

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA HOLGUÍN

Sara Fernández Cruz

Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales y Tecnológicos. CISAT. CITMA. Calle 18 e/ Primera y Maceo, Holguín. E-mail: sara@cisat.cu

RESUMEN

Se presenta a través de un estudio de caso, la aplicación de un método muy adecuado para valorar la eficiencia y eficacia de la gestión ambiental en cuencas pequeñas. El método consiste en el cálculo del índice de sostenibilidad ambiental del agua en la cuenca (ISAAC), propuesto por c. Fonseca, que comprende el índice de sostenibilidad ambiental de las aguas superficiales, el índice de sostenibilidad ambiental de las aguas subterráneas y el índice de servicios ambientales y funciones ecológicas del agua. La determinación de estos índices se realizan sobre la base de las observaciones de los indicadores ambientales de estado, presión y respuesta que permiten en el área de la cuenca la medición de las características físico-bióticas existentes, cuantificar la intensidad de la intervención humana ó natural sobre los ecosistemas existentes, así como cuantificar las acciones sociales de corrección de la presión o del deterioro ambiental en la cuenca. Los indicadores seleccionados se corresponden con la función hidrológica, ecológica, ambiental y socioeconómica propia de la cuenca. El método se aplicó en la cuenca hidrográfica Holguín obteniéndose resultados satisfactorios desde el punto de vista de la gestión ambiental que se realiza en dicha cuenca, así como se demuestra la idoneidad del método como herramienta evaluativa.

ABSTRACT

Its presented through a study case, the application of a very suitable method to value the efficiency and effectiveness of the environmental administration in small basins. The method consists on the calculation of the environmental sustainability index of the water in the hydrographic basin (ISAAC), proposed by c. Fonseca that comprise the environmental sustainability indexes of surface waters, underground waters, and the environmental services and ecological functions of the water. The determination of these indexes is carried out on the base of the observations of the environmental indicators of condition, pressure and responses that permit the measurements of the physical and biotic characteristics in the area, to quantify the intensity of the human and natural intervention on the ecosystems, as well as to quantify the social actions of improvement of the pressure or the environmental deterioration in the basin. The selected indicators are related with the hydrological, ecological, environmental and socioeconomic function of the basin. The method was applied in the Holguin hydrographic basin and satisfactory results were obtained, from the point of view of the environmental administration carried out in this basin, as well as it is demonstrated the suitability of the method as an assessment tool.

INTRODUCCIÓN

Los principales problemas que afectan el aprovechamiento de las aguas subterráneas en nuestro país y a su vez en el territorio holguinero tienen origen antropogénico y están dados por la sobreexplotación de los acuíferos y la contaminación de las aguas subterráneas.

Esta problemática se ha tornado más crítica y vulnerable en el territorio holguinero, ante la existencia de condiciones físicas desfavorables, como son, la baja pluviosidad (Durán, 2005), la poca transmisibilidad de las rocas que conforman al acuífero (Fuentes, 2002), y el alto grado de urbanización existente que le sirve de fuente aportadora de todo tipo de contaminantes a las aguas,

así como una sobreexplotación de las mismas, ya que el 80% de la población de la ciudad holguinera de forma total o parcial se abastece de esa fuente (Peña, 2005).

Estos aspectos mencionados anteriormente influyen directa y negativamente en las condiciones de formación, almacenamiento y explotación de las reservas hídricas y por lo tanto producen afectaciones importantes en las condiciones económicas, sociales y ambientales.

Ante la necesidad de garantizar el uso racional y sostenible del recurso agua y brindar elementos básicos para la gestión ambiental, se diseñó y aplicó en la microcuenca Holguín el modelo GAIASS (Fernández, 2009) para la gestión ambiental integral de las aguas subterráneas, obteniéndose resultados positivos, los cuales fueron comprobados y evaluados a partir del cálculo del índice de sostenibilidad ambiental del agua en la cuenca (ISAAC), propuesto por C. Fonseca, 2005.

