

ARTÍCULO ORIGINAL

Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas

Hydrochemical characterization of irrigation water of the Naranjo river watershed, municipality Majibacoa, province Las Tunas

Yoandris García Hidalgo¹, Carlos Balmaseda Espinosa², Heriberto Vargas Rodríguez²

RESUMEN. El origen de las aguas, los procesos físico-químicos que las afectan y su calidad son parte de la información que aporta la caracterización hidroquímica de las aguas para hacer una mejor gestión de los recursos hídricos. Se estudiaron seis fuentes de abasto de aguas para el riego (tres superficiales y tres subterráneas), de la cuenca del río Naranjo en la provincia Las Tunas, a partir de sus concentraciones de aniones y cationes minoritarios, el pH y la conductividad eléctrica. La clasificación de las aguas se realizó siguiendo los criterios de Shchoukarev y mediante los diagramas de Schoeller-Berkaloff y de Stiff se representaron los resultados. Las aguas subterráneas son más mineralizadas que las superficiales, los iones que predominan son bicarbonato, cloruro y sodio, de ahí que las aguas que prevalecen son de los tipos $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ o $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$. Las aguas estudiadas no son aptas para el riego y son un peligro potencial para la alcalinización de los suelos.

Palabras clave: composición química, clasificación de las aguas, facies hidroquímicas.

ABSTRACT. The origin of the waters, the physique - chemical processes that affect them and their quality are part of the information that contributes to the hydrochemical characterization of the waters to make a better management of the hydric resources. Six sources of waters supply for irrigation were studied (three superficial and three ground), of the Naranjo river watershed in the province The Tunas, starting from their concentrations of anions and cationes, the pH and the electric conductivity. The classification of the waters was carried out following the Shchoukarev's approaches and by means of the diagrams of Schoeller-Berkaloff and of Stiff the results were represented. The ground waters are more mineralized than the superficial ones, the ions that prevail are bicarbonate, chloride and sodium, with the result that the waters that prevail are $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ or $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$ types. The studied waters are unsuitable for irrigation and they are a potential danger for the soil alkalization.

Keywords: chemical composition, water classification **hydrochemical facies.**

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Naranjo es una de las más importantes de la provincia Las Tunas. En ella se ubica cerca del 95% del municipio Majibacoa, zona eminentemente agropecuaria con importantes entidades que contribuyen al abastecimiento de alimentos de la región. Por esa razón, el agua juega un papel fundamental al garantizar el regadío de los cultivos. Sin embargo,

el deterioro de la calidad del agua se ha identificado como uno de los principales problemas ambientales de la cuenca, según *CITMA* (2008). Conocer las características hidroquímicas de las aguas puede contribuir a trazar estrategias para mejorar la gestión de los recursos hídricos en la zona.

La caracterización hidroquímica de las aguas y su distribución espacial y temporal aportan información sobre su origen, los procesos físico-químicos que las afectan y la calidad (de-

Recibido 15/12/10, aprobado 19/05/12, trabajo 36/12, artículo original.

¹ Ing., Profesor de la Facultad de Agronomía, Universidad de Las Tunas, E-✉: yoandrisgh@ult.edu.cu.

² Dr. C., Profesor de la Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana.

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

gradación y presencia de contaminantes). Con esa información es posible establecer la evolución del acuífero en el tiempo y el espacio, evaluar su vulnerabilidad, detectar afectaciones y establecer medidas correctoras, o sea, contribuye a que se pueda hacer una mejor gestión de los recursos hídricos (Lillo, 2007).

Para la caracterización y clasificación hidroquímica de las aguas se emplean sus contenidos de aniones y cationes los cuales son representados en dos tipos de gráficos fundamentalmente, los denominados diagramas de Piper-Hill-Langelier y de Schoeller-Berkaloff (Arias, 2006; Lillo, 2007; Molina, 2009; Ruiseco, 2009; de la Losa *et al.*, 2010; Herrera, 2011).

