



MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO DE FUENTES DE ABASTO SUBTERRÁNEAS EN LA PARTE ALTA DEL NACIMIENTO DE LA CUENCA ALMENDARES-VENTO

Monitoring water quality for irrigation from underground water supply sources in the upper basin of the Almendares-Vento source

José M. Dell'Amico Rodríguez✉, Donaldo Morales Guevara y Juan M. Calaña Naranjo

ABSTRACT. The objective of the present work was to carry out a monitor the water quality for irrigation from groundwater supply sources located in the upper part of the birth of the Almendares-Vento basin. A network was established for the realization of monitor composed of 12 wells; two are located in the Central Area of the Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), four in the INCA Agricultural Services Department, and six in farms of producers belonging to two CCS strengthening of San José de las Lajas city ANAP. To implement an appropriate sampling strategy, wells were classified according to their intensity of exploitation according to the area and crops under irrigation. It was proposed a methodology for water sampling for analysis. The values of the evaluated indicators compared with different classifications for the water quality for irrigation. As main results found that the waters quality of the studied wells, turned out good according to the classifications discussed. Therefore, they may be used without restriction for use in agricultural irrigation. He demonstrated according to the French degrees Hidrotimétricos waters of different wells in study were hard and very hard, important aspect to take into account for irrigation systems maintenance. The Confidence Interval analysis of indicators Electrical Conductivity (CE), Total Dissolved Salts (SDT), sodium absorption ratio (RAS), pH and calcium content in high exploitation wells, allow to considerably decreasing the frequency of sampling.

Key words: water quality for irrigation, groundwater, water quality classification

RESUMEN. El trabajo tuvo como objetivo principal monitorear la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas ubicadas en la parte alta del nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento. Para su realización se estableció una red de monitoreo compuesta por 12 pozos, dos se ubican en el Área Central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), cuatro en el departamento de Servicios Agrícolas del INCA y seis en fincas de productores pertenecientes a dos CCS Fortalecidas de la ANAP municipal de San José de las Lajas. Para instrumentar una estrategia de muestreo adecuada, se clasificaron los pozos según su intensidad de explotación de acuerdo al área y cultivos bajo riego. Además, se propuso una metodología de muestreo de las aguas para su análisis. Los valores de los indicadores evaluados se compararon con diferentes clasificaciones propuestas para la calidad del agua para el riego. Como principales resultados se encontró, que la calidad de las aguas de los pozos estudiados, resultó buena según las clasificaciones que se analizaron. Por lo tanto, pueden emplearse sin restricciones para su uso en el riego agrícola. Se demostró en función de los Grados Hidrotimétricos franceses que las aguas de los diferentes pozos en estudio resultaron duras y muy duras, aspecto importante a tener en cuenta para las labores de mantenimiento de los sistemas de riego. El análisis del intervalo de confianza de los indicadores conductividad eléctrica (CE), sales disueltas totales (SDT), relación de absorción de sodio (RAS), pH y contenido de calcio en los pozos de explotación alta, permiten disminuir considerablemente la frecuencia de toma de muestras.

Palabras clave: calidad del agua para riego, agua subterránea, clasificación de calidad del agua

Dr.C. José M. Dell'Amico Rodríguez y Dr.C. Donaldo Morales Guevara, Investigadores Titulares del departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal; M.Sc. Juan M. Calaña Naranjo, Especialista del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32 700.

✉ amico@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

La agricultura es el sector que mayor demanda del agua supone a nivel mundial (1). El riego de tierras agrícolas requiere la utilización de un 70 % de los recursos hídricos en el mundo. En los países en vías de desarrollo,

muchas veces el agua utilizada para riego representa más del 95 % del total de usos del agua, y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos (2).

A largo plazo, el desarrollo y mejora de las estrategias agrícolas para estos países está condicionado al mantenimiento, mejora y expansión de la agricultura de riego. Por otra parte, el incremento de la presión sobre los recursos hídricos para la agricultura compite con el uso del agua para otros fines y representa una amenaza para el medio ambiente y utilización insostenible de los recursos hídricos del planeta (3, 4).

El concepto de calidad de agua de riego se refiere a las características del agua que puedan afectar a los recursos suelo y cultivo después de su uso a largo plazo (5). La identificación de recursos hídricos, su gestión y monitoreo representan la garantía de un desarrollo socioeconómico sustentable y armónico con el medio ambiente (6).

El agua constituye un recurso indispensable para los cultivos, de modo que el control y seguimiento de su calidad constituye un factor a tener muy en cuenta. Por sus propias características estructurales, el agua disuelve y mantiene en suspensión un gran número de sustancias. Muchas de esas sustancias son potencialmente tóxicas para las plantas y la acumulación de ellas, sean o no directamente tóxicas, genera problemas para los vegetales por efecto salino (7).

En muchas ocasiones, el agricultor utiliza las normas de agua de riego necesarias para el riego de los cultivos, sin tener en cuenta la calidad de estas. En el cálculo de las normas de riego, no solo el agricultor sino a veces el especialista ignora que la calidad de las aguas, medida por su carga salina, es un factor imprescindible a tener en cuenta en el cálculo de dichas dotaciones (8).

El desconocimiento de este aspecto importante, implica el riesgo de que el uso continuado de aguas con un cierto nivel de sales acabe, no solo haciendo descender el rendimiento de los cultivos, sino arruinando los suelos, siendo su recuperación a veces difícil y costosa. Es por ello que el estudio de los procesos de contaminación de aguas para su uso agrícola es lo suficientemente importante como para dedicarle especial atención, no solo allí donde ya esté establecido un proceso contaminante, sino como paso previo, allí donde se sospeche que pueda existir ahora o en el futuro (9).

