

**ARTÍCULO ORIGINAL**

**Valoración de las aguas de escurrimiento superficial, en ecosistemas forestales, en Pinar del Río**

Valuation of the waters of superficial glide, in forest ecosystems in Pinar del Río

**Yilian M. Morejón Miranda<sup>1</sup>, Antonio Escarré Esteve<sup>2</sup>, Edel J. Amaro Aroche<sup>1</sup>, Alexis Barreras<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doctora en Ciencias Agrícolas. Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes, Ave. Borrego, Reparto Hermanos Cruz, Pinar del Río, Cuba Teléfono: 762205. CP: 201000. Correo electrónico: yilian@suelo.co.cu ; edel@suelo.co.cu

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad de Alicante, Alicante, España

<sup>3</sup>Ingeniero Agrónomo. INRH, Km. 2 Carretera a Luis lazo, Pinar del Río, Cuba Teléfono: 770884. CP: 201000. Correo electrónico: alexis@pri.hidro.cu

---

**RESUMEN**

El seguimiento analítico de la composición y concentración de los iones en las aguas de escurrimiento, constituyen información indispensable para determinar la calidad las mismas y a su vez para diagnosticar el estado de salud del ecosistema en cuestión. Pese a que la disponibilidad de registros históricos de quimismo de aguas superficiales es muy limitada en

la región, se contó con cuatro años de datos simultáneos de cada uno de los sectores investigados, lo cual facilitó realizar la valoración de la calidad de estas aguas y estimar su comportamiento en el tiempo, utilizando valores puntuales tomados en el río principal Mantua y en cinco de sus afluentes que disponen de agua todo el año; adicionalmente se hicieron predicciones sobre el estado de mineralización de las aguas de los tres ríos en escenarios futuros de cambio climático. Entre los principales resultados obtenidos se probó que desde el punto de vista hidroquímico las aguas de escurrimiento superficial de los sectores Mantua, Cuyaguaje y San Juan y Martínez son aptas para el riego con valores de conductividad de 103,6, 221 y 84,6  $\mu\text{S cm}^{-1}$  respectivamente y que la mineralización de cada uno de los iones estudiados se incrementó en más del 50% lo que demuestra, que con las previsiones para las islas caribeñas hasta el año 2100, el cambio climático afectará también la calidad de los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Agua, Química, Escurrimiento, Iones, Cuencas, Mineralización.

---

## ABSTRACT

The analytic pursuit of the composition and concentration of the ions in the glide waters, they constitute indispensable information to determine the quality the same ones and in turn to diagnostic the state of health of the ecosystem in question. In spite of the fact that the readiness of historical registrations of the content of chemical in the superficial waters is very limited in the region, one works with four years of simultaneous data of each one of the investigated sectors, that which facilitated to carry out the valuation of the quality of these waters and to estimate its behavior in the time, using punctual values taken in the main river Mantua and in five of its tributaries that have water the whole year; additionally predictions were made of the one it contended of minerals of the waters of the three rivers in future scenarios of climatic change. Among the main obtained results it was proven that from the point of view of the chemical quality the waters of superficial glide of the sectors Mantua, Cuyaguaje and San Juan y Martinez are capable for the watering with values of conductivity of 103,6, 221 and 84,6  $\mu\text{S cm}^{-1}$  respectively and that the content of each one of the studied ions was increased in more than 50% what demonstrates that with the forecasts for the Caribbean islands until the year 2100, the climatic change will also affect the quality of the resources quality of the waters .

