

06

EPISTEME & PRAXIS | Revista Científica Multidisciplinaria | 2960-8341

LA GESTIÓN

DEL RECURSO AGUA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA. EXPERIENCIAS EN CUBA

THE MANAGEMENT OF WATER RESOURCES FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MOUNTAIN ECOSYSTEMS. EXPERIENCES IN CUBA

Elia Natividad Cabrera-Álvarez¹

E-mail: eliacabreraalvarez@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1111-9838>

Lidia Inés Díaz-Gispert²

E-mail: lidiadg2914@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3781-0483>

Lliney Portela-Peñalver¹

E-mail: lportela@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7713-1047>

¹ Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” Cuba.

² Universidad de Otavalo. Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Cabrera-Álvarez, E. N., Díaz-Gispert, L. I., & Portela-Peñalver, L. (2023). La gestión del recurso agua para el desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña. Experiencias en Cuba. *Revista Episteme & Praxis*, 1(3), 48-57.

RESUMEN

El agua es uno de los recursos naturales esenciales para la sostenibilidad de los ecosistemas por constituir un recurso vital para su habitabilidad. De especial significación son los ecosistemas de montaña, pues la mayor parte de los grandes ríos del mundo, inician su caudal en zonas montañosas. El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar el recurso agua para la gestión sostenible de su calidad, disponibilidad y saneamiento. Se sustenta en las metas del objetivo 6 de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible a partir de una investigación descriptiva, donde se muestran aplicaciones retrospectivas en el ecosistema Montañas de Guamuhaya con modelos estadísticos matemáticos para estimar la calidad del agua. Se presentan 16 acciones para el monitoreo y control del recurso agua. Los modelos de regresión logística binaria, regresión lineal múltiple y suavizado exponencial, permiten evaluar la calidad del agua.

Palabras clave:

Calidad del agua, modelación, desarrollo sostenible, montañas.

ABSTRACT

Water is one of the essential natural resources for the sustainability of ecosystems as it constitutes a vital resource for their habitability. Of special significance are the mountain ecosystems, since most of the world's great rivers begin their flow in mountainous areas. The objective of this work is to characterize the water resource for the sustainable management of its quality, availability and sanitation. It is based on the goals of objective 6 of the 2030 Agenda for sustainable development from descriptive research, where retrospective applications are shown in the Montañas de Guamuhaya ecosystem with mathematical statistical models to estimate water quality. 16 actions are presented for the monitoring and control of the water resource. Binary logistic regression, multiple linear regression, and exponential smoothing models make it possible to assess water quality.

Keywords:

Water quality, modeling, sustainable development, mountains.

INTRODUCCIÓN

Casi nadie duda que el modelo de desarrollo actual, basado en el crecimiento económico, si bien ha incidido en el aumento progresivo de la riqueza, a causa del incremento sostenido de la productividad, basada en la tecnología e innovación; también ha incidido en las profundas desigualdades que se manifiestan en la mayoría de los países, debido a la distribución desigual de la riqueza, frecuente causa de pobreza, conflictos, crisis sociales y deterioro medioambiental, especialmente del recurso agua (Martinho, 2020; ONU, 2021).

Coincidentemente, Prieto et al. (2017), apoyados en estadísticas de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y de la ONU (Organización de Naciones Unidas), informan que el modelo actual ha deteriorado el medio ambiente, evidenciado por los niveles significativos de contaminación que ponen en entredicho la eficacia del modelo de desarrollo basado en el crecimiento económico, el extractivismo y el uso irracional de los recursos naturales. En este sentido, destaca que aproximadamente el 25% de las enfermedades que aquejan a la población mundial son causadas por la contaminación ambiental, (especialmente la polución del agua), por lo que se estima que alrededor de 3,4 millones de muertes prematuras se deben a los altos niveles de contaminación.

El mismo autor sostiene que, otra característica negativa del modelo de desarrollo actual es la tendencia a minimizar u ocultar los efectos de la depredación ecológica, el deterioro de las condiciones de vida de las grandes mayorías, así como la distribución desigual de la riqueza entre las diferentes clases sociales, que se reflejan en inequidades como: crecimiento de la pobreza, el hambre, la insalubridad, etc. (Cabrera, 2017; Tamayo C2020).

