

Artículo científico

Referencia


Sandoval Guerra, M. A. y Barrios Orozco, A. C. (2024). *Prospección bioeconómica: agua, biodiversidad, servicios ecosistémicos para GIRD. Cuenca Paso Hondo, Guatemala*. *Revista Científica del Sistema de Estudios de Postgrado*. 7(2). 1-15.

DOI: <https://doi.org/10.36958/sep.v7i2.249>

Prospección bioeconómica: agua, biodiversidad, servicios ecosistémicos para GIRD. Cuenca Paso Hondo, Guatemala

Bioeconomic prospecting: water, biodiversity, ecosystem services for GIRD. Paso Hondo Basin, Guatemala

Milton Abel Sandoval Guerra

Doctor en Ciencias
Universidad de San Carlos de Guatemala
miltonabelsandovalguerra@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8687-4590> 

Azucena Caremina Barrios Orozco

Maestra en Formulación y Evaluación de
Proyectos con énfasis en Gestión Integral del
Riesgo a Desastres
Centro Universitario de Santa Rosa, CUNSARO
acaremina@gmail.com

Ana Morales

Centro de Estudios Conservacionistas (CECON),
Universidad de San Carlos de Guatemala
ansilmo@gmail.com

Donaldo Levis

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Universidad de San Carlos de Guatemala
levisd25@gmail.com

Recibido: 05/02/2024

Aceptado: 28/06/2024

Publicado: 26/11/2024

Resumen

OBJETIVO: prospectar bioeconómicamente el agua, biodiversidad y servicios ecosistémicos (AB&SE) para concretar escenarios con gobernanza en Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD) para la cuenca Paso Hondo, Santa Rosa, Guatemala. **MÉTODO:** enfoque mixto de 4 fases: i.) caracterización bioeconómica; ii.) con las herramientas CPM, priorización de indicadores y con la PERT, cálculo probabilístico de cumplimiento de Metas Agenda 2030; iii.) fundamentados en el teorema del límite central, el esquema marxista de formación económico social y la aplicación de la fórmula de Cardano Vieta se determinaron índices bioeconómicos y, iv.) en el marco del acuerdo gubernativo No. 19-2021 se formuló el Plan de Manejo Integral de la Cuenca (PMIC)

Las opiniones expresadas en el artículo son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente representan la posición oficial de la USAC y sus miembros. La obra está protegida por la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos emitida en el decreto No. 33-98 por el Congreso de la República de Guatemala.

<https://revistasep.usac.edu.gt>

para la gobernanza GIRD. Con el método de valoración contingente (MVC) de la Economía del Bienestar se estableció el monto de inversión requerido. **RESULTADOS:** a.) coeficientes hidromorfométricos y bioeconómicos que evidencian preeminencia del riesgo tipo inundaciones (90%). b.) probabilidad del cumplimiento de metas, resaltando el ODS 1, “Eliminar la Pobreza” (componente económico), que es imposible de cumplir y afecta los índices: c.1) de explotación (80%); c.2) resiliencia (70%); c.3) utilidad bioeconómica (-10%); c.4) variación entrópica (110%) y c.5) no sostenibilidad (0.55). Resultando un escenario distópico en el que sólo 4 de los 377 centros poblados alcanzan la sostenibilidad del AB&SE para el 2030. d.) PMIC con inversión de US \$ 38 millones. **CONCLUSIONES:** implementar políticas-acciones de gobernanza GIRD y desarrollo sostenible. Enfatizando abordaje integral de la pobreza, desigualdad y gestión del AB&SE que permita el bienestar humano y su sustentabilidad.

Palabras clave

utilidades bioeconómicas, variación entrópica, índice de sustentabilidad, escenarios distópicos

