

EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN EL ECOSISTEMA MONTAÑAS DE GUAMUHAYA EN CIENFUEGOS

EVALUATION OF WATER RESOURCE IN THE MOUNTAINS OF GUAMUHAYA ECOSYSTEMS IN CIENFUEGOS

Elia Natividad Cabrera Álvarez

Universidad de Cienfuegos, Cuba
elita@ucf.edu.cu

Yulia Adelina de Dios Loyola

Universidad de Cienfuegos, Cuba
ec1409@ucf.edu.cu

Annie Rivero Galván

Universidad de Cienfuegos, Cuba
argalvan@ucf.edu.cu

Luis Ángel Escandón Ojeda

Universidad de Cienfuegos, Cuba
luisangel@ecocem.cu

Resumen

La presente investigación forma parte del proyecto asociado al programa nacional de desarrollo local "Sistema de acciones para mejorar la gestión del desarrollo local en asentamientos poblacionales y municipios de la provincia de Cienfuegos". Se propone un procedimiento metodológico para evaluar el recurso hídrico como contribución al desarrollo sostenible de las Montañas de Guamuhaya en Cienfuegos. Se articulan índices establecidos internacionalmente para la medición de la oferta, la demanda, la calidad y vulnerabilidad hídrica. Fueron identificadas las cuencas hidrográficas con categorías críticas contribuyendo con la fundamentación de los planes de monitoreo y control de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico en Cienfuegos. Los resultados favorecen el cumplimiento de la Agenda 2030, la implementación de los lineamientos del

238 al 245 de las Políticas para el Recurso Hidráulico así como la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial y Urbano del municipio de Cumanayagua en Cienfuegos.

Palabras claves: *Cuencas hidrográficas, índices, oferta, demanda, calidad, vulnerabilidad hídrica*

Abstract

This research is part of the associate project to the national program of local development: "*System of actions in order to improve the administration of local development in populational settlements and municipalities of the city of Cienfuegos*". A method procedure is proposed to evaluate the water resource as contribution to the sustainable development of the Mountains of Guamuhaya in Cienfuegos. Internationally established indexes are articulated for the mensuration of the offer, the demand, and the quality and water vulnerability. The basins were identified with critical categories contributing to the justification [fundamentación] of the plans of monitoring and control of the Company of Hydraulic Exploitation in Cienfuegos. The results favor the execution of the Agenda 2030, the deployment of the action lines of the 238 at 245 of the Politics for the Hydraulic Resource as well as the update of the Plan of Territorial and Urban Arrangement of the municipality of Cumanayagua in Cienfuegos.

Key words: *Basins, indexes, offer, demand, quality, water's vulnerability*

Introducción

*Las montañas desempeñan un papel decisivo en el suministro de agua dulce a la humanidad*¹. Al crecer la demanda, aumentan las posibilidades de disturbios por el uso del agua de las montañas por lo que la gestión cuidadosa de sus recursos hídricos debe ser una prioridad absoluta en un mundo que está destinado a una crisis de agua en el próximo siglo.

El desarrollo sostenible plantea el reto de incluir en una de sus líneas de acción, la prevención y control de la degradación ambiental a través del fortalecimiento de instrumentos que atiendan de manera directa sus principales causas y promuevan una cultura de prevención y control del medio ambiente urbano y rural.

La Agenda 21, programa que busca impulsar la sostenibilidad a nivel mundial y orientar la consolidación de un nuevo modelo de desarrollo para el siglo XXI, es uno de los instrumentos políticos más importantes nacidos de la Cumbre de la Tierra de 1992. En su capítulo 13: Ordenación de los ecosistemas frágiles: desarrollo sostenible de las zonas de montaña, reconoce que los beneficios derivados de las regiones mon-

¹ Todos los grandes ríos del mundo tienen sus cabeceras en tierras montañosas y más de la mitad de la humanidad depende del agua dulce que se acumula en las zonas montañosas. Aunque constituyen una proporción relativamente pequeña de cuencas fluviales, la mayor parte del caudal se origina en las montañas

tañosas son esenciales para el desarrollo sostenible y la importancia de los ecosistemas montañosos para proporcionar recursos hídricos a una gran parte de la población mundial, plantea además la necesidad de formular y aplicar políticas y programas para la gestión integrada de las cuencas.

