

Desarrollo de un APP para el cálculo y graficación del Índice de Calidad del Agua (ICA): ICAGua

An APP to manage the calculation and graphing of the Water Quality Index (ICA): ICAGua

Fredys A. Simanca H. Ingeniero de Sistemas
Universidad Cooperativa de Colombia
Bogotá, Colombia
Fredyssimanca@campusucc.edu.co

Jaime A. Paez. Ingeniero de Sistemas
Universidad Cooperativa de Colombia
Bogotá, Colombia
jaime.paez@campusucc.edu.co

Jairo A. Cortés. Ingeniero de Sistemas
Universidad Cooperativa de Colombia
Bogotá, Colombia
jairo.cortes@campusucc.edu.co

José V. Palacio. Ingeniero de Sistemas
Universidad Cooperativa de Colombia
Bogotá, Colombia
jose.palacio@campusucc.edu.co

Resumen — Los recursos hídricos abarcan todo aquello que está vinculado al agua y que existe en la tierra, se estima que aproximadamente el 71% de la superficie terrestre está cubierta de agua, de este 71%, el 97% es agua salada, lo que nos lleva a afirmar que una de las grandes dificultades que enfrenta la humanidad es la disponibilidad/cantidad de agua dulce. De aquí la importancia de preservar y utilizar de una manera adecuada el agua dulce que existe en la tierra. En el presente artículo se discute el diseño y desarrollo de un APP en Android Studio que mediante el cargue de las mediciones del Índice de Calidad del Agua (ICA), en un caudal determinado, permite hacer el cálculo del ICA. La herramienta desarrollada permite ser alimentada con datos de los afluentes y calcular el ICA, dato fundamental para la toma de decisiones en los organismos encargados de vigilar el buen uso y conservación del agua.

Palabras Clave – Índice de calidad del agua; ICA; APP; IDEAM; programación móvil.

Abstract — Water resources is everything that is linked to water and that exists in the earth, it is estimated that approximately 71% of the earth's surface is covered with water, of this 71%, 97% is salt water, which leads us to affirm that one of the great difficulties that humanity faces is the amount of fresh water. Hence, the importance of preserving and using in an adequate way the fresh water that exists in the earth. In the present article the design and development of an APP in Android Studio is socialized, which by loading the Water Quality Index (ICA) measurements, at a given flow rate, allows the calculation of the ICA. The tool developed can be fed with data from the tributaries and calculate the ICA, a key data for decision-making in the bodies responsible for monitoring the proper use and conservation of water.

Keywords - Water quality index; ICA; APP; mobile programming.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones actuales y esto debido al cambio climático, es la conservación de los recursos naturales, en especial el recurso del agua; en Colombia la amenaza se relaciona con la disminución de las fuentes de agua provenientes de los ecosistemas de páramo y con el retroceso de los glaciares de alta montaña debido al deshielo [1] esta razón ha motivado que se lleven a cabo proyectos orientados al desarrollo de software para medir ¿cómo el ser humano ha impactado estos recursos? [2] La calidad del agua es un tema que ha sido estudiado y experimentado por múltiples autores permitiendo establecer unos protocolos de valoración de la calidad del agua como sigue [3]; primero establecer una estrategia de monitoreo, luego hacer un muestreo, realizar tratamiento en laboratorio; posterior analizar los datos para generar un buen informe correspondiente.

En el mundo existen diferentes formas de establecer los índices de calidad del agua – ICA, el indicador se puede calcular con un conjunto diferente de variables y medidas, cuya cantidad y tipo depende de la disponibilidad de datos, de las diferentes presiones contaminantes a las cuales están sometidos los diferentes cuerpos de agua y del tipo de cuerpo de agua [4].

En Ecuador, por ejemplo, la metodología para el cálculo del ICA la determina la Fundación Nacional de Saneamiento – NSF donde los indicadores varían a lo largo del recorrido del río, utilizándose igualmente variables que permiten determinar las zonas más afectadas [5].

En Colombia, el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudiantes Ambientales – IDEAM, establece los diversos estudios sobre el clima y las fuentes hídricas, igualmente se

hace una subdivisión por departamentos donde funcionan las corporaciones autónomas regionales que permiten caracterizar y modelar diversas fuentes del medio ambiente, como por ejemplo el caso del río Cauca denominado Icauca que considera diez variables para el cálculo del índice del agua [6] [7].

