

INTERFAZ ENTRE EL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS QUALZE Y UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Teresita Betancur V.
Jorge Humberto Sierra C. *

Para la toma de decisiones relacionadas con la utilización adecuada de un recurso natural, se requiere contar con mecanismos versátiles que permitan un rápido acceso a la información relacionada con las condiciones del sistema sobre el cual se pretende actuar, de manera que puedan analizarse y diseñarse políticas de manejo y control que garanticen la preservación del recurso.

Un modelo es una herramienta de diseño que permite representar la realidad de manera simplificada y si se construye de manera adecuada posee un valor predictivo enormemente útil para el manejo de un recurso natural (Betancur, 1997)

El agua, elemento esencial para la vida, ha sufrido deterioro en su calidad, a causa de actividades antrópicas que han establecido un uso irracional de ella.

Como bien lo plantea Salazar (1984), el objetivo principal de los modelos matemáticos de corrientes de agua es producir una herramienta que tenga la capacidad para simular el comportamiento hidrológico y la calidad de un sistema acuático. El poder simular el comportamiento de una corriente de agua permite predecir los cambios que tendrá, cuando varíen las descargas de elementos que afectan sus condiciones.

La definición de la calidad de una corriente de agua involucra gran cantidad de variables hidrológicas, hidráulicas, fisicoquímicas y bacteriológicas, así como su variación espacial y temporal; un modelo matemático computarizado permite agilizar esa labor produciendo resultados en menos tiempo.

Los resultados de un proceso de modelamiento se hacen mas claros y en consecuencia son mas útiles si puede establecerse una relación clara entre ellos mediante su representación geográfica, con elementos georeferenciados.

Desde hace muchos años, los mapas se han usado para representar características importantes relacionadas con la superficie de la tierra. A la luz de las aplicaciones modernas, un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema computarizado que posee cuatro facilidades de manipulación de datos georeferenciados: entrada de información, manejo de datos, manipulación y análisis y salida de nueva información.

El modelo para la evaluación de la calidad de corrientes de agua QUAL2E, simula 15 parámetros fisicoquímicos y cualquier combinación que se desee de ellos. Este programa desarrollado por la Environmental Protection Agency

* Profesor Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental GIGA. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

(EPA) es uno de los programas de modelación de calidad de agua mas ampliamente usado en nuestro medio.

El diseño de una interfaz de aplicación entre el programa de modelamiento de calidad de aguas QUAL2E y un Sistema de Información geográfica, SIG, permite que los resultados del proceso de modelamiento puedan ser desplegados de forma gráfica en un sistema georeferenciado, facilitando al usuario el acceso a la información pertinente para apoyar la toma de decisiones con relación al adecuado aprovechamiento y a la preservación del recurso hídrico en una región.

Los objetivos de una interfaz entre el QUAL2E y un SIG pueden resumirse de la siguiente manera:

- Diseñar una serie de programas de interfaz entre el modelo de simulación de calidad del agua QUAL2E y un Sistema de Información Geográfica -SIG- que permitan intercambiar información entre los dos programas, de manera que se alimenten con datos mutuamente.

- Integrar los análisis de calidad de agua con otros elementos de interés presentes en un área de estudio.

- Lograr un rápido acceso por medio de despliegue gráfico acompañado de atributos, de la información relacionada con las condiciones de calidad de agua en un sitio específico según el uso que se pretenda hacer del recurso

La implementación de una interfaz de aplicación entre el programa de simulación de calidad de agua QUAL2E y un SIG, supone la realización de una serie de tareas a partir de las cuales se evalúa la información existente, se definen e implementan los procedimientos necesarios para adecuar la información a las exigencias de los Softwares y se ejecuta la interfaz.

Los pasos metodológicos para la realización de este propósito se sintetizan así:

- 1. Recopilación de Información:** se retoman el modelo conceptual del sistema y los archivos de resultados proporcionados por el QUAL2E para las corrientes modeladas. Además es necesario contar con cartografía adecuada para soportar el georeferenciamiento de la información del QUAL2E, esto es, los datos de localización de puntos de interés tales como vertimientos y estaciones de muestreo.
- 2. Ingreso de Información al SIG:** este procedimiento incluye la digitalización de mapas temáticos y la asignación de códigos que permitan el posterior enlace de los mapas con las tablas producidas en el QUAL2E.
- 3. Diseño de programas de transferencia de información desde el QUAL2E al SIG:** mediante una serie de programas diseñados para ese fin, se toman los archivos de salida del QUAL2E y se convierten en archivos de entrada para el SIG. Esta información representa los atributos de los elementos geográficos codificados al momento de ingresar la información al SIG
- 4. Implementación de operaciones SIG:** en esta etapa se materializa la representación geográfica de atributos de calidad de agua.

