

Metodología para determinar la sostenibilidad del Lago de Atitlán, basándose en la Huella Hídrica

Methodology to determine the sustainability of Lake Atitlan, based on the water footprint.

Dennis Salvador Argueta Mayorga

Dr. en Cambio Climático y Sostenibilidad

Correspondencia al autor: arguetadennis@gmail.com

Asesorado por: Dr. en Ciencias Técnicas Agropecuarias con énfasis

en Manejo del Recurso Hídrico **Tomás Antonio Padilla Cámara** tpadillacambara@hotmail.com

Recibido: 15 de junio 2019 | Revisado: 17 de julio 2019 | Aprobado: 20 de agosto 2019

Resumen

El presente trabajo investigativo detalla el procedimiento requerido para realizar un análisis de sostenibilidad de un cuerpo hídrico, basándose en el indicador de la economía ecológica denominado huella hídrica.

Los resultados obtenidos en la aplicación de la huella hídrica en el lago de Atitlán indican que se tiene una huella hídrica verde de 341.86 millones de metros cúbicos por año, la cual refleja la cantidad de agua proveniente de la precipitación pluvial que se aprovecha para riego de cultivos y bosques; se obtiene un valor de huella hídrica azul de 63.55 millones de metros cúbicos por año, que corresponde a la cantidad de volumen de agua que se extrae para complementar actividades de riego y para consumo humano, cuando el agua proveniente de la precipitación es insuficiente; en cuanto a la huella hídrica gris se obtiene un valor de 18.70 millones de metros cúbicos por año, que corresponde a la cantidad de agua que sirve para amortiguar ambientalmente la carga contaminante del sector agrícola. Analizando estos datos, se refleja un valor relativamente bajo de carga ambiental.

Palabras clave

Huella hídrica, sostenibilidad, cambio climático, cuerpo léntico, contaminación

Abstract

The present research details the procedure required to perform a sustainability analysis of a water body, based on the indicator of the ecological economy called water footprint.

The results obtained in the application of the water footprint in Lake Atitlán indicate that there is a green water footprint of 341.86 million cubic meters per year, which reflects the amount of water coming from the rainfall that is used to irrigate crops and forests; a blue water footprint value of 63.55 million cubic meters per year was obtained, which corresponds to the amount of water volume extracted to complement irrigation activities and for human consumption, when water from rainfall is not enough; As for the gray water footprint, a value of 18.70 million cubic meters per year was obtained, which corresponds to the amount of water used to buffer the pollution load of the agricultural sector. Analyzing these data, the value of environmental load is relatively low.

Keywords

Water footprint, sustainability, climate change, lentic body, pollution.

Introducción

Esta investigación corresponde a una nueva disciplina de la economía denominada “economía ecológica”, la cual tiene una visión termodinámica y geodinámica de los distintos ecosistemas. Se basa en la aplicación de dos metodologías en un cuerpo hídrico.

El lago de Atitlán, que se localiza en la región occidental de Guatemala, es un importante reservorio de agua dulce, y su importancia radica en que es uno de los sitios turísticos más visitados, además de proveer desarrollo social y económico a las comunidades que se localizan en la circunscripción del lago. Desde el 2009, se ha suscitado una serie de variaciones en los parámetros físicos, químicos y biológicos, debajo del espejo de agua del lago de Atitlán; por ejemplo, brotes frecuentes de cianobacteria, eutrofización debido al exceso de nutrientes, incrementos y decrementos súbitos del nivel de agua, extinción de especies endémicas, entre otros. Todo esto ha provocado pérdida de especies originarias de la zona, eutrofización paulatina de toda la columna de agua del lago, florecimientos periódicos de cianobacteria, entre otras afectaciones.

Common y Stagl (2008) indican que el desarrollo sostenible consiste en satisfacer requerimientos presentes sin comprometer la satisfacción futura.