Abstract

OBJECTIVE: bioeconomically prospect water, biodiversity and ecosystem services (AB&SE) to specify scenarios with governance in Comprehensive Disaster Risk Management (GIRD) for the Paso Hondo basin, Santa Rosa, Guatemala. **METHOD:** 4-phase mixed approach: i.) bioeconomic characterization; ii.) with the CPM tools, prioritization of indicators and with the PERT, probabilistic calculation of compliance with the 2030 Agenda Goals; iii.) based on the central limit theorem, the Marxist scheme of social-economic formation and the application of the Cardano Vieta formula, bioeconomic indices were determined and, iv.) within the framework of government agreement No. 19-2021, the Comprehensive Basin Management Plan (PMIC) for GIRD governance. With the contingent valuation method (MVC) of the Wellbeing Economy, the required investment amount was established. **RESULTS:** a.) hydromorphometric and bioeconomic coefficients that show preeminence of flood risk (90%). b.) probability of meeting goals, highlighting SDG 1, “Eliminate Poverty” (economic component), which is impossible to meet and affects the indices: c.1) exploitation (80%); c.2) resilience (70%); c.3) bioeconomic utility (-10%); c.4) entropic variation (110%) and c.5) non-sustainability (0.55). Resulting in a dystopian scenario in which only 4 of the 377 population centers achieve AB&SE sustainability by 2030. d.) PMIC with an investment of US \$38 million. **CONCLUSIONS:** implement GIRD governance policies-actions and sustainable development. Emphasizing a comprehensive approach to poverty, inequality and AB&SE management that allows human well-being and its sustainability.

Keywords

bioeconomic utilities, entropic variation, sustainability index. dystopian scenario

Introducción

La gestión de las cuencas hidrográficas en Guatemala enfrenta desafíos significativos debido a su ubicación en una de las regiones más biodiversas y vulnerables al Cambio Climático (CC) a nivel mundial. El inadecuado manejo de estas cuencas ha ocasionado la degradación del agua, la pérdida de biodiversidad y la disminución de los servicios ecosistémicos (AB&SE), con consecuencias graves para la población y el entorno. La falta de cumplimiento de la agenda 2015-2030 para el 2050 podría resultar en pérdidas que superen el 10% del PIB regional, especialmente en áreas como la franja del Océano Pacífico de Centroamérica, donde se encuentra la cuenca del río Paso Hondo. La insostenibilidad de esta cuenca, repercute en magnificar las zonas de riesgo (medio a muy alto) y afectar significativamente a la población, especialmente a aquellos que viven en condiciones de pobreza extrema. Ante este panorama, la demanda de una mejor gestión del recurso hídrico y la sanidad de la cuenca hidrográfica resalta la importancia de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD). En este contexto, el sector científico-académico a través del departamento de estudios de postgrado del Centro Universitario de Santa Rosa (CUNSARO), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, enfocó su atención en la problemática de la sostenibilidad del agua, biodiversidad y servicios (AB&SE) y subraya la necesidad de prospectar escenarios futuros para mejorar la toma de decisiones en materia de gobernanza en la gestión del riesgo.

La prospectiva basada en técnicas bioeconómicas se ha vuelto esencial en los estudios de futuro y en el desarrollo económico local, siendo de especial interés para el Estado y su institucionalidad. De esa cuenta, el objetivo central de esta investigación es prospectar mediante técnicas bioeconómicas la sostenibilidad del AB&SE en la cuenca del río Paso Hondo, con el fin de implementar acciones que fortalezcan la gobernanza de la GIRD. Se enfoca en la importancia y metodología de la prospectiva bioeconómica respecto a la gestión sostenible de una cuenca hidrográfica específica en el departamento de Santa Rosa, Guatemala.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo entre febrero y diciembre del 2021, empleando un enfoque mixto que comprendió cuatro fases.

En la primera, se realizó una investigación secundaria y un recorrido de campo para identificar sujetos y condiciones relevantes para el estudio. La segunda etapa de esta Fase consistió en la delimitación y caracterización para la gestión del riesgo de desastres (GRD), mediante el cálculo y análisis de factores y coeficientes hidro geomorfológicos utilizando laboratorios de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esto permitió definir la cantidad de centros poblados, el tamaño de la muestra y el estado situacional del AB&SE según los cuatro componentes bioeconómicos (social, económico, ambiental y político-institucional) conforme a metas e indicadores priorizados de la Agenda de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), la aplicación del teorema del Límite Central, así como las herramientas metodológicas CPM y PERT.

Para la recolección de datos, se identificó un universo de 377 centros poblados distribuidos de acuerdo a un esquema de 10% para la parte alta, 30% para la parte media y 60% para la parte baja, incluyendo los municipios de Pueblo Nuevo Viñas, Guazacapán, Taxisco y Chiquimulilla en el departamento de Santa Rosa, Guatemala. Según el método de estudio para poblaciones finitas, se estableció un tamaño de muestra de 191 centros poblados/hogares con la utilización de la siguiente fórmula: $n = NZ2pq / (N-1) e 2+Z2pq$.

