



FACULTAD DE AGRONOMÍA  
Universidad Nacional de La Pampa

## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO MEDIANTE EL EMPLEO DE CRITERIOS ACTUALIZADOS.

Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

**Autores:**

ACOSTA GARCÍA, Juan Cruz  
SALVADORI VERÓN, Jonathan Alexis

**Director:**

Lic. Germán Carlos MORAZZO  
*Cátedra de Análisis Químico Agronómico de la FA*

**Codirectora:**

Ing. Agr. Guillermina PÉREZ HABIAGA  
*Cátedra de Forrajicultura y Manejo de Pasturas de la FA*

**Evaluadores:**

MSc. Teresa M. SÁNCHEZ  
*Cátedra de Análisis Químico Agronómica de la FA*

MSc. María Claudia TROTTA  
*Cátedra de Extensión Rural de la FA*

**FACULTAD DE AGRONOMÍA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA  
SANTA ROSA – LA PAMPA – ARGENTINA – 2017**

## ÍNDICE DE CAPÍTULOS

Resumen/Abstract.....	2
Introducción.....	5
Materiales y Métodos.....	8
Resultados y Discusión.....	21
Conclusiones.....	44
Bibliografía.....	46
Anexos.....	51

## **RESUMEN**

El agua subterránea constituye el recurso más importante para el abastecimiento de agua potable y riego en el interior de la provincia de La Pampa. Los informes técnicos realizados en varias perforaciones de la zona, indican que estas aguas contienen, en muchos casos, exceso de especies químicas indeseables. El agua utilizada para riego con fines agronómicos tiene efectos importantes sobre la producción de cultivos como así también sobre el deterioro químico del suelo. Para evaluar la calidad del agua de riego, se han desarrollado índices empíricos. Dada la importancia agronómica de la calidad del agua en los sistemas de producción intensivos, el objetivo general del presente trabajo fue la determinación y comparación de índices y normas que utilizan distintos criterios en la evaluación de la calidad para 17 muestras tomadas en establecimientos de la Provincia de La Pampa y 3 provenientes de Esquel (Chubut). Se determinaron los índices de salinidad: conductividad eléctrica (CE), salinidad efectiva (SE) y salinidad potencial (SP), de sodicidad: relación de adsorción de sodio (RAS), relación de adsorción de sodio corregida (RAS<sup>0</sup>) y carbonato de sodio residual (CSR) y de toxicidad. Se clasificaron las muestras mediante las Normas de calidad de Riverside, FAO, IPG-INTA, Wilcox y H. Greene. De los resultados obtenidos se pudo concluir que el 85% de las muestras analizadas resultaron aptas/aptas con precauciones para ser utilizadas en el riego de cultivos intensivos, el riesgo de salinización es detectado en mayor medida interpretando la SE y como mejor indicador del riesgo de alcalinización el que utiliza el RAS<sup>0</sup>. Se destaca la clasificación del Proyecto IPG-INTA, aún sin validar, ya que no solo tiene en cuenta la calidad química del agua sino también las condiciones agroclimáticas y edáficas de importancia para toma de decisiones agronómicas.

*PALABRAS CLAVES:* calidad de agua para riego, indicadores y normas de clasificación, cultivos intensivos.

## **ABSTRACT**

Underground water is the most important resource for the supply of potable water and irrigation in the province of La Pampa. Technical reports from several drillings in the area indicate that these waters contain, in many cases, excess undesirable chemical species. Water used for agronomic

irrigation has important effects on crop production as well as chemical soil degradability. To evaluate the quality of irrigation water, empirical indexes have been developed. Due to the agronomic importance of water quality in intensive production systems, the general objective of the present study was the determination and comparison of indexes and classifications rules using different criteria in the quality assessment for 17 samples taken in establishments in the Pampa's Region and 3 samples coming from Esquel province of Chubut. The salinity indexes electric conductivity (EC), effective salinity (ES) and potencial salinity (PS), sodium: sodium adsorption ratio (SAR), sodium adsorption ratio corrected (SAR<sup>0</sup>) and residual sodium carbonate (RSC) and toxicity were determined. Samples were classified using the Riverside, FAO, IPG-INTA, Wilcox and H. Greene Quality Standards. The results obtained allowed to conclude that the analyzed waters are mostly (85%) apt / suitable with precautions to be used in the irrigation of intensive crops, the risk of salinization is detected to a greater extent interpreting the ES and the better indicator of the risk of alkalization was the SAR<sup>0</sup>. The classification of the IPG-INTA Project is still outstanding but must be considered because takes into account the chemical quality of the water and the agroclimatic and edaphic conditions which enable us a better agronomic management.

*KEY WORDS:* quality of irrigation water, classification indexes and standards, intensive crops.

## INTRODUCCIÓN

El agua subterránea constituye el recurso más importante para el abastecimiento de agua potable y riego en el interior de la provincia de La Pampa. Los informes técnicos realizados en varias perforaciones de la zona, indican que estas aguas contienen, en muchos casos, exceso de especies químicas indeseables, motivo por el cual se clasifican como aguas de mala calidad tanto para riego como para consumo animal (Reinaudi, *et al.*, 1994; Reinaudi, *et al.*, 1996 a y b).

Según el Informe del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología publicado el año 2003 y desde el punto de vista de la organización territorial, la vida económica, social y política, se organiza en torno a factores como: limitantes hídricas, densidad poblacional y potencial productivo. En La Pampa el sistema productivo presenta una estructura fuertemente dependiente del sector primario y terciario, siendo el sector agropecuario el que presenta mejores ventajas comparativas para su desarrollo. En particular, la producción hortícola ha tenido poco desarrollo hasta el momento, con escasa tecnología y baja productividad, cubriendo un escaso porcentaje de la demanda. La provincia de La Pampa, se encuentra abastecida, preferentemente, por producción proveniente de otras provincias. Aumentando la producción local no solo incrementaría la demanda laboral sino también la posibilidad de mejorar la calidad de las hortalizas consumidas en la región (Ferrero, 2004).

