

Calidad del agua subterránea para usos agropecuarios en el departamento Villaguay, Entre Ríos

Quality of groundwater for agricultural uses in Villaguay department, Entre Ríos

Eduardo Pedro Vivot^{a*}, Cristina María Rugna^a, Adriana Margarita Giéco^a, Cecilia Isabel Sánchez^a, María Valeria Ormaechea^a, Christian Javier Sequín^a

Palabras Clave: agua subterránea rural; caracterización hidroquímica; calidad para usos agropecuarios.

Keywords: rural groundwater; hydrochemical characterization; quality for agricultural purposes.

ABSTRACT

Groundwater constitutes a major source of fresh water necessary for life, human development and the environment. This resource is marked by both its finiteness and its vulnerability which are apparently ignored by mankind that continues polluting and altering water quality. Global demand for freshwater has grown in direct correlation with both the world population and the agricultural sector. This has significantly increased the exploitation of aquifers, particularly for crop irrigation, consuming 70% of the pumped water. The aim of this study was to make a hydrochemical characterization of rural groundwater in Villaguay department (Entre Ríos) using standardized methodologies. Quality for rural use was determined by applying accepted evaluation criteria. The results showed that water in the districts to the east of Guaqueguay River is bicarbonated while water in the west is sulfated. Presumably, this is due to the different geological formations in each area. The assessment of livestock drinking water indicated a quality ranging from good to regular. Water quality for irrigation showed restrictions in the east area due to low SAR and high salinity. Water for pesticide applications show limitations that require correction of PH and hardness.

RESUMEN

El agua subterránea constituye una fuente relevante de agua dulce necesaria para la vida, el medio ambiente y el desarrollo de los pueblos. Este recurso se caracteriza tanto por su finitud como por su vulnerabilidad, aspectos aparentemente ignorados por el hombre que continúa contaminándolo y limitando su aptitud para distintos usos. La demanda mundial de agua dulce ha crecido en correlación directa con la población mundial, siendo el sector agropecuario el que ha aumentado sensiblemente la explotación de los acuíferos, en particular para riego de cultivos, que insumen el 70 % del total. El objetivo de este trabajo consistió en caracterizar hidroquímicamente el agua subterránea rural del departamento Villaguay (Entre Ríos) utilizando metodologías estandarizadas. Se determinó la calidad para los usos rurales mediante criterios de evaluación aceptados. Los resultados muestran que las aguas de los distritos al este del río Guaqueguay se caracterizan como bicarbonatadas, diferenciándose de las oeste que resultaron sulfatadas presumiblemente debido a las distintas formaciones geológicas de cada zona. La evaluación del agua para bebida animal indica que poseen aptitud buena a regular. Se encontraron moderadas restricciones de uso en la calidad del agua para riego en la zona este debido a bajo RAS y alta salinidad. Las aguas para las aplicaciones de pesticidas muestran limitantes que requieren corrección del pH y la dureza.

^a Cátedra Química General. Fac. de Cs. Agropecuarias. UNER. Ruta 11, Km 10 (3101). Oro Verde. Entre Ríos.

*Autor para correspondencia: +54 343 4975075. evivot@fca.uner.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso finito considerado bien común y vitalmente importante e indispensable para numerosas actividades humanas. El abastecimiento de agua presenta problemas de cantidad y calidad, ya que la principal demanda mundial es de agua dulce y su disponibilidad alcanza escasamente al 1 % del total, en tanto que el 97.5 % del agua del planeta es salada, y el resto de agua dulce se presenta inaccesible en los casquetes polares. El agua subterránea constituye una de las fuentes de agua dulce más importantes de abastecimiento para el hombre y su utilización se ha incrementado significativamente como consecuencia del desarrollo y el crecimiento de la población mundial que demanda cada vez más alimentos del sector productivo agrícola, el que requiere para el riego de cultivos cerca del 70 % del consumo mundial de agua dulce. Asimismo, el agua dulce, además de ser un recurso finito, presenta los problemas derivados de una irregular distribución regional y del creciente deterioro en su calidad por acciones antrópicas en algunas zonas del planeta, aspectos que constituyen límites al desarrollo socio-económico y productivo de los pueblos (Pérez-Carrera et al., 2008).

La contaminación que hace el hombre, principalmente con efluentes industriales, agropecuarios y otros, constituye un aspecto crítico que afecta de manera diversa al recurso debido a que éste presenta diferentes tipos de vulnerabilidad (Fernández, 2005).

Ha surgido entonces la urgente necesidad de preservar y proteger las fuentes de agua mediante políticas que prevean monitoreos y evaluaciones permanentes con el fin de conocer alertas tempranas que permitan evitar un deterioro importante ó irreversible de la calidad en los cuerpos de agua, como asimismo faciliten una eficaz remediación.

La contaminación con productos químicos sumada a la de los problemas ambientales globales como el calentamiento climático, la destrucción de la capa de ozono y las lluvias

ácidas, han adquirido tal seriedad que han conducido al desarrollo de metodología diversa para evaluar el deterioro de la calidad del agua (Hanazato, 1999).

Además, la calidad química del agua subterránea resulta también afectada por los aportes de la atmósfera, el suelo y las reacciones agua-roca (meteorización). La mayoría de los acuíferos de la región de Santiago del Estero (Argentina) presentan altos contenidos de arsénico debido a la presencia de una capa volcánica, lo cual condiciona su uso para bebida humana o animal (Bundschuh et al., 2004).

El agua tiene una ajustada relación con los sistemas de producción que se refleja en la aptitud o calidad requerida para cada uso; por ello, existen diferentes criterios de calificación, ya sea para la ganadería, el riego ó la aplicación de agroquímicos, entre otros.