En la Fase 2, se desarrolló y aplicó un modelo prospectivo de evaluación bioeconómica de la sostenibilidad del AB&SE en escenarios de gobernanza para la GRD en zonas críticas tipo inundaciones, que fueron priorizadas en la fase anterior conforme a los coeficientes hidro geomorfológicos de la cuenca. Se realizaron cálculos e interpretación de índices bioeconómicos (explotación, resiliencia, utilidades bioeconómicas y variación entrópica) utilizando como base teórico conceptual el teorema del Límite Central, las relaciones de Cardano-Vieta y los principios fundamentales o leyes de la Termodinámica.

Posteriormente en la Fase 3, mediante regresión y correlación, se determinó la cantidad de años necesarios para alcanzar la sostenibilidad del AB&SE en el marco de la agenda del desarrollo sostenible de la ONU. Además, en la Fase 4 se elaboró participativamente el Plan de Manejo Integral de la Cuenca Paso Hondo (MIC) utilizando los planteamientos metodológicos de la Economía del Bienestar, calculando la inversión requerida para implementar dicho plan.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presenta la probabilidad de cumplimiento de las metas de sostenibilidad para los cuatro componentes bioeconómicos clásicos: social, económico, ambiental y político-institucional.

Tabla 1

Índices para los cuatro componentes bioeconómicos clásicos de la cuenca del río Paso Hondo, Santa Rosa.

Índice	Valor probabilístico	Descripción
Ambiental	0.73	No existe riesgo para el cumplimiento en las metas e indicadores de desarrollo sostenible.
Económico	0.99	Riesgo elevado de no cumplirse las metas e indicadores económicos (eliminación de la pobreza).
Social (educación, bienestar y salud)	0.59	Condición no riesgosa como valor promedio ponderado. Posibilidad de cumplir metas en educación, salud y bienestar.
Político institucional	0.68	Condición de cumplimiento óptimo para promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible.

De acuerdo con los índices presentados en la tabla 1, se observa que el componente económico muestra un riesgo probabilístico elevado de no cumplir sus metas, principalmente las relacionadas con la eliminación de la pobreza para el 2030. Esto sugiere la necesidad de una fuerte inversión y voluntad política para abordar este aspecto, como lo señalan (Fiorella Salas, et al., 2023) en su estudio sobre desarrollo económico, político y ambiental. Por otra parte, los componentes ambiental y social muestran una condición menos riesgosa, lo que indica la probabilidad de cumplir metas de sostenibilidad para el AB&SE y su relación con la educación, salud y bienestar de la población con una inversión social transparente y eficiente, como también han destacado otros autores (García, et al., 2018) en cuanto a su potencial para el fortalecimiento de la gobernanza en la gestión del riesgo de desastres tipo inundaciones. En cuanto al componente político institucional, se observa una condición de cumplimiento óptimo para promover sociedades pacíficas e inclusivas, alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (ONU, 2015), siempre y cuando esta institucionalidad opere de manera inclusiva y en contraposición a la corrupción e impunidad.

Derivado de estos índices, en la tabla 2 se presentan los de segundo nivel como son los índices de explotación, resiliencia, utilidad bioeconómica y variación entrópica de la cuenca en estudio.

Tabla 2

Índices bioeconómicos para la determinación de la sustentabilidad en la cuenca del río Paso Hondo, Santa Rosa.

Índice	Valor	Descripción
Explotación (W)	0.90	$(W) = [(X + (4*((ISoc + IPInst) / (IEco + IAmb)) + X^2)) / 6]$ determina el nivel de explotación de los recursos
Resiliencia (A)	0.81	$(A) = [(1 + (4*(ISoc + IPInst) / (IEco + IAmb) + W)) / 6]$ indica la capacidad y recuperación del sistema frente a perturbaciones
Utilidad Bioeconómica	- 0.10	$U \text{ Bioeco} = (A) - (W): (0.90) - (0.80)$ Muestra la diferencia y la explotación reflejando la generación de utilidades bioeconómicas.
	1.10	Representa el grado de desorden o pérdida de energía disponible en el sistema

A continuación, se presenta la memoria de cálculo de los índices de segundo nivel.

