

Modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola*

Modelo para o monitoramento e seguimento de indicadores de sustentabilidade do recurso hídrico no setor agrícola

Model for the Monitoring and Follow-up of Sustainability Indicators for Water Resources in the Agricultural Sector

Wilmar Loaiza Cerón**
Aldemar Reyes Trujillo***
Yesid Carvajal Escobar****
Universidad del Valle, Colombia

Resumen

El sistema de monitoreo y seguimiento permite identificar, a través de indicadores e índices, la sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola de la microcuenca Centella (Dagua-Valle del Cauca). Este modelo de monitoreo permite evaluar continua y sistemáticamente el progreso y los cambios ocasionados por la ejecución de un conjunto de actividades en un período de tiempo determinado. De igual manera, a través de este sistema es posible realizar un seguimiento y verificar en qué medida se cumplen las metas propuestas de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola a nivel: biofísico, tecnológico, político-institucional y socioeconómico.

Palabras clave: índice de sostenibilidad, microcuenca, monitoreo y seguimiento, recurso hídrico, sistemas productivos agrícolas.

Resumo

O sistema de monitoramento e seguimento permite identificar através de indicadores e índices, a sustentabilidade do recurso hídrico no setor agrícola da micro-bacia hidrográfica Centella (Dagua-Valle del Cauca). Esse modelo de monitoramento permite avaliar, contínua e sistematicamente, o progresso e as mudanças ocasionadas pela execução de um conjunto de atividades num período de tempo determinado. De igual maneira, através desse sistema é possível realizar um seguimento e verificar em que medida são cumpridas as metas propostas de sustentabilidade do recurso hídrico no setor agrícola a nível: biofísico, tecnológico, político-institucional e socioeconômico.

Palavras-chave: índice de sustentabilidade, micro bacia hidrográfica, monitoramento, seguimento, recurso hídrico, sistemas produtivos agrícolas.

Abstract

The monitoring and follow-up system makes it possible to identify the sustainability of water resources in the agricultural sector of the Centella watershed (Dagua-Valle del Cauca), through indicators and indexes. This monitoring model allows for continuous and systematic evaluation of the progress and changes brought about by the execution of a series of activities during a certain period of time. Likewise, the system makes it possible to follow up and verify to what extent the established sustainability goals for water resources in the agricultural sector are met, at the biophysical, technological, political-institutional, and socioeconomic levels.

Keywords: sustainability index, watershed, monitoring, water resources management, agricultural production systems.

RECIBIDO: 5 DE MAYO DEL 2011. ACEPTADO: 26 DE SEPTIEMBRE DEL 2011.

Artículo de investigación sobre el diseño de un modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola, empleando el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo e incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS) y el enfoque de Presión-Estado-Respuesta (PER).

* El presente artículo es resultado del proyecto de investigación *Sistema de Monitoreo y Seguimiento del ISRHA – Índice de Sostenibilidad del manejo del Recurso Hídrico en el Sector Agrícola. Caso modelo: microcuenca Centella* n.º 05-0122-10, desarrollado en el marco del Programa de formación de investigadores *Generación del Bicentenario* del Programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores Virginia Gutiérrez de Pineda, 2009 financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS.

** Dirección postal: carrera 89 n.º 18-72, Casa 35. Villas de San Joaquín II, Barrio Ingenio, Cali, Colombia.
Correo electrónico: wiloce16@gmail.com

*** Dirección postal: carrera 46C n.º 52-34. Barrio Ciudad Córdoba, Cali, Colombia.
Correo electrónico: alretru@univalle.edu.co

**** Dirección postal: carrera 66B n.º 13A-49. Apto. 102-D Urapán I. Cali, Colombia.
Correo electrónico: yecarvaj@univalle.edu.co

Introducción

El concepto de sostenibilidad es utilizado en diversos espacios políticos y académicos pues ha servido, en muchos casos, para definir el objetivo que tenemos como sociedad. Aunque no existe una definición universal, generalmente este objetivo coincide con la necesidad de conservar el sistema de soporte de vida del planeta y, paralelamente, generar y mantener una sociedad más equitativa. El concepto de sostenibilidad lleva implícito una serie de principios sociales, ambientales y económicos del sistema que queremos mejorar (Masera et ál. 2000, citados por Reyes 2008, 19-20).

Con el fin de aportar a dicha sostenibilidad se diseñó un modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola. Este modelo surge a partir de la adaptación de diferentes metodologías y proyectos enmarcados en la evaluación de la sostenibilidad de agroecosistemas complejos. El propósito es resolver las siguientes preguntas: ¿Cómo puede evaluarse la sostenibilidad de un agroecosistema?, ¿cuál es el impacto de una determinada estrategia en la sostenibilidad general del sistema de manejo de recursos naturales?, ¿cuál es el enfoque apropiado para explorar sus dimensiones económicas, ambientales y sociales? (Reyes 2008, 21).

En este sentido, el modelo evalúa la sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en la agricultura, para ello se utiliza el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sostenibilidad —en adelante, MESMIS— y el Enfoque de Presión-Estado-Respuesta —en adelante, PER—, los cuales se describen más

adelante. Este modelo permitió monitorear las evaluaciones que se realizaron sobre los indicadores específicos aplicados en la zona de estudio. A través de estos indicadores se lograron identificar los cambios que generó el proyecto *Estrategias de competitividad y sostenibilidad de sistemas productivos agrícolas en la microcuenca Centella (Dagua-Valle del Cauca)*, cuyo objetivo era desarrollar un modelo productivo sostenible, construido bajo un enfoque agroecológico que permitiera a la comunidad de la microcuenca Centella contar con una opción productiva, ambiental, social, y económicamente viable y sostenible, acorde a sus posibilidades agroclimáticas, topográficas, agroindustriales y sociales.

