



Vol 16. N° 1
Enero - Marzo 2016

ISSN: 1317-2255 (IMPRESO)
Depósito Legal: pp 20002FA828
ISSN: 2477-9636 (ELECTRÓNICO)
Dep. legal ppi 201502ZU4642

Multiciencias

R M C_s

N_F LUZ

Universidad del Zulia
Revista Arbitrada Multidisciplinaria



LUZ Punto Fijo

Núcleo LUZ-Punto Fijo
Programa de Investigación y Posgrado
Falcón-Venezuela

MULTICIENCIAS, Vol.16, N° 1, 2016 (5-13)

ISSN: 1317-2255 (IMPRESO) / Dep. Legal pp 20002FA828

ISSN: 2477-9636 (DIGITAL) Dep. Legal ppi 201502ZU4642

Evaluación del software qual2k en fuentes receptoras de vertimientos de residuos líquidos en algunos puntos del río Cesar (Colombia) impactados por actividad minera

Lorena Bracho Vargas, Luis Angulo Argote y Luis Díaz Muegue

*Universidad Popular del Cesar, Grupo de Investigaciones en Geología,
Energía Alternativas. Colombia*

lorena.ingenieria@gmail.com; lcangulo@unicesar.edu.co; luisca Diaz@gmail.com

Resumen

En este estudio se aplicó el software qual2k, teniendo en cuenta la dinámica individual de ríos afluentes del río Cesar: río Tocuy (en la Jagua de Ibirico), río Maracas (en Becerril) y río Calenturitas (La Loma corregimiento del municipio de El paso Cesar); los aportes de carga contaminante y las diferentes características fisicoquímicas de cada uno de estos, reconociendo procesos de contaminación que surgen en cada subcuenca, los cuales inciden en la calidad del agua del cuerpo receptor y finalmente la calidad del agua del río Cesar; para ello fue necesario la realización de modelaciones de cada río de forma independiente. Una vez seleccionado el modelo se programaron campañas de muestreo para la calibración del mismo. En lo que se refiere al modelo de calidad del agua podemos decir que los resultados de la modelación son satisfactorios, ya que se aplicó correctamente la metodología requerida y se establecieron los análisis necesarios en cada zona de los ríos estudiados. El desempeño del modelo es aceptable puesto que la variación entre los parámetros medidos y los calculados se encuentran en un rango admisible, por lo que se puede decir que el modelo fue satisfactoriamente calibrado.

Palabras clave: Modelación, calidad del agua, software QUAL2K, vertimientos de residuos líquidos, gestión.

Evaluation of QUAL2K Software in Receiving Sources of Discharges of Liquid Waste in Some Points of Cesar River (Colombia) Impacted by Mining

Abstract

In this study the QUAL2K software is applied, taking into account the individual dynamics of tributaries of the Cesar river: Tucuy river (in the Jagua de Ibirico), Maracas river (Becerril) and Calenturitas river (The Loma township of the municipality of El Paso Cesar); the contributions of pollutant load and different physicochemical characteristics of each of these, recognizing contamination processes arising in each sub-basin, which affect the water quality of the receiving body and finally the water quality of the Cesar River; for it was necessary to perform modeling of each river independently. After selecting the model were scheduled sampling for calibration of the same. In which refers to the model of water quality we can say that the modeling results are satisfactory, since the required methodology was successfully and established the necessary analyses in each area the rivers studied. Regarding the performance of this model is acceptable because the variation between the measured and calculated parameters are in an acceptable range, so it can be said that the model was successfully calibrated.

Keywords: modeling, water quality, QUAL2K software, dumping of liquid waste, management.

Introducción

Los modelos de calidad de agua son relaciones matemáticas que posibilitan la comprensión y cuantificación de las relaciones causa-efecto de los procesos físicos, químicos y biológicos de los compuestos descargados en los cuerpos de agua receptores, tales como ríos, lagos y estuarios. Cuando se relaciona la gestión de los sistemas de recursos hídricos con la calidad de los mismos, es imprescindible implementar las herramientas que se están utilizando en la actualidad, como son los modelos de calidad de agua; los cuales no pretenden representar la evolución de la calidad del agua frente a eventos puntuales, sino por el contrario intentan reflejar la evolución espacio-temporal de la calidad del agua en los sistemas modelados, fruto de las diferentes alternativas de gestión, depuración, contaminación y uso del recurso [11]. Estos modelos se han utilizado en aguas superficiales como una herramienta para evaluar los problemas de degradación ambiental por contaminación que esta sufre. Además, las simulaciones predictivas resultantes, han servido para establecer planes de gestión y control del agua para conservar su calidad o reestablecerla.

Definición del Qual2k

El QUAL2K es un modelo de calidad de agua para ríos o corrientes de agua diseñado por la Environmental Protection Agency (EPA) que intenta representar una versión más moderna del modelo QUAL2E [6]. Dentro de las principales características del modelo Qual2K se encuentran: la realización de una modelación unidimensional (en dirección del flujo de la corriente). El modelo simula los siguientes parámetros: conductividad, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, DBO (rápida y lenta), nitrógeno orgánico disuelto, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo orgánico disuelto, fósforo inorgánico, fitoplancton, detritus, patógenos, alcalinidad, carbono orgánico total, algas de fondo, pH, temperatura y caudal.