La finalidad de este trabajo fue monitorear la calidad del agua para riego de 12 fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento de la red de monitoreo. Se estableció una red de monitoreo compuesta por 12 puntos (pozos), dos se ubican en el Área Central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), cuatro corresponden al Área de Servicios Agrícolas (SA) del INCA y seis a productores

pertenecientes a las CCS Fortalecidas «Orlando Cuellar» y «Nelson Fernández» de la ANAP municipal de San José de las Lajas.

Establecimiento de estrategia de muestreo de las aguas. Para poder establecer una estrategia de muestreo adecuada, lo primero que se realizó fue clasificar los pozos de acuerdo a su intensidad de explotación. Para ello, se realizaron entrevistas con los responsables de cada uno de los pozos incluidos en el estudio y se estableció el siguiente criterio para la clasificación de acuerdo al área y cultivos bajo riego.

- 1- Pozos de intensidad de explotación Baja. Cuando el área a regar fue ≤ 1 ha.
- 2- Pozos de intensidad de explotación Media. Cuando el área a regar fue > 1 y ≤ 3 ha.
- 3- Pozos de intensidad de explotación Alta. Cuando el área a regar fue > 3 ha.

Clasificación de los puntos de monitoreo atendiendo a su intensidad de explotación

Nivel de explotación Alta. Los pozos 1, 2 y 3 están ubicados en el área de Servicios Agrícolas (SA) del INCA, el pozo 4 en el Área Central INCA, el 9 corresponde a un productor de la CCSF «Orlando Cuellar» y el 10 a un productor de la CCSF «Nelson Fernández».

Nivel de explotación Media. El pozo 6 corresponde al área de SA del INCA y los pozos 8 y 11 a productores de la CCSF «Nelson Fernández».

Nivel de explotación Baja. El pozo 5 pertenece al Área Central INCA y los pozos 7 y 12 a productores de la CCSF «Nelson Fernández».

El sistema de toma de muestras para su análisis se muestra en la Tabla I.

Según la Tabla I, los pozos de explotación Alta (no. 1, 2, 3, 4, 9 y 10); los de explotación Baja (no. 5 y 12) y el de explotación Media (no. 11), fueron muestreados los 14 meses que se declaran a continuación: febrero, marzo, abril, mayo, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2008 y enero, febrero, marzo, abril y mayo de 2009.

El pozo 6 se evaluó los meses febrero, marzo, abril y mayo de 2008, el pozo 7 se evaluó los meses febrero, marzo, abril, mayo y octubre de 2008 y el pozo 8 se evaluó los meses febrero, marzo, abril, mayo, septiembre, octubre de 2008 y febrero de 2009, empleándose la metodología de muestreo que a continuación se detalla.

Metodología de muestreo empleada

Características del recipiente. El recipiente debe ser de plástico de 1 L de capacidad.

Condiciones de muestreo. Enjuagar varias veces el recipiente con el agua a muestrear.

Características de la muestra. Debe ser representativa. Relativamente reciente (no debe transcurrir más de una semana entre la toma y el análisis). Si el agua es de pozo, la muestra debe tomarse después de algunas horas de su puesta en marcha.

Almacenamiento y conservación. Conservar la muestra en nevera a 4°C y protegida de la luz solar.

Tabla I. Evaluación por meses de los pozos

meses	Número de pozo											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Febrero 2008	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Marzo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Abril	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mayo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Junio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Septiembre	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Octubre	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Noviembre	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Diciembre 2008	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Enero 2009	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Febrero	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Marzo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Abril	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mayo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Total de meses	14	14	14	14	14	4	5	8	14	14	14	14

Identificación de la muestra

- Indicar nombre y sitio de muestreo
- Fecha de la toma de muestra
- Cultivo a irrigar
- Características de los suelos a regar
- Nombre de quien toma la muestra

Análisis químico**Tabla II. Indicadores de calidad de las aguas que se evaluaron**

Determinaciones	Unidades	Método utilizado
Conductividad eléctrica (CE)	(ds.m ⁻¹)	Conductimetría
Ph	1-14	Potenciometría
Sales disueltas totales (SDT)	(mg.L ⁻¹)	CE 25 _C * 640
Calcio (Ca ⁺⁺)	(meq.L ⁻¹)	Volumetría de formación de complejos
Magnesio (Mg ⁺⁺)	(meq.L ⁻¹)	Volumetría de formación de complejos
Sodio (Na ⁺)	(meq.L ⁻¹)	Absorción atómica
Potasio (K ⁺)	(mg.L ⁻¹)	Absorción atómica
Cloruros (Cl ⁻)	(mg.L ⁻¹)	Volumetría de precipitación
Dureza	(mg.L ⁻¹)	Suma de cationes Ca ⁺⁺ y Mg ⁺⁺
Relación de absorción de sodio (RAS)	(mg.L ⁻¹)	Fórmula (1)

Relación de Absorción de Sodio (RAS)

$$RAS = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2} \quad (1) \quad (5)$$

Los resultados de los diferentes indicadores de calidad de las aguas se compararon con las clasificaciones de aguas para riego propuestas por (10, 11), el índice de Scott y las Normas Riverside (12).

