

Análisis hidrogeoquímico de las aguas de la subcuenca Mampostón

Álvarez, A ⁽¹⁾; Gutiérrez, J.E ⁽²⁾; Facundo, J.R ⁽³⁾, González, R ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Instituto de Ciencia Animal, Carr. Central, km 47 ½, San José de las Lajas, La Habana e-mail: adanalvarez@ica.co.cu

⁽²⁾ Facultad de Geografía, Universidad de La Habana.

⁽³⁾ CENAMENT (Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional), Ciudad de La Habana

Recibido marzo 9, 2010	Aprobado mayo 26, 2010
------------------------	------------------------

Resumen

La calidad natural de las aguas constituye hoy una preocupación constante debido al acelerado crecimiento demográfico e industrial, al vertimiento incontrolado de residuos y la escasez creciente de agua limpia. La cuenca hidrográfica es precisamente la unidad ambiental clave para estudiar esta problemática. La subcuenca Mampostón, presenta en su territorio un número considerable de usuarios que requieren de aguas de buena calidad. Por tanto, esta investigación tiene como objetivo Obtener la caracterización y el análisis hidrogeoquímico de la subcuenca hidrológica superficial Mampostón. Para el estudio, se tomaron 7 puntos de muestreo y se hizo la toma de muestra cada 15 días durante 3 meses en los períodos lluvioso y poco lluvioso. Las aguas del territorio presentan temperaturas ambiente entre los 27.0 y 28.4°C y rangos de pH normales. Los iones bicarbonato y calcio son los de mayores concentraciones, seguidos de los iones sulfato y en menor cuantía el sodio; el magnesio es apenas representativo (2.57 – 8.29 mg/l), esto explica la composición química de las aguas y por tanto el patrón hidrogeoquímico que las caracteriza. En conclusiones se obtuvo que las aguas subterráneas son Bicarbonatadas Cálscas y que evolucionan a Bicarbonatada Sulfatada Cálscas Sódicas, y las aguas superficiales son Bicarbonatada Sulfatada Cálscas Sódicas. Los procesos geoquímicos que determinan el origen y composición química de las aguas del territorio son fundamentalmente: disolución de calcita y dolomita, oxidación de pirita u otras fuentes de aporte de sulfato, y la disolución y precipitación de halita.

Palabras clave: Calidad del agua.

Abstract

Hydrogeochemical analysis of the mampostón subbasin waters.

The natural quality of waters constitutes nowadays a constant preoccupation due to the accelerated population and industrial increase, to the uncontrolled pouring of residues and the increasing clean water shortage. The hydrographic river basin is indeed the environmental unit key to study this problematic one. The Mampostón subbasin, presents in its territory a considerable number of users that require waters of good quality. Therefore, the aim of the investigation is to Obtain the characterization and the hydrogeochemical analysis of the Mampostón hydrologic superficial subbasin. Seven sampling points were taken for the hydrogeochemical study. Sampling collection was made every 15 days during three months in the rainy and less rainy periods. The waters of the territory present ambient temperature between 27.0 28.4°C and normal pH ranges. The bicarbonate and calcium ions are those of more concentrations, followed by the sulfate ions and in smaller quantity the sodium ions; the magnesium is hardly representative (2.57. 8.29 mg / l), this explains the chemical composition of the waters and therefore the hydrogeochemical patron that characterizes them. It is concluded, that the waters are Calcic hydrocarbonated (HCO₃-Ca) that evolves to Sodic calcic Sulphate hydrocarbonated (HCO₃>SO₄- Ca>Na) in underground waters, while superficial waters are Sodic calcic Sulphate hydrocarbonated (HCO₃>SO₄- Ca>Na). Geochemical processes that determine origin and waters chemical composition of the territory are essentially: calcite and dolomite dissolution, pyrite oxidation or other sources of sulphate contribution, and the halite dissolution and precipitation.

Key words: Water quality.