Los datos analizados en la Encuesta 2011 (Ministerio de la Producción de la provincia de La Pampa) realizada a 32 productores (superficie alcanzada 180 has) muestran que, el 95.1% de los encuestados tiene pozo como fuente de agua, el 2.4% utiliza acueducto y el porcentaje restante utiliza otras fuentes que no se especificaron. Es importante destacar el incremento de productores hortícolas interesados en incorporarse a la agricultura familiar, los mismos comercializan parte de su producción en ferias urbanas. Esta nueva actividad, está generando un aumento en la demanda por parte de los consumidores, los cuales logran

distinguir mayor calidad y menor precio, en relación a la oferta del mercado local (Zanotti *et al.*, 2014)

En la producción hortícola intensiva, tanto la calidad como la cantidad de agua son factores prioritarios para el aumento de la producción. El agua utilizada para riego con fines agronómicos tiene efectos importantes a corto y largo plazo. Los efectos a corto plazo, son aquellos que se relacionan directamente con las variables de producción y calidad de cultivos, mientras que, a largo plazo, el uso continuo de aguas de mala calidad produce cambios perjudiciales en las propiedades edáficas, llegando a obtener en algunos casos, un suelo que se clasifica como no apto para agricultura. Sin tener en cuenta el origen del agua, la misma debe cumplir la calidad que se exige para ser utilizada como agua de riego. Únicamente en determinadas situaciones o para algunas producciones particulares, pueden variarse los límites establecidos, aún así, se debe tener en cuenta que su uso prolongado no afecte las propiedades del suelo.

El agua que ingresa al suelo a través de la práctica de riego, puede infiltrar en el mismo o ser retenida. Esta última fracción, es la que aporta las sales al suelo, debido a la evaporación del agua y la extracción por parte de las raíces de las plantas. La magnitud de la acumulación de sales en el suelo depende de la calidad del agua, del manejo del riego y de la eficiencia del drenaje. La acumulación excesiva de sales en la zona radicular del suelo (proceso de salinización), afecta la absorción de agua por parte del cultivo mediante mecanismos osmóticos, aumentando el consumo de energía necesario para la extracción del agua y provocando pérdidas de rendimiento.

El aumento de la concentración de sales en el suelo aumenta el potencial osmótico del mismo e incrementa la fuerza de succión necesaria para que la planta absorba agua. Es importante resaltar que, además de la concentración de sales aportadas por el agua, se debe tener en cuenta también, las que presenta el abono. Por lo tanto si el agua utilizada para regar es clasificada como de mala calidad, se deben utilizar menores concentraciones de abonos y como consecuencia aplicaciones más frecuentes que con agua de mejor calidad (Cortés-Jiménez, *et al.*, 2009).

La presencia de alta turbidez (coloides) y/o sólidos suspendidos en el agua de riego, puede inhibir la infiltración del agua, reducir la aeración del suelo e impedir el normal desarrollo de la planta. Por el contrario, aguas con alto contenido de limo pueden mejorar la textura, consistencia y capacidad de retener humedad en suelos arenosos. La U.S.EPA (U.S. Environmental Protection Agency) no recomienda niveles críticos para este parámetro de calidad de agua de riego (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2010).

Para evaluar la calidad del agua de riego, se han desarrollado índices empíricos, que suponen una guía práctica y de uso generalizado. Esta evaluación no requiere precisión analítica propia de un estudio de investigación, se trata de obtener una indicación de los posibles problemas a tener en cuenta en la toma de decisiones.

Teniendo en cuenta los antecedentes citados anteriormente, los objetivos de este Trabajo Final de Graduación son:

General:

- Utilizar distintos criterios en la evaluación de la calidad de agua para riego.

Específicos:

- Realizar la toma de muestras en terreno y los análisis de iones más comunes.
- Interpretar y graficar los datos obtenidos de los análisis y clasificar las diferentes muestras, en función de su calidad, para determinar su aptitud para riego.
- Detectar errores e incongruencias en los resultados de un análisis de agua.

## **MATERIALES y MÉTODOS**

Para desarrollar este trabajo se tomaron muestras de agua provenientes de 20 predios, con el objeto de determinar su calidad para riego y evaluar su aptitud utilizando diferentes índices y normas.

Las muestras fueron recolectadas en envases de polietileno de 1,5 L de capacidad y tomadas después de dejar circular agua durante 10 a 15 minutos. Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio del Área de Ciencias Exactas de la Facultad de Agronomía (FA) y en el Laboratorio de Agua de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam).

Se efectuaron las determinaciones que a continuación se detallan, utilizando como referencia los métodos descritos por Obras Sanitarias de la Nación (1974); el Sistema de Apoyo Metodológico para Laboratorios de Análisis de suelos, aguas y otros (SAMLA - 2009) y los propuestos por Rodier, J. (1981):

- Sólidos Totales Disueltos (STD) a 105 °C - (Técnica Gravimétrica).
- Conductividad Eléctrica (CE) a 25 °C - (Técnica Conductimétrica, medidor multiparamétrico HANNA mod. HI 2550).
- Potencial hidrógeno (pH) - (Técnica Potenciométrica, medidor multiparamétrico HANNA mod. HI 2550).
- Iones calcio y magnesio - (Técnica Volumétrica de complejación, agente titulante EDTA).
- Iones cloruro – (Técnica Volumétrica de precipitación, método de Mohr).