La huella hídrica admite la consideración del agua y su uso, de forma oculta, por medio de la producción de bienes o prestación de servicios de consumo, de tal forma que se proporciona información sobre los efectos en el agua que son ligados a acciones antrópicas ya sea de forma individual o por medio de empresas. La metodología se basa en la propuesta de Hoekstra y Mekonnen (2011).

Desarrollo del estudio

El tipo de diseño de investigación de este estudio es no experimental ya que los datos no son manipulados. En este sentido los datos e información con que se cuenta provienen de fuentes primarias, los cuales explican los fenómenos relacionados con la huella hídrica.

Debido a la ubicación en donde se realiza la investigación, este estudio corresponde espacialmente a una investigación de campo (lago de Atitlán). De acuerdo con su ubicación en el tiempo, la investigación es transversal, en cuanto a la evaluación de la sostenibilidad basándose en aspectos ambientales, económicos y sociales.

Geográficamente, la investigación se centra en la circunscripción del departamento de Sololá, que contiene la cuenca del lago de Atitlán.

Con pleno conocimiento de la relación entre las problemáticas de polución paulatina del lago de Atitlán y la carencia de estudios completos relacionados con dicho lago, así como la búsqueda de soluciones para conducir políticas sostenibles para el lago, esta investigación se desarrolla de la siguiente forma.

De acuerdo con Arévalo, Lozano y Sabogal (2011), primero se realiza una investigación bibliográfica para definir un marco teórico. Se realiza una síntesis crítica del estado del conocimiento sobre las aplicaciones de la energía, y cómo éstas son determinadas de acuerdo con las variables que conforman un producto, servicio o un elemento ecológico. Asimismo, se realiza un análisis exhaustivo de la metodología concerniente a la determinación de la huella hídrica para lagos en general, indicando sus ventajas y potencialidades de evaluar un cuerpo léntico con este método.

Posteriormente, se realiza la caracterización del objeto de estudio y metodología utilizada. Se incluye una monografía de su cuenca, así como la descripción de las características generales que determinan su estado trófico, como también las principales variables climáticas, sociales, demográficas, entre otras. Se indican además, los criterios de la metodología para el cálculo de los índices emergéticos y la aplicación de la huella hídrica que conforman el análisis que se realiza en el lago de Atitlán, para alcanzar la sustentabilidad en el futuro inmediato.

La parte medular de la investigación consiste en el desarrollo de las metodologías explicadas para

describir, analizar y evaluar las mejoras propuestas, por medio de cálculos, gráficos y tablas, el análisis de la huella hídrica que conlleve a la sustentabilidad del cuerpo léntico en estudio.

Para el desarrollo metodológico propuesto, se utilizan como base los procesos planteados por Agroder (2012), de tal manera que se determina el estado actual del lago de Atitlán, y se generan las propuestas generales para alcanzar la sustentabilidad de dicho recurso hídrico.

Resultados obtenidos

Se presentan los resultados de la aplicación metodológica para evaluar la huella hídrica.

Tabla 1

Identificación del área de estudio

Característica	Descripción o valor
Cuenca	Atitlán
Municipios	19
Departamentos	3
Área	54,100 ha
Porcentaje del área en el país	0.5 %
Vertiente	Océano Pacífico
Disponibilidad total	333 millones de metros cúbicos

Fuente: elaboración propia.

Como puede notarse en la tabla 1, se incluyen municipios de tres departamentos (Sololá, Totonicapán y Quiché), de tal manera que es evidente la importancia de estudiar dicho cuerpo hídrico ya que en la región intervienen diversos grupos étnicos, así como divisiones político-administrativas dentro de la cuenca.

