

Juan Pablo Rodríguez Miranda*
Jorge Antonio Serna Mosquera**
Juan Manuel Sánchez Céspedes***
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos

Indices of quality surface water bodies in the planning of water resources

Índices de qualidade em corpos de água superficiais na planejamento de recursos hídricos

Resumen

Este artículo considera una revisión de la literatura de los principales métodos de índices de calidad del agua aplicados en cuerpos de aguas superficiales, propuestos para la evaluación de la significancia de parámetros de calidad del agua en la evaluación de las corrientes hídricas superficiales y que usualmente son utilizados en la toma de decisiones para la intervención de medidas de prevención y estrategias por los responsables de la

***Ingeniero electrónico. Especialista en Teleinformática. Magister en Administración. Profesor asistente. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: jmsanchezc@udistrital.edu.co.

conservación y preservación de las cuencas hidrográficas a donde pertenecen estos cuerpos de agua. Se aplicó una metodología exploratoria para concretar la conceptualización de cada índice. Como resultado, se observa que existen varios métodos relevantes para su determinación, aplicados en los cuerpos de agua superficial.

Palabras clave: agua superficial, gestión integral, índices de calidad del agua, planificación.

Abstract

This paper considers a review of the literature major and significant methods of quality indices of water applied in surface water bodies, used and proposed for assessing the significance of parameters of water quality in the assessment of surface water currents and they are usually used in

Fecha de recepción del artículo: 9 de enero de 2016
Fecha de aceptación del artículo: 18 de julio de 2016
DOI: <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v8i1.306>

*Ingeniero sanitario y ambiental. Magister en Ingeniería Ambiental. Magister en Gestión y Evaluación Ambiental. PhD (c) en Ingeniería. Profesor asociado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: jprodriguez@udistrital.edu.co.

**Químico. Magister (c) en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente, Universidad de Manizales, Colombia. Correo Electrónico: jsernamosquera@yahoo.

making decisions for intervention and strategic prevention measures for those responsible for the conservation and preservation of watersheds where these water bodies belong. An exploratory methodology was applied to realize the conceptualization of each water quality index. As a result, it is observed that there are several important methods for determining the water quality index applied in surface water bodies.

Keywords: integrated management, planning, quality indices, surface water.

Introducción

La planificación en el orden de la dimensión ambiental plantea un conocimiento cualitativo y cuantitativo de la composición misma del ecosistema y una racionalidad como el uso eficiente de los recursos, en términos de las potencialidades, limitaciones y características del medio como base del funcionamiento del sistema natural (Wernes, 1995), con lo cual se pueden tomar decisiones en forma colectiva de actores vinculantes sobre el ambiente, para que no ocurran daños inaceptables y exista un desarrollo sustentable global del territorio, en un marco referencial que establece lineamientos y medidas concretas de intervención (Leitmann J., 1999; Millar D., 2005; Sheila S., 2004; Rivas, 2002). Para el ordenamiento de un territorio, la inclusión de la variable ambiental representa garantizar en el tiempo la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables y no renovables, así como de los servicios ambientales disponibles. Por lo tanto, tener una política ambiental se establece como un vector de sostenibilidad ambiental del territorio; dentro de esta, la planificación ambiental coadyuva a las estrategias mismas del ordenamiento de un sistema deseado, lógico y flexible, es decir, un instrumento para orientar acciones y criterios en materia del manejo o del uso sostenible del territorio (Vega, 2002; Wernes, 1995) y de construcción de espacios, sujetos y territorios de manera simultánea.

De otro lado, el ordenamiento ambiental sectorial indica la racionalidad de la inversión sectorial según el criterio de sostenibilidad ambiental, sobre todo en sectores de alta incidencia ambiental en el desarrollo de sus actividades (Vega, 2001).