El riego de cultivos es uno de los principales usos rurales del agua. En América Latina y el Caribe la extracción de agua subterránea con fines agrícolas alcanza a un 73 % (FAO-Aquastat, 2009), similar a la media mundial (71 %). El riego constituye una práctica usual en las regiones de regimenes climáticos árido y semiárido de nuestro país. No obstante, en la zona de régimen climático húmedo, con promedios de más de 1000 mm de precipitaciones anuales, como las provincias del noreste del país (Entre Ríos, Corrientes, Misiones, Buenos Aires y este de Formosa y Santiago del Estero), también se ha estado utilizando de manera creciente el riego en forma complementaria, en razón de las irregulares climáticas que producen eventuales sequías.

La aptitud requerida del agua para riego considera varios parámetros, entre ellos la salinidad, factor que afecta el rendimiento de los cultivos y hace desaconsejable el uso cuando alcanza elevados tenores de sales. También la presencia del catión sodio en elevadas concentraciones en el agua constituye un problema por cuanto sustituye al calcio en la estructura del suelo produciendo así su dispersión y pérdida de

estructura. Otro componente perjudicial lo constituyen los bicarbonatos que favorecen la precipitación del calcio y del magnesio propiciando así la sodificación del suelo.

Debe señalarse que en la evaluación de la calidad de agua para riego, además de las características químicas, se deben tener en cuenta otros factores como el tipo y estado del suelo, cultivo a regar y condiciones climáticas (Bresler *et al.*, 1982).

El agua para bebida de animales es considerada uno de los principales nutrientes del ganado y es el medio que permite las principales funciones biológicas (respiración, transporte de metabolitos, eliminación de excretas, etc.). Las necesidades de agua dependen de muchos factores (tipo de ganado, estado fisiológico, clima, etc.), pero generalmente un animal adulto demanda un entre un 8 y 10 % de su peso vivo en agua (Sager, 2001), lo que para un bovino de 450 kg representan unos 45 L de agua diarios. Entre los parámetros que hacen a la calidad del agua para consumo animal se encuentran: el contenido de sólidos, que requiere valores mínimos y máximos, y también la presencia de iones cloruros, sodio y calcio que favorecen al ganado si no alcanzan elevados valores. En cambio los iones sulfatos, junto con el magnesio, constituyen un inconveniente por su efecto purgante y por el sabor amargo que producen.

La calidad del agua utilizada para las aplicaciones de agroquímicos fitosanitarios, sean estos herbicidas, fungicidas o insecticidas, influye en su efectividad, el contenido de sales minerales, (determinado a través de la conductividad eléctrica), la dureza, el contenido de bicarbonatos y la acidez o alcalinidad del agua.

El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas rurales del departamento Villaguay de la provincia de Entre Ríos y determinar la calidad de las mismas para

los habituales usos en la zona, es decir bebida animal, aplicación de fitosanitarios y riego de cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo se realizó en el departamento Villaguay, uno de los 17 que componen la provincia de Entre Ríos, ubicado en el centro geográfico de la misma, a 31° 12' 45" S y 59° 35' 44" O, con una extensión de 6595 km². El mismo está dividido políticamente en seis distritos, al este, Bergara, Lucas al Norte y Lucas al Sud, y al oeste Mojones al Norte, Mojones al Sur y Raíces, los que son separados en el sentido norte-sur por el río Gualeguay, principal componente de la red hidrográfica interna provincial. El departamento se caracteriza por tener un clima templado húmedo de llanura. La temperatura media diaria anual es de 16.6 °C y varía entre 24.9 °C en enero y 12 °C en junio y julio. El valor medio anual de precipitaciones es de alrededor de 1000 mm. La vegetación se encuentra comprendida en gran parte en la Provincia Fitogeográfica del Espinal (Distrito del Ñandubay) y está atravesado por numerosos cursos de agua a cuyas orillas existen prolongaciones de la Provincia Paranaense (Distrito de las Selvas Mixtas), mientras que en su parte oriental está comprendida en la Provincia Pampeana (Distrito Uruguayense) (Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos, 2000). Las principales producciones de la zona son la ganadería y la agricultura, siendo este departamento el de mayor producción de arroz de la provincia. El 70 % de la superficie agrícola se destina a oleaginosas (la soja principalmente con el 63% de la superficie agrícola) y el 30% a cereales (de los cuales el arroz es el más importante con el 11% de participación, seguido por el trigo con el 8%). En la zona prevalece la ganadería extensiva con bovinos de carne. Por otra parte, es de importancia la producción de ovinos

que participa en un 13% del total provincial (Engler *et al.*, 2008). La figura 1 muestra

el área de estudio y su ubicación en la provincia.

