

AUTOMATIZACIÓN DEL CONTROL DE LOS PARÁMETROS QUÍMICO FÍSICOS Y LA CALIDAD DE LAS AGUAS.

Estrella Alvarez Varela, Juan R. Fagundo Castillo e Iliana Vinardell Grandal

Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC).

RESUMEN

Se presenta un método de control de la calidad de las aguas generalizado, el cual se basa en varios sistemas de programas que trabajan a partir de datos medidos "in situ", así como la aplicación de estos sistemas al estudio de la evolución de la calidad de las aguas en diferentes medios. Los sistemas de programas *SAMA* y *SAPHIQ* han sido implementados sobre Windows en Borland Delphi y permiten realizar el procesamiento de datos hidroquímicos.

Estos sistemas brindan la posibilidad de procesar y validar los datos hidroquímicos, clasificar y controlar la calidad de las aguas, representar gráficamente los resultados alcanzados, así como estudiar en el tiempo diferentes parámetros.

INTRODUCCION

El manejo y control de la calidad de las aguas es uno de los problemas asociados a la contaminación ambiental, que requiere de la utilización de métodos y técnicas de avanzada, que sean capaces de dar una respuesta rápida y eficaz sobre el estado de esos recursos, su posible uso, su evolución al cabo del tiempo, y que permitan tomar medidas para preservar su calidad y evitar su deterioro.

En muchos países existen redes de control de la calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, las cuales generan un gran volumen de datos hidroquímicos, hidrológicos y climáticos, cuyo procesamiento estadístico puede brindar una valiosa información acerca de las regularidades matemáticas entre las diferentes variables.

Con el objetivo de conocer la calidad de los recursos hídricos y los cambios que experimentan los mismos como resultado de la actividad del hombre, muchos países, entre ellos el nuestro, cuenta con redes de estaciones de monitoreo donde, de manera continua, se registran las condiciones hidrometeorológicas y en forma sistemática se realizan análisis químico-físicos y bacteriológicos de las aguas. Esta actividad genera un volumen de información cuyo procesamiento y uso adecuado es de valiosa importancia para la mejor administración y explotación de los recursos hidráulicos.

Con la problemática del monitoreo y el control de calidad de las aguas se asocia también la elaboración y explotación de software específicos con el objetivo de crear ficheros de datos, su procesamiento estadístico, la determinación de la precisión de los análisis químicos, búsqueda de tendencias y otros.

MATERIALES Y METODOS

Procesamiento de datos hidroquímicos

Los datos hidroquímicos fueron procesados utilizando los sistemas de programas implementados con el objetivo de realizar la caracterización hidrogeoquímica de las aguas y el control de su calidad (*SAMA* y *SAPHIQ*).

Como lenguaje de programación se ha empleado el Borland Delphi para Windows.

La información se puede introducir a partir de ficheros con una estructura definida, que contienen informaciones generales de la muestra, así como los valores de los macrocomponentes y algunas otras variables que se detallarán posteriormente, así como a través del teclado, teniendo la posibilidad de crear ficheros con esta información.

Los sistemas han sido concebidos como módulos independientes. Están estructurados en forma de menú de opciones de varios niveles. En cada módulo se realiza un procesamiento gráfico de la información. Se incluyen chequeos de errores en las opciones que así lo requieren.

Para hallar el mejor ajuste de las curvas que relacionan la concentración de cada ion con la conductividad eléctrica ha sido utilizado un polinomio de 1^{ro} hasta 5^{to} grado que pasa por el origen de coordenadas. Para realizar el ajuste se empleó el método de regularización con restricciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los sistemas de procesamiento de datos hidroquímicos han sido implementados en Borland Delphi para Windows, con ficheros de datos similares o transformables entre sí a través de los propios sistemas.

El Sistema Automatizado para el Procesamiento de datos hidroquímicos (SAPHIQ) tiene como objetivo (Alvarez y Fagundo, 1991) procesar datos hidroquímicos con vistas a encontrar propiedades químico-físicas de las aguas que permitan su caracterización espacial desde el punto de vista hidroquímico; obtener relaciones o índices geoquímicos que faciliten la interpretación de los procesos de interacción de las aguas con el medio físico-geográfico y geológico por donde se mueven; obtener información de carácter hidrológico e hidrogeológico y por último, evaluar la variación temporal de diferentes variables, lo que brinda información, en forma indirecta, de las características del drenaje en la cuenca.