También es importante mencionar que existen otros instrumentos, como el Plan Estratégico de Gestión Ambiental (políticas y estrategias ambientales para ser desarrolladas en cada jurisdicción territorial, el cual tiene tres elementos básicos: diagnóstico ambiental territorial, soluciones estratégicas y mecanismos de seguimiento y evaluación) y el Plan de Acción Ambiental (instrumento operativo de compromiso y ejecución ambiental de las soluciones estratégicas, el cual tiene tres elementos básicos: diagnóstico ambiental territorial, soluciones estratégicas y mecanismos de seguimiento y evaluación). De acuerdo con lo anterior, debe presentarse un proceso de articulación y armonización entre el ordenamiento ambiental territorial, planes de desarrollo nacional, departamental, municipal (de forma directa, no tangencial), planes de gestión ambiental regionales, planes de acción trienal y la planificación ambiental, de orden estratégico en el ámbito territorial, sectorial y ambiental, conociendo la caracterización sociocultural, económica y biofísica. Es especial esta última para determinar potencialidades a partir de la línea base de los recursos naturales, la presión (por uso y deterioro) de los actores y el balance de la oferta-demanda de los recursos (criterios técnicos, estándares, regulación vigente) (Vega, 2001; Ortega, 1994).

Actualmente, los cuerpos de agua superficiales, en su gran mayoría, presentan una alteración en su calidad misma (Thi M, 2011; Pedraza, 2016) por todas las descargas que reciben de las actividades domésticas e industriales, que influyen de una manera en la salud humana y en aspectos socioeconómicos de las poblaciones adyacentes (Flores J, 2013). Sin embargo, una de las dificultades en la planificación de los cuerpos de agua en las cuencas ha sido la poca aplicabilidad de los índices de calidad del agua en los procesos de toma de decisiones (Damo R, 2013). El problema socioambiental que genera la escasez del agua es muy crítico, a tal punto que muchas de las poblaciones pueden desaparecer; por eso se hace necesario que las autoridades ambientales desarrollen políticas para mejorar la calidad del agua según el uso que se le vaya a dar y para garantizar el abastecimiento del líquido a fin de evitar riesgos sanitarios y ambientales (Mostafaei

A, 2014). En consecuencia, el objetivo de este artículo es revisar las metodologías relevantes de los índices de calidad del agua para la toma de decisiones y por ende la implementación de políticas públicas para la preservación y conservación de los recursos hídricos.

Materiales y métodos

La investigación aplicada fue de tipo exploratorio, debido a que se indagó sobre los índices de calidad del agua, por lo que se pudo precisar, identificar y delimitar aspectos de comprensión, sinergias y delimitación del tema analizado (Hurtado, 2000). Además, según el tiempo de ocurrencia de los hechos y el registro de la información relacionada con el tema de estudio, el tipo de investigación aplicado también fue considerado como retrospectivo, porque permitió alcanzar conocimientos fundamentales del tema (Vergel, 2010; Martínez, Vergel y Zafra, 2015). La información recolectada (estudio de literatura especializada) fue categorizada y clasificada según la estructura y la correlación existente entre los índices de calidad del agua y los modelos aplicados en cuerpos de agua superficial.

Desarrollo

La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) inició con la conferencia de las Naciones Unidas (ONU) sobre el ambiente humano en Estocolmo en 1972; en 1992 en la cumbre de la ONU en Río, reforzó el concepto mediante la agenda 21 (Meire, 2008; Porto, 2008; Coelho, 2010; Xie, 2010; Dukhovny, 2005). Un enfoque de la gestión integrada de los recursos hídricos (finitos) es administrarlos y desarrollarlos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales que reconocen los diferentes grupos de interés que compiten entre sí, los sectores que usan y abusan del agua y las necesidades del ambiente (GWP, 2009), que, además, incluye posible efectos futuros y adaptación al cambio climático (García M., 2012). Esta gestión tiene una función importante en el ámbito ecológico, en la salud pública, en los impactos socioeconómicos y de contaminación y en los mecanismos de comando y control. En esencia, la GIRH no es un producto, sino un proceso por medio del cual factores sociales,

económicos y ecológicos se enlazan para permitir la toma de decisiones a todos los niveles dentro de la planificación global. En algunos casos se excluye el análisis de factores endógenos y exógenos y tampoco se proporciona un modelo específico para un problema de gestión del agua. Es un proceso que sirve para la evaluación del programa mismo y además es un conjunto de principios y lineamientos que pueden adaptarse al contexto de la región y de la cuenca que se va a intervenir (Safavi, 2015; Schreider, 2011).