El diagrama de Piper-Hill-Langelier está formado por dos triángulos equiláteros donde se representan la composición aniónica ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$; SO_4^{2-} ; $\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-$) y catiónica ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$; Ca^{2+} ; Mg^{2+}) del agua y un campo central romboidal que muestra la composición del agua deducida a partir de los iones. Este diagrama permite apreciar la evolución hidroquímica de las aguas y establecer su tipo en relación a las facies hidroquímicas (Lillo, 2007; Rajendra Prasad *et al.*, 2009; Nwankwoala y Udom, 2011).

El diagrama de Schoeller-Berkaloff emplea una escala semilogarítmica para representar las concentraciones de iones, con la ventaja de que se pueden visualizar varias muestras. Es apropiado para estudiar la evolución temporal de las aguas en un mismo sitio y su variación composicional en diferentes localidades (Lillo, 2007).

La representación espacial de los tipos de agua se puede hacer a través de los gráficos de Stiff, constituidos por polígonos que unen las concentraciones de cada ión representadas sobre semirrectas paralelas (Fagundo *et al.*, 2001, Lillo, 2007; de la Losa *et al.*, 2010). La forma de cada polígono orienta sobre el tipo de agua. Al enlazar los polígonos obtenidos con el mapa de la zona estudiada se visualiza la variación espacial de los tipos de agua encontrados.

Los objetivos de ese trabajo fueron identificar y caracterizar los tipos de agua que se emplean en el riego en la cuenca del río Naranjo, a través de sus facies hidroquímicas.

MÉTODOS

El estudio se realizó en la cuenca del río Naranjo que tiene una superficie de 412,8 km² y se localiza entre las coordenadas: 20° 39' 00" - 21° 01' 00" latitud norte y 76° 36' 30" - 76° 52' 30" longitud oeste, en el municipio Majibacoa, provincia Las Tunas.

Toma de muestras

Se seleccionaron seis puntos de muestreo, tres superficiales (dos puntos en el río Naranjo y uno en la Presa Blanca Rosa) y tres subterráneos (pozos). En la selección se tuvo en cuenta la ubicación espacial y la superficie regada a partir de esa fuente (Figura 1).

El muestreo se hizo en dos momentos, vinculados a los períodos húmedos y secos (20/09/2011 y 9/01/2012 respectivamente), esta operación se ejecutó en conjunto con especialistas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en la provin-

cia, basados en la NC-93-02 (1985). El volumen de muestra tomado por cada fuente fue de 2,5 litros, según recomienda el Manual de Técnicas Analíticas elaborado por Paneque *et al.* (2005). El agua se extrajo a 50 cm de la superficie, para garantizar homogeneidad en la temperatura del agua (25°C).

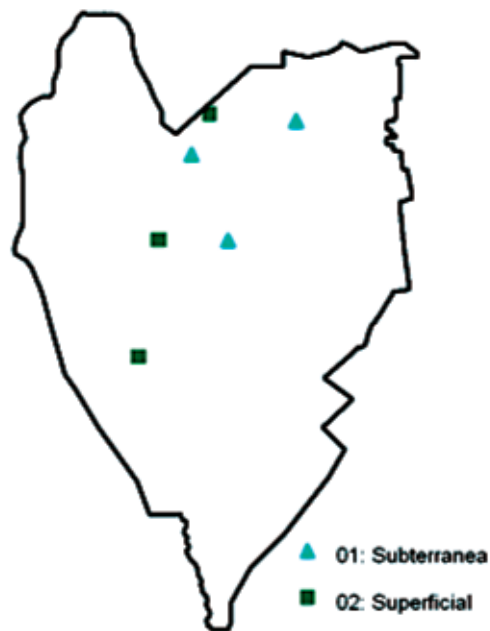


FIGURA 1. Distribución espacial de los puntos de muestreo.

