

REF: 1.1.10

CONTROL AUTOMATIZADO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS**CUBA****AUTORES:**

Juan Reynoso Fagundo Castillo: Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Cuba. Dr. en Ciencias Químicas, Hidroquímica, Investigador Titular, CNIC.

Estrella Alvarez Varela: Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Cuba. Licenciada en Cibernética Matemática, Investigador Agregado, Cuba.

Illana Vlnardell Grandal: Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Cuba. Licenciada en Cibernética Matemática, Investigador Agregado, Cuba.

José Vega Fellú: Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Cuba. Ingeniero Electrónico. Especialista A en equipos e instrumentos electrónicos científicos.

RESUMEN

Se describen siete sistemas de procesamiento de datos hidroquímicos e hidrológicos, los cuales fueron implementados en Turbo Pascal 5.5, con estructuras de base similares o transformables entre sí a través de los propios sistemas; así como dos equipos electrónicos de campo para el control de la calidad de las aguas: uno mide temperatura, pH y conductividad, y otro temperatura, profundidad y conductividad, este último acoplado a una sonda de 100 m.

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.

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 (García, 1988).

Para el procesamiento de los datos hidrológicos e hidroquímicos que se crean en las estaciones y redes de monitoreo, se pueden emplear paquetes de programas estadísticos de uso general y software específicos. Las determinaciones analíticas pueden garantizarse empleando equipos electrónicos que dispongan de electrodos selectivos y otros sensores tales como los de pH y conductividad eléctrica. Estos métodos automatizados también se utilizan en las plantas de tratamiento para controlar los indicadores de calidad.

En este trabajo se presentan varios sistemas automatizados para el procesamiento de datos hidroquímicos e hidrológicos, los cuales permiten la caracterización de los recursos hídricos en las cuencas y redes de control desde el punto de vista químico-físico, y posteriormente el control, de la composición química de las aguas mediante correlaciones matemáticas entre diferentes parámetros. Ejemplos de aplicación de algunos de estos paquetes de programas han sido presentados en trabajos recientes (Vinardel et al., 1991; Alvarez et al., 1992). Los algoritmos han sido elaborados por especialistas del CNIC, el IGEO y el INRH.

También se da a conocer dos equipos electrónicos portátiles diseñados para la medición en el campo de algunos indicadores de calidad a través de electrodos de pH y celdas de conductividad.

RESULTADOS Y DISCUSION

Paquetes de programas:

Los sistemas de procesamiento de datos hidroquímicos e hidrológicos han sido implementados en Turbo Pascal, versión 5.5, con estructura de base similares o transformables entre sí a través de los propios sistemas. La entrada de datos se puede realizar a través del teclado de la computadora o a partir de ficheros previamente creados en lenguaje DBASE III y convertidos a un formato estándar para que puedan ser procesados por los paquetes de programas. A continuación se describe brevemente cada sistema.

SAPHIQ (Sistema Automatizado para el Procesamiento de datos Hidroquímicos, Versión 2); a partir de los valores de los principales parámetros químico-físicos, expresa las concentraciones iónicas en diferentes unidades (meq/l, mg/l, % meq/l), calcula la dureza, la mineralización en diferentes expresiones, determinando en cada caso los principales estadígrafos del fichero. 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 (Δ pH, pH de saturación y CO₂ en equilibrio) y de Back y Cols. (fuerza iónica, RSC, RSD; RSY y CO₂ en equilibrio). Permite además, la representación gráfica de temperatura, pH, CO₂, conductividad eléctrica, mineralización (TSS, Σ i, Σ m), CaCO₂, 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 utilizadas para evaluar tendencias y hacer pronósticos sobre la calidad de las aguas de los sitios estudiados (Alvarez y Fagundo, 1991).