Explotación: (W)

$$(W) = [(X + 4 (IS+IPI / IE + IA) + X.X) / 6]$$

$$(W) = [(X + 4 (IS+IPI / IE + IA) + X2) / 6]$$

$$(W) = [(X + 4 (0.59 + 0.68 / 0.99 + 0.73) + X2) / 6]$$

$$(W) = [(X + 4 (1.27 / 1.72) + X2) / 6]$$

$$(W) = [(X + 4 (0.7384) + X^2) / 6]$$

$$(W) = [(1/6 X + 4/6 (0.7384) + 1/6 X^2)]$$

$$(W) = [(1/6 X + 2/3 (0.7384) + 1/6 X^2)]$$

$$(W) = [1/6X^2 + 1/6 X + 2/3 (0.7384)]$$

$$(W) = [1/6X^2 + 1/6 X + 0.4923]$$

$0 = 1/6X^2 + 1/6 X + 0.4923$ corresponde a la ecuación de segundo grado o cuadrática = $aX^2 + bX + c$ de donde ¿X? se determina mediante la utilización de la fórmula general de Cardano Vieta:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$X = [-b \pm \text{Raíz cuadrada de } (b^2 - 4ac) / 2a]$$

$$0 = [1/6X^2 + 1/6 X + 0.4923]$$

$$X = [(-1/6) \pm \text{Raíz cuadrada de } ((1/6)^2 - 4 * 1/6 * 0.4923) / 2(1/6)]$$

$$X = [(-1/6) \pm \text{Raíz cuadrada de } (-0.3004) / (2/6)]$$

Raíz cuadrada de $(-0.3004) * \text{Raíz cuadrada de } -1$ donde $-1 = i$ (imaginario)

$$X = [(-1/6) \pm (\text{Raíz cuadrada de } 0.3004) / (1/3)]$$

$$X = [(-1/6) \pm (0.5480) / (1/3)]$$

$$X = [(-0.1667) \pm (0.5480) / (0.3333)]$$

$$X_1 = 0.3813 / 0.3333$$

$$X_1 = 1.1440$$

Índice de Explotación: (W), donde $X = 1.1440$

$$W = [1/6(1.1440)^2 + 1/6 (1.1440) + 0.4923]$$

$$W = [1/6(1.3087) + 1/6 (1.1440) + 0.4923]$$

$$W = [(0.2181) + (0.1907) + (0.4923)]$$

$$W = 0.9011$$

Índices de Resiliencia (A):