En el QUAL2E para la representación del modelo conceptual, las corrientes por simular se dividen en una serie de tramos con características hidrogeométricas y biológicas constantes y luego cada tramo se divide en elementos computacionales de igual dimensión. La identificación de cada elemento se hace mediante su posicionamiento dentro de los tramos (figura 1). Esta representación no establece una relación espacial con la geometría de la tierra; las coordenadas geográficas no constituyen una característica de los elementos computacionales y no son claras las relaciones topológicas.

La presentación de resultados se hace mediante tablas, en las cuales se despliega para cada elemento computacional los valores correspondientes a los 15 parámetros que pueden simularse. La tabla 1 presenta la manera como el QUAL2E despliega los resultados.

INTERFAZ SIG - MODELO DE CALIDAD DE AGUAS.

Si bien los SIG poseen una serie de facilidades que pueden utilizarse dentro del proceso de modelamiento, la integración completa de un SIG

y un modelo de simulación de calidad de aguas puede ser difícil y requiere de la inversión de mucho tiempo; para lograrlo es necesario conocer muy bien la estructura de datos del SIG, estar familiarizado con los formatos de entrada de datos y salida de resultados del modelo y poseer cierto nivel de conocimientos en programación. En general pueden plantearse tres tipos de interfaz: Modelos unidos a un SIG, Linked, Modelos integrados con el SIG, Integrated y Modelos encajados en el SIG. Embedded (Watkins et al, 1996)

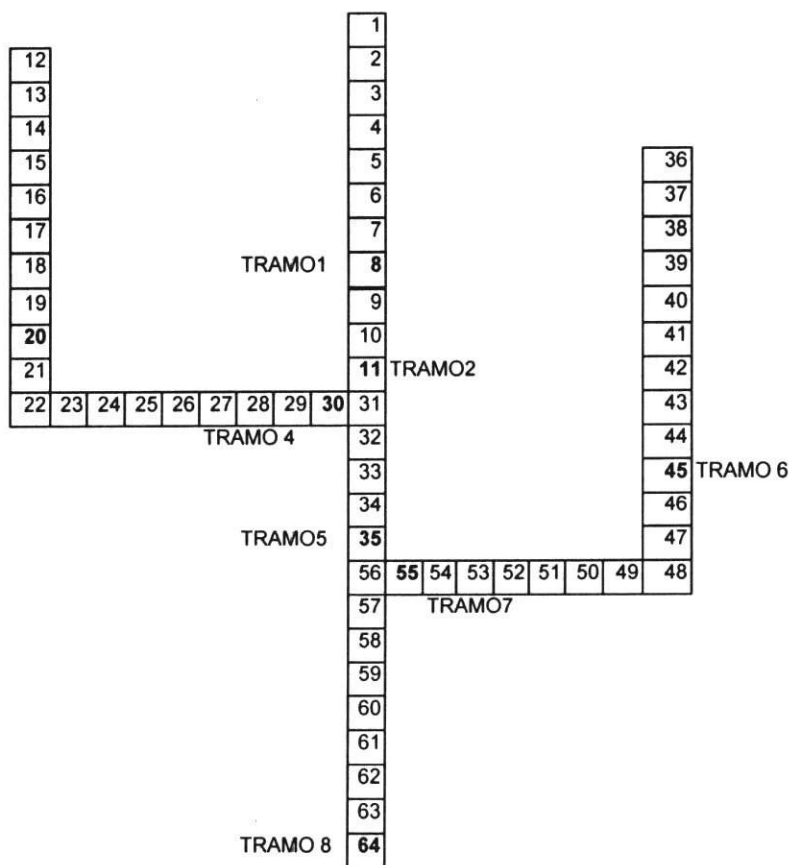


Figura 1. Representación conceptual de un sistema.

Cada corriente se divide en tramos y cada tramo en elementos computacionales de igual longitud.