El sistema de monitoreo está compuesto por cuatro grandes elementos: primero, la base de datos de indicadores que sirvió para definir la línea base de los indicadores y obtener el estado del arte de cada elemento analizado. Para desarrollar la base de datos fue necesario realizar un inventario de la información secundaria y primaria disponible (trabajos de campo, análisis de laboratorio, campañas de aforo, entre otros). Segundo, las fichas metadatos en las cuales se presenta de manera ordenada la información específica concerniente a cada indicador y apuntan a establecer las especificaciones del programa de monitoreo y seguimiento que se refieren fundamentalmente a la definición de los parámetros a medir; la frecuencia recomendada para efectuar las mediciones; los métodos sugeridos para obtener los datos y la información; así como la escala de evaluación en el Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en el sector Agrícola

—en adelante, ISRHA— (Loaiza et ál. 2011). Tercero, la matriz de seguimiento cuya función es observar el comportamiento del mismo de acuerdo con el desarrollo de una meta programada en un periodo de tiempo determinado; cuarto, instructivo de uso del aplicativo, el cual facilita la comprensión de la estructura del sistema de monitoreo y seguimiento del ISRHA siguiendo un orden lógico y una serie de instrucciones para que las diferentes matrices puedan ser diligenciadas e interpretadas correctamente (Loaiza 2011, 30-36).

Metodología

El modelo MESMIS es una herramienta metodológica para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales con énfasis en los pequeños agricultores y en su contexto local (Masera et ál. 1999), constituyéndose así en una herramienta en permanente construcción. A su vez este modelo proporciona un enfoque conceptual y práctico cualitativamente diferente a los enfoques de evolución convencionales (análisis de costos y beneficios), los cuales no siempre resultan apropiados debido al reto que representa analizar agroecosistemas complejos.

La evaluación debe ser comparativa y cíclica. Generalmente, el primer paso es definir y caracterizar el sistema o sistemas hasta llegar a la integración de los indicadores y la elaboración de conclusiones y recomendaciones. A continuación, se presentan los pasos a seguir para la evaluación:

- Caracterización del sistema de manejo: en esta etapa es importante definir los sistemas de manejo a evaluar, sus límites, subsistemas y

los flujos internos-externos de materia y energía.

- Determinación de los puntos críticos: se deben identificar las fortalezas y las debilidades del sistema.
- Selección de indicadores estratégicos.
- Medición y monitoreo de los indicadores: se diseñan las herramientas o instrumentos de análisis para obtener la información deseada.
- Presentación e integración de resultados: se compara la sostenibilidad de los sistemas de manejo analizados y se indican sus principales obstáculos y fortalezas.
- Conclusiones y recomendaciones: se sintetiza el análisis y se elaboran las sugerencias para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas de manejo y el proceso de evaluación (Masera et ál. 1999, 61).

Astier y Masera (1997) argumentan que la evaluación de los sistemas de manejo o agroecosistemas deben incluir información clara acerca de: los diferentes componentes biofísicos del sistema con su correspondiente información cuantitativa; los insumos y productos necesarios, “entradas” y “salidas” del sistema, con la descripción cualitativa de estas y las relaciones entre los diferentes componentes del mismo; las prácticas agrícolas, pecuarias o forestales que involucran cada sistema y las principales características socioeconómicas de los productores.

El enfoque PER fue desarrollado en el marco de los trabajos del grupo sobre el estado del medioambiente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos(1994)—en adelante,OCDE— y fue realizado a partir del trabajo de Friend y Rapport (1979) sobre el modelo de estrés-respuesta aplica-

do a los ecosistemas. Este enfoque se basa en el concepto de causalidad (figura 1) en el cual las actividades humanas ejercen “presiones” sobre el medioambiente y modifican la cualidad y cantidad estado de los recursos naturales. La sociedad responde a estos cambios a través de políticas ambientales, macroeconómicas y sectoriales, consideradas como respuestas, donde estas producen una retroalimentación dirigida a modificar las presiones ejercidas a través de las actividades humanas. En un contexto global, estos pasos forman parte de un ciclo de política de medioambiente que incluye la percepción de los problemas y la formulación de políticas, así como el seguimiento y evaluación de las mismas (Castro 2002, 201-203).

Dentro del modelo PER se pueden distinguir tres tipos de indicadores:

- Los indicadores de presión describen las presiones de las actividades humanas sobre el medioambiente incluyendo la

calidad y cantidad de los recursos naturales. Se puede distinguir entre indicadores de presión directa (presiones ejercidas de forma directa sobre el medioambiente, normalmente expresadas en términos de emisiones o consumo de recursos naturales) e indicadores de presión indirecta (indicadores de estructura que reflejan actividades humanas que llevan presiones directas sobre el medioambiente). Estos indicadores están a menudo clasificados como factores o fuerzas subyacentes tales como: crecimiento poblacional, consumo o pobreza (Castro 2002, 202; GestioPolis 2007).

- Los indicadores de condiciones o estado medioambiental se refieren a la condición actual del medioambiente como resultado de las diferentes presiones que se ejercen sobre este, y el deterioro generado por las diferentes actividades humanas, los nive-

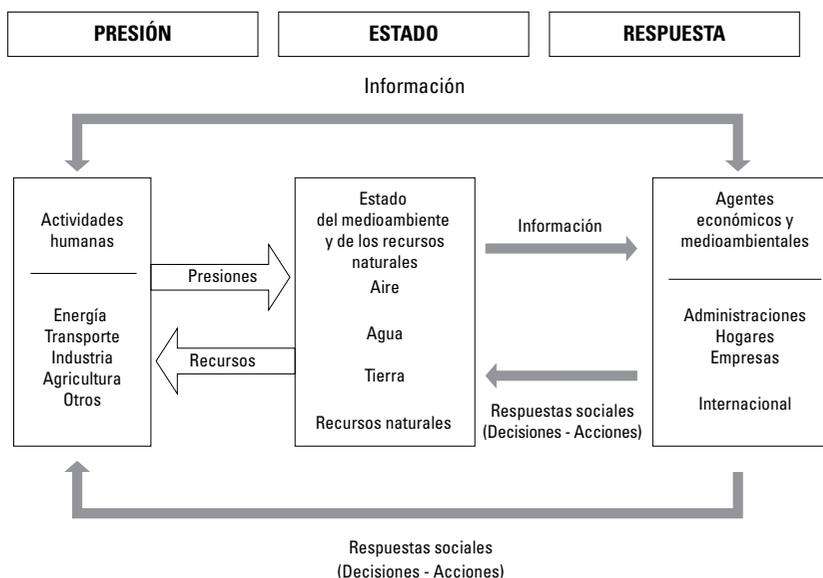


Figura 1. Modelo de Presión-Estado-Respuesta. Fuente: OCDE 1993.

les de contaminación del aire, la degradación de la tierra o la deforestación. A partir de la integración de ellos se obtiene la caracterización del servicio ambiental respecto a la sostenibilidad del manejo del agua en el sector agrícola. Estos indicadores proveen una visión actual del medioambiente y su desarrollo a lo largo del tiempo, no de la presión que se ejerce sobre este (Castro 2002, 203; GestioPolis 2007).