Basados en estos argumentos, Prieto et al. (2017), llaman la atención sobre la importancia de implementar modelos de desarrollo alternativos que promuevan la distribución equitativa e incluyente de las riquezas y la sostenibilidad ambiental que, sin soslayar el necesario crecimiento económico, aseguren en el avance de la sociedad en el mediano y largo plazo, sin comprometer el futuro de la humanidad, por lo que es imperativo revalorizar el concepto de crecimiento económico y su transformación gradual de crecimiento sustentable, contenida en la conceptualización de desarrollo sostenible.

El concepto de desarrollo sostenible, hace su aparición oficial durante la Cumbre sobre Medio Ambiente y Desarrollo (conocida popularmente como Cumbre de la Tierra), efectuada en junio de 1992 en Río de Janeiro. Uno de los documentos del cónclave es la Agenda 21, que contiene los principales problemas ambientales, y reconoce su potencialidad de impactar en las áreas económica, política y social, a escala global; por lo que se asume el compromiso de mejorar la salud ambiental del planeta;

a través de modelos de desarrollo sostenible, que integren de manera armónica y dialéctica, la dimensión ambiental, con las dimensiones económica, política y social; planteándose como alternativa que concilia el crecimiento económico, el uso racional de los recursos naturales y la mejora de la calidad de vida de la población (Cabrera, 2017; Sosa et al., 2020; Tamayo et al., 2020).

El agua es uno de los recursos naturales esenciales para la sostenibilidad de los ecosistemas, por constituir un recurso vital para su habitabilidad. Especialmente los ecosistemas de montaña juegan un rol importantísimo en el abasto de agua a la humanidad, pues la mayor parte de los grandes ríos del mundo, inician su caudal en zonas montañosas. Contribuir a su uso racional es una necesidad, por lo que es objetivo del presente trabajo, caracterizar el recurso agua para la gestión sostenible de su calidad, disponibilidad y saneamiento. El objeto de estudio desde el punto de vista práctico es el ecosistema Montañas de Guamuhaya.

DESARROLLO

El concepto de desarrollo sostenible, se ha expandido a escala internacional, a partir de la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), donde se expresa claramente que desarrollo sostenible significa desplegar todas las potencialidades existentes para satisfacer las necesidades de esta generación, sin que se comprometa la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Gómez, 2020).

Parafraseando a los citados autores, el concepto de desarrollo sostenible, se basa en el cumplimiento de algunos principios básicos, entre ellos se mencionan:

- **El realismo ambiental:** que consiste en apreciar las realidades del ambiente y evaluar sus posibilidades en función de las dinámicas y características propias de los ecosistemas naturales.
- **La viabilidad económica y/o financiera:** en lo fundamental, plantea la necesidad de realizar un balance entre costes y beneficios. Significa determinar el valor económico de los beneficios del medio ambiente y de los costes derivados de la intervención del hombre o del deterioro de los recursos naturales.
- **La justicia social:** se deben evitar desigualdades éticamente inadmisibles y promover la inclusión de todos los sectores sociales (mujeres, niños, ancianos, personas con discapacidad, grupos étnicos, comunidad LGTBI+, etc.).
- **La aceptabilidad política:** el modelo de desarrollo seleccionado, no debe ser causa de agitaciones políticas, rechazo social u otras tensiones que influyan en la gobernanza y la viabilidad del proyecto.

Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos constituye el ODS #6 de

la 2030 para el desarrollo sostenible. Las metas para lograrlo centran pautas para su gestión que devienen en acciones para contribuir a sus sostenibilidad.

La gestión sostenible del recurso agua requiere de acciones que contribuyan a su monitoreo y control. Una síntesis de éstas según el punto de vistas Díaz Duque (2018), articuladas con las metas del ODS 6 de la Agenda 2030 se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Acciones para contribuir a la gestión sostenible del recurso agua.

