

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DEL RÍO CHIPALO POR EL VERTIMIENTO SANTA ANA 1 Y 2
UTILIZANDO EL MODELO QUAL2K**

**CHIPALO RIVER WATER QUALITY ANALUYSIS BY THE SANTA ANA 1 AND 2 SPILL USING
THE QUAL2K MODEL**

<https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2630>

PUBLICACIÓN ANTICIPADA

El Comité Editorial de la revista ITECKNE aprueba la publicación anticipada del presente manuscrito dado que ha culminado el proceso editorial de forma satisfactoria. No obstante, advierte a los lectores que esta versión en PDF es provisional y puede ser modificada al realizar la corrección de estilo y la diagramación del documento.

ACCEPTED FOR PUBLICATION

The Editorial Board of ITECKNE journal approves the early publication of this manuscript since the editorial process has been satisfactorily completed. However, it warns readers that this PDF version is provisional and may be modified by proof-reading and document layout processes.

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DEL RÍO CHIPALO POR EL VERTIMIENTO SANTA ANA 1 Y 2 UTILIZANDO EL MODELO QUAL2K

CHIPALO RIVER WATER QUALITY ANALYSIS BY THE SANTA ANA 1 AND 2 SPILL USING THE QUAL2K MODEL

Alexa F. Cuellar*
2520171151@estudiantesunibague.edu.co
Juan F. Lezama*
2520162120@estudiantesunibague.edu.co

*Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia

RESUMEN

Debido a la falta de una adecuada planificación y un pensamiento ambiental acerca de un buen tratamiento de las aguas residuales que son vertidas a los ríos, existe un alto nivel de contaminación en la mayoría de las fuentes hídricas en Colombia, un ejemplo de ello es el río Chipalo que cruza la zona urbana de Ibagué y recoge vertimientos a lo largo de su cauce. La evaluación de estos vertimientos sobre las fuentes hídricas requiere de recursos como personal calificado y económico, que permitan determinar el impacto ambiental y proporcionar alertas sobre la contaminación recibida. Sin embargo, una metodología utilizada para la disminución de costos en la evaluación de los vertimientos es el uso de modelos matemáticos que predicen la calidad de las aguas. En este trabajo se realizó el análisis de calidad de agua del vertimiento Santa Ana 1 y 2 sobre el río Chipalo utilizando el modelo matemático de simulación QUAL2K desarrollado por la EPA, en donde se obtuvo el modelo calibrado con las simulaciones de los siguientes parámetros (tiempo de viaje, caudal, temperatura, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, nitrógeno amoniacal, nitrato y pH) del escenario presentado en el vertimiento Santa Ana 1 y 2; zona en donde las aguas residuales domésticas son vertidas al río. Además, se realizaron distintas simulaciones del modelo con proyecciones de cargas contaminantes diferentes, logrando así un análisis del río y del vertimiento en diferentes condiciones.

Palabras clave: Contaminación en las fuentes hídricas, aguas residuales, calidad del agua, vertimiento, modelo matemático QUAL2K, calibración, simulación.

ABSTRACT

Due to the lack of adequate planning and environmental thinking about a good treatment of wastewater that is discharged into rivers, there is a high level of pollution in most water sources in Colombia, an example of this is the Chipalo River that crosses the urban area of Ibagué and collects discharges along its channel. The evaluation of these discharges on water sources requires resources such as qualified and economic personnel, which allow to determine the environmental impact and provide alerts on the pollution received. However, one methodology used for cost reduction in the evaluation of discharges is the use of mathematical models that predict water quality. In this work, the water quality analysis of the Santa Ana 1 and 2 discharge on the Chipalo River was carried out using the QUAL2K mathematical simulation model developed by the EPA, where the calibrated model was obtained with the simulations of the following parameters (travel time, flow, temperature, dissolved oxygen, biological oxygen demand, ammoniacal nitrogen, nitrate and pH) from the scenario presented at the Santa Ana dump 1 and 2; area where domestic wastewater is discharged into the river. In addition, different simulations of the model were carried out with projections of different pollutant loads, thus achieving an analysis of the river and the discharge in different conditions.

Key words: Contamination in water sources, wastewater, water quality, pouring, mathematical model QUAL2K, calibration, simulation.

