

Distribución espacial de la calidad de las aguas subterráneas utilizadas para el riego

Spatial distribution of the quality of the underground water used for irrigation

M.Sc. José Ramón Cabrera Alfonso¹, Dr.C. Daniel Ponce de León Lima¹¹, M.Sc. Rafael Cervantes Beyra¹¹,
Dr.C. Heriberto Vargas Rodríguez¹¹, M.Sc. Duniesky Domínguez Palacio¹

¹Dirección Provincial de Suelos y Fertilizantes, Pinar del Río, Cuba.

¹¹Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. La sostenibilidad ambiental y económica del regadío con aguas subterráneas provenientes de acuíferos costeros requieren de monitoreo y análisis periódicos que alerten sobre las posibles afectaciones en su calidad y los efectos contraídos sobre el sistema suelo-planta. El objetivo de este trabajo es evaluar con carácter espacial mediante indicadores como Conductividad Eléctrica (CE), Relación de Adsorción de Sodio corregido (RAS^o) e Iones Tóxicos la calidad química de las aguas subterráneas utilizadas para riego en la Llanura Sur Occidental de Pinar del Río. Los resultados indicaron que el 100% de las fuentes se clasifican como salinas, sin restricción en cuanto su utilización ante la RAS. La concentración de iones tóxicos Sodio y Cloro representan el mayor grado de restricción ante la utilización de las aguas, presentado ambos para el riego por aspersión más del 95% de las fuentes restricción severa, para el riego superficial el 86,4% de las fuentes presentan restricción moderada por sodio, en cuanto al cloro el 42,4% presentan restricción moderada y el 52,4% severa. El carácter espacial de los diferentes indicadores, acentuados en las zonas cercanas a la costa deja claro la influencia de la intrusión marina en la ionización de las aguas.

Palabras clave: distribución espacial, calidad de aguas subterráneas, iones tóxicos.

ABSTRACT. The environmental and economic sustainability of the irrigation with underground water obtained from coastal aquifers requires of monitoring and periodic analysis that alert on the possible affectations in its quality and the effects on the system soil-plant. The objective of this work is to evaluate with spatial character the chemical quality of the underground waters used for watering in the South Western Plain of Pinar del Río by means of indicators as Electric Conductivity (EC), Relationship of corrected Sodium Adsorption (RSA^o) and Toxic Ions. The results indicated that 100% of the sources is classified as saline, without restriction as for its use as regarding as the RSA. The concentration of toxic sodium and chlorine ions represent the biggest grade of restriction in the use of the waters, presenting both for the irrigation by aspersión more than 95% of the sources with severe restriction, for the superficial irrigation 86,4% of the sources presents moderated restriction by sodium, as for the chlorine 42,4% presents moderate restriction and 52,4% severe. The spatial character of the different indicators, accentuated in the areas near to the coast leaves clear the influence of the marine intrusion in the ionization of the waters.

Keywords: spatial distribution, quality of underground waters, toxic ions.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida, el desarrollo económico y el medio ambiente (Sueiras y Paz, 2011). En la actualidad, el acceso a los recursos de agua dulce, tanto en términos de cantidad como de calidad, es una de las aristas más sensibles del vínculo entre desarrollo, equidad y sostenibilidad (Novo y Garrido, 2011). En efecto, esta fue una de las aristas claves de debate en la cumbre sobre desarrollo sostenible de Johannesburgo, tema central del informe sobre desarrollo humano

y una de las cuestiones tratadas con mayor grado de detalle en el cuarto informe de evaluación del panel intergubernamental de Naciones Unidas sobre cambio climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2008).

El agua constituye de por sí un preciado componente del paisaje (Moreno-Casasola *et al.*, 2010). Su presencia siempre los realza. Mantiene también el ecosistema de ribera que contribuye a la diversificación del paisaje y a la biodiversi-

dad, etc. Desde el punto de vista agronómico el agua es un elemento esencial para el desarrollo agrícola sostenible, por lo que su aprovechamiento, utilización y conservación racional debe constituir elementos en cualquier estrategia de desarrollo (García *et al.*, 2011).

La calidad de un agua para riego tiene una importancia vital desde el punto de vista agronómico (Sarabia *et al.*, 2011; Lamz y González, 2013), debido a las consecuencias prácticas negativas que derivan del empleo de aguas inapropiadas (Benez *et al.*, 2010). Por otro lado, contar con información detallada de la calidad del agua de riego es imprescindible para realizar una correcta planificación de su uso, ya sea a nivel agronómico o medio ambiental (Lesser-Carrillo *et al.*, 2011). Calvo-Brenes (2013), definió la evaluación de la calidad del agua como una herramienta esencial para determinar la eficacia de las actividades de uso de la tierra y la gestión en su operación agrícola, cultivos de alta calidad pueden ser producidos solo mediante el uso de agua de riego de alta calidad.

El objetivo de la investigación es brindar información con

carácter espacial sobre la calidad química de las aguas subterráneas conectadas con el agua de mar en la Llanura Sur Occidental de Pinar del Río por su explotación continuada como únicas fuentes de abasto para el riego. En general las características geólogo-hidrogeológicas de la zona de estudio la hacen muy vulnerable a la explotación de las aguas subterráneas con fines agrícolas, pues se trata de un acuífero libre desarrollado en el carso desnudo y abierto al mar.

MÉTODOS

Localización y caracterización del área de estudio

La investigación se desarrolló en la llanura sur occidental de Pinar del Río, en un sector que integra el consejo popular las Martinas y una sección del consejo popular Manuel Lazo, dicho sector presenta una extensión de 5 282,17 ha y se encuentra ubicado en las coordenadas métricas 236 000; 245 000 N y 168 000; 178 000 E, véase Figura 1, toda la zona de estudio se encuentra bajo la cota 10 de muestreo.