Análisis físico-químicos

Las determinaciones de pH, temperatura y conductividad eléctrica se realizaron “*in situ*”, mediante un potenciómetro (pH metro manual de lectura digital marca Pocket-Sized chino), un medidor de temperatura y un conductímetro modelo HI-8424, marca HANNA, con su escala calibrada para leer directamente conductancias. Los resultados se expresan en unidades de pH a la temperatura de 25°C, con una precisión de ± 0,05 unidades.

Las determinaciones de elementos mayoritarios (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros, sodio, potasio, calcio y magnesio) se hicieron según métodos estandarizados para el análisis físico-químico en el laboratorio de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de la provincia Las Tunas.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados en el laboratorio se introdujeron en el programa *EASY_QUIM.4* (Vázquez, 2002) para clasificar las aguas y obtener los diagramas de Piper-Hill-Langelier y de Schoeller-Berkaloff.

Con el empleo del programa *MODELAGUA* (Fagundo *et al.*, 2001) se obtuvieron los diagramas de Stiff que se enlazaron con el mapa de muestreo para evaluar la distribución espacial de las facies hidroquímicas identificadas.

Clasificación hidroquímica

El criterio seguido para definir los iones que participan en la clasificación de las aguas fue el de Shchoukarev, citado por Catalán Lafuente (1981) y aplicado por la Delegación de Recursos Hidráulicos de la provincia Las Tunas. En este método se consideran los iones que tienen una concentración mayor que el 25% del total de aniones o de cationes.

Análisis estadístico

Para complementar las clasificaciones obtenidas se realizó un análisis de clúster para agrupar las fuentes y descubrir las estructuras presentes en los datos. Se empleó el programa *SPSS Statistics 19*, con el que se formaron conglomerados jerárquicos usando método de Ward y la distancia Euclidiana al cuadrado como medida de similaridad, un procedimiento semejante al empleado por Vialle *et al.* (2011). Los datos empleados fueron las concentraciones de aniones y cationes. El agrupamiento obtenido se comparó con los resultados de los métodos antes expuestos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se puede apreciar la composición físico-química de las aguas de las fuentes estudiadas en la cuenca del río Naranjo. Las filas Húmedo y Seco identifican las fechas de muestreo.

TABLA 1. Composición físico-química de las aguas en seis de las fuentes de abasto para uso agrícola en la cuenca del río Naranjo

Muestras	Período	T (°C)	pH (u)	Na ¹⁺ mg L ⁻¹	K ¹⁺ mg L ⁻¹	Ca ²⁺ mg L ⁻¹	Mg ²⁺ mg L ⁻¹	Cl ¹⁻ mg L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mg L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mg.L ⁻¹	CE dS m ⁻¹
419 Pozo UBPC Waldemar Díaz	Húmedo	27,3	7,52	416	1	116	102	437	196	755	2,96
	Seco	23,0	8,11	742	1	89	53	536	362	987	3,81
420 Pozo Semiprotegido	Húmedo	27,2	7,54	428	1	118	101	433	191	758	2,98
	Seco	23,6	8,25	286	4	141	103	584	151	516	2,96
423 Presa Blanca Rosa	Húmedo	27,8	7,85	101	4	37	11	69	28	280	0,71
	Seco	23,1	8,33	235	4	40	18	148	67	506	1,35
424 Río Naranjo (Pto de muestreo 1)	Húmedo	27,3	8,03	123	5	35	22	120	62	262	0,92
	Seco	22,8	8,32	197	6	46	19	168	78	318	1,15
425 Río Naranjo (Pto de muestreo 2)	Húmedo	26,5	7,99	123	5	35	22	124	62	262	0,92
	Seco	22,8	8,05	273	4	40	16	148	68	514	1,14
429 Pozo Las Parras	Húmedo	24,4	7,32	234	6	572	231	1238	222	297	5,51
	Seco	23,2	7,79	197	2	73	73	330	96	416	1,84
Media superficial	Húmedo	27,2	8,0	115,7	4,7	35,7	18,3	104,3	50,7	268,0	0,9
	Seco	22,9	8,2	235,0	4,7	42,0	17,7	154,7	71,0	446,0	1,2
Media subterráneo	Húmedo	27,0	7,7	322,3	2,3	89,7	75,0	331,3	149,7	591,7	2,3
	Seco	23,3	8,1	408,3	2,3	101,0	76,3	483,3	203,0	639,7	2,9