INTRODUCCIÓN

El río Chipalo es una de las principales fuentes hídricas para la zona plana del departamento del Tolima antes de desembocar en el río Totaré, este se encuentra en el lado norte de la

ciudad de Ibagué, entre 2880 y 1000 m sobre el nivel del mar (msnm) con un grado promedio de 16.19% y ocurrencia frecuente de inundaciones (Parra et al., 2016). Se conoce que la localización geográfica de este afluente no es conveniente para su estabilidad biológica

ya que parte del tramo inicial del río se encuentra en zona rural y la mayor parte en el casco urbano de la ciudad. Debido a la falta de educación de la comunidad ibaguereña y el mal manejo que se les da a las aguas residuales, se presenta un alto nivel de contaminación en el agua. Además de esto, el río presenta malos olores, en algunos casos brotes en la piel o focos de alergias en las familias que habitan cerca al río, especialmente en la zona donde se encuentran los vertimientos (Regional, 2011). Cabe aclarar que gran parte de los vertimientos existentes no cuentan con un correcto tratamiento para aguas residuales antes de ser depositadas al río, tratamiento como el que le pueden brindar las plantas depuradoras con tratamientos biológicos y las lagunas de oxidación que mitiguen el impacto ambiental (Domos Agua, 2021).

Para el desarrollo de este proyecto se analizó la información obtenida de trabajos anteriores sobre la calidad del río Chipalo, y esta información se tomó como la base para la implementación del modelo matemático de simulación de calidad del agua QUAL2K (Chapra et al., 2008). El modelo calibrado fue utilizado para simular la contaminación producida por un vertimiento de aguas residuales domésticas, como el vertimiento Santa Ana 1 y 2, que se encuentra en el último tramo urbano del río. Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) el modelo QUAL2K segmenta el sistema en tramos fluviales compuestos por elementos igualmente espaciados; utiliza dos formas de DBO carbonosa para representar carbono orgánico, acomoda la anoxia al reducir las reacciones de oxidación a cero a niveles bajos de oxígeno, simula los flujos de sedimentos, agua de oxígeno disuelto, nutrientes, el pH del río, materia orgánica particulada no viva (detritus) y explícitamente las algas del fondo unidas. Por lo tanto, es uno de los modelos de calidad de agua más completos que existen en la actualidad a comparación de otros, ya que en este se pueden modelar una mayor cantidad de parámetros con gran precisión en sus resultados, además, se pueden realizar distintas simulaciones con posibles condiciones, esto con el fin de tener diferentes análisis del estado de contaminación de un afluente, variando un poco lo que son parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del mismo.

METODOLOGÍA

RÍO CHIPALO Y VERTIMIENTO SANTA ANA

La información sobre el río Chipalo y el vertimiento Santa Ana 1 y 2, se recopiló de estudios previos realizados sobre la calidad del agua del río en el año 2016. Este estudio fue llevado a cabo por estudiantes de Administración Ambiental en la Universidad de Ibagué (Hernández & Oviedo, 2016), donde se realizó el monitoreo a lo largo del río (10 km) en cinco puntos de la zona urbana. A continuación, se presenta una esquematización de cada uno de los puntos monitoreados en el trayecto urbano del río.

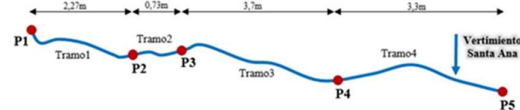


Figura 1. Esquematización del trayecto analizado del río Chipalo.

Se midieron variables como: oxígeno disuelto, pH, temperatura, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, concentración de nitrógeno y fósforo entre otras. La información del vertimiento fue recopilada de informes reportados por el IBAL y CORTOLIMA en la misma época del monitoreo del río. Estos datos son la fuente principal para la alimentación y calibración del modelo.

En la Figura 2, se presenta el mapeo de cada uno de los puntos monitoreados en el trayecto del río por la zona urbana de la ciudad, incluyendo el vertimiento Santa Ana 1 y 2.