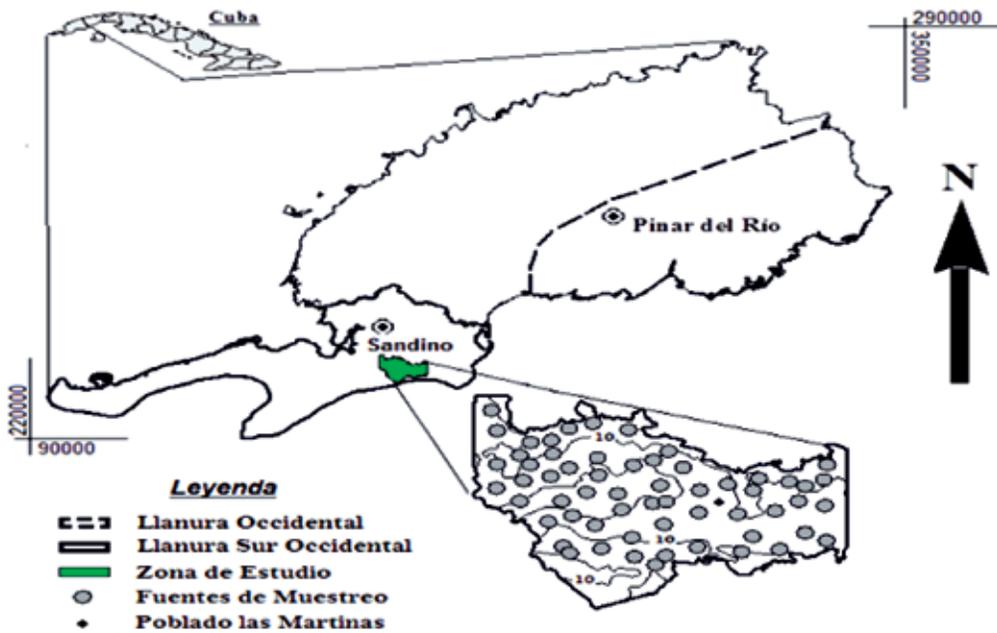


FIGURA 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio y fuentes.

Toma de muestras

Se muestrearon 59 pozos georeferenciados según el Sistema de Coordenadas Cuba Norte, todos al final del periodo seco correspondiente al año 2013, en dicho periodo se muestra el estado químico del agua de mayor significación, después de una gran explotación de los acuíferos. El muestreo se realizó al final de cada riego, en envases de plástico con volúmenes conocido de un litro, la conservación de la muestra se realizó mediante la refrigeración a 4 °C.

Datos a emplear en la investigación y análisis de las muestras

Para evaluar la calidad de un agua utilizada para el riego es necesario obtener una serie de datos físico-químicos, en la Tabla 1 se muestran estos parámetros y los métodos analíticos para su determinación. La exactitud de los valores analíticos se verificó usando el método de balance iónico, ecuación (1) error analítico, (Eaton, 1995).

$$EA = \frac{\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones}}{\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones}} * 100 \quad (1)$$

TABLA 1. Determinaciones físico-químicas realizadas a las aguas de riego

Determinación	Método	Referencias	
		internacionales	Normas cubanas
pH	Potenciométrico	Eaton (1995)	
Conductividad eléctrica	Conductimétrico	Richards (1973)	Determinación de la salinidad en muestras de aguas (Pérez y Moreno, 1986)
Calcio y magnesio	Titulación	Richards (1973)	
Sodio y potasio	Flamometría	Greenberg (1992)	
Cloro	Titulación	Richards (1973)	
Sulfatos	Turbidimetría	Eaton (1995)	
Carbonatos y bicarbonatos	Titulación	Richards (1973)	

Indicadores de calidad de las aguas

Criterio de Salinidad

El grado de salinidad de las aguas se estimó a partir de los valores de conductividad eléctrica en ds.m⁻¹ obtenidos por el método conductimétrico antes mencionado. La evaluación se realizó utilizando la norma cubana, NC 1048:14.

Criterio de Sodicidad

Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

Para determinar la RAS se dispuso de las ecuaciones: (2) RAS corregido (RAS⁰) (Suárez, 1981). La evaluación se realizó

utilizando la norma cubana NC 1048:14.

$$RAS^0 = \frac{C_{Na^+}}{\sqrt{\frac{C_{Ca^{02+}} + C_{Mg^{2+}}}{2}}} \tag{2}$$

dónde:

- Na⁺ = contenido de sodio en el agua de riego, (me·L⁻¹)^{0,5}
- Ca⁺⁺ = contenido de calcio en el agua de riego, (me·L⁻¹)^{0,5}
- Mg⁺⁺ = contenido de magnesio en el agua de riego, (me·L⁻¹)^{0,5}
- Ca^{0 ++} = contenido corregido de calcio en el agua de riego, (me·L⁻¹)^{0,5}

Toxicidad por iones específicos

Para evaluar el grado de toxicidad por iones específicos se dispuso de la escala evaluativa propuesta por Ayers y Westcot (1985), donde se expresan los grados de restricción del agua para su uso a partir de las concentraciones de los iones cloro y sodio teniendo en cuenta el tipo de riego, véase Tabla 2.

TABLA 2. Restricción de agua de riego mediante toxicidad por iones específicos

Elemento	Tipo de riego	Unidad	Grado de restricción de uso		
			Ninguno	Ligero a moderado	Elevado
Sodio	Riego superficial	RAS	< 3	3 – 9	> 9
	Riego por aspersión	mg·L ⁻¹	< 70	> 70	-
Cloro	Riego superficial	mg·L ⁻¹	< 140	140 - 350	> 350
	Riego por aspersión	mg·L ⁻¹	< 100	> 100	-

Fuente: Ayers y Westcot (1985)

Métodos Geo-estadísticos

Los semivariogramas experimentales se determinaron mediante el programa ILWIS, para todo el conjunto de datos puntuales analizados. Se verificó la existencia de anisotropía en la distribución espacial de las variables analizadas, en las direcciones N, NE, E, SE, con una amplitud de 22,5. Todos los semivariogramas se ajustaron a un modelo Power (Tabla 3).