**Key words:** Water, Chemistry, Weathering runoff, Ions, Watersheds, Mineralization.

## INTRODUCCIÓN

Existen diversos factores que intervienen en la composición química y mineralización de las aguas naturales, entre ellos hay factores geofísicos y químico - físicos. Dentro de los primeros se destacan el tipo de suelo, la litología, la vegetación, las características del drenaje y el vertimiento de sustancias residuales. Entre los segundos habría que considerar, el tiempo y la superficie de contacto entre agua y suelo, el intercambio iónico, el pH, el potencial redox, la fuerza iónica, el efecto ión común y el efecto salino (Gutiérrez, 1994). Probablemente las investigaciones más relevantes sobre la hidroquímica de los ríos de la provincia de Pinar del Río son las que figuran en Gogolev (1981 y 1982) que resume información química de 18 estaciones de aforo de los principales ríos de la citada provincia, con observaciones que cubren, en la mayor parte, el período comprendido entre 1966 y 1979, con los datos de mineralización total. Las aguas de estos ríos según el autor se describen en la clase hidrocarbonatado - cálcicas con predominio de los iones bicarbonatos sobre la suma de calcio y magnesio, poco mineralizados. Estudios realizados en la cuenca del río San Juan y Martínez en el que se señala, que las aguas superficiales presentan valores de mineralización por debajo de los  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , tienen un pH de alrededor de 6,2 y se clasifican como hidrocarbonatadas o cloruradas cálcicas - sódicas (INRH, 1997). Recientemente investigaciones realizadas para determinar la calidad del agua del embalse El Pesquero, situado el sector inferior del río Cuyaguaje, muestran que la mayoría de los parámetros físico - químicos analizados no superan los valores límites de la NC - 93 - 2 y las normas internacionales, por lo que se consideran aptas para el consumo humano (INRH, 2008). Schlesinger (2000), expone que los compuestos químicos disueltos en los ríos, se derivan también en gran parte de la lluvia y de la solución del suelo una vez que haya interactuado con las reacciones de intercambio del mismo, los requerimientos biológicos del bosque y la meteorización química de la roca. Estos iones también pueden cambiar su estado de mineralización en nuevos escenarios de cambio climático. Para definir tal situación en esta investigación el objeto principal es profundizar en la hidroquímica de los sectores superiores de las cuencas Mantua, Cuyaguaje y San Juan y Martínez con el propósito de:

- Valorar las características químicas del agua superficial de escurrimiento y su calidad para el riego.
- Utilizar la ecuación de Piñol *et al.* (1995) para hacer predicciones sobre el estado de mineralización de las aguas de estos ríos en escenarios futuros de cambio climático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el occidente del país, se localiza la Región Montañas de la Sierra de los Órganos (Gutiérrez y Rivero, 1999), en la cual las Alturas de Pizarras del Norte y del Sur presentan un relieve ondulado, que unido al drenaje de las precipitaciones, permite la existencia de cuencas hidrográficas entre las que se destacan las cuencas hidrográficas de los ríos Mantua, Cuyaguaje y San Juan y Martínez, de las cuales fueron seleccionados los sectores superiores para la presente investigación. En estos sectores se caracterizan por presentar un relieve de tipo erosivo \_ denudativo con pendientes que sobrepasan el 20 %, dado lugar a un patrón de escurrimiento superficial dendrítico, donde se observan numerosas cañadas y una red hidrográfica secundaria que converge en el río principal. La mayor parte de los interfluvios ocupados generalmente por bosques de pinos y corrientes fluviales ocasionales y estacionales, donde ocurren procesos de acumulación, que dependen de la pendiente y el caudal de la arroyada, estando ocupados por bosques de galería (Novo *et al.* 1993).

*Método para determinar el comportamiento hidroquímico evolutivo de las aguas de escurrimiento superficial.*

Se analizaron en total 1 374 muestras tomadas en el momento de ocurrencia de cada evento de precipitación en las estaciones de aforo del sector superior de los ríos Mantua, Cuyaguaje y San Juan y Martínez, en un período de cuatro años (1980, 1981, 1982 y 1984). Durante el año 2006 se seleccionaron cinco corrientes superficiales principales del río Mantua, con el fin de valorar la variabilidad de las características químicas dentro de un mismo sector y evaluar también su uso para el riego. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Provincial de Agua de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico donde se evaluó y se determinaron todos los indicadores que se describen a continuación con la metodología utilizada:

- pH (Potencial Hidrógeno): Método Equipo Digital Hanna
- CE (Conductividad Eléctrica): Método Equipo Digital Hanna
- $\text{HCO}_3^-$  (Bicarbonatos): Método Valoración
- $\text{Cl}^-$  (Cloruros): Método Valoración
- $\text{SO}_4^{-2}$  (Sulfatos): Método Colorimetría
- $\text{Ca}^{++}$  (Calcio): Método Valoración EDTA
- $\text{Mg}^{++}$  (Magnesio): Método Valoración EDTA
- $\text{Na}^+$  (Sodio): Método Fotometría de Llama
- $\text{K}^+$  (Potasio): Método Fotometría de Llama
- SST (Sales Solubles Totales): Método Suma de todos los Iones

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el software SPSS versiones 12.0 y 13.0, se verificaron los supuestos de normalidad mediante la prueba Shapiro Wilk y la homogeneidad de varianzas a partir del test de Levene.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Variación de la concentración de los iones presentes en las aguas de escurrimiento.