- Iones carbonato e hidrogenocarbonato - (Técnica Volumetrica ácido-base, método de Warder).
- Iones sulfato - (Turbidimetría, agente precipitante BaCl<sub>2</sub>).
- Iones sodio y potasio - (Emisión atómica, fotómetro de llama ZELTEC mod. 250)

Las determinaciones realizadas en el laboratorio son indicadores de primer grado o inmediatos, mientras que, la combinación de varios de estos, dan lugar a la formulación de indicadores de segundo grado ó índices que son utilizados en la construcción de normas empleadas para la interpretación de la calidad del agua de riego. La calidad del agua utilizada para riego se puede definir en función de 3 criterios principales: salinidad, sodicidad, alcalinidad y toxicidad. Siendo estos los utilizados en la construcción de todas las normas empleadas.

Los indicadores de Salinidad utilizados fueron:

1- Conductividad Eléctrica (C.E): indica la facilidad con que una corriente eléctrica pasa a través del agua, de forma que cuanto mayor sea el contenido de sales solubles ionizadas, mayor será el valor de C.E. Pero esta relación se altera en presencia de sales poco solubles, lo cual es el inconveniente principal de este índice como medida del riesgo de salinidad. Como la temperatura influye en esta determinación y con el fin de obtener resultados homogéneos se refirieron todas las medidas a 25 °C. Este índice fue evaluado a través de tres diferentes criterios para establecer el peligro de salinización de los suelos, a saber:

- a- Richards (1954): propuso para el laboratorio de Salinidad de RIVERSIDE (E.E.U.U.), clasificar el peligro de salinización de los suelos según la conductividad eléctrica del agua utilizada para el riego de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1. Criterios de peligro de salinización y restricciones de uso de las aguas empleadas para riego según el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

Clases	Peligro de	C.E	Restricciones de Uso
--------	------------	-----	----------------------

	Salinización	(mS cm <sup>-1</sup> a 25°C)	
C1	Bajo	< 0,25	Apta
C2	Moderado	0,25-0,75	Apta
C3	Medio	0,75-2,25	Apta con precauciones
C4	Alto	2,25-4	Apta con precauciones
C5	Muy Alto	4-6	No Apta
C6	Excesivo	>6	No Apta

Este esquema ha sido propuesto para condiciones climáticas medias, con riegos permanentes y para cultivos de tolerancia media a las sales. En cuanto a las condiciones del suelo, ellas han sido tenidas en cuenta en las recomendaciones para el uso de cada clase, y son las siguientes:

#### Clase C1:

Agua de baja salinidad, puede usarse para la mayor parte de los cultivos, en casi todos los suelos. Con las prácticas habituales de riego, la salinidad del suelo tiende a niveles muy bajos salvo en suelos muy poco permeables, con los cuales se requerirá intercalar riegos de lavado.

#### Clase C2:

Agua de salinidad moderada, puede usarse en casi todos los cultivos con suelos de buena permeabilidad. En caso de permeabilidad deficiente del suelo, es necesario elegir el cultivo, evitando aquellos muy sensibles a las sales. Se requiere riegos de lavado ocasionales.

#### Clase C3

Agua de salinidad media, debe usarse en suelos de permeabilidad moderada a buena, y aún así, efectuar riegos de lavado para evitar que se acumulen las sales en cantidades nocivas para las plantas. Deben seleccionarse cultivos con tolerancia a la salinidad.

#### Clase C4:

Agua de salinidad Alta, sólo debe usarse en casos de suelos de buena permeabilidad, para que los riegos de lavado, produzcan una lixiviación suficiente para impedir que las sales se acumulen en cantidades peligrosas. Deben también seleccionarse los cultivos adecuados a estas condiciones.

Clase C5:

Agua de salinidad muy alta, inapropiada para el riego; sólo puede usarse en suelos muy permeables y con manejos técnicos muy cuidadosos.

Clase C6:

Agua extremadamente salina, no apta para el riego.

Los riegos de lavado, son necesarios en la medida que las lluvias no sean suficientemente frecuentes e intensas para provocar la lixiviación de las sales acumuladas, transportándolas a profundidades mayores a la zona de raíces. Esta práctica de manejo puede aplicarse a cultivos intensivos que se realizan a campo, la misma no es viable cuando los cultivos se realizan bajo cubierta. En esta situación es donde debe tomar relevancia el análisis y la clasificación del agua de riego y las posibles consecuencias de su utilización cuando fuere necesario.

- b- Ayres y Westcott (1985) propusieron para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), clasificar el peligro de salinización de los suelos según la conductividad eléctrica del agua utilizada para el riego de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. Criterios de peligro de salinización y restricciones de uso de las aguas empleadas para riego según la FAO.