Introducción

El agua constituye una fuente indispensable para el desarrollo de cualquier forma de vida, por lo que es un componente natural vital y esencial, a la vez que clave para el desarrollo. Por tanto, la calidad natural de las aguas constituye hoy una preocupación constante debido al acelerado crecimiento demográfico e industrial, el vertimiento incontrolado de residuos y la escasez creciente de aguas limpias.

Es muy importante, en consecuencia, conocer las variaciones químicas de las aguas, pero ante todo, las que tienen que ver con la interacción de las aguas y el medio natural porque esta interacción es intensa y cambiante, espacial y temporalmente. Depende de la naturaleza del medio, de la composición del agua original, de las características de la zona no saturada, de la temperatura, de las afecciones antrópicas, así como de otros parámetros. Por tanto, resulta ineludible intentar precisar que fenómenos pueden ser directamente atribuidos al hombre (procesos antropogénicos), y cuales, a los procesos naturales. (Sánchez 2004)

La cuenca hidrográfica es precisamente la unidad ambiental clave para estudiar esta problemática, donde las aguas rigen el intercambio de sustancias y energía, y muchos de los procesos ambientales. El estudio hidrogeoquímico de una cuenca constituye un reto importante y una necesidad básica, a la vez que el contexto requerido y más recomendable para tal propósito.

La subcuenca Mampostón, presenta en su territorio un número considerable de usuarios que requieren de aguas de buena calidad por lo que se hace necesario tener un conocimiento del comportamiento hidroquímico, y de la interacción agua – roca que se establece en el territorio. Por tanto, esta investigación tiene como objetivo Realizar un análisis hidrogeoquímico de las aguas de la subcuenca hidrológica superficial Mampostón.

Materiales y métodos

La subcuenca Mampostón, con una extensión territorial de 184.9 km² (Hernández y García 2006), constituye una de las 3 subcuencas que conforman la Cuenca Mayabeque en la provincia La Habana, ubicada en el tercio superior de la misma, por su porción noroccidental, con una orientación predominante NW – SE de su corriente principal (Fig.1). Enmarcada en las coordenadas N: 378000 – 350 000; E: 395 000 – 340 000, perteneciendo a la vertiente Sur del parteaguas general de la Isla. Su mayor parte está comprendida en la Llanura Habana – Matanzas.

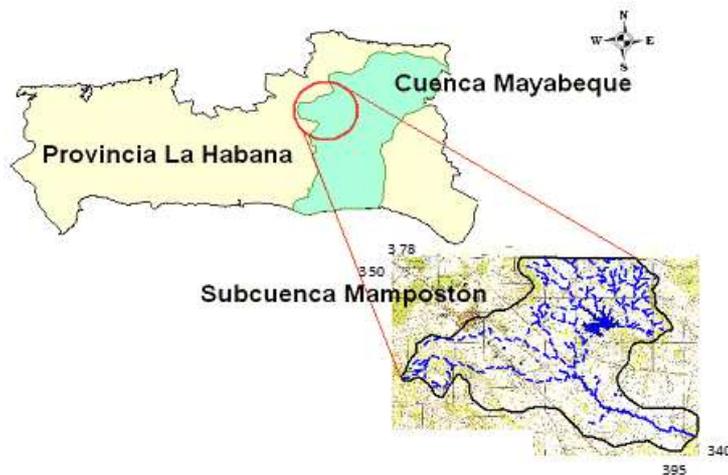


Figura 1: Localización de la Subcuenca Mampostón

Para la presente investigación se tomaron siete estaciones de muestreo (cuatro para agua superficial y tres para agua subterránea) los cuales se ubican en el sector bajo de la subcuenca. (Fig.2)