Descripción del área de estudio

El río Cesar, que recorre 280 km entre los departamentos de La Guajira y el Cesar, junto con sus afluentes conforman una cuenca que se encuentra localizada al sureste de la Sierra Nevada de Santa Marta y el occidente de la Serranía de Perijá con una extensión aproximada de 1.776.900 hectáreas. Dentro de ésta región se localizan las cuencas hidrográficas de los ríos: Calenturitas, Tucuy y Maracas, las cuales pertenecen al

sistema hidrográfico del río Cesar - Magdalena, localizadas entre latitudes N 9° 20' y 10° 10'; longitudes W 74° y 73° 10' [8]. Para el desarrollo de este proyecto se escogieron tres afluentes de gran impacto en la cuenca del Río Cesar, influenciados en mayor manera por una estructura económica tendiente a la actividad minera. Los afluentes del río Cesar escogidos para el desarrollo de este estudio fueron: río Tucuy (en la Jagua de Ibirico), río Maracas (en Becerril) y río Calenturitas (La Loma corregimiento del municipio de El Paso Cesar); con la selección de estos afluentes se pretendió tener en cuenta la dinámica individual de cada río, considerando los aportes de carga contaminante y las diferentes características fisicoquímicas, permitiendo conocer procesos de contaminación que surgen en cada subcuenca, los cuales afectan la calidad del agua del cuerpo receptor y finalmente la calidad del agua del río Cesar; para lo cual fue necesario desarrollar modelaciones de cada río de forma independiente.

Características hidráulicas

Se determinaron las elevaciones, los largos y pendientes de cada segmento. Las pendientes laterales de los ríos estudiados se asumieron correspondientes a un canal trapezoidal con pendientes laterales 1:1. El modelo QUAL2K calcula las velocidades en cada segmento para medir el tiempo de residencia. Estas velocidades las computa por medio de la ecuación de Manning bajo condiciones estacionarias. Se empleó un coeficiente de Manning de 0.04 obtenido de las recomendaciones del manual del programa QUAL2K. Otras de las características hidráulicas que requiere el modelo son los caudales de entrada y de salida. A continuación en la Tabla 1 se detallan los caudales promedios encontrados.

Tabla 1. Distribución de caudales promedios.

Punto	Caudal m ³ /s
Río Maracas.	4,24
Río Tucuy.	3,81
Río Calenturitas.	5,58

Fuente: Propia

Datos de calidad del agua

En estaciones del río Maracas, Tucuy y Calenturitas se evaluaron en campo los siguientes parámetros: conductividad con conductímetro portátil, temperatura, y pH. En el laboratorio fueron evaluados: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno, Alcalinidad, Sólidos Suspendidos totales (SST), Nitrógeno total Kjeldahl (NTK), Fósforo total, Coliformes Totales y Coliformes Fecales bajo diferentes condicio-

nes. Se construyó una base de datos con la información registrada en campañas de monitoreo, de las cuales se utilizaron una campaña de caudales bajos y una en caudales altos.

Calibración

En la modelación de la calidad del agua de los ríos Maracas, Tucuy y Calenturitas para cada parámetro en cada uno de ellos, el modelo determinó su concentración a medida que éste fue avanzando en espacio a través del río. Es importante tener en cuenta que las mediciones de campo se realizaron con el propósito de calibrar y verificar el modelo de simulación de la calidad del agua. De esta manera el diseño y programación de la frecuencia de toma de datos y de los parámetros de calidad del agua monitoreados permitieron la calibración del modelo implementado con el mínimo grado de fluctuación. Las mediciones de campo se realizaron ajustándose a los estándares recomendados de toma, preservación y transporte de muestras al laboratorio y los análisis de laboratorio, se realizaron siempre a la hora programada y en los puntos previamente seleccionados. El ajuste paramétrico del modelo se evaluó con el método de probabilidad de incertidumbre generalizada GLUE [1], la cual se fundamenta en el método aleatorio controlado. Para ello se realizaron simulaciones con los datos obtenidos en campo durante las dos campañas a partir de la distribución uniforme en el rango indicado. Estos rangos de valores empleados en las combinaciones de parámetros fueron establecidos a partir de las recomendaciones de Kannel et.al [9] y Bowie et.al [3]. El método estadístico se complementa con el cálculo de una diferencia entre valores calculados y valores medidos, y se empleó para calcular el porcentaje de error; un rango de $\pm 10\%$ se consideró muy aceptable, y un poco por encima de este valor fue considerado aceptable [13].

Resultados y Discusión

Se presentan los valores medidos en campo y los valores calculados por el software en cada uno de los tres ríos estudiados:

Río Maracas: En promedio el rango de pH se ajusta al Decreto 1594/84 pH de 5 a 9 unidades. La gráfica generada por el modelo sigue la tendencia de los registros en campo durante el estudio (Figura 1). En cuanto a la temperatura se encontraron valores comprendidos entre 25 y 28°C a lo largo del estudio (Figura 2). La temperatura es representada por el modelo de manera eficiente, observándose diferencias entre los valores del modelo y los valores registrados en campo más o menos de un 1°C. La gráfica generada por el modelo para la temperatura sigue la tendencia de los registros en campo

durante el estudio. Por otro lado la conductividad se incrementa constantemente a través del recorrido del río, resultados que se relacionan con los encontrados por Cárdenas *et al.* [5], quienes encontraron incrementos en los valores de la conductividad a medida que la quebrada Chapal realizaba su recorrido (Figura 3).

