







Análisis de vulnerabilidad ecológica de tres ecosistemas fluviales de Santiago de Cuba¹

The Ecological Vulnerability Analysis of Three River Ecosystems of Santiago de Cuba

-  Alina de la Caridad Morell Bayarda ^a
-  Liliana María Gómez Luna ^b
-  Arelis Ábalos Rodríguez ^c
-  Euclides Fornaris Gómez ^a
-  Alberto de las Mercedes Beyris Mazara ^a
-  Leonor Villalón Poulota ^a

^a Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO), Santiago de Cuba

^b Universidad de Oriente. Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Santiago de Cuba

^c Universidad de Oriente, Santiago de Cuba

Cómo citar: Morell Bayard, A. de la C., Gómez Luna, L., Ábalos Rodríguez, A., Fornaris Gómez, E., Beyris Mazara, A. de las M., & Villalón Poulut, L. Análisis de vulnerabilidad ecológica de tres ecosistemas fluviales de Santiago de Cuba. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (17), A-002. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202601.A002>



Resumen: Los ecosistemas fluviales actualmente son más sensibles frente a las perturbaciones naturales o antrópicas, lo que influye en la calidad de sus bienes y servicios. Para proteger su uso sostenible y servicios, es necesaria la detección temprana de cambios potencialmente perjudiciales en sus capacidades funcionales. El análisis de su vulnerabilidad proporciona información sobre sus debilidades y capacidad de recuperación tras un impacto. El objetivo de esta investigación fue evaluar la

¹ El artículo formó parte del proceso de investigación para obtener el grado de Doctor en Ciencias Ambientales en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Los indicadores que orientan esta segunda etapa de la investigación fueron trabajados en una primera etapa, cuyos resultados fueron publicados en Morell Bayard & Gómez Luna (2024).

vulnerabilidad ecológica de tres ecosistemas fluviales del municipio de Santiago de Cuba: San Juan, Las Guásimas y Carpintero. Para ello se utilizó un sistema de 32 indicadores, previamente seleccionados después de una revisión sistemática de 210 artículos publicados entre 2019 y 2024; resultando escogidos 22 indicadores —a través del método de consulta con expertos—, distribuidos en 4 indicadores generales, 4 específicos y 14 básicos. Para el análisis fueron desarrolladas matrices de síntesis, cuyo resultado demostró que los ecosistemas San Juan y Las Guásimas presentan una vulnerabilidad ecológica alta, mientras que Carpintero clasifica con vulnerabilidad media. Los resultados son asociados fundamentalmente a la mala calidad de las aguas superficiales, elevada fragmentación del ecosistema y el incremento de largos periodos de sequía.

Palabras clave: Ecosistemas fluviales. Vulnerabilidad. Riesgo. Vulnerabilidad ecológica. Respuesta ecosistémica.

Abstract: River ecosystems are currently more sensitive to natural or anthropogenic disturbances, which influence the quality of their goods and services. To protect their sustainable use and services, early detection of potentially harmful changes in their functional capacities is necessary. Vulnerability analysis provides information on their weaknesses and resilience after an impact. The objective of this research was to assess the ecological vulnerability of three river ecosystems in the municipality of Santiago de Cuba: San Juan, Las Guásimas, and Carpintero. A system of 32 indicators, previously selected after a systematic review of 210 articles published between 2019 and 2024, was used for this purpose. Twenty-two indicators were selected through expert consultation, distributed among four general, four specific, and fourteen basic indicators. Synthesis matrices were developed for the analysis, the results of which demonstrated that the San Juan and Las Guásimas ecosystems exhibit high ecological vulnerability, while Carpintero is classified as having medium vulnerability. These results are primarily associated with poor surface water quality, high ecosystem fragmentation, and an increase in prolonged periods of drought.

Keywords: River ecosystems. Vulnerability. Risk. Ecological vulnerability. Ecosystem response.

1. Introducción

La vulnerabilidad es el grado de daño o pérdida que pudiera sufrir un elemento o grupo de elementos bajo riesgo (personas, edificaciones, instalaciones, ecosistemas, bienes, servicios públicos, ambiente), como resultado de la ocurrencia de eventos naturales o antrópicos de cierta magnitud e intensidad. La diferencia de vulnerabilidad de los elementos expuestos determina la severidad de las consecuencias sobre los mismos. Su análisis y evaluación contribuyen al conocimiento del riesgo, que no es más que el producto de la interacción entre las amenazas y las vulnerabilidades (Vera & Albarracín, 2017).

Un análisis de vulnerabilidad es un método adecuado para comprender las debilidades de un sistema y está estrictamente orientado a la amenaza que potencialmente podría dañarlo (Wisner et al., 2004). La vulnerabilidad se define como el potencial de pérdida (Adger, 2006; Brooks, 2003; Füssel, 2007), pero rara vez se ha aplicado a los ecosistemas. Una evaluación de la vulnerabilidad de un ecosistema podría utilizarse para estimar la incapacidad de este para tolerar factores de estrés a lo largo del tiempo y el espacio (Williams & Kapustka, 2000).

Las investigaciones vinculadas con la vulnerabilidad ecológica se han incrementado en las últimas décadas. De acuerdo con Beroya (2016), este concepto ha sido usado durante décadas por las ciencias sociales, incrementando su uso en ecología. Por su parte, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en 2014, la asocia al riesgo climático como predisposición a ser afectado negativamente por los impactos del cambio climático (IPCC, 2014b).

Los ecosistemas fluviales representan un complejo mecanismo hidrológico y geomorfológico de conducción superficial de las aguas continentales (Bruno & Velasco, 2024). Estos han sido modificados por presiones antropogénicas, estimulando la reducción de la diversidad morfológica, destrucción del hábitat natural, disminución del caudal, pérdida de la capacidad de mantenimiento de la fauna y flora fluvial y el aumento del efecto de borde por la ubicación de vías de comunicación en los cauces (Michel & Meyer, 2001; Naiman & Dudgeon, 2011). Los escenarios futuros para los ecosistemas fluviales coinciden con una tendencia hacia la reducción paulatina de los recursos hídricos disponibles en su régimen hidrológico y el incremento de la temperatura media del agua; y como consecuencia, la biodiversidad puede sufrir alteraciones en la fenología y la demografía de las comunidades que los configuran (RED, 2021; IPCC, 2014).

En Cuba, la prioridad en la gestión del agua es hacia la oferta y demanda del producto. De acuerdo con Martínez & Villalejo (2018), esto fragmenta una integración holística para conservar el ecosistema fluvial. Por otra parte, las problemáticas de los ecosistemas fluviales en Cuba no difieren de los encontrados a nivel global (Chapman et al., 2021; Gaceta Oficial Cubana [GOC], 2017). La gestión sobre la reducción de riesgos en Cuba, expresados en la Directiva 1², dirige su atención hacia los peligros de origen natural, tecnológico y sanitario, con énfasis en la vulnerabilidad social, física e institucional, mientras que la vulnerabilidad ecológica no se aborda con la profundidad necesaria para una gestión de riesgo integral (GOC, 2022).

El objetivo de esta investigación es evaluar la vulnerabilidad ecológica de tres ecosistemas fluviales del municipio de Santiago de Cuba: San Juan, Las Guásimas y Carpintero, a través de

² Se trata de una regulación gubernamental dirigida a estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo en el país, establecida por el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil desde 2010. Este documento está en constante cambio y una de las principales problemáticas es no considerar la vulnerabilidad de los ecosistemas en sentido general, con deficiencias de indicadores para ellos, cuestión que se mantiene bajo análisis y es por eso que se planteó el estudio, presentando como ejemplo los ecosistemas fluviales.

