

VALORACIÓN DEL APROVISIONAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA DEL ROSARIO, CUBA

ASSESSMENT OF THE SUPPLY OF DRINKING WATER IN THE SIERRA DEL ROSARIO BIOSPHERE RESERVE, CUBA

M.Cs. Jorge Luis Zamora Martín¹, Ing. Anileidy Duque Pérez², M.Cs. Nilvia Tornés Piña³

¹Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. Centro de Estudios y Servicios Ambientales de Artemisa, CESAART.
Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

<https://orcid.org/0000-0002-7454-6693>

²Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. Centro de Estudios y Servicios Ambientales de Artemisa, CESAART.
Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

<https://orcid.org/0009-0005-7746-4246>

³Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Artemisa. Delegación del Instituto de Recursos Hidráulicos.

<https://orcid.org/0009-0005-5663-2642>

*Autor para la correspondencia (e-mail): jorgeluiszamoramartin@gmail.com

Recibido para su publicación: 19/08/2025 - Aceptado para su publicación: 04/12/2025

Resumen

La Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, al estar ubicada en la sierra homónima, constituye uno de los centros de almacenamiento y aprovisionamiento de agua para el consumo humano y la producción de alimentos, la ganadería y el desarrollo de actividades de recreación y ocio. Sus 25 000 hectáreas proveen de agua potable a más de 30000 habitantes de cuatro municipios. Considerando la importancia de su conservación, el estudio se plantea la valoración del servicio de abastecimiento, con ello establecer estrategias que permitan un manejo sostenible elevando la calidad y cantidad del recurso natural. Se realizaron expediciones de campo, análisis de calidad de agua en áreas de uso público, revisiones de informes técnicos y análisis estadísticos. Como parte del trabajo se lograron establecer mapas con la distribución espacial de las cuencas hidrográficas, las cuencas subterráneas, y los puntos de abasto para la población. Se aprecia que las aguas de uso público sufren una alta explotación, así como, la exposición a contaminantes sólidos y líquidos que atentan contra su calidad y la posibilidad de su disfrute.

Palabras claves: *aprovisionamiento de agua; cuencas hidrográficas; reserva de biosfera.*

Abstract

The Sierra del Rosario Biosphere Reserve, located in the mountain range of the same name, is a key center for water storage and supply for human consumption, food production, livestock, and recreational activities. Its 25,000 hectares provide drinking water to more than 30,000 inhabitants in four municipalities. Given the importance of its conservation, this study aims to assess the water supply service and establish strategies for sustainable management, thereby improving the quality and quantity of this natural resource. The study involved field expeditions, water quality analyses in public-use areas, reviews of technical reports, and statistical analyses. As part of this work, maps were produced showing the spatial distribution of watersheds, groundwater basins, and water supply points for the population. It is evident that public waters are subject to heavy exploitation and exposure to solid and liquid pollutants that threaten their quality and the possibility of their use and enjoyment.

Keywords: *biosphere reserve; watersheds; water supply.*

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es un pilar fundamental para la salud pública, el desarrollo socioeconómico y la estabilidad de los ecosistemas. Sin embargo, este acceso se ve profundamente comprometido en regiones donde confluyen la fragilidad ambiental y las limitaciones infraestructurales. La Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, primera de su categoría en Cuba declarada por la UNESCO en 1985, constituye un escenario paradigmático de este desafío. Por un lado, es un territorio reconocido por su biodiversidad y sus esfuerzos pioneros en manejo sostenible y reforestación (Comité MaB Cuba, 2018). Por otro, las comunidades asentadas en su interior enfrentan una presión

constante sobre los recursos hídricos, donde "la estacionalidad de las lluvias, la naturaleza cársica del suelo y la obsolescencia de partes del sistema de abastecimiento condicionan la disponibilidad de agua" (García et al., 2021, p. 45).

Garantizar un aprovisionamiento de agua potable seguro y sostenible en esta reserva implica, por tanto, navegar un complejo entramado de factores. No se trata solo de un problema técnico o de infraestructura, sino de un reto de gestión integrada que debe equilibrar las demandas humanas con la imperiosa necesidad de conservar los procesos ecológicos esenciales. Como señala la Estrategia Nacional de Conservación de la Diversidad Biológica, la seguridad hídrica en las áreas protegidas es un componente crítico para la adaptación al cambio climático (CITMA, 2020). En la Sierra del Rosario, este vínculo es evidente: los acuíferos y microcuencas que abastecen a las comunidades son los mismos que sustentan los bosques tropicales y la rica fauna endémica de la región.

El presente artículo analiza la situación actual del aprovisionamiento de agua potable en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. Se examinan las fuentes de abasto, la infraestructura existente, los principales desafíos (naturales y antrópicos) y las estrategias de gestión que se implementan. El objetivo es evaluar el servicio ecosistémico de abastecimiento de agua, considerado los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas para el consumo directo.

La Reserva constituye una fuente de almacenamiento y suministro a más de 6000 habitantes concentrados en los cuatro puntos cardinales, aunque los poblados con mayor incidencia se encuentran al sur y el norte. Se destacan asentamientos como Las Terrazas, Cayajabos, El Mirador, Carambola, La Flora, Soroa, San Diego de Núñez y Cabañas que directamente reciben suministro de agua potable, desde diferentes acuíferos.

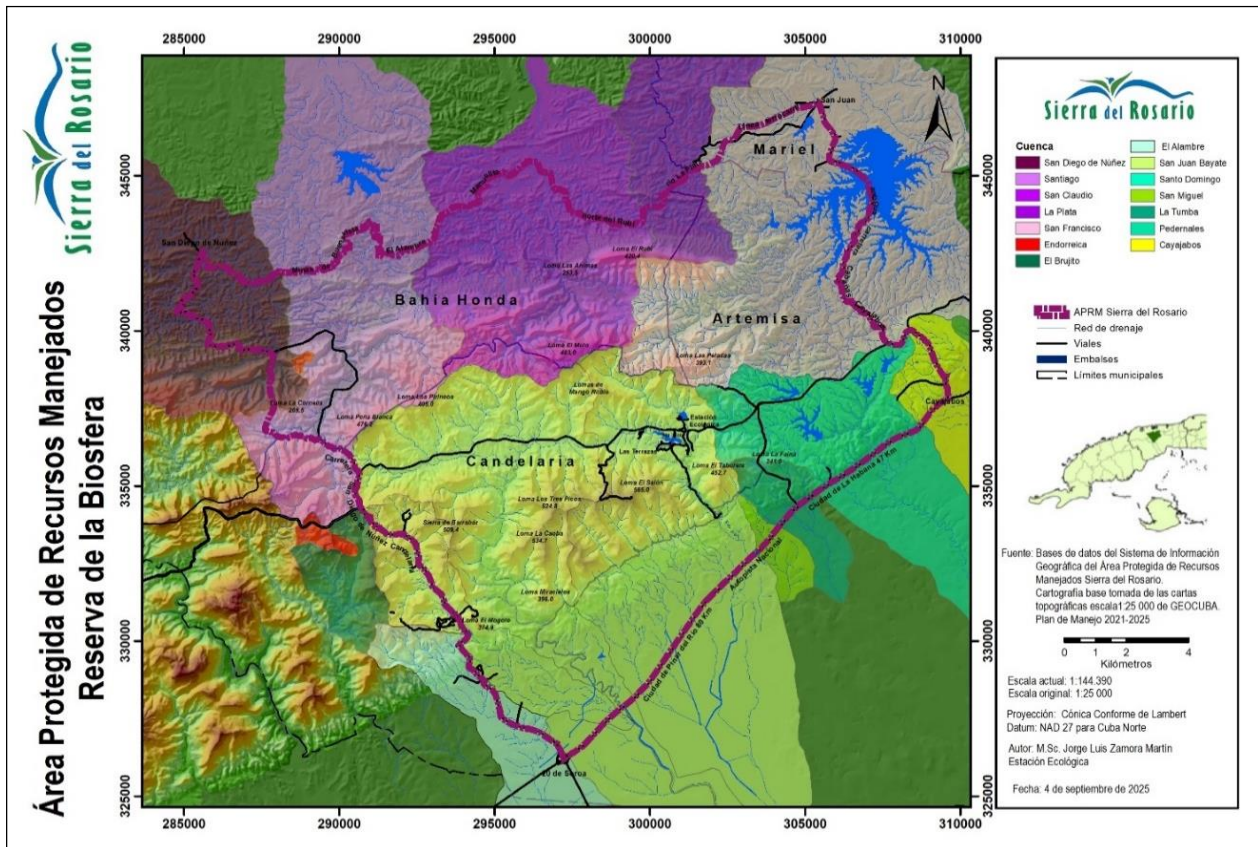
Se asumieron diferentes tareas técnicas, sobre todo asociada a la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de la Provincia de Artemisa (EAHA), quien tuvo como objetivo específico aportar y evaluar información referente a cuencas hidrográficas, cuencas subterráneas y fuentes de abasto, que permitiera conocer la distribución espacial dentro del área protegida y sus vinculaciones al soporte de agua potable para las poblaciones o asentamientos dentro y fuera de la Reserva. Cada información fue abordada en acápite independientes para su mejor comprensión, pudiéndose cartografiar la distribución de las cuencas subterráneas, mejorar los límites de las superficiales y plotear las fuentes de abasto con su base de datos correspondiente; además, se pudo conocer el volumen de agua extraída y la cantidad de consumidores de la EAHA.