Para el caso de la India se realizan varios estudios sobre todo en el río Gomati en Lucknow, donde este se ve afectado por las aguas residuales cada vez que el río crece, ellos igualmente aplican el ICA como método mundial para establecer la calidad del agua [8]. Para el caso colombiano, se ha medido desde 2005, en las corrientes superficiales, un conjunto de cinco variables, a saber: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH total.

A partir de 2009, en las estaciones de la Red se ha medido adicionalmente nitrógeno total y fósforo total [9]. En la siguiente formula tomado de la hoja metodológica del ICA-IDEAM, se calcula el ICA así:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right) \quad (1)$$

Donde ICA_{njt} es el índice de calidad del agua evaluado con n variables en un tiempo t y una calidad de agua j . W es un peso asignado a cada variable de calidad i , I es el valor calculado de i , estación de monitoreo j , en un trimestre k y en un determinado periodo de tiempo t [9].

El número de variables y ponderaciones se pueden resumir en la tabla 1.

TABLA 1
VARIABLES MODELO CON PONDERACIÓN VARIABLE

Variable	Unidad	Ponderación
Oxígeno disuelto - OD	% Saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,17
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,17
NT/PT	-	0,17
Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0,17
pH	Unidades de pH	0,17

Fuente: Formato Común Hoja Metodológica – ICA – IDEAM

Como referencia del estudio realizado se tomaron las ponderaciones establecidas para el análisis de 7 variables (Oxígeno disuelto – OD, Sólidos suspendidos totales – SST, Demanda química de oxígeno – DQO, Conductividad eléctrica - C.E., pH) y han servido para el cálculo del ICA mediante el desarrollo del software que hace parte de la investigación.

La pregunta de investigación que se planteó fue ¿Cuál sería el diseño de software que determine las funciones apropiadas para determinar el cálculo del Índice de Calidad del Agua – ICA?, con el objeto de apoyar la descontaminación del río Bogotá?, para responder a esta pregunta se planteó la posibilidad de diseño de software que determine las funciones apropiadas para determinar el cálculo del Índice de Calidad del Agua – ICA, ya que este tipo de aplicativos no existen actualmente ajustados al contexto colombiano.

Con este interrogante se realizaron varios estudios sobre las funcionalidades y diferencias que existen en diferentes modelos a nivel mundial de la forma que se establecen los indicadores de medición para determinar la calidad del agua en diferentes ubicaciones.

El objetivo asociado a esta investigación se plantea en diseñar un producto de software sobre funciones para el cálculo del ICA propuesto por el IDEAM. El software desarrollado se parametrizará de tal forma que se pueda incorporar historias de valores de diversos años, realizar comparativos y producir la información gráfica requerida para el análisis y toma de decisiones en términos de los procedimientos que se deben seguir para el tratamiento de las aguas que permitan garantizar su calidad en el tiempo [10].

La contribución científica para medir el índice de calidad del agua es diseñar una herramienta que calcule por medio de las variables expuestas anteriormente, aplicando la formula del ICA-IDEAM, ya que las herramientas existentes están diseñadas con variables y mediciones a nivel internacional, por lo cual no existe un modelo a nivel nacional que permitan aplicar las variables necesarias para dar un cálculo más preciso en los resultados.

Este artículo, muestra cómo se desarrolló el APP ICAGua, el cual se validó posteriormente con datos recolectados del río Bogotá, la base de datos cuenta con un total de 32.952 mediciones. El APP realiza mediciones del ICA por Periodo, comparativo por periodo, gráfica por periodo, gráfica comparativa por periodo, gráfica del ICA anual y gráfica del ICA anual comparativa. El trabajo se organiza como sigue: en la sección II (Materiales y Métodos), se explica cómo se ha estudiado el problema, y se describe el proceso de análisis, diseño, desarrollo e implementación de la solución, luego en la sección III (Resultados y Discusión), se presentan los resultados encontrados en la prueba realizada con los datos que se encuentran en la base de datos y finalmente se establecen las conclusiones alcanzadas en el desarrollo y posterior prueba del software.