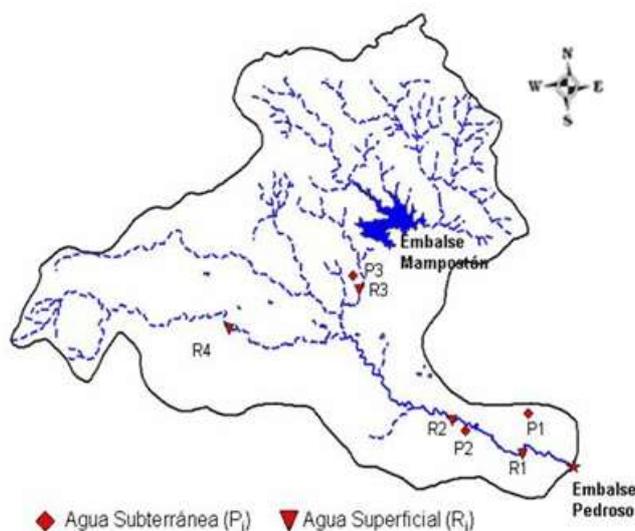


Figura 2: Ubicación esquemática de los puntos de muestreo de agua superficial y subterránea en la subcuenca Mampostón.

Se realizó un muestro simple una vez al día en horas de la mañana, periódicamente durante 3 meses cada 15 días en el período lluvioso y con igual frecuencia en el período poco lluvioso en el transcurso de los años 2005 – 2007. Se confeccionó una Planilla de Campo donde se recogió fecha, hora, temperatura del agua y ambiente, y observaciones con énfasis en el estado del cause (para fuentes superficiales).

Según las recomendaciones de García y Beato (1979), las muestras se colectaron en botellas de vidrio de 1000 ml y refrigeradas a 4°C durante su traslado al laboratorio para la realización de los análisis propuestos. Al tomar la muestra se cerró herméticamente el frasco y se rotuló con los datos correspondientes

Según el Manual de Técnicas Analíticas (Paneque et al 2005) y el fin de la investigación se determinaron los parámetros físico-químicos medidos en campo (temperatura, pH, conductividad eléctrica, y alcalinidad ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$)), así como los iones mayoritarios (Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} y Mg^{2+} , dureza como CaCO_3 , y por diferencia se determinó $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ en el laboratorio: (**Tabla I**)

Tabla I: Parámetros fisicoquímicos y métodos de análisis empleados.

Parámetros	Métodos de Análisis
Temperatura (°C)	Termómetro
pH	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	Volumétrico
Bicarbonatos (ppm)	Volumétrico
Calcio + Magnesio (ppm)	Volumétrico
Calcio (ppm)	Volumétrico
Magnesio (ppm)	Volumétrico
Cloruros (ppm)	Volumétrico
Sulfatos (ppm)	Gravimétrico

Las Sales Solubles Totales (SST) corresponden a la suma de elementos en solución que el agua ha incorporado en su trayectoria. Por tanto, las Sales Solubles Totales son la suma de los aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) en mg/l determinados en la presente investigación.

Los datos hidroquímicos se procesaron utilizando los programas HIDROGEOQUIM (Fagundo et al 2005) y MODELAGUA (Fagundo et al 2001) implementado para realizar la caracterización hidrogeoquímica de las aguas, el control de su calidad, así como la construcción de los de patrones hidrogeoquímicos a partir de los diagramas de Stiff. (Fagundo 1998). Estos patrones consisten en relaciones estequiométricas del tipo $\text{Na}^+ + \text{K}^+ : \text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^- : \text{HCO}_3^- : \text{SO}_4^{2-}$. Sobre esta base se establecen 784 patrones (28 x 28 combinaciones numéricas formadas por números enteros entre 1 y 9).