TABLA I. Resultados de una simulación. EL QUAL2E asigna a cada elemento computacional los valores calculados para los 15 parámetros simulados

**STEADY STATE SIMULATION
WATER QUALITY VARIABLES**

RCH NUM	ELE NUM	TEMP DEG-C/L	CM-1	CM-2	CM-3	DO MG/L	BOD MG/L	ORGN MG/L	NH3N MG/L	NO2N MG/L	NO3N MG/L	UM-N MG/L	ORGP MG/L	DIS-P MG/L	SUM-P MG/L	COLI #/100ML	SS MG/L	CHLA UG/L
1	1	18	22.63	0	0	7.07	4.45	1	0.3	0	0.05	1.35	0.05	0.01	0.06	0	19.6	0
1	2	18	104.7	0	0	6.92	4.84	1	0.3	0	0.07	1.38	0.05	0.01	0.06	0	89.13	0
1	3	18	107.82	0	0	6.32	15.51	1.43	0.99	0.01	0.07	2.5	0.17	0.21	0.37	0	82.95	0
1	4	18	105.57	0	0	6.09	13.87	1.39	0.94	0.01	0.07	2.41	0.16	0.19	0.35	0	73.01	0
1	5	18	103.65	0	0	5.97	12.5	1.36	0.89	0.01	0.07	2.33	0.15	0.18	0.33	0	65.16	0
1	6	18	102.01	0	0	5.91	11.35	1.33	0.85	0.02	0.07	2.26	0.14	0.17	0.31	0	58.86	0
1	7	18	100.57	0	0	5.89	10.36	1.31	0.81	0.02	0.06	2.2	0.14	0.16	0.29	0	53.73	0
1	8	18	99.32	0	0	5.89	9.52	1.28	0.78	0.02	0.06	2.15	0.13	0.15	0.28	0	49.5	0
1	9	18	98.2	0	0	5.9	8.78	1.27	0.75	0.02	0.06	2.1	0.12	0.14	0.27	0	45.97	0
1	10	18	97.21	0	0	5.92	8.14	1.25	0.73	0.02	0.06	2.06	0.12	0.13	0.25	0	43	0
1	11	18	96.32	0	0	5.95	7.57	1.23	0.7	0.02	0.06	2.02	0.12	0.13	0.24	0	40.47	0
1	12	18	95.52	0	0	5.98	7.07	1.22	0.68	0.02	0.06	1.99	0.11	0.12	0.24	0	38.31	0
2	1	18	95.01	0	0	6	6.7	1.21	0.67	0.03	0.06	1.97	0.11	0.12	0.23	0	39.7	0
2	2	18	94.52	0	0	5.95	6.31	1.2	0.66	0.03	0.06	1.95	0.11	0.11	0.22	0	41	0
2	3	18	94.07	0	0	5.92	5.96	1.19	0.65	0.03	0.06	1.93	0.11	0.11	0.22	0	42.21	0
2	4	18	93.64	0	0	5.89	5.64	1.18	0.64	0.03	0.06	1.91	0.11	0.11	0.21	0	43.36	0
2	5	18	93.24	0	0	5.88	5.34	1.17	0.63	0.03	0.06	1.9	0.1	0.11	0.21	0	44.43	0
2	6	18	92.86	0	0	5.87	5.07	1.16	0.62	0.04	0.06	1.88	0.1	0.1	0.21	0	45.45	0
2	7	18	92.51	0	0	5.87	4.81	1.16	0.61	0.04	0.06	1.87	0.1	0.1	0.2	0	46.41	0
2	8	18	92.16	0	0	5.87	4.61	1.15	0.6	0.04	0.06	1.86	0.1	0.1	0.2	0	47.31	0
2	9	18	90.37	0	0	5.43	11.2	1.91	0.63	0.04	0.11	2.69	0.18	0.11	0.3	0	47.93	0
2	10	18	90.11	0	0	5.2	10.6	1.88	0.62	0.04	0.11	2.65	0.18	0.11	0.29	0	48.73	0
2	11	18	89.87	0	0	5.01	10.05	1.86	0.61	0.04	0.11	2.62	0.18	0.11	0.29	0	49.48	0

1. Modelos Unidos a un SIG (linked)

En la figura 2 se presenta un esquema de este tipo de interfaz: el SIG y el modelo son básicamente autónomos, pero están unidos por uno o varios programas de interfaz, los cuales cumplen la función principal de convertir los datos desde el SIG a un formato que pueda ser leído por el modelo y luego reformatear las salidas del modelo para ingresarlas a las bases de datos del SIG.