$$(A) = [(1 + (4*(ISoc + IPIInst) / (IEco + IAmb))) + W] / 6]$$

$$(A) = [(1 + (4*(0.59 + 0.68) / (0.99) + (0.73) + 0.9011)) / 6]$$

$$(A) = [(1 + (4*(1.27) / (1.72) + 0.9011)) / 6]$$

$$(A) = [(1 + (4*(0.7384) + 0.9011)) / 6]$$

$$(A) = [(1 + (2.9535) + 0.9011) / 6]$$

$$(A) = [4.85 / 6]$$

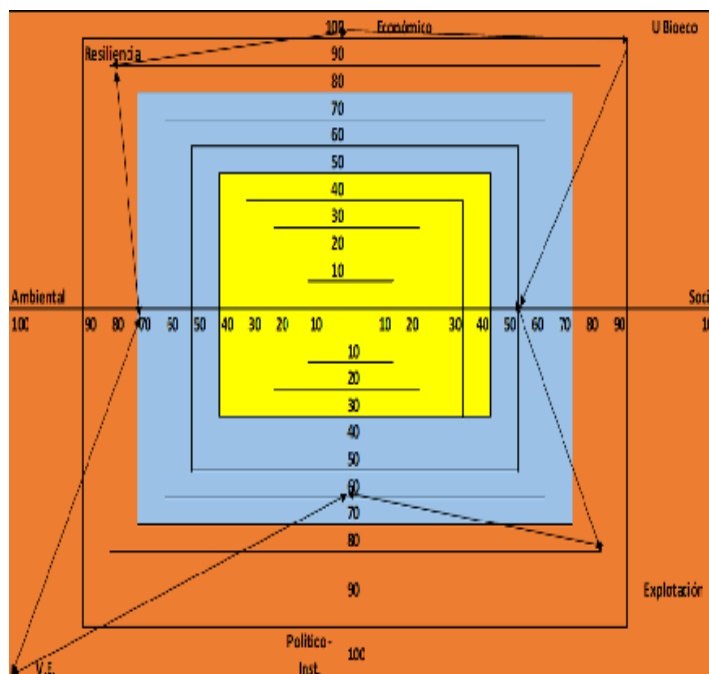
$$(A) = 0.8090$$

Para el estudio multivariado, en la figura 1 se presenta el diagrama de mapa de tela de araña elaborado con la intención de efectuar análisis integral respecto a las probabilidades de cumplimiento de los objetivos y metas de desarrollo sostenible del AB&SE para el 2030. Al respecto, es importante indicar que aquellas variables que se situaron en los rangos de cumplimiento menor al 40%, así como aquellos valores superiores al 70%, tienen mayor riesgo de no cumplirse en la medida en que se acercan a valores cercanos a cero y cien. Los primeros porque es muy baja la probabilidad de ocurrencia, mientras que los segundos, porque se requeriría demasiada inversión y voluntad política para ejecutarlos y por lo tanto para cumplir las metas.

En síntesis, el rango óptimo de cumplimiento de la meta se sitúa entre el 55% y 68% que corresponde respectivamente a los índices social (0.59) y político institucional (0.68). Respecto al índice ambiental se considera moderadamente aceptable debido a que su riesgo por monto de inversión y voluntad política es relativamente bajo (0.73). Situación que como se indicó, no es la misma para el índice y componente económico que manifiestan una probabilidad de cumplimiento del 99%, lo que la hace imposible cumplir la meta de reducir la pobreza para el 2030 en la cuenca en investigación.

Figura 1

Análisis gráfico multivariado de los índices de sustentabilidad para la Cuenca río Paso Hondo, Santa Rosa, Guatemala



Respecto de los índices de segundo nivel presentados en la tabla 2, se observa que la explotación de los recursos presenta un nivel más alto ($W=0.90$) con relación a la resiliencia del sistema cuyo valor probabilístico fue menor ($A=0.80$). Ello implica vulnerabilidad socioeconómica y poca capacidad de recuperación del AB&SE ante perturbaciones. Situación que se traduce en una baja utilidad bioeconómica y alta variación entrópica, lo que sugiere un desorden en el aprovechamiento de los recursos y la necesidad de medidas para mejorar la sustentabilidad del sistema (Mino, 2020).

La evaluación de la sustentabilidad de la cuenca Paso Hondo en Santa Rosa, Guatemala, reportó un valor de 0.55 (insostenible bajo los criterios de que menor de 1 es insostenible, mayor o igual a 1 es “sostenible” y mayor o igual a 2 “sustentable”). Calculado de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{ISustentabilidad} &= [(1/4 * IS + 1/4 * IE + 1/4 * IA + 1/4 * IPI) + 2 * (UBioeco)] \\ IS &= [(1/4 * 0.59) + (1/4 * 0.99) + (1/4 * 0.73) + (1/4 * 0.68) + 2 * (-0.20)] \\ IS &= [(0.75) - (0.20)] \\ IS &= 0.55 \end{aligned}$$

En términos de favorecer la obtención de mejores utilidades bioeconómicas, se multiplican estas por dos para de esa manera favorecer y/o estimular la voluntad política de los tomadores de decisión en cuanto a optimizar los niveles de explotación y/o resiliencia presentes en la cuenca. En congruencia con esta línea de pensamiento, para pronosticar la variación entrópica en función de las utilidades bioeconómicas, se obtuvo el siguiente modelo lineal simple que correlaciona la variación entrópica como variable dependiente (Y) en función de las utilidades bioeconómicas como variable independiente (X):

$$\begin{aligned} Y &= m X + b \\ \Delta S f(UBioeco) &= m (UBioeco) + b \\ \Delta S f(UBioeco) &= -0.7838 m + 1.0566 \end{aligned}$$

Para determinar si las actividades socio económicas, ambientales o político-institucionales (reacciones) son espontáneas y no generan desorden, se usó la segunda Ley de la Termodinámica en términos de calcular el Cambio en la Entropía Total (S). Para ello, se estimó la Entropía del Sistema en sí mismo y la de su entorno. Es decir, que la espontaneidad u ocurrencia no depende exclusivamente del sistema cuenca en análisis sino también del súper sistema (entorno) al que pertenece.

$$\begin{aligned} \text{Entropía (S) Total} &= S \text{ Sistema} + S \text{ Entorno o Súper Sistema} \\ \text{Entropía (S) Entorno} &= S \text{ Total} - S \text{ Sistema} \end{aligned}$$