No.	Acciones
1	Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
2	Incrementar el índice de disponibilidad de los recursos hídricos aprovechables.
	Disminución radical y acelerada de las cuantiosas pérdidas de agua a causa de salideros y roturas.
3	Calcular los índices de agua virtual para todos los sectores y ramas del país; evaluar el flujo comercial de agua virtual (exportación e importación) y considerar estas variables en las políticas de sustitución de importaciones.
4	Elevar la eficiencia hídrica en todos los sectores y ramas, particularmente en la agricultura, mediante procesos de innovación tecnológica (riego eficiente, sistemas ahorradores y otros).
5	Incrementar el ahorro de agua mediante el metraje de su consumo y el establecimiento de tarifas de pago, deslizantes y proporcionales a los niveles de gasto.
6	Elevar la reutilización de las aguas en todos los sectores, en especial en las instalaciones turísticas.
7	Reducir la contaminación de los cuerpos de agua con medidas de producción más limpia en todos los sectores productivos y de servicios, en especial en las actividades porcina, industria alimentaria y azucarera.
8	Modificar la matriz de distribución de los recursos hidráulicos disponibles y ajustarla a los cálculos de los caudales ambientales y ecológicos, al menos para las principales cuencas hidrográficas del país.
9	Actualizar la legislación en materia de los recursos hídricos.
10	Fortalecer y consolidar la gestión sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas.
11	Estudiar y aplicar diferentes procedimientos y medios para reducir los niveles de evaporación de las aguas en los principales embalses del país.
12	Estudiar la factibilidad de crear embalses subterráneos aprovechando la existencia de importantes sistemas cavernarios dado el nivel de desarrollo cárstico existente.
13	Considerar la variable disponibilidad de los recursos hídricos en las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de crecimiento económico y desarrollo social a todos los niveles, y en sus correspondientes evaluaciones ambientales.
14	Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
15	Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.
16	Desarrollar una cultura general en el uso sostenible del agua.

En correspondencia con la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en Cuba se ha diseñado el Plan de Desarrollo Económico y Social hasta 2030, que en el eje estratégico: Recursos naturales y medio ambiente, propone objetivos generales y específicos, relacionados con la Estrategia Ambiental Nacional y el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo, que en el caso de los ecosistemas de montaña se identifican en el Programa para el Desarrollo de las Regiones Montañosas, comúnmente conocido como Plan Turquino.

Particularmente el Plan Turquino, parte de la premisa que las montañas juegan un rol importantísimo en el abasto de agua a la humanidad, pues la mayor parte de los grandes ríos del mundo, inician su caudal en zonas montañosas, además, más del 50% de la población mundial depende del flujo del agua procedente de las montañas (Cabrera, Loyola et al., 2018). El crecimiento de la demanda, aumenta la potencialidad de conflictos por el uso del agua, por lo que la gestión racional de los recursos hídricos deviene prioridad absoluta, ante la perspectiva de una crisis de agua a mediados de siglo (Cabrera et al., 2019; Portela et al., 2021).

En la Figura 1 se muestra la superficie que ocupan los ecosistemas de montaña por continentes, donde se observa cubren el 53% de Asia, 58% de América, 25% de Europa, 17% de Australia y 3% de África.

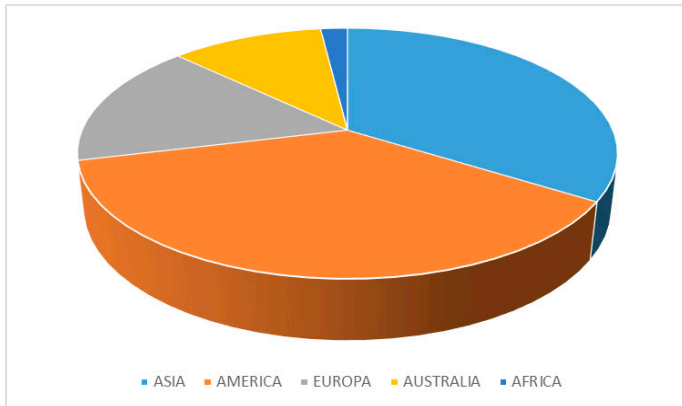


Figura 1. Superficie que ocupan los ecosistemas de montaña.

De Portela et al. (2020), se deduce que, además de agua, los ecosistemas de montaña son importantes reservorios de especies de flora y fauna, fuentes de producción de alimentos y de recursos minerales y forestales, además de contribuir a la purificación del aire, la conservación del suelo, y la regulación del clima, entre otros. El manejo inadecuado de estos ecosistemas con frecuencia genera pobreza, conflictos, y crisis sociales (Martinho, 2020); que influyen desfavorablemente en el incremento de la morbilidad y la mortalidad Prieto et al.(2017), indicativos del deterioro de la calidad de vida de grandes grupos poblacionales, y de la distribución desigual de la riqueza, evidentes por fenómenos como: el crecimiento de la pobreza, el hambre, la insalubridad, etc. (Cabrera, 2017; Tamayo et al., 2022).

