

Evaluación de la sostenibilidad de cuencas hidrográficas.
Estudio de caso: Cuenca del Chili, Arequipa–Perú



Evaluation of the sustainability of hydrographic basins. Case study: Chili Basin, Arequipa-Peru

Avaliação da sustentabilidade das bacias hídricas. Estudo de caso: Chili Basin, Arequipa–Peru

López Ramos, Diego Rodrigo; Bocardo Delgado, Edwin Fredy

 **Diego Rodrigo López Ramos**
diego.lopez@ucsm.edu.pe
Universidad Católica de Santa María, Perú

 **Edwin Fredy Bocardo Delgado**
ebocardo@gmail.com
Universidad Nacional de San Agustín, Perú

Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA

Centro de Estudios Transdisciplinarios, Bolivia
ISSN: 2664-0902
ISSN-e: 2664-0902
Periodicidad: Cuatrimestral
vol. 7, núm. 18, 2022
editor@revistaalfa.org

Recepción: 11 Agosto 2022
Aprobación: 18 Octubre 2022
Publicación: 04 Noviembre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404019008/>

DOI: <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.182>

Resumen: El informe Brundtland introdujo el concepto de desarrollo sostenible como un objetivo a alcanzar por la sociedad para su supervivencia. A partir de ello diversos científicos ha desarrollado métodos e índices para poder medir la sostenibilidad. Aplicar estos índices en la gestión integral de recursos hídricos permite, no solo evaluar el estado actual del recurso, sino obtener información muy importante para que las autoridades competentes tomen decisiones para la sostenibilidad de este. Uno de los índices más usados por los investigadores es el Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC), índice aplicado en diversas cuencas a nivel mundial. El objetivo de la presente investigación es determinar la sostenibilidad de la cuenca hidrográfica del río Chili ubicada en la ciudad de Arequipa-Perú.

Se aplicó la metodología del Índice de Sostenibilidad de Cuencas para desarrollar un marco de evaluación de la sostenibilidad de la cuenca y, a través de un proceso sistemático, se aplicaron los indicadores correspondientes. Los resultados de la evaluación proporcionan a los responsables de la formulación de políticas y los administradores de recursos hídricos una visión integral de la cuenca, que puede utilizarse para respaldar las políticas de gestión integrada de cuencas fluviales. Asimismo, la metodología propuesta puede ser utilizada para determinar la sostenibilidad de cuencas con condiciones similares a la cuenca objeto de estudio.

Palabras clave: Cuenca Hidrográfica, Sostenibilidad, Indicadores, Índice, Políticas.

Abstract: The Brundtland report introduced the concept of sustainable development as an objective to be achieved by society for its survival. From this, various scientists have developed methods and indices to measure sustainability. Applying these indices in the comprehensive management of water resources allows not only to evaluate the current state of the resource, but also to obtain very important information so that the competent authorities make decisions for its sustainability. One of the most used indexes by researchers is the Watershed Sustainability Index (WSI), an index applied in various basins worldwide. The objective of this research is to determine the sustainability of the

Chili River hydrographic basin located in the city of Arequipa-Peru. The Watershed Sustainability Index methodology was applied to develop a basin sustainability assessment framework and, through a systematic process, the corresponding indicators were applied. The assessment results provide policymakers and water resource managers with a comprehensive view of the basin, which can be used to support integrated river basin management policies. Likewise, the proposed methodology can be used to determine the sustainability of basins with conditions similar to the basin under study.

Keywords: Hydrographic basin, Sustainability, Indicators, Index, Policies.