En la *Tabla 1* aparecen los valores de pH, conductividad y las concentraciones de los diferentes iones presentes en las aguas superficiales de los tres ríos investigados, medidos en sus respectivas estaciones de aforo. Cada uno de los datos representa la media ponderada por caudal, para el período total de observación. En el caso del pH, se calculó la media con las concentraciones de  $H^+$ , y se determinó el pH del valor encontrado.

**Tabla 1.** Valores medios de los iones presentes en las aguas de los ríos Mantua, Cuyaguaje y San Juan y Martínez.

| Parámetros                         | MANTUA       | CUYAGUATEJE  | SAN JUAN    |
|------------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| pH                                 | 6,2 ± 0,021  | 6,6 ± 0,02   | 6,0 ± 0,02  |
| Conductividad ( $\mu S\ cm^{-1}$ ) | 103,6 ± 2,83 | 221,0 ± 4,60 | 84,6 ± 1,80 |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 91,0 ± 2,08  | 24,3 ± 0,87  | 24,3 ± 0,87 |
| Cl <sup>-</sup>                    | 10,1 ± 0,37  | 10,3 ± 0,15  | 10,3 ± 0,15 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>      | 17,8 ± 0,66  | 4,6 ± 0,20   | 4,6 ± 0,20  |
| Ca <sup>2+</sup>                   | 30,4 ± 0,98  | 6,7 ± 0,22   | 6,7 ± 0,22  |
| Mg <sup>2+</sup>                   | 4,6 ± 0,21   | 1,7 ± 0,16   | 1,7 ± 0,16  |
| Na <sup>+</sup>                    | 6,9 ± 0,16   | 7,3 ± 0,16   | 7,3 ± 0,16  |

**Nota:** Sector superior.

A tenor de sus características químicas, las aguas de los tres ríos, en los sectores investigados, pueden adscribirse según la clasificación ya mencionada de Gibbs (1970) a las de un segundo grupo en las que predominan los bicarbonatos y productos de la meteorización de la roca. En la comparación de las características químicas de los tres sectores, es de destacar la mayor mineralización del Cuyaguaje respecto a los otros dos. Lo anterior coincide con Fagundo *et al.* (1987), quienes en un estudio de un sistema cavernario en la Sierra de los Órganos encontraron que las aguas superficiales que tienen su origen en las Alturas de Pizarra son muy poco mineralizadas, como en el caso de Mantua y

San Juan y Martínez, mientras que las que se originan en los valles cársicos poseen una mineralización relativamente alta, tal como ocurre en el Cuyaguaje. Para esta misma cuenca León (2001), define las características hidroquímicas de sus aguas como bicarbonatadas - cálcicas de alta mineralización. Esta mayor mineralización respecto a las otras dos cuencas se debe a que en el sustrato rocoso de la misma hay afloramientos extensos de rocas carbonatadas (Martínez y Fernández, 1988; Martínez *et al.* 1991).

## 2. Valoración de la calidad para riego de las aguas superficiales en el sector de estudio seleccionado.

Con la finalidad de investigar la variabilidad de las características hidroquímicas de los diferentes arroyos existentes dentro de cada uno de los sectores, y también, para tener unas informaciones analíticas actualizadas en alguno de ellos, se seleccionó el río Mantua por ser uno de los menos investigados desde el punto de vista de la química de sus aguas. Para ello se muestreó el propio cauce principal y cuatro afluentes secundarios que drenan todo el año. Los resultados obtenidos se resumen en la *Tabla 2*, donde se puede apreciar que la variabilidad hidroquímica de estas aguas en su conjunto son poco notables, salvo en el caso del río Piedra, donde la concentración de sulfatos es mayor que el doble de las restantes, probablemente debido a los aportes que recibe de rocas con mineralización sulfurosa (Hernández *et al.* 1998) que afloran en el cauce del río.