Estado del arte

Existen innumerables investigaciones a nivel mundial que han trabajado el ICA y los índices de contaminación del agua – ICA [11] [12], en el estudio realizado por [13] se muestra cómo han evolucionado estos índices y las metodologías asociadas para su aplicación e implementación. La importancia que han tenido estos índices conllevan a la unificación de metodologías para su cálculo y aplicación, es así como desde 1965 se viene perfeccionando, hasta consolidar alrededor de 30 índices a nivel global [14], pero en Colombia la falta de recolección de información sobre muestras de los ríos en diferentes puntos desde su nacimiento hasta las desembocaduras. La información que existe no se estandariza ni se sistematiza perdiéndose la oportunidad de tratar estos datos y que sirvan como insumo para la toma de decisiones, en lo que respecta a planes que permitan controlar y descontaminar gran parte de los afluentes colombianos.

Los productos de software para generar el ICA son variados en el mundo, aunque miden la contaminación del agua de la misma forma [15]: analizan los datos en distintos periodos de tiempo, tomados en diferentes posiciones de las cuencas de los ríos. Con base en la toma de los datos los diferentes departamentos gubernamentales han establecido sus índices de

calidad del agua dependiendo de los niveles de contaminación y toxicidad del agua. El Software QUALIDEX fue diseñado en la India en Visual C++ y utilizando como base de datos Microsoft Access, el software posee módulos de diferentes índices de calidad del agua, así como todo un proceso de comparación de los mismos para los procesos de evaluación, al igual que productos de software como el mencionado existen en diversos países para controlar los niveles de contaminación de sus sistemas hídricos.

Por otra parte, en China se han generado estudios para evaluar la calidad del agua utilizando software algorítmico basado en aprendizaje de máquina [16], este producto de software está basado en los ICA, sensores remotos e índices especiales mostrando datos comparativos y generando estimaciones de ICA, es bastante interesante pero difícil de implementar en países que no tengan las tecnologías adecuadas y no contempla las variables que se utilizan en el modelo de medición del ICA en el caso de la cuenca del río Bogotá.

LG Sonic ha desarrollado un software de Monitoreo de la Calidad del Agua en tiempo real llamado MPC-View [17], este es un sistema que usa una boya flotante que mide los indicadores esenciales de las algas y los parámetros del agua, y estos datos pueden ser visualizados en tiempo real en la herramienta desarrollada

En Colombia no existen productos de software de este tipo, aunque hay propuestas de sistemas expertos para la reutilización de aguas residuales tratadas [18] basado en la lógica difusa para apoyar la toma de decisiones, pero más a nivel doméstico, por lo que la presente investigación presenta un modelo de datos que permitió generar varias relaciones que logran que el software fuera más flexible y accesado por usuarios previamente autorizados.

En los análisis y consultas realizadas, no son frecuentes los productos de software que se desarrollen como soporte para realizar análisis sobre los datos y tomar decisiones. El desarrollo del software es producto de una investigación con el apoyo del IDEAM en el suministro de los datos que sirven como resultados de aplicación del software.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se describe a continuación los materiales y el método de estudio usado para desarrollar el APP ICAgua y posterior validación del mismo con los datos de prueba; se detalla inicialmente la metodología utilizada para el diseño de la herramienta, y la descripción de la herramienta diseñada.

El desarrollo del APP para el cálculo del ICA se contextualizó operativamente en el entorno de las metodologías ágiles, cuyo fundamento lógico se orienta a la construcción de la unidad de software, definidas por la estructura de grupos pequeños de desarrollo, existencia de pocos roles, validación del cambio por solicitud expresa del usuario y consideraciones heurísticas genéricas por el entorno logístico donde se proyecta utilizar el producto construido y luego de evaluar las principales metodologías que verifican los factores enunciados anteriormente, se consideró el empleo de la metodología FDD (Feature Driven Development) [19], cuya

base de significancia lógica, se desarrolla en la Fig. 1, dicha metodología fue la hoja de ruta para el desarrollo del APP.

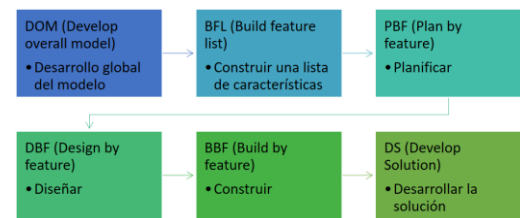


Figura 1. Fases de la metodología FDD

2.1 Contextualización sistemática del problema

En esta fase se dimensionó prospectivamente el campo de acción analítico y de estudio de la situación problemática definida, buscando encontrar las respuestas a estos interrogantes: ¿Qué se quiere?, ¿Cómo se hará?, ¿Con qué se hará?, ¿Quién lo utilizará? Y ¿cómo se soportará y validará su calidad?