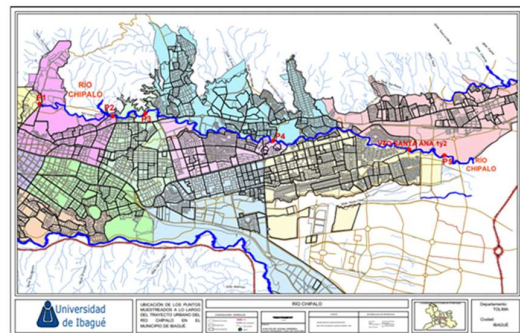


Figura 2. Ubicación de los puntos muestreados a lo largo del trayecto urbano del río Chipalo en el municipio de Ibagué.

Ubicación de los puntos analizados:

Punto 1. Comuna 2, en el barrio Ancón con una altura de 1264 msnm y localización geográfica 4°27'6.03"N y 75°13'59.82"O.

Punto 2. Barrio Villa pinzón (calle 36 con Av. Ambalá), localizado en la comuna 3, con una

altura de 1186 msnm y localización geográfica 4°26'49.51"N y 75°13'0.44"O.

Punto 3. Barrio Jardines de Navarra, que se encuentra en la comuna 4, a una altura de 1182 msnm y localización geográfica 4°26'55.41"N y 75°12'39.57"O.

Punto 4. Urbanización Rincón de las margaritas, localizada en la comuna 5 con una altura de 1097 msnm y localización geográfica 4°26'35.70"N y 75°11'4.98"O.

Punto 5. Barrio Santa Ana, a pocos metros aguas abajo de la sede deportiva de la universidad de Ibagué con una altura de 1070 msnm y localización geográfica 4°26'28.69"N y 75° 9'26.92"O.

Vertimiento Santa Ana 1 y 2. Ubicado en el canal San Isidro detrás de la sede deportiva de la Universidad de Ibagué, carrera 5a A#36, con una localización geográfica 4°26'38.98"N y 75° 9'30.00"O.

SIMULACIONES REALIZADAS

La calibración del modelo QUAL2K en el río Chipalo permitió realizar simulaciones en diferentes condiciones de contaminación del río, esto teniendo en cuenta la llegada del vertimiento Santa Ana 1 y 2 al afluente. Se realizaron 9 simulaciones en donde se varió el caudal del afluente y el caudal del vertimiento para evaluar los parámetros fisicoquímicos más influyentes en la modelación como la DBO rápida. Se tuvo en cuenta que, el aumento del caudal (río o vertimiento) se consideró como el doble del caudal original y la disminución fue la mitad del caudal original, esto con el fin de tener un cambio notable en cada una de las gráficas analizadas. La DBO rápida también fue aumentada o disminuida en el vertimiento bajo estudio.

En la Tabla 1 se pueden apreciar todos los valores obtenidos de los distintos parámetros modelados en el modelo QUAL2K, se observan los valores del modelo original y de cada una de las 9 simulaciones que se realizaron. Estos datos fueron organizados para comparar cada una de las simulaciones con respecto al modelo original, ya que los cambios presentados son notorios.

PARAMETROS: MODELACIÓN ORIGINAL Y SIMULACIONES REALIZADAS								
CASOS	TRAVEL TIME (d)	FLOW (m ³ /s)	TEMPERATURE (°C)	OD (mg/L)	CBODFast (mg/L)	NH ₃ (ug/NL)	NO ₃ (ug/NL)	pH(U)
Original	0.27	0.5	26.39	3.31	95.68	18547.06	11100	7.46
Caso 1	0.27	0.52	26.3	3.26	97.52	19056.59	10703.94	7.45
Caso 2	0.27	0.52	26.3	3.07	113.61	19062.14	10657.51	7.44
Caso 3	0.27	0.5	26.38	3.59	86.13	18501	11147.65	7.48
Caso 4	0.2	1.01	25.5	4.24	68.24	19074.94	11301.07	7.54
Caso 5	0.2	1.01	25.5	4.12	73.34	19076.94	11286.27	7.53
Caso 6	0.2	0.99	25.53	4.4	61.45	18800.14	11513.15	7.56
Caso 7	0.34	0.28	26.87	2.11	178.54	19318.31	9429.11	7.38
Caso 8	0.34	0.28	26.87	1.93	197.29	19329.14	9349.93	7.37
Caso 9	0.35	0.26	27.04	2.56	136.09	18234.32	10220.79	7.41

Tabla 1. Parámetros: modelación original y simulaciones realizadas en el modelo.