TABLA 3. Ajuste de los semivariogramas de cada indicador de calidad de las aguas

Indicador	Modelo	Var. res	b	Alcance (m)
Conductividad eléctrica	Power Model	0,00002	0,02	6000
RAS	Power Model	0,0002	1,5	6000
Sodio	PowerModel	0,011	0,2	6000
Cloro	Power Model	0,016	0,5	6000
Dureza	Power Model	0,005	2	6000

Interpolación y validación de la estimación espacial de los indicadores de calidad del agua

Para la interpolación espacial de los parámetros de calidad propuestos, se utilizó el Kriging ordinario, y su comprobación mediante la técnica de validación cruzada o *jackknife*. El procedimiento constó de la extracción de hasta un 50% de los datos disponibles y su comparación con los valores obtenidos mediante la interpolación. Se calcularon tres estadígrafos: error medio (EM), error medio cuadrático (EMC) Voltz *et al.*, (1997) y la raíz del error medio cuadrático (REMC) Minasny *et al.*, (1999), el primero aporta información sobre el sesgo, el segundo y el tercero dan información sobre la dispersión de las estimaciones, y se calculan según las ecuaciones (3), (4) y (5).

$$EM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z_i(X_i) - \hat{Z}_i(X_i)\} \tag{3}$$

$$EMC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z_i(X_i) - \hat{Z}_i(X_i)\}^2 \tag{4}$$

$$REMC = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{Z_i(X_i) - \hat{Z}_i(X_i)\}^2} \tag{5}$$

(Xi) es la localización cuando se trata de una estimación espacial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la estructura espacial de los indicadores de calidad de las aguas estudiadas

La forma alargada de nuestro archipiélago condiciona un muestreo anisotrópico en cualquier estudio que contemple al

territorio nacional o partes importantes de este, la forma alargada y estrecha que muestra la zona de estudio, obligada por la existencia de la ciénaga interior, presume también un carácter anisotrópico del muestreo. Sin embargo en la investigación se asume isotropía debido a la disponibilidad de datos en la dirección norte - sur (NS), que condicionan pocos números de pares, Figura 2, esta sunción se cumple para los demás indicadores de calidad de las aguas estudiadas.

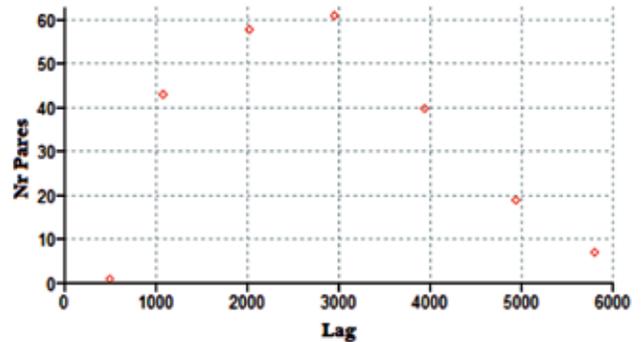


FIGURA 2. Representación de números de pares por Lag en la distribución NS según dirección 90°, tolerancia 22,5° para la conductividad eléctrica.

Los semivariogramas experimentales de los diferentes indicadores de calidad de las aguas Figura 3, muestran la existencia de fuerte estructura espacial, tal comportamiento es determinante para la calidad de la estimación mediante la interpolación (Webster y Oliver, 2007). El mejor ajuste se obtuvo con un modelo “Power” para todas las variables, lo que indica una autocorrelación de largo alcance o que el muestreo no cubre la distancia necesaria para que las observaciones se hagan independientes.

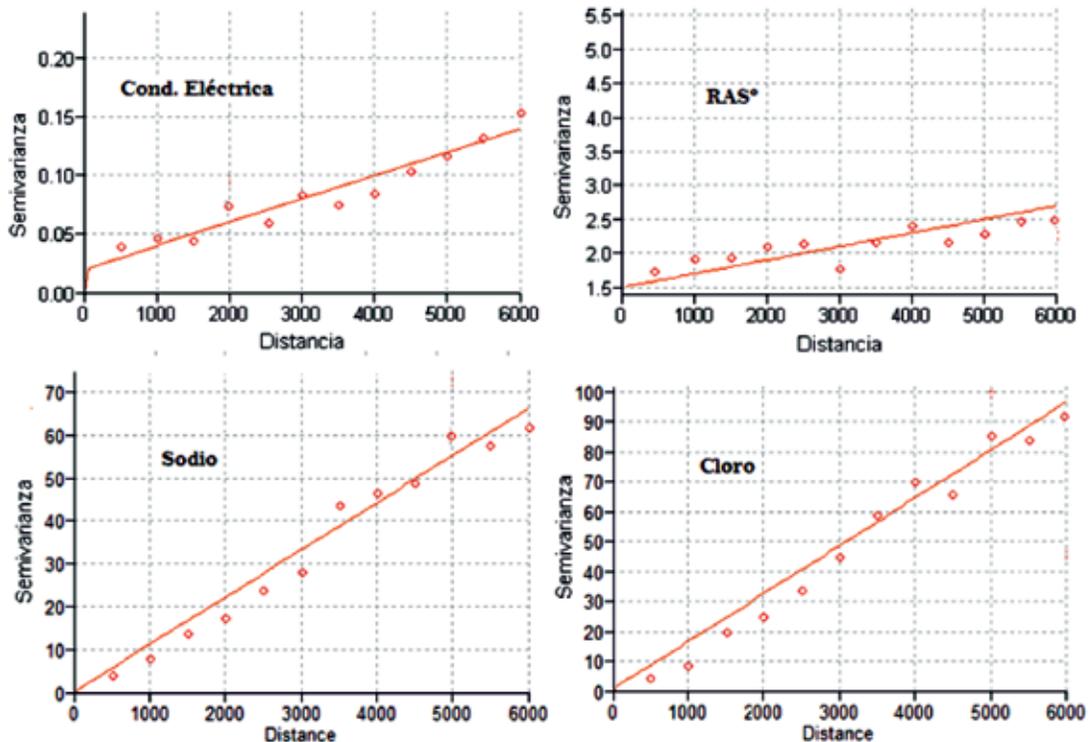


FIGURA 3. Semivariogramas experimentales de los indicadores de calidad de las aguas subterráneas de la Llanura Sur Occidental de Pinar del Río.