Resumo: O relatório Brundtland introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável como um objetivo a ser alcançado pela sociedade para sua sobrevivência. A partir disso, vários cientistas desenvolveram métodos e índices para medir a sustentabilidade. A aplicação destes índices na gestão integral dos recursos hídricos permite não só avaliar o estado atual do recurso, mas também obter informação muito importante para que as autoridades competentes tomem decisões para a sua sustentabilidade. Um dos índices mais utilizados pelos pesquisadores é o Índice de Sustentabilidade de Bacias (ISC), índice aplicado em diversas bacias do mundo. O objetivo desta pesquisa é determinar a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Chili localizada na cidade de Arequipa-Peru. A metodologia do Índice de Sustentabilidade da Bacia (ISC) foi aplicada para desenvolver uma estrutura de avaliação da sustentabilidade da bacia e, através de um processo sistemático, os indicadores correspondentes foram aplicados. Os resultados da avaliação fornecem aos formuladores de políticas e gestores de recursos hídricos uma visão abrangente da bacia, que pode ser usada para apoiar políticas integradas de gestão de bacias hidrográficas. Da mesma forma, a metodologia proposta pode ser utilizada para determinar a sustentabilidade de bacias com condições semelhantes às da bacia em estudo.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, Sustentabilidade, Indicadores, Índice, Políticas.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico se ve inmerso en una posición de vulnerabilidad por dos factores importantes, el rápido crecimiento de la población y el aumento de la contaminación ambiental; esto se ve representado por el incremento de demanda de agua a nivel doméstico, productivo y de alimentos (1). Siendo el otro factor de contaminación el que reduce la calidad del agua, afectando su disponibilidad principalmente para el consumo humano y el aprovechamiento de los seres vivos en general (2). Adicional a ello los desbalances hídricos causados por el cambio climático vienen ocasionando una reducción de la disponibilidad de agua en espacio y tiempo (3).

Como consecuencia se han ido creando conflictos por el uso del agua (4) por lo que los estados deben desarrollar políticas y estrategias de intervención para gestionar adecuadamente los recursos hídricos. Para ello se hace necesaria la identificación y la medición de indicadores que nos permitan tener información necesaria para tomar decisiones. Los indicadores están comprendidos en índices de sostenibilidad y estos

permiten medir y establecer relaciones de causa y efecto (5), para así, al ser implementados mediante programas o políticas de gestión hídrico, se pueda conocer el impacto de ellos. Además, el índice de sostenibilidad debe regirse por su uso universal, integrador, y de fácil aplicación (6).

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) es un instrumento que se fundamenta en los preceptos descritos líneas arriba pues permitan recoger indicadores cuantitativos y cualitativos para la medición de sostenibilidad de una cuenca hidrográfica (7). Es así que, la presente investigación, busca determinar la sostenibilidad de la cuenca del Río Chili, mediante la aplicación de la metodología del Índice de Sostenibilidad de Cuencas. Esto con el fin de mejorar y optimizar la gestión integrada del recurso hídrico de la cuenca a través de la información obtenida, para permitir a las autoridades regionales y nacionales plantear estrategias administrativas, técnicas, y normativas para la gestión integral de la cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada en la presente investigación es la del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC), dicha metodología indica que la sostenibilidad de la cuenca como recurso depende de su hidrología (H), medio ambiente (E), vida (L) y de las políticas aplicadas en materia de recursos hídricos (P) (6). A través de estos cuatro indicadores se puede obtener el ISC aplicando la siguiente ecuación:

$$ISC = (H+E+L+P)/4$$

Donde H es el indicador de hidrología (0-1); E, el indicador de medio ambiente (0-1); L, el indicador de vida (0-1), y P es el indicador de política (0-1). De la propia ecuación se deduce que se le da el mismo peso a cada uno de los indicadores y que, al igual que el resto de los indicadores, el ISC se determinará entre los valores 0 y 1. Cada uno de estos indicadores se analiza por separado, siguiendo un modelo presión-estado-respuesta (PER). Para ello, Chaves y Alipaz proponen una serie de parámetros que permiten representar de forma adecuada los procesos individuales que forman parte de cada indicador (Tabla 1).

TABLA 1
Indicadores y parámetros del ISC.

Indicador	Presión	Estado	Respuesta
(H) hidrología	Variación en la disponibilidad de agua per cápita en el periodo	Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca	Evolución en la eficiencia del uso del agua en el periodo analizado
	Variación en la DBO5 del periodo en relación con el promedio	DBO5 de la cuenca (promedio a largo plazo)	Evolución en el tratamiento/disposición de aguas servidas en el periodo analizado
(E) ambiente	EPI (rural y urbano) de la cuenca en el periodo	% de la cuenca con vegetación natural	Evolución en áreas protegidas en la cuenca (reservas, Bmps)
(L) vida	Variación en el (GDP) per cápita en la cuenca en el periodo analizado	IDH de la cuenca en el periodo anterior (ponderado)	Evolución del IDH de la cuenca en el periodo analizado
(P) política	Variación del IDH-EI en el periodo analizado	Capacidad legal e institucional en GIRH en la cuenca	Evolución de los gastos en GIRH en la cuenca en el periodo analizado