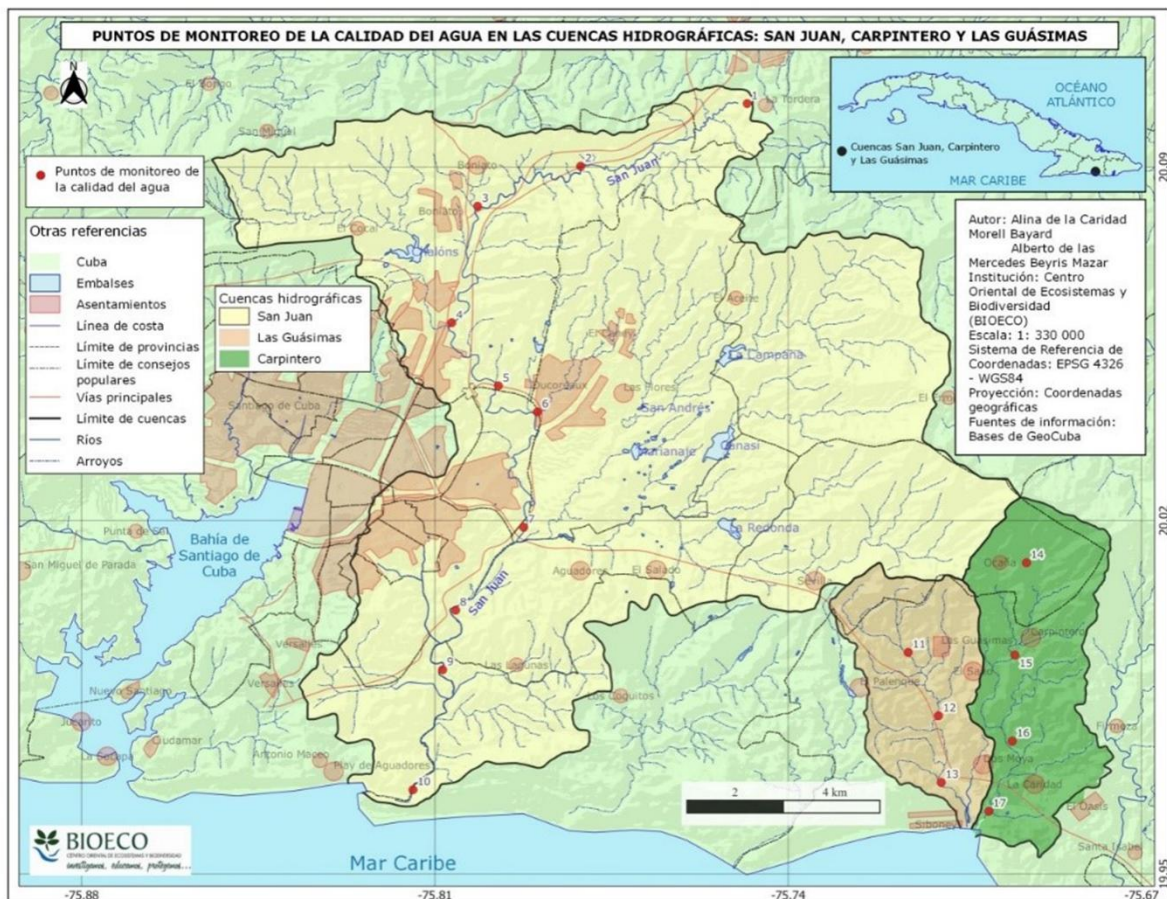
un sistema de indicadores cuyos resultados serán estimados para alcanzar una mejor gestión de riesgo.

2. Metodología

2.1 Descripción de las áreas de estudio

Los ecosistemas fluviales San Juan, Las Guásimas y Carpintero se encuentran dentro de las cuencas de igual nombre, en el municipio y provincia de Santiago de Cuba (Figura 1). La cuenca San Juan es una de las prioritarias del municipio, reconocida por su interés provincial por poseer el mayor reservorio de aguas subterráneas del municipio. Las Guásimas y Carpintero son cuencas contiguas, pequeñas, aproximadamente a 20 kilómetros de la ciudad de Santiago de Cuba, ubicadas dentro de la Reserva Mundial de Biosfera del Parque Baconao (Herrera, 2021).

Figura 1. Ecosistemas fluviales de estudio localizados en el municipio de Santiago de Cuba, sus cuencas hidrográficas y puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia.

El estudio se llevó a cabo durante el periodo 2019-2021, en el que se realizaron recorridos de campo que incluyeron ambos periodos estacionales (lluvioso y poco lluvioso). La Tabla 1 resume las principales características físico-geográficas de los ecosistemas estudiados.

Tabla 1. Análisis comparativo de las principales variables físico-geográficas de las cuencas objeto de estudio

Variable físico-geográfica	Río San Juan	Río Carpintero	Río Las Guásimas	Referencias
Área de la cuenca (km ²)	138.3	17.3	11.3	Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO, 2022)
Longitud del río principal (km)	25.9	8.41	6.76	Calderín et al. (2018)
Geología	Grupo El Cobre, rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias, formación Caney en el norte de la cuenca, formación La Cruz, porción centro y sur de la cuenca. Formación Maya.	Grupo El Cobre y la formación Río la Maya, coincidentes con las encontradas en la cuenca San Juan, reportándose, además, la formación Jaimanita.		Jakus (1983)
Tipo de cuenca	Exorreicas			Ordoñez (2011)
Principal tributario y afluentes	Principal tributario: Río San Juan. Principales afluentes: Guamá, Río Seco, Zacateca, Maisí, Cocal y los arroyos Las Lajas, Jagüey, Naranja y Majín. Desde su nacimiento, la parte más ancha es en la zona media, finalizando su recorrido en las cercanías de la playa Aguadores.	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. El Carpintero tiene mayor caudal que las Guásimas. La parte más ancha se encuentra en la zona media, finalizando su recorrido en las cercanías del poblado de Siboney, desembocando al mar.		Perrands (2008)

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Metodología para la selección de indicadores usados para evaluar la vulnerabilidad ecológica en los ecosistemas fluviales

Para el análisis de la evaluación de la vulnerabilidad ecológica se modificó la metodología de Mendoza (2011). El autor sugiere la construcción de diferentes tipos de indicadores, dependiendo de la vulnerabilidad que se desee analizar; a partir de estas orientaciones fueron seleccionados indicadores para determinar la vulnerabilidad ecológica.

La selección se realizó por consulta a 11 expertos (4 nacionales y 7 locales), los cuales fueron escogidos de acuerdo al coeficiente de competencia demostrado, el cual debió estar entre 0.5- 1 (Michalus et al., 2015). A estos se les entregó un documento con el interés para evaluar la vulnerabilidad ecológica en ecosistemas fluviales. La elección se realizó por el método de ponderación de factores (Vergel et al., 2015), listando 32 indicadores obtenidos por revisión sistemática de 210 artículos, los que fueron ordenados por su importancia relativa, escogiendo aquellos con mayor ponderación (22). Entre los elementos prioritarios para el análisis fueron evaluados la conservación y funcionamiento de los ecosistemas fluviales, considerando la sensibilidad, exposición y adaptación de estos.

Los pasos a seguir fueron:

- **Selección de indicadores:** Se identifican las variables o factores relevantes que influyen en el análisis.
- **Peso:** A cada factor se le asigna un peso que refleja su importancia relativa dentro del conjunto de factores.
- **Calificación:** Se otorga una calificación a cada factor, generalmente en una escala numérica (de 1 a 3), que indica su desempeño o nivel.
- **Puntuación ponderada:** Se calcula multiplicando el peso por la calificación, lo que permite ordenar y priorizar los factores.
- **Participación de expertos:** Para validar y ponderar los factores, asegurando representatividad y consenso.
- **Validación y ajuste.**

2.3 Peso o importancia

Se establece un peso o importancia relacionada con el grado de afectación a los ecosistemas fluviales (Tabla 2). Constituyendo también una modificación a la metodología propuesta por Mendoza (2011), en este caso se definen:

Tabla 2. Ponderación de pesos para la evaluación de los indicadores

Peso	Descripción
3	La variable/el indicador analizado tiene una repercusión alta, con afectación en el funcionamiento y/o estructura del ecosistema fluvial o en los servicios ecosistémicos.
2	La variable/el indicador repercute de forma no tan intensa en el ecosistema o se asocia a una posible solución. Su repercusión en los servicios ecosistémicos no es tan marcada.
1	La influencia o afectación es considerada leve para el ecosistema y la condición encontrada puede ser revertida. No hay incidencia en la prestación de los servicios ecosistémicos.

Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores ubicados en la categoría de base son evaluados en la matriz de síntesis de forma cualitativa y cuantitativa, considerando los criterios establecidos *a priori*, de acuerdo con la clasificación de Excelente (5), Bien (4), Regular (3), Mal (2), referida a lo encontrado en el ecosistema durante los monitoreos realizados, multiplicados por su importancia, obteniendo una evaluación ponderada. La evaluación final (EF) es la suma total de las individuales y las ponderadas:

$$EF = \sum EP / \sum P \quad (1)$$

Donde para cada indicador base:

E es la evaluación

P es el peso o importancia

E*P = Ep (evaluación ponderada)

Los indicadores son categorizados y agrupados en generales (4), específicos (4) y base, considerando un análisis relacional, por consenso grupal (Tabla 3) (Mendoza, 2011).

