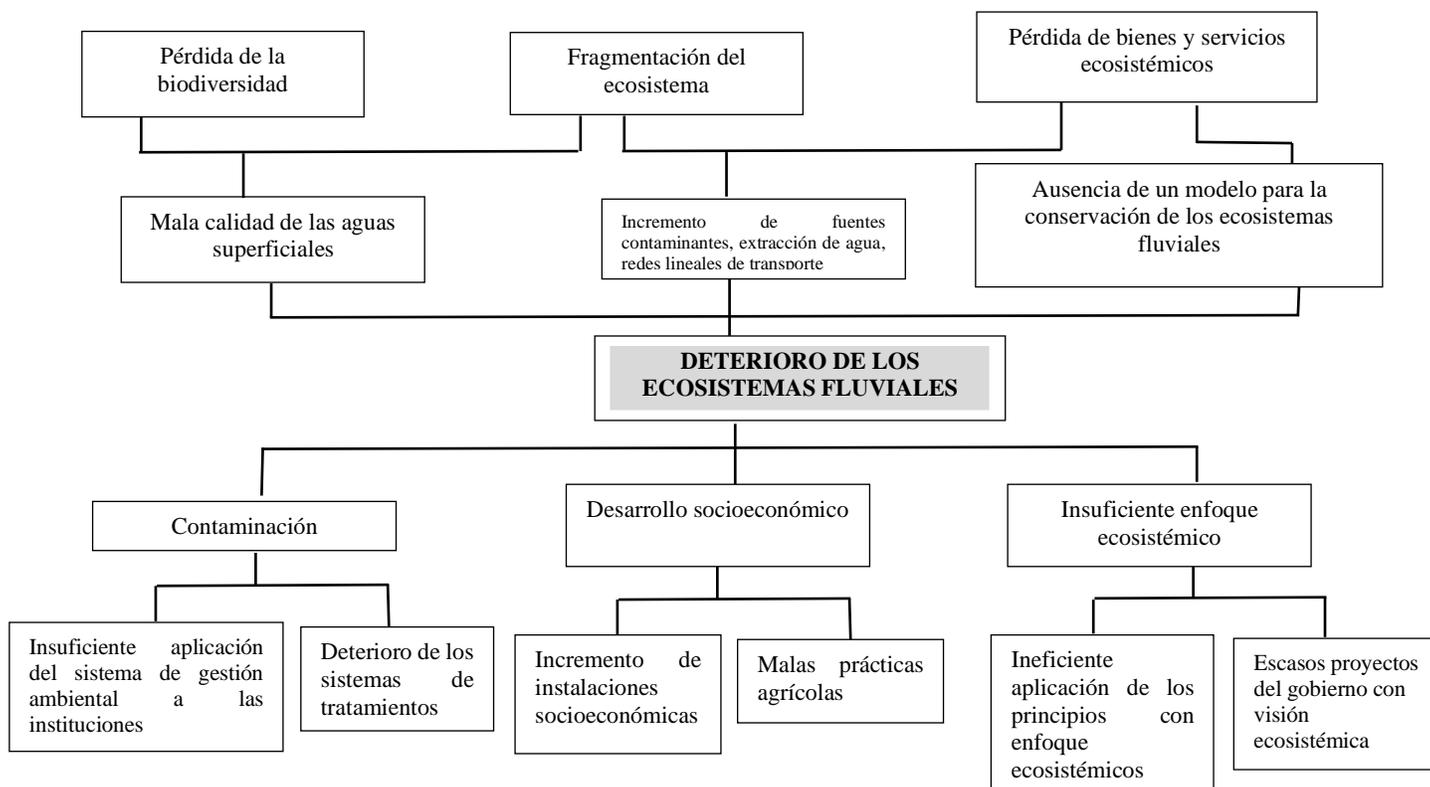
Figura 6. Nivel de alteración ecológica total para las cuencas San Juan, Carpintero y Las Guásimas.

Fuente: Elaboración propia

La integración de los tres subcomponentes evidenció que la subcuenca San Juan presenta un nivel de alteración ecológica (**Muy Alto**) sostenido durante todo el análisis. Las subcuencas Dos Bocas, Maisí-Zacateca, Río Seco y Las Guásimas fueron estimadas como (**Alto**), mientras que la subcuenca Chalóns y la cuenca Carpintero de (**Medio**).

De acuerdo con el análisis de todos los indicadores previstos se pudieron develar las causas de las principales problemáticas encontradas en los ecosistemas (**Figura 7**), así como sus efectos, permitiendo enfocar las acciones a desarrollar por los principales decisores locales, en función de mejorar las condiciones encontradas, cumpliendo lo propuesto por el principio 8 del enfoque ecosistémico<sup>34</sup>, al declarar que los estudios en ecosistemas no son estáticos, por el contrario, sirven para buscar soluciones en un futuro cercano, lo que coincide con el interés del presente estudio.