Las aguas del área de estudio se caracterizan por presentar temperaturas ambiente entre los 22,8 y 27,8 °C. Los valores medios de las fuentes subterráneas son inferiores a los de las superficiales en ambas fechas de muestreo.

El pH de las fuentes superficiales es superior al de las fuentes subterráneas en ambas fechas de muestreo. Sin embargo en todos los casos se obtuvieron valores inferiores al umbral (8,4) para aguas de regadío (Ayers y Westcot, 1987). En el período seco se incrementó el pH en todas las fuentes, debido al aumento de las concentraciones de todos los iones, a excepción de magnesio y potasio. La tendencia a la alcalinidad de las aguas debe estar relacionada con la elevación de las concentraciones de los iones bicarbonato y sodio, coincidiendo con Garbagnati *et al.* (2005) que plantean que si el bicarbonato es el ión predominante implicará un aumento de pH.

La conductividad eléctrica de las fuentes subterráneas es superior y muy cercana a 3,0 dS·m⁻¹, por tanto no son aguas

aptas para el riego de los cultivos agrícolas. Las restricciones de las aguas superficiales son ligeras a moderadas.

Al analizar las principales variables físico - químicas de los puntos de muestreos (Tabla 1), se advierte que:

- Los tenores de los iones analizados para la caracterización físico - química de las aguas son superiores en los puntos que representan las aguas subterráneas respecto a las fuentes superficiales.
- Los iones bicarbonato, cloruro y sodio son los más abundantes, con tendencia a una concentración relativamente alta, seguidos de los iones calcio y magnesio.

Clasificación de las aguas según Shchoukarev

Se distinguen seis tipos de agua (Tabla 2), los grupos definidos se corroboran con los diagramas de Schoeller-Berkaloff (Figuras 2 y 3) y el agrupamiento que aparece en el dendograma obtenido del análisis de clúster (Figura 4).

TABLA 2. Tipos de aguas encontradas en las fuentes analizadas

Muestra	Clasificación Período Húmedo	Clasificación Período Seco
419 Pozo UBPC Waldemar Díaz (Riego)	Bicarbonatada-clorurada-Sódica-Magnésica	Bicarbonatada-clorurada-Sódica
420 Pozo Semiprotegido (Riego)	Bicarbonatada-clorurada-Sódica-Magnésica	Clorurada-Bicarbonatada-Sódica-Magnésica
423 Presa Blanca Rosa (Riego)	Bicarbonatada-clorurada-Sódica-cálcica	Bicarbonatada-clorurada-Sódica
424 Río Naranjo (Pto de muestreo 1)	Bicarbonatada-clorurada-Sódica	Bicarbonatada-clorurada-Sódica
425 Río Naranjo (Pto de muestreo 2)	Bicarbonatada-clorurada-Sódica	Bicarbonatada-clorurada-Sódica
429 Pozo Las Parras (Riego)	Clorurada-Sódica-Cálcica	Clorurada- Bicarbonatada-Sódica