GEOQUIM (Sistema para el procesamiento de datos geoquímicos y de calidad de aguas); es un sistema de procesamiento estadístico que utiliza una base de datos mayor de SAPHIQ, con el objetivo de correlacionar los diferentes indicadores geoquímicos y de calidad de las aguas. Calcula la matriz de correlación de todos los datos, la frecuencia de distribución y los principales estadígrafos de cada parámetro, así como las ecuaciones de correlación de cada pareja seleccionada.

SAMA (Sistema para el Monitoreo de la calidad de las Aguas); determina ecuaciones de dependencia matemática entre la concentración iónica y la conductividad eléctrica según un modelo de regresión matemática desde 1º a 5º grados que pasa por el origen de coordenadas. Las ecuaciones de mejor ajuste pueden ser calculadas por tanteo o en forma automatizada sobre la base de la prueba de Fisher. En la segunda parte del sistema, 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 a y b).

BATOMETR (Sistema para el control de las aguas afectadas por la intrusión salina mediante reconocimiento de patrones); opera en forma parecida a SAMA, pero clasifica previamente los datos sobre la base de la relación Cl/HCO_3 , creando hasta 11 subficheros donde los datos corresponden a un mismo tipo de agua caracterizada por una relación estequiométrica similar entre sus iones. Luego calcula las correspondientes ecuaciones lineales de correlación. Para el control de la calidad se requiere la programación de los intervalos de conductividad en que cada pozo aprecia los diferentes patrones hidrogeoquímicos.

SIMUCIN (Sistema automatizado para el procesamiento de datos de una reacción cinética de disolución de minerales y para la simulación matemática de los mismos); ha sido diseñado para realizar los cálculos que requiere la cinética de los procesos de interacción agua-roca en experimentos de laboratorio, así como la simulación matemática de los mismos, relaciones matemáticas entre parámetros; valor de la constante de velocidad k y el exponente empírico n ; determinación de la concentración de los iones involucrados en la reacción cinética y la conductividad eléctrica al cabo del tiempo según los modelos teóricos. Mediante varias opciones gráficas, el sistema representa la evolución temporal de la composición química de las aguas, la variación en el tiempo de la constante de velocidad y los resultados de la simulación matemática de los experimentos cinéticos. Utilizando este sistema se puede evaluar con rigor científico el papel del medio rocoso del acuífero en la calidad de las aguas.

SAPHID (Sistema automatizado para el procesamiento de datos hidrológicos); permite automatizar la digitalización de registros de campo (limnigramas y pluviogramas); correlacionar gastos en función de niveles o gastos dejados de medir en algún período de observación con datos de gastos o lluvias de otras cuencas cercanas. El sistema calcula diversos estadígrafos y confecciona diferentes diagramas y curvas en función del tiempo (hidrogramas, pluviogramas, curvas de caudal químico y de minerales disueltos). Además, determina el balance hídrico y la denudación química en una cuenca cársica (Vinardell, Rodríguez y Fagundo, 1992).

SABASCH (Sistema Automatizado para la determinación del balance de aguas subterráneas y de correlaciones hidroquímicas); permite caracterizar las aguas subterráneas desde el punto de vista hidrogeológico e hidroquímico, obtener el gráfico de control de balance de éstas, y correlacionar su comportamiento con las características del régimen de lluvias y el nivel de profundidad, la mineralización y el contenido iónico. Constituye un instrumento eficaz para la obtención de las recomendaciones de explotación de las cuencas subterráneas.

Equipos electrónicos:

ECCA1: mide temperatura, pH y conductividad eléctrica. La conductividad es expresada a 25°C mediante una compensación interna. Es muy práctico para chequear la mineralización en corrientes superficiales, embalses, lagunas de oxidación, etcétera.

ECCA2: mide temperatura, profundidad y conductividad eléctrica a través de una sonda de 100 m. Este equipo es especialmente útil para aguas estratificadas como las que ocurren en los acuíferos cársicos litorales como consecuencia de la mezcla con agua de mar.

Algunos ejemplos de aplicación:

El objetivo del sistema SAPHIQ (Alvarez y Fagundo, 1991) es 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 de drenaje en la cuenca.