- c. Los indicadores de respuesta social muestran el grado en que la sociedad responde a los problemas y cambios en la calidad del medioambiente. Las respuestas sociales están referidas a acciones individuales y colectivas que están dirigidas a mitigar, adaptar o prevenir impactos negativos inducidos sobre el medioambiente y detener o reparar los daños ambientales ya producidos (Castro 2002, 203; GestioPolis 2007).

En particular, estas estrategias, medidas estructurales y técnicas, así como los cambios en el comportamiento individual, en las actividades económicas y en la organización social tienden a favorecer nuestra compatibilidad con las nuevas condiciones ambientales y climáticas actuales o futuras (Orlando y Klein 2000; Facultad de Ciencias Agronómicas et ál. 2008).

Teniendo en cuenta las metodologías mencionadas, en el año 2009 se implementó el ISRHA para la microcuenca Centella (Dagua-Valle del Cauca) con el fin de evaluar la sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en el sector agrícola, a través de la identificación y análisis de la presión y la respuesta generada por

las acciones y actividades humanas desde el sector agrícola.

De igual manera, se determinó el estado del recurso hídrico en cada uno de los factores de análisis (biofísico, tecnológico, socioeconómico y político) para identificar puntos ideales y puntos críticos que faciliten la adopción de las diferentes estrategias para el desarrollo sostenible de la microcuenca. Esta forma de evaluación cumple una función importante dado que permite la evaluación continua a partir de las acciones del pasado, las cuales deberán fortalecerse o modificarse para promover la conservación del recurso hídrico (IREHISA 2009, 70).

El monitoreo y seguimiento

La teoría de la planificación del desarrollo define el monitoreo como un ejercicio destinado a identificar de manera sistemática la calidad del desempeño de un sistema, subsistema o proceso. Posteriormente se requiere introducir los ajustes o cambios pertinentes y oportunos para alcanzar los resultados esperados y lograr ciertos efectos en el entorno, los cuales en este caso contribuyen a la sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola. Así, el monitoreo y el seguimiento permiten analizar el avance y proponer acciones para alcanzar los objetivos, identificar los éxitos o fracasos reales o potenciales del sistema lo antes posible y hacer ajustes oportunos para su sostenibilidad (Organización de Estados Iberoamericanos —en adelante, OEI— 2008, 2).

En el monitoreo se buscan explicaciones sobre las fallas comprobadas con el objetivo de encontrar alternativas de solución. También se enfatiza en los aspectos conside-

rados como positivos, se reportan los logros para que las prácticas exitosas puedan ser replicadas y las erróneas revisadas. El monitoreo nos reporta información sobre el nivel de eficiencia alcanzado por la organización o proyecto (Rodríguez 1999, 8-9; citado por Espinoza y Van de Velde 2007, 12).

El éxito del monitoreo depende del establecimiento de un sistema de información que identifique los usuarios de la información, los tipos de información prioritaria, y vincule las necesidades y las fuentes de información, con el objetivo de establecer métodos apropiados para efectuar la recopilación de datos y la identificación de los recursos necesarios para su funcionamiento (Centro Interamericano para el Desarrollo del Conocimiento en la Formación Profesional – CINTERFOR 2009).

El proceso de monitoreo es cíclico, es decir, las diferentes actividades rotan continuamente en torno a diferentes énfasis funcionales. Inicia por la toma de datos de las fuentes de información establecidas, el registro en los instrumentos respectivos y culmina con las intervenciones de reorientación. A continuación se realiza la comparación de los datos contra la línea base, luego se encuentra la etapa de decisión, en la cual se definen las acciones correctivas o de retroalimentación necesarias de acuerdo con la información obtenida. Por último, se ponen en práctica las acciones correctivas o de retroalimentación definidas.

No obstante, el monitoreo debe ir acompañado de un proceso de seguimiento de indicadores que permita evaluar avances y retrocesos en las diferentes actividades que hacen parte del sistema o proyecto evaluado. Entonces, se entiende por

seguimiento la evaluación continua de la ejecución de los proyectos en relación con un programa acordado y la utilización de insumos, infraestructuras y servicios por parte de los beneficiarios del proyecto. Este proceso, proporciona información constante a los administradores y otros interesados, retroalimenta la ejecución del proyecto y permite identificar los éxitos y dificultades, reales o potenciales, para facilitar la oportuna modificación de las actividades y superar las dificultades presentadas (Weaving y Thumm 1998, 2; citados por Espinoza y Van de Velde 2007, 14).

Los propósitos del seguimiento son fomentar la cultura de la evaluación, la gestión del desempeño y la rendición de cuentas en función de los resultados esperados; alinear la evaluación con el ciclo de los proyectos como un elemento sustantivo de la planificación estratégica; alentar el aprendizaje institucional de todos los actores involucrados en el proyecto con base en las evaluaciones efectivas y de calidad; elegir los resultados pertinentes y demostrar cómo y por qué se producen los resultados previstos o cómo mejoran lo esperado (Urzúa 2004, 19; citado por Espinoza y Van de Velde 2007, 15).

En todo este proceso el sistema de indicadores es la base fundamental para la construcción posterior de todo el plan de monitoreo y seguimiento. Los indicadores son, sustancialmente, información utilizada para dar seguimiento y ajustar las acciones que un sistema, subsistema o proceso emprende para alcanzar el cumplimiento de su misión, objetivos y metas. Un indicador como unidad de medida permite el monitoreo y la evaluación de las variables clave de un sistema organizacional mediante su compa-

ración en el tiempo, con referentes externos e internos (OEI 2008, 3).