Para determinar su aptitud para el riego se utilizó la clasificación de Wilcox (1995) (citada por Rodríguez y D'Urso 2005), que emplea los criterios de: la conductividad eléctrica, el porcentaje de sodio respecto al total de cationes (% meq/l de Na^+)

$$\% \text{meq/l de } Na^+ = \frac{[Na^+]}{\text{Total de Cationes (meq/l)}} * 100 \quad (1)$$

y el RAS (Relación de Absorción de Sodio) que se refiere a la proporción relativa en que se encuentran el sodio y los iones calcio y magnesio de acción sobre el suelo. La fórmula para el S.A.R. es la siguiente

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\left[\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2} \right]^{1/2}} \quad (2)$$

Resultados y discusión

Las aguas del área de estudio se caracterizan por presentar temperaturas ambiente entre los 27.0 y 28.4°C y rangos de pH normales con excepción del Embalse Mampostón que sobrepasa el valor de 8.00, aunque no llega al límite del valor permisible según la NC 27:1999. (Tabla II)

Tabla II: Principales propiedades físicas de los puntos de muestreo en estudio en el período analizado

Muestra	pH	Temperatura (°C)
Derivadora Pedroso	7.84	27.0
Embalse Mampostón	8.16	28.0
Aguas Superficiales	7.12	28.0
Aguas Subterráneas	7.24	28.1

Al analizar las principales variable hidroquímicas de los puntos de muestreos (Tabla III), se advierte que: Los tenores de los iones analizados para la caracterización físico – química de las aguas de la subcuenca es superior en los puntos que representan las aguas subterráneas respecto al resto de los puntos muestreados. Los iones bicarbonato y calcio, son los más abundantes seguidos de los iones sulfato; esto explica la composición química y por tanto el comportamiento de su patrón hidroquímico. (Fig.3)

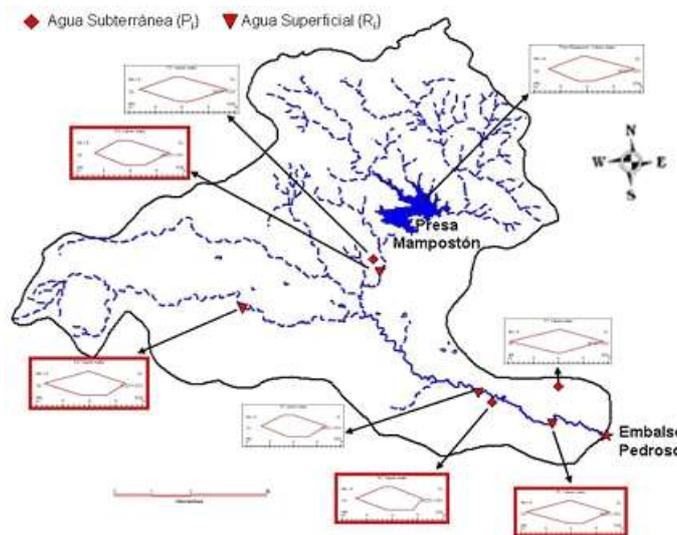


Figura 3: Representación esquemática de la distribución de los patrones hidroquímicos de las aguas de la subcuenca Mampostón.

El grado de mineralización, representado por los valores de Sales Solubles Totales (SST), es superior en las aguas subterráneas, seguido de las aguas superficiales que presentan valores superiores a los de los embalses (Tabla III). Espacialmente, no determinan ningún patrón de dirección de flujo, resultado que pudiera parecer contradictorio si no se tiene en cuenta la presencia de un parteagua móvil en el límite oeste de la subcuenca (Campos et al 2006). Es decir, en pequeños tramos del extremo oeste, los límites superficiales no concuerdan con la divisoria de las subcuencas subterráneas Jaruco y Aguacate, la cual es una franja hidrodinámica, que se desplaza de Este a Oeste, de acuerdo con las condiciones climáticas (precipitaciones, evaporación) de la zona y la explotación a que se sometan dichas subcuencas; además el flujo de las aguas subterráneas en el acuífero Aguacate

es en sentido opuesto al de las aguas superficiales; aspecto este importante para entender el régimen químico de la cuenca.