En el presente trabajo se brindan los resultados obtenidos por la aplicación de este método, en el cual se toma como referencia a la cuenca hidrográfica, que constituye el principal escenario en la formación, almacenamiento y explotación de las aguas subterráneas, y donde precisamente se generan las acciones antrópicas, presentando un carácter integrador y funcional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la aplicación del ISAAC, se tuvieron en cuenta tres definiciones esenciales, estas son: cuenca hidrográfica, manejo integrado de los recursos hídricos y los indicadores ambientales.

Una de las definiciones de cuencas hidrográficas más sintetizadas, es la enunciada por (FAO, 1994; Bonilla, 2000; Bunge, 2000), en la que se plantea que la *cuenca hidrográfica* es un área por donde el agua que se precipita crea una red de drenaje, la cual conduce sus aguas a un río más grande, a un acuífero, lago o mar. En las cuencas el ciclo hidrológico se vincula con el ciclo antrópico y del uso del agua y comprende los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones son:

Función hidrológica:

1. Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
2. Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
3. Descarga del agua como escurrimiento.

Función ecológica:

1. Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
2. Provee de hábitad para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

Función ambiental

1. Constituyen sumideros de CO_2 .
2. Alberga bancos de germoplasma
3. Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
4. Conserva la biodiversidad

5. Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos

Función socioeconómica

1. Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
2. Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

Existen criterios que fundamentan la gestión ambiental integral con enfoque de cuencas como sistema.

Según Peña, G. (2005), la cuenca constituye un sistema por las siguientes razones:

- Existen entradas y salidas: el ciclo hidrológico del agua permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua por medio de la precipitación y otras formas y luego existe una cantidad que sale de la cuenca por medio de un río principal o por el uso que se le da al agua, ya sea para consumo humano, industrial o agrícola.
- En la cuenca se producen interacciones entre sus elementos: ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas.
- En la cuenca existen interrelaciones: ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías, etc.
- El sistema de la cuenca a su vez está integrada por los subsistemas siguientes:
 - Biológico: integrado esencialmente por la flora y la fauna y los elementos cultivados por el hombre.
 - Físico: integrado por el suelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación, etc).
 - Económico: integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre en la agricultura, recursos naturales, industria, servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades).
 - Social: integrado por todos los elementos demográficos instituciones, tenencia de tierra, salud, educación, vivienda, culturales, políticos, etc.

El concepto del manejo integrado de recursos hídricos, en contraste al “tradicional” manejo fragmentado de recursos de agua, en su nivel más fundamental se preocupa por el manejo de la demanda y oferta de agua. Por lo tanto, la integración puede ser considerada bajo dos categorías básicas¹:

- el sistema natural, con su importancia crítica para la calidad y la disponibilidad del recurso, y
- el sistema humano, el cual determina fundamentalmente el uso del recurso, la producción de desechos y la contaminación del recurso, que también debe establecer las prioridades de desarrollo.

¹ Tomado de Tac Background papers N°4. Asociación Mundial para el Agua (GWP. Global Water Partnership). Comité del Consejo Técnico (TAC). Manejo Integrado de los Recursos Hídricos. ISSN: 1403-5324 ISBN: 91-631-0058-4

Para la definición de los indicadores ambientales de sostenibilidad se tuvieron en cuenta los siguientes criterios (García, 2005):

- Seleccionar un número representativo (la menor cantidad posible).
- Permitan la comparabilidad internacional.
- Dar cumplimiento a los compromisos internacionales.
- De aceptabilidad amplia ya que aquellos indicadores que no sean aceptados es improbable que influyeran en las decisiones.
- Estén fácilmente disponibles sobre una base anual.
- Estén científicamente bien fundamentados en correspondencia con la calidad de la fuente de información.
- Los valores sean medibles o al menos observables u obtenibles (a través de mediciones especiales o actividades de monitoreo).
- Sean confiables, sencillos, fáciles de interpretar, viables a corto plazo (1-5 años) o que emprendan un desarrollo progresivo y que sea posible mejorarlo a largo plazo (15 años) y capaces de mostrar tendencias a través del tiempo.
- Corresponden de manera directa y visible a las transformaciones reales
- Incidan en la mejora de la calidad de vida de la población
- La metodología para la toma, procesamiento de datos y su construcción debe ser clara, transparente y estandarizada.
- Indicadores que históricamente se han seguido.