Además de lo anterior, sirve para la planificación y el manejo integral de cuencas hidrográficas, dentro del marco estructural y funcional, el cual delimita los procesos de flujo, transformaciones y aspectos espaciotemporales (desarrollados potencialmente en el ecosistema), dentro de la unidad funcional denominada cuenca hidrográfica (área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que a su vez puede desembocar en un río principal). Siendo esta una unidad estructural delimitada por la ecológica regional, permite evolucionar en un sistema integrador regional, en aspectos biofísicos y socioculturales, es decir, en una unidad explicativa mejor del ordenamiento territorial, aprovechando al máximo la información disponible y el potencial biofísico, económico, tecnológico y sociocultural (Vega, 2001; Ortega, 1994).

En ese sentido, la planificación del recurso hídrico es un proceso dinámico interactivo y complejo para la prevención de conflictos entre usuarios, entre jurisdicciones, entre intereses de las sucesivas generaciones, para la prevención de situaciones de emergencia relacionadas con excesos o faltantes de agua, para proteger y promover el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas, en la búsqueda del equilibrio en el medio y el aprovechamiento de los recursos hídricos necesarios para el desarrollo sostenible y, además, para la prevención de procesos de contaminación y degradación ambiental que pueden ser irreversibles (Schreider, 2011).

Así, una herramienta para la toma de decisiones en la planificación ambiental de los cuerpos de aguas

superficiales son los Índices de Calidad de Agua (ICA), que fueron propuestos inicialmente por Horton en 1965 (García Q., 2012). A partir de los años setenta, estos índices adquieren importancia en la evaluación del recurso hídrico, con uso cada vez más frecuente para identificar las tendencias integradas a cambios de la calidad del agua (Torres P., 2010). Muchos países a nivel mundial han desarrollado diferentes ICA que permiten evaluar la calidad del mencionado líquido mediante un modelo sistemático que puede incorporar los componentes principales de un sistema sustentable. El uso sustentable del agua se define como *"el uso de agua que permite sostener a una sociedad para que perdure y se desarrolle en un futuro indefinido sin alterar la integridad del ciclo hidrológico y de los ecosistemas que dependen de él"*. El seguimiento de la sostenibilidad del uso del agua es fundamental para orientar la gestión pública y privada de tal recurso, para garantizar su suministro y sostenibilidad (Cervera L., 2007).

El propósito de utilizar el ICA como un indicador se da porque la calidad del agua entendida como la condición del agua de establecer presencia o ausencia de su externalidad o contaminación involucra las acciones de valoración y monitoreo para determinar su calidad. La oferta hídrica neta hace referencia al agua que emplea el hombre en agricultura, industria, consumo doméstico, recreación o bienes y servicios (Samboní, 2011; Vergel, Martínez, Zafra, 2016). Esta oferta se ve cada día más afectada por las actividades humanas, disminuyendo su suministro.

La determinación de la calidad de un cuerpo de agua usualmente se lleva a cabo por medio del análisis de una cantidad numerosa de indicadores, expresados en diferentes rangos, distintas unidades y distinto comportamiento en términos de su relación concentración-impacto (Samboní, 2011). Usualmente se hace por medio del análisis de una buena cantidad de indicadores que normalmente se expresan en rangos y unidades, y tienen diferente comportamiento en términos de su relación concentración-impacto (Damo, 2013).