Otros indicadores calculados

Grados Hidrotimétricos Franceses (GHF)

$$GHF = \frac{mg\ L^{-1}\ Ca^{2+} \cdot 2,5 + mg\ L^{-1}\ Mg^{2+} \cdot 4,2}{10}$$

Tabla III. Índice de Scott

meq.L ⁻¹	mg.L ⁻¹
1 ^{er} . caso: Cl ⁻ ≥ Na ⁺	$K_1 = \frac{2040}{Cl}$
2 ^{do} . caso: Cl ⁻ < Na ⁺ + (Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻)	$K_2 = \frac{6,620}{2,6Cl + Na}$
3 ^{er} caso: Na ⁺ > (Cl ⁻ + SO ₄ ²⁻)	$K_3 = \frac{662}{Na - 0,32Cl - 0,43SO_4}$

En el Índice de Scott se debe aclarar que para su cálculo se empleó la ecuación correspondiente al primer caso (K1), debido a que en todos los pozos los valores medios de cloruros siempre fueron iguales o superiores al contenido de sodio, según (13).

Con el objetivo de minimizar la frecuencia de toma de muestras y garantizar a su vez un monitoreo de calidad confiable, se realizó un análisis del comportamiento de cinco indicadores fundamentales (CE, SDT, RAS, pH y calcio) en los seis pozos considerados como de explotación Alta. Para ello, se calculó el intervalo de confianza (IC) de los indicadores antes mencionados y se tomaron los valores máximos y mínimos derivados de su cálculo. Este análisis se realizó tanto por pozos, como por meses de evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis e interpretación de los valores de calidad de las aguas. Al comparar los diferentes indicadores de calidad evaluados con los valores de rangos óptimos según la

clasificación de calidad de agua para riego de la FAO (10) (Tabla IV), se encontró que independientemente del nivel de explotación, la calidad del agua de los 12 pozos evaluados se considera normal para el riego de los cultivos.

Tabla IV. Valores máximo, mínimo y medio de indicadores evaluados de la calidad del agua en pozos con diferentes grados de explotación y su comparación con los rangos de valores recomendados por Ayers y Westcot (1987) (10) FAO para aguas de riego normales y por Carricaburu (1988) (11) sobre la base del riesgo de salinidad

	Unidades	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	FAO 1987	Carricaburu, 97
Nivel de explotación Alta						
Valores promedio de 14 meses						
Pozo 1						
CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,68	0,54	0,61	0-3	OK C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	480	344	397	0-2000	OK C I Excelente
pH	1-14	8,40	7,00	7,61	6-8,5	OK C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	5,50	2,00	3,78	0-20	OK C III Regular
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	2,55	0,42	1,69	0-5	OK C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,33	0,20	0,26	0-40	OK C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,13	0,97	1,02	0-2	OK
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	8,20	0,74	2,61	0-30	OK C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	7,53	2,47	5,48	0-25	OK C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,26	0,09	0,17	0-15	OK C I Excelente
Pozo 2						
CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,76	0,58	0,64	0-3	OK C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	421	371	399	0-2000	OK C I Excelente
pH	1-14	8,70	6,80	7,71	6-8,5	OK C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	7,01	2,00	4,02	0-20	OK C III Regular
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	5,31	0,61	1,92	0-5	OK C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,31	0,22	0,25	0-40	OK C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	3,00	0,97	1,30	0-2	OK
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	5,70	0,87	2,07	0-30	OK C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	10,62	3,11	5,93	0-25	OK C III Regular
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,25	0,12	0,16	0-15	OK C I Excelente
Pozo 3						
CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,72	0,47	0,62	0-3	OK C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	438	304	387	0-2000	OK C I Excelente
pH	1-14	8,40	7,00	7,69	6-8,5	OK C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	5,71	2,00	4,09	0-20	OK C III Regular
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	4,41	0,56	2,06	0-5	OK C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,30	0,20	0,25	0-40	OK C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,01	0,97	1,01	0-2	OK
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	3,21	0,81	1,95	0-30	OK C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	8,50	2,50	5,72	0-25	OK C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,22	0,11	0,15	0-15	OK C I Excelente
Pozo 4						
CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,61	0,50	0,58	0-3	OK C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	394	340	370	0-2000	OK C I Excelente
pH	1-14	8,60	7,20	7,87	6-8,5	OK C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	5,30	1,70	3,55	0-20	OK C II Buena
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	4,11	0,25	2,10	0-5	OK C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,31	0,15	0,25	0-40	OK C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,17	0,97	1,03	0-2	OK
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	3,00	0,96	2,02	0-30	OK C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	7,91	2,00	5,69	0-25	OK C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,22	0,11	0,16	0-15	OK C I Excelente

Pozo 9

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,63	0,464	0,56	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	398	296	352	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	8,80	7,00	7,59	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	5,20	2,00	3,41	0-20	OK	C II Buena
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	3,66	0,48	1,88	0-5	OK	C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,37	0,13	0,28	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	2,03	0,97	1,23	0-4	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	2,79	0,88	1,78	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	8,66	2,71	5,30	0-25	OK	C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,54	0,09	0,24	0-15	OK	C I Excelente

Pozo 10

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,61	0,47	0,56	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	398	304	360	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	8,7	7,0	7,7	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	6,61	2,10	4,04	0-20	OK	C III Regular
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	2,12	0,51	1,46	0-5	OK	C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,34	0,13	0,24	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,01	0,97	1,01	0-2	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	3,20	0,74	1,71	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	8,13	2,70	5,53	0-25	OK	C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,19	0,11	0,14	0-15	OK	C I Excelente