Tabla 3. Indicadores seleccionados y criterios para la evaluación de la vulnerabilidad ecológica en ecosistemas fluviales

Indicador general de vulnerabilidad	Indicador específico	Indicador base	Criterios de evaluación para estimar la vulnerabilidad: Excelente (5), Bien (4), Regular (3), Mal (2)
<p>Calidad del agua: Los monitoreos de calidad de las aguas incluyeron ambos periodos estacionales reconocidos en Cuba (Calderín et al., 2018; NC 25: 1999).</p> <p>1 indicador específico y 5 indicadores base</p>	<p>Impacto de la contaminación</p>	<p>Principales focos contaminantes.</p>	<p>Excelente: Con un sistema de tratamiento adecuado. Bien: Más del 50% con algún sistema de tratamiento. Regular: Más del 20% con algún sistema de tratamiento. Mal: Focos con vertimiento libre.</p>
		<p>Presencia de microvertederos.</p>	<p>Excelente: Menos del 5% de los microvertederos no están identificados en la recogida por servicios comunales. Bien: Más del 50% se encuentran dentro de las recogidas establecidas por comunales. Regular: Entre 40% y 20% se encuentran dentro de las recogidas establecidas por comunales. Mal: Más del 60% de los microvertederos no están identificados dentro de los sistemas de recogida por comunales.</p>
		<p>Parámetros químico-biológicos (DBO, DQO, OD).</p>	<p>Excelente: Todos los parámetros cumplen con lo estipulado en la norma.</p> <p>Bien: Los valores encontrados son cercanos a lo estipulado en la norma, considerando las condiciones como deseables. Regular: Los valores sobrepasan los estándares normales, pero sin ser considerados extremos. Mal: Los parámetros están muy por encima de los valores considerados como estándar.</p>
<p>Pérdida de integridad ecológica (Autoridad Nacional del Agua, 2024; Garrido et al., 2010).</p> <p>1 indicador específico y 3 indicadores base</p>	<p>Fragmentación del ecosistema (Frecuencia)</p>	<p>Fragmentación de la vegetación natural.</p>	<p>Excelente: La vegetación natural representa entre el 70% y 90%, del total de los bosques. Bien: La vegetación natural representa entre el 50% y 69%, del total de los bosques. Regular: La vegetación natural representa entre el 25% y 49% del total de los bosques. Mal: La vegetación natural representa menos del 24.9% del total de los bosques.</p>
		<p>Frecuencia de intersección de las redes lineales de transporte.</p>	<p>Excelente: Limitada presencia de redes lineales, caminos de diferentes órdenes, carreteras en la cuenca. Bien: Presencia de caminos de segundo orden, terraplenes con poca interrupción con el ecosistema. Regular: Presencia de caminos de segundo orden. Terraplenes, carreteras de primer orden con evidente intercepción con el ecosistema. Mal: Presencia de carreteras (primer, segundo orden), autopistas, evidente zona antropizada.</p>

Indicador general de vulnerabilidad	Indicador específico	Indicador base	Criterios de evaluación para estimar la vulnerabilidad: Excelente (5), Bien (4), Regular (3), Mal (2)
		Calidad de la vegetación en la zona de ribera o franja hidrorreguladora.	<p>Excelente: Cubierta más del 65% de la franja hidrorreguladora con una vegetación de galería con la calidad adecuada.</p> <p>Bien: Cubierta entre el 50 y el 64.9% de la franja hidrorreguladora con una vegetación con la calidad adecuada.</p> <p>Regular: Cubierta menos del 30% y el 49% de la franja hidrorreguladora con calidad adecuada.</p> <p>Mal: Cubierta menos del 29% de la franja hidrorreguladora con calidad adecuada.</p>
<p>Estrategias de desarrollo (PNUD, 2019).</p> <p>1 indicador específico y 3 indicadores base</p>	Gobernanza y gobernabilidad	Cantidad de proyectos de desarrollo vinculados con la gestión de los recursos hídricos. Líneas de desarrollo local con perspectivas de protección de los recursos naturales que incluyan la conservación de ecosistemas fluviales.	<p>Excelente: Existencia de planes o líneas estratégicas con proyección en la conservación y protección ambiental de los ecosistemas aplicados a nivel local o municipal.</p> <p>Bien: Existencia de planes o líneas estratégicas con proyección en la conservación y protección ambiental con inclusión de los ecosistemas.</p> <p>Regular: Existencia de planes, políticas, estrategias de desarrollo provincial, municipal o local.</p> <p>Mal: Inexistencia de planes, políticas, estrategias de desarrollo provincial, municipal o local con proyección en la conservación y protección ambiental de los ecosistemas.</p>
		Porcentaje de proyectos que contemplan acciones de gestión ambiental con participación comunitaria enfocada en la conservación de ecosistemas fluviales.	<p>Excelente: Entre el 80% y el 100% de los proyectos de desarrollo local, municipal o provincial consideren dentro de sus acciones la gestión ambiental con participación comunitaria hacia la conservación de los ecosistemas fluviales.</p> <p>Bien: Entre el 50% y el 79% de los proyectos de desarrollo local, municipal o provincial consideren dentro de sus acciones la gestión ambiental con participación comunitaria hacia la conservación de los ecosistemas fluviales.</p> <p>Regular: Entre el 20% y el 49% de los proyectos de desarrollo local, municipal o provincial consideren dentro de sus acciones la gestión ambiental con participación comunitaria hacia la conservación de los ecosistemas fluviales.</p> <p>Mal: Menos del 20% de los proyectos de desarrollo local, municipal o provincial consideren dentro de sus acciones la gestión ambiental con participación comunitaria hacia la conservación de los ecosistemas fluviales.</p>
<p>Amenazas relacionadas con la variación climática (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente [CITMA], 2022).</p> <p>1 indicador específico y 3 indicadores base</p>	Impacto de la sequía en los ecosistemas	<p>Sequía meteorológica</p> <hr/> <p>Sequía agrícola</p> <hr/> <p>Hidráulica</p>	<p>Excelente: Desarrollo de estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR) en el municipio que incluya indicadores ecológicos en los que se tenga en cuenta el impacto de estos tipos de sequía en los ecosistemas fluviales.</p> <p>Bien: Desarrollo de al menos un estudio de PVR en el municipio donde se incluyan indicadores de impacto de estos tipos de sequía en los ecosistemas fluviales.</p> <p>Regular: No hay desarrollo de estudios de PVR en el municipio donde se incluyan indicadores de impacto de estos tipos de sequía en los ecosistemas fluviales.</p> <p>Mal: Ausencia de estudios de PVR.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Al final, se confecciona la matriz de vulnerabilidad ecológica total, calculada a partir de los resultados parciales de las matrices de síntesis de los indicadores específicos (Tabla 4) (Mendoza, 2011).

Tabla 4. Estratificación por niveles y colores de la vulnerabilidad ecológica

Puntuación	Vulnerabilidad
2.00 a 2.99	Alta
3.00 a 3.89	Media
3.90 a 4.69	Baja
4.70 a 5.00	Muy baja

Fuente: Mendoza (2011).

2.4 Metodología para el monitoreo y cálculo de los indicadores de base seleccionados

Principales focos contaminantes: El total de focos fue identificado por datos recogidos por la Unidad de Medio Ambiente (UMA) y la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, además de revisar informes técnicos publicados al respecto (Instituto de Planificación Física [IPF], 2015; Calderín et al., 2018; BIOECO, 2022).

Microvertederos: Se realizaron recorridos en todas las cuencas para verificar su presencia y se consultó el informe de Calderín et al. (2018).

Parámetros químico-biológicos: Se consideran tres parámetros: Oxígeno disuelto (OD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los monitoreos fueron realizados mensualmente durante 2019-2021, incluyendo los periodos lluvioso y poco lluvioso; los resultados se comparan con la norma cubana NC 25: 1999. Las muestras colectadas fueron sencillas, en horario diurno, en el cauce principal del río, a contracorriente, en diferentes puntos (Figura 1 y Tabla 5), referenciadas con el software QGIS 3.10. Los análisis fueron realizados por la Empresa Nacional de Aseguramiento de Servicio Técnico (ENAST), perteneciente al Instituto Provincial de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba, según técnicas analíticas del Standard Methods of Examination of Water and Wastewater, versión 19 (American Public Health Association, 1995).