QUAL2K

El modelo QUAL2K, es un modelo que representa la calidad del agua superficial, este trabaja con una serie de parámetros, los cuales ayudan a comprender la gran magnitud de los factores contaminantes que puede tener un afluente. El modelo matemático QUAL2k se puede descargar de forma gratuita en la página: <https://www.qual2k.com/> (QUAL2K, n.d.). Dicho modelo se implementa dentro del entorno Microsoft Windows, y está programado en el lenguaje macro de Windows: Visual Basic para Aplicaciones (VBA). Este libro de Excel contiene diferentes hojas de cálculo a las cuales se le pueden ingresar cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tomados en campo, descripción de los tramos del río, constantes hidráulicas, los valores de las constantes cinéticas de calibración del modelo, condiciones meteorológicas y la información fisicoquímica correspondiente a fuentes puntuales y difusas como vertimientos (Chapra S. a., 2008). Con la información recopilada se estudiaron los parámetros necesarios para la calibración del modelo de acuerdo a las características presentadas en el río Chipalo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tramo del río Chipalo estudiado comprendió un recorrido de 10 km dentro de la zona urbana comprendidos entre la comuna 2 y 8. Los resultados de la modelación muestran un tiempo de viaje de 0.28 días (6.7 horas), indicando una velocidad promedio de 0.413 m/s del río en la zona urbana de Ibagué.

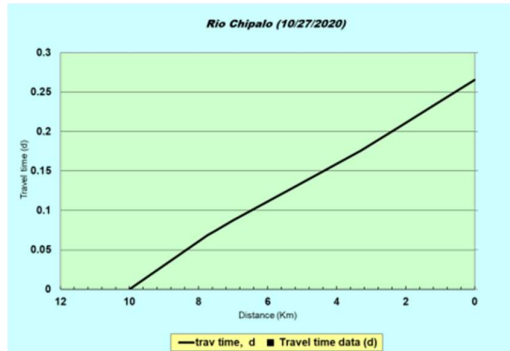


Figura 1. Calibración del tiempo de viaje del río Chipalo.

El modelo QUAL2K fue ajustado a los datos recopilados del río Chipalo. El comportamiento del oxígeno disuelto simulado en el modelo coincide con los datos de entrada, representando una línea decreciente en la concentración de oxígeno disuelto a medida que el río se introduce a la zona urbana, donde aumentan las descargas de aguas residuales domésticas. En primera instancia se observa que el tramo inicial tiene un nivel de oxígeno disuelto cercano a 7 mg/L (en la entrada a la zona urbana), indicando un río en condiciones de calidad aceptable en relación al oxígeno disuelto. A medida que el río entra en la zona urbana, el oxígeno disuelto va disminuyendo posiblemente por las descargas a lo largo del cauce. El impacto mayor se da en los últimos 4 km del tramo del río estudiado. Al final se alcanzan niveles inferiores a 4 mg/L, mostrando un deterioro evidente de la calidad del río por los continuos vertimientos, además reforzado con el vertimiento de aguas residuales domésticas Santa Ana 1 y 2, que se ubica en la última parte del tramo del río estudiado.

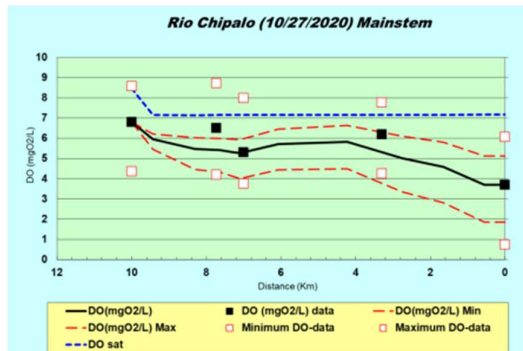


Figura 2. Calibración del oxígeno disuelto OD del río Chipalo.