Sobre los indicadores que pueden aplicarse a sistemas productivos para evaluar su nivel de sostenibilidad, De Camino y Müller (1993) afirman que no existen indicadores universales sino que cada sistema dependiendo de su nivel de agregación, sus categorías y elementos específicos, tendrá su propio conjunto de indicadores. Para elaborar un buen sistema de indicadores se requiere de la flexibilidad y adaptabilidad de estos a los diferentes niveles de agregación, con el fin de medir e interpretar situaciones positivas o negativas hacia los ecosistemas y hacia las dinámicas comunitarias que apuntan a su manejo (González 1996).

Resultados

El modelo de monitoreo y seguimiento se estructura en cuatro componentes principales que se explican a continuación (figura 2):

Base de datos de indicadores

Organizar y garantizar un respaldo histórico a la información sirve para definir la línea de los indicadores y obtener el estado del arte de cada elemento analizado. Para desarrollar la base de datos y completar la información de cada indicador se realizó un inventario de la información primaria y secundaria. La línea base se constituyó a partir de los indicadores del ISRHA evaluados en el marco del proyecto *Estrategias de competitividad y sostenibilidad de sistemas productivos agrícolas en la microcuenca Centella (Dagua – Valle del Cauca)* durante el 2009 y con los cuales se evaluó por primera vez la sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola para la zona de estudio.

La base de datos de indicadores corresponde a una matriz en la que se muestra el listado general de indicadores e incluye datos como el tipo de indicador, el componente, el código, la definición, la unidad de medida,

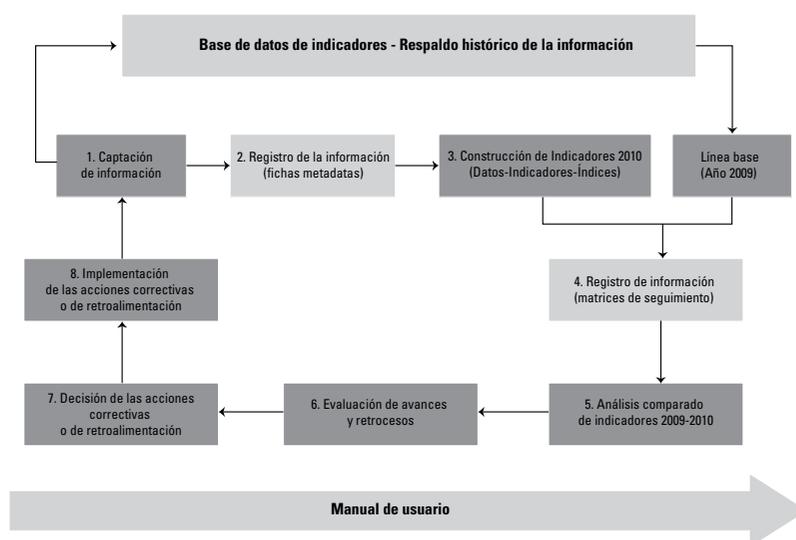


Figura 2. Esquema general del sistema de monitoreo del ISRHA.

Fuente: elaborado por Loaiza 2011, 31.

entre otros. En las últimas columnas de esta matriz se especificará la entidad o institución encargada de la medición de estos indicadores. En la figura 3 se puede observar el esquema general de la base de datos de Indicadores del ISRHA.

Fichas metadatas

La función de la ficha metadata es arrojar y presentar un registro continuo y bajo los mismos criterios de cada indicador con el objetivo de identificar los protocolos necesarios para lograr su monitoreo por medio del cálculo y la sistematización de estos. Estas fichas metadatas serán asignadas a diferentes dependencias de acuerdo con la función que tengan en la zona y el nivel de importancia dentro de la microcuenca.

La ficha metadata es un formato para presentar de manera ordenada la información específica concerniente a cada indicador. A través de esta ficha se pueden establecer las especificaciones del programa de monitoreo y seguimiento, es decir, los parámetros a medir, la frecuencia recomendada para efectuar las mediciones, los sitios o los momentos en los cuales se deben realizar estas, los métodos sugeridos para obtener los datos y la información, así como la escala de evaluación en el ISRHA. La figura 4 muestra el esquema general de la ficha metadata para el monitoreo.

La ficha metadata es un instrumento de gran importancia para mantener estable el sistema de información de la zona de estudio ya que permite alcanzar gran claridad acerca del alcance del proyecto y sus impactos tanto en el territorio como en la población. A continuación se presenta la definición para

cada uno de los elementos que conforman la ficha metadata:

- **Código:** es una combinación alfanumérica que especifica el componente, el factor de análisis, el tema de evaluación y el número del indicador dentro de la matriz de base de datos de indicadores.
- **Nombre:** expresa el contenido del parámetro o indicador específico. Ejemplo: conductividad eléctrica, dureza, precipitación efectiva, tipo de sistema de riego.
- **Componente:** en esta casilla se determina si el indicador a evaluar es de presión, estado o respuesta.
- **Factor de análisis:** en esta casilla se realiza la clasificación de los indicadores en biofísicos, tecnológicos, socioeconómicos o político-institucionales.
- **Tema de evaluación:** agrupa los indicadores de un mismo factor de análisis según la temática que evalúa en el ISRHA.
- **Temporalidad del monitoreo:** lapso de tiempo que acoge la medida del indicador que puede ser trimestral, anual, etc., y se define de acuerdo al comportamiento de cada indicador y la importancia que representa para la sostenibilidad del recurso hídrico. En algunos casos, la frecuencia de muestreo para algunos indicadores estará determinada por el régimen climático y por la variación estacional de los periodos lluviosos. En otras ocasiones, las normas ambientales establecen de manera directa la frecuencia con que deben hacerse las mediciones (Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medioambiente 2003, 128)
- **Zona de estudio:** corresponde al nombre de las tres unidades hi-

drográficas en las que se divide la microcuenca Centella (sector la Virgen, unidad Aguas calientes y sector Centella) para el análisis de indicadores.