Nivel de explotación Media
Valores promedio de 4 meses

Pozo 6

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,81	0,73	0,76	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	472	467	469	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	7,90	7,80	7,87	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	5,10	4,00	4,40	0-20	OK	C III Regular
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	1,91	0,56	1,03	0-5	OK	C I Excelente
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,35	0,17	0,26	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,01	1,01	1,01	0-2	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	2,80	0,81	1,87	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	7,02	4,00	5,23	0-25	OK	C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,19	0,11	0,15	0-15	OK	C I Excelente

Valores promedio de 8 meses

Pozo 8

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,60	0,54	0,58	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	392	348	368	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	8,9	7,0	7,9	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	6,40	1,60	3,35	0-20	OK	C II Buena
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	4,31	0,45	1,58	0-5	OK	C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,61	0,26	0,39	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,01	0,97	1,01	0-2	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	3,00	0,60	2,03	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	8,62	2,00	4,92	0-25	OK	C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,60	0,17	0,29	0-15	OK	C I Excelente

Valores promedio de 14 meses

Pozo 11

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,67	0,4	0,57	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	432	258	345	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	8,5	7,1	7,8	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	5,01	2,20	3,57	0-20	OK	C II Buena
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	4,01	0,51	1,80	0-5	OK	C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,35	0,17	0,28	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,01	0,97	1,01	0-2	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	3,00	0,74	1,97	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	7,03	3,32	5,17	0-25	OK	C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,26	0,12	0,17	0-15	OK	C I Excelente

Nivel de explotación Baja

Valores promedio de 14 meses

Pozo 5

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,76	0,49	0,58	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	395	314	360	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	8,40	7,00	7,60	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	6,50	1,75	3,62	0-20	OK	C II Buena
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	4,86	0,61	2,09	0-5	OK	C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,36	0,26	0,29	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,01	0,97	1,01	0-2	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	2,90	0,81	2,11	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	9,67	2,36	5,70	0-25	OK	C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,25	0,12	0,17	0-15	OK	C I Excelente

Valores promedio de 5 meses

Pozo 7

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,68	0,25	0,50	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	435	160	307	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	8,4	7,5	7,9	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	3,33	1,45	2,49	0-20	OK	C I Excelente
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	1,12	0,50	0,81	0-5	OK	C I Excelente
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,30	0,20	0,25	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	1,17	0,97	1,03	0-2	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	3,05	1,08	2,39	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	4,45	2,15	3,36	0-25	OK	C I Excelente
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,20	0,17	0,19	0-15	OK	C I Excelente

Valores promedio de 14 meses

Pozo 12

CE25°C	(dS.m ⁻¹)	0,59	0,46	0,55	0-3	OK	C I Excelente
SDT	(mg.L ⁻¹)	374	258	350	0-2000	OK	C I Excelente
pH	1-14	8,7	7,2	7,7	6-8,5	OK	C IV Mala
Calcio	(meq.L ⁻¹)	5,91	1,48	3,65	0-20	OK	C II Buena
Magnesio	(meq.L ⁻¹)	5,70	0,50	1,91	0-5	OK	C II Buena
Sodio	(meq.L ⁻¹)	0,30	0,17	0,25	0-40	OK	C I Excelente
Potasio	(meq.L ⁻¹)	2,03	0,97	1,09	0-2	OK	
Cloruro	(meq.L ⁻¹)	3,21	0,81	1,69	0-30	OK	C II Buena
Dureza	(meq.L ⁻¹)	8,37	2,10	5,55	0-25	OK	C II Buena
RAS	(meq.L ⁻¹) ^{1/2}	0,21	0,12	0,16	0-15	OK	C I Excelente

Por otra parte, también esta comparación se realizó con los valores de la clasificación de las aguas de riego propuesta por (11) debido fundamentalmente a que la clasificación de (10) FAO, aun cuando es aceptada internacionalmente (14), se consideró que sus rangos de valores son algo conservadores para la determinación del riesgo de salinidad.

De los resultados de esta comparación, se observó que en los 12 pozos evaluados, los valores del pH siempre estuvieron en el rango C IV (Mala). En el caso de los pozos con nivel de explotación Alto generalmente los indicadores problemáticos fueron el pH, y el contenido de Calcio entre C III (Regular) y C II (Buena). En los pozos con nivel de explotación Media, el contenido de calcio no fue tan problemático y mayormente sus valores clasificaron como C II (Buena) y en los pozos con nivel de explotación Baja, aparte del pH, el resto de los indicadores clasificaron como C II (Buena) y C I (Excelente).

Cabe señalar que los valores promedios de los indicadores CE, SDT, Na⁺ y RAS de los 12 pozos en estudio se mantuvieron en el rango de clasificación C I (Excelente) y C I⁻ en el rango C II (Buena), lo que indica que con el empleo de estas aguas en el riego de los cultivos no se presentarán efectos perjudiciales.

En la Tabla V, se presentan los resultados de la clasificación de las aguas según su dureza, expresada en Grados Hidrotimétricos Franceses (GHF).