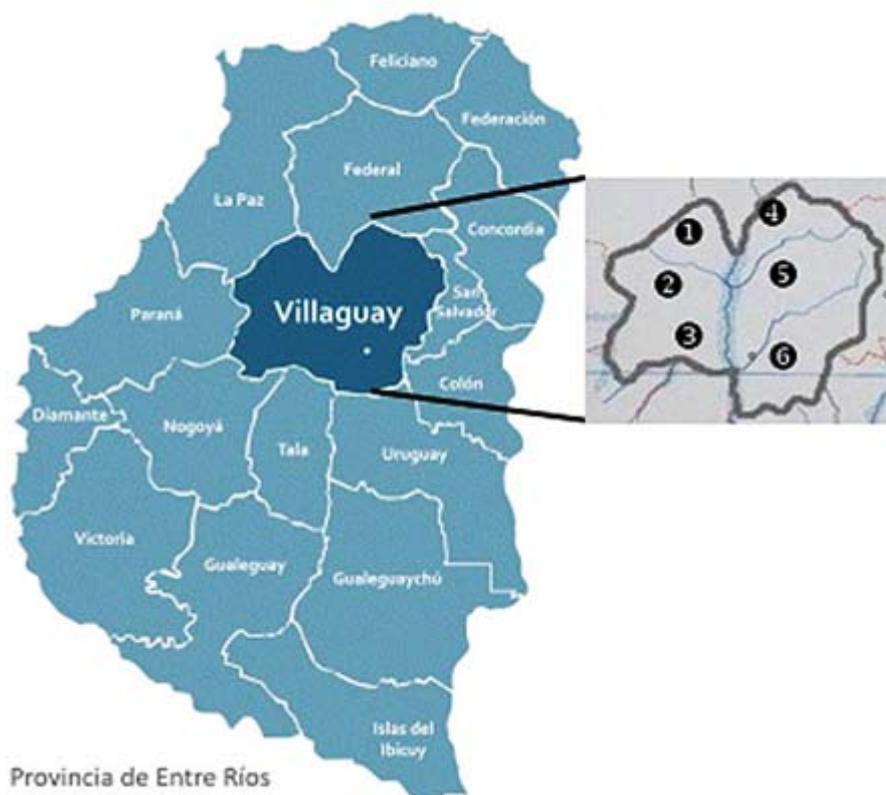


Figura 1. Mapa de la Provincia de Entre Ríos y del Departamento Villaguay. El río Gualaguay divide las zonas en este y oeste, como se indica en azul. Los números indican los distritos donde se realizaron muestreos: 1-Mojones al Norte; 2-Mojones al Sur; 3-Raíces; 4-Lucas al Norte; 5-Lucas al Sur y 6-Bergara.

Figure 1. Map of Entre Ríos Province and Villaguay. Gualaguay River dividing the east and west areas is indicated in blue. Numbers indicate Villaguay districts where sampling was done: 1-Mojones al Norte; 2-Mojones al Sur; 3-Raíces; 4-Lucas al Norte; 5-Lucas al Sur and 6-Bergara.

Muestras de agua

Se obtuvieron muestras de agua de 51 perforaciones de predios rurales que abarcaron los seis distritos del departamento Villaguay. Las muestras de agua fueron tomadas de pozos o bombas en uso según el procedimiento indicado por APHA- AWWA-WPCF (1992) en el período agosto-octubre de 2008. Los análisis de las muestras se

efectuaron en el Laboratorio de Agua de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER, determinándose los siguientes parámetros: Potasio (K^+), Sodio (Na^+), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Cloruros (Cl^-), Carbonatos (CO_3^{2-}), Bicarbonatos (HCO_3^-), Nitratos (NO_3^-), Sulfatos (SO_4^{2-}), pH y Conductividad eléctrica (CE).

Métodos analíticos

La determinación de los distintos parámetros de las muestras de agua se realizaron utilizando métodos estandarizados según lo

descrito por APHA- AWWA- WPCF (1992; Tabla 1).

Parámetros analizados	APHA, AWWA, WPCF (1992)	Método
Alcalinidad (CO ₃ ²⁻)	2320-B	Titulación
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	2320-B	Titulación
Cloruros (Cl ⁻)	4500-Cl-B	Argentométrico
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	4500- SO ₄ ²⁻ E	Turbidimétrico
Nitratos (NO ₃ ⁻)	4500- NO ₃ ⁻ -B	Espectrométrico ultravioleta selectivo
Sodio (Na ⁺)	3500-Na- D	Fotométrico de emisión de llama
Potasio (K ⁺)	3500-K- D	Fotométrico de llama
Calcio (Ca ²⁺)	3500-Ca- D	Titulométrico de EDTA
Magnesio (Mg ²⁺)	3500-Mg- E	Cálculo
pH	4500-H ⁺ - B	Electrométrico de Laboratorio
Conductividad eléctrica (CE)	2510- B	Electrométrico de Laboratorio
Dureza	2340- C	Titulométrico de EDTA

Tabla 1. Métodos empleados en la determinación de los parámetros.

Table 1. Parameter determination methods.

La concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) se calculó a partir de la CE por el coeficiente 0.672 obtenido por Vivot et al. (1994) para aguas subterráneas de la provincia de Entre Ríos.

Además se calculó la relación Ca/Mg como cociente de las concentraciones iónicas de las especies expresadas en mg.L⁻¹. Así mismo se calculó la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), definida según la siguiente ecuación:

$$RAS = C_{Na^+} / [\sqrt{(C_{Ca^{2+}} + C_{Mg^{2+}}) / 2}],$$

donde,

C_{Na^+} , $C_{Ca^{2+}}$ y $C_{Mg^{2+}}$ son las concentraciones iónicas de cada especie química expresada en mEq.L⁻¹.

Los resultados obtenidos de los parámetros determinados fueron descritos con las medianas y percentiles, además de mínimos y máximos, por cuanto los valores no siguen una distribución normal. También se calcularon las medianas para los distritos del este y el oeste y se construyeron los diagramas de

caja de todas las variables de ambas zonas, con la finalidad de facilitar la diferenciación de estas zonas.

Estándares y criterios de calidad

La evaluación de la aptitud del agua se

realizó sobre la base de estándares y criterios de calidad propuestos por varios autores:

Bebida animal: la evaluación de la calidad del agua para bebida animal se realizó en base a los estándares utilizados por Bonel & Ayub (1985; Tabla 2).

Determinación	Muy Buena	Buena	Regular	Mala
Cloruros (Cl) mg.L ⁻¹	1000 - 2000	<1000	<2000	>1000
Sulfatos (SO ₄ ²⁻) mg.L ⁻¹	<600	<600	600 - 2000	>2000
Calcio (Ca ²⁺) mg.L ⁻¹	>60	>60	<120	>30
Magnesio (Mg ²⁺) mg.L ⁻¹	<30	<30	<90	>60
Relacion Ca ²⁺ /Mg ²⁺	>2	>2	1 - 2	<2
Sales solubles mg.L ⁻¹	2000 - 3000	<3000	<4000	>4000

Tabla 2. Calidad de agua para bebida animal. Clases según Bonel & Ayub (1985).

Table 2. Animal drinking water quality. Classes according to Bonel & Ayub (1985).