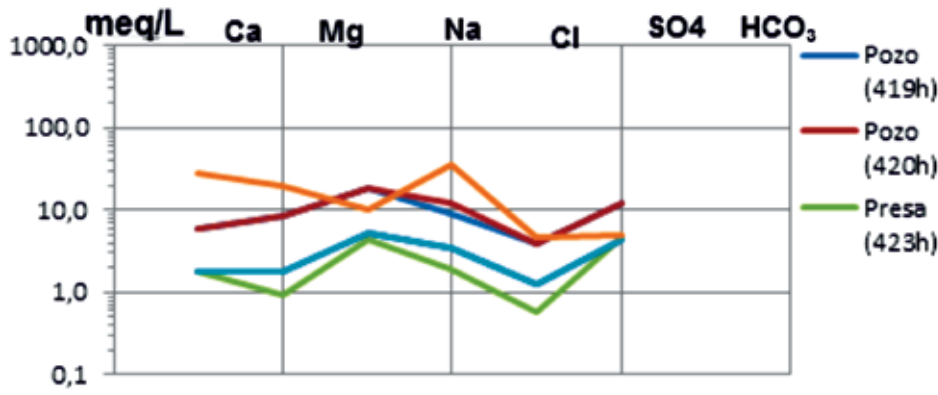


FIGURA 2. Diagrama de Schoeller-Berkaloff, presenta las concentraciones de iones de los puntos muestreados en el período húmedo, en él es posible identificar los diferentes tipos de agua.

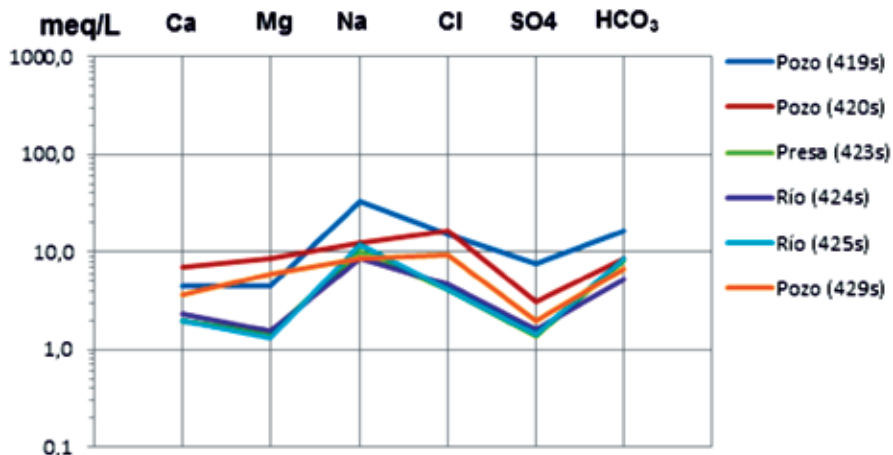


FIGURA 3. Diagrama de Schoeller-Berkaloff, presenta las concentraciones de iones de los puntos muestreados en el período seco, en él es posible identificar los diferentes tipos de agua.

Se aprecia un patrón hidroquímico en el que predominan las facies Bicarbonatadas Cloruradas Sódicas ($\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- - \text{Na}^+$) y Cloruradas Bicarbonatadas Sódicas ($\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$) como se observa en la Tabla 2. Estos resultados se corresponden con estudios anteriores del acuífero realizados por INRH (2010). Las aguas subsuperficiales en las que predominan los iones bicarbonato y sodio son consideradas jóvenes, poco evolucionadas; mientras, las cloruradas tienen largo tiempo de residencia en el acuífero (Galindo *et al.*, 2006).

Para confirmar los tipos de agua identificados se agrupan las fuentes muestreadas empleando las concentraciones de

aniones y cationes, los dendogramas obtenidos se exponen en la Figura 4. Los grupos formados confirman la existencia de seis clases. Obsérvese que las fuentes superficiales (423, 424 y 425) se enlazan en los mayores niveles de similitud en ambos períodos de muestreo, correspondiéndose con las aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas. Las fuentes subterráneas también tienen una clara diferenciación, especialmente los pozos 419 y 420. El primero de estos pozos se separa en el período seco debido a que su concentración de sulfatos aumenta respecto al total de aniones. Las aguas bicarbonatadas están bien separadas de las cloruradas.