Validación del método de interpolación para los indicadores de calidad de las aguas estudiadas

Los resultados de la validación del método de interpolación muestran una aceptada estimación. En la Tabla 4 se muestran los EM, EMC y REMC obtenidos para cada uno de los indicadores de calidad de las aguas. El mayor error se obtiene en la variable RAS que sobre estima la estimación.

La Figura 4, representa el error kriging para los diferentes indicadores de calidad evaluados, este error es indispensable tenerlo en cuenta en aquellas zonas donde existe la menor disponibilidad de datos.

TABLA 4. Resultados de la validación del método de interpolación utilizado en la generalización espacial de los indicadores de calidad de las aguas

Indicador	Método	EM	EMC	REMC
Conductividad eléctrica	Kriging Ordinario	-0,012	0,013	0,116
RAS	Kriging Ordinario	-0,223	0,227	0,477
Cloro	Kriging Ordinario	0,001	0,002	0,047
Sodio	Kriging Ordinario	0,001	0,001	0,038

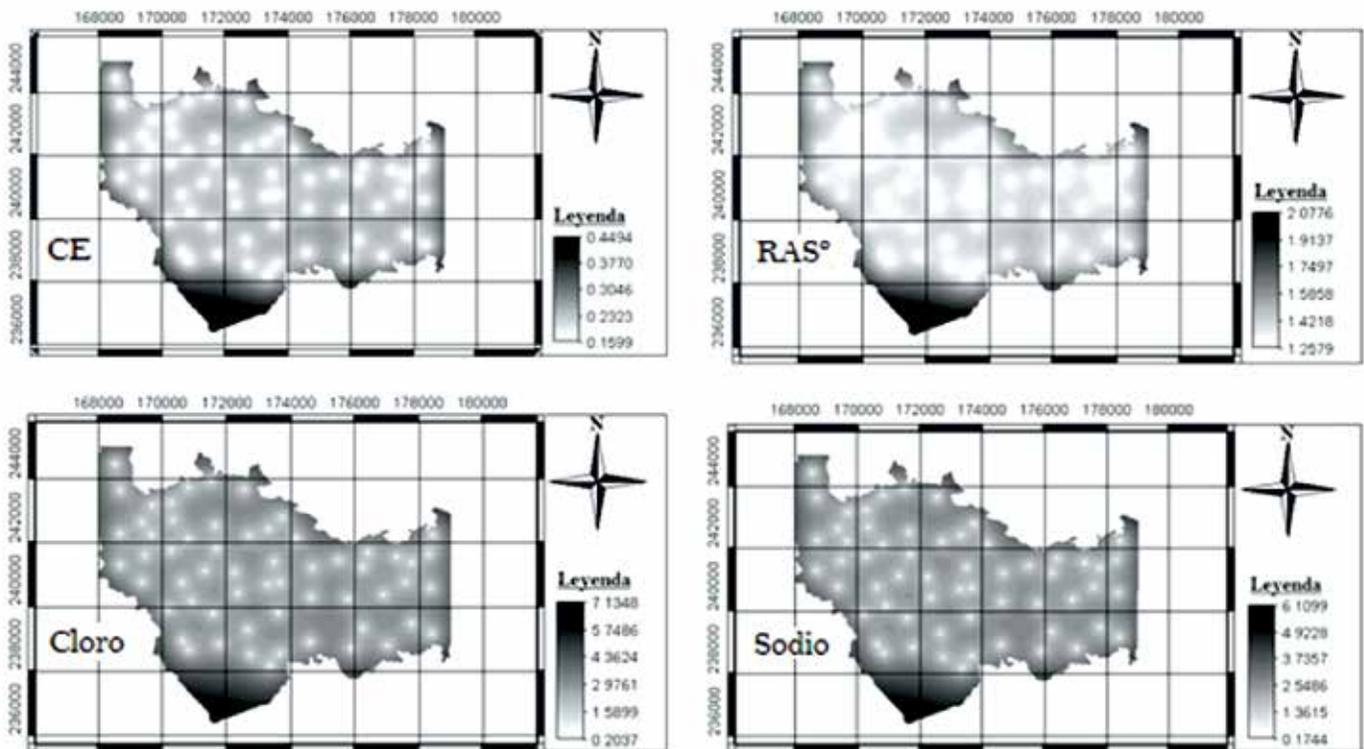


FIGURA 4. Error kriging de los indicadores de calidad evaluados para las aguas estudiadas.

Evaluación y comportamiento espacial de los indicadores de calidad de las aguas estudiadas

Salinización

Como se ha planteado el grado de salinización de las aguas estudiadas se estimó a partir de la CE, el valor medio, máximo, mínimo y la frecuencia obtenida (Figura 5), muestran el carácter salino de las aguas, y un claro gradiente en la dirección norte sur (Figura 6). Ello indica que se debe prestar suma atención al manejo de estas aguas en toda la zona de estudio fundamentalmente en dirección a la costa donde el contacto con las aguas del mar se acentúa. Los cultivos establecidos en la zona

como, tabaco y frijol son poco tolerantes a la salinidad, un mal manejo de las aguas acentúa el riesgo de salinización de los suelos, provocando efectos negativos como: cambios en la estructura, la disminución de la actividad biológica y la reducción en la disponibilidad de nutrientes lo que es limitante para el desarrollo de los mismos (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2009)¹

Según Mesa, (2003) los suelos salinizados afectan la mayoría de las especies de gramíneas y leguminosas, disminuyendo el rendimiento en masa seca, número de hojas, la altura, la germinación, la fijación de nitrógeno y otros indicadores.