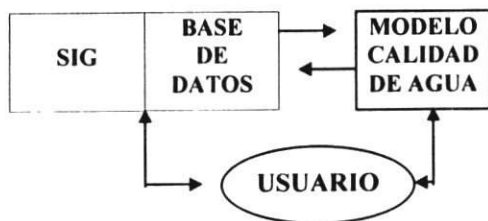


Figura 2. Interfaz del Tipo modelo unido a un SIG (Linked)

2. Modelos Integrados con el SIG (Integrated).

Esta interfase puede considerarse como una unión mas fuerte entre el SIG y el modelo (figura 3), siendo la principal diferencia con el esquema linked que el usuario interactúa solo con el SIG o con el modelo de simulación de calidad de aguas. en los modelos integrados se utilizan programas para transferir y reformatear datos en forma similar al caso anterior, pero ellos están ocultos al usuario y por lo general solo se requiere de una base de datos.

3. Modelos encajados en el SIG (Embedded).

En este caso se utilizan las capacidades de modelamiento del SIG. Como puede verse en la figura 4, no se requiere conversión de datos, el usuario interactúa directamente con el SIG y con el modelo, no hay nada oculto.

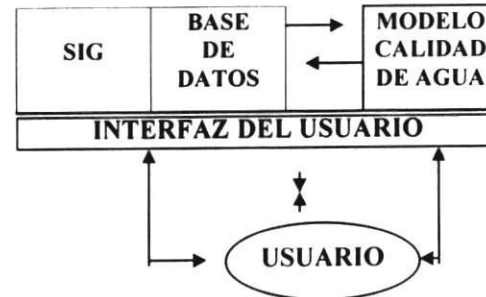


Figura 3. Interfaz del Tipo modelo integrado a un SIG (Integrated)

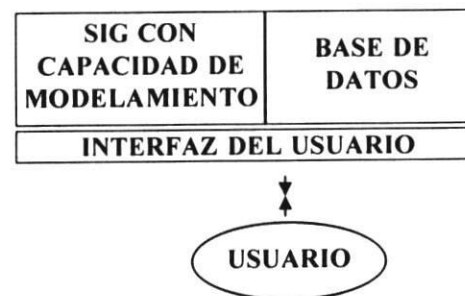


Figura 4. Interfaz del Tipo modelo encajado a un SIG (Embedded)

La unión del SIG y el QUAL2E busca tomar los resultados de la simulación y asignarlos a un mapa de la zona a que corresponden; cada elemento computacional del modelo corresponde a un segmento de corriente digitalizado en el SIG, y ese segmento esta limitado espacialmente por un par de coordenadas correspondientes a un punto inicial y un punto final; a su vez cada segmento se nombra con un código que lo identifica con un único elemento computacional (figura 5).

Mediante el diseño y ejecución de programas auxiliares se convierte el formato del archivo de salida del QUAL2E a un formato de SIG que corresponde a una base de datos