A partir de los valores de los principales parámetros químico-físicos, expresa las concentraciones iónicas (C_i) en diferentes unidades (meq/l, mg/l, % meq/l), calcula la dureza, la mineralización en diferentes expresiones, determinando en cada caso los principales estadígrafos de los datos. También determina la conductividad eléctrica teórica según los modelos de Dudley y Miller; relaciones iónicas de interés geoquímico; así como los índices de agresividad de las aguas sobre la base de los modelos de Tillman-Trombe (D pH, pH de saturación y CO_2 en equilibrio) y de Back y Cols. (fuerza iónica, relación de saturación de la Calcita (RSC), relación de saturación de la Dolomita (RSD), relación de saturación del yeso (RSY) y CO_2 en equilibrio). Permite además, la representación gráfica de temperatura, pH, CO_2 , conductividad eléctrica, mineralización (TSS, S C_i , S m), $CaCO_2$, RSC, RSD y RSY en función del tiempo y de la dureza. También se representan los valores de pH y dureza en el Diagrama de Tillman-Trombe modificado por Muxart. Las series cronológicas que se muestran en los gráficos pueden ser utilizados para evaluar tendencias y hacer pronósticos sobre la calidad de las aguas de los sitios estudiados.

El *Sistema Automatizado para el Monitoreo de las aguas (SAMA)*, determina ecuaciones de dependencia matemática entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica según un modelo de regresión matemática de 1^{ro} a 5^{to} grado que pasa por el origen de coordenadas. Las ecuaciones de mejor ajuste pueden ser calculadas por tanteo o en forma automática sobre la base de la prueba de Fisher. Se calcula la composición química a partir de valores de conductividad, comparándose los resultados reales con los obtenidos por correlación matemática mediante un índice de similitud y diagramas hidroquímicos de Stiff. (Alvarez et al, 1990) Utilizando las ecuaciones determinadas por este sistema es posible controlar la composición química y la mineralización de dichas aguas mediante simples mediciones de conductividad eléctrica.

La información de entrada puede ser suministrada por el teclado de la computadora o a partir de un fichero texto previamente creado con la estructura siguiente:

- Nombre de la muestra
- Fecha
- Hora
- Temperatura °C

- pH
- Conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
- CO_2 (mg/l)
- HCO_3 , CO_3 , Cl, SO_4 , Ca, Mg y Na+K (en meq/l)

El menú principal contiene las opciones siguientes:

- *Lectura*
- *Regresión polinómica*
- *Modelo polinómico*
- *Regresión polinómica:*

El SAMA propone modelos matemáticos que están en concordancia con los modelos físicos de adquisición de la composición química de las aguas: la línea recta que pasa por el origen de coordenadas, para cuando un sólo factor es el dominante en este modo de adquisición, por ejemplo, la litología; la ecuación de segundo grado con intercepto cero, cuando más de un factor influye en el proceso de adquisición de la composición química de las aguas o tienen lugar mezclas de agua. También se pueden utilizar ecuaciones de 3ro a 5to grado para algunos casos especiales.

Para el cálculo de la regresión se determinan las relaciones entre la C_i y la CE sobre la base de un polinomio desde 1ro hasta 5to grado que pasa por el origen de coordenadas:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + b_5x^5$$

donde $x = \text{CE}$, $y = C_i$.

Se pueden estudiar el HCO_3 , Cl, SO_4 , Ca, Mg y Na+K.

Una vez analizadas todas las variables se crea un fichero con los coeficientes de las ecuaciones de mejor ajuste para cada ión, el cual se denomina fichero del modelo.

En las figuras 1, 2 y 3 se pueden apreciar algunas aplicaciones de los dos sistemas descritos.

CONCLUSIONES

Estos sistemas ofrecen ventajas en la caracterización hidrogeoquímica de cuencas y redes de control de calidad. Permiten evaluar los diferentes tipos de aguas, su variación estacional en diferentes intervalos de tiempo y su grado de agresividad y saturación respecto a los minerales constituyentes de las rocas por donde discurren dichas aguas.