Tabla III: Principales rasgos hidroquímicos de los puntos de muestreo en estudio en el período analizado (en mg l^{-1})

Muestra	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	SST
Derivadora Pedroso	232,61	3,85	21,38	63,6	6,56	14,84	333
Embalse Mampostón	195,56	1,42	18,49	52,45	6,91	10,16	316
Aguas Superficiales	228,21	9,11	58,01	67,58	6,31	29,16	470
Aguas Subterráneas	331,85	20,21	123,94	103,6	5,06	56,72	547

El embalse Mampostón muestra correlaciones significativas (Tabla IV) entre el ión bicarbonato y las Sales Solubles Totales (SST), lo que indica que es el ión bicarbonato el que más influye en la varianza total del sistema y le confiere alta responsabilidad dentro del proceso de mineralización del embalse.

Tabla IV: Matriz de Correlaciones bilaterales de las variables para el embalse Mampostón.

n=6	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	TSS
HCO_3^-	1						
Cl^-	-.170	1					
SO_4^{2-}	.522	.490	1				
Ca^{2+}	.370	-.226	.655	1			
Mg^{2+}	-.354	.674	.079	-.384	1		
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$.781	-.042	.176	-.157	-.413	1	
TSS	.962(**)	.062	.719	.438	-.260	.735	1

** La correlación es significativa para $p=0.01$

Corroborándose esta información con el análisis del balance de masas donde el 63% corresponde a la disolución de la calcita y el 30% a la disolución de la dolomita correspondiendo de esta manera con la clasificación de su agua (Bicarbonatada Cálcida). Sin embargo, no existe correspondencia de esta composición con la litología sobre la que yace el embalse. El macizo Cretácico poco acuífero drena aguas de composición media Bicarbonatadas Cloruradas Sódico Cálcidas y Bicarbonatadas Cloruradas Magnesianas Cálcidas (Fig.4) tomando como referencia pozos pertenecientes a la cuenca Itabo por presentar similares características geólogo-litológicas a la cuenca en estudio.

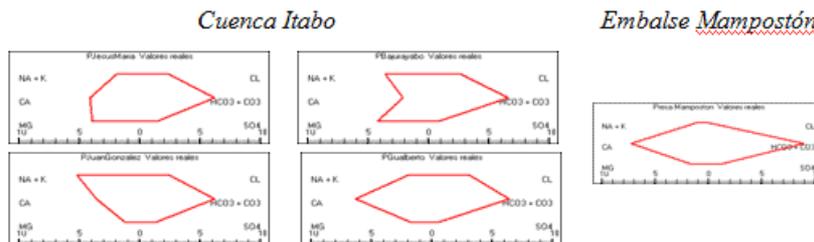


Figura 4: Comparación entre los Patrones hidroquímicos de la cuenca Itabo y el de la presa Mampostón

En la adquisición de la composición química de las aguas superficiales participan activamente los iones de calcio y magnesio presentes en las calizas del área, además de los iones bicarbonato, cloruro y sodio según lo demuestran los valores de correlaciones presentados en la Tabla V, haciendo énfasis en las correlaciones de las SST con estos últimos iones.

Tabla V: Matriz de Correlaciones bilaterales de las variables para las aguas superficiales de la subcuenca Mampostón.

n=25	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	TSS
HCO ₃ ⁻	1						
Cl ⁻	-.035	1					
SO ₄ ²⁻	-.013	-.071	1				
Ca ²⁺	.331	-.194	.464(*)	1			
Mg ²⁺	.149	.287	.407(*)	.402(*)	1		
Na ⁺ + K ⁺	.344	.883(**)	-.113	-.283	.161	1	
TSS	.602(**)	.765(**)	.070	.105	.363	.912(**)	1

** La correlación es significativa para p=0.01

* La correlación es significativa para p=0.05

La clasificación de aguas Bicarbonatada Sulfatada Cálculo Sódica (HCO₃>SO₄-Ca>Na) se comprueba a través del balance de masas (Fig.5) donde el 61,2% corresponde a la disolución de calcita (528,3 mg l⁻¹ del mineral disuelto en el agua) presente en las rocas de la formación Güines sobre las que corren, reportándose poca variación entre los pozos analizados. También aparece un 22% de la disolución de dolomita por la presencia de esta roca, alternando con la caliza en el lecho del río. El por ciento del aporte de sulfato por otras fuentes es algo elevado (16.5%) si se toma como referencia el encontrado en los embalses, lo que sugiere un posible contaminación.