Tales efectos, deben ser suficientes para que la valoración del recurso agua en regiones montañosas, resulte un instrumento relevante para evaluar determinados indicadores ambientales, justificar proyectos de conservación y fomento, entre otras acciones encaminadas a facilitar el proceso de toma de decisiones para diseñar y poner en marcha políticas de desarrollo sostenible (Cabrera et al., 2018; Sosa et al., 2020). Adicionalmente, debe tomarse en cuenta que pueden constituir el punto de partida para la evaluación económica de los daños ambientales provocados por una gestión deficiente o la ocurrencia de eventos extremos (Cabrera, 2017).

Los ecosistemas de montaña, son esenciales para asegurar el desarrollo socio-económico y el bienestar de las personas en general; sin embargo, han sido afectados por el uso irracional o la gestión inadecuada; entre cuyos ejemplos se hallan tanto las prácticas agrícolas insostenibles, como la sobreexplotación y contaminación de sus recursos, con consecuencias significativas para la

diversidad biológica, así como de la integridad y funcionalidad de estos ecosistemas, todo lo cual influye en la disminución de su productividad.

Estas afectaciones, representan un reto para el desarrollo sostenible, que para contrarrestarlas debe incluir entre sus líneas de acción, instrumentos para la identificación control de las principales causas de la degradación ambiental y la promoción de una cultura de prevención y control, habida cuenta que las zonas montañosas constituyen el 18 % de la superficie del país (Cabrera, 2017).

Como parte de la superficie territorial del país, los ecosistemas de montaña están formados por cinco grupos fundamentales: la Cordillera de Guaniguanico, en el occidente; el Grupo Guamuhaya y Bamburanao, en el centro; la Sierra Maestra al sur oriental; y el Grupo Nipe-Sagua-Baracoa al noreste del extremo oriental; como muestra de la importancia estratégica que el país les concede a los ecosistemas de montaña, dichos grupos forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

El grupo Guamuhaya incluye las tres provincias del centro: Villa Clara, Sancti Spiritus y Cienfuegos, en esta última se halla la zona montañosa del municipio de Cumanayagua, uno de los ecosistemas montañosos más importantes del país (Cabrera, 2017; Cabrera et al., 2019). Según estas autoras, se han desarrollado varias investigaciones acerca del tratamiento del recurso agua en este ecosistema montañoso; sin embargo, no son suficientes los estudios para evaluar de forma integral la relación entre oferta, demanda, y calidad del agua, así como y para identificar las cuencas hidrográficas con categorías críticas vulnerabilidad hídrica, a pesar que existe una empresa estatal encargada de hacer mediciones periódicas, para evaluar la calidad del agua a través de indicadores químicos.

La disponibilidad de agua para uso humano no es el único problema que reta el desarrollo sostenible de la sociedad y la conservación de los ecosistemas naturales, a este se une la calidad del agua, que puede ser verse afectada por los efluentes de aguas residuales (domésticas y/o industriales), sin tratamiento que elimine o al menos reduzca su carga contaminante, así como de los escurrimientos de fertilizantes y plaguicidas disueltos, resultantes de actividades agropecuarias que se realizan en las diferentes cuencas, disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, lo cual significa un riesgo para la salud de la población y atenta contra la integridad de los ecosistemas (Portela et al., 2021).

Parafeaseando a Portela et al. (2020), la calidad del agua es una propiedad que se define de acuerdo al uso a que se destina (agua potable, para recreación, para uso agrícola o industrial), lo que explica la existencia de diferentes normas de calidad, según los distintos usos. Los indicadores de calidad del agua, son aplicables a los cuerpos y acuíferos superficiales o subterráneos y están en relación

directa o indirecta con cantidad de factores, de modo que algunos de ellos disminuyen sus propiedades, mientras que otros contribuyen a mejorarlas.

De los factores que disminuyen la calidad del agua, sobresalen las descargas directas de residuos líquidos o sólidos procedentes de actividades domésticas, agropecuarias o industriales; aunque indirectamente, la incorrecta disposición de residuos sólidos en el suelo favorece los escurrimientos superficiales y lixiviados contaminan los cuerpos de agua y los acuíferos (Cabrera et al., 2019; Portela et al., 2021).