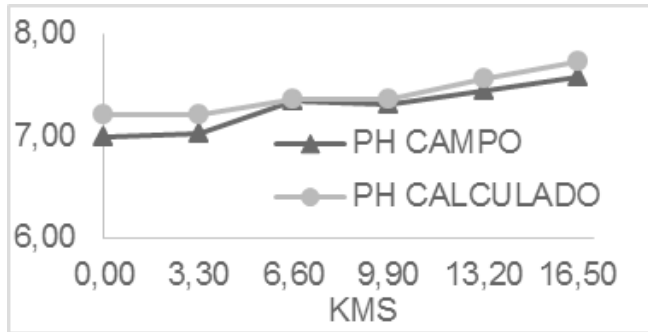


Figura 1. PH Medida en Campo vs PH Calculado

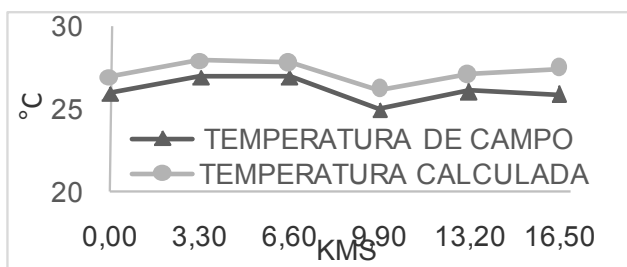


Figura 2. Temperatura Medida en Campo vs Temperatura Calculada

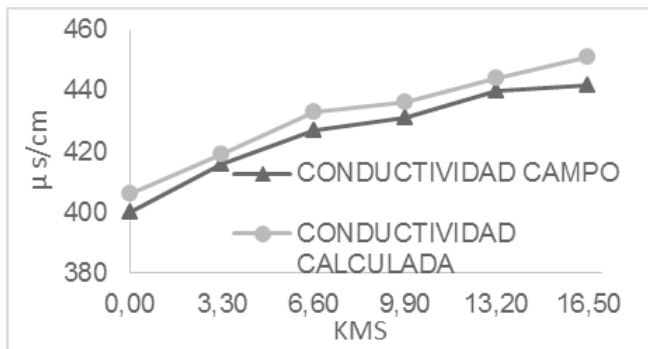


Figura 3. Conductividad Medida en Campo vs Conductividad Calculada.

En la figura 4 se presentan los niveles de oxígeno representando concentraciones inferiores a 4 mg/L, permitiendo estimar al río como una fuente de calidad deficiente para el abastecimiento según la clasificación del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) y además no permiten garantizar la preservación de la flora y la fauna (OD < 4 mg/L), según los límites del Decreto 1594 de 1984.

El modelo evidencia la disminución ligera de los niveles de oxígeno en cada estación debido el impacto de actividades antrópicas. Por su parte el perfil de DBO, mostrado en la figura 4 revela una tendencia creciente a lo largo de las estaciones del río presentando valores de DBO > 4 mg/L que permiten clasificar el río como de muy deficiente calidad para el abastecimiento según los rangos planteados por el RAS 2000. El perfil de nitrógeno total (N) y fósforo total (P) (Figura 5) muestra un comportamiento muy similar entre los resultados encontrados en campo y los calculados por el software, con un comportamiento más o menos estable en las concentraciones de N y P. Se encontraron valores de nitrógeno considerables, superiores a 2 mg/L. Se evidenciaron mayores concentraciones de nitrógeno que de fósforo, en realidad las concentraciones de fósforo fueron muy bajas, inferiores a 1 mg/L.

Al considerar los sólidos suspendidos totales (SST) estos se comportan de manera homogénea en las estaciones monitoreadas (Figura 6.), los valores encontrados indican la existencia del transporte de sedimentos, resultados que coinciden con los encontrados por Beltrán y Rangel [4]; en los cuales las curvas que representan el comportamiento de los SST indican que se comportan de manera muy similar en las tres secciones evaluadas en la modelación dinámica de SST en el humedal Jaboque, Bogotá (Colombia)