En el artículo se incluyen los resultados de dos muestreos realizados por investigadoras del Departamento de Microbiología y Virología de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana. Sus resultados tuvieron como objetivo evaluar el estado de la calidad del agua en tres áreas de uso público del Complejo Las Terrazas y una del Campismo El Taburete, todos en la cuenca media del río San Juan, sitios seleccionados por la presión turística, específicamente en el periodo veraniego.

El artículo estructura los resultados y discusión asumiendo acápite como: agua superficial, agua subterránea, fuentes de abasto y calidad de las aguas. Para la comparación de los resultados se consultaron estudios realizados en otras áreas protegidas de Cuba, como: las Reservas de Biosfera Ciénaga de Zapata y Cuchillas del Toa; de Ecuador, el Archipiélago Galápagos y de España, el Macizo de Anaga; seleccionadas utilizando criterios específicos de homogeneidad y contrastes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario se caracteriza por presentar una red de drenaje superficial bastante densa, los cursos fluviales de escurrimiento estacional y de régimen permanente están distribuidos en dos vertientes bien marcadas por un parte aguas central, conformado por las elevaciones Las Peladas, El Mulo, Peña Blanca, ubicado de este a oeste, justo en el centro latitudinal del área protegida (Estación Ecológica, 2025) (figura 1)



Se trabajó con sistemas de información geográfica para las salidas cartográficas y la ubicación en el espacio de los diferentes elementos tratados. Se realizaron informes que permitieron el aporte de los datos técnicos, tanto para las aguas superficiales como los suministros desde fuentes subterráneas (figura 2).

Se realizaron expediciones de campo para verificar el estado ambiental de las principales áreas de recarga en zonas de las Reservas Naturales El Mulo, Las Peladas, así como, se efectuaron recorridos en la cuenca de los ríos, Manantiales, Bayate, San Juan, San Claudio y San Francisco.

Durante algunos años se han realizado muestreos anuales en la cuenca media del río San Juan, dentro del proyecto “Evaluación de la calidad de ecosistemas dulceacuícolas del occidente de Cuba: riesgos y efectos para el medio ambiente y la salud humana, correspondiente al Programa Sectorial Gestión Integrada y sostenible de los recursos

hídricos, dirigido, este proyecto, por el Departamento de Microbiología y Virología de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana.

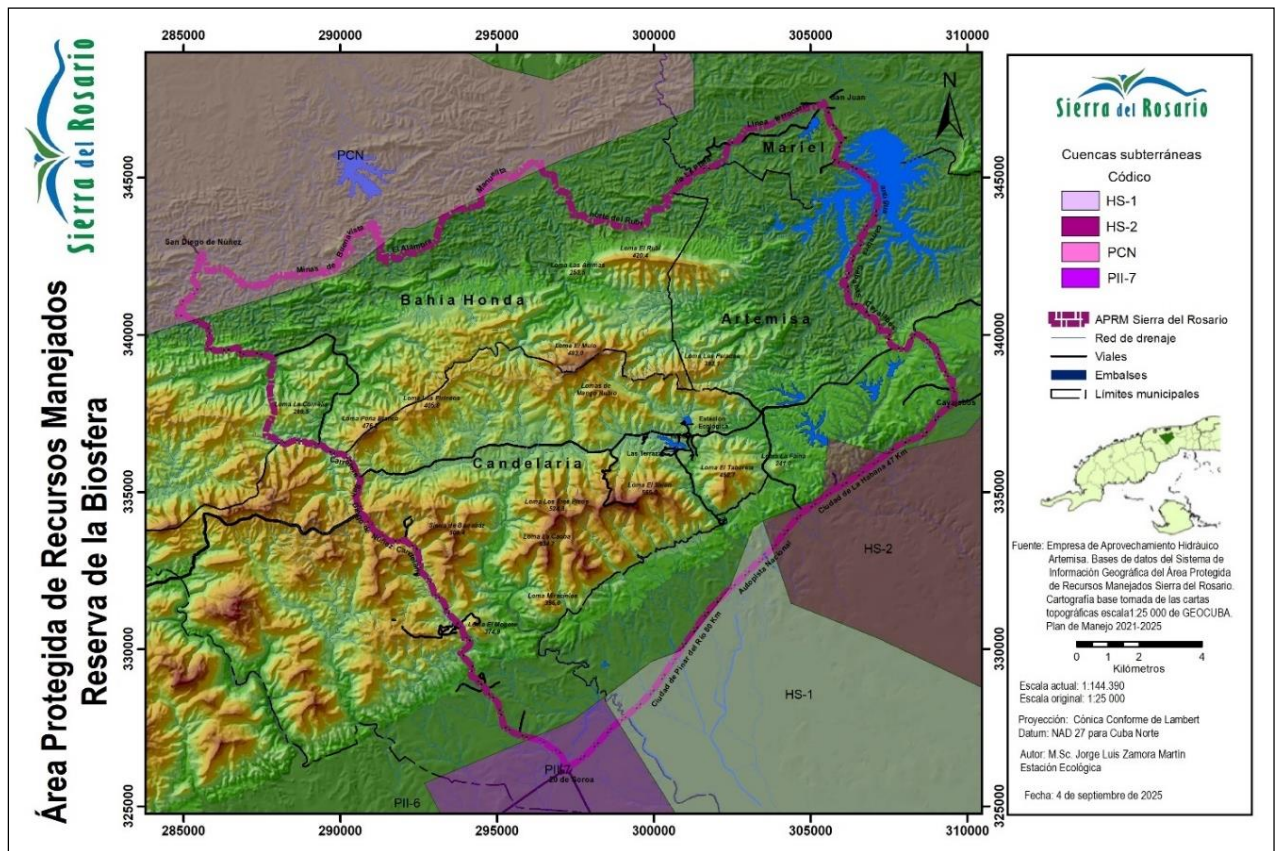


Figura 2. Distribución de cuencas subterráneas asociadas al área protegida.