- **Línea base:** es el dato del indicador que corresponde al año de referencia a considerar cuando se busca la información y constituye el primer registro del valor del indicador para luego dar seguimiento al comportamiento de este.
- **Avance:** en esta casilla se registra el valor del indicador generado para el año, mes o día en el cual se realiza la actualización del indicador. Para este caso es el año 2010.
- **Método para obtener datos:** hace referencia a los procesos, actividades o cálculos que deben realizarse para obtener los datos del indicador.
- **Puntos de medición:** establece el área, la zona o el punto específico de donde se obtienen los datos para el indicador en función de las características del componente o elemento ambiental a ser monitoreado. Deberán seleccionarse adecuados y específicos sitios de muestreo para obtener información idónea acerca del indicador que se está monitoreando. Los sitios deben ser de fácil acceso e identificación (Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medioambiente 2003, 128).
- **Tendencia espacial:** representación cartográfica del comportamiento espacial que tiene cada una de los indicadores del ISRHA o el lugar donde se extraen los datos.
- **Escala de evaluación en el ISRHA:** hace referencia al valor que se

Base de datos de indicadores del ISRHA								
Índice de sostenibilidad de uso y manejo del recurso hídrico en el sector agrícola								
Componente	Factor de análisis	Tema de evaluación	Código	Nombre del indicador	Definición - descripción	Unidad de medición	Institución encargada	Indicadores relacionados
Presión Daño ambiental	Biofísico							
	Tecnológicos							
	Socioeconómico							
	Político e institucional							
Estado Servicio ambiental	Biofísico							
	Tecnológicos							
	Socioeconómico							
	Político e institucional							
Respuesta Reducción de problemáticas y fortalecimiento de potencialidades	Biofísico y tecnológico							
	Socioeconómico							
	Político e institucional							

Figura 3. Esquema general de la Base de datos Indicadores.
Fuente: elaborado por Loaiza 2011, 32.

Sistema de monitoreo de los indicadores del ISRHA					
		Universidad del Valle Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos – IREHISA Santiago de Cali			
Código	Información general				
E-B-01-01	Componente	Factor de Análisis	Tema de evaluación	Temporalidad del monitoreo	
Nombre	Estado	Biofísico	Calidad de agua	Semestral	
Monitoreo y Seguimiento					
Zona de estudio*	Línea base		Avance		
	Valor del indicador		Año	Valor	Año
Sector La Virgen	5		2009	5	2010
Unidad Aguas Calientes	5		2009	5	2010
Sector Centella	5		2009	5	2010
Datos básicos del Indicador					
Método para obtener datos			Tendencia espacial		
Campaña de aforos de calidad del agua y análisis microbiológico de laboratorio					
Puntos de medición					
Vertiente La Virgen: Bocatomas El Palmarcito, Las Brisas, El Palmar Vertiente Centella: Bocatomas Centella Alta y Villa Hermosa. Sistema de riego Finca El Brillante (Eduardo Díaz)					
Escala de evaluación en el ISRHA					
< 5 ó > 8,4 (Muy mala)		1			
5,1 - 6,4 ó 8,1 - 8,4 (Permisible)		3			
6,5 a 8 (Excelente)		5			

* La escala espacial de los indicadores se realizó a partir de la determinación de la línea divisoria de las principales vertientes en la cuenca, que son las quebradas La Virgen, Aguas Calientes y La Centella; teniendo en cuenta lo anterior y, de acuerdo con el tamaño relativo de estos espacios hidrológicos se determinó, aunque no de manera rígida, los nombres de las tres zonas de estudio: Sector La Virgen, Unidad Aguas Calientes y Sector Centella. Esta categorización en sector o unidad esta dado por la clasificación de áreas de la "Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas" (Reyes, et ál. 2010).

Figura 4. Esquema de Ficha metadata para el monitoreo.
Fuente: elaborado por Loaiza 2011, 33.

obtiene de cada indicador en el ISRHA de acuerdo al efecto o impacto que causan en la sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola de cada zona de estudio.

Seguimiento de indicadores del ISRHA

El tercer componente del sistema corresponde al seguimiento de los indicadores ISRHA que permite observar la dinámica de este en un periodo de tiempo determinado cuyo comportamiento estará dado por la temporalidad de monitoreo de cada indicador. Para el logro de esta actividad se implementa una matriz de seguimiento en la cual se consigna, de un modo claro y ordenado, la información acerca del indicador. Su función es observar el comportamiento de este último en un periodo de tiempo determinado que depende de la temporalidad de monitoreo de cada indicador.

Por medio de esta matriz se puede observar, de manera general, el

comportamiento de los indicadores para cada institución. Los componentes de la matriz de seguimiento son:

- Código del Indicador: corresponde al código asignado al indicador, el cual tiene un hipervínculo con su respectiva ficha metadata.
- Línea Base:
 - Valor del indicador: precisa el valor del indicador registrado en el año escogido como línea de base.
 - Año a que se refiere el indicador: en esta casilla se establece el año de donde se parte para realizar el seguimiento del indicador.
- Seguimiento
 - Valor del indicador: se refiere al valor del indicador que se tiene para el primer año de seguimiento.
 - Año: en esta casilla se registra el año, mes o día en el que produce el dato de la casilla anterior (figura 5).

Construcción de los indicadores

Como ya se mencionó, el modelo aquí planteado integra los enfoques conceptuales PER y MESMIS con el fin de evaluar la sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en el sector agrícola a escala de cuenca hidrográfica. La construcción del modelo inicia con la evaluación del estado actual del recurso hídrico en términos biofísicos, tecnológicos, socioeconómicos y políticos, pues indica el servicio ambiental centrado en el recurso hídrico para la agricultura. Las actividades antropogénicas (interacción sociedad-naturaleza) causan un daño ambiental entendido como la presión ejercida sobre el recurso hídrico. Adicionalmente, existen las acciones de respuesta que están determinadas por la información del estado del recurso hídrico y buscan la reducción de la presión del manejo del recurso hídrico en el sector agrícola (IREHISA 2009, 17).

Codigo del indicador		Nombre del indicador	Vertiente	Linea de Base		Seguimiento					
				Valor del indicador	Año						
E-T-01-01	Tipo de sistema de riego	La Virgen	1	2009	3	2010					
		Aguas Calientes	1	2009	3	2010					
		Centella	1	2009	2	2010					
E-T-01-02	Planificación de la frecuencia del riego	La Virgen	1	2009	3	2010					
		Aguas Calientes	3	2009	3	2010					
		Centella	3	2009	3	2010					

Figura 5. Matriz de seguimiento a Indicadores ISRHA.