Tabla 5. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo

Puntos de monitoreo por cuencas	Coordenadas	
	Latitud Norte	Longitud Oeste
San Juan		
1. La Tordera	20°06'07.36"	-75°44'54.20"
2. Puente de San Vicente	20°05'22.19"	-75°46'52.80"
3. Represa Bacardí	20°04'54.36"	-75°48'06.70"
4. Santa María y Cuabitas	20°03'31.45"	-75°48'24.95"
5. Tropicana	20°02'46.13"	-75°47'51.04"
6. Ducureaux	20°02'27.98"	-75°47'23.18"
7. Puente San Juan	20°01'05.19"	-75°47'33.92"
8. Santa Rosa	20°00'06.86"	-75°48'22.98"
9. Zanjón de Chicharrones	19°59'23.53"	-75°48'31.45"
10. Desembocadura del San Juan	19°57'58.31"	-75°48'52.53"
Las Guásimas		
11. Cabecera del arroyo asentamiento Las Guásimas	19°59'36.16"	-75°42'59.34"
12. Granjita de Siboney	19°58'50.98"	-75°42'37.67"
13. La Estrella	19°58'3.43"	-75°42'35.68"
Carpintero		
14. Cabecera del río Carpintero, localidad Ocaña	20°0'40.05"	-75°41'34.88"
15. Caserío Carpintero	19°59'34.32"	-75°41'43.10"
16. El Refugio	19°58'32.88"	-75°41'45.07"
17. Desembocadura río Carpintero	19°57'42.86"	-75°42'1.80"

Fuente: Elaboración propia.

Fragmentación de la vegetación natural: Fueron analizadas imágenes satelitales y comparadas con informes técnicos de BIOECO (2022). Se aplicó la metodología del IPF (2015) para evaluar el estado de la vegetación.

Frecuencia de intersección de las redes lineales de transporte: Frecuencia de intersección del número de elementos identificados, dividido por la longitud total de la red hidrográfica (km); a mayor cantidad de concurrencias, mayor alteración en los ríos (Garrido et al., 2010).

Calidad de la vegetación en la zona de ribera o faja hidrorreguladora: Se estimó una franja de 20 m de ancho a ambos lados del cauce del río principal y sus afluentes (Herrero-Echevarría, 2003). La calidad de la vegetación fue determinada por consulta con expertos;

se consideró una estratificación de cuatro niveles (buena, regular, mal y pésima), especificando en cada caso los atributos correspondientes (Tabla 6). Se calculan los porcentajes de cada una de las clasificaciones con el empleo del software QGIS 3.10.

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

Clasificación	Descripción
C-1 (Buena)	Bosque semidecíduo micrófilo; manglar; bosque siempre verde 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.
C-3 (Mala)	Matorral secundario con árboles y arbustos, pastos con árboles y arbustos; frutales extensos.
C-4 (Pésima)	Herbazal secundario; pastos casi puros; mezcla de cultivos, asentamientos, instalaciones sociales o económicas. Carreteras, autopistas, canteras, arenas o suelo desnudo.

Fuente: Elaboración propia.

Cantidad de proyectos de desarrollo vinculados con la gestión de los recursos hídricos: Incluye los ejes estratégicos para el país y la cantidad de proyectos vinculados a los recursos hídricos con acciones de conservación según la Estrategia Provincial (Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo [INOTU], 2020) y el Plan de desarrollo económico y social al 2020-2030 (Coya de la Fuente, 2019).

Líneas de desarrollo local con perspectivas de protección de los recursos naturales que incluyan la conservación de ecosistemas fluviales: Se identifican las líneas de desarrollo social en la Estrategia Provincial (INOTU, 2020) y los ejes estratégicos del Plan de desarrollo económico y social al 2020-2030, ya sean provinciales, municipales o locales (Coya de la Fuente, 2019).

Porcentaje de proyectos que contemplan acciones de gestión ambiental con participación comunitaria enfocado en la conservación de ecosistemas fluviales: Cantidad de proyectos vinculados a las cuencas objeto de estudio según la Estrategia Provincial (INOTU, 2020) y los ejes estratégicos del Plan de desarrollo económico y social al 2020-2030 (Coya de la Fuente, 2019).

Sequía meteorológica, agrícola e hidráulica: Se realiza un análisis de los estudios de peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR)³, para las provincias orientales, realizado por el Centro de Meteorología Provincial (CMP) de Santiago de Cuba (CITMA, 2022).

³ Se trata de un estudio publicado en 2022, en donde se realizó un análisis de diferentes peligros para las provincias orientales, con una evaluación de más de veinte años de estudio por el Centro de Meteorología Provincial. Para este caso, se escoge el

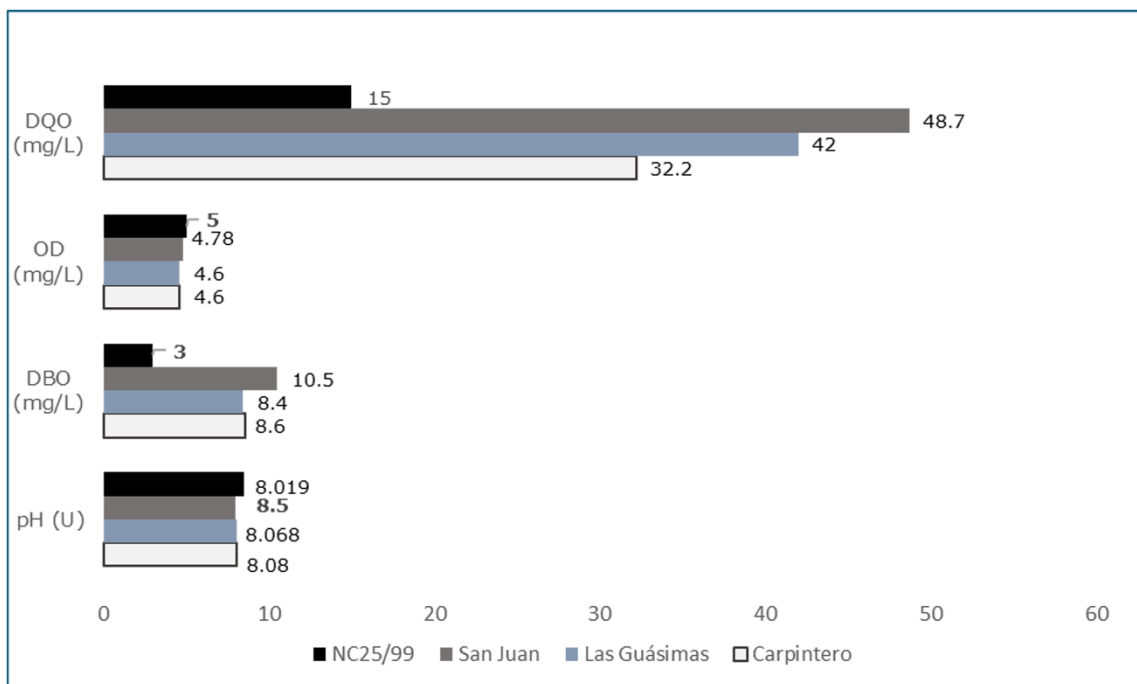
3. Resultados

3.1 Calidad de agua

Este indicador evalúa el impacto de la contaminación. Para San Juan, se reportan aproximadamente 11 focos contaminantes distribuidos por toda la cuenca, mientras que en Las Guásimas y Carpintero son reconocidos oficialmente 6 y 4, respectivamente (BIOECO, 2022; Calderín et al., 2018). Los microvertederos están distribuidos desde la cabecera hasta la desembocadura, siendo mayoritarios en San Juan, mientras que en Las Guásimas y Carpintero son evidentes a partir de la zona media y baja.

Los resultados de los indicadores químico-biológicos muestran que todos superan los valores de la norma NC 25/99, clasificando el indicador de pésimo y las aguas con calidad dudosa (Figura 2). Se encontraron puntos con concentraciones de oxígeno disuelto inferiores a 5 mgL^{-1} , indicando tendencia a la hipoxia. Las concentraciones de DQO y DBO en San Juan superaron los 50 mgL^{-1} , indicando presencia de materia orgánica asociada con vertimientos de residuales albañales, domésticos e industriales, además de los provenientes de los microvertederos (Tabla 7).