El cálculo del ISAAC, se realizó en la etapa de seguimiento y evaluación de la aplicación del modelo GAIAS, comprobando la eficiencia y eficacia de la aplicación de dicho modelo, identificando logros y debilidades a través de la observación de los indicadores ambientales de estado, presión y respuesta seleccionados.

Los indicadores ambientales de *estado*, permitieron la medición de las características físico-bióticas existentes en el área de la microcuenca.

Los indicadores ambientales de *presión*, permitieron cuantificar la intensidad de la intervención humana ó natural sobre los ecosistemas existentes en el área de la microcuenca.

Los indicadores ambientales de *respuesta*, permitieron cuantificar las acciones sociales de corrección de la presión o del deterioro ambiental en la microcuenca.

Cálculo del índice de sostenibilidad ambiental del agua en la cuenca (isaac)

$$\text{ISAAC} = \text{ISASUP} + \text{ISASUBt} + \text{ISAFEa}$$

Donde:

ISAAC: índice de sostenibilidad ambiental del agua en la microcuenca

ISASUP: índice de sostenibilidad ambiental de aguas superficiales

ISASUBT: índice de sostenibilidad ambiental de aguas subterráneas

ISAFEa: índice de servicios ambientales y funciones ecológicas del agua

El cálculo de las diferentes variables se realizó a partir de las siguientes expresiones:

$$\text{ISASUP} = \text{IQASUP} + \text{IKASUP}$$

Índice de calidad del agua superficial (estado, presión, respuesta)

$$IQASUP = E \times P \times R$$

Índice de cantidad del agua superficial (estado, presión, respuesta)

$$IKASUP = E \times P \times R$$

$$ISASUBt = IQASUBT + IKASUBT$$

Índice de calidad del agua subterránea (estado, presión, respuesta)

$$IQASUBT = E \times P \times R$$

Índice de cantidad del agua subterránea (estado, presión, respuesta)

$$IKASUBT = E \times P \times R$$

$$ISAFEa = IKECO + ISOTA + IBIE$$

Índice de caudal ecológico (estado, presión, respuesta)

$$IKECO = E \times P \times R$$

Índice de salud y ordenamiento territorial ambiental (estado, presión, respuesta)

$$ISOTA = E \times P \times R$$

Índice de biodiversidad y endemismos (estado, presión, respuesta)

$$IBIE = E \times P \times R$$

Los indicadores ambientales seleccionados están en correspondencia con la función hidrológica, ecológica, ambiental y socioeconómica propia de la microcuenca. Los datos observados fueron aportados por la EAAH.

Tabla I.-

ESTADO		año 2009		año 2010	
IQASUP	DQO esperado	50	1,67	50	1,67
	DQO promedio	30		30	
IKASUP	Vol. de escurr. Sup mcuenca Hm ³	22,2	0,007	22,2	0,007
	Vol. de escurr. Sup provincia Holguín Hm ³	3320		3320	
IQASUBT	Vol. de agua sub. Ssn contam. Mcuenca	0,24	0,021	0,24	0,021
	Vol. Total de agua sub. de mcuenca (Hm ³)	11,6		11,6	
IKASUBT	Vol. Total de agua sub. de mcuenca (Hm ³)	11,6	0,105	11,6	0,105
	Vol. Recursos a sub. prov. Holguín Hm ³	110		110	
IKECO	Long del río con caudal ecológico	2	0,120	2,00	0,120
	Longitud total del río (Km.)	16,7		16,7	
ISOTA	Área protegida de la mcuenca en buen estado	5	0,052	5,0	0,052
	Área total de la microcuenca	96,0		96,0	