Figure 2. Distribution of groundwater basins associated with the protected area.

Fuente: está referida en el mapa

Source: indicated on the map.

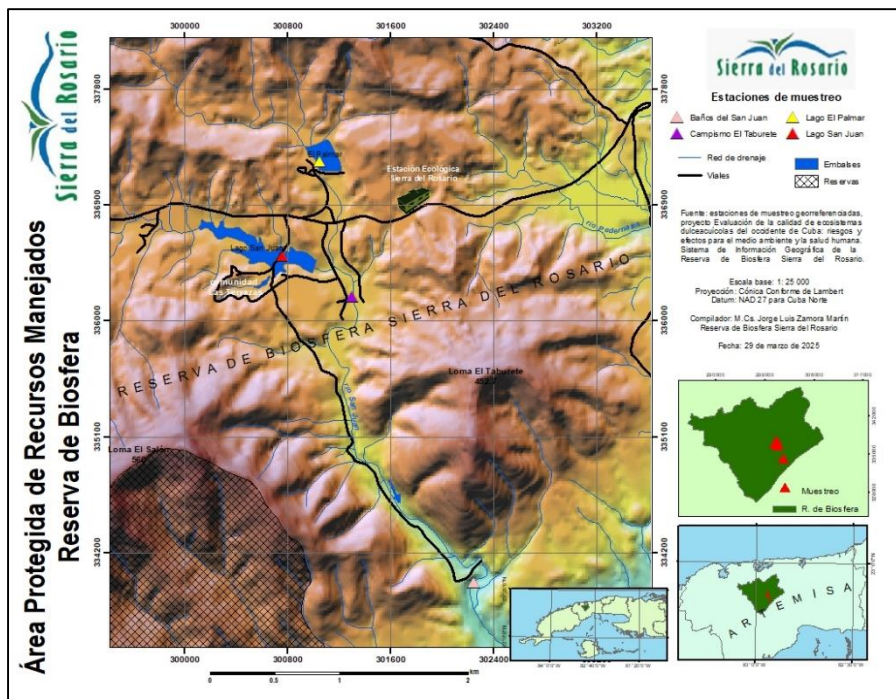


Figura 3. Distribución de estaciones de muestreo.

Figure 3. Distribution of sampling stations.

Fuente: está referida en el mapa

Source: indicated on the map.

El grupo de trabajo de la Facultad de Biología muestreo en el 2025 en 4 estaciones: Lago El Palmar (S1), Lago San Juan (S2), Baños del San Juan (S3) y Campismo El Taburete (S4). Estos puntos fueron seleccionados atendiendo a la presión turística, consideradas áreas para la recreación y el ocio (figura 3), por ello el objetivo en este caso fue evaluar el estado de la calidad del agua. A continuación, se muestran los valores de los índices de calidad de agua y la descripción cualitativa del estado de la calidad del agua según Ramakrishnaiah et al., 2009. (Tabla 1).

Tabla 1. Estado de la calidad del agua

Table 1. Water quality status

Nivel del índice de calidad del agua	Estado de la calidad del agua
<50	Calidad excelente
50-100	Buena calidad
100-200	Pobre calidad
200-300	Calidad muy pobre
>300	Inadecuada

Fuente: Ramakrishnaiah et al., 2009.

Source: Ramakrishnaiah et al., 2009.

El índice se basa en el análisis de doce parámetros físico químicos: físicos (pH, sólidos disueltos totales); químicos (dureza total, calcio, magnesio, bicarbonato, cloruro, nitrato, sulfato, hierro, manganeso y fluoruro). Se asigna un peso numérico a cada uno de los parámetros (W_i) en función de su importancia relativa para la calidad general del agua y sus efectos sobre la salud, posteriormente se calcula el peso relativo de cada parámetro para normalizar su

importancia, a partir de estos resultados se calcula el índice final, determinado por la escala de clasificación de calidad (q_i) para cada parámetro y mediante una fórmula que integra todos los valores, se obtiene el valor final del índice de calidad (WQI) según Ramakrishnaiah et al., 2009. El valor obtenido se compara con una escala predefinida para determinar su estado tal como se muestra en la tabla 1.

El cálculo del índice de calidad del agua, se basa en un índice aritmético ponderado. Para calcular el WQI final, primero se deben determinar dos componentes para cada parámetro químico: el peso relativo (W_i) y la escala de clasificación de calidad (q_i) con la siguiente fórmula : $q_i = (C_i \text{ (concentración media de cada parámetro químico en la muestra de agua en mg/L)} / S_i \text{ (valor estándar de calidad del agua potable para cada parámetro según la normativa de referencia en mg/L)}) \times 100$ (Ramakrishnaiah et al., 2009).

Una vez obtenidos estos valores, la integración final se realiza mediante la fórmula del Índice de Calidad del Agua (WQI) (Ramakrishnaiah et al., 2009).

$$WQI = \sum_{i=1}^n (W_i \times q_i)$$

RESULTADOS

Aguas superficiales

La tabla 2 muestra la distribución por vertientes de las cuencas hidrográficas, su extensión superficial total, el porcentaje que estas representan en su extensión total, así como la superficie que estas abarcan dentro del área protegida y los porcentajes correspondientes.

Las mayores áreas dentro del área protegida las cubren las cuencas del San Juan-Bayate (40.71 %), San Francisco (18.27 % y San Claudio y Santiago con 13.97 y 10.24 % respectivamente. La cuenca de San Juan-Bayate incluye los afluentes: Manantiales, Bayate y El San Juan.

Tabla 2. Cuencas superficiales por vertientes.

Table 2. Surface water basins by drainage area.

Vertiente	Cuenca	Área total		Área en la Reserva	
		km2	%	Km2	%
Interior	Endorreica	0.29	0.04	0.29	0.11
Sur	Pedernales	78.73	11.15	19.12	7.49
	Cayajabos-Las Mercedes	30.79	4.36	3.00	1.18
	La Tumba	7.68	1.09	3.79	1.48
	San Miguel (Maní Maní)	3.45	0.49	0.80	0.31
	El Alambre	26.28	3.72	1.12	0.44
	San Juan Bayate	194.21	27.50	103.93	40.71
	El Brujito	69.83	9.87		
Norte	San Claudio	53.04	7.50	35.66	13.97
	San Francisco	100.98	14.28	46.66	18.28
	Santiago	73.02	10.33	26.13	10.24

	La Plata	24.14	3.41	6.00	2.35
	San Diego de Núñez	43.79	6.19	8.78	3.44
Totales		706.25	100.00	255.28	100.00

Fuente: Elaborada por los autores a partir del mapa de hidrografía del área protegida.

Source: Prepared by the authors based on the hydrography map of the protected area.

La densidad de la red de drenaje por cuenca se extiende de 0.48 a 1.83 km/km², sobresalen las cuencas de San Diego de Núñez (1.83 km/km², la mayor densidad), San Francisco, San Claudio y La Plata por encima de 1.4 km/km².