Figura 2. Variación de los parámetros químico-biológicos evaluados en las tres cuencas



Fuente: Elaboración propia.

peligro de sequía y se realiza el análisis para los ecosistemas objeto de estudio, por ser esta una de las principales problemáticas de la región.

Tabla 7. Matriz de síntesis con la evaluación de la vulnerabilidad de acuerdo con la calidad del agua

Indicador general - Calidad del agua																			
Indicador específico	Contaminación																		
	San Juan						Las Guásimas						Carpintero						
Indicadores base	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	
Fuentes puntuales de contaminación				2	3	6				2	3	6			3		3	9	
Microvertederos				2	2	4				2	2	4			3		2	6	
DBO				2	3	6				2	3	6				2	3	6	
DQO				2	3	6				2	3	6				2	3	6	
OD			3		3	9			3		3	9			3		3	9	
Suma						14						14						14	36
EF=EP/Pe	2.2						2.2						2.5						

E (Excelente); B (Bien); M (Mal); P (Pésimo); Pe (Peso); EP (Evaluación ponderada); EF (Evaluación final).

Fuente: Matrices de síntesis (Mendoza, 2011). Modificada por los autores para intereses de la investigación.

3.2 Pérdida de integridad ecológica

Los estudios realizados por Calderín et al. (2018) y BIOECO (2022) muestran que la vegetación natural en la cuenca San Juan representa solo el 1.1%. Lo que difiere de los ecosistemas Las Guásimas y Carpintero, con 32.7 y 60%, respectivamente. Esto clasifica al primero de pésimo y a los otros dos de mal. Fue evaluada la intersección de redes lineales de transporte dentro de la cuenca, asociado con la fragmentación, correspondiendo San Juan con el valor más alto (61), mientras que Las Guásimas (1.26) y Carpintero (0.54) tuvieron menor fragmentación (Tabla 8).

Tabla 8. Matriz de síntesis con la evaluación de la vulnerabilidad según la pérdida de integridad ecológica

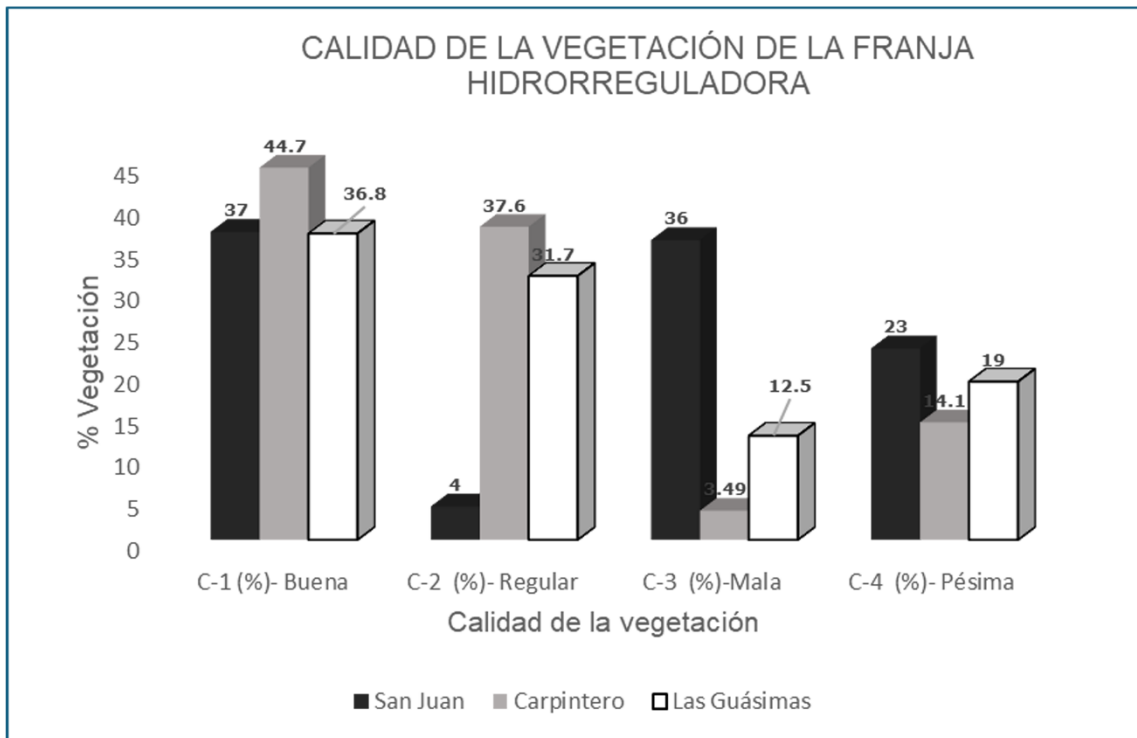
Indicador general - Pérdida de integridad ecológica																			
Indicador específico	Contaminación																		
	San Juan						Las Guásimas					Carpintero							
Indicador base	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	
Fragmentación de la vegetación natural				2	3	6			3		3	9		4			3	12	
Frecuencia de intersección de las redes lineales de transporte				2	3	6		4			2	8		4			2	8	
Calidad de la vegetación en la zona de ribera o faja hidrorreguladora			3		3	9		4			2	8		4			2	8	
Suma					9	21						7	25					7	28
EF=EP/Pe	2.3						3.5					4							

E (Excelente); B (Bien); M (Mal); P (Pésimo); Pe (Peso); EP (Evaluación ponderada); EF (Evaluación final).

Fuente: Matrices de síntesis (Mendoza, 2011). Modificada por los autores para intereses de la investigación.

Fue digitalizada la vegetación en las riberas de los ríos; su clasificación posibilitó aunar criterios sobre la calidad de la franja hidrorreguladora, identificando tramos de río con elevado valor ecológico y viceversa (Figura 3).

Figura 3. Variación de la calidad de la vegetación de ribera en las cuencas estudiadas



Fuente: Elaboración propia.

En San Juan, el 41.7% de la vegetación se clasifica entre buena y regular; el 59% restante entre, mala y pésima. En Las Guásimas, el 68.5% se cataloga entre buena y regular; en Carpintero tiene un 82.4%, esta última con una vegetación mejor conservada.

3.3 Estrategias de desarrollo

En el municipio de Santiago de Cuba se establecen nueve sectores estratégicos, y con el desarrollo de proyectos comunitarios se incorporan las cooperativas no agropecuarias vinculadas al sector constructivo y alimentario (PNUD, 2019). Del total de proyectos aprobados (once), tres se desarrollan en la cuenca San Juan y dos en la cuenca Las Guásimas, concernientes todos con el desarrollo alimentario (Tabla 9).

Tabla 9. Vulnerabilidad de los ecosistemas fluviales frente a las estrategias de desarrollo local

Indicador general - Estrategias de desarrollo municipal																		
Indicador específico	Gobernanza y gobernabilidad																	
	San Juan						Las Guásimas					Carpintero						
Indicador base	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP
Cantidad de proyectos de desarrollo vinculados con la gestión de los recursos hídricos	5				2	10	5				2	10	5				2	10
Líneas de desarrollo local con perspectivas de protección de los recursos naturales que incluyan la conservación de ecosistemas fluviales				2	3	6				2	2	4				2	2	4
Porcentaje de proyectos que contemplan acciones de gestión ambiental con participación comunitaria enfocado en la conservación de ecosistemas fluviales			3		2	6				2	2	4				2	2	4
Suma						7						6						18
EF=EP/Pe	3.1						3.0					3.0						

E (Excelente); B (Bien); M (Mal); P (Pésimo); Pe (Peso); EP (Evaluación ponderada); EF (Evaluación final).

Fuente: Matrices de síntesis (Mendoza, 2011). Modificada por los autores para intereses de la investigación.

La vulnerabilidad de este indicador fue categorizada como media, revelando que existe inconsistencia entre el desarrollo de programas y la gestión medioambiental, sin lograr la necesaria protección y conservación de los ecosistemas fluviales y el mantenimiento de sus servicios. Por ello, se necesita ejecutar acciones que deben quedar explícitas dentro de los proyectos de desarrollo y en las líneas estratégicas de desarrollo.