Los sistemas descritos constituyen una herramienta muy útil para la caracterización, monitoreo y control automatizado de la calidad de las aguas naturales y minerales. Son novedosos y eficientes, se basan en sólidos principios químico-físico e hidrogeológicos. Los resultados del trabajo en que han sido aplicados ha recibido una gran acogida en la comunidad científica nacional y extranjera, resolviendo problemas de carácter práctico. Su introducción en el país ha sido generalizada en el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos y ha comenzado a emplearse en el campo del Termalismo y la docencia y por especialistas de España y Francia.

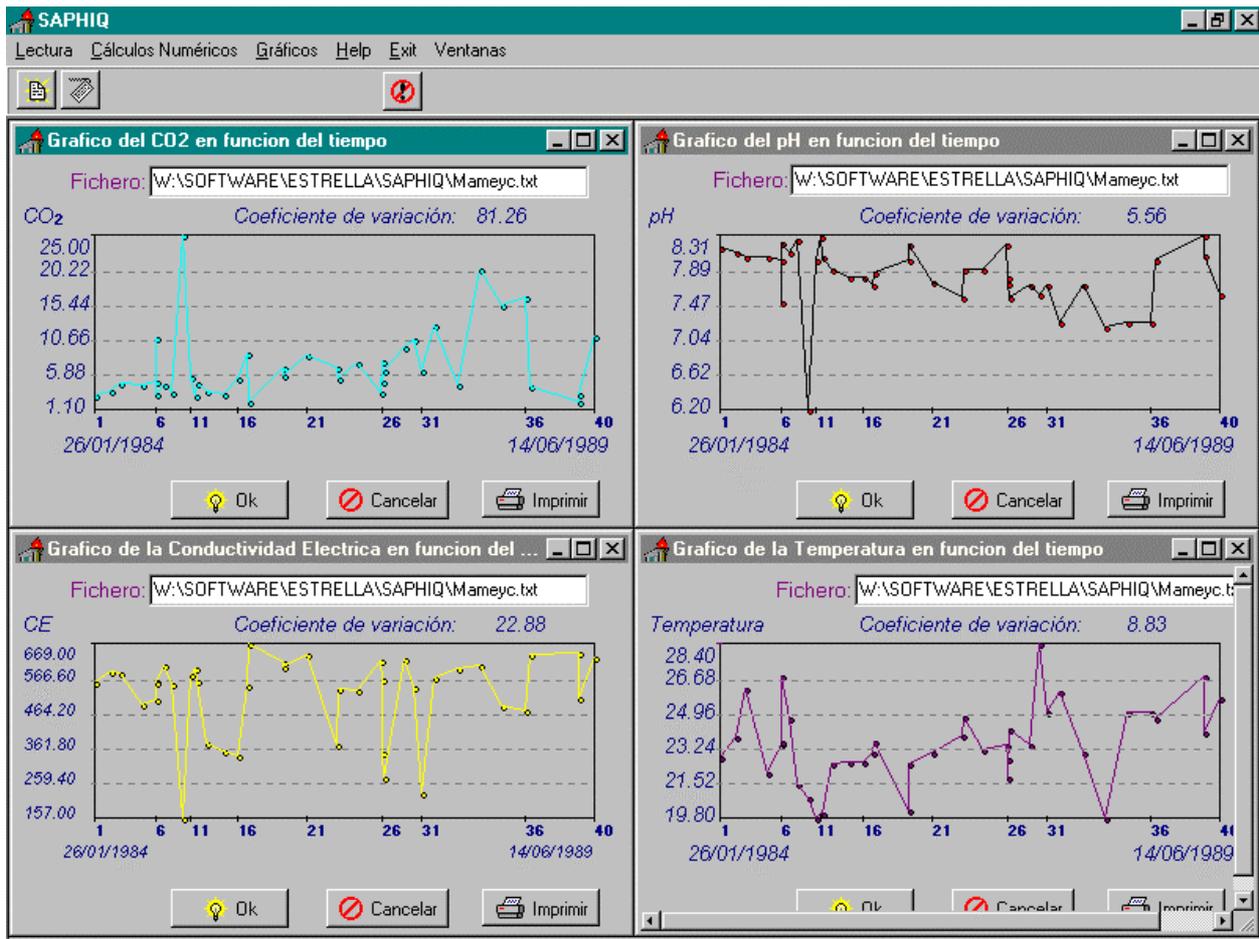


Figura 1: Gráficos en función del tiempo de las variables Temperatura, pH, CO2 y Conductividad Eléctrica, realizados con el sistema SAPHIQ.