Fuente: elaborado por Loaiza 2011, 36.

Para la construcción sistemática de los indicadores se complementan los esquemas MESMIS (identificados como factores de análisis dentro de la matriz) y PER (identificados como componentes dentro del estudio). Este esquema de indicadores de sostenibilidad sigue el gradiente de análisis descrito en la tabla 1 (IREHISA 2009, 19). A continuación se describen los componentes que hacen parte de esta tabla:

- Contexto: identifica tres tipos de situaciones. Primero, el “estado” de los elementos y la cantidad de los recursos que hacen parte del ambiente en el cual se desarrollan las actividades humanas. Segundo, la “presión” que las acciones humanas ejercen sobre el ambiente y cambian la calidad y cantidad de los recursos naturales. Tercero, la

“respuesta” a través de la cual la sociedad responde a estos cambios e incorpora prácticas culturales, políticas ambientales, económicas y sectoriales, así como cambios en la percepción y el comportamiento.

- Factor de análisis: son las diferentes dimensiones que hacen parte del sistema productivo agrícola (biofísico, tecnológico, socioeconómico, político e institucional).
- Tema de evaluación: agrupa los diferentes indicadores para obtener una medición global en diferentes temáticas.
- Indicador: es un valor comensurable que permite seguir la evolución de un proceso y se utiliza para realizar interpretaciones sobre la sostenibilidad de las características asociadas

a los factores del sistema y del recurso hídrico agrícola en la microcuenca.

En la tabla 1 se presenta la estructura final de los indicadores del modelo de monitoreo y seguimiento de los indicadores del ISRHA.

Codificación de indicadores del ISRHA

La aplicación conjunta de los enfoques conceptuales PER y MESMIS en el ISRHA permiten realizar una codificación de los indicadores que facilita la identificación y el análisis de ellos. Esto es de gran utilidad para la planificación y la toma de decisiones respecto al manejo del recurso hídrico en el sector agrícola a escala de cuenca hidrográfica.

Esta clasificación es una combinación alfanumérica que especifica

Tabla 1. Estructura para la definición de indicadores 2010.

Contexto	Factor de análisis	Tema de evaluación	Nombre del indicador	
Presión daño ambiental	Biofísico	Calidad de agua	Calidad del agua para riego	
		Oferta hídrica para riego	Oferta hídrica superficial para el riego	
		Amenazas asociadas a variabilidad climática en el recurso hídrico	Amenaza para el recurso hídrico ante eventos hidrológicos	
	Tecnológico	Eficiencia del manejo del agua para riego y la escorrentía	Eficiencia en el manejo del agua para riego y control de escorrentía	
	Socioeconómico	Presión colectiva	Sistema de cobro del agua	
			Conflictos por uso del agua	
		Disposición final de los residuos sólidos		
	Presión individual	Ingresos laborales del agricultor		
	Político e institucional	Presión antropogénica	Vertimientos contaminantes a las principales fuentes de agua	
	Estado servicio ambiental	Biofísico	Calidad de agua	Potencial de Hidrogeno (pH)
Conductividad eléctrica (CE)				
Relación de Adsorción de Sodio (RAS)				
Dureza				
Carbonato Sódico Residual (RSC)				
Sólidos Totales Disueltos (TDS)				
Toxicidad				
Fuente de agua para riego				
Oferta hídrica		Caudal medio mensual		
		Percepción de la disponibilidad del agua para riego		
	Tendencia de la precipitación media			
Amenazas asociadas a variabilidad climática en el recurso hídrico	Tendencia de la precipitación media			
	Erosividad de la lluvia			

Contexto	Factor de análisis	Tema de evaluación	Nombre del indicador	
Estado servicio ambiental	Tecnológico	Eficiencia del consumo del agua para riego	Tipo de sistemas de riego	
			Planificación de la frecuencia del riego	
			Técnica para cuantificar requerimientos hídricos para riego	
			Técnica para determinar humedad de aplicación del riego	
			Registro de consumo del agua para riego	
		Eficiencia de sistemas de control de escorrentía	Sistema de control de escorrentía	
	Infraestructura de manejo del agua para riego	Mantenimiento a conducciones del agua para riego		
		Sistema de almacenamiento del agua de fertirrigación		
	Tratamiento del agua para riego	Tipo de tratamiento realizado al agua para riego		
	Socioeconómico	Uso y conservación del recurso hídrico	Nivel educativo del agricultor	
		Bienestar del agricultor y su familia	Saneamiento básico	
		Disposición a pagar por la conservación del recurso hídrico	Costo del agua para riego	
	Político e institucional	Conservación del recurso hídrico a través de organizaciones internas	Consolidación de la Junta de aguas	
conservación del recurso hídrico a través de Organizaciones externas		Número de entidades que desarrollan actividades para la conservación		
		Concesión de aguas		
Respuesta reducción de problemáticas y fortalecimiento de potencialidades	Biofísicos y tecnológicos	Evaluación de la calidad de agua para riego	Evaluación de la calidad del agua para riego	
		Participación en actividades de recuperación y conservación	Participación del agricultor en actividades de recuperación y conservación del recurso hídrico	
			Adaptación ante amenazas climáticas	Frecuencia de periodos de sequía
				Prácticas de manejo del agua durante periodos de sequía
				Prácticas de manejo del suelo durante periodos de sequía
				Prácticas para prevenir y mitigar derrumbes y deslizamientos
				Frecuencia de derrumbes y deslizamientos
	Estrategias para evitar daños en los sistemas productivos agrícolas por derrumbes y deslizamientos			
	Prácticas de control de erosión hídrica			
	Cambio tecnológico para el manejo del agua para riego	Cambio tecnológico para el manejo del agua para riego		
	Socioeconómico	Agricultor y medioambiente	Percepción del agricultor sobre la importancia del medioambiente en la agricultura	
			Implementación de actividades de conservación y protección del recurso hídrico y del medioambiente	
			Resolución de conflictos por uso del agua	
Político e institucional	Gestión ambiental del agua y los recursos naturales	Número de campañas de educación ambiental		
		Número de capacitaciones en GIRH y manejo del suelo para la agricultura		
		Número de capacitaciones en BPA y manejo de biofábrica		
		Organización comunitaria para la gestión del agua		

Fuente: Loaiza 2011, 25-28.