3.4 Impacto de la sequía en los ecosistemas

Considerada un peligro potencial para los ecosistemas fluviales, dada su severidad, aumento y frecuencia de duración, fueron evaluados además los diferentes tipos de sequía (Tabla 10).

Tabla 10. Matriz de síntesis con la evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas fluviales frente a la variabilidad climática

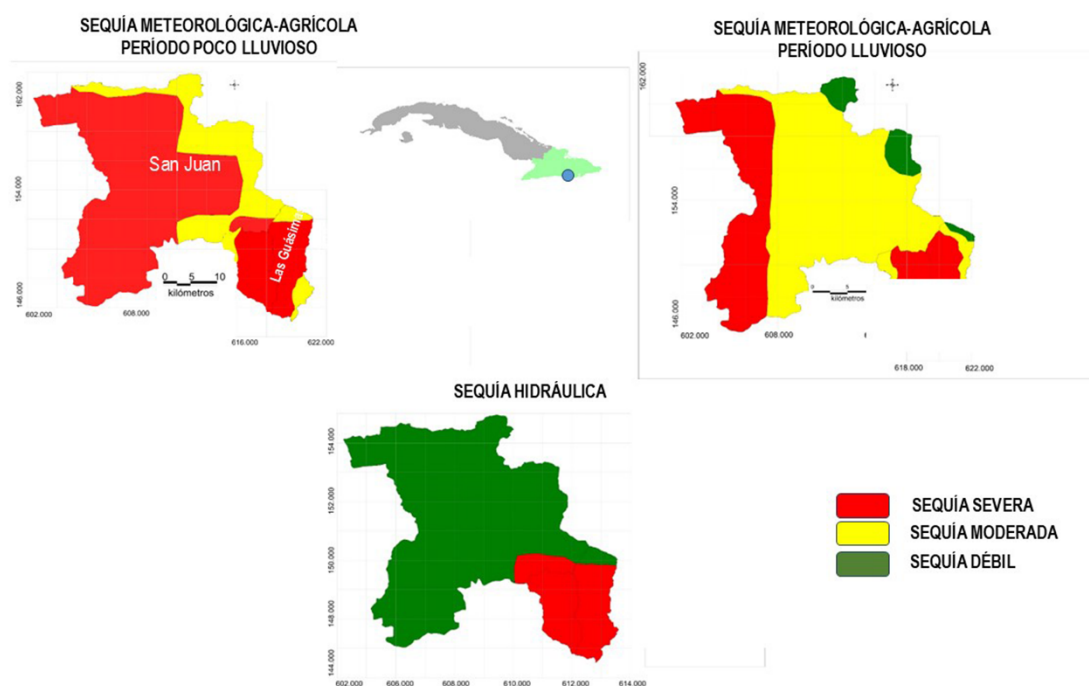
Indicador general Amenazas relacionadas con la variación climática																		
Indicador específico	Sequía																	
	San Juan						Las Guásimas						Carpintero					
Indicador base	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP	5 E	4 B	3 M	2 P	Pe	EP
Sequía meteorológica periodo lluvioso			3		3	9	5		3		3	9			3		3	9
Sequía meteorológica periodo poco lluvioso			3		3	9			3		3	9			3		3	9
Sequía agrícola periodo lluvioso				2	3	6				2	3	6				2	3	6
Sequía agrícola periodo poco lluvioso				2	3	6				2	3	6				2	3	6
Hidráulica				2	3	6			3		3	9			3		3	9
Suma					15	36					15	39					15	39
EF=EP/Pe	2.4						2.6						2.6					

E (Excelente); B (Bien); M (Mal); P (Pésimo); Pe (Peso); EP (Evaluación ponderada); EF (Evaluación final).

Fuente: Matrices de síntesis (Mendoza, 2011). Modificada por los autores para intereses de la investigación.

En la Figura 4 se presenta el comportamiento de la sequía meteorológica-agrícola e hidráulica en los ecosistemas estudiados.

Figura 4. Comportamiento de la sequía meteorológica y agrícola en los ecosistemas estudiados



Fuente: Elaboración propia a partir de estudios de peligro de sequía de CITMA (2022).

Durante el periodo poco lluvioso, el 77.22% del área de la cuenca San Juan presenta una sequía meteorológica y agrícola severa, y el 23% restante, sequía moderada. Mientras que en el periodo lluvioso hay una disminución de la afectación, donde solo el 36.12% mantiene condiciones de severidad, incrementándose las áreas con sequía moderada (62%), señalizándose un pequeño sector (2.3%) con condiciones de sequía débil.

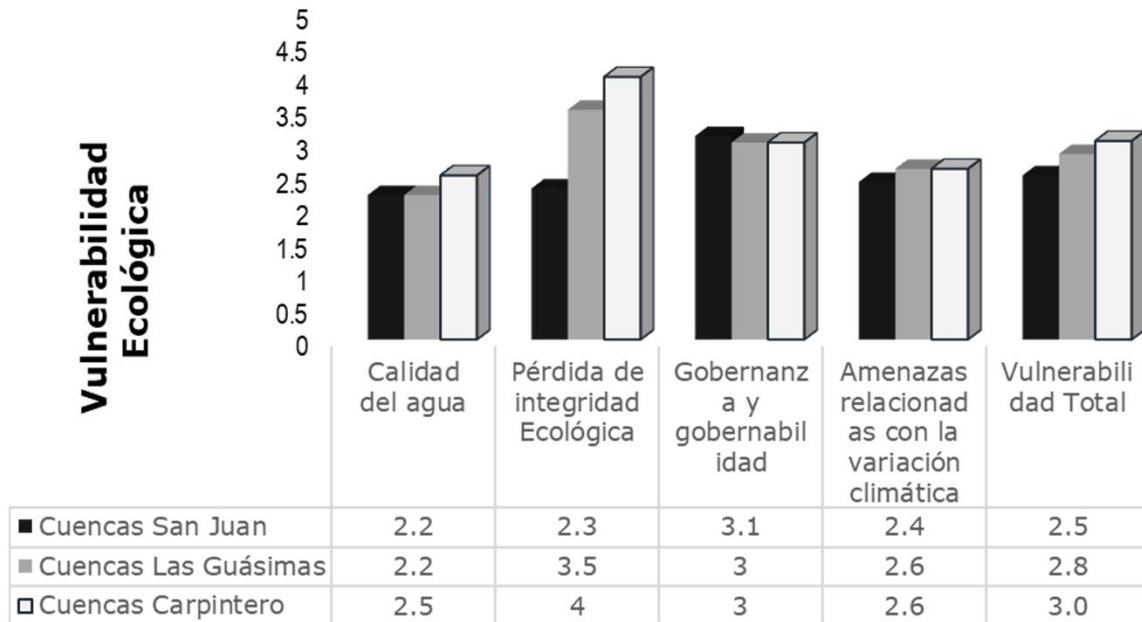
En la cuenca Las Guásimas, durante el periodo poco lluvioso, el 89.75% presenta condición de sequía meteorológica y agrícola severa, mientras que el 44.29% corresponde con sequía moderada. Por su parte, en Carpintero, el 75% del área tiene sequía severa y el 24.18%, sequía moderada. Durante el periodo lluvioso en Las Guásimas, el 60% del área exhibe una sequía moderada y el 40% restante, severa. Mientras que, para ese mismo periodo, en Carpintero el 53% tiene sequía severa y el 46% moderada. La evaluación de la sequía hidráulica, definida por Ferrer y Gómez (2023), se comportó como sigue: para San Juan fue de vulnerabilidad baja; para Las Guásimas y Carpintero fue de vulnerabilidad alta.

3.5 Vulnerabilidad ecológica total

Se evidencia que los ecosistemas San Juan y Las Guásimas presentan una vulnerabilidad alta, mientras que es media para Carpintero; siendo los indicadores específicos la calidad

del agua y la variación climática en función de la sequía los que mayor incidencia tuvieron en la evaluación de la vulnerabilidad ecológica total (Figura 5).