Clases	Riesgo de Salinización	C.E (mS.cm <sup>-1</sup> a 25°C)	Restricciones de Uso
C1	Sin Riesgo	< 0,7	Apta
C2	Riesgo Moderado	0,7-3	Apta con

			precauciones
C3	Riesgo Alto	>3	No Apta

c- Proyecto IPG-INTA (1998) propone clasificar el peligro de salinización de los suelos según la conductividad eléctrica del agua utilizada para el riego de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3. Criterios de peligro de salinización y restricciones de uso de las aguas empleadas para riego según el Proyecto IPG-INTA

Clases	Riesgo de Salinización	C.E (mS.cm <sup>-1</sup> a 25°C)	Restricciones de Uso
C1	Sin Riesgo	< 2	Apta
C2	Riesgo Moderado	2-4	Apta con precauciones
C3	Riesgo Alto	>4	No Apta

2- Salinidad Efectiva (SE): es una estimación más real del peligro que representan las sales solubles, que se hallan en el agua para riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, debido a que considera la precipitación ulterior de las sales menos solubles (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> y CaSO<sub>4</sub>), las cuales dejan de precipitar con el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo. La SE fue calculada según las siguientes ecuaciones y bajo las condiciones especificadas:

- Si  $Ca^{2+} > (CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-})$   
entonces  $SE = \sum \text{de cationes} - (CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-})$ .
- Si  $Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-})$  pero  $Ca^{2+} > (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$   
entonces  $SE = \sum \text{de cationes} - Ca^{2+}$ .
- Sí  $Ca^{2+} < (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$  pero  $Ca^{2+} + Mg^{2+} > (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$   
entonces  $SE = \sum \text{de cationes} - (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ .
- Sí  $Ca^{2+} + Mg^{2+} < (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$   
entonces  $SE = \sum \text{de cationes} - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ .

Notas:

- todas las concentraciones deben expresarse en  $\text{mmol}_c\cdot\text{L}^{-1}$ .
- sí la suma de cationes es menor que la de aniones debe emplearse esta última.

Tabla 4. Clasificación de las aguas para riego según su SE

Salinidad Efectiva ( $\text{mmol}_c\cdot\text{L}^{-1}$ )	Restricciones de Uso
< 3	Apta
entre 3 y 15	Apta con precauciones
>15	No Apta

3- Salinidad Potencial (SP): Cuando la humedad aprovechable del suelo es menor al 50% las últimas sales que quedan en solución son  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . La SP es un índice adecuado para estimar el peligro de estas sales, ya que elevan la presión osmótica. Este índice fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{SP} = \text{Cl}^- + 1/2 \text{SO}_4^{2-} \text{ (todas las concentraciones deben expresarse en } \text{mmol}_c\cdot\text{L}^{-1}\text{)}$$

Tabla 5. Clasificación de las aguas para riego según su SP

Salinidad Potencial ( $\text{mmol}_c\cdot\text{L}^{-1}$ )	Restricciones de Uso
< 3	Apta
entre 3 y 15	Apta con precauciones
>15	No Apta

Los indicadores de Sodicidad utilizados fueron:

1- Relación de adsorción de sodio (RAS): El Laboratorio de salinidad de RIVERSIDE (U.S.) clasifica la peligrosidad de sodificación del suelo por el agua de riego en función de su índice RAS, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{RAS} = [\text{Na}^+] / ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] / 2)^{1/2}$$

Las concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  deben expresarse en  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

La clasificación propuesta es la siguiente:

Clases	Peligro de Sodificación	RAS	Restricciones de Uso
S1	Baja peligrosidad sódica	0-10	Apta
S2	Mediana peligrosidad sódica	10-18	Apta con precauciones
S3	Alta peligrosidad sódica	18-26	Apta con precauciones
S4	Muy alta peligrosidad sódica	> 26	No Apta

- Clase S1:

Bajo peligro de sodificación: Pueden usarse en casi todos los suelos sin riesgo de que el nivel del sodio de intercambio se eleve demasiado.

- Clase S2:

Peligro de sodificación Mediano: estas aguas pueden usarse en suelos de textura gruesa o con buena permeabilidad. En suelos de textura fina o con drenaje deficiente, puede elevarse el sodio de intercambio, este efecto se ve atenuado en suelos con yeso.

- Clase S3:

Alto peligro de sodificación: son capaces de originar sodificación en casi todos los tipos de suelo, por lo que se requiere manejos técnicos específicos para mejorar el drenaje y lixiviado como a su vez, medidas correctivas como incorporación de yeso.

- Clase S4:

Muy Alto peligro de sodificación: Aguas inadecuadas para el riego, salvo condiciones de muy baja salinidad. El calcio proveniente del carbonato de calcio del suelo o del yeso puede disminuir el peligro de sodificación.

2- Relación de adsorción de sodio corregido (RAS<sup>o</sup>) (Ayers y Westcot, FAO, revisión 1987): En 1987, la FAO demostró que el índice RAS se encuentra sobrestimado por lo que propuso calcular el RAS<sup>o</sup>, haciendo una corrección al valor del Ca (Ca<sup>o</sup>) introducido en la fórmula, mediante la tabla presentada en el Anexo 1.

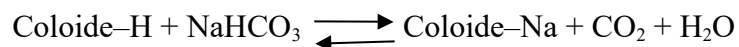
$$\text{RAS}^{\circ} = [\text{Na}^{+}] / ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] / 2)^{1/2}$$

Con respecto a la Sodificación, la FAO propone el siguiente cuadro de evaluación, también con tres categorías:

Clases	RAS	Peligro de Sodificación	Restricciones de Uso
S1	< 3	Baja peligrosidad sódica	Apta
S2	3 - 9	Mediana peligrosidad sódica	Apta con precauciones
S3	> 9	Alta peligrosidad sódica	No Apta

3- Carbonato de sodio residual (CSR), también denominado Índice de Eaton: El peligro de sodificación de suelo es agravado y acelerado por la presencia de carbonato o bicarbonato de sodio en el agua. Las reacciones que se producen son las siguientes:

En suelos ácidos:



En suelos neutros y alcalinos:



Ambas reacciones se ven favorecidas con el aumento de concentración de la solución del suelo por evapotranspiración del agua. Para estimar el peligro de sodificación del suelo por el contenido de carbonatos y bicarbonatos del agua en relación con el sodio, se utiliza el parámetro llamado Carbonato de Sodio Residual (CSR) que se calcula:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Las concentraciones de  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  deben expresarse en  $\text{mmol}_c\cdot\text{L}^{-1}$ .