Tabla V. Clasificación de las aguas de los diferentes pozos en función de los grados hidrotimétricos franceses

Pozo	Valor medio (GHF)	Grados hidrotimétricos franceses	Tipo de agua
1	55	más de 54	muy dura
2	59	más de 54	muy dura
3	62	más de 54	muy dura
4	57	más de 54	muy dura
5	57	más de 54	muy dura
6	54	de 32-54	dura
7	33	de 32-54	dura
8	34	de 32-54	dura
9	53	de 32-54	dura
10	56	más de 54	muy dura
11	54	de 32-54	dura
12	41	de 32-54	dura

Atendiendo a los valores de los Grados Hidrotimétricos Franceses se evidenció que las aguas de los diferentes pozos en estudio son consideradas como Dura y Muy dura. Aspecto que debe tenerse en cuenta para la sistematización de las labores de mantenimiento de los sistemas de riego principalmente en los sistemas de riego localizado.

En la Tabla VI aparecen los resultados en cuanto a la clasificación de las aguas mediante los valores del índice de Scott (caso 1, K1).

Tabla VI. Calidad del agua según los valores del Índice de Scott (IS)

Pozo	Valor medio IS	Índice de Scott	Calidad del agua
1	37	> 18	Buena
2	38	> 18	Buena
3	36	> 18	Buena
4	34	> 18	Buena
5	33	> 18	Buena
6	38	> 18	Buena
7	28	> 18	Buena
8	39	> 18	Buena
9	37	> 18	Buena
10	41	> 18	Buena
11	36	> 18	Buena
12	41	> 18	Buena

Como se puede observar, atendiendo a esta clasificación las aguas de los doce pozos clasificaron como Buena.

A partir de los datos de CE y RAS se establece la clasificación del agua según las normas Riverside (Figura 1 y Tabla VII) que es un método fundamental para definir su calidad.

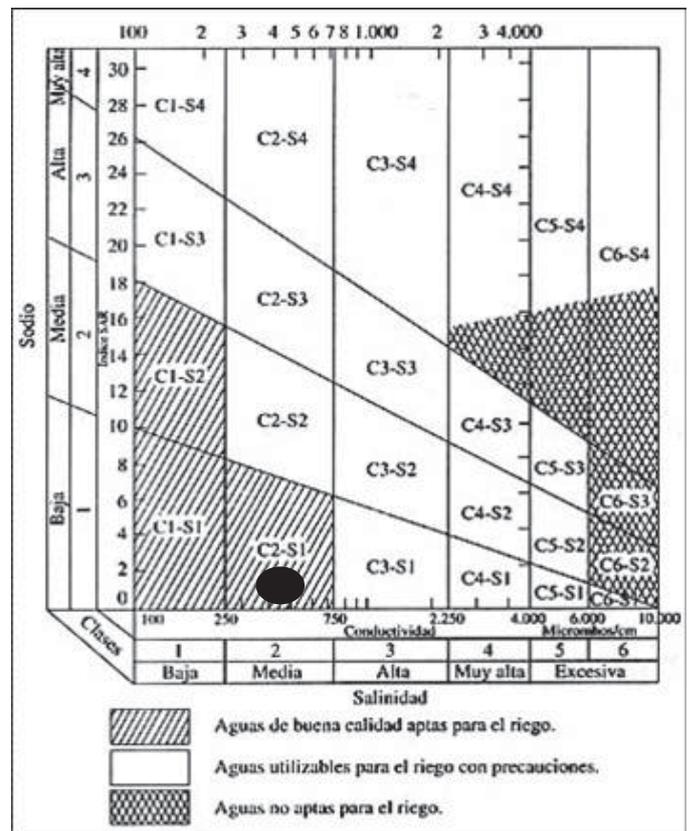


Figura 1. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S. Soil Salinity Laboratory)

El círculo en negro sobre la Figura 1 indica que la clasificación de las aguas de los doce pozos en estudio fue C2 S1 y como se puede observar en la Tabla VII, la calidad de las mismas resulta buena para el riego de los cultivos.

Tabla VII. Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside

Tipos	Calidad y normas de uso
C ₁	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C ₂	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₃	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₄	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₅	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C ₆	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S ₁	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S ₂	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S ₃	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S ₄	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Al analizar los intervalos de confianzas de los indicadores CE, SDT, RAS, pH y calcio tanto por pozos, como por meses correspondientes a las Figuras 2, 3, 4 y 5, se encontró que prácticamente no existieron diferencias en el comportamiento de estos indicadores y los valores máximos y mínimos se encontraron dentro de los rangos establecidos como normales, de acuerdo con la clasificación propuesta por (10). Solamente en el caso del pH, algunos valores sobrepasan el límite máximo.

Estos resultados permiten reducir considerablemente la frecuencia de muestreos de estas fuentes de abasto y mantener un monitoreo adecuado, por lo que se propone, tomar una muestra para análisis de calidad en los meses correspondientes al período lluvioso y otra en período poco lluvioso y tomar muestras cuando ocurran eventos meteorológicos de consideración. Además, esto permite una reducción considerable de los costos de esta actividad, y se elimina así la existencia de información redundante (15).