De acuerdo a estos autores, entre los agentes contaminantes que afectan negativamente la calidad del agua, se encuentran los siguientes:

- Nutrientes (nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus), materia orgánica, detergentes, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos, procedentes de viviendas particulares, edificios públicos, empresas y emprendimientos, que los evacúan a través del sistema de drenaje.
- Los fosfatos, que por lo general se derivan de los compuestos utilizados como fertilizantes en áreas agrícolas y de los detergentes empleados en áreas urbanas, aunque también se generan por la erosión del suelo y la materia orgánica en descomposición que descargan industrias, hogares y granjas de animales. Aunque no se consideran tóxicos, pueden tener efectos negativos indirectos al favorecer el crecimiento explosivo de algas y la disminución significativa del oxígeno disuelto.
- Los nitratos, componentes básicos de los fertilizantes a base de amonio y de otras fuentes nitrogenadas presentes en los restos orgánicos. Se consideran tóxicos, y pueden manifestar efectos adversos en la salud humana, como la cianosis e, incluso asfixia; mientras que en los cuerpos de agua pueden beneficiar el crecimiento de algas y la disminución del nivel de oxígeno disuelto.
- La cantidad de sólidos suspendidos totales, proveniente de las aguas residuales y la erosión del suelo, su incremento en los cuerpos de agua afecta la diversidad biológica acuática, porque causan opacidad en el agua, reduciendo la penetración de la luz solar, lo cual impide el desarrollo de la vegetación acuática natural, fuente de alimento de varias especies animales.

El agua contaminada en cuerpos de agua y acuíferos, no sólo tiene efectos sobre la población que la usa o los ecosistemas originarios, sino también en los ecosistemas receptores o de descarga, especialmente las zonas costeras en donde desembocan ríos y arroyos. Con frecuencia, el agua contaminada puede causar enfermedades gastrointestinales, irritación en la piel e infecciones en ojos y oídos, según Prieto et al. (2017), puede ser causante de millones de muertes prematuras a escala mundial.

Generalidades sobre las cuencas hidrográficas del ecosistema de montaña del municipio de Cumanayagua, Cuba

El grupo Guamuhaya incluye las tres provincias del centro: Villa Clara, Sancti Spiritus y Cienfuegos, en esta última se halla la zona montañosa del municipio de Cumanayagua, uno de los ecosistemas montañosos más importantes del país (Cabrera et al., 2019). Según estas autoras, se han desarrollado varias investigaciones acerca del tratamiento del recurso agua en este ecosistema montañoso; sin embargo, no son suficientes los estudios para evaluar indicadores identificados como significativos por expertos.

Múltiples son los estudios que se han desarrollado en el ecosistema de montañas Guamuhaya sobre el recurso agua, entre ellos se distinguen algunos que parten de la caracterización de sus cuencas: Arimao, Hondo, Yaguanabo, Cabagán, Gavilanes y San Juan. Dichas cuencas fueron investigadas a partir del componente físico-biótico, para determinar la disponibilidad del este recurso en cantidad y calidad donde se observó un deterioro de la calidad del agua además de un déficit debido a la pérdida y capacidad del proceso de regulación e infiltración del agua natural. La evaluación se realizó a partir del resultado de índices relativos al uso del agua, la extracción de agua subterránea, la aridez, la calidad y la vulnerabilidad por desabastecimiento (Cabrera et al., 2018).

En todas las cuencas objeto de estudio fueron identificados índices con valores críticos, de ellas las más necesitadas de tratamiento son Gavilanes, Cabagán, Yaguanabo y Arimao.

Algunos modelos estadísticos utilizados para evaluar para el recurso agua. Prácticas en estudios retrospectivos

En la dimensión ambiental del desarrollo sostenible se identifican variables e indicadores entre los cuales resaltan los recursos naturales y especialmente entre ellos, el agua.

Estudios realizados en el ecosistema Guamuhaya, del municipio Cumanayagua, distinguen indicadores que determinan la calidad del agua y determinan su nivel de disponibilidad y contaminación, muchas veces provocada por el vertimiento de residuales industriales, agropecuarios y albañales, procedentes de las despulpadoras, los autoconsumos y los asentamientos humanos. Otra de las causas de tales contaminaciones ha sido el deterioro o mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento, lo que trae como consecuencia que estos residuales se depositen de manera directa en las corrientes superficiales.

En tal sentido, encontrar modelos que permitan obtener estimaciones de los indicadores que pueden afectar la

calidad del agua para su efectiva gestión, se convierte en un mecanismo de utilidad para la toma de decisiones.