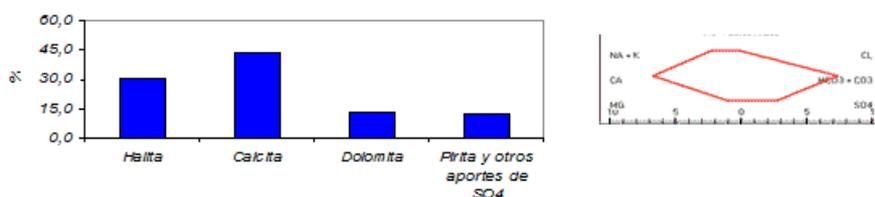


Figura 5: Valores medios del balance de masas y patrón hidrogeoquímico para las aguas superficiales

Por su parte, la composición química de las aguas subterráneas obedece a la interacción de estas con los minerales que componen las areniscas y otras rocas presentes en la zona corroborándose en los valores de las correlaciones altamente significativas en las SST y los iones cloruro, sulfato y sodio. Además los valores reflejados en la interacción entre los iones sulfato y bicarbonato y sulfato y sodio indican el origen de esta agua a partir de flujos intermedios (Tabla VI)

Tabla VI: Matriz de Correlaciones bilaterales de las variables para las aguas subterráneas de la subcuenca Mampostón.

n=18	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	TSS
HCO ₃ ⁻	1						
Cl ⁻	.192	1					
SO ₄ ²⁻	-.484(*)	.159	1				
Ca ²⁺	-.212	-.021	.140	1			
Mg ²⁺	-.199	.126	.418	.382	1		
Na ⁺ + K ⁺	-.044	.707(**)	.760(**)	-.122	.255	1	
TSS	-.071	.661(**)	.816(**)	.047	.361	.982(**)	1

** La correlación es significativa para p=0.01

* La correlación es significativa para p=0.05

En una primera lectura del análisis del balance de masas (Fig.6) de los pozos analizados se comprueba una alta correspondencia con la composición geológica del área, que se traduce en el 72,3% de disolución de calcita con más de, 52% en cada uno de los pozos. Se complementa con un 9,6% de disolución de dolomita llegando a superar la presencia de calcita y dolomita el 80% de la composición. Además en los pozos se reporta una alta variación entre el mínimo (6,7%) y el máximo (35,2%) de aportes de sulfato. Este análisis ratifica la clasificación de Bicarbonatada Sulfatada Cálculo Sódica (HCO₃>SO₄-Ca) que se le da a las aguas subterráneas del territorio.

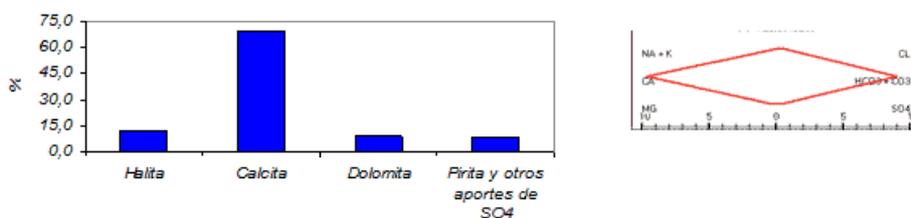


Figura 6: Valores medios del balance de masas y patrón hidrogeoquímico para las aguas subterráneas

En sentido general se observa un patrón hidrogeoquímico de aguas Bicarbonatadas Calcicas ($\text{HCO}_3 - \text{Ca}$) en correspondencia con estudios anteriores del acuífero realizados por Santiago (2000), pero esta vez con la presencia del ión sulfato. Si bien es cierto que en la zona de estudio no existe la litología capaz de aportar estos iones a la composición química de las aguas; si existen otras fuentes potenciales de aporte de este elemento de disímiles orígenes: 8 industrias, 3 Centros de Investigación, 6 Asentamientos humanos y 25 vaquerías; con una diferenciación bien clara en cuanto a sus residuales. Todas estas fuentes se distribuyen en el territorio de Este a Oeste paralelas a la Carretera Central y forman un área de influencia peligrosa para la calidad del agua de la subcuenca Mampostón, tanto de forma directa como indirectamente. Además su ubicación coincide con la dirección de flujo del escurrimiento superficial del área lo que lo hace aun más peligroso.