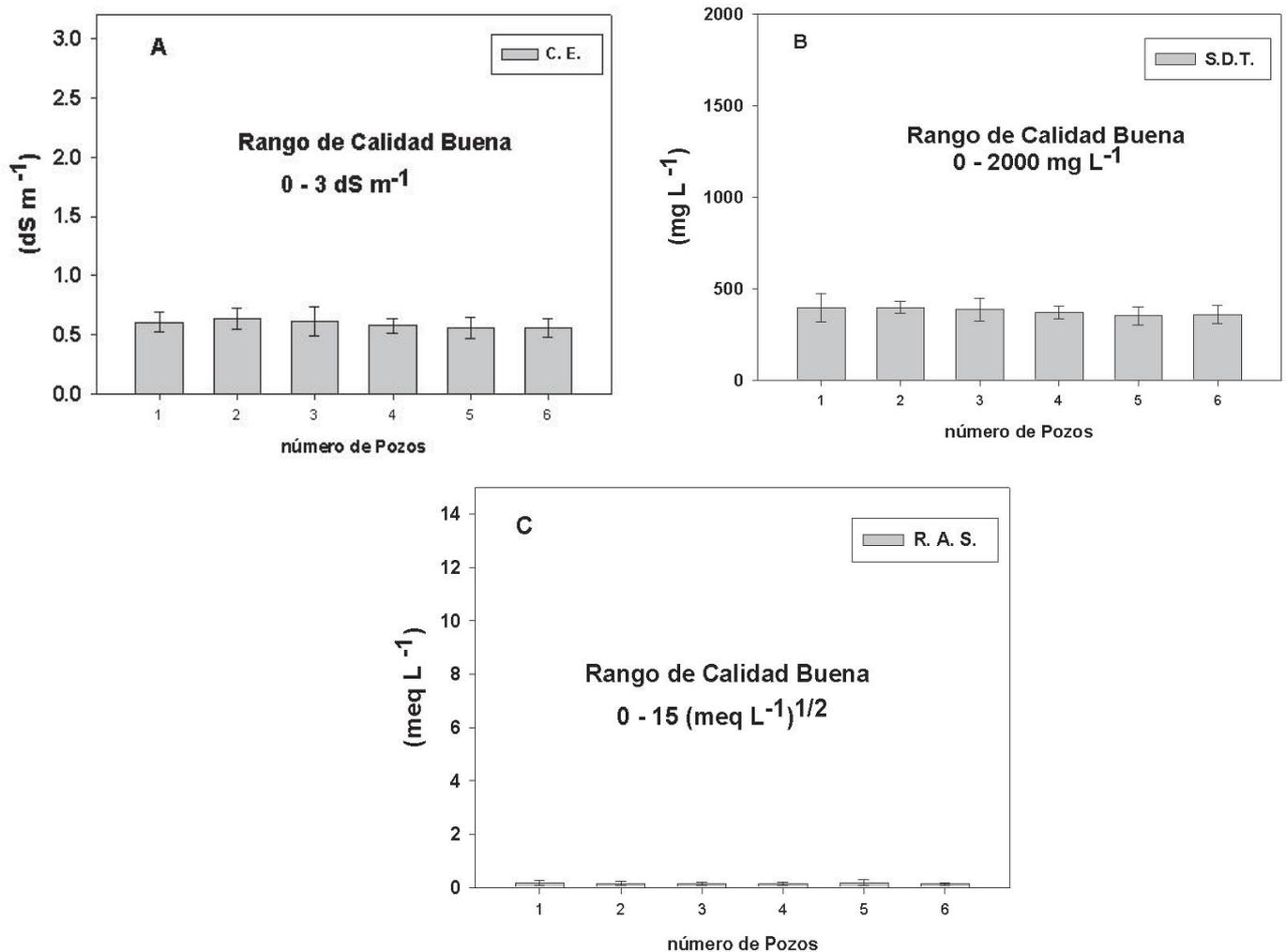
En general, se puede concluir que la clasificación de las aguas de los doce pozos resultó de buena calidad y puede emplearse para el riego sin restricciones de ningún tipo según las diferentes clasificaciones empleadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de forma especial el apoyo brindado por los técnicos Héctor Febles, Jorge L. Menéndez, Juan H. Hernández, Tomás Hernández y Yenislei García, su colaboración fue decisiva para el desarrollo y la culminación de este trabajo.