Asimismo, los parámetros permiten cierta flexibilidad al poder adaptarse a las condiciones de la cuenca de estudio. En este sentido, los autores sugieren establecer un límite máximo de 2 500 km² de superficie de cuenca para su correcta aplicación. Una vez obtenido el valor final del ISC, se podría considerar una sostenibilidad baja si $ISC < 0.5$; intermedia, si el rango varía entre 0.5 y 0.8, y alta si $ISC > 0.8$.

La investigación fue desarrollada en la cuenca del río Chili, ubicada en el departamento de Arequipa, en Perú. La cuenca tiene como origen la unión del río Blanco y Sumbay a 3750 msnm, y tiene como punto final Palca (Yura) a una altura de 1475 msnm, su extensión es de 90 km. En términos geográficos se encuentra en UTM WGS84: Norte 8 155 476 m y 8 203 902 m, Este 219 396 m y 253 201 m. La data que se obtuvo para medir los indicadores corresponde a un periodo de cinco (5) años comprendidos entre los años 2015 y 2020. Así mismo el área determinada para la investigación es de 848,75 km².

Los principales resultados a considerar de acuerdo con la metodología aplicada corresponden a identificar la disponibilidad hídrica y la calidad de agua en la cuenca, determinar el índice de presión ambiental a través

de las áreas de vegetación y áreas naturales protegidas de la región, determinar el nivel de calidad de vida de la población cercana a la cuenca y analizar la capacidad legal, económica e institucional de las instituciones que regulan la gestión de la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicador de hidrología cantidad:

Las condiciones ambientales y el rápido crecimiento de la población en la provincia de Arequipa han generado presión sobre la cuenca del río Chili. La cuenca hidrográfica del Chili cuenca con una disponibilidad hídrica inferior a los 1000 m³/habitante/año, lo cual considerando el estrés hídrico se puede considerar como escasez de agua. lo cual es considerado como escasez de agua. En la Tabla 2 se muestran los valores de los parámetros de presión, estado y respuesta calculados a partir de cantidad de recurso hídrico y su eficiencia en uso del periodo estudiado. Así mismo se ha considerado la poca inversión en infraestructura hidráulica durante el periodo histórico y el periodo de estudio.

TABLA 2

Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado y respuesta del indicador hidrología-cantidad.

Cuenca	Disponibilidad per cápita de agua (m ³ /hab año) (2010-2019)	Disponibilidad per cápita de agua (m ³ /hab año) (2015-2019)	Δ (%)	Puntuación presión	Puntuación estado	Puntuación respuesta
Rio Chili	888.69	543.59	-38.83%	0	0	0.5

Indicador de hidrología calidad

En cuando al indicador de calidad se ha analizado la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y su variación en cuanto al periodo de estudio y el promedio histórico. Los resultados indicados en la Tabla 3 muestran como la concentración de DBO5 del periodo de estudio ha disminuido en comparación al periodo histórico, sin embargo, aún se encuentra con un valor alto de acuerdo con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) vigente (10 mg/L). Esto se debe a la gran cantidad de vertimientos que se realizan al río y las pocas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que se cuenta para depurar y tratar el agua de la cuenca.

TABLA 3

Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado y respuesta del indicador hidrología-calidad.

Cuenca	Concentración DBO5 (mg/l) (2010-2019)	Concentración DBO5 (mg/l) (2015-2019)	Δ (%)	Puntuación presión	Puntuación estado	Puntuación respuesta
Rio Chili	17.68	16.68	6.95%	0.5	0	0.25

Indicador de ambiente

Para el indicador de ambiente se obtuvo el valor de EPI de la cuenca del río Chili, dicho resultado se muestra en la tabla 4. A través de los resultados obtenidos observamos cómo las áreas destinadas a uso agrícola han ido disminuyendo en 154% durante el periodo de estudio, siendo esto, en cuatro años. El motivo de ello

es el aumento de la densificación poblacional y el abandono de los terrenos agrícolas por la escasez hídrica y los bajos precios de los productos agrícolas en el mercado. En cuanto a la población, se ha producido un incremento del 7% durante el periodo de estudio.