Uso en la aplicación de fitosanitarios: se seleccionaron valores límites de referencia para los parámetros que influyen en la

efectividad de la aplicación de fitosanitarios tales como la conductividad eléctrica, los bicarbonatos, pH y dureza (Tabla 3).

Parametro	Limite	Efecto	Fuente
Bicarbonatos	> 300 mg.L ⁻¹	Antagonismo sobre los herbicidas de la familia de las ciclohexanodionas	Rodríguez (2000)
Dureza	Duras a Muy Duras	Precipitación de herbicidas	Escala Merck
Conductividad Eléctrica	> 500 µS.cm ⁻¹	Carece de problemas para el uso de herbicidas	Rodríguez (2000)
Insecticida	4 - 5	Afecta la vida media o rango de descomposición	Hock (2000)
pH			
Fungicida	4 - 5	Afecta la vida media o rango de descomposición	Hock (2000)

Tabla 3. Parámetros físico-químicos que afectan la aplicación de fitosanitarios. Escala Merck: Dura= 324 -540 mg.L-1 CaCO₃; Muy Duras= >540 mg.L-1 CaCO₃.

Table 3. Physical-chemical parameters affecting the pesticide application. Merck scale: Hard = 324 -540 mg.L-1 CaCO₃; Very Hard = >540 mg.L-1 CaCO₃.

Riego de cultivos: la clasificación de la calidad del agua para riego se realizó según los criterios dados por Ayers & Westcot (1989), considerando los valores de RAS y CE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición fisico-química de las muestras

Los datos analíticos de las muestras de agua fueron procesados estadísticamente, presentándose en Tabla 4a los resultados de los diferentes parámetros en cada uno de los distritos del área en estudio.

Las concentraciones químicas relevantes en algunos parámetros muestran una marcada diferencia entre los distritos del este (E) y el oeste (O) del departamento. Esta diferencia se puede observar en los valores de la mediana en la Tabla 4b, con mayores valores en la zona oeste.

Las diferencias entre las zonas este y oeste también se pueden observar en los diagramas de caja (Figuras 2 y 3).

Caracterización hidroquímica

La información obtenida de la composición química se transfirió al diagrama de Piper, Figura 4, con la finalidad de efectuar la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas de cada distrito. Este diagrama nos permite determinar en forma directa el tipo de agua en relación a las facies hidroquímicas.

Los distritos Raíces, Mojones Norte y Mojones Sur, correspondientes al oeste del departamento, presentan aguas sulfatadas cálcicas, típico de aguas de terrenos yesosos. Los distritos Bergara y Lucas Sur presentan aguas bicarbonatadas cálcicas, típico de aguas dulces subterráneas poco profundas, mientras que el distrito Lucas Norte presenta aguas bicarbonatadas sódicas características de aguas subterráneas más profundas.

Al observar el triángulo equilátero que representa la composición aniónica, se evidencian dos grupos de aguas: las sulfatadas y las bicarbonatadas. Estos grupos de aguas coinciden geográficamente con los distritos que se ubican al este (aguas bicarbonatadas)

y al oeste (aguas sulfatadas) del río Gualeguay.

Esta situación derivaría de las distintas formaciones geológicas que inciden en la hidrología subterránea del área en estudio, en particular en la zona oeste se encuentra la formación Paraná, que aloja el acuífero homónimo, cuyo origen es de una ingresión marina, que se extiende con límite oriental aproximado de 59° W, hasta el río Gualeguay (Filí *et al.*, 1994).

Aptitud del agua para usos agropecuarios

Bebida animal

La calidad de agua para bebida animal encontrada para los seis distritos es de *bueno a regular*, según la clasificación propuesta por Bonel & Ayub (1985).

La calidad regular se observa en los distritos Mojones Sur y Raíces con aguas con sulfatos en el rango 600 a 2000 mg.L⁻¹.

Merecen análisis diferenciados el distrito Lucas Norte, con contenido de calcio de 40 mg.L⁻¹, y el distrito Bergara, con relación Calcio/Magnesio entre 1 y 2, parámetros factibles de corrección y por lo tanto sin limitaciones en su uso.

Dado que las muestras de aguas analizadas de los distritos del oeste (Lucas al Norte, Lucas al Sur y Bergara) tienen menos de 1500 mg.L⁻¹ de sólidos totales disueltos se las puede definir como "poco engordadoras" según el criterio de Sager (2001); por ello las mismas requerirían suplementación mineral para ser destinadas al consumo animal. Asimismo, la evaluación de la calidad no alcanza la categoría de muy buenas ya que no aportan los niveles necesarios de minerales para un desarrollo armónico, coincidiendo con los resultados encontrados por Cseh *et al.* (2003) en la Provincia de Buenos Aires, aunque señala inconvenientes por exceso de sulfatos. Dado que el agua del área en estudio tienen una CE menor de 5000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ se la considera apta para toda clase de ganado, de acuerdo a Colacelli (1997), resultados similares a los encontrados en otros departamentos de