A presión y temperatura constante en el análisis bioeconómico de sistemas complejos como las cuencas hidrográficas significa Presión-Estado-Respuesta constante (Modelo P-E-R) y se asume como el valor resultante de las Utilidades Bioeconómicas en un momento determinado (-0.10). Fenómeno que corresponderá conforme a las leyes de la Termodinámica a la Entalpía (H). Es decir, a la cantidad de Utilidades Bioeconómicas (energía) que un sistema termodinámico (abierto en este caso) libera o absorbe del entorno que lo rodea (Súper Sistema) cuando se encuentra a P-E-R constantes. Y como la energía "E" (también la materia), no se crea ni se destruye en esa condición constante a la Entalpía del Súper sistema o entorno se le asignó el valor de uno. Mientras que a la Entalpía del sistema lo correspondió el valor de las Utilidades Bioeconómicas.

S Entorno = H Súper sistema - H Sistema en P-E-R constante

Donde H = Entalpía = Energía (también Materia) en P-E-R cte. = U Bioeco

$$\begin{aligned} \text{S Entorno} &= \text{H Súper sistema} - \text{H Sistema} \\ \text{S Entorno} &= \text{H Súper sistema} - \text{Utilidades Bioeconómicas} \\ \text{S Entorno} &= 1 - (-0.10) \\ \text{S Entorno} &= 1.10. \end{aligned}$$

El valor de la variación entrópica (ΔS) obtenido para la cuenca, describe un desmedido desorden. Toda vez que la potencial energía en términos de Utilidades Bioeconómicas (satisfacción, amenidades, sustentabilidad) se pierde y no se aprovecha por el Sistema Cuenca Río Paso Hondo, en el departamento de Santa Rosa, Guatemala en aproximadamente el 110%. Lo anterior se confirma porque en estado de equilibrio teórico el valor de la Entropía debería ser cero. Para un sistema eficiente en el aprovechamiento de la energía (UBioeco) el valor óptimo debería acercarse a cero y nunca ser negativo.

En cuanto a la prospección, en la tabla No. 3 se presentan los modelos predictivos con funciones lineal simples, así como sus respectivos índices de correlación (R^2) para analizar el cumplimiento de las metas de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) priorizados desde la Agenda 2030 (ONU, 2015), en la evaluación de la sostenibilidad del agua, biodiversidad y servicios eco sistémicos (AB&SE) de la cuenca Paso Hondo, Santa Rosa, Guatemala. Al respecto, la variable independiente (X) lo constituyó la percepción de tiempo (años) necesario para alcanzar sostenibilidad por parte de las unidades muéstrales. Mientras que la variable dependiente (Y) será la cantidad de centros poblados que alcanzan sostenibilidad de acuerdo con los indicadores priorizados para cada meta y objetivo de desarrollo sostenible definido.

Tabla 3
Prospección del cumplimiento de metas para los subcomponentes bioeconómicos clásicos

No. de ODS	R2	Función	Descripción
1	0.9599	$Y = 0.284 X$	Eliminar la pobreza
3	0.9487	$Y=0.2584 X$	Salud y bienestar
4	0.7704		$Y=0.6844 X$ Educación de calidad para todos
6	0.9076		Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos
11	0.7202	$Y=0.2443X$	Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
13	0.9613	$Y=0.3221X$	Adoptar medidas urgentes para combatir Cambio Climático y sus efectos.
14	0.8801	$Y=0.4232X$	Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. . Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible,
15	0.9742	$Y=0.6791X$	
16	0.7461	$Y=1.5455X$	
17	0.9714	$Y=4.7455X$	Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

De acuerdo con los análisis, de no implementarse proyectos con un programa bioeconómico mínimo (Plan de Manejo Integral de la Cuenca para fortalecer la gobernanza GIRD), sólo 3 de los 377 centros poblados presentes en la cuenca, cumplirían la agenda 2015-2030 para el ODS No. 1 correspondiente a “Eliminar la pobreza” en el componente “Económico”. Mientras que, para el componente Social, que incluye los ODS No. 3 de “Salud y bienestar” y el No. 4 de “Educación” la cantidad de centros poblados se incrementaría marginalmente para este componente a 7 y 5 centros poblados respectivamente.

Para el componente “Ambiental”, que incluye los ODS números: 6, 11, 13, 14 y 15 conforme al modelo definido la cantidad de centros poblados que alcanzan la sostenibilidad bioeconómica en este serían de 20. Por su parte, para el componente “Político Institucional” (ODS números 16 y 17) el número de centros poblados que alcanzan sostenibilidad en este ámbito serían de 57 de los 377 presentes en la cuenca.