Las zonas montañosas de Cuba constituyen el 18 % de la superficie del país entre ellas se encuentra la zona montañosa del municipio de Cumanayagua (Montañas de Guamuhaya), este ecosistema montañoso es uno de los más importantes del país. Incluye las tres provincias centrales: Villa Clara, Sancti Spíritus y Cienfuegos. *Múltiples investigaciones se han desarrollado en este ecosistema montañoso, que abordan el tratamiento del recurso hídrico*². Desde el punto de vista de la evaluación se han construido índices para evaluar las áreas temáticas, disponibilidad y contaminación de agua (Díaz, 2011), se ha evaluado la dimensión ambiental (Rouco, 2015), así como y la identificación de factores y variables clave para la propuesta de escenarios futuros relacionados con este recurso (Cabrera, 2017).

La empresa Aprovechamiento Hidráulico de Cienfuegos, realiza mediciones periódicas en las cuencas y subcuencas del ecosistema, para evaluar la calidad del agua a través de indicadores químicos. Sin embargo, no se encontraron estudios que permitan evaluar integralmente la relación oferta y demanda, calidad y vulnerabilidad hídrica para identificar las áreas a nivel de cuencas hidrográficas con categorías críticas. Es objetivo de este trabajo proponer un procedimiento metodológico para evaluar el recurso hídrico en el ecosistema Montañas de Guamuhaya que contribuya a su desarrollo sostenible. Dicho procedimiento tiene posibilidades de adecuación a los restantes ecosistemas montañosos de Cuba.

La investigación contribuye a la implementación de los lineamientos del 238 al 245 de la Política para el Recurso Hidráulico, para el período 2016-2021 y tiene puntos de contacto con los objetivos 6,8 y 15 de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible con énfasis en la meta del objetivo 6 (Agua limpia y saneamiento). Contribuye además a la ejecución de la Estrategia Ambiental Nacional y los Objetivos del Milenio, a la elaboración del Plan de Desarrollo Económico y Social hasta 2030 en la provincia Cienfuegos y a la actualización del Plan General de Ordenamiento Territorial y Urbano del municipio de Cumanayagua.

1. El recurso hídrico en las Montañas de Guamuhaya en Cienfuegos. Procedimiento para su evaluación.

En la actualidad, varias regiones montañosas de todo el planeta presentan complicaciones ambientales y socioeconómicas. Esto ha generado que la economía de sostenimiento de dichas comunidades se asiente en la explotación de recursos naturales (Díaz, 2011).

² Entre dichas investigaciones se encuentran las realizadas por Gutiérrez, O. (2006). Propuesta de un sistema de indicadores para la gestión del ordenamiento territorial del Plan Turquino en Cienfuegos. Tesis de Maestría. Vega et. al., (2013). Macizo Guamuhaya. Visión crítica de su erosión hídrica acelerada a través del ordenamiento geoecológico. I Taller Internacional de Investigaciones sobre manejo de ecosistemas frágiles. Vega, G. (2015). Sierra Alturas de Trinidad, sector Cuatro Vientos-Topes de Collantes. Diagnóstico geoecológico, situación ambiental, PVR. II Taller internacional de investigaciones sobre manejo de ecosistemas frágiles. Cienfuegos.

Cienfuegos. Dirección Provincial de Planificación Física (2019). Plan Especial de Montaña Cienfuegos. Urra (2017). Identificación de los bienes y servicios más representativos de la Cuenca Hidrográfica Hanabanilla.. Valoración económica del recurso agua en el ecosistema Montañas de Guamuhaya, Cienfuegos. (Portela et al., (2019).