Distrito	Bergara	Lucas Norte	Lucas Sur	Mojones Norte	Mojones Sur	Raices
Parámetro						
CO₃²⁻						
Min-Máx	0	0	0	0	0	0
HCO₃⁻						
Min-Máx	384 - 586	478 - 561	360 - 701	464 - 607	329 - 598	377 - 579
Mediana	493	520	489	535	422	531
Q ₁ - Q ₃	450 - 506	500 - 539	464 - 515	470 - 593	384 - 492	450 - 560
Cl⁻						
Min-Máx	8 - 24	6 - 15	4 - 20	63 - 127	4 - 690	4 - 1452
Mediana	14	14	10	93	21	202
Q ₁ - Q ₃	12 - 23	12 - 14	7.75 - 14	68 - 112	8.25 - 327	8 - 457
Ca²⁺						
Min-Máx	72 - 91	0 - 40	0 - 173	50 - 197	3 - 552	50 - 648
Mediana	80	40	73	125	120	269
Q ₁ - Q ₃	76 - 89	40 - 40	70 - 150	105 - 152	55 - 499	88 - 439
Mg²⁺						
Min-Máx	11 - 84	0 - 9	0 - 221	16 - 54	8 - 189	8 - 236
Mediana	32	9	26	29	72	35
Q ₁ - Q ₃	22 - 84	9 - 9	15 - 28	23 - 33	24 - 115	25 - 94
K⁺						
Min-Máx	3 - 4	3 - 5	2 - 6	2 - 5	0 - 8	2 - 12
Mediana	3	3.5	3	3	3.5	4
Q ₁ - Q ₃	3 - 4	3 - 4.25	2 - 4	2 - 4.5	3 - 6	3 - 7
Na⁺						
Min-Máx	35 - 232	160 - 184	37 - 224	240 - 288	32 - 328	156 - 608
Mediana	140	176	148	265	216	236
Q ₁ - Q ₃	75 - 144	169 - 181	135 - 160	255 - 280	172 - 304	170 - 283
NO₃⁻						
Min-Máx	0 - 11	9 - 9.4	0 - 7.8	0.1 - 0.6	0 - 1.8	0 - 8.5
Mediana	0.4	9.2	0.2	0.5	0.75	0.2
Q ₁ - Q ₃	0.2 - 10	9.1 - 9.3	0.1 - 0.83	0.15 - 0.6	0.17 - 0.95	0.2 - 1.0
SO₄²⁻						
Min-Máx	6 - 32	0 - 5	0 - 26	0 - 700	6 - 2300	28 - 2100
Mediana	23	4.3	21	480	610	69
Q ₁ - Q ₃	11 - 28	3.95 - 4.65	6.25 - 24.5	280 - 680	58 - 1787	32 - 1488
Dureza						
Min-Máx	158 - 287	138 - 160	124 - 548	116 - 367	108 - 1078	100 - 1294
Mediana	227	139	178	271	322	517
Q ₁ - Q ₃	166 - 270	138 - 145	143 - 242	185 - 311	169 - 818	115 - 777
CE						
Min-Máx	630 - 900	750 - 890	600 - 1100	1500 - 2300	510 - 4500	800 - 7000
Mediana	800	830	755	2000	1185	2175
Q ₁ - Q ₃	750 - 850	780 - 875	700 - 812	1700 - 2225	775 - 3575	925 - 3450
STD						
Min-Máx	423 - 604	504 - 598	403 - 739	1008 - 5460	275 - 3024	537 - 4704
Mediana	513	551	571	3234	1649	2620
Q ₁ - Q ₃	504 - 571	524 - 588	470 - 546	1142 - 1495	521 - 2402	622 - 2318
RAS						
Min-Máx	0.94 - 61	5.84 - 6.80	1.15 - 6.28	5.98 - 10.7	1.08 - 9.17	2.60 - 10.2
Mediana	4.56	6.09	3.74	8.69	4.9	6.73
Q ₁ - Q ₃	1.2 - 5.71	5.92 - 6.37	2.69 - 5.27	7.83 - 9.56	4.56 - 6.21	5.06 - 6.92
pH						
Min-Máx	4.25 - 7.05	6.84 - 8.23	6.25 - 8.24	6.30 - 8.05	5.90 - 8.23	6.43 - 7.14
Mediana	6.80	6.97	6.90	6.88	6.8	6.76
Q ₁ - Q ₃	6.08 - 6.80	6.87 - 7.35	6.59 - 7.37	6.56 - 7.07	6.57 - 7.4	6.60 - 6.92

Tabla 4.a. Resultados de parámetros de muestras de agua de los distritos del departamento Villaguay. Referencias: (CO₃²⁻)= carbonatos; (HCO₃⁻)= bicarbonatos; (Cl⁻)= cloruros; (Ca²⁺)= calcio; (Mg²⁺)= magnesio; (K⁺)= potasio; (Na⁺)= sodio; (NO₃⁻)= nitratos; (SO₄²⁻)= sulfatos; STD= solidos totales disueltos; Q₁-Q₃= valor del 25 % y 75 % de los datos, respectivamente. Las unidades se expresan en mg.L⁻¹, exceptó la CE=conductividad eléctrica (en μS.cm⁻¹); pH (unidades); RAS= relacion de adsorción de sodio (adimensional).

Table 4.a. Results of parameters of water samples in Villaguay districts. References for: (CO₃²⁻)= carbonates; (HCO₃⁻)= bicarbonates; (Cl⁻)= chloride; (Ca²⁺)= calcium; (Mg²⁺)= magnesium; (K⁺)= potassium; (Na⁺)= sodium; (NO₃⁻)= nitrate; (SO₄²⁻)= sulfates; STD= total salts; Q₁-Q₃= value of 25 % y 75 % of the data, respectively. The units are expressed in mg.L⁻¹, except for EC= electrical conductivity (μS.cm⁻¹); pH (units); SAR= sodium adsorption ratios (dimensionless).

Parámetro	Lado Este	Lado Oeste
CO ₃ ⁻²	0	0
HCO ₃ ⁻¹	494	491
Cl ⁻¹	12	49.5
Ca ⁺²	76	123
Mg ⁺²	26	34
K ⁺¹	3	3
Na ⁺¹	148	236
NO ₃ ⁻¹	0.4	0.25
SO ₄ ⁻²	19	260
Dureza	160	222
CE	760	1500
STD	551	2016
RAS	4.56	6.28
pH	6.88	6.76

Tabla 4.b. Valores de la mediana en las zonas Este y Oeste del Departamento Villaguay. Referencias: (CO₃²⁻)= carbonatos; (HCO₃⁻)= bicarbonatos; (Cl⁻)= cloruros; (Ca²⁺)= calcio; (Mg²⁺)= magnesio; (K⁺)= potasio; (Na⁺)= sodio; (NO₃⁻)= nitratos; (SO₄²⁻) = sulfatos; CE=conductividad eléctrica; STD= solidos totales disueltos; RAS= relacion de adsorción de sodio; pH. Las unidades se expresan en mg.L⁻¹, excepto la CE=conductividad eléctrica (en µS.cm⁻¹); pH (unidades); RAS= relacion de adsorción de sodio (adimensional).