El propósito era desarrollar un APP que permitiera cargar en una base de datos las mediciones tomadas del caudal del río, posterior a este cargue calculara el Índice de Calidad del Agua (ICA) del punto que se deseara tomar la referencia, teniendo en cuenta 4 aspectos: a) Calcular el ICA en un punto específico, b) graficar el cálculo de un punto de medición específico, c) comparar el mismo punto en la línea de tiempo y d) graficar el cálculo de un punto en una línea de tiempo.

Para lograrlo se propuso el diseño de un APP bajo el sistema operativo Android, que se integrará con un desarrollo hecho en PHP [20], utilizando para la maquetación HTML5 y CSS, usando MySQL como motor de base de datos.

El software deberá tener dos especificaciones de perfiles de usuario (Administrador y Consulta) que tendrán acceso desde un servidor remoto en la web por medio de la app, para validar el sistema en un contexto real. Cada perfil puede acceder desde la app a cada una de las diferentes opciones de cálculo del ICA, el Administrador tendrá las opciones adicionales de cargar el archivo de mediciones y administrar los usuarios.

Previo a esta identificación de la problemática y posterior planteamiento de la posible solución, se llevó a cabo un estudio de la cuestión, encontrándose que las herramientas y sistemas diseñados hasta el momento para el cálculo del ICA no eran abundantes o en su defecto aquellas que podrían considerarse eficientes no eran de acceso libre, si no que por el contrario su uso solo puede hacerse bajo acuerdo de licenciamiento.

2.2 Clasificación de la información e instrumentación operacional

Luego de esquematizar el escenario de acción prospectiva, se procedió a catalogar la información de acuerdo con su orientación, para establecer de esta manera el conjunto de instrumentos necesarios para definir y catalogar los requerimientos, que caracterizan la aplicabilidad del cálculo del ICA, identificando los datos de entrada que serían tenidos en cuenta, el proceso a aplicar en estos y los datos de salida.

Se identificaron los datos a ser tratados, con base a lo trabajado por [21]:

- Conductividad de campo – uS/CM,
- DQO Soluble
- Oxígeno disuelto en campo – MG O2/L
- pH
- Solidos suspendidos
- Temperatura del agua
- PSOD

Estas variables serían las extraídas de la base de datos para la aplicación de la fórmula del cálculo del ICA y posterior graficación o informe de dicho cálculo.

2.3 Dimensionamiento de la tecnología

En esta fase se procedió a estudiar y potencializar el impacto de las diversas tecnologías existentes en el escenario para el soporte tecnológico, identificando cual era la más indicada. De acuerdo a los requerimientos planteados y al propósito mismo de la herramienta, se optó por el desarrollo bajo ambientes libres de licenciamiento, fue así que se decidió el desarrollo del APP en el sistema operativo Android, por ser un proyecto de código abierto, como lenguaje de programación PHP, motor de base de datos MySQL, servidor web Apache, y para el proceso de maquetado HTML5 y CSS, por cumplir todas estas herramientas con esta premisa.

2.4 Construcción del APP y proyección estructura modular

En esta fase se determina el funcionamiento a nivel general del APP, sin entrar en muchos detalles, se incorporan las consideraciones de la implementación tecnológica. En esta etapa se hizo el diseño de los componentes del sistema que dan respuesta a las funcionalidades descritas en la etapa anterior. La construcción del prototipo y su proyección de la estructura modular se realiza con base a diagramas que permiten describir de manera más detalla las interacciones entre las entidades y su secuenciación. En la Fig. 2, se pueden observar los componentes que conformar el sistema diseñado.

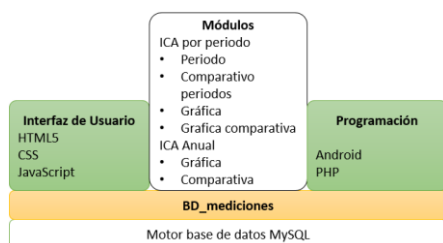


Figura 2. Esquematización tecnológica del desarrollo de la solución.