Figura 5. Vulnerabilidad total



Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

La calidad del agua en los tres ecosistemas muestra evidente deterioro de las mismas; de acuerdo con la NC 25: 1999, manifiestan un pobre desarrollo de la fauna, con incidencia en el ciclo reproductivo de muchas especies, en sus estructuras de migración y con un aumento de la susceptibilidad a las enfermedades. Por otra parte, es importante destacar el crecimiento poblacional y de áreas dedicadas al desarrollo socioeconómico y agrícola, las cuales son superiores en la cuenca San Juan, lo que coincide con los resultados y problemáticas reconocidas en estudios anteriores (BIOECO, 2022; Calderín et al., 2018).

Durante los monitoreos fueron detectados microvertederos cercanos a las márgenes de los ríos, con afectaciones al atractivo visual y marcada fragmentación del paisaje, principalmente en San Juan. Los mismos están distribuidos desde la cabecera hasta la desembocadura. La composición es similar en todos, con presencia de residuos biodegradables y no biodegradables.

Con respecto a la pérdida de integridad ecológica, en la fragmentación del ecosistema inciden presiones de las acciones antropogénicas, intensificación y extensión de actividades agrícolas y ganaderas, incremento poblacional, construcción de viales, represamiento de cursos de agua, fragmentación de los bosques, deforestación y plantaciones de especies introducidas, todos estos aspectos descritos por García (2011).

Por su parte, la calidad de la vegetación de ribera es un indicador clave en la restauración del ecosistema (Volonté et al., 2018), ya que incide en muchos procesos, funciones y dinámicos de estos.

Con respecto al desarrollo estratégico, resulta notorio que en los proyectos no se incluye la gestión ambiental, ni acciones de conservación sostenible hacia los ecosistemas fluviales. Las estrategias de desarrollo municipal responden a los ejes transcendentales establecidos para Cuba, articulados con los planes de desarrollo hasta el 2030 (PNUD, 2019). Dentro de estos, el número cinco⁴ se refiere a los Recursos Naturales y el Medio Ambiente, y entre sus objetivos se instituye la conservación de los ecosistemas, disminución de vulnerabilidades, así como la generalización de la ciencia y la innovación tecnológica. Esta proyección es válida para el estudio; sin embargo, no hay acciones concretas de conservación de los ecosistemas fluviales en estas cuencas, solo en proyectos de ciencia e innovación desarrollados por algunas instituciones, como BIOECO, INRH, y fundamentalmente focalizadas en San Juan por ser una cuenca priorizada a nivel provincial (CITMA, 2022).

Es necesario sensibilizar a los decisores para insertar en los planes de desarrollo la gestión del riesgo de los ecosistemas fluviales, para el mantenimiento de sus bienes y servicios, vinculado directamente a procesos de gobernanza que respondan a factores socioecológicos (CITMA, 2022).

La sequía está asociada a la ausencia de precipitaciones y el aumento de las temperaturas, factores que, según Sainz y del Jesús (2020), inciden en la disminución de los caudales de los ríos, generando un descenso en la concentración del oxígeno disuelto, presumiendo un aumento del número de ríos temporales y de tramos de ríos con caudales únicamente estacionales (situaciones detectadas en el monitoreo), y que coincide con lo descrito en la Guía para el Monitoreo Integrado del ODS 6 de 2017 (ONU, 2017).

El análisis de la vulnerabilidad ecológica plantea un enfoque multidimensional, donde las condiciones naturales interactúan con factores sociales, económicos y políticos. El empleo de indicadores permite identificar brechas, condicionantes estructurales y procesos que configuran la vulnerabilidad en un ecosistema, pudiendo ser perfectibles y ajustables a las condiciones de los ecosistemas evaluados.

5. Conclusiones

El estudio integra las dinámicas ecohidrológicas y ambientales en la cuenca, identificando vulnerabilidades y potencialidades para la gestión sostenible. Se evidencia la necesidad

⁴ Es uno de los ejes estratégicos establecidos en el país para cada provincia, y por ende a cada municipio, referido al desarrollo socioeconómico para la mejora alimenticia, pero que debe estar aparejado con el respeto y conservación de los ecosistemas. Dentro de las regulaciones está la conservación de los recursos naturales durante el desarrollo de proyectos agrícolas; sin embargo, fue notorio el incumplimiento de esto durante el monitoreo de los ecosistemas, resultando más compleja la situación, ya que dos de las cuencas, Carpintero y Las Guásimas, se encuentran dentro de la Reserva de Biosfera Baconao.

de integrar la gobernanza con el desarrollo de acciones dirigidas a la conservación de los ecosistemas, factores clave para la toma de decisiones, de manera que los productos generados (mapas, índices, matrices) se conviertan en herramientas para instituciones y comunidades que consoliden la restauración ecológica, el fortalecimiento comunitario y la articulación interinstitucional.

Referencias

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Glob Environ Change*, 16, pp. 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- American Public Health Association (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Water Works Association, Water Environment Federation. <https://dl.icdst.org/pdfs/files/9b8d1f12b54f3154c8c648e0ec810185.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua (2024). *El índice de amenazas ecohidrológicas: una guía para su cálculo y uso*. Perú: World Wildlife Fund (WWF). ISBN 978-612-4273-47-6. <https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/informe-de-amenazas-ecohidrologicas.pdf>
- Beroya-Eitner, M. (2016). Ecological vulnerability indicators. *Ecological Indicators*, (60), pp. 329-334. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.001>
- Brooks, N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework. *Tyndall Centre Clim Change Res*, 38, pp. 1-16.
- Bruno, D. & Velasco, J. (2024). Las riberas fluviales en ríos intermitentes, las grandes olvidadas en la gestión fluvial. *Ecosistemas*, 33(1), 2661. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2661>
- Calderín, C.; Salas, A.; Ramírez, G.; Durand, T.; Infante, Y.; Muñiz, A. & Bastic, M. (2018). *Propuesta de un plan de acción preliminar para la preservación del lecho acuífero Cuenca hidrográfica San Juan*. Informe Técnico. Cuba: Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos en Santiago de Cuba.
- Chapman Waugh, I. M.; Monzón-Sánchez, A. & Valdés-Pérez, M. (2021). Perfeccionamiento de la gestión pública del agua en Cuba. *Ingeniería Industrial*, 43(1), pp. 1-9. <http://scielo.sld.cu/pdf/rii/v43n1/1815-5936-rii-43-01-96.pdf>
- 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* [Resultado de proyecto de investigación inédito]. Santiago de Cuba.
- 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.
- Ferrer, E. & Gómez, L. (2023). Herramientas para el monitoreo y control de sequías: un metaanálisis en contexto. *Revista Agua y Territorio*, (22), pp. 1-21. <https://dx.doi.org/10.17561/at.22.7045>
- Füssel, H-M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Glob Environ Change*, 17, pp. 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>
- Gaceta Oficial Cubana (GOC) (2017): *Ley de aguas terrestres, Ley No. 124/14*. (GOC-2017-715-EX51). Ministerio de Justicia. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/ley-124-de-2017-de-asamblea-nacional-del-poder-popular>
- Gaceta Oficial Cubana (GOC) (2022). Directiva 1. Para la gestión de la reducción del Riesgo de Desastre en la República de Cuba. <https://www.fgr.gob.cu/directiva-no-1-del-presidente-del-consejo-de-defensa-nacional-miguel-diaz-canel-bermudez-del-15-de>
- García, D. (2011). Efectos biológicos de la fragmentación de hábitats: nuevas aproximaciones para resolver un viejo problema. *Ecosistemas*, 20(2-3), pp. 1-10. <http://dx.doi.org/10.2307/j.ctv2v88f34.9>