Los afluentes con mayor longitud en su red de drenaje son: San Francisco, San Claudio y Bayate, todos por encima de 48 km de longitud cada uno. Los afluentes con mayor densidad de drenaje se concentran en el río San Diego de Núñez con 1.83 km/km², San Francisco (1.58 km/km²), San Claudio (1.46 km/km²) y La Plata con 1.43 km/km².

Dentro del área se encuentran 6 micropresas, cuatro son alimentadas por el río La Pastora, y dos por el río San Juan. Estas son utilizadas para la ganadería, la agricultura y las actividades recreativas, fundamentalmente en el Complejo Las Terrazas. Se cuenta con dos embalses, el Bayate II y el San Francisco, el primero, aunque no funciona¹, es alimentado por los ríos Manantiales y Bayate, se sitúa en el extremo suroeste de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. El embalse de San Francisco, en el extremo noreste de la misma área protegida, posee un volumen total es de 69.891 hm³ y un volumen útil de 52.560 hm³, pertenece al municipio Mariel. Estación Básica regulada de consumo humano que abastece una población el poblado de Cabaña a través del sistema de acueducto y el Centro Acuícola Alevines San José (EAHA, 2025). Situada al noroeste se encuentra la presa Buenavista (tabla 3), alimentada por el río Santiago, el agua represada es utilizada en la agricultura y en algunos asentamientos del municipio Bahía Honda.

Tabla 3. Embalses para el consumo humano

Table 3. Reservoirs for human consumption

Embalses	Acuífero	Fuente de alimentación	Área de la cuenca	volumen balanceado 2024
Presa Buena Vista	PCN	Río Santiago	16.80 km ²	5.86 hm ³
Embalse San Francisco	P117	Río San Francisco	58.7 km ²	18.6 hm ³

Fuente: Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Artemisa, 2025.

Source: Artemisa Hydraulic Resources Utilization Enterprise, 2025

El recurso agua como todos los demás recursos naturales son regulados por un organismo o entidad que se encarga de controlar su entrega, demanda y uso para así, brindar un servicio con la calidad requerida teniendo en cuenta la función emitida. El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos es el encargado de controlar y regular el Recurso Natural Agua. El cual cuanta con las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico en las 16 provincias del país, que son las encargadas por su distribución geográfica de controlar y evaluar el comportamiento de las aguas subterráneas y superficiales (ríos, arroyos, cuencas, subcuencas, presas y micropresas).

1 EL EMBALSE NO LOGRA ACUMULAR AGUA, SÓLO EN LOS PERIODOS DE FUERTES LLUVIAS POR ORGANISMO METEOROLÓGICOS LOGRA ACUMULAR VOLUMENES QUE DESPUÉS SE VAN DRENANDO. EL EMBALSE ESTÁ CONSTRUIDO SOBRE ZONA CÁLCICA DONDE PREDOMINA EL ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO.

Aguas subterráneas

Para brindar un servicio de calidad al cliente se monitorean con frecuencia dos veces al año de acuerdo al plan anual en período: seco y húmedo. En estudios realizados en el periodo húmedo 2024, las cuencas se mantuvieron un comportamiento desfavorable en los índices de calidad del agua con relación al período seco 2023. Se registran afectaciones en el periodo analizado, en estaciones básicas con altas concentración de nitratos y nitritos producto a la contaminación de residuales (EAHA, 2025a).

Al calcular los índices de calidad del agua en período seco se observó cómo se degradaron las propiedades físicas y químicas, por posible contaminación fecal, degradación de materia orgánica, afectando el ciclo de nitrógeno y, mal manejo de los fertilizantes químicos (EAHA, 2025a)

Existe recarga por bacteriología debido a la contaminación fecal de origen hídrico por los Asentamientos Poblacionales muy cercano a la zona próxima de estudio. Existen crianza de animales con intenso pastoreo, el crecimiento de los rebaños y entidades del polo turísticos que generan un volumen de residual no urbano generado alrededor de la fuente que no cumplen con las normas de vertimientos nc 27-2012 (EAHA, 2025a).

La red de monitoreo subterránea de interés municipal evalúa el agua que abastece a los pobladores que residen en la zona de influencia del sector hídrico, las dos cuencas se alimentan de cuerpos de agua subterránea y superficiales, manantiales de Bahía Honda y afluentes del sector hidrológico superficiales del río San Juan, Bayarte, entre otros del municipio Candelaria (EAHA, 2025a).

Suministro de agua desde los diferentes acuíferos

Por su importancia son reguladas y balanceadas por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Artemisa. Las dos son de interés municipal, la cuenca Pinar Costa Norte (PCN) demanda un total de agua subterránea para el sector residencial de 6.02 hm³, en específico en el municipio Bahía Honda. La cuenca subterránea PII7 abastece al municipio Candelaria, demanda un agua de 1.05 hm³ para el sector estatal y residencial, suministrado por diferentes acueductos (EAHA, 2025a) (Figura 2). El acuífero HS2 demanda un total de 120. 60 hm³, abasteciendo asentamientos del municipio Artemisa en su porción oeste.

Demanda un total de agua de la cuenca subterránea PCN 17.18 hm³: CCSF Vicente Chávez (Bahía Honda (B,H)), Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Luis Bocourt (B,H), Empresa Agropecuaria, B,H Unidad Empresarial de Base La Altura (B,H), Unidad Empresarial de Base Guasimal, Empresa Avícola, Unidad Empresarial de Base Lidia Doce (B,H), Órgano Superior de Dirección Empresarial (OSDE) Campismo La Altura (B,H), OSDE Campismo San Pedro (B,H), Acueducto Bahía Honda (Ac B Honda) Carenero, Ac B Honda El Morrillo, Ac B Honda Silvio Caro, Ac B Honda Barrio Caliente, Ac B Honda Blanca Arena, Ac B Honda El Muelle, Ac B Honda Silvio Caro. Otros Abastos del sector residencial acueductos en la zona de influencia, demanda anual de agua 6.02 hm³ (EAHA, 2025a).

La tabla 4 muestra, entre otros elementos, la cantidad de población que se abastece de las diferentes fuentes de abasto, cuya agua es suministrada bajo la supervisión del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, así también, se pueden conocer los volúmenes demandados, lo extraídos y lo ingresos generados por este servicio.

Tabla 4. Distribución por municipio, población beneficiada, volúmenes de agua e ingresos, suministrados por INRH.
Table 4. Distribution by municipality, beneficiary population, water volumes, and revenue, provided by INRH.