La figura 2 muestra el esquema del APP para el cálculo del ICA. El motor de base de datos usado para el tratamiento de los datos fue MySQL el cual se encuentra alojado en un servidor remoto web, sobre este se montó la base de datos Mediciones, la cual contiene los datos de las diferentes variables echas en el

caudal del río Bogotá, se evidencia igualmente los módulos que conforman al sistema.

2.5 Descripción modular a nivel funcional y operacional

El APP se estructuró de tal forma que permitiera el cálculo del ICA mediante reporte y en gráfico, teniendo en cuenta el software diseñado, los módulos desarrollados en la herramienta fueron los siguientes:

- Ingresos
- ICA por periodo
- ICA anual

2.5.1 Módulo Ingresos. Este módulo permite cargar los datos tomados de las estaciones de mediciones.

2.5.2 Módulo ICA por periodo. Este módulo tiene cuatro opciones.

- Periodo. Calcula el ICA de un río en un caudal específico, estos datos son tomados dos veces por año, uno en el primer semestre y otro en el segundo semestre.
- Comparativo de periodos. Permite la comparación de dos mediciones (primer y segundo semestre) de un año determinado.
- Gráfica periodo. Realiza la misma operación que el cálculo por periodo, pero esta opción lo evidencia mediante una gráfica.
- Gráfica comparativa. Esta opción grafica las dos mediciones de dos periodos distintos (primer y segundo semestre) de un caudal determinado.

2.5.3 Módulo ICA anual. Este módulo tiene dos opciones.

- Gráfica Anual. Grafica el ICA comparando el primer semestre vs el segundo semestre de un año específico.
- Grafica Anual Comparativa. Realiza una gráfica comparativa del primer semestre vs segundo semestre de un rango de años dados.

2.6 Construcción de la solución

Considerando los principios de la ingeniería de software en cuanto a tratamiento de los procesos de diseño, construcción e implementación, se determina el desarrollo modular de cada uno de los componentes de la solución, validando mediante pruebas de caja blanca y caja negra su usabilidad, amigabilidad y efectividad [22]. Se detalla a continuación los módulos del APP:

Figura 3. Formulario de autenticación de usuarios ingreso al APP

2.6.1 Módulo Ingresos. Esta opción permite el cargue del archivo con las mediciones tomadas en el caudal del río.

Figura 4. (a) Interfaz para el cargue del archivo con las mediciones; y (b) se evidencia el número de registros y la estructura de la base de datos con que cuenta el APP.

2.5.2 Módulo ICA por periodo. Este módulo tiene cuatro opciones.

Periodo. Se ingresan los datos del Río, el Caudal, el año y el semestre en el que se desea hacer el cálculo del ICA.

(a) (b)
Figura 5. (a) Se ingresan los parámetros solicitados, y (b) se muestran los cálculos realizados, el valor del ICA y un mensaje de señal de alerta.

Como se puede observar en la figura 5(b), la señal de alerta depende del valor del ICA [21], y esta se establece de acuerdo a las siguientes condiciones:

- ≤ 0.25 muy mala
- > 0.25 y ≤ 0.5 mala
- > 0.5 y ≤ 0.7 Regular
- > 0.7 y ≤ 0.9 Aceptable
- ≥ 0.9 Buena

Comparativo de periodos. Esta opción permite seleccionar un rango de años para calcular el ICA en un periodo determinado.

(a) (b)
Figura 6. (a) Ingreso de parámetros para el cálculo comparativo de periodos, y (b) Cálculo de ICA de varios periodos.

Gráfica. Realiza la misma operación que el cálculo por periodo, en la Fig. 7, se puede observar el resultado de esta opción.

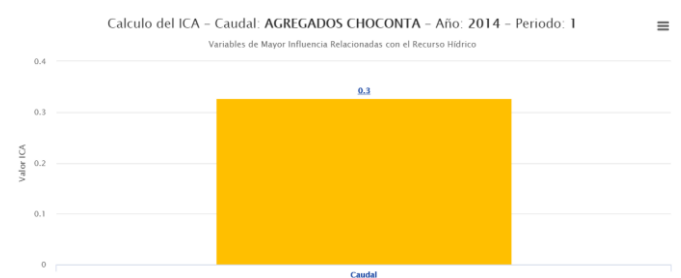


Figura 7. Gráfica del ICA, un periodo y de un año específico

Gráfica comparativa. Esta opción grafica las mediciones entre un año inicial y un año final, para un periodo determinado, el resultado de esta opción se evidencia en la Fig. 8



Figura 8. Gráfica del ICA, para un rango de años en un periodo determinado.