Entre los métodos y herramientas de la Estadística matemática, se muestran aplicaciones de la Regresión lineal y la Regresión logística, relacionada con el recurso agua, en estudio retrospectivo realizado durante 1995-2014 en el mencionado ecosistema.

- Modelo de regresión logística

La variable cualitativa creada para encontrar un modelo que capaz de describir la Dimensión ambiental del desarrollo sostenible, donde el agua forma parte de sus variables de referencia se denotó como (DA). (Cabrera et al., 2018). Para esta variable dicotómica el valor 1 se consideró como favorable y el 0 como no favorable. Las independientes se recodificaron a partir de las variables ficticias dummy, según el comportamiento de la mediana en el período y la significación práctica de la variable. De tal manera que las variables cuyos valores anuales fueron inferiores que la mediana, se consideraron con valor 0 (no favorable) y las que tuvieron valores superiores al valor de la mediana se recodificaron como favorables (1). El modelo de Regresión Logística, trabaja mejor con variables independientes categóricas dicotómicas, aunque también pueden incluirse variables continuas de la regresión logística binaria (Aguayo & Lora, 2013).

Por la imposibilidad de encontrar un modelo con buena capacidad predictiva utilizando las variables dummy recodificadas o las variables continuas originales, se consideraron factores previamente extraídos por un análisis de componentes principales, como variables independientes sintéticas. Estos factores fueron:

F1: Compuesto por las variables relacionadas con la contaminación ambiental, tales como, el Índice de calidad del agua (ICA_CT), la Intensidad del aprovechamiento forestal (IAF), la tasa de erosión (TE), descarga residual a la laguna de oxidación (DARLO) y volumen industrial de agua al drenaje (VAID).

F2: Formado por las variables que garantizan las condiciones climáticas, tales como el promedio de precipitaciones, de humedad relativa y las fuentes de abasto de agua.

La estimación de los coeficientes del modelo y de sus errores estándar se realizó sobre la base del modelo de máxima verosimilitud, es decir, estimaciones que hagan máxima la probabilidad de obtener los valores de la variable dependiente. Las variables que integraron el Factor 2, no han sido significativas para el modelo. El porcentaje global de casos correctamente clasificados fue de 78,95%, lo cual se muestra un buen desempeño de la predicción.

Se decide utilizar la selección por pasos hacia adelante, mediante un modelo estimado basado en la máxima verosimilitud. En las tablas 2 y 3, se muestra una síntesis de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Modelo de regresión estimado (Máxima Verosimilitud).

		<i>Error</i>	<i>Razón de Momios</i>
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estimada</i>
CONSTANTE	0.389967	0.554931	
F1	-1.33819	0.630681	0.262321

Tabla 3. Análisis de desviación.

<i>Fuente</i>	<i>Desviación</i>	<i>GI</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	5.99777	1	0.0143
Residuo	19.8662	17	0.2811
Total (corr.)	25.8639	18	

Porcentaje ajustado = 65.174

Se constata a través del Valor-P de la tabla 4 de Análisis de Desviaciones (menor que 0.05), que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95.0%. Para los residuos el valor-P supera a 0.05, indicando que el modelo puede considerarse adecuado para estos datos con un nivel de confianza de al menos 95.0%.

Tabla 4. Pruebas de razón de verosimilitud.

<i>Factor</i>	<i>Chi-Cuadrada</i>	<i>GI</i>	<i>Valor-P</i>
F_1	5.99777	1	0.0143

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{eta} = 0.389967 - 1.33819 * F1$$

El porcentaje ajustado, que es apropiado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 65.174%. En las pruebas de verosimilitud se obtuvo que el Valor-P es 0.0143, que pertenece a F1 es menor que 0.05, por lo que se concluye que ese término es estadísticamente significativo al nivel de confianza del 95.0%, por tanto, no es necesario eliminar ninguna otra variable del modelo. Las variables predictoras del Factor 1 son significativas para evaluar la dimensión ambiental, su efecto sobre la evaluación de la dimensión es inversamente proporcional.