Municipio	Poblac. (U o R)	Pobl. (Hab)	Organ.que entrega el agua	Fuente de Abasto	Acuífero/ embalse	Vol.dem. anual (hm³)	Vol.extraído / días trabajados (hm³)	horas de trabajo	Gatos (MP)	ingreso hasta la fecha (MP)
Bahía Honda	U	3103	INRH	PP Bahía Honda	Presa Buenavista	46.9	46.90	325	14.4	164.15
Bahía Honda	U	1931	INRH	Silvio Caro 1-2	PCN	46.84	11.71	990	0.0	0.15223
Bahía Honda	R	1274	INRH	Pozas, Las	PCN	8.64	2.16	120	0.0	0.02808
Bahía Honda	R	570	INRH	Campo tiro	PCN	3.92	0.98	182	0.0	0.01274
Bahía Honda	R	140	INRH	Carenero	PCN	7.04	1.76	245	0.0	0.02288
Bahía Honda	R	1052	INRH	El Morrillo	PCN	9.92	2.48	115	0.0	0.03224
Bahía Honda	R	73	INRH	Muelle, El	PCN	4.04	1.01	70	0.0	0.01313
Bahía Honda	R	978	INRH	San Diego de Núñez	PCN	0	0	0	0	0
Bahía Honda	R	178	INRH	Treinta, Las	PCN	8.64	2.16	175	0.0	0.02808
Bahía Honda	R	165	INRH	Tres Palmas	PCN	34.56	8.64	60	0.1	0.11232
Bahía Honda	R	69	INRH	Silvio Caro	PCN	27.2	6.8	990	0.0	0.0884
Bahía Honda	R	339	INRH	Volador, El	PCN	26.68	6.67	6.62	1.0	0.08671
Bahía Honda	U	3103	INRH	Harlem	PCN	25704	6426	525	12.2	224.91
Bahía Honda	R	140	INRH	Carenero	PCN	7.04	1.76	245	0.0	0.02288
Bahía Honda	R	120	INRH	Cacarajicara	PCN	0	0	0	0	0
Candelaria	R	12310	INRH	Godínez	PII7	520	130	325	0.4	40.69
Candelaria	R	1221	INRH	Mi Refugio	PII7	63.92	15.98	235	0.1	0.20774
Artemisa	R	851	INRH	Cowley	HS1	324.2	81.05	345	0.2	1.05365
Candelaria	R	1844	INRH	Bayate	PII7	76.68	19.17	355	0.1	0.24921
Candelaria	R	851	INRH	Barrancones	PII7	13.32	3.33	185	0.0	0.04329
Candelaria	R	544	INRH	La Flora	PII7	53.84	13.46	13.4	1.0	0.17498
Maríel	R	4351	INRH	PITCabaña	Embalse San Francisco	13052	3263	435	7.5	114.20
Total		35207.00				40039.38	40039.38		37	546.28

Fuente: Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Artemisa, 2025.

Source: Artemisa Hydraulic Resources Utilization Enterprise, 2025

Son atendidos por el INRH, 35 207 habitantes, distribuidos en los municipios de Bahía Honda, Candelaria y Artemisa. Para satisfacer la demanda de agua potable se extraen 40 039.38 hm³, contribuyendo con un ingreso por el servicio de abastecimiento de 546 283. 56 pesos. Cabe destacar que no se cuenta con los cálculos de volúmenes de agua entregados al sistema agroproductivo he industrial, constituyendo un mayor volumen de extracción he ingresos por este concepto.

La figura 4 muestra en puntos rojos parte de las fuentes de abasto próximas al área protegida, en triángulo verde limón las fuentes que obtiene agua de las cuencas subterráneas que se vinculan a las redes de drenaje que nacen en el interior del área protegida. Se señala además los dos embalses que suministran agua a los sistemas de tratamiento de Cabañas, San Francisco y Bahía Honda, presa Buenavista, ambas del municipio Bahía Honda.

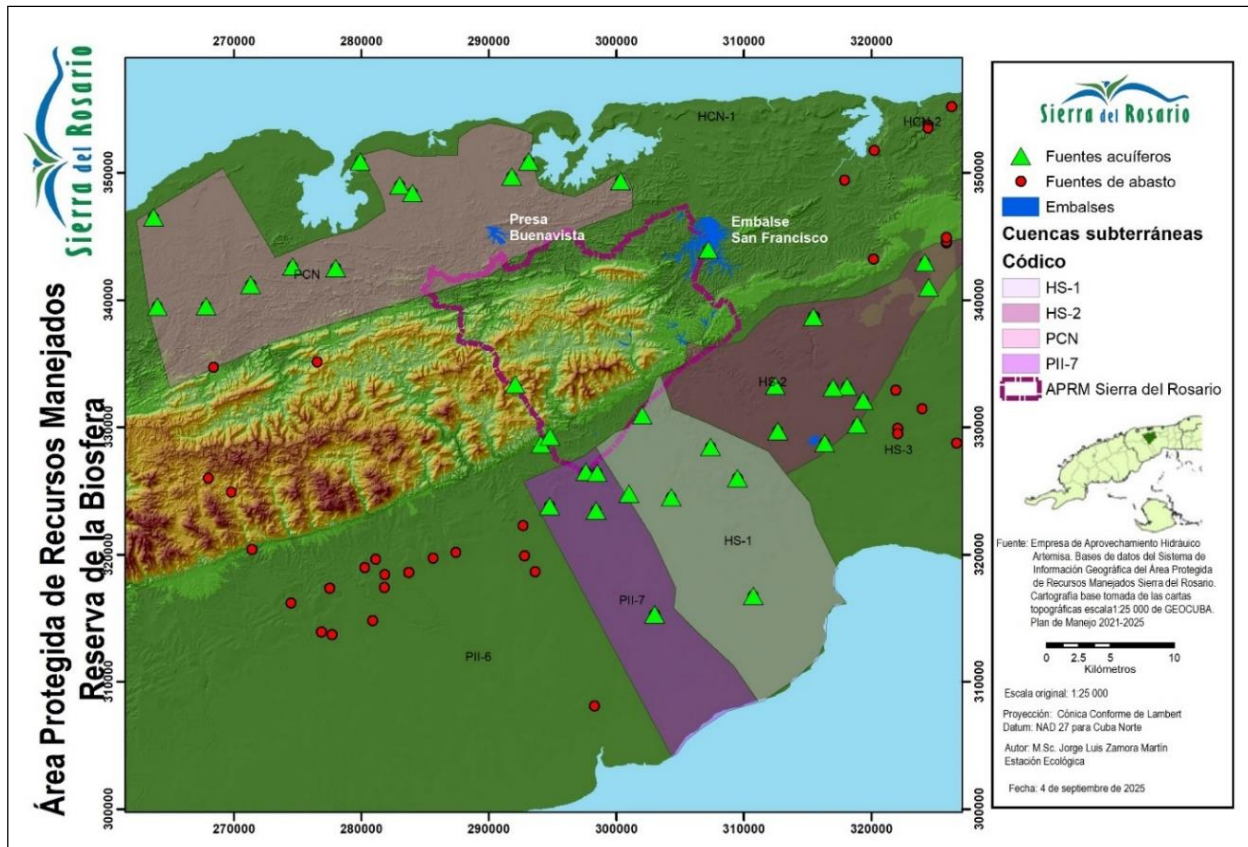


Figura 4. Distribución de las fuentes de abasto de la provincia Artemisa

Figure 4. Distribution of water supply sources in Artemisa province

Fuente. Está referida en el mapa

Source: Indicated on the map.

El área protegida posee una población dentro y en su zona de amortiguamiento de 6000 habitantes (Estación Ecológica, 2020), sin embargo, almacena y suministra agua de calidad para más de 35 000 habitantes, muchos distantes como los asentamientos urbanos de Candelaria y Cabañas. Por tanto, una vez más se corrobora la importancia de mantener en óptimo estado los ecosistemas que conforman la Reserva de Biosfera, su zona de amortiguamiento y de conectividad.

Evaluación del estado de la calidad del agua

Además de los estudios que desarrolla la EAHA, se realizaron dos muestreos para determinar calidad de agua de uso público en el marco del proyecto “Evaluación de la calidad de ecosistemas dulceacuícolas del occidente de Cuba: riesgos y efectos para el medio ambiente y la salud humana.