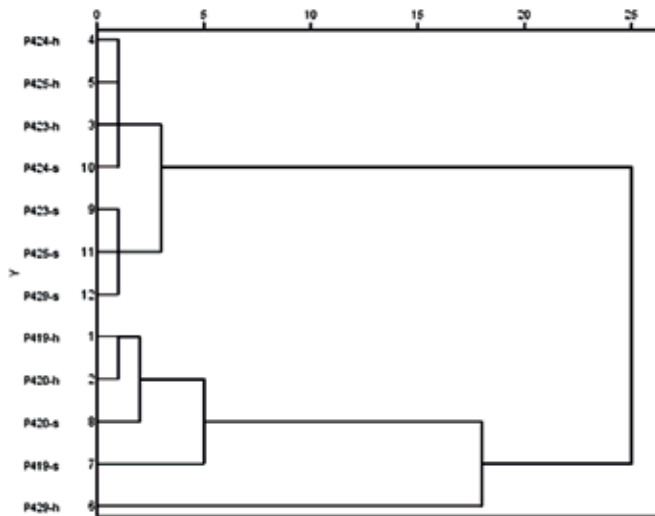


FIGURA 4. Dendrograma con los agrupamientos de las aguas, según sus concentraciones de iones y cationes, empleando el método de Ward y la distancia euclídeana al cuadrado como medida de similitud.

En la Figura 5 se puede apreciar la distribución espacial de las aguas identificadas en la zona estudiada, según los patrones encontrados. En los diagramas de Stiff se puede observar el predominio de los aniones bicarbonato y cloruro, así como los aniones de sodio y magnesio en los pozos y sodio en las fuentes superficiales. Esto indica la presencia de distintos tipos de agua en esta cuenca, coincidiendo con los resultados reportados por Monteagudo (2008) en otras cuencas del territorio quien plantea que las características geológicas de las cuencas en las Tunas son complejas, ya que en superficie existen formaciones sedimentarias constituidas por calizas duras (formadoras de aguas bicarbonatadas cálcicas), calizas dolomitizadas y dolomitas (formadoras de aguas bicarbonatadas cálcicas magnesianas), así como mezclas de litologías y aportes de cloruro de sodio de los suelos en la zona no saturada de los acuíferos lo que determina la variedad de tipos de agua en una misma cuenca.