¹ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA: Diseño y promoción de tecnologías y prácticas para la recuperación de áreas con suelos degradados por erosión y salinidad, CVC-UNIVALLE, 456 pp., Cali, Colombia, 2009.

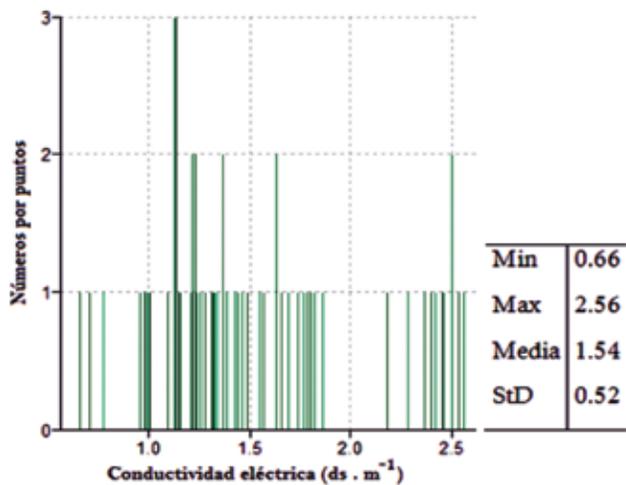


FIGURA 5. Frecuencia del comportamiento de la conductividad eléctrica en las aguas estudiadas.

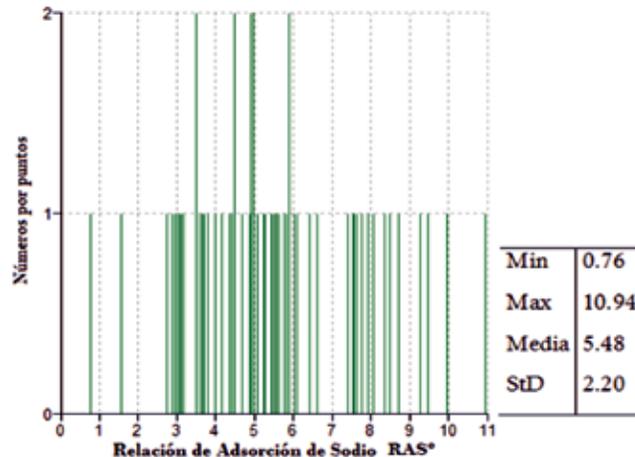


FIGURA 7. Frecuencia del comportamiento del RAS⁰ en las aguas estudiadas.

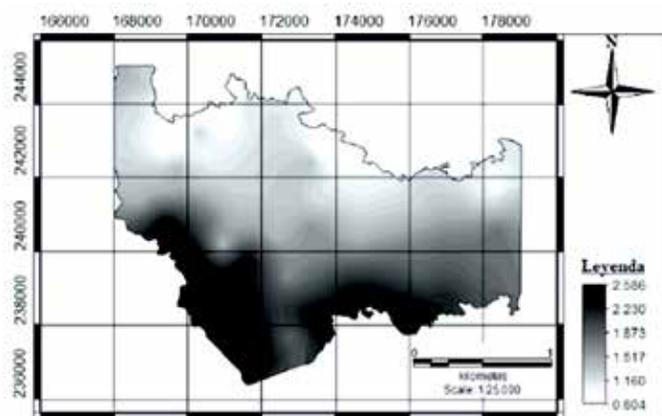


FIGURA 6. Comportamiento espacial de la conductividad eléctrica en (ds·m⁻¹) de las aguas estudiadas.

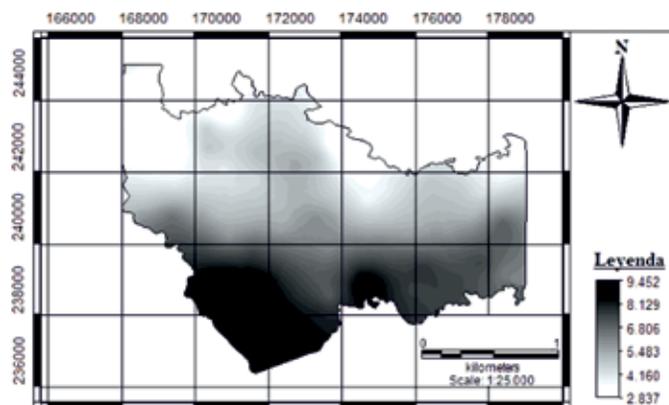


FIGURA 8. Comportamiento espacial de la RAS⁰ en las aguas estudiadas.

Sodicidad, relación de adsorción de sodio (RAS)

En la Figura 7 se muestran los valores de la relación de adsorción de sodio corregido (RAS^o), donde se observa que las aguas estudiadas, según la norma cubana NC 1048:14 para este parámetro, presentan bajo riesgo, con una media de 5,48 y un máximo de 10,94 que no sobrepasa el rango normal. Debe destacarse que en las zonas más cercanas a la costa se alcanzan los valores más elevados donde se acentúa el contacto con las aguas del mar incidiendo directamente en la composición química de las aguas subterráneas, ver Figura 8. Este comportamiento alerta sobre la explotación continuada y el efecto del sodio sobre la permeabilidad del suelo alterando su estructura (Fernández *et al.*, 2011). La dispersión del suelo puede ser una de las causas del lavado y transporte de los coloides del suelo y con ello producirse el movimiento al ambiente de sustancias fuertemente adsorbidas a éstos, como metales pesados y ciertos pesticidas (Otero-Gómez *et al.*, 2012; Palancar *et al.*, 2012).