Los ecosistemas de montaña son sistemas complejos dentro de los cuales se manifiestan interacciones de los seres vivos entre sí y de estos con el medio físico o químico. Los cinco ecosistemas montañosos de Cuba forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de la República de Cuba (SNAP), acerca de los cuales se han desarrollado numerosas investigaciones, que aportan una excelente base informativa para la realización de análisis más integrales, vinculados con la sostenibilidad actual del país. (Díaz et al., 2013).

En Cuba, el Programa Nacional Científico Técnico Integral: “Desarrollo Sostenible de la Montaña”, (Plan Turquino), tiene como objetivo diseñar, poner en práctica y evaluar modelos de desarrollo socioeconómico sostenibles en los ecosistemas montañosos.

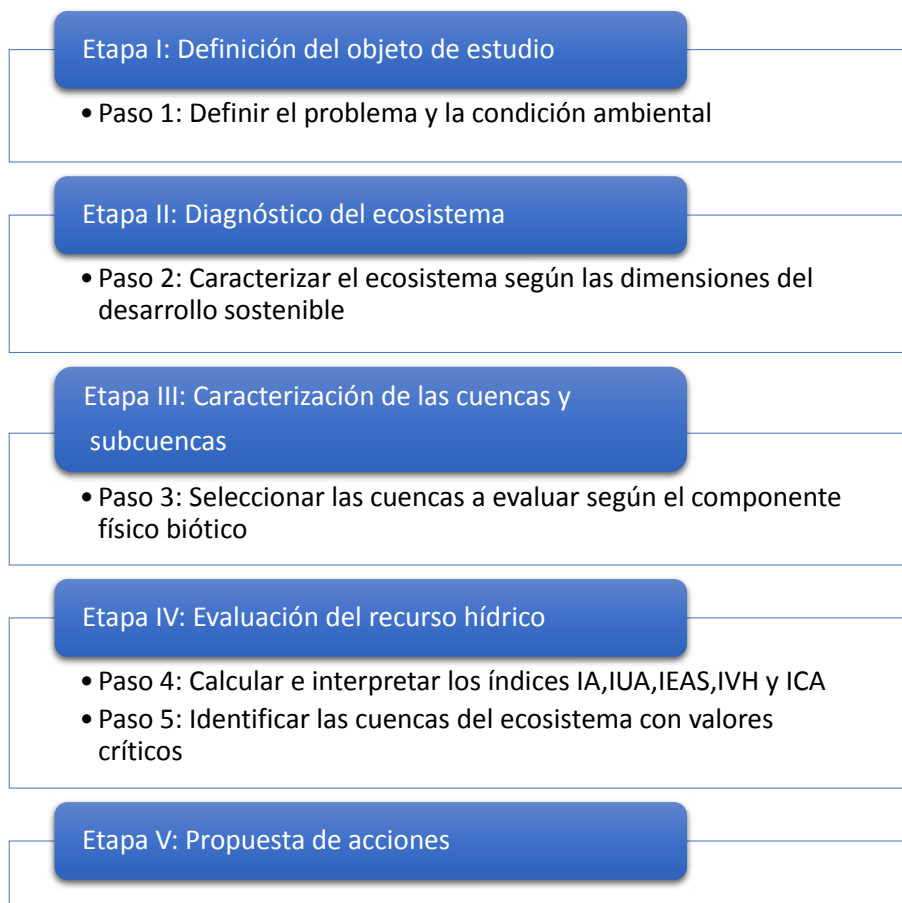
Para el procedimiento propuesto los autores toman como referencia, la clasificación de las dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental según los criterios de Mateo (2003) y García (2006). (Citado por Cabrera et. al., 2019)

La gestión integrada en las cuencas puede ser una respuesta a los problemas que se manifiestan hoy en muchos países y una importante medida de adaptación ante los impactos del cambio climático. Sobre este tema, el proyecto Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local (BASAL), entre el PNUD y el gobierno de Cuba, tiene como propósito apoyar la adaptación al cambio climático en Cuba, lo que contribuye al desarrollo socioeconómico continuado y sostenible del país. (PNUD, 2013).

El Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas la evaluación periódica de la calidad del agua en las cuencas a partir del índice de calidad de agua en las cuencas subterráneas y reconoce la necesidad de evaluar otros índices usados internacionalmente y su posible aplicación en Cuba, razón por la que se incluyen en el procedimiento propuesto 5 índices para evaluar la oferta, demanda, vulnerabilidad, riesgo y calidad hídrica³.

El procedimiento se presenta como una necesidad global de identificar las áreas a nivel de cuencas que presentan índices con categorías críticas en el ecosistema, sobre el que se debe establecer un nuevo horizonte de desarrollo que contribuya a su sostenibilidad con vistas al cumplimiento de los objetivos 6, 8 y 15 de la Agenda 2030. Dicho procedimiento transita por cinco etapas que a su vez se desagregan en cinco pasos interrelacionados (ver Figura 1).

3 A partir de la Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas (2018) y Estudio Nacional del Agua en Colombia (2013). Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Anexo C. Walter Niño y Edgar Olaya

Figura 1. Procedimiento metodológico. Fuente: Elaborado por los autores.

A continuación, se sintetizan las etapas y pasos del procedimiento.

Etapa I: Definición el objeto de estudio: Se efectuará la presentación la definición del objeto de estudio y el objetivo que persigue la investigación. Para ello se establece un paso importante.

Paso 1: Definir el problema y la condición ambiental. Para identificar los desequilibrios generados por las actividades que implican el aprovechamiento de los recursos naturales, se tendrá en cuenta el estado actual ambiental del medio natural.

Etapa II: Diagnóstico del ecosistema: Se analizan los elementos más representativos del área de estudio, de acuerdo con las dimensiones del desarrollo sostenible con mayor énfasis en la ambiental.

Paso 2: Caracterizar el ecosistema según las dimensiones del desarrollo sostenible. Se presentan algunas de las variables básicas más significativas identificadas por expertos para el ecosistema Guamuhaya (Cabrera, 2017) consideradas como referentes para los estudios que se realicen en este ecosistema. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Variables básicas más representativas del ecosistema Guamuhaya{NOTE:eee}

Dimensión económica	Dimensión social	Dimensión ambiental
Actividad económica fundamental, café y otras (apícola, ganadería y cultivos varios). Infraestructura económica (viales y transporte). Potencial turístico. Hidroenergía.	Sector de la salud. Sector de la educación. Sector de la vivienda. Identidad cultural.	Agua. Clima Relieve Suelo Recurso forestal.

Fuente: Elaborada por los autores a partir de Cabrera (2017)

Etapas III: Caracterización de las cuencas: Se detallar los elementos generales de las cuencas y subcuencas que se encuentran en el área de estudio.

Paso 3: Seleccionar las cuencas a evaluar según el componente físico - biótico.

Caracterización del componente físico-biótico teniendo en cuenta los aspectos siguientes: climatología, calidad del agua (contaminantes y desechos sólidos), hidrografía, hidrología.

Etapas IV: Evaluación del recurso hídrico: Se efectúa el cálculo de índices que permitirán la evaluación de este recurso, según se explica en los siguientes pasos:

Paso 4: Calcular e interpretar el Índice del Uso del Agua (IUA), el Índice de Extracción de Agua Subterránea (IEAS), el Índice de Aridez (IA), el Índice de Calidad del Agua (ICA) y Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH).

En el Anexo A se muestran sus fórmulas de cálculo y rangos evaluadores.

- IUA: Permite determinar la presión por uso en relación con la oferta disponible de agua. Hace referencia a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un período determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales (ENA, 2010).
- IEAS: Mide el nivel actual de intensidad de uso que se hace de la oferta renovable de aguas subterráneas de un acuífero o sistema acuífero. Varía entre 0 y 100%. Mientras más alto mayor la intensidad de uso. Se calcula con periodicidad anual.
- IA: Mide el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Varía entre 0 y 1. Mientras más altos mayor déficit de precipitación.
- ICA: Representa las condiciones de calidad física, química y bacteriológica de un curso o cuerpo de agua. Varía entre 0 y 1. Mientras más alto mejor es la calidad del agua. Se calcula con periodicidad anual.