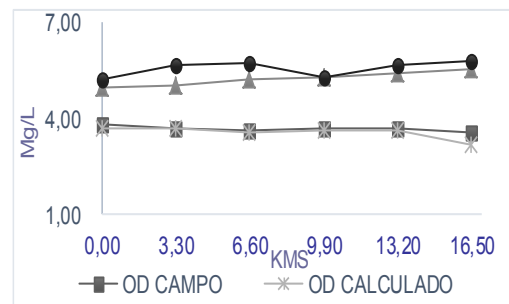


Figura 4. OD y DBO Medio en campo vs OD y DBO calculado

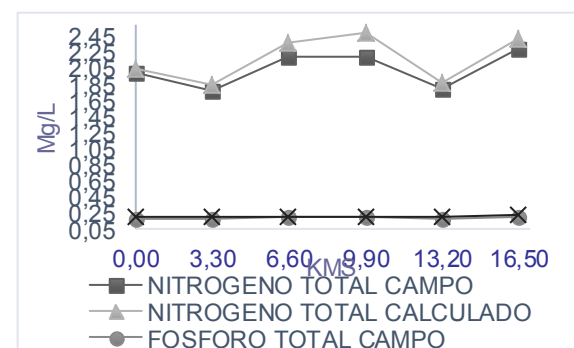


Figura 5. N y P Medio encampo vs N y P Calculado

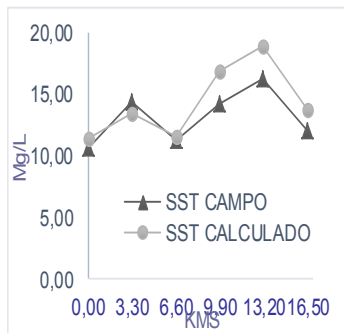


Figura 6. SST Medio en Campo vs SST Calculados

Para el caso de los coliformes totales las concentraciones no sobrepasan los límites establecidos en el decreto 1594 del 1984 de uso para riego con restricciones de 5000NMP/100ML. La gráfica generada por el modelo para coliformes sigue la tendencia de los registros en campo durante el estudio, (Figura 7). En lo que concierne a coliformes fecales las concentraciones reportadas no sobrepasan los límites establecidos por la norma de uso agrícola con restricciones de 1000 NMP/100, como se aprecia en la Figura 8.

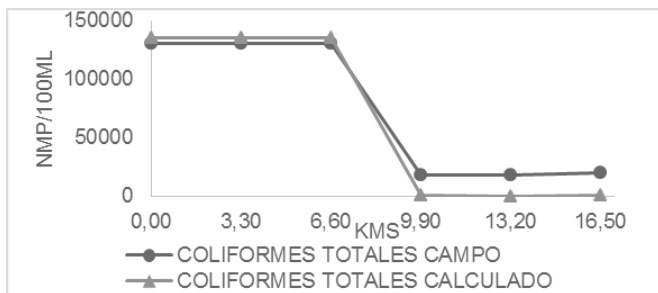


Figura 7. Coliformes Totales Medio en Campo vs Coliformes Totales calculados

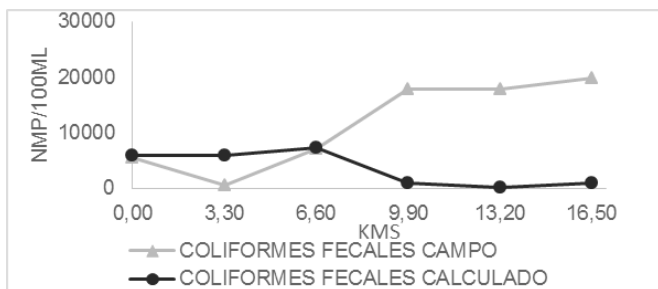


Figura 8. Coliformes Fecales Medio en Campo vs coliformes fecales calculados

Río Tucuy. En promedio durante el tiempo de estudio el comportamiento del pH se puede apreciar que a lo largo de toda la corriente el valor tiende a aumentar, tal y cual como se aprecia en la figura 9. En cuanto a la

temperatura se puede apreciar que disminuye desde los 29°C hasta los 26°C y se hace constante a través del recorrido del río. Hay que destacar que la gráfica generada por el modelo para la temperatura sigue la tendencia de los registros en campo durante el estudio, (Figura 10). En cuanto a la conductividad ésta aumenta a lo largo del recorrido de la corriente de manera constante, los registros suministrados por el modelo siguen los registros encontrados en campo, (Figura 11).

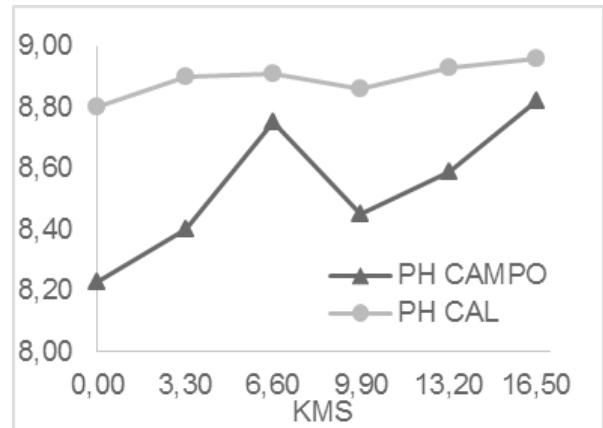


Fig 9. pH Medido en Campo vs Ph Calculado.

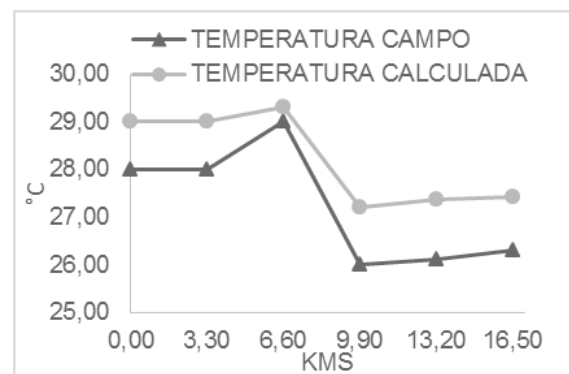


Fig 10. Temperatura Medida en Campo vs Temperatura Calculada.