IBIE	Número de especies acuícolas real en mcuenca	23	0,397	23	0,397
	Número de especies acuícolas esperadas en mcuenca	58		58	
PRESIÓN		año 2009		año 2010	
IQASUP	Población asentada en áreas de la mcuenca	254350	1,9	254350	1,9
	Población sin cobertura hidrosanitaria	133280		133280	
IkASUP	Volumen explotado mcuenca (Hm³)	4,259	0,19	4,259	0,19
	Volumen escurrimiento total de la mcuenca	22,2		22,2	
IQASUBT	Población total asentada en mcuenca	254350	1,91	254350	2,10
	Población sin cobertura hidrosanitaria	133280		121071	
IkASUBT	Volumen de recursos explotados	9,28	0,80	9,28	0,80
	Volumen de recursos existentes en mcuenca (Hm³)	11,6		11,6	
IKECO	Volumen embalsado (Hm³)	4,43	0,20	4,43	0,20
	Volumen de escurrimiento total de la mcuenca (Hm³)	22,2		22,2	
ISOTA	Área urbanizada (km²)	51,0	0,53	51,0	0,53
	Área total de la mcuenca (km²)	96,0		96,0	
IBIE	Número de empresas focos de contaminación	16	0,13	16	0,13
	Número total de empresas en la mcuenca	120		120	

Tabla II.-

RESPUESTA		2009		año 2010	
IQASUP	Caudal bajo tratamiento (residuales)	10	0,67	11	0,73
	Caudal usado	15		15	
IkASUP	Área agrícola con programa de ahorro y uso eficiente	5	0,18	6	0,21
	Área agrícola total	28		28	
IQASUBT	Volumen agua subterránea tratada (Hm³)	3	0,259	4	0,34
	Volumen agua subterránea total (Hm³)	11,6		11,6	
IkASUBT	Población con programa de educación ambiental implementada	43673	0,172	43673	0,17
	Población total de la mcuenca	254350		254350	

IKECO	Volumen superficial de explotación real	4,259	1,420	4,259	1,42
	Volumen de explotación asignado	3		3	
ISOTA	Área reforestada (Km ²)	5	0,052	6	0,06
	Área total de la mcuenca (Km ²)	96,0		96,0	
IBIE	Número de empresas cumplidoras con norma de vertimientos	28	0,233	30	0,25
	Número total de empresas en la mcuenca	120		120	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del cálculo de los índices de sostenibilidad ambiental del agua en la microcuenca (ISAAC), para los años observados (2009-2010), se muestran en las siguientes tablas:

Tabla III y IV.- Resultados obtenidos para los años 2009-2010.

AÑO 2009				
ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DEL AGUA EN LA MICROCUENCA				
ÍNDICES	ESTADO	PRESIÓN	RESPUESTA	TOTAL
IQASUP	1,67	1,91	0,67	2,12
IKASUP	0,007	0,19	0,18	0,00
ISASUP				2,12
IQASUBT	0,021	1,908	0,259	0,01
IKSUBT	0,105	0,800	0,172	0,01
ISASUBT				0,02
IkeCO	0,120	0,200	1,420	0,03
IsoTA	0,052	0,531	0,052	0,00
IbIE	0,397	0,133	0,233	0,01
ISAFETA				0,05
ISAAC				2,2

AÑO 2010				
ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DEL AGUA EN LA MICROCUENCA				
ÍNDICES	ESTADO	PRESIÓN	RESPUESTA	TOTAL
IQASUP	1,67	1,91	0,73	2,33
IKSUP	0,01	0,19	0,21	0,00
ISASUP				2,33
IQASUBT	0,02	2,10	0,34	0,01
IKSUBT	0,105	0,80	0,17	0,01
ISASUBT				0,03
IkeCO	0,120	0,20	1,42	0,03
IsoTA	0,052	0,53	0,06	0,00
IbIE	0,40	0,13	0,25	0,01
ISAFETA				0,05