- IVH: Representa el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta para el abastecimiento de agua, que, ante amenazas como largos períodos de estiaje o eventos como el Fenómeno Cálido del Pacífico /El Niño), podría generar riesgo de desabastecimiento.

Paso 5: Identificar las cuencas del ecosistema con valores críticos. Se efectuará la presentación de las cuencas con rangos críticos según los valores establecidos por los índices calculados.

Etapas V: Propuesta de acciones: Se tienen en cuenta los resultados obtenidos de conjunto documentos de carácter nacional tales como el Plan de Desarrollo Económico y Social hasta 2030, los Lineamientos de la Política Económica y Social Cubana, la Estrategia Ambiental Nacional y el Plan General de Ordenamiento Territorial de la Montaña en Cienfuegos.

2. Síntesis de los resultados

Se ofrece una breve caracterización de las cuencas investigadas según el componente físico- biótico y los resultados de los índices calculados para su evaluación.

- **Cuenca Arimao:** Monitoreada por la red de calidad de las aguas. Cuenta con 12 puntos de muestreo (5 superficiales y 7 subterránea), se realizan 14 muestras anuales. Posee 24 fuentes contaminantes con categoría 1⁴, 34 fuentes contaminantes con categoría 2⁵, 27 fuentes contaminantes con categoría 3⁶, 13 fuentes contaminantes con categoría 4⁷ 5 fuentes contaminantes con categoría 5⁸ y 4 fuentes contaminantes con categoría 6.⁹ Según sus clases son domésticos, industrial, agropecuarios y municipales.

Tabla 2: Algunos residuales existentes en la cuenca Arimao:

Desechos de alimentos	Aguas de Lavado con Grasas con Detergentes	Aguas de Lavado con Desinfectantes y Detergentes
Excretas Humanas	Excretas Animales	Áridos, grasas, excretas
Hidrocarburos tipo Diésel	Residuos alimentarios, hidrocarburos	Lixiviados de Descomposición orgánica

Fuente: Elaborada por los autores, según registros de la empresa de Aprovechamientos Hidráulicos.

4 Foco sin solución o con solución insuficiente, que afecta gravemente a fuentes de abasto a consumo humano invalida su uso.

5 Foco sin solución o con solución insuficiente, afecta de manera relativamente irreversible a fuentes para el abasto en usos que requieren un elevado grado de calidad, no solo a las fuentes de consumo humano.

6 Foco sin solución o con solución insuficiente, afecta de manera grave y comprobada la calidad ecológica ambiental.

7 Foco con solución, pero con peligro potencial demostrado, pudiera afectar mucho o poco a fuentes de abasto de consumo humano

8 Foco con solución, pero con peligro potencial demostrado, pudiera afectar mucho o poco a cuerpos de aguas que constituyan fuentes para diversos usos, incluyendo la calidad ecológico-ambiental.

9 Foco con solución o de escaso peligro.

Cuenca Hondo: Cuenta con 3 puntos de muestreo (2 superficiales y 1 subterránea), se realizan muestras anuales. Posee fuentes contaminantes en las categorías 5 y 6.

Tabla 3. Algunas fuentes contaminantes de la cuenca Hondo

Categoría 5	Categoría 6
Asentamiento el Naranjo	Asentamiento. Centro Cubano
Vertedero el Naranjo	Asentamiento. Centro Cubano 2
	Complejo Armando Mestre. Mayarí

Fuente: Elaborada por los autores, según registros de la empresa de Aprovechamientos Hidráulicos.