Fecha: 4 de marzo de 2025

Se muestrearon 4 estaciones, Presa El Palmar (S1), Presa San Juan (S2), Baños del San Juan y el Campismo El Taburete (S4). A continuación, se muestran los valores de los índices de calidad de agua para cada una de las estaciones de muestreo (Tabla 5) y el estado de la calidad del agua (Tabla 1) según Ramakrishnaiah *et al.*, 2009.

Tabla 5. Estaciones de muestreo cuenca media del río San Juan. Marzo de 2025.

Table 5. Sampling stations in the middle basin of the San Juan River. March 2025.

Estaciones de muestreo	Marzo 2025
Presa El Palmar (S1)	174.85
Presa San Juan (S2)	258.07
Baños del San Juan (S3)	473.61
Campismo El Taburete (S4)	516.62

Fuente: Departamento de Microbiología y Virología. Facultad de Biología, 2025

Source: Department of Microbiology and Virology. Faculty of Biology, 2025

De acuerdo a los valores del índice de calidad del agua, la calidad de las aguas de las estaciones Baños del Río San Juan y el Campismo El Taburete es inadecuada para cualquier tipo de uso. La calidad del agua de la estación Presa El Palmar se considera pobre y la calidad del agua de la estación Presa San Juan se considera muy pobre. Los indicadores de calidad de agua que más inciden en estos resultados son:

Para la estación Baños del Río San Juan (concentración de indicadores bacterianos de contaminación fecal, los cuales exceden los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Cubana 22 (1999) y las concentraciones de nitratos, amonio y fosfatos, las cuales exceden lo establecido en las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del año 2021.

Para la estación El Taburete (las altas concentraciones de nitratos, amonio y fosfatos que exceden los límites máximos permisibles establecidos por la OMS (2021)

Para la estación Presa El Palmar (las concentraciones de coliformes termotolerantes las cuales exceden los límites máximos permisibles por la Norma Cubana 22 (1999) y las concentraciones de amonio, nitratos y fosfatos, las cuales exceden lo establecido en las normas de la OMS (2021)

Para la estación Presa San Juan (las concentraciones de amonio, nitratos y fosfatos, las cuales exceden lo establecido en las normas de la OMS (2021)

Fecha de muestreo: 9 de julio de 2025

Se muestrearon 3 estaciones, Presa El Palmar (S1), Presa San Juan (S2) y Baños del San Juan. A continuación, se muestran los valores de los índices de calidad de agua para cada una de las estaciones de muestreo (tabla 6) y el estado de la calidad del agua según Ramakrishnaiah *et al.*, 2009 (Tabla 1).

Tabla 6. Estaciones de muestreo cuenca media del río San Juan. Julio de 2025

Table 6. Sampling stations in the middle basin of the San Juan River. July 2025.

Estaciones de muestreo	Julio 2025
Presa El Palmar (S1)	235.46
Presa San Juan (S2)	415.09

Baños del San Juan (S3)	550.30
-------------------------	--------

Fuente: Departamento de Microbiología y Virología Facultad de Biología, 2025.

Source: Department of Microbiology and Virology. Faculty of Biology, 2025.

De acuerdo a los valores del índice de calidad del agua, la calidad de las aguas de las estaciones Presa San Juan y Baños del Río San Juan es inadecuada para cualquier tipo de uso. La calidad del agua de la estación Presa El Palmar se considera muy pobre. Los indicadores de calidad de agua que más inciden en estos resultados son:

Para la estación Baños del Río San Juan (concentración de indicadores bacterianos de contaminación fecal, los cuales exceden los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Cubana 22 (1999) y las concentraciones de amonio y fosfatos, las cuales exceden lo establecido en las normas de la OMS (2021)

Para la estación Presa El Palmar (las concentraciones de enterococos y coliformes termotolerantes las cuales exceden los límites máximos permisibles por la Norma Cubana 22 (1999) y las concentraciones de amonio, nitratos y fosfatos, las cuales exceden lo establecido en las normas de la OMS (2021)

Para la estación Presa San Juan (concentración de indicadores bacterianos de contaminación fecal, los cuales exceden los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Cubana 22 (1999) y las concentraciones de amonio, nitratos y fosfatos, las cuales exceden lo establecido en las normas de la OMS (2021).

Durante el muestreo se observó poco caudal en las diferentes estaciones de muestreo y el agua se notó verdosa, con mal olor y se apreció la presencia de latas y nylon y el crecimiento excesivo de algas.

Como se aprecia en el documento, existe degradación de las condiciones ambientales en las áreas de uso público, en los momentos de la toma de muestras, cuestión que constituye alerta para disminuir o no utilizar, en actividades que promueven el uso directo del agua durante el baño en piscinas naturales. Durante el periodo de estiaje se acumulan grandes cantidades de materia orgánica, deteriorando la calidad del agua.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario evidencian una problemática hídrica compleja: degradación de la calidad del agua en áreas de uso público (con valores WQI inadecuados), alta demanda de extracción de acuíferos que abastece a una población muy superior a la residente, y una presión antrópica creciente asociada al turismo y a las actividades agropecuarias (EAHA, 2025; García et al., 2021). Para interpretar estos hallazgos en un contexto más amplio, se realiza un análisis comparativo con cuatro reservas de biosfera que presentan similitudes y contrastes relevantes: la Ciénaga de Zapata (Cuba) y Cuchillas del Toa (Cuba), por su función hidrológica estratégica dentro del archipiélago cubano; el Archipiélago de Galápagos (Ecuador), por su elevada presión turística sobre cuerpos de agua frágiles; y el Macizo de Anaga (España), como ejemplo de gestión exitosa de acuíferos (Alfonso et al., 2020; CITMA, 2020; Rodríguez-Alcántara et al., 2025; Vernaza et al., 2021).

Aguas superficiales

La Sierra del Rosario presenta una densa red de drenaje superficial, con las cuencas de San Juan-Bayate (40,71 % del área protegida), San Francisco (18,27 %) y San Claudio (13,97 %) como las más extensas. Se identificaron dos embalses clave para el consumo humano: la Presa Buenavista (5,86 hm³) y el Embalse San Francisco (volumen útil de 52,560 hm³), que abastece al poblado de Cabañas mediante un sistema de acueducto (EAHA, 2025). Sin embargo,

los muestreos realizados en la cuenca media del río San Juan revelaron un severo deterioro de la calidad del agua en las zonas de uso público. Los índices de calidad del agua (WQI) calculados según Ramakrishnaiah et al. (2009) alcanzaron valores de 473,61 en Baños del San Juan y 516,62 en Campismo El Taburete en marzo de 2025, ambos clasificados como “inadecuados para cualquier tipo de uso”. Las concentraciones de coliformes termotolerantes excedieron los límites de la Norma Cubana 22 (1999), y los niveles de amonio, nitratos y fosfatos superaron las guías de la OMS (2021). Durante los muestreos se observó “poco caudal, agua verdosa, mal olor, presencia de latas y nylon, y crecimiento excesivo de algas”, un cuadro típico de eutrofización avanzada y contaminación fecal.