A continuación se muestra el proceso de cálculo de la determinación de la huella hídrica para el sector agrícola.

$$HH_{\text{cultivo.verde}} = \frac{CWU_{\text{verde}}}{Y} = \frac{8,398m^3/ha}{2.11Ton/ha} = 3,980.09 \frac{m^3}{Ton}$$

$$HH_{\text{cultivo.azul}} = \frac{CWU_{\text{azul}}}{Y} = \frac{3,426m^3/ha}{2.11Ton/ha} = 1,623.70 \frac{m^3}{Ton}$$

$$HH_{\text{gris}} = \frac{1008.00 \frac{m^3}{ha}}{2.11 \frac{Ton}{ha}} = 477.73 \frac{m^3}{Ton}$$

Tabla 2

Huella hídrica, por tonelada

Descripción	Valor	Dimensional
Huella hídrica verde	3,980.09	m³/Ton
Huella hídrica azul	1,623.70	m³/Ton
Huella hídrica gris	477.73	m³/Ton

Fuente: elaboración propia.

Para obtener los valores de la huella hídrica por año, es necesario realizar operaciones aritméticas entre la huella hídrica en m³/Ton y la cantidad de toneladas de productos cosechados en un año (Ton/año).

Tabla 3

Huella hídrica, por año

Descripción	Valor	Dimensional
Huella hídrica verde	341,865,596.67	m³/año
Huella hídrica azul	63,545,577.84	m³/año
Huella hídrica gris	18,696,575.04	m³/año

Fuente: elaboración propia.

La huella hídrica para el sector doméstico se calcula de la siguiente manera

$$Huella\ hídrica\ azul = 47,041.50 \frac{m^3}{día} * 365 \frac{días}{año} = 17,170,147.50 \frac{m^3}{año}$$

$$HH_{\text{gris sector doméstico}} = 24.54 + 57.75 + 0.68 + 1.60 = 84.57 \frac{m^3}{año}$$

Discusión de resultados

En el desarrollo metodológico planteado en esta investigación y que plasma el cumplimiento del objetivo principal de la misma, en relación con el establecimiento de una metodología para estimar la huella hídrica en sistemas lénticos, se encuentran ciertas limitantes que se basan fundamentalmente en la carencia de información actualizada relacionada con: variables climáticas, usos de suelo actuales e históricos, censo poblacional actual, entre otros.

En cuanto al objeto de estudio investigado (cuenca del lago de Atitlán), se tiene que política y administrativamente hay 19 municipios circunscritos a esta cuenca que representa el 0.5 % del área del país. El hecho de que existan tantos municipios (pertenecientes a 3 departamentos, Sololá, Totonicapán y Quiché) convierte en una tarea difícil la definición e implementación de políticas sustentables para garantizar una buena calidad hídrica en el lago de Atitlán, debido a aspectos culturales y de costumbres, así como diferentes asignaciones presupuestarias para cada municipio, de tal manera que no todos apoyarían de la misma forma.

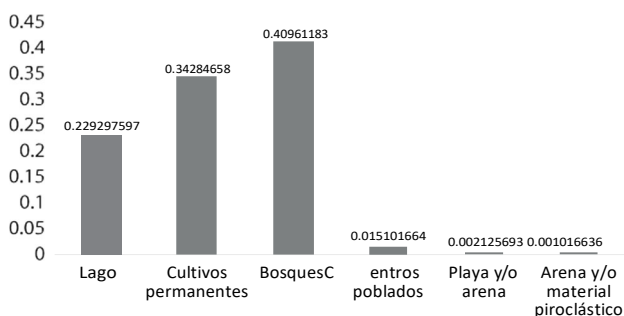


Figura 1. Uso de la tierra en la cuenca del lago de Atitlán.

En la figura 1 se muestra que el uso de suelo dentro de la cuenca de Atitlán se compone en su mayoría

del área que ocupa el lago de Atitlán y la siembra de granos básicos y café, dejando con un valor de 12.23 % el área de bosques. Estos datos resultan importantes en el análisis, ya que los cambios en el uso de la tierra pueden ocasionar mayor uso de fertilizantes que al aplicarlos a las siembras, pueden llegar por escorrentía hacia el espejo del agua que representa el lago de Atitlán, de tal forma que el control de las variaciones geográficas de las fronteras agrícolas es de vital importancia para garantizar un desarrollo sostenible dentro del área de influencia dentro de la cuenca en estudio.