Table 4.b. Median values at east and west areas of Villaguay department. References: (CO₃²⁻)= carbonates; (HCO₃⁻)= bicarbonates; (Cl⁻)= chloride; (Ca²⁺)= calcium; (Mg²⁺)= magnesium; (K⁺)= potassium; (Na⁺)= sodium; (NO₃⁻)= nitrate; (SO₄²⁻)= sulfates; Dureza=Hardness; EC= electrical conductivity; STD= total dissolved solids;); SAR= sodium adsorption ratios and pH. The units are expressed in mg.L⁻¹, except for EC= electrical conductivity (mS.cm⁻¹); pH (units); SAR= sodium adsorption ratios (dimensionless).

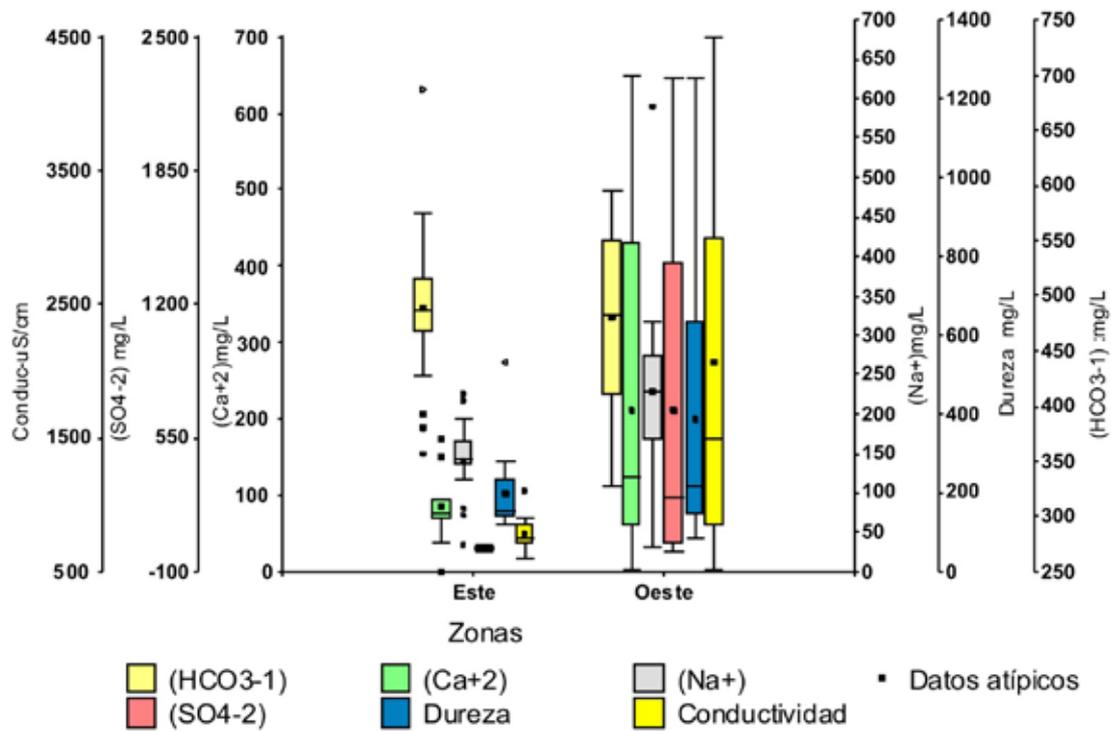


Figura 2. Diagrama de cajas de los parámetros conductividad, bicarbonatos, sulfatos, dureza, calcio y sodio para las zonas este y oeste de Villaguay.

Figure 2. Boxplots of conductivity, bicarbonates, sulfates, hardness, calcium and sodium to the east and west of Villaguay.