Al contrastar este escenario con la Ciénaga de Zapata, se observa una diferencia fundamental. Mientras que en Sierra del Rosario la afectación antrópica domina (vertimientos de residuales, agroquímicos y desechos sólidos), en la Ciénaga de Zapata —el mayor humedal del Caribe insular y sitio Ramsar— la principal amenaza para las aguas superficiales proviene del cambio climático y la intrusión salina. Alfonso et al. (2020) señalan que el humedal es “frágil y vulnerable al cambio climático”, y que uno de los grandes desafíos es determinar el caudal ambiental necesario para mantener su salud. Esta vulnerabilidad climática es compartida por ambos territorios, aunque la Ciénaga de Zapata enfrenta además deforestación y uso excesivo de agroquímicos (INSMET, 2020).

En contraste, Cuchillas del Toa presenta una realidad hidrológica muy diferente. Considerada “el mayor reservorio de agua y la de mayor extensión e importancia para el desarrollo económico” de Cuba (Comité MaB Cuba, 2018), alberga la mayor red hidrográfica del país y se la describe como “una fábrica impresionante del preciado líquido”. Sus niveles de precipitación alcanzan cerca de 4 000 mm anuales, y la cuenca del río Toa incluye 131 km de cauce principal con 72 afluentes (Estación Ecológica, 2020). Sin embargo, esta enorme disponibilidad de agua superficial contrasta con problemas crecientes de deforestación y erosión en las cabeceras, así como “focos de contaminación con vertimiento directo al río” detectados en comunidades de la zona (EAHA, 2025a). A diferencia de Sierra del Rosario, donde la contaminación está fuertemente asociada al turismo, en Cuchillas del Toa el deterioro de la calidad se vincula más a la agricultura de montaña (café, cacao) y a la minería furtiva (CITMA, 2020).

El caso de Galápagos es especialmente ilustrativo. El monitoreo sistemático implementado desde 2005 por la Dirección del Parque Nacional Galápagos con apoyo de la cooperación japonesa (JICA) ha evidenciado un “deterioro debido al impacto de las actividades humanas en las últimas décadas”, con parámetros fuera de lo normal en sitios costeros y aguas no aptas para consumo doméstico en algunos lugares (Vernaza et al., 2021; Parque Nacional Galápagos & JICA, 2005-2024). Al igual que en Sierra del Rosario, se ha detectado eutrofización por alta concentración de nutrientes y contaminación por coliformes fecales. La diferencia clave está en la institucionalización del monitoreo: Galápagos cuenta con un programa mensual autónomo, mientras que en Sierra del Rosario los muestreos dependen de proyectos universitarios puntuales.

Finalmente, el Macizo de Anaga ofrece un modelo exitoso de gestión de aguas superficiales. Un estudio de una década (2007-2016) publicado en *Environments* concluye que la calidad del agua superficial y subterránea “cumple consistentemente con los estándares regulatorios, sin evidencia de contaminación” (Rodríguez-Alcántara et al., 2025, p. 12). Este éxito se atribuye a la baja densidad de población, el limitado impacto turístico dentro de la reserva y, sobre todo, a las “efectivas medidas de protección del suelo implementadas” (Rodríguez-Alcántara et al., 2025). La lección para Sierra del Rosario es clara: la calidad del agua superficial es el reflejo directo del estado de conservación del territorio.

Aguas subterráneas

El informe técnico de la EAHA (2025a) revela que en la Sierra del Rosario las cuencas subterráneas (PCN, P117 y HS2) presentaron un “comportamiento desfavorable en los índices de calidad del agua con relación al período seco 2023”. Se registraron altas concentraciones de nitratos y nitritos “producto a la contaminación de residuales”, así como una significativa recarga por contaminación fecal de origen hídrico, vinculada a asentamientos poblacionales cercanos, crianza de animales con intenso pastoreo y entidades turísticas que generan residuales sin cumplir la norma NC 27-2012 (EAHA, 2025a). Esta situación es particularmente grave por la naturaleza cársica del suelo en la Sierra del Rosario, que facilita la rápida infiltración de contaminantes hacia los acuíferos. García et al. (2021) ya habían advertido que “la naturaleza cársica del suelo” es uno de los factores que condicionan la disponibilidad y calidad del agua en esta reserva.

La Ciénaga de Zapata comparte esa condición cársica. El territorio posee depresiones cársicas con muy baja permeabilidad, y los estudios de calidad del agua incluyen 11 pozos de observación (Alfonso et al., 2020; INSMET, 2020). En Galápagos, las fuentes subterráneas también presentan problemas de salinidad y contaminación en sitios costeros, agravados por la intrusión marina (Vernaza *et al.*, 2021).

El Macizo de Anaga, nuevamente, funciona como contraejemplo positivo. A pesar de abastecer al área metropolitana de Santa Cruz de Tenerife, la calidad del agua subterránea se ha mantenido sin evidencia de contaminación durante una década, gracias a la protección rigurosa de las zonas de recarga (Rodríguez-Alcántara et al., 2025). En Anaga, la geología compacta limita la infiltración, pero los autores destacan que las medidas de manejo (restricción de usos, control de vertimientos) son el factor determinante. En un contexto cársico como el de Sierra del Rosario, esas medidas deberían ser aún más estrictas.

Suministro desde acuíferos y la paradoja del abastecimiento

Los resultados cuantitativos (tabla 4 del artículo original) muestran que la Sierra del Rosario abastece a 35 207 habitantes en los municipios de Bahía Honda, Candelaria y Artemisa, con una extracción anual de 40 039,38 hm³ y un ingreso por servicio de 546 283,56 pesos (EAHA, 2025). La población residente dentro de la reserva y su zona de amortiguamiento es de unos 6 000 habitantes (Estación Ecológica, 2020). Por lo tanto, la reserva abastece a una población externa aproximadamente seis veces mayor que su población local. Esta “paradoja del abastecimiento” — una reserva que provee agua a una región mucho más poblada que la propia— ya fue señalada por García et al. (2021), quienes indicaron que las comunidades asentadas en el interior enfrentan “una presión constante sobre los recursos hídricos”.

Esta paradoja se reproduce en Cuchillas del Toa. Aunque el área protegida alberga unos 18 300 habitantes en su zona de transición (Comité MaB Cuba, 2018), su red hidrográfica es estratégica para el abastecimiento de toda la región oriental de Cuba (CITMA, 2020). En Ciénaga de Zapata, la función de abastecimiento se extiende a la población del municipio homónimo, pero el envejecimiento de la infraestructura de bombeo y los prolongados períodos de sequía afectan gravemente la continuidad del servicio (Alfonso et al., 2020). En todos estos casos cubanos, los ingresos generados por el servicio de agua no se traducen directamente en inversiones de conservación para las cuencas altas. La Estrategia Nacional de Conservación de la Diversidad Biológica (CITMA, 2020) señala que la seguridad hídrica en

las áreas protegidas es un componente crítico para la adaptación al cambio climático, pero en la práctica no se han desarrollado mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos.

El Macizo de Anaga demuestra que es posible compatibilizar el abastecimiento externo con la conservación, siempre que exista una planificación territorial estricta y un monitoreo continuo (Rodríguez-Alcántara et al., 2025). Galápagos, en cambio, muestra el lado opuesto: la presión turística desborda la capacidad de los acuíferos y obliga a costosas soluciones como la desalinización, sin que se resuelva de fondo la contaminación difusa (Vernaza et al., 2021).