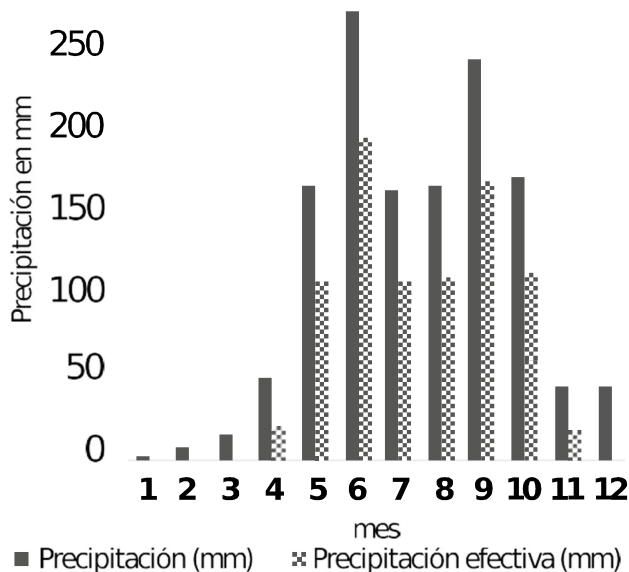
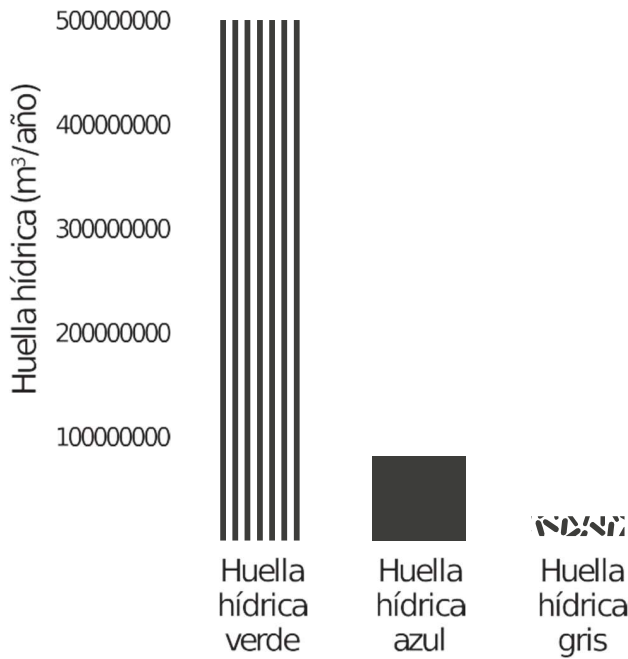


Figura 2. Precipitación (mm) y precipitación efectiva (mm) en la cuenca del lago de Atitlán.

Es de esperarse que para los meses de mayo a octubre se observe mayor precipitación dentro del área de la cuenca, debido a los regímenes de lluvia en Guatemala (época lluviosa), por lo que la huella hídrica verde para estos meses es mayor que para el periodo comprendido de finales de octubre a principios de mayo.

Figura 3. Huella hídrica para el sector agrícola en la cuenca de Atitlán.



La interpretación de la figura 3 es que la mayor cantidad de agua consumida para cultivos, dentro de la cuenca de Atitlán, proviene de la precipitación, siendo aproximadamente un 71 % del total del agua consumida. De igual manera se tiene que el 29 % del agua requerida para riego es extraída de la superficie o del subsuelo para satisfacer las demandas de los cultivos.

El valor de la huella hídrica anual para el sector agrícola es del orden de 18.7 millones de metros cúbicos de agua. Este valor corresponde al volumen de agua que sirve como amortiguador ambiental para asimilar la carga contaminante del sector agrícola.