Modelo de regresión lineal múltiple para el Índice de calidad de agua (Coliformes totales) (ICA_CT)

El ajuste se logró mediante un modelo de regresión lineal múltiple, utilizando el método paso a paso, para describir la relación entre el (ICA_CT) (variable dependiente y representativa de ésta dimensión) y las restantes variables que mejor correlacionaron con ella:

Variables independientes:

ICA-CF: Índice de Calidad del agua (CF) (Coliformes fecales)

VAID: Volumen de agua industrial al drenaje

DARLO: Descarga de agua residual a la laguna de oxidación

TE: Tasa de erosión de los suelos

CUS: Cambios en el uso del suelo

La ecuación obtenida del modelo ajustado, permite estimar el valor del ICA_CT, según el comportamiento de las 5 variables independientes:

$$\text{ICA_CT} = 0,067 + 0,66 \cdot \text{ICA_CF} + 0,0012 \cdot \text{VAID} - 0,0014 \cdot \text{DARLO} + 0,0003 \cdot \text{TE} - 0,00065 \cdot \text{CUS}$$

La tabla 5, muestra los resultados del último paso, se demuestra que las variables independientes son estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 5. Resultado del modelo ajustado para el Índice de calidad del agua (CT).

R ² / R ² AJUSTADO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS RESIDUOS	ERROR ABSOLUTO MEDIO(MAE)
99,02/98,64	0,01201	0,00629

Adicionalmente, los coeficientes R² Y R² ajustado indican que el modelo ajustado explica un alto porcentaje de la variabilidad por lo que la ecuación final obtenida se considera la más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independiente. Por su parte, el estadístico de Durbin-Watson (DW) no indicó autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

Modelo de pronóstico para el Índice de calidad de agua (CT)

En este caso, uno de los 24 coeficientes de autocorrelación es estadísticamente significativo al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria. El modelo fue estimado a partir de los primeros 14 datos. Se retuvieron los datos de los últimos 5 años para evaluación de la capacidad de pronóstico del mismo.

Para realizar el pronóstico, luego de la comparación entre cinco modelos candidatos, se observó en este caso, que el Modelo Suavización exponencial de Brown con alfa = 0,6359 fue el de mejores resultados, teniendo en cuenta no solo los resultados mejorados en el período de validación, sino en el hecho de ser el único modelo que logra pasar satisfactoriamente 4 de las 5 pruebas realizadas que se consideran no significativas para (p >= 0,05) y determinan su adecuacidad.

En la tabla 6, se muestran las estadísticas de los errores de pronóstico.

Tabla 6. Desempeño de los modelos de pronóstico.

ERRORES DE PRONÓSTICO	MODELO SUAVIZADO EXPONENCIAL DE BROWN (α=0,6359)	
	Período de Estimación	Período de validación
Raíz del error cuadrático medio (RMSE)	0,04114	0,01261
Error medio absoluto (MAE)	0,02554	0,01173
Porcentaje del error medio absoluto (MAPE)	24,9605	4,26179
Error medio (ME)	0,0036	0,0063
Porcentaje del error medio (MPE)	16,478	2,103

Por último, se realizó el pronóstico del Índice de calidad de agua (CT) para el trienio 2014-2016 según el modelo propuesto (Figura 2).

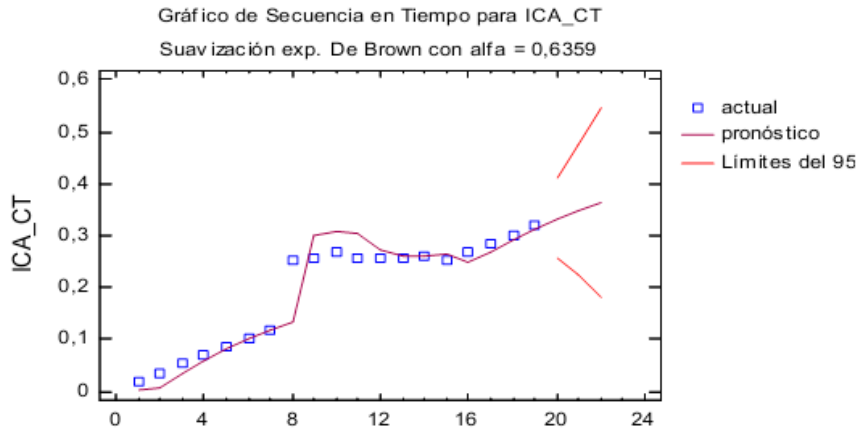


Figura 2. Secuencia cronológica según pronóstico para el trienio 2014-2016.