Evaluación de la toxicidad por iones específicos, (Sodio y Cloruro)

Toxicidad por sodio

Al representar los rangos propuestos en la metodología (Figura 9), se observa que el porcentaje de restricción de las fuentes en explotación es considerable, mostrando que para el riego superficial solo el 6,8% no presenta restricción alguna para el uso, el 86,4% presenta restricción moderada y el 6,8% restricciones severas. En cuanto al riego por aspersión tenemos que solo el 5,1% no presenta restricción para su uso, presentando restricción acentuada a medida que aumenta la concentración el 94,9% de las fuentes, este tipo de riego no es recomendable pues las concentraciones son llevadas directamente sobre las hojas de los cultivos provocando quemaduras, con relación a los efectos indirectos puede causar desequilibrios nutricionales referidos a la restricción de la absorción del calcio y el magnesio. (Caselles y Mu, 1996). En la figura 10 se muestra el comportamiento espacial de este indicador donde los valores más acentuados al igual que los demás indicadores como hemos referido corresponden a las zonas más cercanas a la costa.

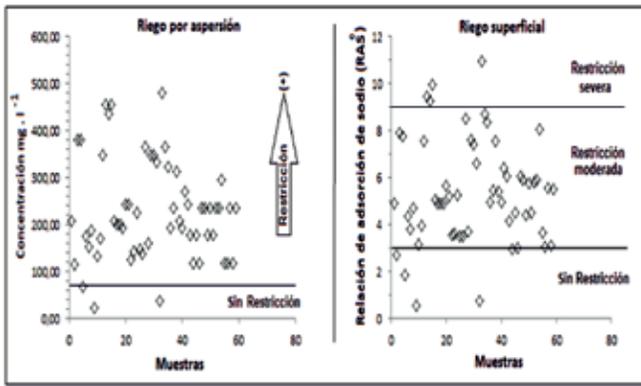


FIGURA 9. Restricción del uso de las aguas en función de la concentración de sodio.

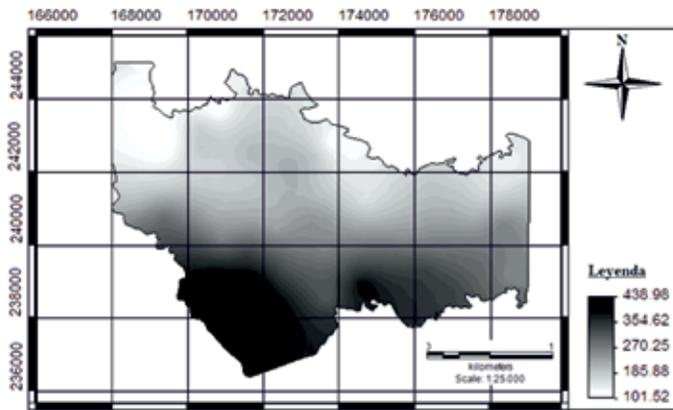


FIGURA 10. Comportamiento espacial de la concentración de sodio en (mg·L-1).

Toxicidad por Cloruros

En la Figura 11 se observa que el grado de restricción en función de ion cloro es aún más significativo que el anterior, mostrando para el riego superficial que solo un 3,4% de las aguas no presentan restricción para su uso, con restricción moderada el 42,4% y con restricciones severas el 54,2%. En cuanto al riego por aspersión solo el 1,7% presentan aptitud y el 98,3% restante se restringe a medida que aumenta la concentración. En el caso de los cultivos las afectaciones pueden llegar a ser considerables ya que este elemento no es retenido por los coloides del suelo sino que viaja directamente por la absorción de las raíces hasta las hojas, en algunas especies como arroz, existen sitios de paso donde los iones pueden saltarse la barrera selectiva de membranas y continuar su curso en el flujo transpiratorio por vía apoplástica (Cristo *et al.*, 2012; Núñez *et al.*, 2013)

Morales *et al.* (2010); Coca *et al.* (2012) y Camejo (2013), estudiaron el efecto de diferentes rangos de NaCl en *Lycopersicon esculentum* Mill., y obtuvieron inhibición en la altura y en el número de ramas y hojas. El contenido de proteína y de azúcares solubles se redujo violentamente, al igual que la

fotosíntesis. La disminución del contenido de clorofila en mg/l se debe al aumento de la salinidad del cultivo.

En Cuba la tecnología de las máquinas de riego empleada en el cultivo de la papa incrementa los efectos negativos potenciales de los iones tóxicos presentes en el agua, por distribuir la misma sobre el follaje del cultivo, (Bonet y Ricardo 2011). En la figura 12 se muestra el comportamiento espacial para este indicador manifestando los valores más acentuados en la zona costera.

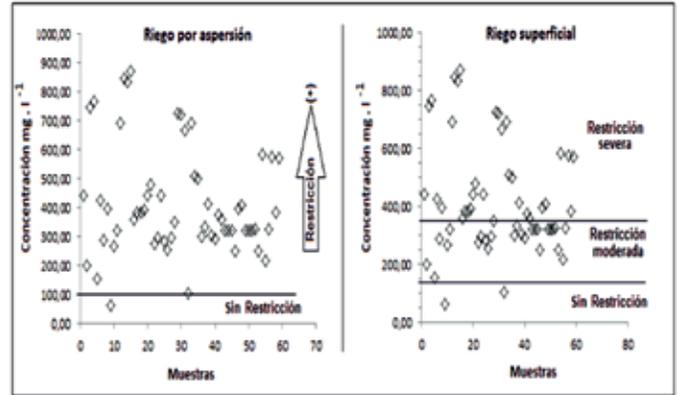


FIGURA 11. Restricción del uso de las aguas en función de la concentración de cloro

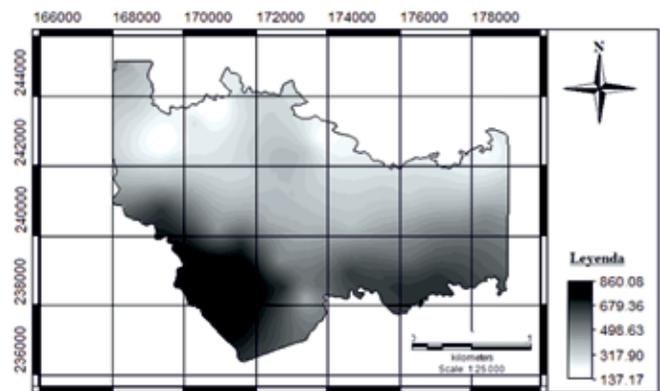


FIGURA 12. Comportamiento espacial de la concentración de cloro en (mg·L-1).