En la literatura se han encontrado diversos trabajos acerca de los índices de calidad de agua (Torres, 2009) en los que se comparan sus ventajas y las

limitaciones, además de su evolución. Los intentos para construir un índice que permita calificar la calidad del agua tienen bastante historia. Existe información de que en Alemania en 1848 ya se trataba de relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua (Benez, 2010).

Metodologías relevantes

De manera general, los ICA se pueden clasificar en (Calvo-Brenes G., 2013; Coelho, 2010; Flores J., 2013; Dukhovny, 2005; Pedraza, 2016) grupo uno, que se aplica a tensores e incluye dos categorías: los indicadores en la fuente, que reportan la calidad del agua generada por tensores en fuentes discretas, y los indicadores en un punto diferente a la fuente, que reportan la calidad del agua generada por fuentes difusas. Grupo dos: mide la capacidad de estrés e incluye cuatro categorías: medidas simples como indicadores (incluyen muchos atributos y componentes individuales del agua, que pueden ser usados como indicadores de su calidad); indicadores basados en criterios o estándares (correlacionan las medidas de calidad de agua con los niveles estándar o normales que han sido determinados para la preservación y usos adecuados del agua); índices multiparámetro (determinados por las opiniones colectivas o individuales de expertos) y los índices multiparámetro empíricos, establecidos por el uso de las propiedades estadísticas de las mediciones de calidad del agua. Grupo tres: incluye la categoría única de indicadores para lagos, específicamente desarrollados para este tipo de sistemas. Grupo cuatro: incluye categorías como indicadores de la vida acuática, basados en las diferentes relaciones de tolerancia de la biótica acuática a varios contaminantes y condiciones; indicadores del uso del agua, que evalúan la compatibilidad del agua con usos como abastecimientos y agricultura; indicadores basados en la percepción, los cuales se determinan por las opiniones del público y los usos de los cuerpos de agua.

Las ecuaciones típicas en la determinación de ICA son las siguientes (Xie, 2010; Torres, 2009; Coelho, 2010):

$$- \text{Promedio no ponderado } ICA = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n q_i$$

- Promedio aritmético ponderado $ICA = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n q_i w_i$
- Promedio geométrico no ponderado $ICA = (\prod_{i=1}^n q_i)^{1/n}$
- Promedio geométrico ponderado $ICA = (\prod_{i=1}^n q_i)^w$
- Subíndice mínimo $ICA = \text{minimo}(q_1, q_2, \dots, q_n)$
- Subíndice máximo $ICA = \text{maximo}(q_1, q_2, \dots, q_n)$
- Promedio no ponderado modificado $ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$
- Promedio ponderado modificado $ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2$

Donde ICA es el índice de calidad del agua; n es el número de parámetros; q_i es la escala de calidad; y w_i es el factor de ponderación.

También se puede mencionar que Horton ha propuesto un ICA para estimar patrones o condiciones de la contaminación del recurso hídrico, incluyendo diez variables (oxígeno disuelto, coliformes, pH, conductividad, alcalinidad, cloruros, temperatura, entre otras) para revelar cambios físicos y químicos ocurridos a la calidad de la corriente de agua (Castro, 2014; Ott, 1978; Rodríguez, 1997). La Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) estableció un ICA basado en el índice de Horton considerando la fuente de captación para su destinación a consumo humano, incluyendo los analitos y una cualificación y cuantificación. Este índice ha sido adaptado en diferentes estudios (Castro, 2014; Walsh, 2012). El Departamento de Calidad Ambiental de Oregon (USA) creó el ICA de Oregon, analizando un grupo definido de variables de calidad del agua, produciendo un valor general de la calidad del agua para los ríos y corrientes, especialmente diseñado para permitir la comparación de calidad del agua entre diferentes tramos del mismo río o entre cuencas (Castro, 2014; Cude, 2001).