2.5.3 Módulo ICA anual. Los resultados de esta opción en APP se pueden observar en la Fig. 9; este módulo tiene dos opciones

Gráfica Anual. Grafica el ICA comparando el primer semestre vs el segundo semestre de un año específico.

Grafica Anual Comparativa. Realiza una gráfica comparativa del primer semestre vs segundo semestre de un rango de años dados.

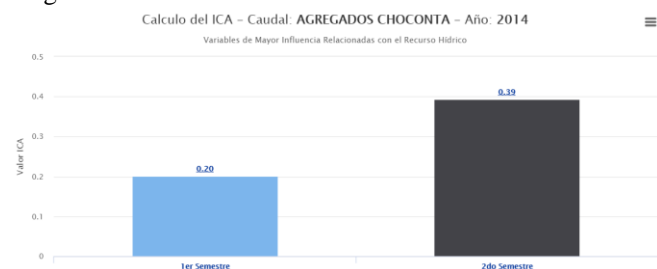


Figura 9(a) Gráfica anual del ICA 1er semestre vs 2do semestre

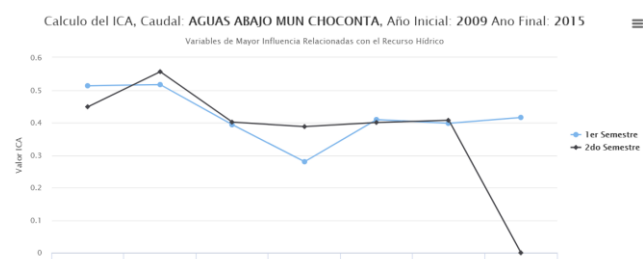


Figura 9(a) Gráfica ICA rango de años, 1er semestre vs 2do semestre

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estos resultados obtenidos en el desarrollo del software para el ICA arrojan los cálculos deseados para periodos y años específicos, que permiten tener mayor oportunidad en la información para realizar los análisis y tomar las decisiones oportunas sobre los niveles de contaminación o calidad que tenga el agua en diversas zonas del país. En la tabla 2 se muestra los resultados del ICA obtenidos por medio de la app ICAGua en el río Bogotá, de dos caudales de prueba: Agregados Choconta y Aguas abajo municipio de Choconta.

TABLA 2

VALORES ICA OBTENIDOS EN DOS CAUDALES

Periodo	AGREGADOS CHOCONTA		AGUAS ABAJO MUNICIPIO CHOCONTA	
	Primer Semestre	Segundo Semestre	Primer Semestre	Segundo Semestre
2009	0.32	0.54	0.51	0.45
2010	0.47	0.55	0.52	0.72
2011	0.48	0.40	0.40	0.40
2012	0.52	0.42	0.28	0.39

2013	0.39	0.41	0.49	0.52
2014	0.33	0.39	0.50	0.49
2015	0.42	Sin datos	0.42	Sin datos

La herramienta diseñada y desarrollada viene a suplir una necesidad, no solo para las personas que trabajan en sistemas de monitoreo de la calidad de agua, sino para aquellos organismos encargados de vigilar este preciado recurso, como es el caso Colombiano del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); tal y como se evidenció en el estudio del estado del arte, la deficiencia de estas herramientas de acceso abierto y que traten la problemática local para Colombia.

IV. CONCLUSIONES

El desarrollo del software responde a la necesidad de análisis de la calidad del recurso hídrico, no solo en Colombia si no a nivel mundial, si bien existen herramientas de reporte de información de manera remota y en tiempo real, no todas las instituciones encargadas de esta función tienen los recursos necesarios para la operación de estas.