- **Cuenca Yaguanabo:** Cuenta con 2 puntos de muestreo (1 superficiales y 1 subterránea), se realizan muestras anuales. Posee solamente una fuente contaminante con categoría 6. Según su clase son domésticos y se encuentra en el asentamiento Yaguanabo Arriba.
- **Cuenca Cabagán:** Cuenta con 2 puntos de muestreo (subterránea), se realizan 2 muestras anuales. Posee 3 fuentes contaminantes con categoría 6. Según su clase es domésticos y se encuentra en los asentamientos Aguacate, Cuatro Viento y Grones Torres.
- **Cuenca Gavilanes:** Cuenta con 3 puntos de muestreo (2 subterránea y 1 superficial), se realizan muestras anuales. Posee 5 fuentes contaminantes con categoría 6. Según su clase son agropecuario y municipal, se encuentran en Vaquería #34 Gavilán, Porcino Multiplicador # 36 Gavilán. Sierrita, Porcino Multiplicador # 8 Gavilán. Sierrita, Cementerio La Sierrita y Gavilanes Vaquería 8.
- **Cuenca San Juan:** Cuenta con 2 puntos de muestreo (subterránea), se realizan 2 muestras anuales. Posee 6 fuentes contaminantes con categoría 6. Según su clase son doméstico y municipal, se encuentran los asentamientos Minas I, Río Chiquito, San José, Sopapo, Vegas del Café y cementerio Sopapo. Entre los residuales principales se encuentra lixiviados de descomposición orgánica, patógenos.

Tabla 4. Resultados de los índices según la disponibilidad de información

Cuencas	IUA	IEAS	IA	ICA
Arimao	3,36%	5,64	0,84	3,57
Hondo	0,55%	1,39	0,82	1,93
San Juan	22,86%	0,28	0,82	-
Yaguanabo	29,79%	0,33	0,83	0,91
Cabagán	55,03%	-	0,85	-
Gavilanes	84,17%	-	0,87	1,47

Fuente: Elaborada por los autores.

Según se muestra en la tabla 4 el uso del agua (IUA) se evalúa como bajo y muy bajo para las cuencas Arimao y Hondo respectivamente, lo que significa que la presión de la demanda es baja o no significativa con respecto a la oferta disponible, sin embargo en las cuencas San Juan y Yaguanabo la presión de la demanda es alta con respecto a la oferta mientras Cabagán y sobre todo Gavilanes que presenta el mayor índice, son las cuencas con índices mas altos en relación a la presión de la demanda y la oferta disponible. En estas últimas cuatro cuencas se hacen necesaria la iniciación de medidas de conservación y protección, con el fin de hacer más sostenible el recurso hídrico y garantizar el uso a los diferentes usuarios de la cuenca, previendo de desabastecimiento de las mismas.

En el caso del IEAS, la cuenca Arimao es la que mayor intensidad de uso tiene de la oferta renovable de las aguas subterráneas, es decir la que mayor extracción de agua posee por los diferentes sectores de la montaña, seguida de la cuenca Hondo cuyo índice supera el 100%. En esta situación influye el hecho de que sectores particulares se han dedicado a la extracción no autorizada de agua, afectando la disponibilidad de los recursos disponibles, situación en la que actualmente los actores locales le dan seguimiento y control. En el caso de las cuencas San Juan y Yaguanabo puede considerarse baja la intensidad del uso de la oferta renovable de aguas subterráneas.

De acuerdo con el índice de aridez (IA) que mide la insuficiencia o suficiencia de las precipitaciones, todas las cuencas mantuvieron comportamientos desfavorables entre 0.80 y 0.92, en rangos muy por encima de 0,4 calificadores de altamente deficitarios de agua lo que expresa que en todas las cuencas de la montaña en estos últimos cinco años ha existido un alto déficit de agua por insuficiencias en los volúmenes de las precipitaciones.

Los resultados muestran la realidad actual del territorio donde la calidad del agua (ICA) en las cuencas del ecosistema califica como muy mala con altos volúmenes de carga contaminante. Se hace necesario reforzar las medidas de conservación y protección en las cuencas, como complemento al constante accionar del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y actores del territorio. Algunos acuíferos tienen sobre explotación y salinización obligando a los usuarios a perforar pozos más profundos.

En cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico en términos de cantidad y calidad en un marco de régimen climatológico natural presenta un déficit de agua, debido a la perdida y capacidad del proceso de regulación e infiltración del agua, el deterioro de la calidad.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten evaluar de forma general como desfavorable el comportamiento de los recursos hídricos en el ecosistema Guamuhaya y justifican la urgente necesidad de intensificar la gestión, monitoreo y control de dichos recursos con nuevas soluciones que permitan contrarrestar los crecientes desafíos de la seguridad hídrica. Los ciclos de hiperanualidades de los pozos son influenciados directamente

por los muy bajos regímenes de las precipitaciones, donde la no ocurrencia de estas influye en los bajos rendimientos de las aguas subterráneas.

Aunque todas las cuencas objeto de estudio en al menos uno de los índices calculados clasificaron con valores críticos, las más significativas y necesarias de atención más inmediata son las correspondientes a Gavilanes, Cabagán, Yaguanabo y Arimao.

Referencias bibliográficas

- BRUNDTLAND, G. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.
- CABRERA, E.N. (2017). Un enfoque prospectivo para el desarrollo sostenible en ecosistemas de montaña. Caso Guamuhaya- (Tesis de doctorado). La Habana.
- CABRERA, E. N., DÍAZ GISPERT, L. y BARROS DÍAZ, O. (2019). La multidimensionalidad del desarrollo sostenible en los ecosistemas montañosos de Cuba. *Universidad y Sociedad*, 11 (1). Recuperado de: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1085>
- DÍAZ, J.A., MENÉNDEZ, L., GUZMÁN, J.M., y GARCÍA, E. (2013). Principales problemas ambientales y ecológicos que influyen en la sostenibilidad de la República de Cuba. *I Simposio sobre ciencias de la Sostenibilidad*.
- DÍAZ, L (2011). *Evaluación del desarrollo sostenible para ecosistemas de montaña*. (Tesis de doctorado). La Habana.
- Dirección Provincial de Planificación Física (2019). *Balances Plan Turquino. Provincia Cienfuegos*. Cienfuegos: Consejo de la Administración Provincial. Dirección Provincial de Planificación Física.
- GARCÍA, M y COAUTORES (2006). Teorías del subdesarrollo y el desarrollo.
- Portela, LL. et al., (2019). Valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos en Montañas de Guamuhaya. Cienfuegos, Cuba. *Universidad y Sociedad*, 11 (3). Recuperado de: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>
- BARRAGÁN, M., et al., (2018). Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas. Recuperado de: <https://blogdelagua.com/>
- GUTIERREZ, O (2006), *Propuesta de un Sistema de indicadores para la gestión del ordenamiento territorial del Plan Turquino en Cienfuegos*. (Tesis de Maestría). Cienfuegos.
- MATEO, J. M. (2003). Los caminos para el cambio. La incorporación de la sustentabilidad ambiental al proceso de desarrollo. Convocado por la Academia de Ciencias de Cuba y la Editorial Científico – Técnica del Instituto Cubano del Libro.
- PNUD. (2013). Revisión Sustantiva Proyecto: Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local (BASAL). Recuperado de: http://www.undp.org/content/dam/cuba/docs/Medio%20Ambiente%20y%20Energ%C3%ADa/Revision%20Sustantiva%20BASAL%20COSUDE%20_.pdf

- ROUCO, L. (2015). *Identificación de los factores de mayor incidencia en la dimensión ambiental del desarrollo sostenible del Grupo montañoso Guamuhaya*. (Tesis de diploma). Cienfuegos.
- URRA, S (2017). Identificación de los bienes y servicios más representativos de la Cuenca Hidrográfica Hanabanilla. (Tesis de diploma). Cienfuegos: UCf.
- VEGA, G, et al., (2013). Macizo Guamuhaya. Visión crítica de su erosión hídrica acelerada a través del ordenamiento geoecológico. *I Taller Internacional de Investigaciones sobre manejo de ecosistemas frágiles*. Cienfuegos.
- VEGA, G. (2015). Sierra Alturas de Trinidad, sector Cuatro Vientos-Topes de Collantes. Diagnóstico geoecológico, situación ambiental, PVR. *II Taller internacional de investigaciones sobre manejo de ecosistemas frágiles*. Cienfuegos.