- Garrido, A.; Cuevas, M. L.; Cotler, H.; González, D. I. & Tharme, R. (2010). *Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México*. *Investigación ambiental*, 2(1), pp. 25-46. https://www.academia.edu/11675355/Evaluaci%C3%B3n_del_grado_de_alteraci%C3%B3n_ecohidrol%C3%B3gica
- Herrera Alvarez, M. (2021). *Reservas de la Biosfera de Cuba*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000124262>
- Herrero-Echevarría, J. A. (2003). *Fajas forestales hidrorreguladoras: ¿Qué son? ¿Para qué sirven? ¿Cómo se calculan? ¿Cómo se crean y manejan?* La Habana: Ministerio de la Agricultura.
- Instituto Nacional de Ordenamiento Territorial y Urbanismo (INOTU) (2020). *Esquema Provincial de Ordenamiento Territorial de Santiago de Cuba*. <https://plataformaurbana.cepal.org/es/instrumentos/planificacion/esquemas-de-ordenamiento-territorial-0>
- Instituto de Planificación Física (IPF) (2015). *Metodología para la realización del catastro urbano*. PNUD. Acceso el 16/12/2024. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/Catastro%20Urbano.pdf>
- IPCC (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. R. K. Pachauri & L. A. Meyer (eds.). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC (2014b). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Organización Meteorológica Mundial. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf
- Jakus, P. (1983). Formaciones vulcanógeno-sedimentarias y sedimentarias de Cuba Oriental. En Instituto de Geología y Paleontología (Academia de Ciencias de Cuba) (ed.). *Contribución a la Geología de Cuba Oriental* (pp. 17-85). La Habana: Editorial Científico-Técnica. http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/1983_Jakus_formaciones%20vul-sed_CGPO.pdf
- Martínez, Y. & Villalejo, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX(1), pp. 58-72. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/424/337>
- Mendoza, F. (2011). *Metodología: indicadores de vulnerabilidad ante fenómenos naturales para Centro América y República Dominicana. Aplicación metodológica de indicadores de vulnerabilidad a desastres para la región centroamericana*. Universidad Nacional de Ingeniería (Nicaragua). <https://www.preventionweb.net/publication/metodologia-indicadores-de-vulnerabilidad-ante-fenomenos-naturales-para-centro-america#downloads>
- Michalus, J. C.; Sarache, W. Y. & Hernández, G. (2015). Método de expertos para la evaluación ex-ante de una solución organizativa. *Visión de Futuro*, 19(1), pp. 1-17. http://revistacientifica.fce.unam.edu.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=380&Itemid=83
- Michel, P. & Meyer, J. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), pp. 207-231. DOI:10.1007/978-0-387-73412-5_12
- Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) (2020). *Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (Vol. 3ra). Agencia de medio Ambiente (AMA). La Habana: Citmatel. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Third%20National%20Communication.%20Cuba.pdf>
- Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) (2022). *Estudios de Peligro Vulnerabilidad y Riesgo en Santiago de Cuba* (inédito). Provincia de Santiago de Cuba.
- Morell Bayard, A. de la C. & Gómez Luna, L. (2024). La significación práctica de la Ecohidrología: un análisis de su potencial para el estudio de cuencas hidrográficas. *Agua y Territorio*, 24, e7127. <https://doi.org/10.17561/at.24.7127>
- Naiman, R. & Dudgeon, D. (2011). Global alteration of freshwaters: influences on human and environment well-being. *Ecological Research*, 26, pp. 865-873. <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-010-0693-3>

- NC 25: 1999 (1999). Norma Cubana. *Evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones*. La Habana. Cuba.
- ONU (2017). *Guía para el monitoreo integrado del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 sobre agua y saneamiento. Metas e indicadores mundiales*.
https://www.bivica.org/files/5944_G2_Gu%C3%ADa_Monitoreo%20integrado_Version-2017-07-14.pdf
- Ordoñez, G. (2011). *Cartilla técnica: ¿qué es cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima. ISBN: 978-9972-602-76-4.
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- 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]. Santiago de Cuba.
- PNUD (2019). *Plan nacional de desarrollo económico y social hasta 2030. Estrategia de desarrollo municipal Santiago de Cuba*.
<https://www.mep.gob.cu/sites/default/files/Documentos/Archivos/FOLLETO%20PNDES%20%20FINA L.pdf>
- Red Cambera (RED) (2021). *El cambio climático en nuestros ríos*. Editorial Red Cambera.
https://red4c.redcambera.org/wp-content/uploads/2021/04/manual_RED4C_digital.pdf
- Sainz de la Maza, M. & Del Jesús, M. (2020). Analysis of historical droughts through their induced impacts. *Ingeniería del agua*, 24(3), pp. 141-156.
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/21089/AnalisisSequiasHistoricas.pdf?sequence=3>
- Vera, J. M. & Albarracín, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), pp. 109-136. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2309>
- Vergel, M.; Sánchez, J. V. & Fernández, E. L. (2015). Ponderación de factores en la Universidad Venezolana. *Hojas y Hablas*, (12), pp. 7-19. ISSN: 1794-7030.
<https://revistas.unimonserrate.edu.co/hojasyhablas/article/view/1>
- Volonté, A.; Gil, V. & Campo, A. M. (2018). Estudio de la vegetación y sus efectos en la dinámica fluvial en cuencas serranas, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana, Universidad de los Andes*, 59(2), pp. 366-380.
<https://www.redalyc.org/journal/3477/347760473009/html/>
- Williams, L. R. & Kapustka, L. A. (2000). Ecosystem vulnerability: a complex interface with technical components. *Environ Toxicol Chem*, 19, pp. 1055-1058. DOI:10.1002/etc.5620190435
- Wisner, B.; Blaikie, P.; Cannon, T. W. & Davis, I. (2004). *At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Segunda edición. London, New York: Routledge.
https://www.preventionweb.net/files/670_72351.pdf?startDownload=true

Declaración de uso de herramientas de IA

Los autores declaran que en la preparación del presente artículo no se han utilizado herramientas de Inteligencia Artificial (IA).

Declaración de posibles conflictos de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Rol en la investigación según la clasificación (CRediT):

- **Alina de la Caridad Morell Bayard**
Investigación, Metodología, Redacción, Conceptualización.
- **Liliana Gómez Luna**
Investigación, Revisión, Metodología, Supervisión.
- **Arelis Ábalos Rodríguez**
Supervisión, Análisis.
- **Euclides Fornaris Gómez**
Investigación, Análisis, Recursos.
- **Alberto de las Mercedes Beyris Mazar**
Investigación, Supervisión, Curación de datos.
- **Leonor Villalón Poulot**
Investigación, Curación de datos.

Alina de la Caridad Morell Bayard

Química de profesión, con master en Biotecnología Ambiental. Es investigadora agregada del Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO). Trabaja en temas de investigación dirigidos al estudio de los ecosistemas acuáticos, química ambiental, sistema de gestión ambiental, gestión de cuencas hidrográficas y gestión de riesgos.

Correo: alina@bioeco.cu

Liliana Gómez Luna

Licenciada en Bioquímica por la Universidad de La Habana, investigadora, profesora universitaria y escritora cubana. Labora actualmente en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CENEA) de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. Es Coordinadora del programa de Doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad de Oriente. Trabaja en gestión de ciencia e innovación, ecotoxicología, manejo integrado de zonas costeras, microbiología acuática y biotecnología algal

Correo: lilianag@uo.edu.cu

Arelis Ábalos Rodríguez

Licenciada en Química, profesora titular del Departamento de Química y del Centro de estudios de Biotecnología Industrial (CEBI) de la Facultad de Ciencias Naturales en la Universidad de Oriente. Posee experiencia en investigaciones relacionadas con la biorremediación de ecosistemas contaminados, tratamiento de residuos sólidos y líquidos por vía biológica. Actualmente es la Vicerrectora de Relaciones Institucionales de la Universidad de Oriente.

Correo: arelis@uo.edu.cu

Euclides Fornaris Gómez

Ingeniero Forestal. Investigador auxiliar del Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO). Posee experiencia en el trabajo de investigación en temas relacionados con la ecología forestal, manejo de cuencas hidrográficas, sistema de información geográfica, sensores remotos y manejo forestal sostenible.

Correo: euclides@bioeco.cu

Alberto de las Mercedes Beyris Mazar

Licenciado en Geografía. Investigador agregado del Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO). Posee experiencia en temas relacionados con la geografía económica y social, ordenamiento ambiental, manejo de cuencas hidrográficas, sistema de información geográfica, imágenes satelitales.

Correo: beyris@bioeco.cu

Leonor Villalón Poulot

Ingeniera Geóloga. Especialista ambiental de Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (BIOECO). Recientemente alcanzó el grado de master en Geología Ambiental. Se ha integrado al estudio de gestión de cuencas hidrográficas y gestión de riesgos de ecosistemas acuáticos.

Correo: leonor@bioeco.cu

Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente.

N° 17 enero – junio 2026. E-ISSN: 2709 – 3689

Cómo citar: Morell Bayard, A. de la C., Gómez Luna, L., Ábalos Rodríguez, A., Fornaris Gómez, E., Beyris Mazar., A. de las M., & Villalón Poulot, L. Análisis de vulnerabilidad ecológica de tres ecosistemas fluviales de Santiago de Cuba. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (17), A-002. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202601.A002>