ISAAC	2,41
-------	------

De forma comparativa se presenta gráficamente los ISAAC para los años observados:

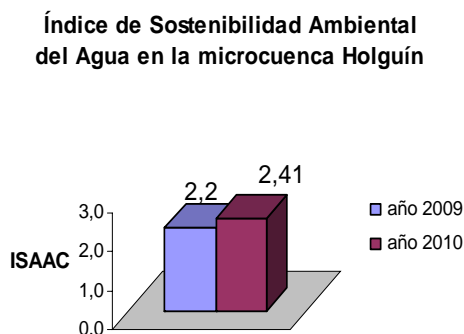


Figura 1.- ISAAC

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La importancia de la aplicación del cálculo del ISAAC radica en su idoneidad para medir el estado ambiental de la cuenca hidrográfica ya que en el se valora integralmente el funcionamiento de la cuenca incluyendo los elementos bióticos, abióticos y antrópicos.

El Índice de Sostenibilidad Ambiental del Agua en la cuenca comprende el Índice de Sostenibilidad Ambiental de las Aguas Superficiales, el Índice de Sostenibilidad Ambiental de las Aguas Subterráneas y el Índice de Servicios Ambientales y Funciones Ecológicas del Agua.

Su aplicación en la microcuenca Holguín, mostró resultados satisfactorios, permitiendo valorar la eficiencia y eficacia de la gestión ambiental que se realiza en dicha microcuenca, identificando logros y debilidades a través de la medición los indicadores ambientales de Estado, Presión y Respuesta seleccionados demostrando así que constituye una valiosa y útil herramienta de trabajo.

Dado los resultados satisfactorios obtenidos de la aplicación del cálculo del ISAAC, se recomienda su generalización a otras cuencas, siempre y cuando cumplan con las condiciones físicas y socioeconómicas necesarias para aplicación

BIBLIOGRAFÍA

- Bonilla, M. (2000): "Algunos Problemas en la determinación del coste Medioambiental en la Empresa". Revista Técnica Contable. Año LII, Num. 615, Marzo 2000.
- Bunge, M. 2000: "Hasta la próxima Guerra". Diario La Nación – Buenos Aires. Argentina
- Durán, G. 2005. Fenómeno de la sequía en la provincia Holguín en el período 1996-2005. Informe Técnico. Centro Meteorológico Provincial. Holguín.
- García, L. 2005. Monitoreo Ambiental. Marco Conceptual. Material Docente. Maestría En Gestión Ambiental. FAGES. La Habana 2005.
- FAO. 1994. Desafíos para un Desarrollo Sostenible. [En Línea] Disponible En: <http://www.Manejo.Cuenc.Org.Com> [Consulta 30 Abril 2006].
- Fernández, C, S. 2009. Tecnología para la Gestión Ambiental de las Aguas Subterráneas, Gestión Ambiental. Tesis En Opción al Grado de Doctor en Ciencias. INSTEC, La Habana.85pp.

- Fonseca, C. 2005. ISAAC. Índice de Sostenibilidad del Agua en la Cuenca. Indicadores Ambientales de Sostenibilidad. Desarrollo del ejercicio Lerma-Chapala. UAM. México.
- Fuentes, M. M. 2002. Regionalización Hidrogeológica. Informe Técnico, EAH. INRH. Holguín. 23pp.
- Peña, D. 2005, Abasto emergente a la ciudad de Holguín mediante pozos. Informe Técnico. EAPH. INRH. Holguín.
- Peña, G. 2005. Criterios para trabajar con enfoques de cuencas. Tesis de Grado. ISJAE. INRH. 111 P.
- Tac Background Papers N°4. Asociación Mundial Para El Agua (GWP. Global Water Partnership). Comité del Consejo Técnico (TAC). Manejo Integrado de los Recursos Hídricos. ISSN:1403-5324 ISBN: 91-631-0058-4.