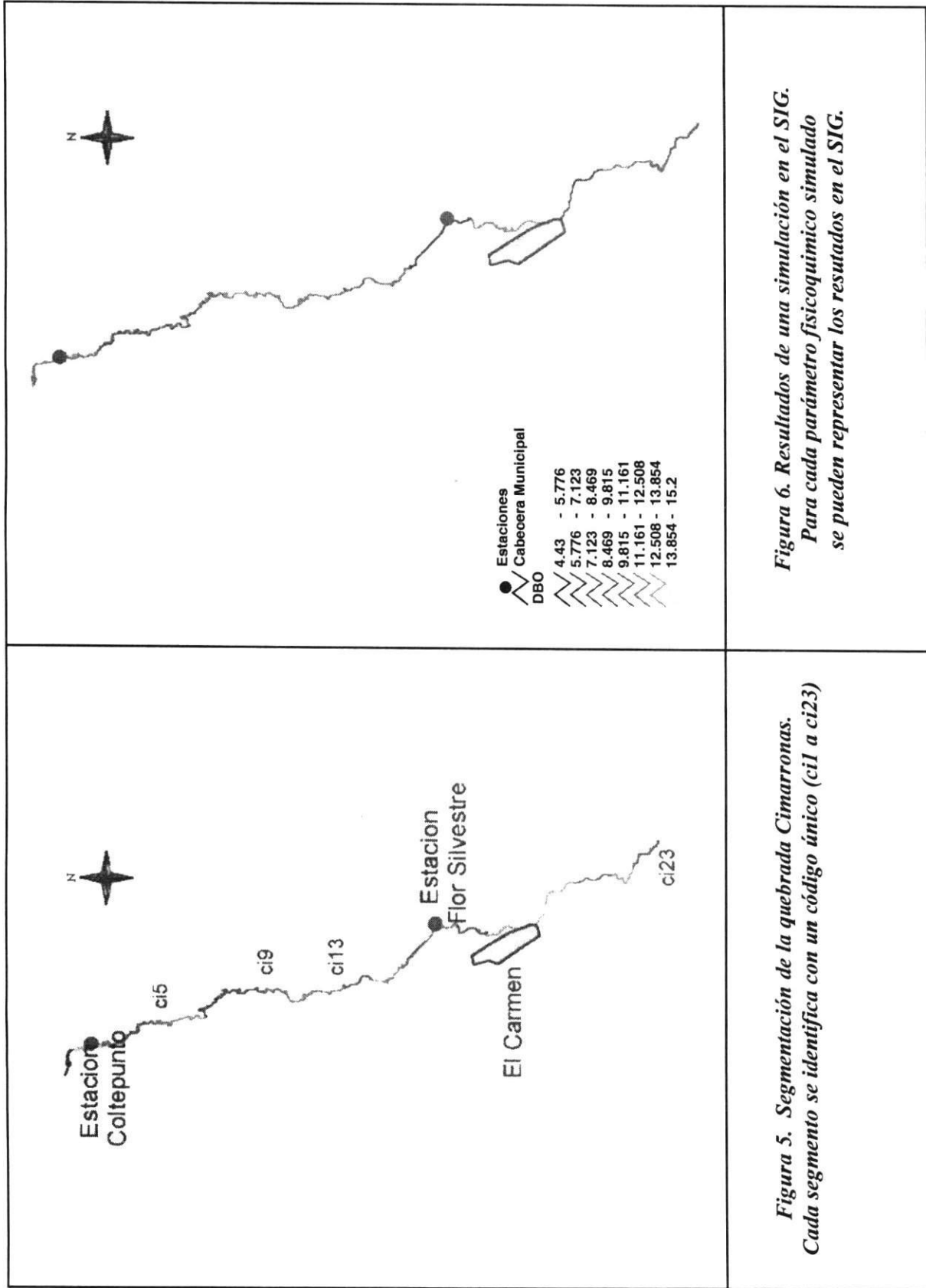


Figura 6. Resultados de una simulación en el SIG.
 Para cada parámetro fisicoquímico simulado se pueden representar los resultados en el SIG.

Figura 5. Segmentación de la quebrada Cimarronas.
 Cada segmento se identifica con un código único (ci1 a ci23)

de atributos para cada uno de los segmentos de las corrientes modeladas. El procedimiento siguiente consiste en realizar las operaciones en SIG, que ligen la información georeferenciada con la base de datos geográfica. El resultado de estos procedimientos se visualiza en mapas como el que se presenta en la figura 6. Además a través del SIG el usuario podrá desplegar por pantalla y realizar consultas acerca de la información que requiera correspondiente a un lugar de interés.

Cada vez que se actualice el modelo de simulación, siempre y cuando no se cambie la estructura del modelo conceptual, es decir mientras permanezca constantes la definición de tramos y elementos computacionales, los resultados pueden ser trasladados, procesados y desplegados en el SIG.

CASO DE APLICACIÓN

Para el oriente antioqueño, dentro de la cuenca alta del río Negro se toma la quebrada Cimarronas desde un poco arriba de la cabecera municipal hasta su desembocadura. De acuerdo con el criterio del modelador, la corriente se divide en dos tramos, uno de 12 y otro de 11 kilómetros; a su vez cada tramo se divide en elementos computacionales de 1 Km. (figura 7). Se hace una caracterización de los vertimientos a la corriente, se ubican en el segmento correspondiente y se ejecuta el modelo hasta lograr su calibración. Como resultado se obtienen los datos de calidad de agua que se presentan en la tabla 1.