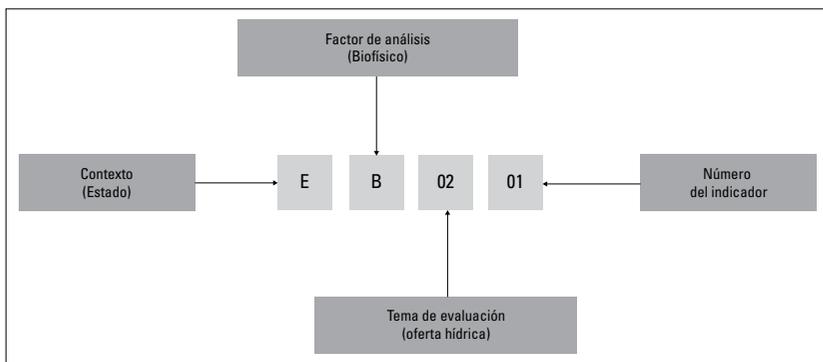


Figura 6. Codificación del caudal medio mensual.
Fuente: elaborado por el grupo de investigación en Ingeniería de Recursos hídricos y Desarrollo de Suelos —en adelante, IREHISA— 2009, 29.

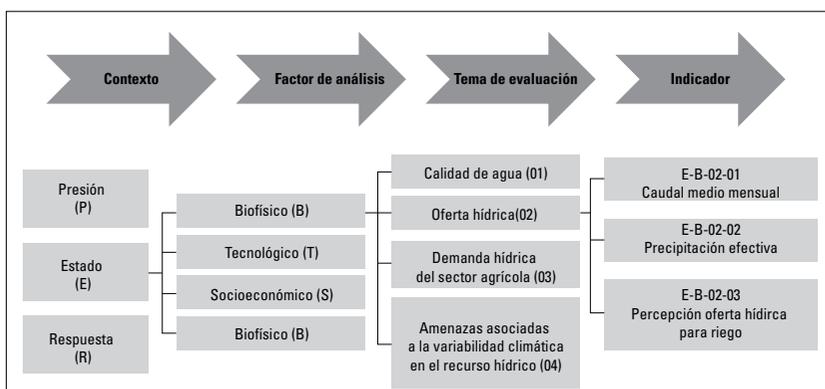


Figura 7. Ejemplo de clasificación de los indicadores del ISRHA.
Fuente: elaborado por IREHISA 2009, 29.

el contexto, el factor de análisis, el tema de evaluación y el número del indicador dentro de la matriz general de indicadores del sistema. Por ejemplo, el código que corresponde al indicador “caudal medio mensual” se muestra en la figura 6.

La figura 7 muestra un ejemplo del procedimiento que se siguió para codificar todos los indicadores asociados al ISRHA.

Conclusiones y recomendaciones

El ISRHA se constituye en una herramienta esencial para la planificación, el manejo y la gestión integrada del recurso hídrico, el cual estaría a disposición de las Corporaciones

Autónomas Regionales para su trabajo a nivel de cuenca, tal y como lo plantea el Decreto 141 del 21 de enero del 2011:

Para la adopción de medidas efectivas y oportunas para conjurar los hechos críticos e impedir la extensión de sus efectos, es indispensable el concurso de las corporaciones autónomas regionales que ejerzan sus funciones dentro de un marco orientado por una visión integral y sistémica de las principales cuencas hidrográficas. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT 2011, 1)

La grave problemática ambiental que hoy padece el país de precipitaciones inusitadas en unas zonas

(Andina, Pacífico y Caribe) y de déficit de lluvias o sequías en otras (Orinoquia y Amazonia) es resultado no solo de fenómenos naturales, sino también de la deforestación, mal uso de los recursos, la falta de medidas de prevención, recuperación, y control de los recursos naturales renovables y no renovables, especialmente, en las cuencas hidrográficas, lo cual acumulado a los prolongados y excesivos períodos de lluvia, genera como consecuencia la calamidad atrás señalada y un impacto de gran magnitud sobre los habitantes de esas zonas y las actividades productivas, el cual es claramente diferenciable por regiones. (MAVDT 2011, 2).

Los deslizamientos, inundaciones y demás desastres ocasionados por el fenómeno de la Niña evidencian que las autoridades ambientales regionales no cuentan con adecuados programas de prevención y control del riesgo; falta coordinación con las demás autoridades competentes; existe una deficiente asistencia técnica y escasos programas de control de erosión, manejo de cauces y reforestación. De haberse emprendido estas acciones de forma adecuada, se habrían evitado o minimizado los desastres y calamidades ocasionados dicho fenómeno climático. El eje fundamental en la prevención de desastres asociados al recurso hídrico es el manejo integral de la cuenca a través de la ejecución de las acciones pertinentes y eficaces para prevenir y evitar su degradación. (MAVDT 2011, 4)

En este escenario, el ISRHA se convierte en una herramienta de gestión integral del recurso hídrico en la medida en que la cuenca es considerada “como unidad de gestión del territorio”. Además, se

considera un eje fundamental en la prevención de desastres asociados al recurso hídrico a través de la identificación de los puntos críticos e ideales en el manejo integral y sostenible de la cuenca. La ubicación de estos puntos permite identificar y planear acciones eficaces y pertinentes que conduzcan a la prevención y la conservación del ambiente y los recursos.

El ISRHA es un instrumento que permite regular las acciones inmediatas y prioritarias para atender la emergencia invernal pues sigue criterios de manejo integral de las cuencas hidrográficas del país. A través del ISRHA es posible fortalecer la capacidad institucional de las autoridades ambientales regionales que administran los recursos

naturales bajo el criterio de cuenca como unidad ideal para la gestión ambiental del territorio.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo humano y económico del proyecto *Estrategias de competitividad y sostenibilidad de sistemas productivos agrícolas en la microcuenca Centella (Dagua-Valle del Cauca)* para el desarrollo de los trabajos de campo y análisis de calidad de agua necesario para el diligenciamiento de los indicadores. Este proyecto fue ejecutado por la alianza interinstitucional conformada por el grupo IREHISA, la corporación BIOTEC y la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad San Buenaventura,

con el apoyo de la Gobernación del Valle del Cauca, en el marco de la estrategia Bioregión Valle del Cauca.