Hay otros ICA, como el de Dinius –aplicado a varios arroyos en Alabama (USA), con nueve

variables, complementado a su vez con el método Delphi para toma de decisiones en la cuenca hídrica– y el UWQI –específico para corrientes, con doce parámetros–, el índice universal de la calidad del agua desarrollado en España por el Ministerio de Obras Públicas (Castro, 2014; Bharti, 2011; Beamonte, 2004).

Uno de los índices para medir la calidad de aguas superficiales es el “*índice holandés de Valoración de la calidad para los cuerpos de agua superficiales*”. Se basa en la obtención de un puntaje de acuerdo con varios parámetros analizados: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el oxígeno disuelto (OD) y el nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) (Calvo-Brenes G., 2013).

Los índices de calidad de agua, históricamente han sido una herramienta importante para el control de la contaminación de los cuerpos de agua. Hacia la última década del siglo xx se dan importantes avances en su aplicación en las distintas entidades gubernamentales encargadas de hacer seguimiento y control al recurso hídrico, con el fin de conocer inicialmente el efecto de la cantidad de carga orgánica como contaminante principal (Del Saz S., 2011). A medida que se tiene un avance en los procesos industriales entre los años sesenta y setenta, en los que se desarrollan y emplean nuevas sustancias químicas en los países industrializados, los índices de calidad de agua van teniendo mayor relevancia como medida del estado de contaminación del recurso hídrico en los diferentes países (Brenes G., 2012).

En Colombia se han desarrollado algunos indicadores ICA ajustados para las condiciones de los ríos en el país, complementados con un análisis de sus componentes principales, como el índice de contaminación por mineralización (Icomi), el índice de contaminación por materia orgánica (Icomo), el índice de contaminación por sólidos suspendidos (Icosus) y el índice de contaminación trófico (Icotro) (Castro, 2014).

Ventajas de los ICA

Los ICA proporcionan información importante sobre el estado del recurso hídrico para la toma de decisiones de la autoridad ambiental; son útiles en la evaluación de la calidad del agua para

diferentes aplicaciones; facilitan la interpretación de la información a las personas; y permiten mostrar la evaluación de la variación espaciotemporal de la calidad del agua (Calvo-Brenes G, 2013).

Limitaciones de los ICA

Los datos se presentan de manera resumida; la información que suministran no es muy detallada sobre la calidad del agua; no pueden evaluar todos los riesgos o niveles de contaminación del agua; pueden ser subjetivos y sesgados; se aplican de acuerdo con las condiciones ambientales de cada país (Torres, 2009).

Aplicabilidad de los ICA en diferentes escenarios

Los índices pueden ser usados para mejorar o aumentar la información de la calidad del agua y su difusión comunicativa; sin embargo, no pretenden reemplazar los medios de transmisión de la información existente. De acuerdo con Ott, W. (1978), los posibles usos de los índices son (Torres, 2009; Dukhovny, 2005; Millar, 2005) manejo del recurso: Los índices pueden proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso; clasificación de áreas: Los índices son usados para comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas; aplicación de la normativa: En situaciones específicas y de interés, es posible determinar si se están sobrepasando la normativa ambiental y las políticas existentes; información pública: En este sentido, los índices pueden tener utilidad en acciones de concientización y educación ambiental; investigación científica: Tiene el propósito de simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales.

Escenarios de construcción de ICA

La construcción de un índice de calidad de agua se basa en cinco etapas fundamentales: se hace selección de parámetros de distintas categorías de

clasificación ambiental; se realizan curvas de calidad de cada parámetro; se obtienen los pesos relativos de cada parámetro; se adicionan los parámetros a una expresión matemática; y se definen los rangos de calidad que se van a manejar (Fierro, p. 2012).