La dinámica de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la cual se ajusta a los datos experimentales, muestra una línea creciente a lo largo de la trayectoria, como era de esperarse, de acuerdo a lo mostrado con el

oxígeno disuelto. Al inicio del río, la DBO es baja (20 mg/L), pero a medida que pasa por la zona urbana, esta va creciendo. En los últimos 4 km del tramo estudiado tiene un crecimiento constante, hasta llegar a valores de 120 mg/L. Como se puede observar, este último tramo recibe las mayores descargas de aguas residuales, entre las cuales, se encuentra el vertimiento Santa Ana 1 y 2; vertimiento que se encuentra bajo estudio en el presente trabajo

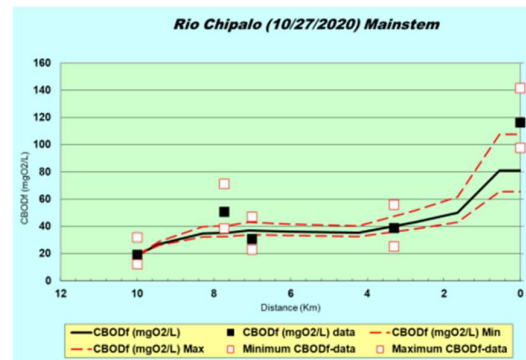


Figura 3. Calibración de la Demanda biológica de oxígeno DBO rápida del río Chipalo.

Finalmente, los resultados muestran el gran deterioro de la calidad del agua del río Chipalo y como su recorrido por la zona urbana incrementa la contaminación que recibe esta importante fuente hídrica.

Simulaciones realizadas:

En la Tabla 2 presentada a continuación, se muestran las variaciones en porcentajes que tiene cada una de las simulaciones con respecto al modelo original.

SIMULACIONES REALIZADAS VS MODELACIÓN ORIGINAL								
Nº CASOS	TRAVEL TIME	FLOW	TEMPERATURE	OD	CBODFast	NH4	NO3	pH
1	0%	4%	0%	-2%	2%	3%	-4%	0%
2	0%	4%	0%	-7%	19%	3%	-4%	0%
3	0%	0%	0%	8%	-10%	0%	0%	0%
4	-26%	102%	-3%	28%	-29%	3%	2%	1%
5	-26%	102%	-3%	24%	-23%	3%	2%	1%
6	-26%	98%	-3%	33%	-36%	1%	4%	1%
7	26%	-44%	2%	-36%	87%	4%	-15%	-1%
8	26%	-44%	2%	-42%	106%	4%	-16%	-1%
9	30%	-48%	2%	-23%	42%	-2%	-8%	-1%

Tabla 2. Simulaciones realizadas vs modelación original.

Para los casos 1 (aumento del caudal del vertimiento), 2 (aumento del caudal y DBO rápida del vertimiento) y 3 (aumento de la DBO rápida del vertimiento) se puede observar que no hay grandes variaciones en los parámetros fisicoquímicos evaluados. Estos resultados pueden mostrar que el modelo es altamente influenciado por el caudal del río, el cual permaneció constante (valor original),

presentando bajas alteraciones en la contaminación del afluente.

Para los casos 4 (aumento caudal del río y del vertimiento), 5 (aumento caudal del río, caudal y DBO rápida del vertimiento) y 6 (aumento caudal del río y DBO rápida del vertimiento) se aumentó el caudal del río quedando con un valor de (0.974 m³ /s), lo cual hizo que se evidenciaron grandes variaciones en los parámetros fisicoquímicos como la OD y la DBO rápida. Se muestra que los parámetros fisicoquímicos bajaron en porcentaje, deduciendo que a mayor caudal que tenga el afluente, la contaminación va a ser menor y su tiempo de viaje disminuye (aumenta la velocidad del río). Esto puede presentarse en épocas de lluvia (posiblemente en la cabecera del afluente o alrededor del cauce), donde el río puede presentar mayor cantidad de agua para diluir los contaminantes de los vertimientos domésticos.

Para los casos 7 (aumento del caudal del vertimiento), 8 (aumento del caudal y DBO rápida del vertimiento) y 9 (aumento de la DBO rápida del vertimiento) se disminuyó el caudal del río quedando con un valor de (0.2435m³ /s), lo cual produjo variaciones en los parámetros fisicoquímicos evaluados. Se evidencia que el tiempo de viaje aumenta (disminuye la velocidad del río), esto quiere decir que a menor caudal que tenga el afluente va a generar un alto nivel de contaminación en el mismo. Estas simulaciones pueden relacionarse en épocas de estiaje del río.