Cuando se combina la totalidad de ODS se genera el modelo $Y = 0.4081 X$, con un índice de correlación (R2) igual a 0.45 (correlación débil pero aceptable para hacer inferencia). En ese sentido, si se busca alcanzar la sostenibilidad del agua, biodiversidad y servicios eco sistémicos (AB&SE) en los restantes 9 años ($X = 9$), se obtendría que del total de los 377

centros poblados presentes en la cuenca hidrográfica del río Paso Hondo, sólo 4 (Y) alcanzaría dicha sostenibilidad. Mientras que, si se considera el rango máximo reportado de los 50 años (X), la cantidad de centros poblados que alcanzarían la sostenibilidad del AB&SE se elevaría a 21 (Y). Por lo que, de no sustituirse las actuales condiciones en el ámbito económico, social, político-institucional y ambiental, se requerirá para alcanzar la sostenibilidad del AB&SE de un total de 924 años que se caracteriza por ser un escenario típicamente distópico.

Conclusiones

Vulnerabilidad socioeconómica y ambiental del Agua, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (AB&SE) en la cuenca hidrográfica del río Paso Hondo: se evidencia que la meta de eliminar la pobreza (ODS 1) para los habitantes de la cuenca es difícil de alcanzar para el año 2030, constituyéndose este en el factor desequilibrante del sistema.

Situación de vulnerabilidad socioeconómica y ambiental en la parte baja de la cuenca que requiere atención urgente por parte de las autoridades y los actores relevantes. Principalmente enfocados de manera institucional (inclusivas, eficientes y sin corrupción) en el tipo de riesgo de desastres por inundaciones.

Falta de generación de utilidades bioeconómicas: la investigación reveló una desigualdad entre la capacidad de explotación y la de resiliencia en la cuenca del río Paso Hondo, lo que se traduce en la falta de generación de utilidades bioeconómicas (-0.10). Este desequilibrio en el sistema hidrográfico puede tener impactos negativos en la calidad de vida de los habitantes y en la gestión sostenible de los recursos naturales principalmente agua, biodiversidad y servicios eco sistémicos (AB&SE).

Desperdicio significativo de recursos naturales renovables y/o energía: se identificó una pérdida de energía disponible en la cuenca del río Paso Hondo, alcanzando aproximadamente el 110% de desperdicio, lo que implica ineficiencia en el aprovechamiento de los recursos y limita el desarrollo económico y social en la cuenca hidrográfica.

Situación del Agua, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos: caracterizada en la actualidad por ser insostenibles con Índice de sustentabilidad bajo en el orden de 0.55.

Baja capacidad para alcanzar sostenibilidad para el 2030 por los centros poblados: solo un pequeño número de 4 de los 377 centros poblados presentes en la cuenca del río Paso Hondo podrían alcanzar la sostenibilidad para el 2030. Esta situación distópica destaca la necesidad urgente de implementar medidas para mejorar las condiciones de vida y promover la resiliencia en los pobladores de la cuenca.

Alto costo económico de la implementación de medidas: se resalta el elevado costo económico y voluntad política asociados a la implementación de un programa mínimo de bioeconomía para lograr la sostenibilidad de AB&SE en la cuenca.

Importancia de asignar recursos adecuados y desarrollar estrategias efectivas: para abordar los desafíos institucionales, socioeconómicos y ambientales en la cuenca hidrográfica del río Paso Hondo en Santa Rosa, Guatemala se estableció un monto de inversión aproximado de US \$ 38 millones.

Referencias

- Alfredo García, L.I., Ivarola, L. y Martin, S. El paradigma de la complejidad en Economía: más allá de las leyes y de la Causalidad Lineal. *Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*. 61: 80-94. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-554X2018000100080>
- Arto, I., Capellán-Pérez, Í, Lago, R., Bueno, G., y Bermejo, R. (2016). The energy requirements of a developed world. *Energy for Sustainable Development*, 33, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001>
- Carpintero, O. Frechoso, F.A. (2023). Energía, sostenibilidad y transición: nuevos desafíos y problemas pendientes. *Revista Arbor: ciencia, pensamiento, cultura*. 199, 1-12. <https://doi.org/10.3989/arbor.2023.807001>
- Cepredenac (2011). Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo de Desastres. https://www.cac.int/sites/default/files/CEPREDENAC._Pol%C3%ADtica_Centroamericana_de_Gesti%C3%B3n_Integral_del_Riesgo_de_Desastres._2011.pdf
- García, A., Ivarola, L., & Szybisz, M. (2018). El paradigma de la complejidad en economía: más allá de las leyes y de la causalidad lineal. *Cinta De Moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*, (61), 80–94. <https://cintademoebio.uchile.cl/index.php/CDM/article/view/48582>
- Midence Díaz, R., Serrano Bernardo, F., & Bonoli, A. (2022). Bioeconomía y biodiversidad preservada en Centroamérica. *Revista De Fomento Social*, (302), 7-21. <https://doi.org/10.32418/rfs.2022.302.5188>