CONCLUSIONES

- Las aguas subterráneas utilizadas para el riego de forma continuada como única fuente de abasto en la Llanura Sur Occidental de Pinar del Río en su totalidad clasifican como salinas con restricciones severas para el riego por aspersión en más del 95% de las fuentes por la alta concentración de los iones tóxicos sodio y cloruros. La variabilidad espacial muestra el gradiente de variación en la composición química de las aguas acentuado en la dirección norte sur, como consecuencia de la ruptura de la interfaz entre el agua dulce y el agua de mar en el acuífero.

REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS

AYERS, R.; WESTCOT, D.: *Water quality for agriculture*, [en línea] ser. FAO Irrigation and Drainage Paper, 29, 1a. ed., ISBN-92-5-102263-1, Rome, 1985. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.HTM> [Consulta: 12 de diciembre de 2014].

- BENEZ, M.C.; KAUFFER MICHEL, E.F.; ÁLVAREZ GORDILLO, G. del C.: "Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas", *Frontera norte*, ISSN-0187-7372, 22(43): 129–158, 2010.
- BONET, P.C.; RICARDO, C.M.P.: "Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-2071-0054, 20(3): 19-23, septiembre de 2011.
- BRUCKMANN, M.: "La centralidad del agua en la disputa global por recursos estratégicos", *América Latina en Movimiento*, ISSN-1515-3282, 47(3): 9–13, 2012.
- CALVO-BRENES, G.: "Nueva metodología para valorar la calidad de las aguas superficiales para su uso como clase 2 en Costa Rica", *Tecnología en Marcha*, ISSN-0379-3982, 26(2): 9, 2013.
- CAMEJO, D.: "La salinidad y su efecto en los estadios iniciales del desarrollo de dos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill)", *Cultivos tropicales*, ISSN-0258-5936, 21(2): 23–26, 2013.
- CASELLES, J.M.; MU, P.: *Análisis y calidad del agua de riego*, [en línea] pp. 223, ISBN-9788477214007, Valencia, 1996. Disponible en: <http://www.amazon.es/Analisis-calidad-del-agua-riego/dp/847721400X> [Consulta: 12 de diciembre de 2014].
- COCA, A.; CARRANZA, C.E.; MIRANDA, D.; RODRÍGUEZ, M.H.: "NaCl effects on growth, yield and quality parameters in the onion (*Allium cepa* L.) under controlled conditions", *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, ISSN-2011-2173, 6(2): 196–212, 2012.
- CRISTO, V.E.; PÉREZ LEÓN, N.; GONZÁLEZ CEPERO, M.C.: "Comportamiento de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) promisorios para suelo salino", *Cultivos Tropicales*, ISSN-0258-5936, 33(3): 42–46, 2012.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; FRANSON, M.A.H.: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, [en línea] Ed. American Public Health Association., pp. 1122, Washington, DC, 1995. Disponible en: http://books.google.co.in/books/about/Standard_Methods_for_the_Examination_of.html?id=PUBRAAAAMAAJ [Consulta: 12 de diciembre de 2014].
- FERNÁNDEZ, A.; VILLAFañE, R.; HERNÁNDEZ, R.: "Calidad del agua de riego y afectación de los suelos por sales en la península de Paraguaná, Venezuela", *Revista Científica Agronomía Tropical*, ISSN-0002-192X, 61(3-4): 253–265, 2011.
- GARCÍA, G.M.L.; CARVAJAL ESCOBAR, Y.; JIMÉNEZ, H.: "La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático", *Revista Ingeniería y Competitividad*, ISSN-0123-3033, 9(1): 19–29, 2011.
- GREENBERG, A.E.: *Standard Methods: For the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition*, [en línea] Ed. Amer Public Health Assn, 18a. ed., pp. 1100, ISBN-9780875532073, Washington, DC, 1992. Disponible en: <http://www.amazon.com/Standard-Methods-Examination-Wastewater-Edition/dp/0875532071> [Consulta: 12 de diciembre de 2014].
- GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO: *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, edit. R. K Pachauri y A Reisinger, Ed. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 1a. ed., pp. 104, ISBN-92-9169-322-7, Ginebra, Suiza, 2008.
- HALL, T.: *Self-Evaluation Techniques: Evaluating Water Quality*, [en línea] ser. Farm Water Quality Planning FACT SHEET 5.2, 8118, Ed. University of California, ISBN-978-1-60107-297-9, California, USA, 2004. Disponible en: <http://www.indabook.org/preview/Bq9x9A2O4CO1aTPDRxY-5PsAhgtJsUbc2a5F9vtNkeBo./Self-Evaluation-Techniques-Evaluating-Water-Quality.html?query=Sample-Event-Evaluation-Form> [Consulta: 12 de diciembre de 2014].
- LAMZ, P.A.; GONZÁLEZ, C.M.C.: "La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata", *Cultivos Tropicales*, ISSN-0258-5936, 34(4): 31–42, 2013.
- LESSER-CARRILLO, L.E.; LESSER-ILLADES, J.M.; ARELLANO-ISLAS, S.; GONZÁLEZ-POSADAS, D.: "Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central", *Revista mexicana de ciencias geológicas*, ISSN-2007-2902, 28(3): 323–336, 2011.
- MESA, D.: "Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos", *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, ISSN-0034-7485, 37(3): 219-224, 2003.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; BRISTOW, K.L.: "Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves", *Geoderma*, ISSN-0016-7061, 93: 225-253, 1999.
- MORALES, D.; DELL'AMICO, J.; RODRÍGUEZ, P.; TORRECILLAS, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. de J.: "Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) durante el periodo vegetativo", *Cultivos tropicales*, ISSN-0258-5936, 31(4): 00–00, 2010.
- MORENO-CASASOLA, P.; CEJUDO-ESPINOSA, E.; CAPISTRÁN-BARRADAS, A.; INFANTE-MATA, D.; LÓPEZ-ROSAS, H.; CASTILLO-CAMPOS, G.; PALE-PALE, J.; CAMPOS-CASCAREDO, A.: "Composición florística, diversidad y ecología de humedales herbáceos emergentes en la planicie costera central de Veracruz, México", *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, ISSN-0366-2128, 87: 29–50, 2010.