El laboratorio de Salinidad de Riverside clasifica las aguas de acuerdo al CSR de la siguiente manera:

CSR ( $\text{mmol}_c\cdot\text{L}^{-1}$ )	Restricciones de Uso
< 1,25	Aguas de buena aptitud para riego
1,25 – 2,5	Aguas de aptitud dudosa, se requieren prácticas de manejo y enyesado
> 2,5	Aguas no aptas para riego

Los indicadores de Toxicidad utilizados fueron:

Los iones presentes en las aguas de riego que pueden causar daño en forma individual o combinada son:  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ .



Para evaluar el riesgo de toxicidad del agua de riego se utilizó la clasificación de la FAO:

Ión	Concentración que puede ocasionar problemas		
	Inexistentes	Crecientes	Graves
Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )	< 3	3 - 9	> 9
Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> )	< 4	4 - 10	> 10

Para el presente trabajo las normas empleadas para clasificar la calidad de las aguas involucradas fueron:

1- Normas propuestas por el Laboratorio de Salinidad de Riverside:

Las clasificaciones del Laboratorio de Salinidad de Riverside vistas anteriormente, se resumen en el muy conocido nomograma que presentó Richards en 1954, el mismo fue modificado en 1973 como se ilustra a continuación:

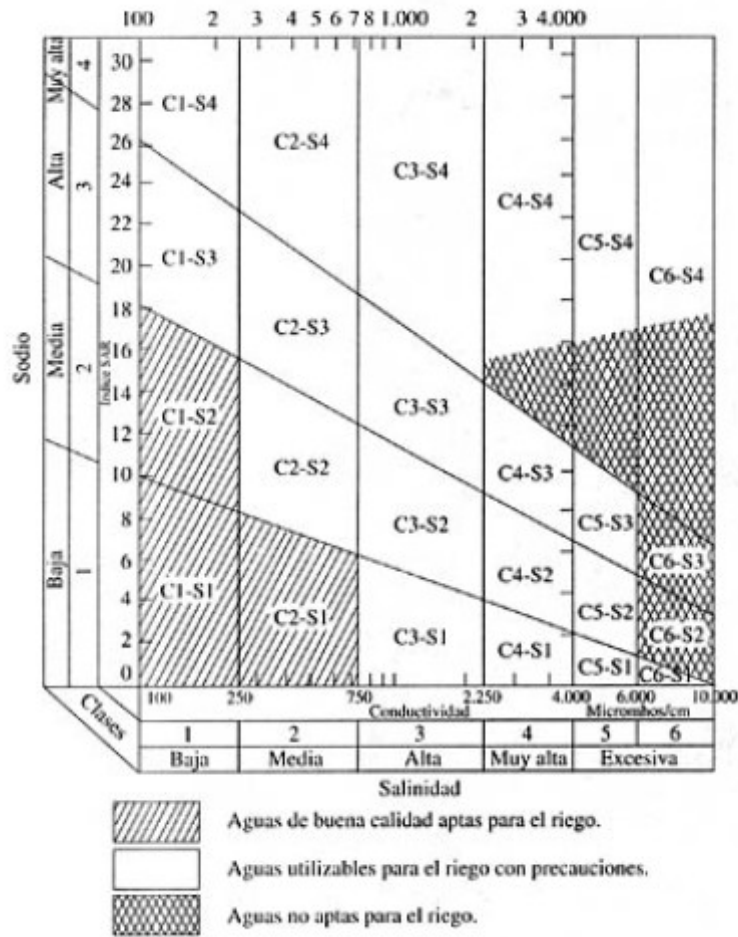


Figura 1: Nomograma propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

2- Normas propuestas por la FAO

Las clasificaciones y los riesgos de uso propuestos por la FAO se describen en la tabla y figura siguientes:

Tabla 6: Directrices para interpretar la calidad de agua para riego. Fuente: FAO. Serie Riego y Drenaje N° 29 Rev. 1. (CEa corresponde a la CE de las sales aportadas por el agua de riego)

Causa y efecto			Grado de restricción de uso		
			Ninguno (N)	Ligero a moderado (L a M)	Severo (S)
Salinidad			CEa < 0,7	CEa 0,7 - 3	CEa > 3
Sodicidad	RAS	0-3	CEa > 0,7	CEa 0,7-0,2	CEa < 0,2
	RAS	3-6	CEa > 1,2	CEa 1,2-0,3	CEa < 0,3
	RAS	6-12	CEa > 1,9	CEa 1,9-0,5	CEa < 0,5
	RAS	12-20	CEa > 2,9	CEa 2,9-1,3	CEa < 1,3
	RAS	20-40	CEa > 5	CEa 5-2,9	CEa < 2,9