Mino, B. L. (2020). Bioeconomía: Una alternativa para la Conservación. *Revista Latinoamericana de Estudios Socio ambientales*. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.27.2020.3984>

Santos Martin, F.Y. (2013). La evaluación de los ecosistemas del milenio de España. Del equilibrio entre la conservación y el desarrollo a la conservación para el bienestar humano. *Eubacteria*, 31, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-012>

Salas Pinel, F., Suarez Espinosa, K. y Benavides Vindeas, S. (2023). Aplicaciones y Acciones de los Abordajes Teórico Económico-Ambientales en el Marco del Desarrollo. *Revista Política Económica y Desarrollo Sostenible*, Vol.9 No.1 (20-23).
<https://doi.org/10.15359/peds.9-1.1>

ONU. (2015). Agenda 2030. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>

Villena Chavez, Jorge Alberto (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Rev. perú. med. exp. salud publica [online]*. Vol.35, no.2, pp.304-308.
<http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigación (DIGI) y al Centro Universitario de Santa Rosa (CUNSARO) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) por apoyar técnica y financieramente la realización de la investigación identificada con el código 07-2021 del Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas.

Sobre los autores

Milton Abel Sandoval Guerra

Es Doctor en Ciencias por el CIBNOR, BCS-México. Cuenta con dos maestrías. Un MBA concentración en Economía Empresarial por el INCAE, Costa Rica y otra Maestría en Ciencias del diseño, manejo y planificación ambiental por la Facultad de Arquitectura de la USAC. Misma universidad de la que se licenció con el título de Ingeniero Agrónomo. Es profesor-investigador universitario desde 1989. Actualmente coordina la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos énfasis en GIRD en el departamento de estudios de postgrado en el Centro Universitario de Santa Rosa (CUNSARO). Ha sido gerente de programas y proyectos públicos, privados y de cooperación internacional. Méritos que le valieron el reconocimiento

por parte del Consejo Superior Universitario (CSU) como profesor-investigador con excelencia académica en el 2021 y 2024.

Azucena Caremina Barrios Orozco

Pensum cerrado en Doctorado de Seguridad Estratégica enfocado al Medio Ambiente, Maestría de Educación Ambiental, Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos con Énfasis en Gestión Integral de Riesgo de Desastre, post grado en Biotecnología y Bioseguridad, Licenciada en Pedagogía en Administración Educativa, Investigadora en CONCYT y DIGI, Diplomado en Periodismo Ambiental, Profesora de Enseñanza Media en Ciencias con Especialización en Biología, consultora en diversos proyectos ambientales, para organismos internacionales y nacionales como: el PNUD, USAID, COUNTERPAT, UNOPS, GEF, UNEP, CONAP, CONCYT, MARN, CEPREDENAC, CSUCA editora y coordinadora en libros, estructuración e implementación de cursos, y diplomados con énfasis en diversidad Biológica, Cambio Climático y Desarrollo Turístico. Se desempeñó profesionalmente como Directora de Educación y Fomento en el Consejo Nacional de Áreas Protegidas y como presidente de la Comisión Intersectorial de Medio Ambiente, Actualmente como investigador en CSUCA en proyecto de Seguridad Alimentaria.

Financiamiento de la investigación

La investigación fue cofinanciada por la Dirección General de Investigación y el Centro Universitario de Santa Rosa (CUNSARO) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Declaración de intereses

No tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas. Así también, Declaro de consentimiento informado que el estudio se realizó respetando el código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derecho de uso

Copyright (c) (2024) Milton Abel Sandoval Guerra, Azucena Caremina Barrios Orozco, Ana Morales y Donald Levis

Este texto está protegido por la [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](#)



Este texto está protegido por una licencia
[Creative Commons 4.0.](#)

Es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.