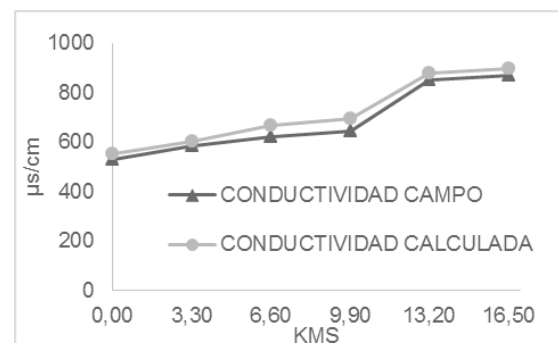


Fig 11. Conductividad Medida en Campo Vs Conductividad Calculada

El perfil de OD, representado en la Figura 12, muestra concentraciones inferiores a 4 mg/L, en general se califica como una fuente de calidad deficiente para el abastecimiento según la clasificación del RAS 2000 y no permiten garantizar la preservación de la flora y la fauna ($OD < 4 \text{ mg/L}$), según los límites del Decreto 1594 de 1984. El perfil de DBO, representado en la figura 13, muestra una tendencia creciente a lo largo de las estaciones del río refleja valores de $DBO > 4 \text{ mg/L}$ que permiten clasificar el río como de muy deficiente calidad para el abastecimiento según los rangos planteados por el RAS 2000. Al igual que en el río Maracas se evidencias mayores concentraciones de nitrógeno que de fósforo, (Figura 14). Los SST presentaron valores considerablemente mayores a los del río Maracas, lo cual es debido a un mayor efecto de arrastre y resuspensión de estas partículas; el comportamiento de los SST depende de muchos factores tales como: la intensidad de la descarga de agua de los tributarios, la intensidad de la precipitación, la temperatura y los vertimientos [10].

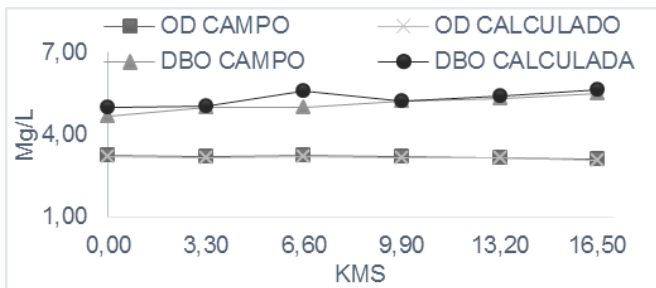


Figura 12. OD y DBO Medidos en Campo vs OD y DBO Calculados.

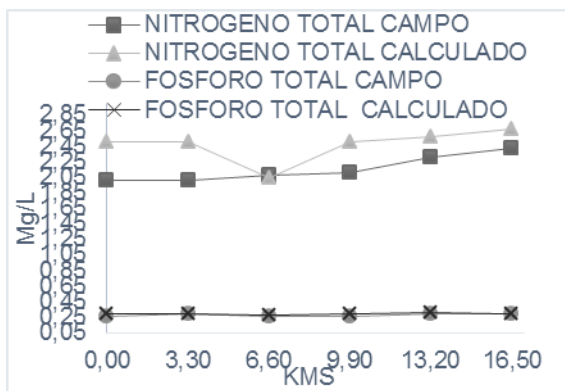


Figura 13. N y P Medidos en Campo vs N y P Calculados

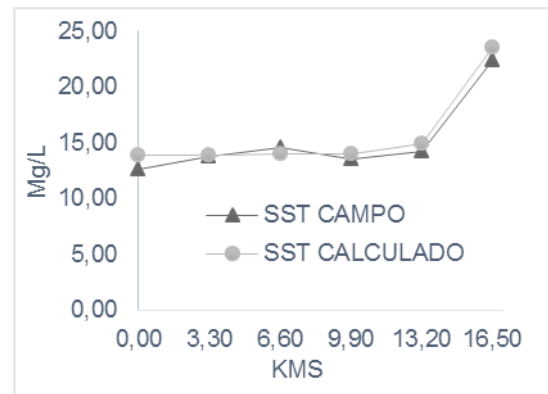


Figura 14. SST Medidos en Campo vs SST calculado

Para el caso de los coliformes totales estos manifiestan concentraciones que no sobrepasan los límites establecidos de uso para agua de riego con restricciones de 5000NMP/100mL, según el decreto 1594 del 1984, valores expresados en la Figura 15. En lo que se refiere a las concentraciones de coliformes fecales se presentaron concentraciones que permitirían la restricción del uso del recurso agua sólo para actividades agrícolas, (Figura 16).