La evaluación de la aptitud del agua para riego resulta imprescindible para los fines agropecuarios de la zona. Los problemas de calidad pueden afectar el normal desarrollo de un cultivo, la salinización y empobrecimiento o no del suelo. De ahí la importancia del análisis del agua utilizada.

De acuerdo a la clasificación de Wilcox las aguas de la Derivadora Pedroso y el Embalse Mampostón se consideran de excelentes a buena y el resto de las aguas superficiales y subterráneas se consideran de buenas a admisibles. Por su parte, al realizar el análisis de SAR encontramos que las aguas de la Derivadora Pedroso y el Embalse Mampostón son aguas de buena calidad aptas para el riego y al encontrarse dentro de la clase C2 S1, son aptas para todo tipo de suelos y se pueden usar en cultivos tolerantes a la salinidad, sin embargo pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio. En el caso de las aguas superficiales y subterráneas se consideran utilizables para el riego con determinadas precauciones.

Las aguas superficiales se encuentran dentro de la clase C3 S1 se caracterizan por una salinidad alta y bajo contenido de sodio que pueden utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad, sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

La mayoría de las aguas de los pozos, al igual que las aguas superficiales, se encuentran dentro de la clase C3 S1 pero en su promedio se convierten en aguas que se encuentran dentro de la clase C3 S2 que se caracterizan por una salinidad alta con un contenido medio de sodio que pueden utilizarse par el riego de suelo con buen drenaje empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo. Con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco arcillosos) y de baja permeabilidad. (Fig.7)

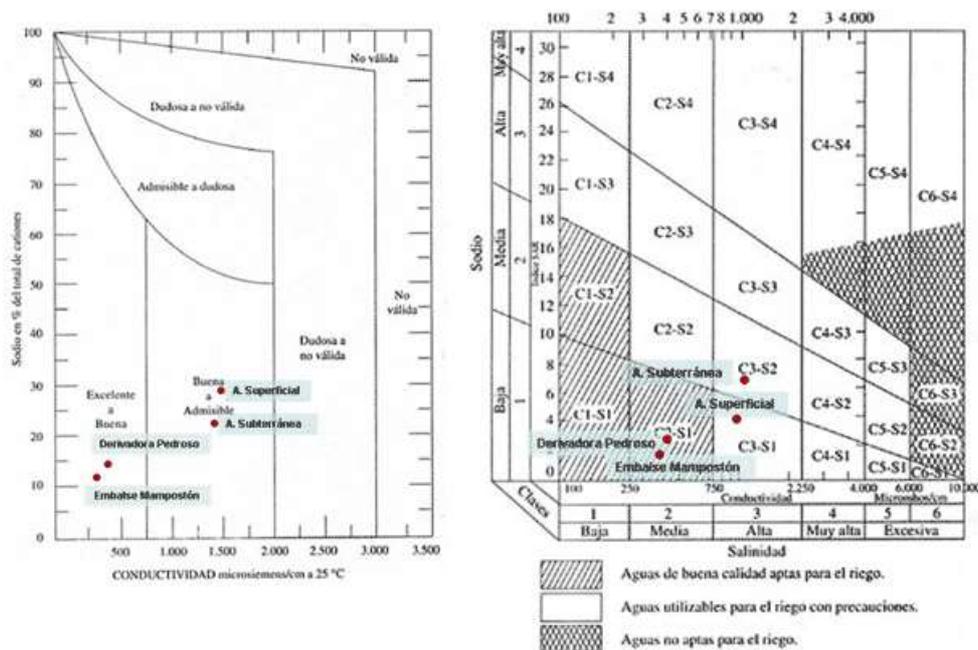


Figura 7: Diagramas de representación de los análisis químicos correspondientes a las aguas de la subcuenca Mampostón.