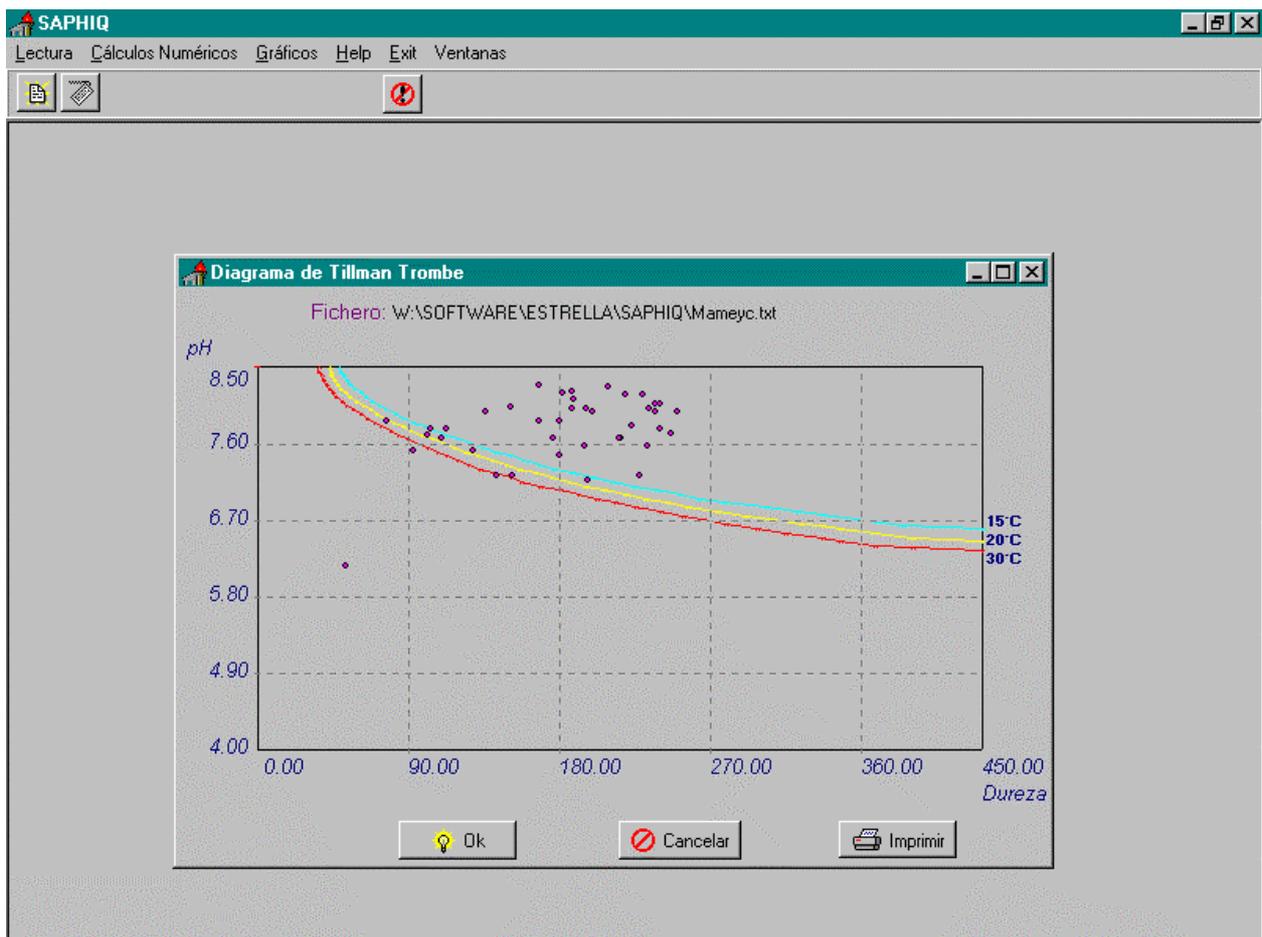


Figura 2: Diagrama de Tillman Trombe donde se aprecia el grado de agresividad de las aguas, realizado con SAPHIQ.