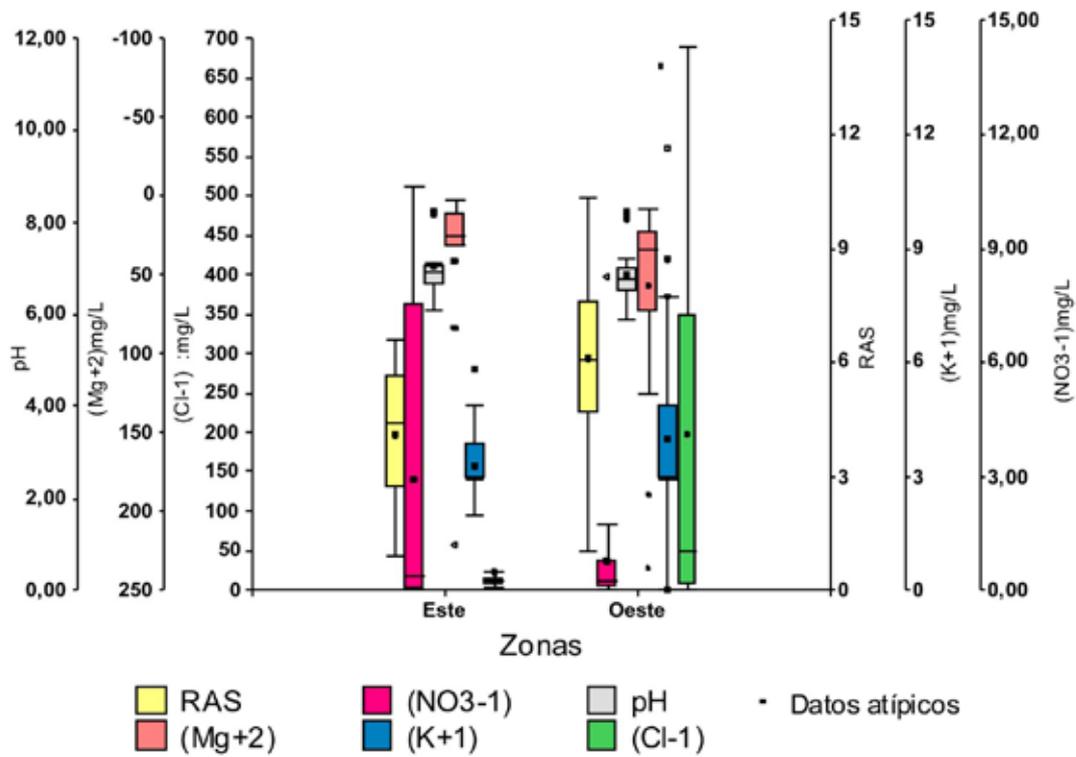


Figura 3. Diagrama de cajas de los parámetros magnesio, nitrato, potasio cloruros, RAS y pH para las zonas este y oeste del departamento Villaguay.

Figure 3. Boxplots of magnesium, nitrate, potassium, chloride, SAR and pH for the east and west of Villaguay.

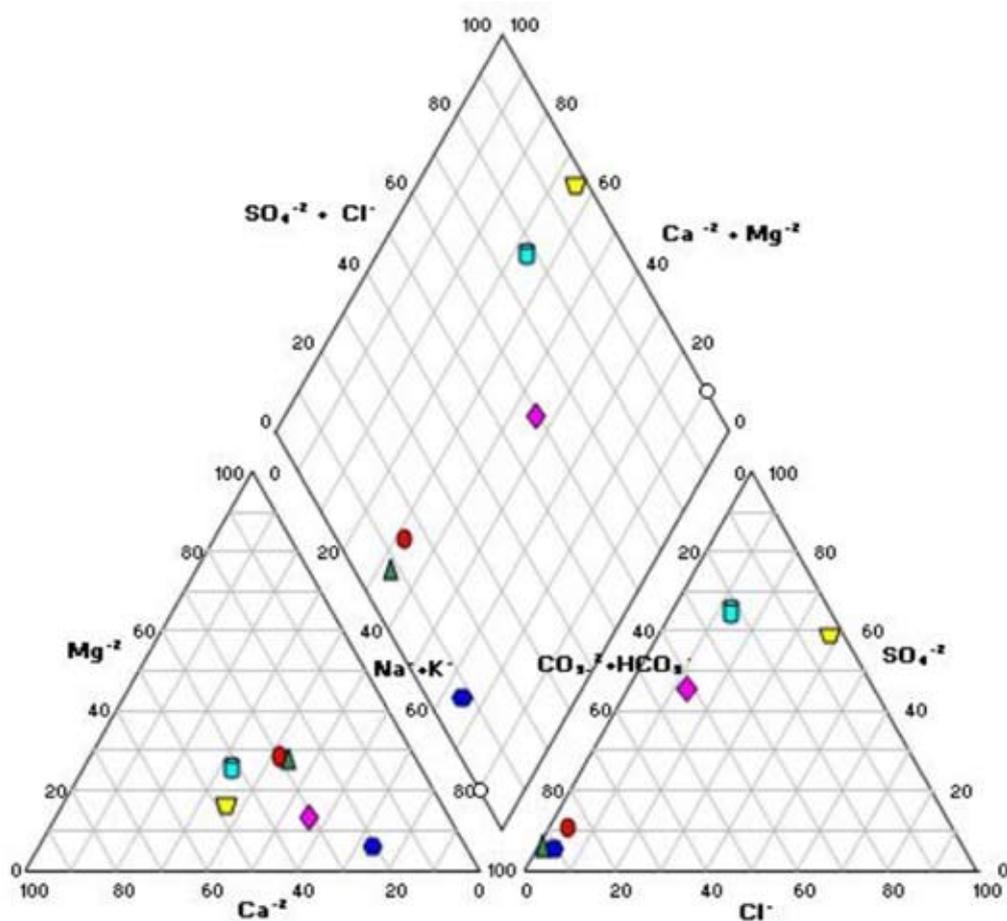


Figura 4. Diagrama de Piper.

Districts: ◆ Mojones Norte; ◻ Mojones Sur; ▽ Raíces; ● Lucas Norte; ▲ Lucas Sur; ● Bergara

Figure 4. Piper diagram

Districts: ◆Mojones Norte; ◻Mojones Sur; ▽Raíces; ● Lucas Norte; ▲ Lucas Sur; ● Bergara

la provincia (Vivot *et al.*, 2000).

Aplicación de fitosanitarios

Los valores medios de todos los parámetros del área en estudio son superiores a los establecidos en la Tabla 3 de estándares, así la CE es mayor a 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, el pH es superior a 6 y los bicarbonatos son mayores a los 300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

En cuanto a la dureza de las aguas, solo los distritos Mojones Sur y Raíces poseen *aguas duras* (324-540 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), mientras que el resto tiene dureza entre *suave y media* (72-324 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Si bien no existen estándares de calidad de agua para la aplicación de agroquímicos, la aptitud de las aguas evaluadas indican que pueden existir diferentes efectos negativos en la dispersión de los pesticidas. De acuerdo los valores de los parámetros encontrados que influyen en la aplicación de agroquímicos, se puede expresar que, por la conductividad eléctrica (CE) encontrada, se podrían presentar problemas para la aplicación de herbicidas. De igual manera, todos los valores de pH encontrados indican una posible afectación en la aplicación de herbicidas (p.e.: Atrazina, Haloxifop R metil, Dicamba, Alaclor y Glifosato) y de los insecticidas más usados (p.e.: Clorpirifos, Cipermetrina y Endosulfan). Los valores de bicarbonatos hallados pueden reducir la actividad de herbicidas de la familia de las ciclohexanodionas, tales como Cletodim, MCPA, 2,4-D, 2,4-DB, salesamina de Glifosato y Dicamba. En los distritos que poseen aguas duras, la efectividad de los herbicidas podría verse afectada por la reacción de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} con las sales de los herbicidas y con algunos surfactantes formando sales insolubles, por que precipitarían reduciendo la disponibilidad del herbicida o surfactante en la solución (p.e.: Glifosato, 2,4-D sal, 2,4-DB sal).