El sistema SAPHIQ ha sido utilizado para caracterizar las aguas del polígono experimental del Pan de Guajaibón, en la cuenca del río San Marcos, Sierra del Rosario, Pinar del Río, donde se desarrollaron estudios hidrológicos e hidroquímicos en el período comprendido entre enero de 1984 y junio de 1989 (Fagundo *et al.*, 1991; Rodríguez, Fagundo y Pulina, 1992). También se ha empleado para caracterizar aguas subterráneas en llanuras cársicas (Fagundo *et al.*, a, b y c).

El sistema GEOQUIM (Alvarez *et al.*, 1992) ha sido diseñado para encontrar relaciones recíprocas entre las variables que expresan las propiedades químico-físicas de las aguas (temperatura, pH, conductividad eléctrica, macro y microcomponentes, gases disueltos), así como otros indicadores de calidad de las mismas (turbiedad, color, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y los componentes del ciclo de nitrógeno). También permite determinar la distribución de frecuencia de esas magnitudes, así como las ecuaciones de regresión correspondientes. El objetivo de este tratamiento estadístico es encontrar asociaciones entre variables que permitan inferir un origen común y el efecto de los diferentes factores que determinan las propiedades químico-físicas y la calidad de las aguas. Este sistema es muy adecuado para procesar datos de la red de control de calidad del sistema del INRH y del INHEM. También pueden utilizarse los datos hidroquímicos del MINBAS para la búsqueda de anomalías geoquímicas.

EL SAMA tiene el objetivo de encontrar relaciones empíricas de tipo lineal o polinómicas, entre las concentraciones iónicas y la conductividad eléctrica de las aguas, en estaciones de muestreo sistemático o acuíferos sujetos al control sanitario. 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. Este sistema ha sido ampliamente utilizado para el control de la composición química de las aguas en cuencas y redes de control de la calidad de las aguas del INRH, y ejemplos de su aplicación aparecen en varios trabajos (Fagundo *et al.*, 1991; 1992 a, b y c).

El sistema BATOMETR permite controlar la composición química y total de sólidos disueltos de las aguas cársicas litorales mediante mediciones de conductividad eléctrica. Teniendo en cuenta las características de este tipo de agua, el sistema ha sido diseñado de forma tal que sea capaz, primeramente, de separar y agrupar los datos por patrones hidrogeoquímicos, sobre la base de la relación Cl/HCO_3 . Posteriormente el sistema halla las relaciones matemáticas entre la concentración de cada ión y la conductividad eléctrica para cada patrón, y sobre la base de los rangos de conductividad en que cada pozo o sección homogénea del acuífero, identifica cada patrón y calcula la concentración iónica y el total de sólidos disueltos.

El sistema consta de dos partes fundamentales. En la primera separa y agrupa los datos por patrones hidrogeoquímicos, sobre la base de la relación Cl/HCO_3 . Además halla las relaciones matemáticas entre la concentración de cada ión y la conductividad eléctrica de cada patrón. En la segunda parte, sobre la base de los rangos de conductividad en que cada pozo o sección homogénea del acuífero identifica los patrones, calcula la concentración de cada ión y del total de sólidos disueltos. Este sistema ha sido empleado para el control de calidad de las aguas de los pozos de la red de observaciones sistemáticas del INRH en las regiones de Bolondrón y Zapata, provincia de Matanzas (Fagundo *et al.*, 1992 b, c); así como de la llanura meridional de Pinar del Río (Fagundo *et al.*, 1992 c). Las aguas cársicas en estos tipos de acuíferos litorales se encuentran estratificadas debido a la mezcla con el agua de mar. Mas recientemente se ha empleado BATOMETR, junto con SAPHIQ y SAMA, en la evaluación y control de la salinidad de las aguas de la cuenca del río Cauto (Torres *et al.*, 1991) donde las aguas experimentan drásticos cambios de salinidad en breves intervalos de tiempo.