Índices de calidad del agua, la gestión ambiental y planificación ambiental

Aunque la información que se obtiene a partir de los índices de calidad de agua puede ser subjetiva y sesgada, es una herramienta importante en la gestión ambiental del recurso hídrico, permite a las autoridades ambientales priorizar actividades de conservación y recuperación de los ríos y destinar el dinero necesarios para su fin (Figueroa R., 2003). También desde la construcción de un estado deseado de una cuenca hidrográfica, los ICA son una herramienta para la toma de decisiones estratégicas en términos de la incorporación de aspectos de control de la contaminación y evaluación constante de los usos del agua en los cuerpos de agua, en el área circundante a la cuenca hidrográfica.

Índices de calidad de agua y la política ambiental

La política ambiental está ligada a la conservación de los recursos hídricos en cada país, para lo cual los índices de calidad del agua proporcionan valiosa información para la toma de decisiones de las autoridades, así como para generar planes de contingencia para la recuperación de estas fuentes de agua (si se encuentran contaminadas) o conservarlas si es necesario (Gallego J., 2010).

Índices de calidad del agua y el desarrollo sustentable

Pensando en las futuras generaciones, el desarrollo sustentable de los recursos hídricos es de suma importancia, ya que alrededor de estos se desarrolla la mayoría de las actividades de todos los seres vivos, necesarias para cumplir sus funciones vitales (el 70-80% de la masa corporal de una persona u organismo es agua) (Giacometti J., 2006). Es deber de las autoridades ambientales y sanitarias tomar las medidas necesarias para evitar focos de contaminación que generen epidemias

por la presencia de vectores u organismos no deseados en los acuíferos. Los índices de calidad del agua dan una idea de estos contaminantes, y ese deber incluye que al menos se cumpla con la normatividad vigente (González M., 2012).

Conclusiones

Es importante considerar que los índices de calidad del agua son herramienta funcional en la planificación de las cuencas hidrográficas en materia de calidad; pueden ser utilizados en la clasificación de áreas y usos del agua, en el desarrollo sustentable, en la política ambiental, en la gestión ambiental, en el manejo del recurso y en el desarrollo de la investigación científica. Los países de Suramérica han adaptado estos índices de calidad a las condiciones ambientales de sus ecosistemas para la valoración y evaluación de la calidad del agua superficial.

Referencias bibliográficas

- Beamonte, E. (2004). Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la comunidad valenciana. *Estadística española*, 46(156), 357-384.
- Benez, C. (2010). Benez, M. C., Kauffer Michel, E. F. *Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico*, Chiapas. Chiapas, México: Frontera norte, 22(43), 129-158.
- Bharti, K. (2011). Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(1), 154-173.
- Brenes G. (2012). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Tecnología en Marcha*, 25(5), 37-42.
- Calvo-Brenes G. (2013). Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 26(2), 9-12.
- Castro, M. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*. 10(17). 111-124.
- Cervera L. (2007). *Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua*. México: Estudios Fronterizos.
- Coelho, M. (2010). *Multicriteria Decision Support System to Delineate Water Resources Planning and Management Regions*. Colorado: Colorado State University.
- Cude, C. (2001). *The Oregon Water Quality Index (owqi) a communicator of water quality information*. USA: Oregon - USA.
- Damo R. (2013). Damo, R., & Icka, P. (2013). Evaluation of Water Quality Index for Drinking Water. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4), 1045-1051.
- Del Saz S. (2011). Estimación del valor económico de la calidad del agua de un río mediante una doble aproximación: una aplicación de los principios económicos de la Directiva Marco del Agua. *Agricultural and Resource Economics*, 9(1), 37-63.
- Fierro, P. (2012). Ensamble de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua a través de la aplicación de un índice biótico modificado en un contexto espacio-estacional en una cuenca costera del sur de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 47, 23-33.
- Figueroa, R. (2003). Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., & Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 76(2), 275-285.
- Flores, J. (2013). Propuesta de índice de calidad de agua residual utilizando un modelo aritmético ponderado. *Interciencia*, 38(2), 145-149.
- Gallego J. (2010). Modelación índices de calidad de agua (ICA). *Gestión y Ambiente*, 13(2), 7-24.
- García, Q. (2012). *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile. Tesis para optar al título de ingeniero civil*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

García, M. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 60-64.