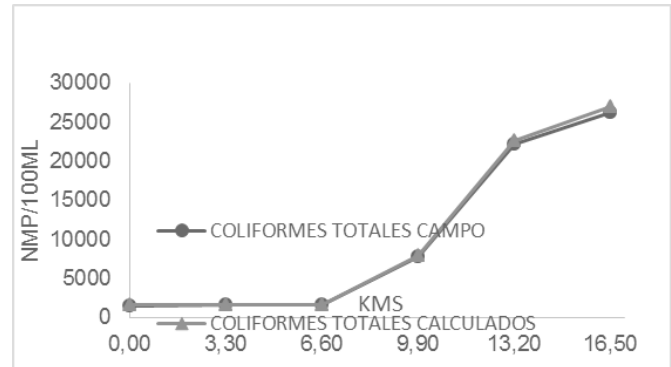


Figura 15. Coliformes Totales Medidos en Campo vs Coliformes Totales calculados

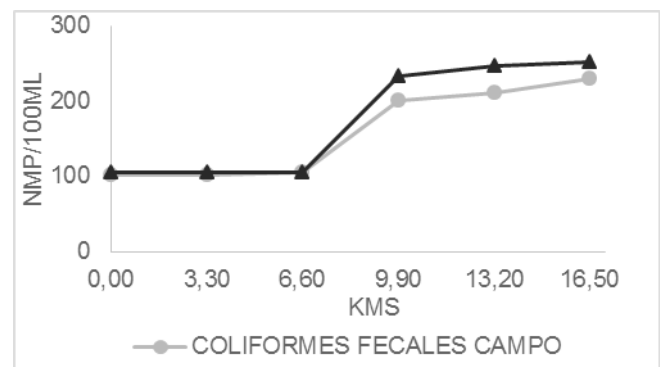


Figura 16. Colliformes Fecales Medidos en Campo vs coliformes fecales calculados

Río Calenturitas: En promedio el rango de pH durante el tiempo de estudio se ajusta al Decreto 1594/84 de 5 a 9 unidades, (Figura 17). La temperatura presentó acentuar valores comprendidos entre 25 y 26°C a lo largo del estudio, es representada por el modelo de manera eficiente, observándose diferencias entre los valores del modelo y los valores registrados en campo menor a 1°C. La gráfica generada por el modelo para la temperatura sigue la tendencia de los registros en campo durante el estudio, (Figura 18). La conductividad aumenta a lo largo del recorrido de la corriente de manera constante, los registros suministrados por el modelo siguen los registros encontrados en campo, (Figura 19).

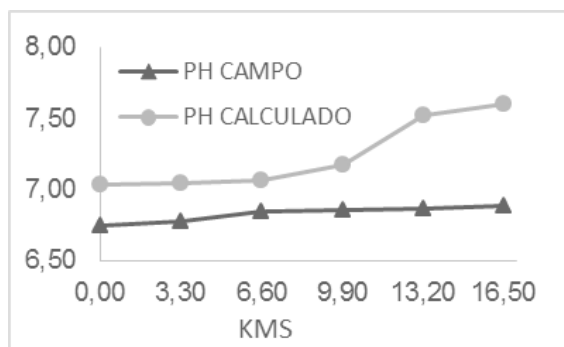


Figura 17. ph Medido en Campo vs ph Calculado

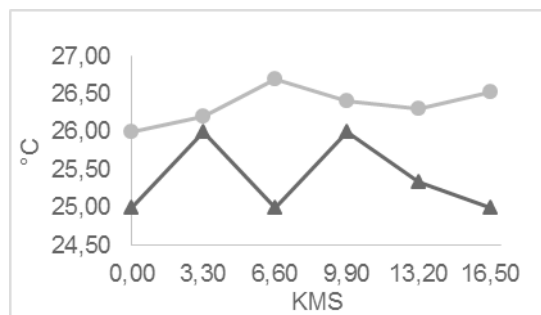


Figura 18. Temperatura Medida en campo vs Temperatura Calculada

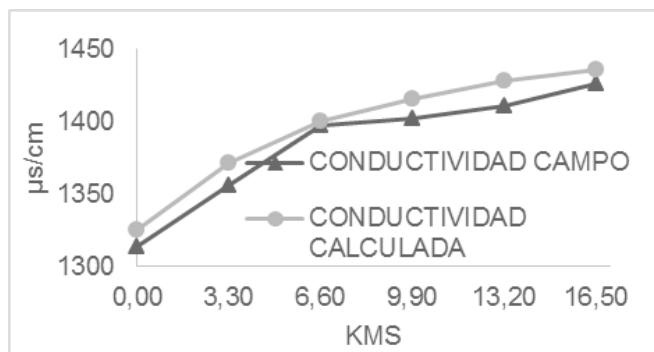


Figura 19. Conductividad Medida en Campo vs Conductividad Calculada.

El oxígeno disuelto decae a medida que ingresan los diferentes tipos de descargas a lo largo del río. Las concentraciones se encuentran por debajo de 4 mg/L estos valores en cada estación permiten clasificar el río como una fuente de muy deficiente calidad para el abastecimiento ($OD < 4 \text{ mg/L}$) según la clasificación del RAS 2000, (Figura 20). El perfil de DBO, representado en la Figura 20, muestra una tendencia creciente a lo largo de las estaciones del río reflejando el impacto generado por los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales con alto contenido de materia orgánica. En la estación ubicada a los 16,5 kms se presenta la condición más crítica en términos de DBO, para los monitoreos en cada periodo, presentando valores de DBO muy superiores a 4 mg/L que permiten clasificar el río como una fuente de muy deficiente calidad para el abastecimiento según los rangos planteados por el RAS 2000. Haciendo suponer que la carga contaminante aumenta paulatinamente durante el transporte en el río.