SAPHID ha sido aplicado en el procesamiento de los datos hidrológicos e hidroquímicos de la base experimental Pan de Guajaibón, durante los estudios desarrollados sobre la dinámica del curso en condiciones tropicales (Rodríguez, Fagundo y Pulina, 1992).

Los restantes sistemas se encuentran en proceso de prueba o perfeccionamiento, y los resultados de su aplicación serán expuestos en futuros trabajos. Los equipos electrónicos han dado buenos resultados, tanto en experimentos de laboratorio como de campo.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, E.; Vinardell, I.; Fagundo, J.R.; Reguera, E. y Cardoso, M.E. (1990 a). Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. II-Sistema Automatizado para el Monitoreo de las Aguas. *Voluntad Hidráulica*, 83:15-25.
- Alvarez, E. y Fagundo, J.R. (1991) SAPHIQ, un sistema para el procesamiento automatizado de datos hidroquímicos. *Revista CENIC, Ciencias Químicas* (en prensa).
- Alvarez, E.; Vinardell, I.; Fagundo, J.R.; Vega, J. y Reguera, E. (1990 b). Sistema automatizado de tratamiento de datos hidroquímicos para el chequeo de la calidad de las aguas. *Estudios Geológicos* (Madrid), 45(5-6):409-414.
- Alvarez, E.; Vinardell, I.; Fagundo, J.R. y Rodríguez, J.E. (1992). Sistemas Automatizados para el procesamiento de datos hidroquímicos; SAPHIQ, SAMA y BATOMETR. Taller Int. sobre Cuenca Experimentales en el Karst., Cuba 1992. Monografía especial (España). En prensa.
- Fagundo, J.R.; Rodríguez, J.E.; Pajón, J.M.; Franco, E.; Alvarez, E.; Vinardell, I.; Vega, J. y Benítez, G. (1991). Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. III-Cuenca del río San Marcos, Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. *Voluntad Hidráulica*, 85:8-18.
- Fagundo, J.R.; Avilés, C.; Ferrera, V.; Santiago, J.F.; Balado, E. y Guéron, J. (1992 a). Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. IV-Cuenca Jaruco-Aguacate. *Voluntad Hidráulica*. En prensa.

Fagundo, J.R.; Rodríguez, J.E.; Benítez, G.; Morera, W.; Fernández, C. y Vega, J. (1992 b). Caracterización hidroquímica y control de la calidad de las aguas del curso de la cuenca Zapata. Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Cuba 1992. Monografía especial (España). En prensa.

Fagundo, J.R.; Arellano, D.M.; Surí, A.; Alvarez, E. (1992 c). Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. V-Efecto de la mezcla de agua sobre los patrones hidrogeoquímicos de la llanura meridional de Pinar del Río. Voluntad Hidráulica. En prensa.

García, J.M. (1988). El control de la contaminación de las aguas; monitoreo y estudios intensivos. Tesis C.Dr. Ciencias Técnicas. Ciudad de La Habana, 120 pp.

Torres, A.; Hernández, E.; Alvarez, J.; Fagundo, J.R.; Blanco, R.; del Llano, D.; Pozo, M.; Alberteris, A. y Guerra, A. (1991). Calidad del agua de los principales objetos hídricos de la cuenca del río Cauto y algunos factores que la afectan. Ed. INRH, Ciudad de La Habana, 28 pp.

Rodríguez, J.E.; Fagundo, J.R. y Pulina, M. (1992). Hidrología y dinámica de los procesos cársicos tropicales contemporáneos en Cuba. Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Cuba 1992. Monografía especial (España). En prensa.

Vinardell, I.; Alvarez, E.; Fagundo, J.R. y Rodríguez, J.E. (1991). Control de la calidad de las aguas mediante sistemas automatizados. Revista CENIC Ciencias Químicas (en prensa).

Vinardell, I.M.; Rodríguez, J.E. y Fagundo, J.R. (1992). SAPHID: Sistema automatizado para el procesamiento de datos hidrológicos. Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Cuba 1992. Monografía especial (España). En prensa.