Como puede notarse, la huella hídrica gris es aproximadamente un 8.5 % del valor de la sumatoria de la huella hídrica verde y azul (que representan el agua de consumo para los cultivos). Por consiguien-

te, se considera que la carga contaminante no es tan alta, sin embargo, hay que tomar medidas ya que en un corto plazo puede incrementarse la cantidad de carga contaminante al haber más áreas de cultivos.

Conclusiones

1. La metodología determinada en este estudio doctoral se aplica en la cuenca del lago de Atitlán, a partir de variables climáticas, parámetros de calidad del agua del lago, así como aspectos físicos, sociales y económicos de la población que reside dentro de la cuenca que subtiende al lago de Atitlán. Se obtienen datos que indican que el lago en estudio se considera de buena calidad, de acuerdo con el análisis emergético y la aplicación de la huella hídrica.
2. Se desarrolla una metodología para determinar la huella hídrica en un sistema léntico, el cual conlleva el proceso siguiente: definición del alcance general del estudio, cuantificación de la huella hídrica, evaluación de la sustentabilidad, y formulación de propuestas.
3. De acuerdo con los valores obtenidos en el análisis de la huella hídrica aplicada a la cuenca que subtiende el lago de Atitlán, se deduce que hasta el año 2017 hay sostenibilidad en dicho cuerpo hídrico, tomando en consideración que el 71 % del agua consumida en los cultivos proviene de la precipitación y que el 29 % proviene de agua superficial o subsuperficial. Asimismo, de acuerdo con los datos obtenidos para el funcionamiento del sector agrícola dentro de la cuenca del lago de Atitlán, se requieren 219.3 millones de metros cúbicos de agua por año, siendo la oferta hídrica de 333 millones de metros cúbicos anuales, se concluye que la demanda de agua no pone en peligro la disponibilidad hídrica para otras actividades.

Recomendaciones

1. Se recomienda a las autoridades designadas a la obtención de datos técnicos y científicos, depurar las bases de datos y generar líneas basales rigurosas para manejo de datos, por ejemplo, sobre variables climáticas, parámetros de calidad del agua, entre otros. Esto con la finalidad de facilitar las investigaciones futuras en relación con los cuerpos lénticos, asimismo, se requiere que instituciones públicas, privadas y académicas cuenten con información que permita tomar decisiones adecuadas y que representen los fenómenos sociales actuales. Principalmente, con recursos naturales que son finitos para el existir de los seres humanos como sociedad, por consiguiente, el enfoque sustentable depende en buena medida de la información con la que se cuente para la toma de decisiones e investigaciones futuras.
2. Las instituciones académicas a través de sus entidades responsables en el manejo de información y la generación de conocimiento, deben facilitar los medios y herramientas para propiciar la investigación sobre temas trascendentales en la actualidad. Para ello, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala debería ser una de las principales entidades que desarrolle diferentes investigaciones y que cuente con la capacidad de generación de información relacionada con el uso del suelo, variables climáticas y dinámicas sociales en relación con los cuerpos lénticos.

Referencias bibliográficas

Agroder. (2012). Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica. México: WWF México y AgroDer. Recuperado de <http://www.huellahidrica.org/Reports/AgroDer,%202012.%20Huella%20h%C3%ADdrica%20en%20M%C3%A9xico.pdf>.

Arévalo, D., Lozano, J., y Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. España:

Common, M., y Stagl, S. (2008). Introducción a la Economía Ecológica. España, Editorial Reverté, S. A.

Hoekstra, A., y Mekonnen, M. (2011). *Global Water Scarcity: The Monthly Blue Water Footprint Compared to Blue Water Availability for The World's Major River Basins*. Report N°53. Holanda.

Suárez, G. (2011). *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Información del autor

Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad, Dennis Salvador Argueta Mayorga, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

Maestro en Ingeniería Sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011.

Maestro en Ingeniería Vial, Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.

Ingeniero civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006.

Afiliación laboral; Docente investigador de la Facultad de Ingeniería. USAC.