En general el modelo calibrado permite la simulación de diferentes condiciones producidas por los posibles cambios en las condiciones del río y el vertimiento. Lo cual se constituye en una herramienta de interés para predecir las condiciones del río a fenómenos dados por las dinámicas cambiantes de la población en la zona de estudio.

CONCLUSIONES

Es de vital importancia relacionar las campañas de monitoreo de parámetros fisicoquímicos en los ríos con los modelos de calidad de agua como el modelo matemático QUAL2K, ya que se constituye en una herramienta interesante para disminuir costos en monitores futuros y tomar decisiones para el cuidado o emitir alertas tempranas del grado de contaminación de los ríos. Los resultados permitieron evidenciar que, durante el trayecto evaluado del río Chipalo se presentaron considerables niveles de contaminación, en especial en el

último tramo analizado (salida de zona urbana), donde posiblemente se encuentren la mayor cantidad de descarga de vertimiento de origen doméstico, incluyendo el vertimiento Santa Ana 1 y 2. La evidencia se fundamenta en el aumento drástico de los niveles de DBO y disminución de los niveles de oxígeno disuelto.

BIBLIOGRAFÍA

[1] EPA. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos | US EPA, 1999, <https://espanol.epa.gov/>

[2] Regional, G. O. B. I. "Plan Estratégico De Desarrollo Regional, 2011.

[3] Chapra, S., Pelletier, G., & Tao, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.11: Documentation and User's Manual. 109, 2008.

[4] García, A. H. Modelación de la calidad del agua en corrientes naturales mediante sistemas no lineales acoplados., 1–92, 2008, <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/3809/GarciaQuinteroHermesAlfonso2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[5] Z. Zainudin, N. A. Rahman, N. Abdullah, and N. F. Mazlan, "Development of water quality model for sungai tebrau using QUAL2K," J. Appl. Sci., vol. 10, no. 21, 2010, doi: 10.3923/jas.2010.2748.2750.

[6] G. Cárdenas, F. Mafla, M. López, and C. Duque, "Simulación de la calidad del agua en la quebrada Chapal," Unimar, no. 49, 2009.

[7] R. N. E. Samboni, E. Y. Carvajal, and J. C. Escobar, "Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua," Rev. Ing. e Investig., vol. 27, no. 3, 2007.

[8] Samaneh Abdeveis, H. Sedghi, H. Hassonizadeh, and H. Babazadeh, "Application of Water Quality Index and Water Quality Model QUAL2K for Evaluation of Pollutants in Dez River, Iran," Water Resour., vol. 47, no. 5, 2020, doi: 10.1134/S0097807820050188.

[9] N. Ahmad Kamal, N. S. Muhammad, and J. Abdullah, "Scenario-based pollution discharge simulations and mapping using integrated QUAL2K-GIS," Environ. Pollut., vol. 259, 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2020.113909.

[10] Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio., "Informe Nacional De Calidad Del Agua Para Consumo Humano Inca 2018," Minsalud, 2018.

[11] G. T. Yeh, F. Zhang, J. Yu, T. S. Wu, and G. Hu, "A reaction-based, diagonalization approach to water quality modeling," in Proceedings of the International Conference on Estuarine and Coastal Modeling, 2006, vol. 2006, doi: 10.1061/40876(209)22.

[12] CORPONARIÑO, "Plan de ordenamiento del Recurso Hídrico Quebrada Miraflores (modelo de simulación de calidad del cauce principal de la quebrada Miraflores)," Minist. Ambient. y Desarro. Sosten. La República Colombia., pp. 168–210, 2016, [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1934-plan-de-ordenamiento-del-recurso-hidrico>.

[13] IBAL S.A. E.S.P, "Informe de avance plan de saneamiento y manejo de vertimientos 'psmv' municipio de Ibagué zona urbana Contrato 0140 de diciembre de 2016 IBAGUÉ – abril 2017," no. 1, 2017.

[14] CORTOLIMA, "Puntos de vertimiento de aguas residuales acueductos comunitarios secretaria de desarrollo rural municipio de Ibagué," pp. 1–9, 2015.

[15] M. F. Jaramillo et al., "Integración de los modelos WEAP Y QUAL2K para La simulación de la calidad agua de fuentes superficiales. Caso de estudio: cuenca del río La Vieja, Colombia," Aqua-LAC, vol. 8, no. 2, pp. 14–24, 2016.