El perfil de nitrógeno y fósforo, en la Figura 21, muestran un aumento ligero a lo largo del río, resultados que difieren un poco por los encontrados por Durdu y Cvetkonic [7], quienes desarrollaron un trabajo en el río Büyük Menderes, cuya modelación mostró que las concentraciones de nitrógeno aumentaron en la parte media de la cuenca y alcanzaron niveles relativamente bajos en la parte alta, diferencia causada por la actividad antrópica que se desarrolla a medida que se desciende a lo largo de la cuenca. Los valores encontrados de nitrógeno total muestran mayores aportes de nitrógeno. En cuanto a los SST los resultados obtenidos en la modelación, (Figura 22), tienden a aproximarse a los encontrados en campo, registros que se relacionan un poco por los encontrados por Peña y Quijano, [12] cuyos resultados obtenidos en la modelación se aproximan a la realidad, pero a medida que transcurre el tiempo tienden a la estabilidad.

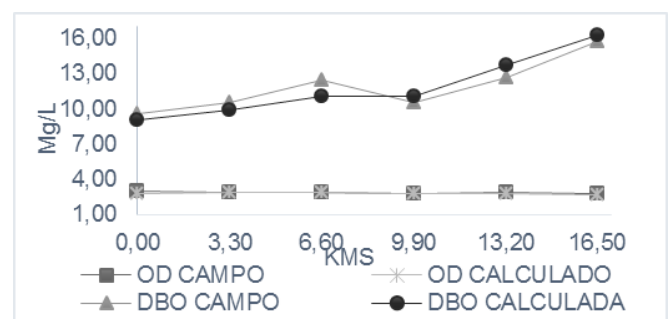


Figura 20. OD y DBO Medidos en Campo vs OD y DBO Calculados

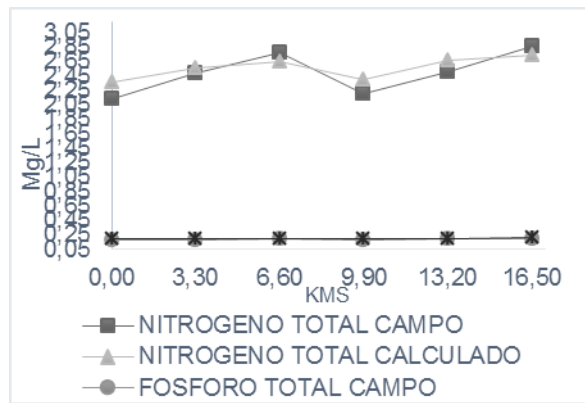


Figura 21. N y P Medidos en campo vs N y P Calculados

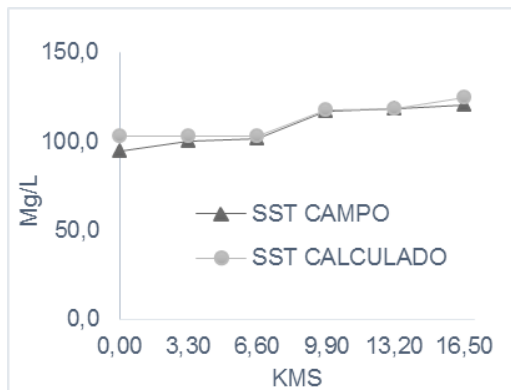


Figura 22. SST Medidos en Campo vs SST Calculados.

Los coliformes totales presenta concentraciones que sobrepasan los límites establecidos de uso para riego con restricciones de 5000NMP/100mL (Figura 23). No se presenta remoción, por efecto de la luz solar para el caso de aguas turbias con caudal alto, resultados que coinciden con los registros encontrados por Bonilla en 2008 [2], quien observó altos índices de contaminación bacteriológica del río Bogotá en toda su extensión. Los valores reportados de coliformes fecales están por encima de la norma para uso agrícola y recreativo (Figura 24)

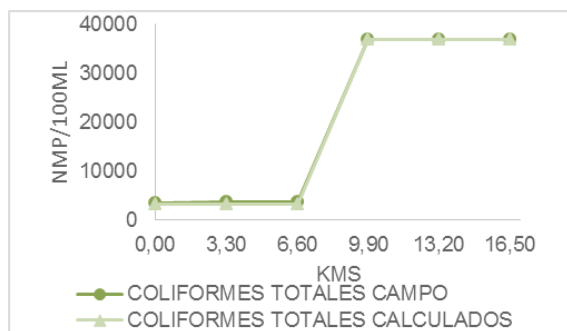


Figura 23. Coliformes Totales Medidos en campo Vs Coliformes Totales calculados.

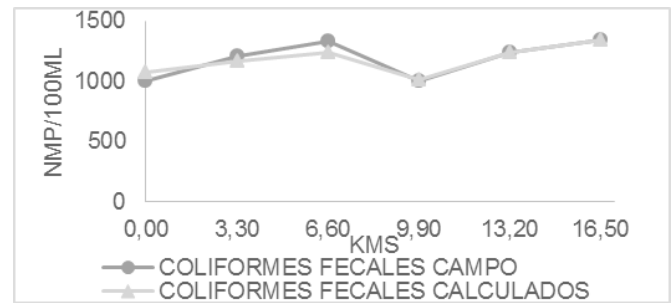


Figura 24. Coliformes Fecales medidos en Campo Vs Coliformes fecales calculados.