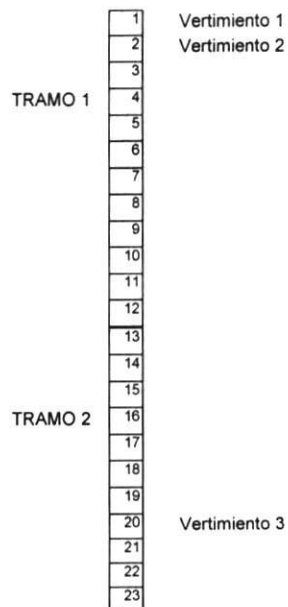


Figura 7. Modelo conceptual para la quebrada Cimarronas

Mediante la interfase, a partir de un mapa digitalizado, se divide la corriente en 23 segmentos y a cada uno se le asigna un código único (figura 5). Mediante un programa auxiliar la información de la tabla 1 se convierte a un formato del SIG, de manera que los datos de calidad constituyan atributos de los segmentos codificados (tabla 2). Mediante la unión del mapa y la base de datos geográfica, puede obtenerse una representación gráfica de las características del agua en cada segmento de su trayectoria y para cada uno de los 15 parámetros modelados por el QUAL2E. En la figura 6 se muestra la forma como el SIG permite desplegar la información obtenida como producto del modelamiento.

TABLA 2. Datos de atributos de calidad de agua para cada uno de los segmentos de la quebrada Cimarrona

NAME\$	DO&	BOD&	ORGM&	NH3N&	NO2N&	NO3N&	SUM-N&	ORGP&	DIS-P&	SUM-P&	COLI&	SS&
C11	7.13	4.44	1	0.3	0	0.05	1.35	0.05	0.01	0.06	0	20.38
C12	6.97	5.21	1	0.3	0	0.09	1.4	0.05	0.01	0.06	0	22
C13	6.1	21.16	1.64	1.34	0.01	0.08	3.07	0.22	0.31	0.53	0	9.42
C14	5.82	18.85	1.59	1.26	0.02	0.08	2.94	0.21	0.28	0.49	0	93.76
C15	5.7	16.91	1.55	1.19	0.02	0.08	2.83	0.2	0.27	0.46	0	81.56
C16	5.67	15.26	1.51	1.13	0.03	0.07	2.74	0.19	0.25	0.44	0	71.92
C17	5.68	13.85	1.47	1.08	0.03	0.07	2.65	0.18	0.24	0.42	0	64.21
C18	5.72	12.64	1.44	1.03	0.03	0.07	2.58	0.17	0.22	0.39	0	57.96
C19	5.77	11.58	1.41	0.99	0.03	0.07	2.51	0.17	0.21	0.38	0	52.85
C110	5.82	10.65	1.39	0.96	0.04	0.07	2.45	0.16	0.2	0.36	0	48.63
C111	5.88	9.84	1.37	0.92	0.04	0.07	2.4	0.15	0.19	0.35	0	45.11
C112	5.94	9.12	1.35	0.89	0.04	0.07	2.35	0.15	0.18	0.33	0	42.15
C113	6	8.58	1.33	0.87	0.04	0.07	2.32	0.15	0.18	0.32	0	44.02
C114	6.01	8.06	1.32	0.85	0.04	0.07	2.29	0.14	0.17	0.32	0	45.77
C115	6.02	7.58	1.3	0.84	0.05	0.07	2.26	0.14	0.17	0.31	0	47.42
C116	6.04	7.13	1.29	0.82	0.05	0.07	2.23	0.14	0.16	0.3	0	48.97
C117	6.06	6.72	1.28	0.81	0.05	0.07	2.21	0.13	0.16	0.29	0	50.43
C118	6.08	6.34	1.27	0.79	0.05	0.07	2.18	0.13	0.16	0.29	0	51.81
C119	6.11	6	1.26	0.78	0.05	0.07	2.16	0.13	0.15	0.28	0	53.11
C120	6.13	5.71	1.25	0.76	0.06	0.07	2.14	0.13	0.15	0.28	0	54.34
C121	5.46	15.88	2.42	0.79	0.06	0.14	3.42	0.26	0.17	0.43	0	54.82
C122	5.16	14.98	2.38	0.78	0.06	0.14	3.37	0.25	0.17	0.42	0	55.91
C123	4.93	14.15	2.34	0.78	0.06	0.14	3.32	0.25	0.17	0.41	0	56.93

BIBLIOGRAFÍA

- BETANCUR, T. Modelación de Acuíferos Utilizando SIG para la Región de Urabá. Tesis Msc UNAL, 1996, 230 P.
- EPA. QUAL2E Windows Interfase User's Guide - EPA 1995. 80 p.
- SALAZAR A. Contaminación de Recursos Hídricos, Modelos y Control. AINSA, 1984 V.P.
- WATKINSP, McKINNEY, D. MAIDMENT D. & MinDerLin. Use of Geographic Information System in Groundwater Flow Modelling. En Journal of Water. Resources planning and Management. vol. 122 No.2, 1996 pp 88-96.