TABLA 4
Valores obtenidos de los parámetros de presión del indicador ambiente.

Cuenca	Superficie agrícola (km ²)			Población (habitantes)			EPI	Puntuación presión
	2015	2019	Δ (%)	2015	2019	Δ (%)		
Rio Chili	202338.72	79542.00	-154,38%	589069	633816	7,06%	-73.66%	1

En lo que corresponde a la superficie de vegetación natural en la cuenca (Tabla 5), el parámetro de estado se podría considerar como aceptable, esto pues se cuenta con una cantidad importante de vegetación y que no ha sufrido una disminución importante en el periodo de estudio (0.26%). Así mismo a pesar de contar con áreas naturales protegidas (ANP) éstas no han sufrido modificaciones ni incremento en el periodo de estudio, de igual manera las buenas prácticas de manejo (BPM) han sido insuficientes, por ello el bajo puntaje.

TABLA 5
Valores obtenidos de los parámetros de estado y respuesta del indicador ambiente.

Cuenca	Superficie total de vegetación (Ha)	Δ (%)	Puntuación estado	Δ ANP (%)	Δ BPMS (%)	Δ (%)	Puntuación respuesta
Rio Chili	1287000	0.265%	1	0%	-10.08%	-5.04%	0.25

Indicador de vida

En la Tabla 6 se pueden observar los parámetros de presión y estado correspondiente al indicador vida. Los ingresos per cápita distrital de los distritos directamente afectados por la cuenca han tenido un incremento en el periodo de estudio. De igual manera el índice de desarrollo humano ha sufrido un incremento, sin embargo, debido a tener un valor aún insuficiente se le considera una puntuación baja.

TABLA 6
Valores obtenidos de los parámetros de presión y estado del indicador vida.

Cuenca	Ingresos per cápita distrital		Δ IP (%)	Puntuación presión	Índice de Desarrollo Humano IDH		Σ	Puntuación estado
	2015	2019			2015	2019		
Rio Chili	S/ 3,103,879	S/ 4,894,392	57.69%	1	0.394	0.671	0.532	0.25

Respecto al parámetro de respuesta (tabla 7), todos los distritos con influencia en el área de estudio presentan un índice de desarrollo humano similar por lo que el índice ponderado obtiene un valor alto, este resultado manifiesta la homogeneidad socioeconómica del área de estudio.

TABLA 7
Valores obtenidos de los parámetros de respuesta del indicador vida.

Cuenca	Índice de Desarrollo Humano Ponderado IDHp		Δ (%)	Puntuación respuesta
	2015	2019		
Rio Chili	0.394	0.671	70.24%	1

Indicador de política

A diferencia de los resultados anteriores referentes al índice de desarrollo humano (IDH), el índice de desarrollo humano asociado con la educación (IDH-educación) a lo largo del área de estudio, tiene una variación negativa, tal y como se observa en la Tabla 8.

En cuanto al valor de estado se evidenció un marco legal importante y que define detalladamente las atribuciones, funciones y acciones legales que se desarrollan para el manejo del recurso agua. Así mismo se cuenta con marco institucional definido en cuanto a las competencias y funciones de las diferentes instituciones que gestionan los recursos hídricos. Asimismo, se ha determinado una participación intermedia de la población en los temas referidos a monitoreos participativos, mesas de trabajo y determinación de estrategias para el cuidado del recurso hídrico.

TABLA 8
Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado del indicador política.

Cuenca	IDH-educación		Δ (%)	Puntuación presión	Marco legal	Marco institucional	Manejo de participación	Puntuación estado
	2015	2019						
Rio Chili	0.3703	0.3652	-1.395%	0.5	0.75	0.75	0.6	0.75

En contraposición, la inversión en gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del Chili ha disminuido a lo largo del periodo estudiado (Tabla 9). Se observa que el presupuesto destinado para el manejo integral de los recursos hídricos ha disminuido en un 68% en comparación del periodo de estudio.

TABLA 9
Valores obtenidos de los parámetros de respuesta del indicador política.