Giacometti, J. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico*, 6, 17-32.

González, M. (2012). Enfoque actual sobre la calidad microbiológica del agua de hemodiálisis, 451-462. *Revista Cubana de Salud Pública*, 38(3), 451-462.

GWP. (2009). *Manual para la gestión integrada de los recursos hídricos en cuencas*. Londres UK: Global Water Partnership.

Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Caracas: Fundación SYPAL.

Martínez Lozano, J., Vergel Ortega, M., & Zafra Trisancho, S. (2015). Validez de instrumento para medir la calidad de vida en la juventud: VIHDA. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 7(1), 20-28. Recuperado de <http://revistalogos.policia.edu.co/index.php/rlct/article/view/2016>

Meire, P. (2008). Towards integrated water management. *Earth and Environmental Sciences*.

Millar, D. (2005). Urban Environmental Planning: Policies Instruments And Methods In An International Perspective. UK.

Mostafaei A. (2014). Application of Multivariate Statistical Methods and Water-Quality Index to Evaluation of Water Quality in the Kashkan River. *Environmental Management*, (4), 865-875.

Pedraza, E. (2016). Variables más influyentes en la calidad del agua del río Bogotá mediante análisis de datos. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, Volumen 7. Enero-junio. 35-43.

Porto, M. (2008). Gestao de bacias hidrograficas. *Estudos Avancados*, 43-60.

Rivas, M. (2002). La planificación ambiental estratégica en los instrumentos de ordenamiento territorial. Caso de estudio: el Plan Regulador

Intercomunal del Alto Aconcagua (PRIAA). Provincias de San Felipe y Los Andes, V región, Valparaíso, Chile. *Revista Proyección* N° 2. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo, 32 - 44.

Rodríguez, E. (1997). *Aplicación de un Índice de Calidad Acuática en Cuerpos de agua en Tabasco*, México. Lima: CEPIS.

Safavi, H. (2015). Expert knowledge based modeling for integrated water resources planning and management in the Zayandehrud River Basin. *Journal of Hydrology*, 7(1)773-789.

Samboní, N. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Revista de Ingeniería y Competividad*, 13, pp. 49-60.

Schreider, M. (2011). *La gestión integrada de los recursos hídricos: el aporte de la Universidad a su proceso de construcción*. Argentina: Centro de Estudios y Tecnología del Agua.

Thi M. (2011). Development of Water Quality Indexes to Identify Pollutants in Vietnam's Surface Water. *Journal of Environmental Engineering*, 137(4), 273-283, 273-283. doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000314.

Torres. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías*, 8(15), 79-94.

Torres P. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95.

Vega, L. (2001). *Gestión ambiental sistémica*. Bogotá: Sigma Ltda.

Vega, L. (2002). *Políticas públicas hacia el desarrollo sostenible y política ambiental hacia la sostenibilidad ambiental del desarrollo 1*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Vergel Ortega, M., Martínez Lozano, J., & Zafra Trisancho, S. (2017). Cultivo de cebolla y su comportamiento en la provincia de ocaña. *Revista*

Colombiana de Ciencias Hortícolas, 10(2), 333-344.
doi:<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.5070>

Vergel G. (2010). *Metodología. Un manual para la elaboración de diseños y proyectos de investigación. Compilación y ampliación temática*. Barranquilla: Publicaciones Corporación Unicosta.

Walsh, P. (2012). *Water Quality Index Aggregation and cost benefit analysis*. USA: National Center for Environmental Economics.

Wernes, G. (1995). *Ordenamiento territorial y planificación ambiental en Chile*. Alemania: Integration Environment & Energy / Ecodec.

Xie, M. (2010). *Integrated water resources management (IWRM) – introduction to principles and practices*. Nairobi: Africa Regional Workshop on IWRM.