Según se interpreta en la figura 2, de mantenerse la tendencia observada en el Índice de calidad de agua (CT), se pronostica puntualmente un aumento de estos índices con niveles por encima del índice promedio del período, lo cual es favorable para el mejoramiento de este importante indicador. El pronóstico según los intervalos de confianza estimó que los niveles promedios en el año 2016 serían como máximo 0,54, por lo que se evalúa de regular con tendencia a valores aceptables a futuro (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de modelos para la dimensión ambiental.

MODELOS ESTADÍSTICOS OBTENIDOS	DIMENSIÓN AMBIENTAL
MRL Binaria	DA= 0.389967 - 1.33819*F1 (R2=65,17)
MRL Múltiple	ICA_CT=0,067+ 0,66*ICA_CF+0,0012*VAID-0,0014*DARLO+0,0003*TE -0,00065*CUS (R2=98,64)
Modelo de pronóstico	Suavizado Exponencial de Brown ($\alpha=0,6359$)

Finalmente, para la estimación de la dimensión ambiental del ecosistema Guamuhaya, sobre la base de variables correlacionadas con la calidad del agua y tomando como referencia el ICA_CT en función de variables que afectan directa o indirectamente dicha calidad, se obtienen estimación con buenos niveles de ajuste con los tres modelos utilizados, resaltando el modelo de regresión lineal múltiple con el mejor ajuste.

CONCLUSIONES

La gestión de la calidad del recurso agua depende de variables que inciden en la protección y adecuado funcionamiento de los ríos, lagos, cuencas y embalses. El estudio de sus niveles de contaminación es una necesidad que requiere mayores contribuciones y socialización de buenas prácticas.

Las acciones elaboradas constituyen un instrumento a tener en cuenta para los programas de intervención en la zona de estudio

Los modelos estadísticos propuestos permiten evaluar el comportamiento de indicadores correlacionados con la calidad del agua. Se pronostican valores aceptables a futuro en el ICA de mantenerse la tendencia en este índice.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguayo, M., & Lora, E. (2013). *Cómo hacer un modelo de Regresión Logística binario "paso a paso" II: análisis multivariante*. DOCUWEB FABIS Dot. Núm 0702013. Fundación Andaluza Baturia para la investigación en salud.

- Cabrera, E. N. (2017). *Un enfoque prospectivo para el desarrollo sostenible en ecosistemas de montaña. Caso Guamuha*. (Tesis de Doctorado en Ciencias Económicas). Universidad de La Habana.
- Cabrera, E.N. Loyola, Y.A, Rivero, A., & Escandón L.A. (2018). Evaluación del recurso hídrico en el ecosistema Montañas de Guamuha en Cienfuegos. *EKOTEMAS*. 4(2), 44-57.
- Cabrera, E.N., Díaz Gispert, L., & Barros Díaz, O. (2019). La multidimensionalidad del desarrollo sostenible en los ecosistemas montañosos de Cuba. *Universidad y Sociedad*, 11(1), 16-28.
- Díaz Duque, J. A. (2018). El agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 29(2), 75-87.
- Gómez, I. (2020). *Desarrollo Sostenible*. Editorial E-Learning.
- Martinho, V.J. (2020). Agricultural entrepreneurship in the European Union: contributions for a sustainable development. *Applied Sciences*, 10(6), 1-21.
- Organización de las Naciones Unidas (2021). *Informe sobre tecnología e innovación*. ONU. https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020overview_es.pdf
- Portela LI. (2020). *Evaluación económica de servicios ecosistémicos de montaña ante el riesgo de desastres de origen natural. Caso Guamuha*. (Tesis de Doctorado en Ciencias Económicas). Universidad de La Habana.
- Portela Peñalver LI., Cabrera Álvarez E.N, Díaz Gispert LI. (2021). Integración de los servicios ecosistémicos en el desarrollo sostenible de ecosistemas de montaña en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11(3).
- Prieto, V., Jaca, C., & Ormázabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memorias de Investigaciones en Ingeniería*, 15(2017), 85-95.
- Sosa, M., Riquelme, Y. & Díez, O. (2020). Consideraciones sobre el desarrollo local. *Universidad y Sociedad*, 12(4), 34-46.
- Tamayo, M., González, D., Mata M., Fonet, J. D., & Cabrera, E. N. (2020). *La gestión de riesgos: Herramienta estratégica de gestión empresarial*. Universo Sur.