Anexo A: Índices para la evaluación del recurso hídrico. Resumidos por los autores a partir de la Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de micro cuencas (2018) y Estudio Nacional del Agua en Colombia.

1. Índice de Uso del Agua

Fórmula para el cálculo del IUA:
$$IUA = \frac{Dh}{Oh} * 100$$

Donde: Dh: demanda hídrica sectorial y Oh: oferta hídrica superficial disponible

Categorías del índice IUA

Rango	Categoría	Significado
> 50	Muy Alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
$20.01 - 50$	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
$10.01 - 20$	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
$1 - 10$	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy Bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

2. Índice de Extracción de Agua Subterránea (IEAS)

Fórmula para el cálculo:
$$IEAS = \frac{\text{Extracción de agua subterránea}}{\text{recarga}} * 100$$

Donde: Extracción total de agua subterránea: para los diferentes usuarios.

$$\text{Recarga} = P - Es - Et$$

Donde: P: precipitaciones (mm), Es: escurrimiento (mm) y Et: evapotranspiración (mm)

3. Índice de Aridez (IA):

Fórmula para el cálculo
$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Donde: ETP = Evapotranspiración potencial (mm) y ETR: evapotranspiración real (mm)

$$ETR = P / \left(0.9 + \left(P^2 / L^2 \right) \right)^{0.5} \quad L = 300 + 25 * T + 0.005T^3$$

Donde: P: precipitación (mm), L: factor heliotérmico y T: temperatura (°C)

Categoría del índice IA

Rangos	Categoría	Descripción
Menor a 0.15		Altos excedentes de agua
0.15 – 0.19		Excedentes de agua
0.20 – 0.29		Moderado y excedentes de agua
0.30 – 0.39		Moderado
0.40 – 0.49		Moderado a deficitario
0.50 – 0.59		Deficitario de agua
Mayor de 0.60		Altamente deficitario de agua

4. Índice de Calidad del Agua (ICA):

$$ICA = \sum (0.14SST + 0.14DQO + 0.14CE + 0.14pH + 0.14CF)$$

Donde:

SST: Sólidos en suspensión (mg/l), DQO: Demanda química de oxígeno (mg/l), CE: Conductividad eléctrica (μS/cm), pH : (unidades de pH), CF: Coliformes termotolerantes (UFC/100 ml)

Categorías del índice de ICA:

Rangos	Clasificación
0.00 – 0.25	Muy mala
0.26 – 0.50	Mala
0.51 – 0.70	Regular
0.71 – 0.90	Aceptable
0.91 – 1.00	Buena

5. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH)

IVH: Matriz de decisión con base en la relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso del agua (IUA)

Rangos de valores (IVH)

Categorías		
Índice de uso del agua	Índice de regulación	Categoría de Vulnerabilidad
Muy Bajo	Alto	Muy Bajo
Muy Bajo	Moderado	Bajo
Muy Bajo	Bajo	Medio
Muy Bajo	Muy Bajo	Medio
Bajo	Alto	Bajo
Bajo	Moderado	Bajo
Bajo	Bajo	Medio
Bajo	Muy bajo	Medio
Medio	Alto	Medio
Medio	Moderado	Medio
Medio	Bajo	Alto
Medio	Muy Bajo	Alto
Alto	Alto	Medio
Alto	Moderado	Alto
Alto	Bajo	Alto
Alto	Muy bajo	Muy Alto
Muy Alto	Alto	Medio
Muy Alto	Moderado	Alto
Muy Alto	Bajo	Alto
Muy Alto	Muy Bajo	Muy Alto