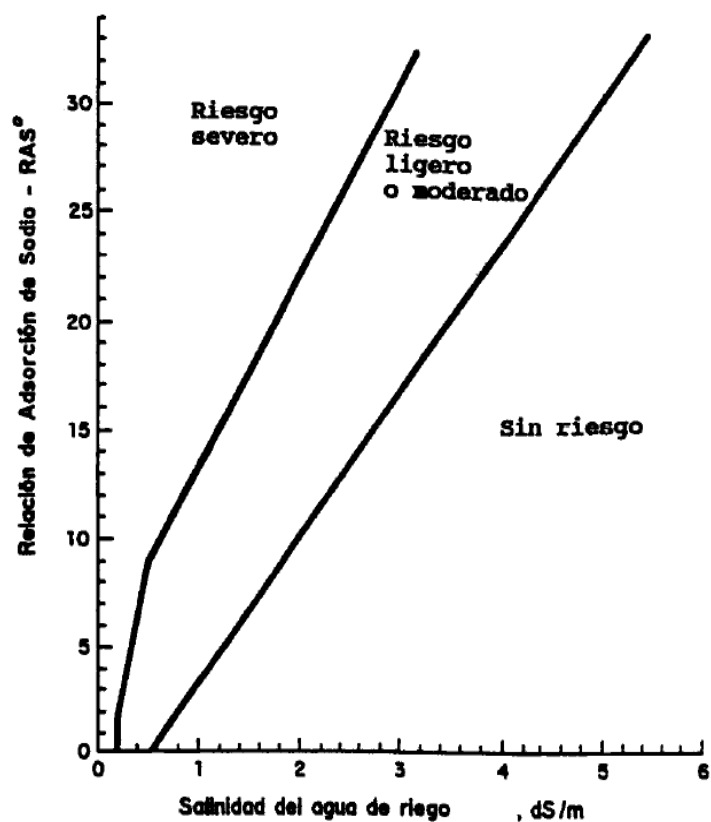


Figura 2: Ábaco propuesto por la FAO para clasificar la calidad de agua para riego.

### 3- Normas propuestas por el proyecto IPG-INTA

Para evaluar la calidad de agua para riego, en el marco del proyecto IPG-INTA, se proponen los indicadores que se describen a continuación:

Causa	Indicador	Características	Uso para riego		
			Seguro (S)	Dudoso (D)	No recomendable (NR)
		Agroclimáticas/edáficas			
Salinidad	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	Zona húmeda y subhúmeda	< 2	2 a 4	> 4
Sodicidad	RAS	Haplustoles	Aceptable (A)	Dudoso (D)	Alto riesgo (AR)
			< 5	5 a 10	> 10

4- Normas H. Greene. Toma como base, la concentración total de sales en relación al % de sodio. Este % se calcula respecto al contenido total de cationes.

$$\% \text{ de Na}^+ = (\text{Na}^+ / (\sum \text{ cationes})) \times 100 \text{ y}$$

$$\text{Sales totales} = (\sum \text{ aniones} + \sum \text{ cationes})$$

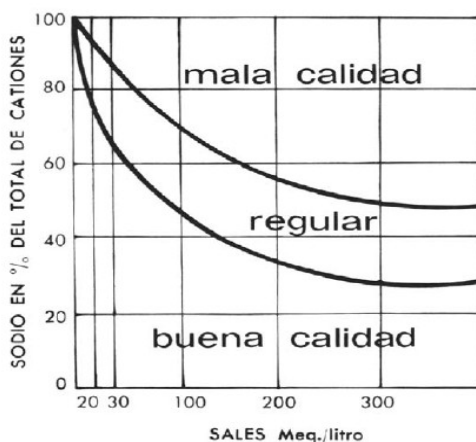


Figura 3. Clasificación de la calidad de agua para riego en función de la concentración de sodio (%) y la concentración de sales ( $\text{meq.L}^{-1}$ ) propuesto por H. Greene.

5- Normas Wilcox. Considera el % de Na respecto al de cationes y la CE. Para interpretar este índice se utiliza un diagrama adaptado de "The quality of water for irrigation USE, U.S.D.A."