Cuenca	Población (habitantes)		Inversión		Δ (%)	Puntuación respuesta
	2015	2019	2015	2019		
Rio Chili	589069	633816	S/ 37,971,000	S/ 11,966,000	-68%	0

Finalmente, en la Tabla 10 se muestra el resumen de los parámetros obtenidos para cada uno de los indicadores de la cuenca estudiada. El ISC determinado para la cuenca del río Chili es de 0.46, lo que a efectos de la clasificación propuesta por Chaves y Alipaz supone un grado de sostenibilidad bajo.

TABLA 10
ISC en la cuenca del río Chili.

Cuenca	Presión	Estado	Respuesta	Hidrología cantidad	Presión	Estado	Respuesta	Hidrología calidad	Presión	Estado	Respuesta
Río Chili	0	0	0.5	0.16	0.5	0	0.25	0.25	1	1	0.25

DISCUSIÓN

El principal aporte del trabajo presentado es la adaptación de la metodología del ISC a las condiciones propias de la cuenca, teniendo condiciones semiáridas, alta presión antrópica y una diversificación en las autoridades encargadas de la gestión de la cuenca. Ante ello se han logrado cuantificar los indicadores cualitativos para lograr reflejar las acciones y esfuerzos realizados en la gestión de las áreas naturales presentes en la cuenca, la inversión realizada para la gestión de la cuenca y la participación local de los actores sociales.

Consultando con las referencias encontradas no existe antecedente de aplicación de la metodología aplicada en la presente investigación en Arequipa y en todo el sur del país. En ese sentido la metodología propuesta podrá ser usada para su aplicación en cuencas hidrográficas con similares condiciones ambientales, sociales, económicas y legales semejantes al caso objeto de estudio.

CONCLUSIONES

La cuenca del Chili viene sufriendo estrés hídrico por la alta presión sobre el recurso hídrico que provocan diversos problemas de índole económico, social, político y ambiental. Con el objetivo de poder evaluar la sostenibilidad de los recursos hídricos de la cuenca, se ha aplicado la metodología del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC), una herramienta de diagnóstico que provee información necesaria para promover la gestión integral de los recursos hídricos y ambientales de la cuenca. De la aplicación del instrumento se ha obtenido un índice ISC para la cuenca de 0.46, lo que, de acuerdo con la metodología, califica como un nivel de sostenibilidad bajo. Es así que las mayores fortalezas se encontraron en los indicadores de ambiente y vida, mientras que la debilidad observada en la cuenca se relaciona con el indicador de hidrología en cuanto a cantidad debido a la situación de escasez hídrica determinada y a calidad debido a que los valores superan los estándares de calidad ambiental (ECA) vigentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Delgado L. Aplicación de los indicadores del índice de sostenibilidad de cuencas (WSI) en las subcuencas del río Mantaro. [Tesis de grado]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2018. Recuperado a partir de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13110>
2. Rapport DJ, Friend AM. Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress-Response Approach. [Internet]. Ottawa; Government of Canada; 1979. [Consultado 27 Set 2022]. Disponible en: <https://publications.gc.ca/site/eng/9.896799/publication.html>
3. United Nations Development Programme. Informe sobre desarrollo humano 2019 [Internet]. UN; 2020 [Consultado 17 Set 2022]. New York; United Nations. Disponible en: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210044981>
4. Preciado-Jiménez, Margarita, Aparicio, Javier, Güitrón-de-los-Reyes, Alberto, & Hidalgo-Toledo, Jorge Arturo. Watershed sustainability index for the Lerma-Chapala Basin. *Tecnología y ciencias del agua*, 2013; 4(4):93-113.

Recuperado en 22 de setiembre de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000400006&lng=es&tlng=.

5. Lekula M, Lubczynski MW, Shemang EM. Hydrogeological conceptual model of large and complex sedimentary aquifer systems – Central Kalahari Basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2018 Aug;106:47–62. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.05.006>
6. Chaves HML, Alipaz S. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management*. 2007 May 24;21(5):883–95. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2>
7. Catano N, Marchand M, Staley S, Wang Y. Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (WSI) for the Watershed of the Reventazón River. [Internet]. Panamá: Autoridad del Canal de Panamá; 2009. [Consultado 9 Set 2022]. Disponible en: <http://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-121609-171302/unrestricted/UNESCO-COMCURE.pdf>