Los procesos de conservación son fenómenos sociales, dentro de las cuencas fluye un sistema socio-ecológico (SSE), los cuales son la unidad analítica para la investigación del desarrollo sustentable; se les reconoce como sistemas complejos, pues se componen de subsistemas, que a su vez contienen múltiples variables humano-ambientales, por lo tanto, es la sociedad la que protege o destruye los recursos naturales y son ellas a su vez quienes deben darle un sentido a esa acción de conservación en el marco de su desarrollo individual y colectivo<sup>35</sup>.



## Figura 7. Principales problemáticas detectadas durante el análisis.

Fuente: Elaboración propia

### Conclusiones

El análisis ecohidrológico es una herramienta capaz de permitir un análisis integrado, evidenciando que las cuencas San Juan y Las Guásimas son las más transformadas ante factores de estrés como la contaminación y la fragmentación del ecosistema.

### Referencias

1. Mereles, A. (2021). El medio acuático, en grave proceso de degradación. Las Palmas de Gran Canaria. Informaciones Canarias, S.A. (INFORCASA). Gobierno de España. Fondo Europeo de Desarrollo Regional. <http://dx.doi.org/10.25145/j.histcan.2020.202.06>
2. Campoblanco, H. y Gomero, J. (2000). Importancia de los ríos en el entorno ambiental. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas.*, 3(5): 57-63 pp. <http://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v25i50.24307>
3. Pozo, J. y Elosegí, A. (2009). El marco físico: la cuenca. España: Fundación BBVA. In book: *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. 39-49 pp. Chapter: El marco físico: la cuenca Publisher: Fundación BBVA Editors: Elosegí A and Sabater S. <https://goo.su/BUM2>
4. Guswa, A. J., Tetzlaff, D., Selker, J. S., Carlyle-Moses, D. E., Boyer, E. W., Bruen, M. y Levia, D. (2020). Advancing ecohydrology in the 21st century: A convergence of opportunities. *Ecohydrology*. 13: 1-14. pp <http://dx.doi.org/10.1002/eco.2208>
5. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2022). Ecohidrología: una breve introducción. <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctvb6v6pn.4>
6. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (1997). Ecohydrology. A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. Paper presented at the IHP-V. Technical documents in hydrology No 7, Paris. <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v45i3-4.6061>
7. Morell, A., & Gómez, L. (2024) La significación práctica de la Ecohidrología un análisis de su potencial para el estudio de cuencas hidrográficas. *Agua y territorio*, 24. 97-116 pp. <http://doi:10.17561/at.24.7127>

8. Arduino, G. y Zalewski, M. (2021). Ecohydrology for the Sustainable Future of the Biosphere. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(1):12 pp. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.09.001>
9. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2010). La Ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°23. Uruguay: Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). <http://dx.doi.org/10.29104/phi-aqualac/2011-v3-1-08>
10. González Piedra, J. I. (2011). El Manejo de Cuencas en Cuba: un instrumento de Planificación Territorial. *Revista Proyección 10 V.* 90-100 pp. <https://doi.org/10.32457/riem.vi8.394>
11. Michalus, J.C, Sarache, W. y Hernández, G. (2015). Método de expertos para la evaluación ex ante de una solución organizativa. *Visión de Futuro, Vol.19 No.1.* 1-17 pp. <http://dx.doi.org/10.36995/j.visiondefuturo>
12. Garrido, A., Cuevas, M. L., Cotle, H., González, D. I., y Rebecca, T. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación ambiental, 2 (1):* 25-46 pp. [http://dx.doi.org/10.26640/cecoldo.ide\\_00006](http://dx.doi.org/10.26640/cecoldo.ide_00006)
13. Norma Cubana (NC:25/99). (1999). Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones. La Habana. Cuba.
14. American Public Health Association (APHA). (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association, Water Environment. Federation.1-554 pp. <http://dx.doi.org/10.12999/awwa.c705.60>
15. Herrero-Echevarría, J. A. Fajas forestales hidrorreguladoras: ¿Qué son? ¿Para qué sirven? ¿Cómo se calculan? ¿Cómo se crean y manejan?. (2003). La Habana: Ministerio de la Agricultura. [http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv\\_anc.2020.08.1](http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv_anc.2020.08.1)
16. Oficina Nacional de Estadística e información (ONEI). (2020). Anuario Estadístico de Cuba. Oficina nacional de estadística e información. La Habana. Cuba. <http://www.onei.gob.cu/node/16275>
17. Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo (INOTU). (2020). Esquema Provincial de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cuba. Cuba. <https://goo.su/UzK36>
18. Calderín, C., Salas, A., Ramírez, G., Durand, T., Infante, Y., Muñiz, A. and Bastic, M. (2018). Propuesta de un plan de acción preliminar para la preservación del lecho acuífero Cuenca