Conclusiones

- ◆ Las aguas de la subcuenca Mampostón son Bicarbonatadas Cálscas que evolucionan a Bicarbonatada Sulfatada Cálscas en las aguas subterráneas, y las aguas superficiales son Bicarbonatada Sulfatada Cálscas Sódicas.
- ◆ Los procesos geoquímicos que determinan el origen y composición química de las aguas de la subcuenca Mampostón son fundamentalmente: disolución de calcita y dolomita, oxidación de pirita o la presencia de otras fuentes de aporte de sulfato, y la disolución y precipitación de halita en las aguas superficiales y subterráneas y los embalses, respectivamente. Además las rocas más comunes en el área son las calizas, calizas dolomitizadas y las calcarenitas.
- ◆ Las aguas de la Derivadora Pedroso y el Embalse Mampostón tienen de excelente a buena calidad y son aptas para el riego en cualquier tipo de suelo. Por su parte el resto de las aguas superficiales y subterráneas tiene de buena a admisible calidad y pueden ser utilizadas para el riego con ciertas precauciones.

Referencias

- Campos, M.; M. Guerra; E. Jaimez; B. Gutiérrez; I. Guerra (2006); Caracterización físico-geográfica del curso superior de la cuenca del Río Mayabeque. Informe Final de Proyecto IGA – CITMA, La Habana 26 p
- Fagundo J.R.; P. González; M. Suárez Muñoz; J. Fagundo-Sierra; C. Melián; E. Alvarez (2005). HIDROGEOQUIM. Contribución a la Educación y Protección Ambiental. ISCTN. Vol 6, Q 58-67. ISBN 959-7136-35-X.
- Fagundo, J.R. (1998). Patrones hidrogeoquímicos y relaciones matemáticas en aguas naturales. Ingeniería Hidráulica, 19 (2): 62-78, ISSN 0253-0678.
- Fagundo-Sierra, J.; J.R. Facundo; P. González; M. Suárez (2001); Modelación de las aguas naturales. En: Contribución a la Educación y la Protección Ambiental, La Habana, Edición: ISCTN, 2, 8 p.
- García, J.M. y O. Beato (1979). Muestreo de las Aguas. Recomendaciones Técnicas Generales. Ed. Inst. Hidroeconomía, La Habana, pp. 25.
- Hernandez, L.O.; H. García (2006); Diagnóstico Ambiental de la Cuenca Mayabeque. Informe Técnico para el GEARH La Habana; 61 p
- NC 27: 1999 Norma Cubana de Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones
- Paneque, V.M; M. Calderon; J.M. Calaña; Y. Borges; M. Caruncho (2005); Manual de técnicas analíticas para el análisis de las aguas residuales; Laboratorio de análisis químico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; La Habana; 50 p
- Rodríguez, G. y D'Urso, C. (2005); Estudio hidrogeológico y de calidad de agua en el sector oriental de la Sierra de San Javier entre las localidades de Yerba Buena y Manantial. Provincia Tucuman, República de Argentina. Estudios Geol., 61:197-206 (2005)
- Sánchez, F.J. (2004); Refa T110. Hidroquímica. Conceptos fundamentales; En: Hidrología. Hidrogeología; Universidad de Salamanca; Disponible en <http://web.usal.es/~javisan/hidro/> ; Consultado Septiembre/07
- Santiago, J. F. (2000); Caracterización de la composición de las aguas subterráneas naturales de los acuíferos cársicos cerrados de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana; Voluntad Hidráulica, Año XXXVIII, No. 92 – 93/ 2000 , p 22