**Tabla 2.** Resultados del análisis de los parámetros químicos evaluados en el río principal Mantua y algunos de sus afluentes.

| Aguas muestreadas | CE                  | pH  | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | SS T |
|-------------------|---------------------|-----|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|------|
|                   | μS cm <sup>-1</sup> | U   | mg L <sup>-1</sup>            |                 |                               |                  |                  |                 |      |
| Río Mina Dora     | 157                 | 6,9 | 61                            | 17,7            | 7,8                           | 10,4             | 6,24             | 11,5            | 116  |
| Río Palmar Bajito | 107                 | 7,0 | 42,7                          | 10,6            | 3,3                           | 6,2              | 5,04             | 8,97            | 77   |
| Río La Jagua      | 150                 | 7,4 | 61                            | 10,6            | 4,8                           | 10,4             | 6,24             | 10,5            | 106  |
| Río Mantua        | 139                 | 7,2 | 54,9                          | 14,2            | 6,7                           | 10,4             | 6,24             | 10,8            | 105  |
| Río Piedra        | 140                 | 6,9 | 42,7                          | 10,6            | 18,2                          | 6,2              | 3,72             | 10,8            | 94   |

La calidad del agua para riego es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación del empleo del agua con fines de riego, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas de la misma, así como la tolerancia de los cultivos a las sales y las propiedades de los suelos, o lo que es lo mismo, para evaluar un

agua para riego hay que tener en cuenta la relación cultivo - agua - suelo. Se han elegido las directrices propuestas por Ayers y Wescot (1987), que son unas de las más utilizadas en todo el mundo. El análisis actual de las muestras tomadas en los arroyos del río Mantua (*Tabla 2*), cumplen con cada uno de los parámetros establecidos en esta norma, considerándose aptos para el riego. Adicionalmente el mismo análisis se realizó para los valores medios y los intervalos máximos y mínimos de cada elemento químico, obtenido para el río principal Cuyaguaje y San Juan y Martínez en la década de los ochenta, se observa que cumplen también con esta normativa, demostrando que eran aptas para el riego.

### *3. Posibles variaciones de las concentraciones de los iones disueltos en el agua de escurrimiento de los ríos investigados, asociadas al cambio climático.*

Con el objetivo de conocer la variación futura de las concentraciones de los distintos iones presentes en las aguas superficiales de los ríos Mantua, Cuyaguaje y San Juan y Martínez, se utilizó el procedimiento propuesto por Piñol *et al.* (1995), para diferenciar la química del agua de escurrimiento en las áreas de estudio de la Sierras de Prades y Montseny, y su respectiva afectación por el cambio climático, a partir de la relación precipitación / escurrimiento con la ecuación siguiente:

$$C_f = C_a * ((P_f / Q_f) / (P_a / Q_a)) \quad (1)$$

C<sub>f</sub> = concentración futura

C<sub>a</sub> = concentración actual

P<sub>f</sub> = precipitación futura

P<sub>a</sub> = precipitación actual

Q<sub>f</sub> = escurrimiento futuro

Q<sub>a</sub> = escurrimiento actual

Teniendo como referencia los resultados de Centella (2001) en la que aparecen algunos de los valores medios previstos de precipitación, escurrimiento y evapotranspiración para varios años incluido el 2050, y utilizando además, las concentraciones medias de los iones de los tres sectores investigados en el período 1980 - 1984, (excluido el 1983) que aparecen en las *Tabla 1*, se hizo una estima de las concentraciones teóricas futuras de cada ión a partir de la ecuación (1), las cuales se muestran en la *Tabla 3*.

**Tabla 3.** Valores estimados de las concentraciones teóricas futuras (2050) de cada ión de los ríos principales investigados.

| Concentración de iones        |                       | Mantua | Cuyaguaje | San Juan y Martínez |
|-------------------------------|-----------------------|--------|-----------|---------------------|
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | (mg L <sup>-1</sup> ) | 75,2   | 200,2     | 61,9                |
| Cl <sup>-</sup>               |                       | 21,1   | 22,2      | 26,2                |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |                       | 15,0   | 39,1      | 11,7                |
| Ca <sup>2+</sup>              |                       | 21,0   | 66,8      | 17,0                |
| Mg <sup>2+</sup>              |                       | 5,1    | 10,1      | 4,33                |
| Na <sup>+</sup>               |                       | 15,0   | 15,1      | 18,6                |

Estos resultados permiten apreciar una apreciable tendencia a incrementar la mineralización de todas las aguas estudiadas hacia el año 2050, por lo que se considera importante tener en cuenta que las características hidroquímicas pueden variar bastante cuando se producen cambios en la partición de la precipitación entre escurrimiento y evapotranspiración. No conviene olvidar que el cambio climático no solo puede afectar la disponibilidad de los recursos hídricos sino también su calidad Jacoby (1990).

## CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista hidroquímico las aguas de los sectores Mantua, Cuyaguaje y San Juan y Martínez presentan un bajo nivel de mineralización con valores de conductividad de 103,6, 221 y 84,6  $\mu\text{S cm}^{-1}$  respectivamente. Son todas aptas para el riego, aunque la del sector del río Cuyaguaje tiene valores superiores, sobre todo de conductividad, bicarbonatos y calcio, debido a la particularidad litológica que representa la inclusión de un macizo de rocas carbonatadas, que lo diferencia de los otros dos sectores.
- La mineralización de cada uno de los iones investigados incrementó en más del 50%, lo que demuestra el cambio climático afecta la calidad de las aguas que drenan desde las cuencas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayers, R.S. y Westcot, D.V. (1987). La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje, 29 Rev I. Roma.
- Fagundo, J.R., Pajón, J.M., Valdés, J.J., Rodríguez, J.E. y Arellano, D.M. (1987). Naturaleza de los procesos de disolución de los minerales calcita, dolomita y yeso en aguas naturales del occidente de Cuba. *Voluntad Hidráulica*, 76: 30-42.

- Gibbs, R.J. (1970). Mechanism controlling world water chemistry. *Science*, 170, 1088-1090.
- Gogolev, B. (1981). Recursos de las aguas superficiales de la República de Cuba (Provincia Pinar del Río) II parte. (inédito a). Ministerio de la Construcción Empresa de hidroeconomía, Pinar del Río.
- Gogolev, B. (1982). Estudio sobre las características de las aguas superficiales, (inédito b). Ministerio de la Construcción Empresa de hidroeconomía, Pinar del Río.
- Gutiérrez, H. (1994). Regularidades espaciales y temporales de los recursos hídricos del Occidente de la Isla de Cuba. Tesis doctoral (inédita). Ciudad de La Habana. 132 p.
- Gutiérrez, R. y Rivero, M. (1999). Regiones naturales de la isla de Cuba. Editorial-Científico Técnica, Ciudad de La Habana, 145 pp.
- Hernández R y González A (1998): Estudio Hidrodinámico del acuífero de Guane. (III taller internacional sobre gestión de agua). ISPJAE
- INRH (1997). Estudio de Impacto Ambiental Presa "San Juan", 22 pp.
- INRH (2008). Informe de la calidad del agua del embalse El Pesquero, situado el sector inferior del río Cuyaguaje, 25pp.
- León Coro, J.J. (2001). Nuevas perspectivas para el uso del agua y la gestión de los recursos vegetales en la cuenca del río Cuyaguaje. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante.
- Martínez, D. y Fernández de Lara, R. (1988). Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda acompañante a escala 1:50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
- Martínez, D., Fernández de Lara, R., Pelaez, R., Vázquez, M. y Barrios (1991). Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y prospección preliminar a escala 1:50 000 Pinar- Habana. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas. La Habana (inédito).
- Novo Carbó R.; López, M.L. y Urquiola, A. (1993). Los Bioclimas de Pinar del Río. IV Simposio de Botánica. Jardín Botánico Nacional. Universidad de La Habana, 152, 23-36.
- Jacoby, H.D. (1990). Water quality. In: Waggoner, PE. (ed.). *Climate Change and U.S. water resources*. John Wile y Sons. New York, 496 pp.
- Piñol, J., Terradas, J, Avila, A. y Rodà, F. (1995). Using catchments of contrasting hydrological conditions to explore climate change effects on water and nutrient flows in Mediterranean forests.

**Aceptado:** Diciembre 2012

**Aprobado:** Agosto 2013

***DraC. Yilian M. Morejón Miranda.*** Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes, Ave. Borrego, Reparto Hermanos Cruz, Pinar del Río, Cuba Teléfono: 762205. CP: 201000. Correo electrónico: [yilian@suelo.co.cu](mailto:yilian@suelo.co.cu)