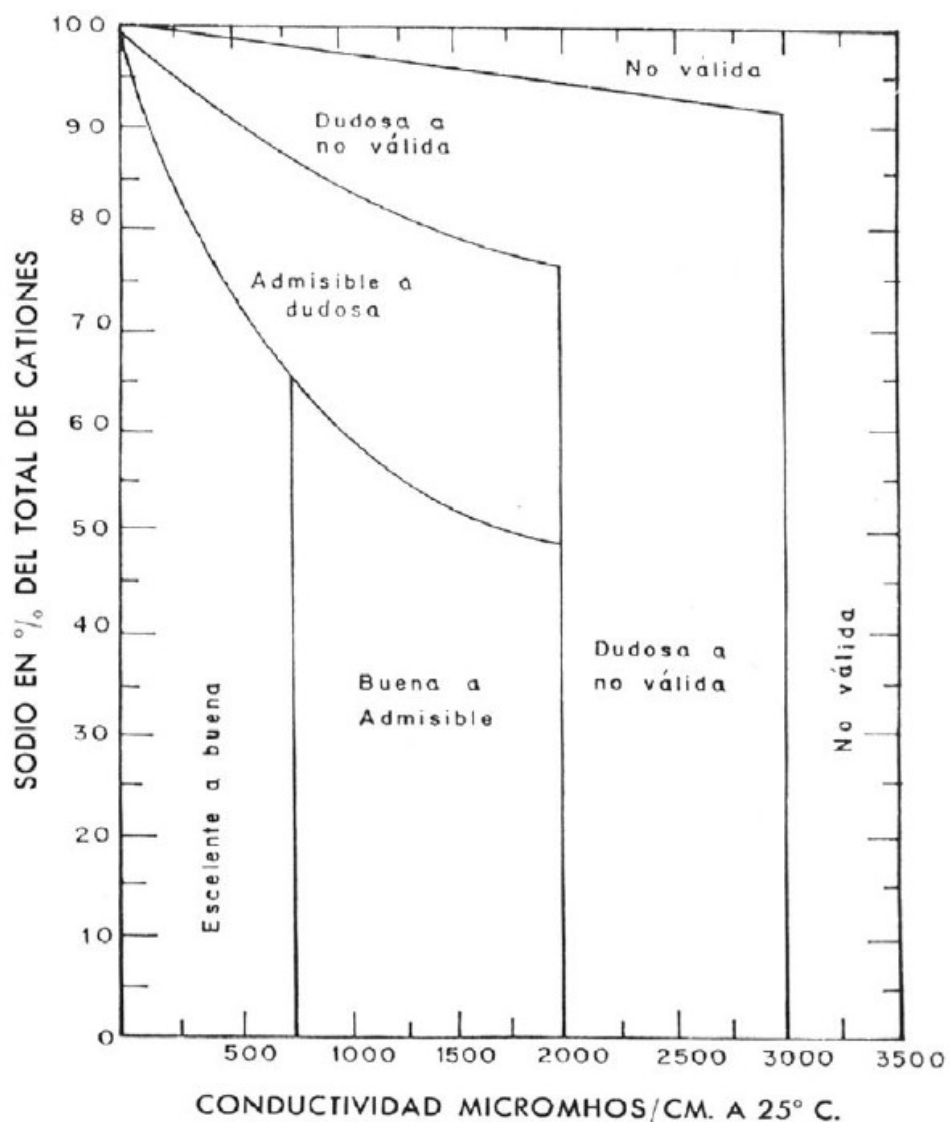


Figura 4. Clasificación de la calidad de agua para riego en función de la concentración de sodio (%) y la conductividad eléctrica ( $\text{micromhos cm}^{-1}$ ) propuesto por Wilcox.

Los análisis de regresión y correlación se realizaron mediante el programa estadístico InfoStat. (Di Rienzo *et al.*, 2011).

## **RESULTADOS y DISCUSIÓN**

En el Anexo 1 del presente trabajo se indica la procedencia de las muestras cuyo análisis químico se detalla en el Anexo 3. Todos los análisis químicos realizados presentaron un error menor al 5% (Anexo 4)

### ÍNDICES DE SALINIDAD

#### - *Conductividad Eléctrica*

Los valores de CE en las muestras analizadas presentaron una gran amplitud, con un máximo de 4,355 dS.m<sup>-1</sup> y un mínimo de 0,187 dS.m<sup>-1</sup> (Tabla 6). Las sales disueltas incrementan el esfuerzo que la planta debe realizar para absorber agua, esta fuerza adicional se denomina potencial osmótico. Este potencial junto con el potencial mátrico son las dos fuerzas que debe vencer la planta para absorber agua, En la medida en que disminuye el contenido de agua y aumenta la concentración de sales, ambos potenciales decrecen y disminuye el agua disponible para los cultivos y ocasionan una reducción en la producción hortícola proporcional al aumento de la salinidad del suelo (Mejía 2002).

Tabla 7. CE de las muestras referidas a 25°C

<b>Muestra</b>	<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>
1	4,355
2	2,426
3	1,709
4	1,244
5	0,161
6	2,196
7	2,154
8	1,635
9	2,177
10	2,788

11	5,475
12	3,67
13	0,187
14	0,203
15	1,875
16	1,921
17	0,728
18	4,040
19	0,800
20	0,830

De acuerdo al criterio de peligro de salinización propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside más del 55% de las muestras analizadas presentan una salinidad media (C-3), Gráfico 1, las cuales solo deben usarse en suelos de permeabilidad moderada a buena, y aún así, efectuar riegos de lavado para evitar que se acumulen las sales en cantidades excesivas para las plantas. Deben seleccionarse cultivos con tolerancia a la salinidad. Es importante destacar que los menores valores de CE (0,161, 0,187 y 0,203) se correspondieron con las muestras obtenidas en Esquel, mientras que las que presentaron altos valores de CE corresponden a Establecimientos de Trenel y Mirasol.

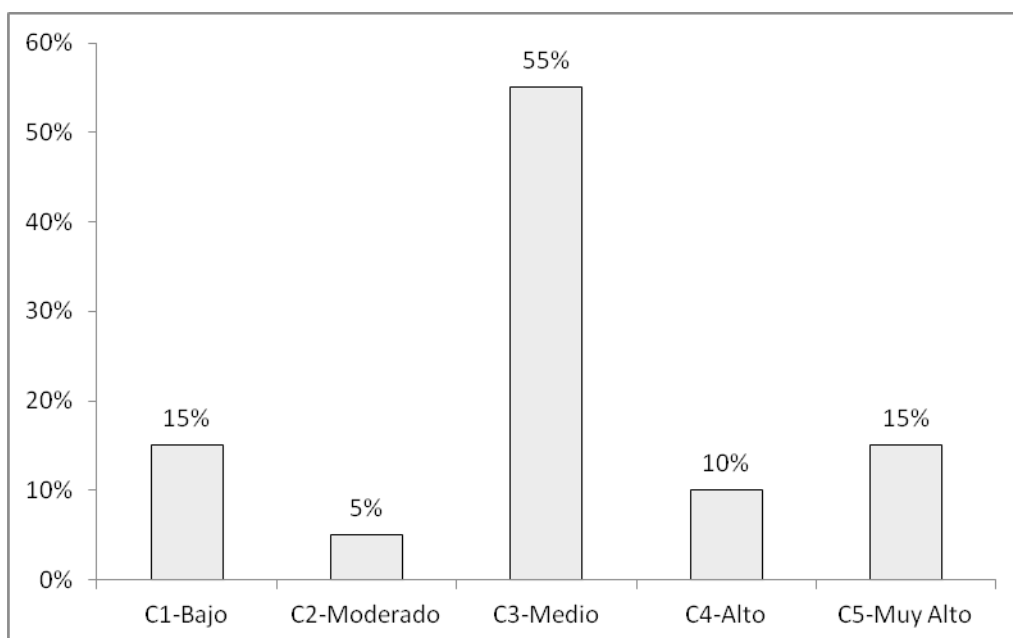


Gráfico 1: Categorización de las muestras analizadas según el peligro de salinización propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