Evaluación de la calidad del agua y lecciones de manejo

Los muestreos realizados en la cuenca media del río San Juan (marzo y julio de 2025) confirmaron que la calidad del agua en las áreas de uso público es inadecuada ($WQI > 300$). Los valores más extremos se dieron en Baños del San Juan (julio: 550,30) y Campismo El Taburete (marzo: 516,62). Los parámetros que más incidieron fueron coliformes termotolerantes, amonio, nitratos y fosfatos. Además, se observó un crecimiento excesivo de algas, mal olor y residuos sólidos. El artículo señala que "durante el período de estiaje se acumulan grandes cantidades de materia orgánica", lo que sugiere que la falta de caudal agrava la concentración de contaminantes.

Esta situación es comparable con la de Galápagos, donde el monitoreo ha detectado eutrofización y contaminación fecal en sitios con alta afluencia turística (Vernaza et al., 2021). Sin embargo, Galápagos ha avanzado en la implementación de un sistema de alerta temprana y en la aplicación de normas de vertimiento más exigentes. En Cuchillas del Toa, aunque no se reportan valores de WQI, la contaminación por agroquímicos y la erosión afectan progresivamente la calidad del agua (CITMA, 2020).

A partir de esta comparación, se pueden extraer varias lecciones para la gestión del agua en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. Dentro de ellas se hace necesario establecer capacidades para las áreas de baño, prohibir el vertimiento directo de residuales y aplicar cierres estacionales durante el estiaje, como se ha hecho en otros ecosistemas frágiles (Ramakrishnaiah et al., 2009). El éxito de Anaga demuestra que invertir en conservación de la vegetación y limitación de usos en las zonas de recarga es más rentable que construir infraestructura de tratamiento después (Rodríguez-Alcántara et al., 2025). Es urgente diseñar mecanismos financieros que reinviertan parte de los ingresos por suministro de agua (actualmente ~546 000 pesos anuales) en el monitoreo, la reforestación y el saneamiento de la reserva (CITMA, 2020). A diferencia de Galápagos, Sierra del Rosario carece de un programa institucionalizado de monitoreo de calidad del agua. Se recomienda establecer una red fija de estaciones con financiamiento asegurado y personal capacitado, y que los resultados se reporten periódicamente a los gestores del territorio.

CONCLUSIONES

1. La Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario es un espacio geográfico clave para la conservación de los recursos hídricos, acumula y genera agua potable para más de 30 000 personas de tres municipios y dos embalses (San Francisco y Buenavista) que abastecen a los sistemas de Cabañas y Bahía Honda; generando unos 546 283.56 pesos, por servicio de agua potable, suministrada y controlada por el INRH, a partir de una extracción de 40 039,38 hm³. Sin embargo, no existen mecanismos de retribución que reinviertan estos ingresos en la conservación de la Reserva.
2. Durante el periodo de seca, el agua utilizada para la recreación en el Complejo Las Terrazas y el Campismo El Taburete no reúnen condiciones para uso directo ni indirecto, lo que afecta la salud de los bañistas, la calidad del

ecosistema y la viabilidad de las actividades turísticas. La calidad del agua se degrada por desechos sólidos, efluentes porcinos, construcciones y deforestación en la faja hidrorreguladora así como, por la presencia de especies exóticas invasoras.

3. A diferencia de otros ecosistemas frágiles (como Galápagos), la Sierra del Rosario carece de un programa institucionalizado de monitoreo de calidad de agua, lo que limita la toma de decisiones oportunas.
4. Los análisis comparativos con Ciénaga de Zapata y Cuchillas del Toa, revelan que la Sierra del Rosario no es un caso aislado dentro de las reservas cubanas; comparte con ellas desafíos comunes de contaminación y presión antrópica. Sin embargo, su ventaja comparativa clave lo constituye ser una fuente activa de abastecimiento hídrico con ingresos asociados, no financiándose su conservación como si ocurre, aunque limitado, en otras reservas.
5. Para dejar de ser la más vulnerable entre sus pares cubanos y frente a experiencias internacionales exitosas como Agna o Galápagos, la Sierra del Rosario debe transitar hacia un modelo de gestión que combine regulación del turismo, protección del suelo, monitoreo continuo y reinversión efectiva de sus propios ingresos hídricos.

RECOMENDACIONES

1. Incorporar a los análisis fuentes de abasto, administradas por otras entidades, dígase: turismo, agricultura, AZCUBA, acueductos locales, entre otros.
2. Evaluar las entregas de agua que se realizan para la producción de alimentos, ganadería, cría de peces, producción cañera e industrial.
3. Mantener el chequeo de las aguas superficiales a partir del monitoreo sistemático e informar oportunamente a los gestores y demás autoridades del territorio sobre el estado de las aguas, aplicando cierres estacionales de las áreas de recreación.
4. Diseñar mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos que reinvierta parte de los ingresos por suministro de agua.
5. Establecer una red fija de estaciones de monitoreo con financiamiento asegurado y personal capacitado, para reportar periódicamente los resultados a los gestores del territorio y a las autoridades del CITMA y INRH

ÉTICA Y CONFLICTO DE INTERESES

Las personas autores del manuscrito en cuestión, declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras que se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

REFERENCIAS

- Alfonso, A., Cabrera, J.A., Jiménez, J.L., et al. (2020). Humedal Ciénaga de Zapata: vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. La Habana: PNUD/GEF/INSMET, 147 pp.
- CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). (2020). Estrategia Nacional para la Conservación de la Diversidad Biológica 2020-2025. República de Cuba.

- Comité MaB Cuba (Programa El Hombre y la Biosfera). (2018). Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario: Plan de Manejo 2018-2023. Oficina Regional de la UNESCO para América Latina y el Caribe.
- EAHA, (2025). Informe técnico sobre cuencas superficiales de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. 13 pp. (Inédito)
- EAHA, (2025a). Informe técnico sobre cuencas subterráneas de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. 8 pp. (Inédito)
- Estación Ecológica, (2020) Plan de Manejo del Área Protegida de Recursos Manejados Reserva de Biosfera Sierra del Rosario 2021-2025. 200 pp (Inédito)
- García, A., Fernández, L., & Rodríguez, P. (2021). "Análisis de la vulnerabilidad hídrica en comunidades de la Sierra del Rosario, Cuba". Revista Cubana de Ciencias Forestales, 9(2), 40-58.
- INSMET (Instituto de Meteorología de Cuba). (2020). Humedal Ciénaga de Zapata: vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. La Habana: PNUD/GEF.
- Norma Cubana 22. (1999). NC 22: lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénicos sanitarios. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Parque Nacional Galápagos & JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón). (2005-2024). Sistema de monitoreo de calidad de agua en las Islas Galápagos. Informes técnicos anuales. Puerto Ayora, Ecuador.
- Ramakrishnaiah, C., Sadashivaiah, C., & Ranganna, G. (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. Journal of Chemistry, 6, 523-530.
- Rodríguez-Alcántara, J.S., et al. (2025). Improving Groundwater Quality Through Biosphere Reserve Management: Insights from the Anaga Reserve, Tenerife. Environments, 12(2), 53. <https://doi.org/10.3390/environments12020053>
- UNESCO. (1985). MAB Bureau, 9th Session. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (Documento oficial de declaración).
- Vernaza, W., et al. (2021). "Agua para Galápagos": un programa de monitoreo de la calidad del agua en las Islas Galápagos. Revista de la Universidad San Francisco de Quito, 12(1), 45-62.
- W.H.O. (2021). Guidelines on recreational water quality. Volume 1: coastal and fresh waters. (Vol. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO). Geneva.