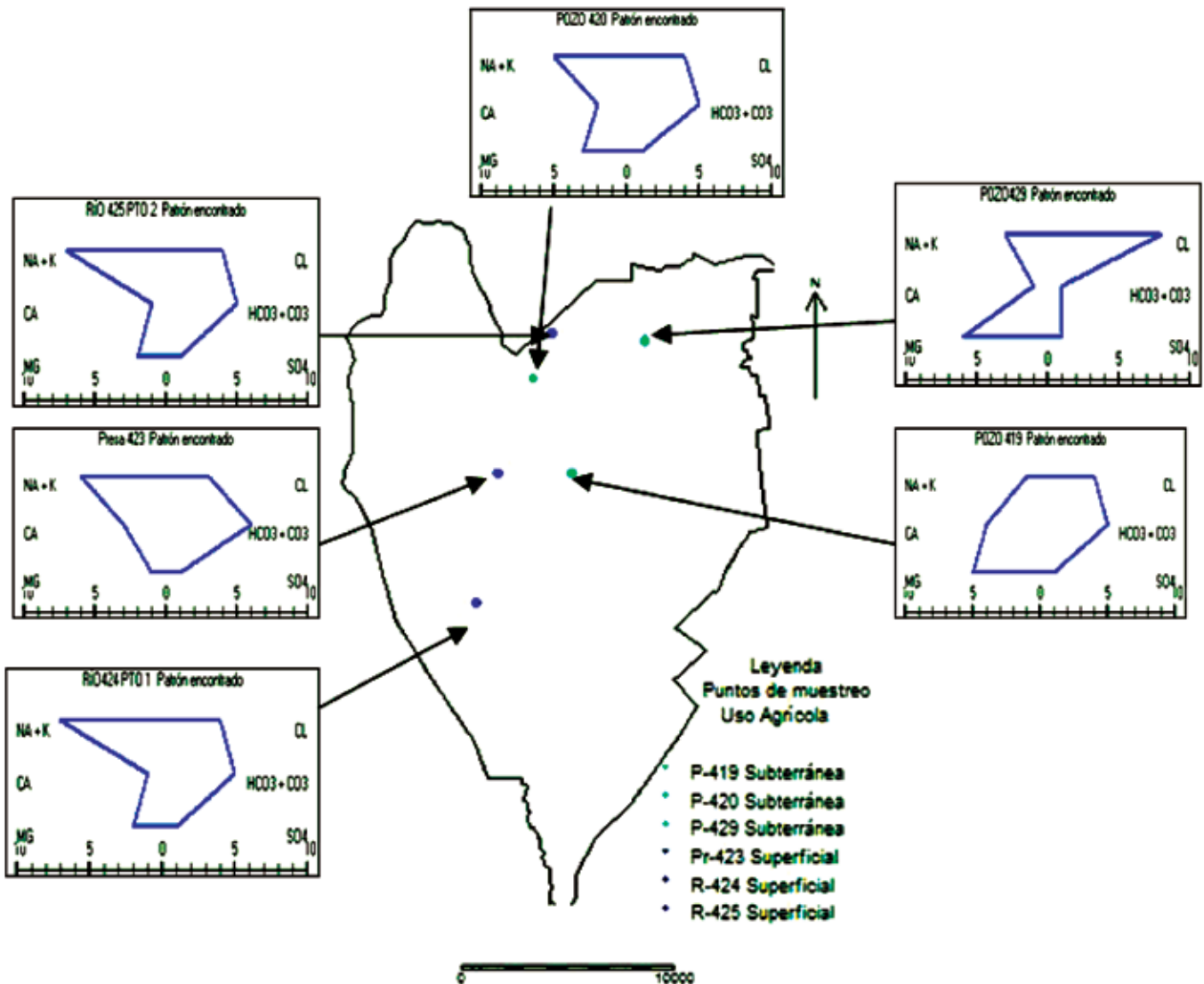


FIGURA 5. Representación esquemática de la distribución de los patrones hidroquímicos de las aguas de la cuenca río Naranjo en el período húmedo.

CONCLUSIONES

- Existe una clara diferenciación entre las aguas de fuentes superficiales y subterráneas, siendo las últimas más mineralizadas que las primeras.
- Los iones bicarbonato y cloruro son los predominantes, mientras que el sodio es el catión de mayor porcentaje en las aguas estudiadas.