El modelo del software diseñado permite su replicabilidad con otros indicadores, no sólo relacionados con la calidad del recurso hídrico, sino también con aquellas variables ambientales, sociales y/o económicas que se requiera analizar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Colombiano Agropecuario por proveer la base de datos de las mediciones del Índice de Calidad del Agua del caudal del río Bogotá, lo que permitió llevar a cabo las pruebas necesarias y requeridas al software desarrollado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] SIAC, «Cambio climático,» Min Ambiente, 2018. [En línea]. Available: <http://www.siac.gov.co/cclimatico>. [Último acceso: 19 03 2019].
- [2] J. González H, L. Carvajal S y F. Toro B, «Water quality index based on fuzzy logic applied to the Aburra river Basin in the jurisdiction of the metropolitan area,» *DYNA*, vol. 79, n° 171, pp. 50-58, 2012.
- [3] M. Adriaanse, «Tailor-Made Guidelines: A Contradiction In Terms. In Proceedings of Monitoring Tailormade II,» de *An International Workshop on Information Strategies in Water Management*, Riza, 1996.
- [4] P. B. C. M. M. P.-C. F. T. J. H. E. V.-C. L. Fierro, «Benthic macroinvertebrate assemblages as indicators of water quality applying a modified biotic index in a spatio-seasonal context in a coastal basin of Southern Chile,» *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, vol. 47, n° 1, pp. 23-33, 2012.
- [5] L. F. Quiroz Fernández, E. Izquierdo Kulich y C. Menéndez Gutiérrez, «Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador,» *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 38, n° 3, pp. 41-51, 2017.
- [6] J. Cadavid, J. Echeverri y A. Gomez, «Modelacion indices de calidad de agua,» *Revista Gestion y Ambiente*, vol. 13, n° 2, pp. 7-24, 2010.
- [7] M. y. E. A. -. I. Instituto de Hidrología, «Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00),» IDEAM, Bogotá, 2017.
- [8] P. S. A. S. D. V. D. Goel, «Impact of rapid urbanization on water quality index in groundwater fed Gomati River, Lucknow, India,» *Research Communications, current science*, vol. 114, n° 3, pp. 650-654, 2018.

- [9] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, «Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00),» IDEAM, Bogotá, 2011.
- [10] A. P. E. R. F. C. J. A. E. A. C. S. E. S. F. N. E. S. E. Jesús, «Water quality in the basin of the Amajac river, Hidalgo, Mexico: Diagnosis and prediction,» *Phyton*, vol. 75, pp. 71-83, 2006.
- [11] A. R. R. V. G. Ramirez, «Cuatro indices de contaminacion para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación,» *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, vol. 1, n° 3, pp. 135-153, 1997.
- [12] P. S. M. J. L. R. S. E. Fabela, «Using a diversity index to establish water quality in lotic systems,» *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. 16, n° 2, pp. 57-66, 2001.
- [13] N. E. Samboni Ruiz, Y. Carvajal Escobar y J. C. Escobar, «Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 27, n° 3, pp. 172-181, 2007.
- [14] N. S. F. Fernandez, *Indices de Calidad y de contaminación del Agua*, Pamplona: Universidad de Pamplona, 2005.
- [15] S. A. Chinmoy Sarkar, «Qualidex - A new software for generating water quality indice,» *Springer*, vol. 119, n° 3, pp. 201-231, 2006.
- [16] X. Wang, F. Zhang y J. Ding, «Evaluation of water quality based on a machine learning algorithm and water quality index for the Ebinur Lake Watershed,» *Scientific Reports*, vol. 7, pp. 1-18, 2017.
- [17] L. Sonic, «LG Sonic,» LG Sonic, [En línea]. Available: <https://www.lgsonic.com/es/software-de-monitoreo-de-la-calidad-del-agua-en-tiempo-real/>. [Último acceso: 7 1 2019].
- [18] M. C. Escobar, L. F. Tovar y J. R. Cuellas, «Diseño de un sistema experto para reutilización de aguas residuales tratadas,» *Clencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 26, n° 2, pp. 21-34, 2016.
- [19] L. Williams, «Agile Software Development Methodologies and Practices,» de *Advances in Computers*, Elseiver, 2010, pp. 1-44.
- [20] T. P. Group, «PHP,» PHP Group, 1 01 2001. [En línea]. Available: <http://www.php.net/>. [Último acceso: 10 11 2018].
- [21] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «Servicio Nacional de Estudios Territoriales,» [En línea]. Available: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>. [Último acceso: 7 1 2019].
- [22] D. B. R. G. C. a. L. R. B. . F. A. Simanca, «Automation of the tutoring process in online environments through the analitycs of learning,» de *2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, Caceres-España, 2018.