Uso para riego

Según los valores obtenidos de RAS y CE, los distritos Bergara, Lucas Norte y Lucas Sur poseen aguas con ligera a moderada restricción de uso para riego, sin embargo como este uso es complementario no

presentarían mayores problemas en esta zona, situación concordante con lo expresado por Vivot *et al.* ((2000).

Los demás distritos del oeste no muestran restricciones.

CONCLUSIONES

Los resultados de composición de las aguas del departamento Villaguay, Entre Ríos, permiten caracterizar las mismas en dos zonas, las del oeste, como aguas sulfatadas cálcicas, duras, de alta salinidad y casi neutras. Mientras que en la zona este son bicarbonatadas sódicas en el distrito Lucas Norte, y cálcicas en el resto, con dureza *media, muy alta* salinidad y casi neutras.

Asimismo son notorias las diferencias de valores de las medianas y percentiles de los distintos parámetros que poseen altos valores en la zona oeste respecto de las del este.

La evaluación de la calidad del agua para los distintos usos rurales indica que en general no presentan mayores inconvenientes para su uso en bebida animal. No obstante se observa que el contenido de sulfatos es superior al aceptable en dos distritos (Raíces y Mojones Sur) pudiendo ocasionar inconvenientes en el ganado por su efecto purgante y sabor amargo. En cambio la salinidad es entre aceptable y baja para este propósito, y requeriría una suplementación con mezclas minerales, particularmente en los distritos del este del departamento. En cuanto a la aptitud del agua para riego de cultivos, no hay restricciones en los distritos al oeste del departamento; mientras que los del este tienen relaciones de bajo RAS y alta salinidad que indican moderadas restricciones. En la utilización del recurso para aplicaciones de pesticidas se debe tener en cuenta que el pH y la dureza son factores importantes a considerar y requieren la previa corrección a menores valores recomendados, especialmente en los distritos Mojones Sur y Raíces.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation). 1992. *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ed. Diaz de Santos SA: 1715 p
- Ayers RS & Westcot DW. 1989. *Water quality for agriculture*. Editorial FAO - Irrigation and Drainage Paper 29. Rev.1, Roma:174 p
- Bonel J & Ayub G. 1985. Método para determinar la calidad de agua para bebida de bovinos y recomendaciones para el ganadero. *Rev. Arg. Prod. Animal*, 4 (3): 45-48
- Bresler E, McNeal BL & Carter DL. 1982. *Saline and sodic soils: Principles- Dynamics-Modeling*. Editorial Springer-Verlag, Berlín/ Heidelberg/New York: 236 p
- Bundschuh J, Bonorino G, Viero A, Albouy R & Fuertes A. 2004. Arsenic and other trace elements in sedimentary aquifers in the Chaco Pampean Plain, Argentina: Origin, distribution, speciation, social and economic consequences. En: Bhattacharya P, Welch AH, Ahmed KM, Jacks G & Naidu R (eds). Arsenic in groundwater of sedimentary aquifers. *Applied Geochemistry* 19 (2): 231-243
- Colacelli NA. 1997. Calidad de Agua para Bebida Animal. http://www.produccion.com.ar/1997/97abr_11.htm
- Cseh SB, Mottier L & Yarrar M. 2003. Calidad de agua para consumo animal en 26 partidos de la provincia de Buenos Aires. http://www.produccionbovina.com.ar/agua_bebida/42-calidad_agua_partidos_bsas.pdf
- Engler P, Rodríguez M, Cancio R, Handloser M & Vera L. 2008. Zonas AgroEconómicas Homogéneas Entre Ríos: Descripción ambiental, socioeconómica y productiva. http://www.inta.gov.ar/ies/PE1731/PDFs/InformacionZAHs/ER/ZAH_ER_Villaguay.pdf
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Aquastat. 2009. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/regions/lac/indexesp4.stm>
- Fernández NJ. 2006. Prioridades de manejo del riesgo de contaminación del recurso hídrico por efluentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 37 (1): 35-64

- Fili M, Tujchneider O, Pérez M & Paris M. 1994. Investigaciones geohidrológicas en la provincia de Entre Ríos. En: Bocanegra E & Rapaccini A. (eds) *Temas actuales de la Hidrología subterránea*. Consejo Federal de Inversiones y Universidad Nacional de Mar del Plata, 299-313
- Hanazato T. 1999. Global Environment and Lake Ecosystems. En: Terai H (ed) *Limnology*, Nagoya: 85-97
- Hock WK. 2000. Ohio Vegetable Production Guide. Handling Pesticides. <http://ohioline.osu.edu/b672/pdf/Handling.pdf>
- Pérez-Carrera A, Moscuza CH & Fernández-Cirelli A. 2008. Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. *Ecosistemas* 17 (1): 5-15
- Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos. 2000. *Carta de suelos de la República Argentina. Departamento Villaguay, Provincia de Entre Ríos*. Acuerdo complementario del convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos, EEA Paraná. Serie de relevamiento de recursos naturales 19: 242 p
- Rodríguez NM. 2000. Calidad de Agua y agroquímicos. <http://www.agronort.com/informacion/calidagua.html>
- Sager RL. 2001. Calidad del agua de bebida. Relación con la suplementación mineral y problemas sanitarios. <http://www.produccion-animal.com.ar/>
- Vivot EP, Barbagelata HR, Cruañes MC & Plochouk MA. 1994. Calidad de aguas subterráneas rurales en Entre Ríos. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. 8: 27-36
- Vivot EP, Cruañes MC & Vesco CJ. 2000. Caracterización hidroquímica preliminar del acuífero Paraná. *Revista Científica Agropecuaria* 4: 19-22