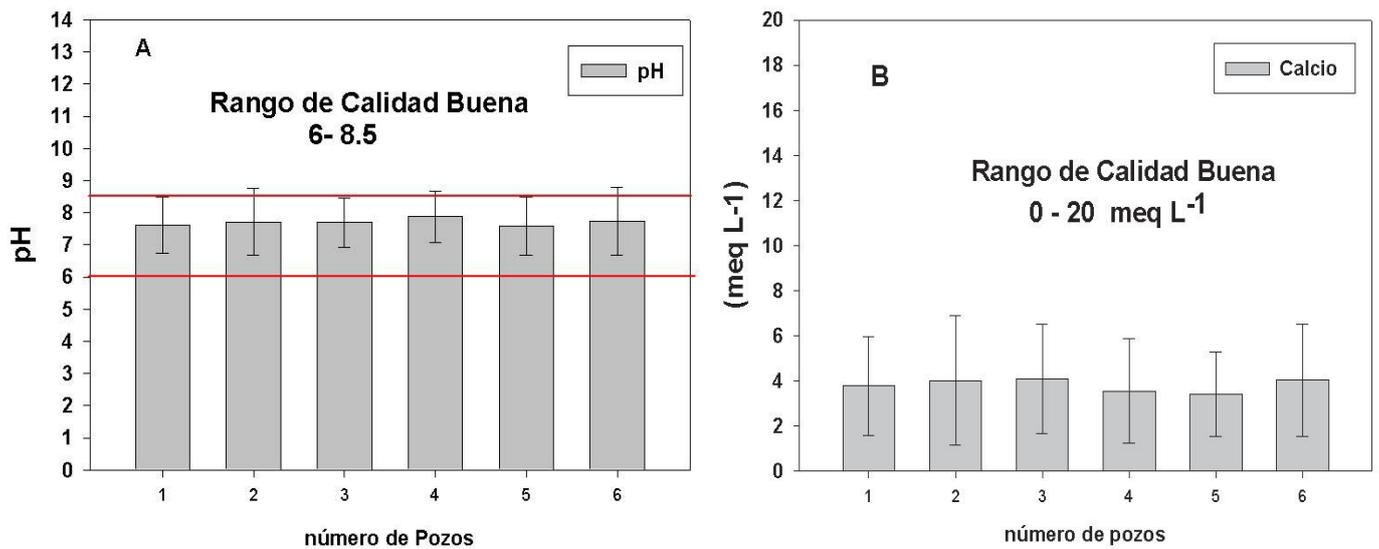
REFERENCIAS

1. Ali, M. H. y Talukder, M. S. U. Increasing water productivity in crop production. A synthesis. *Agricultural Water Management*, 2008, vol. 95, p. 1201-1213.
2. Nangia, V.; de Fraiture, C. y Turrall, H. Water quality implications of raising crop water productivity. *Agricultural Water Management*, 2008, vol. 95, p. 825-835.
3. Falkenmark, M.; Finlayson, M. y Gordon, L. J. Agriculture, water and ecosystems: avoiding the costs of going too far. Chapter 6. En: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute, London, Earthscan and Colombo, 2007.
4. Fraiture, C. de; Wichelns, D.; Rockstrom, J. y Kemp-Benedict, E. Looking ahead to 2050: scenarios of alternative investment approaches. In: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. International Water Management Institute, London, Earthscan and Colombo, 2007.
5. Ruda, E.; Mongiello, A.; Acosta, A.; Ocampo, E. y Contini, L. Quality of Ground Water Used for Supplementary Irrigation on Argiudolls of Central Santa Fe, Argentina. *Agricultura Técnica (Chile)*, 2005, vol. 65, no. 4, p. 411-420 (octubre-diciembre).
6. Rodríguez, S.; Vara, J. y Martínez, G. Clasificación de las aguas utilizada para riego en una arrocería del centro-sur de Corrientes. *Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 2005, p. 41-43.
7. Hazem-Kalaji, M. y Pietkiewicz, S. Salinity effects on plant growth and other physiological processes. *Physiol. Plant.*, 1993, vol. 15, p. 89-124.



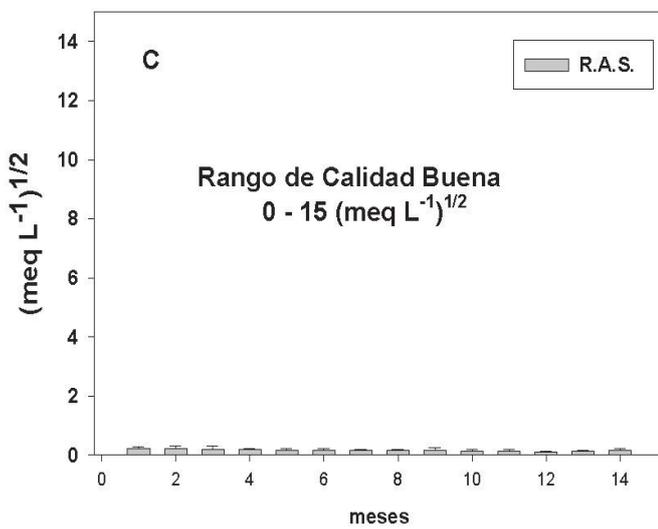
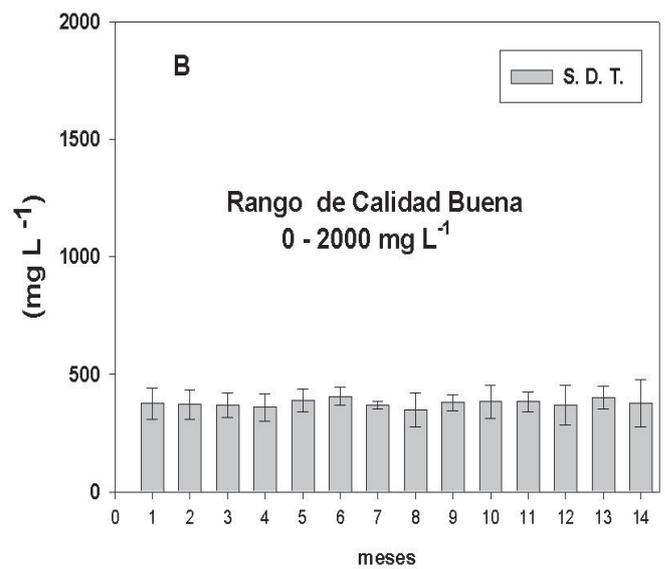
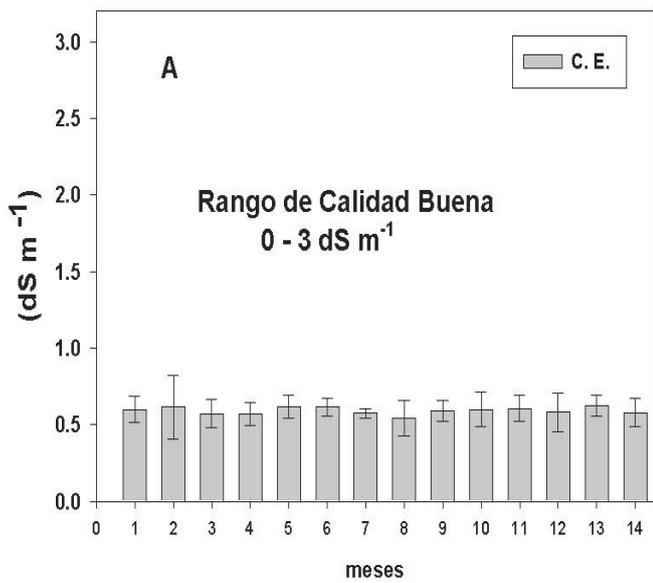
Las barras pequeñas indican el intervalo de confianza de las medias