Asimismo, reconocen con gratitud el apoyo del Programa de formación de investigadores *Generación del Bicentenario* del programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores *Virginia Gutiérrez de Pineda* 2009, financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) y al grupo IREHISA de la escuela EIDENAR para la realización del proyecto *Sistema de Monitoreo y Seguimiento del ISRHA – Índice de sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en el sector agrícola. Caso modelo: microcuenca Centella*.

Wilmar Loaiza Cerón

Geógrafo e investigador del Grupo IREHISA (investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos de la Universidad del Valle). Joven investigador e innovador de Colciencias 2010.

Aldemar Reyes Trujillo

Ingeniero Agrícola, especialista en Ingeniería sanitaria y ambiental, M.Sc. en Ingeniería. Actualmente es docente e investigador del grupo IREHISA, Universidad del Valle, Cali.

Yesid Carvajal Escobar

Ingeniero Agrícola, M.Sc. en Suelos y Aguas, MSc. en Hidrología aplicada y Ph.D. Hidráulica y medioambiente. Actualmente es docente investigador del grupo IREHISA, Universidad del Valle, Cali.

Referencias

- Astier, Marta y Omar Masera. 1997. Metodología para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sostenibilidad (MESMIS). *Documento de trabajo 17*: 1-30.
- Castro Bolaño, Marcos. 2002. Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía. <http://www.eumed.net/tesis/jmc/index.htm> (consultado en marzo del 2011).
- Centro Interamericano para el Desarrollo del Conocimiento en la Formación Profesional (CINTERFOR). 2009. Género, formación y trabajo. Monitoreo y Evaluación. http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/temas/gender/eventos/g_de_c/genero.htm (consultado en julio del 2010).
- De Camino, G. R. y Sabine Muller. 1993. Esquema para la definición de indicadores. *Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales* 38: 164-213.
- Espinoza Corrales, Leana y Herman Van De Velde. 2007. *Monitoreo, Seguimiento y Evaluación de Proyectos Sociales Mód. 5, Curso E-DC-5.2*. Nicaragua: Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM) — Estelí, UNAM-Managua y Centro de Investigación, Capacitación y Acción Pedagógica.
- Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Inter-American Institute for Global Change Research, National Science Foundation and Núcleo de Meio Ambiente (NUMA) Universidade Federal de Pará (UFPA). 2008. *Hacia la evaluación de prácticas de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático*. Brasil: NUMA /UFPA. ISBN: 978-85-88998-23-0
- Gallopin Gilberto, Carlos. 1997. Indicators and their use: Information for decision making. En *Sustainability indicators: A report of the project on Indicators of Sustainable Development*. eds. Moldan, B. y Billhartz, S. SCOPE 58: 13-27. United Kingdom: Wiley and Sons Ltd.
- GestioPolis. Quevedo, Yanisleidy. 2007. Los indicadores Presión-Estado-Respuestas (PER) para la medición del desarrollo sostenible. <http://www.gestiopolis.com/otro/indicadores-de-medicion-del-desarrollo-sostenible.htm> (consultado en agosto del 2010)
- González Posso, Andrés. 1996. En la búsqueda de los indicadores ambientales. *ECOFONDO*. 16: s.p.
- IREHISA - Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos. 2009 Modelo conceptual ISRHA- Índice de sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en el sector agrícola. En proyecto *Estrategias de Competitividad y Sostenibilidad de Sistemas Productivos Agrícolas en la Microcuenca La Centella* (Dagua-Valle del Cauca), eds. Wilmar Loaiza y Fajardo, M. P. 171. Colombia: Grupo IREHISA.
- Loaiza, Wilmar. 2011. *Sistema de Monitoreo y Seguimiento del ISRHA – Índice de sostenibilidad del manejo del recurso hídrico en el sector agrícola. Caso modelo: microcuenca Centella*. Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente-EIDENAR, Grupo de Investigación en Ingeniería de recursos hídricos y suelos-IREHISA. Cali: Universidad del Valle.
- Loaiza, Wilmar; Aldemar Reyes y Yesid Carvajal. 2011. *Índice de Sostenibilidad del Recurso Hídrico en el sector Agrícola para la definición de estrategias tecnológicas sostenibles en la microcuenca Centella: Año 2010*. Documento inédito. Cali: Universidad del Valle.
- Masera, Omar, Marta Astier y Santiago López-Ridaura. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS*. Grupo interdisciplinario de Tecnología rural apropiada. México: Mundiprensa.
- Masera, Omar, Marta Astier y Santiago López-Ridaura. 2000. El Marco MESMIS. En *Sustentabilidad y Sistemas Campesinos*. México, D. F.: Mundiprensa
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). 2011. Decreto 141 del 21 de enero de 2011. http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/decreto/dec_0141_210111.pdf (consultado en agosto del 2010)
- Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medioambiente. 2003. Seguimiento, monitoreo y evaluación. Guía minero ambiental de explotación. CME 8: 127-153.
- Organización de Estados Iberoamericanos (OEI). 2008. *Monitoreo e indicadores. Texto de apoyo al proceso de construcción de un Sistema Regional de indicadores sobre Atención y Educación Inicial*. Guatemala: Oficina Nacional en Guatemala.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE/OECD. 1993. Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. *Environment Monographs* 83. Paris: OCDE.
- Orlando, Brett y Richard J. T. Klein. 2000. *Taking an ecosystem approach to climate change adaptation in small island states. Alliance of Small Island States-Workshop on Climate Change Negotiations, Strategy and Management*. 2: s.p.
- Reyes, Aldemar. 2008. *Metodología para la integración social del conocimiento en el marco de las buenas prácticas agrícolas del sector hortifrutícola en cinco municipios del Valle del Cauca*. Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería sanitaria y ambiental, Facultad de ingeniería, Universidad del Valle, Cali.
- Reyes, Aldemar; Fabián Barroso y Yesid Carvajal. 2010. *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.