- NOVO, N.P.; GARRIDO, C.A.: "Agua, agricultura y desarrollo: avances y retos para la reducción de la pobreza", *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, ISSN-1575-1198, 3(230): 11–38, 2011.
- NÚÑEZ, V.M.; REYES GUERRERO, Y.; ROSABAL AYAN, L.; MARTÍNEZ, L.; GONZÁLEZ CEPERO, M.C.; PIETERS, P.D.A.: "Brasi-noosteroides y sus análogos estimulan el crecimiento de plántulas de dos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en medio salino", *Cultivos Tropicales*, ISSN-0258-5936, 34(1): 74–80, 2013.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Calidad del agua para preservar el suelo. Especificaciones*, NC 1048, La Habana, Cuba, Vig. 2014.
- OTERO-GÓMEZ, L.M.; GÁLVEZ-VARCALCER, V.A.; NAVARRO-GÓMEZ, N.O.; RIVERO-RAMOS, L.B.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.M.; LA GUARDIA-MADRAZO, T.: "Influencia de electrolitos, especies iónicas y sodio cambiante en la dispersión del suelo", *Agronomía Mesoamericana*, ISSN-1021-7444, 23(1): 189–200, 2012.
- PALANCAR, T.; JORAJURÍA, D.; SPUGNOLI, P.; DRAGHI, L.: "Incremento de la resistencia al corte de suelos modificados químicamente.", *Revista de la Facultad de Agronomía*, ISSN-0041-8676, 110(2): 91–96, 2012.
- PICHS, M.R.: *Recursos naturales, economía mundial y crisis ambiental*, [en línea] Ed. Casa Editorial Ruth y Editorial Científico-Técnica, 1a. ed., pp. 14, 15, ISBN-978-9962-645-95-5, La Habana, Cuba, 2012. Disponible en: <http://ruthcasaeditorial.org/publicaciones/recursos-naturales-economia-mundial-y-crisis-ambiental> [Consulta: 12 de diciembre de 2014].
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO: *Informe sobre Desarrollo Humano 2011. Sostenibilidad y equidad: un futuro mejor para todos*, [en línea] Ed. Ediciones Mundi-Prensa, ISBN-978-84-8476-509-7, Nueva York, Estados Unidos, 2011. Disponible en: http://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/HDR/2011%20Global%20HDR/Spanish/HDR_2011_ES_Complete.pdf [Consulta: 12 de diciembre de 2014].
- RICHARDS, L.A.: *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*, [en línea] ser. Manual de agricultura, 60, Ed. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America, pp. 172, ISBN-968-18-0306-X, 1973. Disponible en: http://www.google.com/cu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CCsQFjAC&url=http%3A%2F%2Fsbdigital.ues.edu.sv%2Fcgi-bin%2Fkoha%2Fopac-detail.pl%3Fbiblionumber%3D84631&ei=GyKhVLqdI8yuggTi8YPIAQ&usq=AFQjCNGOH8kg_QWTR-mpH-mHMTurOrezLA&bvm=bv.82001339,d.eXY [Consulta: 12 de diciembre de 2014].
- SARABIA, M.I.F.; CISNEROS ALMAZÁN, R.; ACEVES DE ALBA, J.; DURÁN GARCÍA, H.M.; CASTRO LARRAGOITIA, J.: "Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México", *Revista internacional de contaminación ambiental*, ISSN-0188-4999, 27(2): 103–113, 2011.
- SUAREZ, D.L.: "Relation Between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an Alternative Method of Estimating SAR of Soil or Drainage Waters", [en línea] *Soil Science Society of America Journal*, ISSN-0361-5995, DOI-10.2136/sssaj1981.03615995004500030005x, 45 (3): 469-475, 1981.
- SUEIRAS, J.C.; PAZ, J.M.M.: "Productividad, disposición al pago y eficiencia técnica en el uso del agua: la horticultura intensiva de la Región de Murcia", *Economía Agraria y Recursos Naturales (Agricultural and Resource Economics)*, ISSN-2174-7350, 7(14): 109–125, 2011.
- VOLTZ, M.; LAGACHERIE, P.; LOUCHARTE, X.: "Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area", ISSN-1351-0754, 48: 19-30, 1997.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A.: *Geostatistics for Environmental Scientists*, [en línea] Ed. Wiley, 2a. ed., pp. 330, ISBN-9780470028582, Chichester, 12 de noviembre de 2007. Disponible en: <http://www.amazon.com/Geostatistics-Environmental-Scientists-Richard-ebster/dp/0470028580> [Consulta: 12 de diciembre de 2014].

Recibido: 21/07/2014.

Aprobado: 19/04/2015.

Publicado: 14/06/2015.