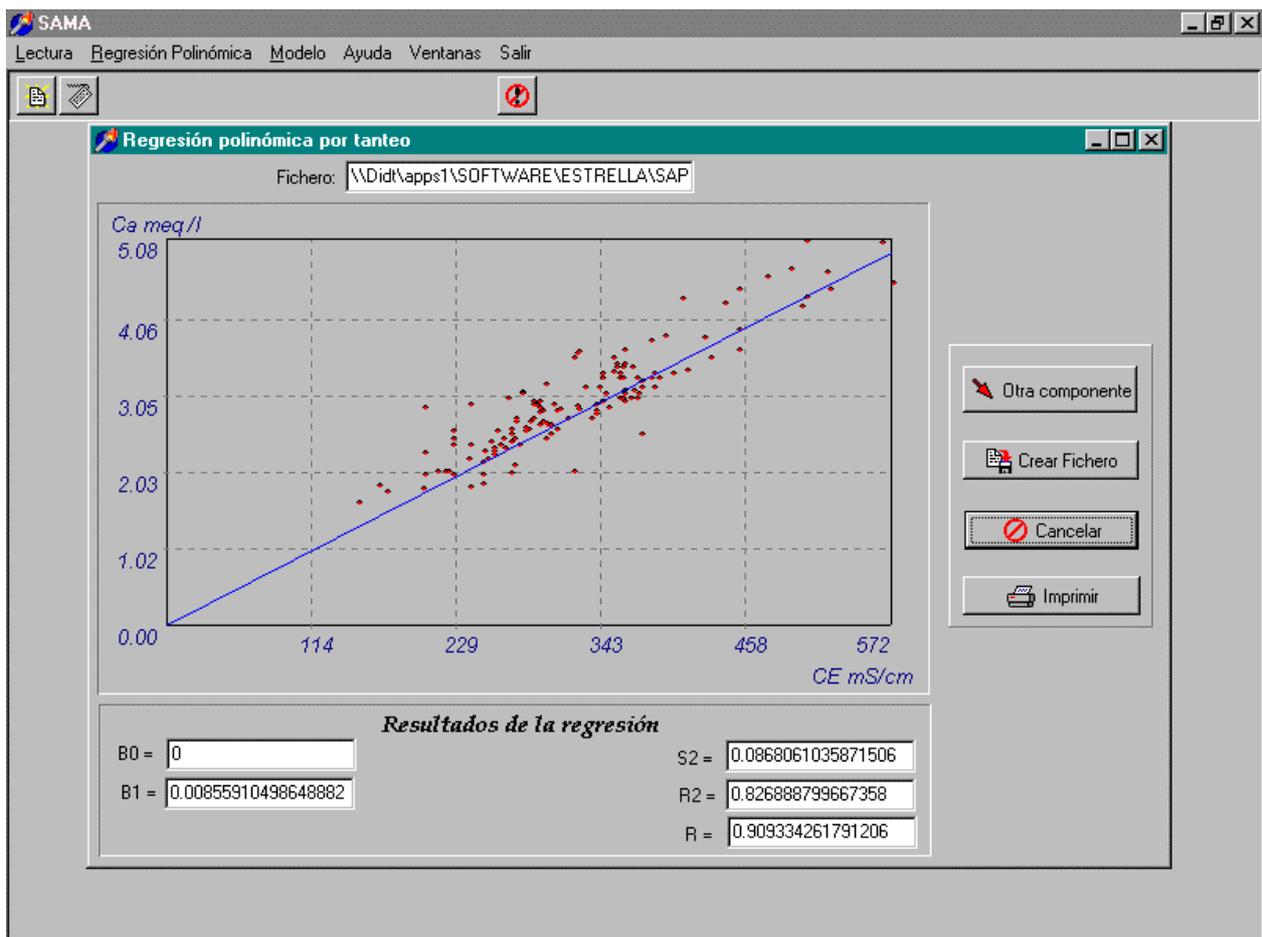


Figura 3: Resultados de la regresión realizados con el sistema SAMA.