Figura 2. Variación de los valores de conductividad eléctrica (A), sales disueltas totales (B) y relación de absorción de sodio (C) en los seis pozos de explotación alta, durante los 14 meses de evaluación



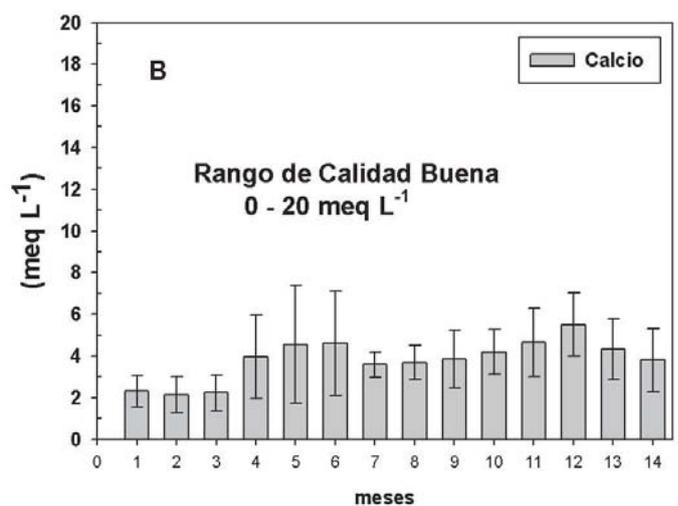
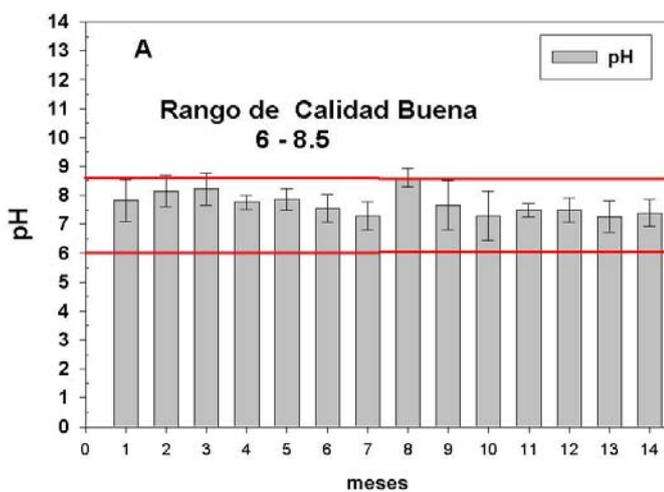
Las barras pequeñas indican el Intervalo de Confianza de las medias

Figura 3. Variación de los valores de pH (A) y calcio (B) en los seis pozos de explotación alta, durante los 14 meses de evaluación



Las barritas pequeñas indican el Intervalo de Confianza de las medias

Figura 4. Comportamiento mensual de los valores de conductividad eléctrica (A), sales disueltas totales (B) y relación de absorción de sodio (C) en cada uno de los seis pozos de explotación alta



Las barritas pequeñas indican el Intervalo de Confianza de las medias

Figura 5. Comportamiento mensual de los valores de pH (A) y calcio (B) en cada uno de los seis pozos de explotación alta

8. Katerji, N.; Mastrorilli, M.; Van Hoorn, J. W.; Lahmer, F. Z.; Hamdy, A. y Oweis, T. Durum wheat and barley productivity in saline-drought environments. *Eur. J. Agron.*, 2009, vol. 31, no. 1, p. 1–9.
9. Delgado, C.; Pacheco, J.; Cabrera, A.; Batllori, E.; Orellana, R. y Bautista, F. Quality of groundwater for irrigation in tropical karst environment: The case of Yucatán, México. *Agricultural Water Management.*, 2010, vol. 97, p. 1423–1433.
10. Ayers, R. S. y Westcot, D. W. La Calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO. Riego y Drenaje. No. 29, Rev. 21. Roma: FAO, 1987. 174 p. ISBN: 92-5-302263-9.
11. Carricaburu, J. Calidad de agua para riego básico. Montevideo, Uruguay : *Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca*. 1998, 30 p.
12. Balairón, L. *Gestión de Recursos Hídricos*. Ed. Univ. Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2000. 478 p.
13. Cánovas, J. Calidad agronómica de las agua para riego. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid, 1986.
14. Olías, M.; Cerón, J. C. y Fernández, I. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). *Geogaceta*, 2005, vol. 37, p. 111-113.
15. Baalousha, H. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A case study from Heretaunga Plains, New Zealand. *Agricultural Water Management*, 2010, vol. 97, p. 240-246.

Recibido: 7 de julio de 2010

Aceptado: 3 de agosto de 2011

¿Cómo citar?

Dell'Amico Rodríguez, José M.; Morales Guevara, Donaldo y Calaña Naranjo, Juan M. Monitoreo de la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento. *Cultivos Tropicales*, 2011, vol. 32, no. 4, p. 71-81. ISSN 0258-5936