- Se identificaron seis tipos de aguas, confirmadas por el análisis de clúster, en los que predominan bicarbonatadas-cloruradas-sódicas y cloruradas -bicarbonatadas-sódicas.
- Existe el riesgo de alcalización de los suelos al emplear las aguas bicarbonatadas en el riego de los cultivos.
- Las aguas analizadas no son aptas para el riego de cultivos agrícolas debido a su alto contenido de sales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARIAS, F. A.: *Desarrollo sostenible y sus indicadores*, Documento de Trabajo no. 93. CIDSE, Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Valle, Cali, Colombia, 2006.
2. AYERS, R. S. & D. W. WESTCOT: *La calidad del agua en la agricultura*, Estudio FAO Riego y Drenaje, 29 Rev. 1; Roma, 1987.
3. CATALÁN LAFUENTE, J.: *Química del Agua*. Fuentelabrada, Talleres Gráficos Alonso S. A.; Madrid, España, 1981.
4. CITMA: *Informe trimestral de la cuenca río Naranjo*, 15pp., Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente Las Tunas, Cuba, 2008.
5. DE LA LOSA, A., L. MORENO E I. NÚÑEZ: "Calidad química de las aguas subterráneas en una zona de actividad minera (Cuenca del Bierzo- León)", *Boletín Geológico y Minero*, 121, 103-122, 2010.
6. FAGUNDO-SIERRA, J., J. R. FACUNDO, P. GONZÁLEZ y M. SUÁREZ: *Modelación de las aguas naturales*. En: Contribución a la Educación y la Protección Ambiental, Edición: ISCTN, 2, La Habana, 2001.
7. GALINDO, E., M. DEL POZO, J. A. DÍAZ, S. CASTAÑO, B. MARTÍ y J. L. GUERRA: *Caracterización geoquímica del agua subterránea en la zona este de Gran Canaria*, 9pp., Instituto Geológico y Minero de España; 2006.
8. GARBAGNATI, M. A., P. S. GONZÁLEZ, R. I. ANTÓN y M. A. MALLEA: "Características físico-químicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina", *Ecología Austral*, 15: 59-71, 2005.
9. HERRERA, I. R.: *Estrategia para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico subterráneo en la subcuenca de los ríos Pansigüis y Cushapa en el departamento de Jalapa, Guatemala. Tesis (en opción al Título de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias)*, Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, 2011.
10. INRH: *Estudio de la composición química de la subcuenca La Cana*, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Delegación Tunas (INRH), Las Tunas, Cuba, 2010.
11. Lillo, J.: *Técnicas Hidrogeoquímicas*, 140pp., **Tesis (en opción del título de Máster Oficial en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos)**, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España, 2007.
12. MOLINA, J. L.: *Análisis integrado y estrategias de gestión de acuíferos en zonas semiáridas. Aplicación al caso de estudio del Altiplano (Murcia, SE España)*, 270pp., **Tesis (en opción al Título de Doctor en Ciencias Técnicas)**, Instituto Geológico y Minero de España-Universidad de Granada, España, 2009.
13. MONTEGUDO, V.Z.: *Geoquímica de las aguas subterráneas de la provincia de Las Tunas*, **Tesis (en opción al Título de Doctor en Ciencias Químicas)**, Instituto Superior Pedagógico, Las Tunas, Cuba, 2008.
14. NC. 93-02:85.: *Norma Cubana de agua potable*, Vig. Julio 1986.
15. NWANKWOALA, H. O. & G. J. UDOM: "Hydrochemical Facies and Ionic Ratios of Groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria", *Research Journal of Chemical Sciences*, 1(3): 87-101, 2011.
16. PANEQUE, V. M., M. CALDERÓN, J.M. CALAÑA, Y. BORGES y M. CARUNCHO: *Manual de técnicas analíticas para el análisis de las aguas residuales*, 50pp., Laboratorio de Análisis Químico, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, 2005.
17. RAJENDRA PRASAD, D. S., C. SADASHIVIAH & G. RANGNNA: "Hydrochemical Characteristics and Evaluation of Groundwater Quality of Tumkur Amanikere Lake Watershed, Karnataka, India". *E-Journal of Chemistry*; 6(S1):S211-S218, 2009.
18. RUISECO, D.: *Aplicación de criterios sostenibles en el riego de jardines del campus universitario de Alcalá de Henares. Tesis (en opción al grado Académico de Máster Oficial en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos)*, Universidades de Alcalá de Henares y Rey Juan Carlos, Madrid, España, 2009.
19. VÁZQUEZ, E.: *Easy_Quim.4. GHS-UPC, CIHS, [en línea] 2002, Disponible en: http://www.woocities.org/es/carles_fernandez/descarregues/EASY_QUIM4.xls [Consulta: enero 02 2012].*
20. VIALLE, C., C. SABLAYROLLES, M. LOVERA, S. JACOB, M. C. HUAUE & M. MONTREJAUD-VIGNOLESA: "Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis", *Water Research*, 45(12): 3765-3775, 2011.