- hidrográfica San Juan (Informe Técnico). Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos en Santiago de Cuba. Cuba.
19. Coya de la Fuente, L. (2019). Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030. Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos. Eje estratégico: Recursos Naturales y Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana. Cuba. 1-17 pp. <http://dx.doi.org/10.18356/a5163950-es>
  20. Jakus, P. (1983). Formaciones vulcanógenas y vulcanógeno- sedimentarias de Cuba Oriental. In E. C.-. Técnica (Ed.), Contribución a la Geología de Cuba Oriental. 17-80 pp. La Habana.
  21. Bermúdez, G. y Durán, M. T. (1991). Mapas de precipitación. En Atlas de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba: Academia de Ciencias de Cuba.
  22. Montenegro Moracen, U. Mapas de precipitación media anual. (1991a). En Atlas de Santiago de Cuba. Santiago de Cuba, Cuba: Academia de Ciencias de Cuba.
  23. Gómez, C. (2004) Manual de Manejo de cuencas. Editor. Visión Mundial El Salvador. San Salvador: 2da. Edición: 138 pp. <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctv513d5c.4>
  24. Perrands, G. (2008). Propuesta de una estrategia ambiental para el manejo integrado de la cuenca San Juan, bajo un enfoque de Integración al medio marino. Tesis de Maestría Universidad de Oriente. (Inédito). 114 pp. Santiago de Cuba. <http://dx.doi.org/10.7764/tesisuc/com/21451>
  25. Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. y Rivero, L. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. *AGRINFOR*. 64 pp. ISBN: 959-246-022-1. <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctvpv5123.6>
  26. Hernández, J. R., Magaz, A., Ortiz, M. A. y Zamorano, J. J. (1995). Clasificación morfoestructural (Tipológica) y morfotectónica (Salud) del relieve oriental cubano: Modelo insular de transición interplacas. *Investigaciones Geográficas Boletín*, 3: 13-34 pp.
  27. Morell, A., Bergues, P., López, P. y Almarales, A. (2020). Estado ecológico del río San Juan en Santiago de Cuba: período 2013-2015. *Ciencia en su PC*, (1) 3. 36-49 pp. <http://dx.doi.org/10.24265/campus.2016.v21n21.02>
  28. Álvarez, G. (2003). Efectos de las infraestructuras lineales de transporte. *El Ecologista*. 37. 56-59 pp. ISSN 0211-6472. <http://dx.doi.org/10.20868/upm.thesis.1011>
  29. Meza-Rodríguez, D., Martínez-Rivera, L. M., Mercado-Silva, N., de Jalón-Lastra, D. G., del Tánago-Del Río, M. G., Marchamalo Sacristán, M., y De la Mora-Orozco, C. (2017). Propuesta

- de caudal ecológico en la cuenca del Río Ayuquila-Armería en el Occidente de México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 45(5). <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v35i3.224>
30. Rodríguez, F. E.; Martínez, L.M.; y Ortiz-Arrona, C. I. (2020). Nivel de alteración ecohidrológica en ríos perennes de la cuenca del río Ayuquila-Armería. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, XXII, (2). 28-38 pp. <http://dx.doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1243>
31. Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO). (2022). Conservación y uso sostenible de la biodiversidad desde el enfoque de manejo integrado de cuencas y áreas costeras. Santiago de Cuba. Cuba. 1-13 pp. <http://dx.doi.org/10.34098/2078-3949.36.4.2>
32. Herrera Alvarez, M. Reservas de la Biosfera de Cuba. (2021). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 53 pp. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124262>
33. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2019). Plan Nacional del Desarrollo Económico 2030. 1-48 pp. <http://dx.doi.org/10.11144/javeriana.10554.20608>
34. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). (2004). Enfoque por ecosistemas. 1-50 pp. (Directrices del CDB). <https://www.cbd.int/doc/publications/ea-text-es.pdf>
35. Peña-Puch, A., Pérez-Jiménez, J. C., Munguía-Gil, A. y Espinoza-Tenorio, A. (2021). Sistemas socio-ecológicos como unidad de manejo: el caso de las pesquerías de Campeche, México. *Economía, Sociedad y Desarrollo*. XXI, (65). 113-145 pp. <https://doi.org/10.22136/est20211601>

/ **Received:** 23 June 2024 / **Accepted:** 23 August 2024 / **Published:** 15 September 2024 /

**Citation:** Alina de la Caridad Morell-Bayard, A., Gómez-Luna, L., Abalos-Rodríguez, A., Euclides Fornaris-Gómez, E., Mercedes Beyris-Mazar, A., Villalón-Poulot, L. *Evaluación del grado de transformación ecohidrológica, una herramienta para la gestión sostenible de los ecosistemas fluviales. Bionatura. 2024; Volume (9). No 3.*

**Peer review information:** Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

**Publisher's Note:** Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)