Conclusiones

Como resultado de la aplicación de este modelo se logró establecer la variación de las concentraciones de los constituyentes en espacio a lo largo de las estaciones seleccionadas de los ríos estudiados. En cuanto al pH su respuesta se debe a que sus concentraciones dependen de otros parámetros como es el fitoplancton y las algas que no se tuvieron en cuenta para la implementación del modelo. Las mayores concentraciones de DBO se encuentran en el río Calenturitas; este comportamiento se ve influenciado significativamente por la descarga de desechos orgánicos, contaminación con agroquímicos, sedimentación, desvíos y taponamientos del cauce, del mismo modo los valores de nitrógeno son mayores que en los otros ríos estudiados.

La capacidad de la corriente para mantener una adecuada concentración de oxígeno disuelto, es uno de los aspectos más importantes a considerar cuando se calcula su capacidad de asimilación [14]; al evaluar el oxígeno disuelto se puede decir que en el río Calenturitas las concentraciones de oxígeno son las más pequeñas. Los SST se modelan como un componente conservativo por lo que su aumento es proporcional a la concentración determinada en la campaña de campo; estos aumentan significativamente en el río Calenturitas, lo cual puede deberse a la erosión natural o antrópica que determina la presencia de altos grados de aporte de sedimento a las aguas, igualmente la actividad minera afecta los cauces naturales que cruzan frentes carboníferos. Se concluyó que uno de los constituyentes fundamentales para los ríos estudiados son los coliformes, siendo el río Calenturitas el más crítico en cuanto a la concentración de coliformes, generando cierto riesgo o limitación para su uso.

Consideraciones

Tomando en consideración los valores encontrados de calidad de agua y los resultados del modelo permitieron establecer que los ríos estudiados care-

cen de la característica de río sano. Los resultados de la modelación son satisfactorios, ya que se aplicó correctamente la metodología requerida por el modelo y se establecieron los análisis necesarios en cada zona de los ríos estudiados.

Referencias

- [1] BEVEN, Keith; BINLEY, Andrew (1992). The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. **Hydrological processes**, vol. 6, No 3, p. 279-298.
- [2] BONILLA Viviana (2008). Modelación de patógenos en ríos: Análisis de sensibilidad paramétrica (ríos Bogotá, Tarcoles, Magdalena y Subachoque). Tesis Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander. 91 pág.
- [3] BOWIE, George L; et.al (1985). Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling. *EPA*, vol. 600, p. 82.
- [4] BELTRÁN Vargas, Julio Eduardo; RANGEL-CH, Jesús Orlando (2012). Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales en el humedal jaboque, Bogotá (Colombia). **Colombia Forestal**, vol. 15, No 2, p. 191-205
- [5] CALVACHI, Gloria (2014). Simulación de La Calidad del Agua en La Quebrada Chapal una aplicación del modelo QUAL 2K. **Revista UNIMAR**, 27(1). Recuperado de Disponible en: <http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/unimar/article/view/118>
- [6] CHAPRA, Steve; PELLETIER, Greg (2003). **QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and User's Manual**. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.
- [7] DURDU, Ömer; CVETKOVIC, Vladimir (2009). Modeling water and nutrients fluxes in the Büyük Menderes drainage basin, Turkey. **Water Science & Technology—WST**. Vol. 59.3. p. 531- 541.
- [8] Esquema De Ordenamiento Territorial Municipio De Becerril-EOT (2001). Cesar Dimensión Biofísica y Ambiental. Vol. I – Cap. II–24.
- [9] KANNEL, Prakash R; et.al (2007). Application of QUAL2K for water quality modeling and dissolved oxygen control in the river Bagmati. **Environmental monitoring and assessment**, Vol. 125, no 1-3, p. 201-217.
- [10] MORA Alvarado, Darner Adrián; ARAYA García, Alvaro (2008). Water for human eating and sanitation in costa rica (2007). **Revista Costarricense de Salud Pública**, vol. 17, no 32, p. 16-34.
- [11] PAREDES Arquiola, Javier (2008). Integración de la modelación de la calidad del agua en un sistema de ayuda a la decisión para la gestión de recursos hídricos). Tesis Doctoral.
- [12] PEÑA Cotrino, Cristina Andrea; QUIJANO Prieto, Diego Mauricio (2012). **Modelación de nitrógeno en la cuenca alta del río Siecha para establecer procesos de transformación de nitrógeno**. Universidad de La Salle. Colombia.
- [13] TORRES Vega, Francisco J (2009). **Desarrollo y Aplicación de un índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico**. Puerto Rico. [Consultado: 02/22/2015 http://prwri.uprm.edu/publications/PR_2009_01.pdf].
- [14] VILLAGÓMEZ Ibarra, José Roberto, PRIETO García, Francisco, OTAZO Sánchez, Elena María, ACEVEDO Sandoval, Otilio Arturo, MONTELONGO Casanova, Rosalba, GORDILLO Martínez, Alberto José (2008). Modelación de la calidad del agua del río Tula, Estado de Hidalgo, México Dyna Documento en línea 75 (marzo-Sin mes). [Fecha de consulta: 16 de marzo de 2016] Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615402_ISSN0012-7353.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

Multiciencias

Vol 16, N° 1

Edición por el Fondo Editorial Serbiluz.

Publicada en marzo de 2016.

Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

produccioncientifica.luz.edu.ve