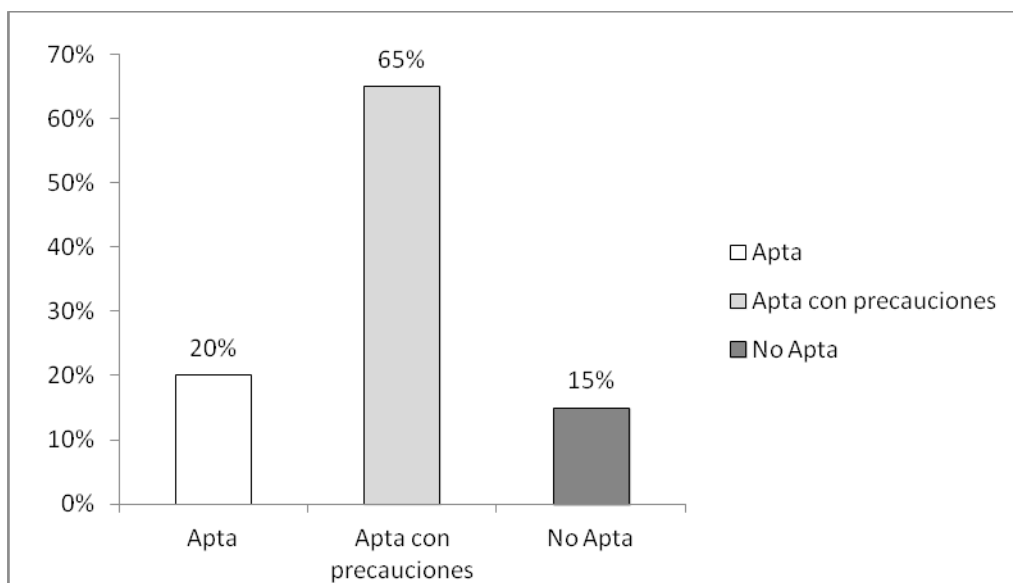


Gráfico 2: Categorización de las muestras analizadas según las restricciones de uso de acuerdo a su contenido en sales, propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

El 15% de las muestras de agua analizadas no son aptas para ser utilizadas en cultivos bajo riego dada su elevada concentración de sales solubles (Gráfico 2). Esta agua, utilizadas en cultivos bajo cubierta, afectan el rendimiento de las especies a través de un efecto osmótico que disminuye, entre otras consecuencias la absorción de agua desde el suelo por las raíces de las plantas (Gomez, 2009).

Cuando las muestras de agua se categorizaron según el criterio de riesgo de salinización propuesto por la FAO el 20 % de las mismas presentaron un contenido de sales que las clasifica en la categoría de riesgo alto (C3) de salinización (Gráfico 3), mientras que el 80% restante presentó una aptitud buena a moderada para su utilización como agua de riego (Gráfico 4), pudiendo ser utilizada en casi todos los cultivos con suelos de buena permeabilidad edáfica. En caso de permeabilidad deficiente del suelo, será necesario elegir el cultivo, evitando aquellos muy sensibles a las sales. Sólo se requerirán riegos de lavado en forma ocasional, en caso de tratarse de cultivos a campo. (Laboratorio de Salinidad de Riverside)



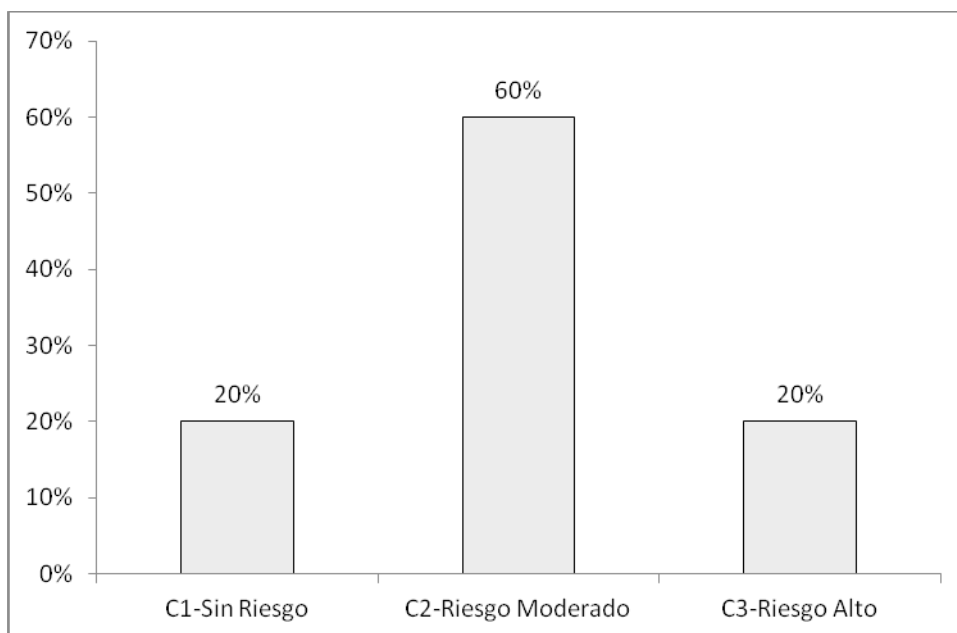


Gráfico 3: Categorización de las muestras analizadas según el peligro de salinización propuesto por la FAO.

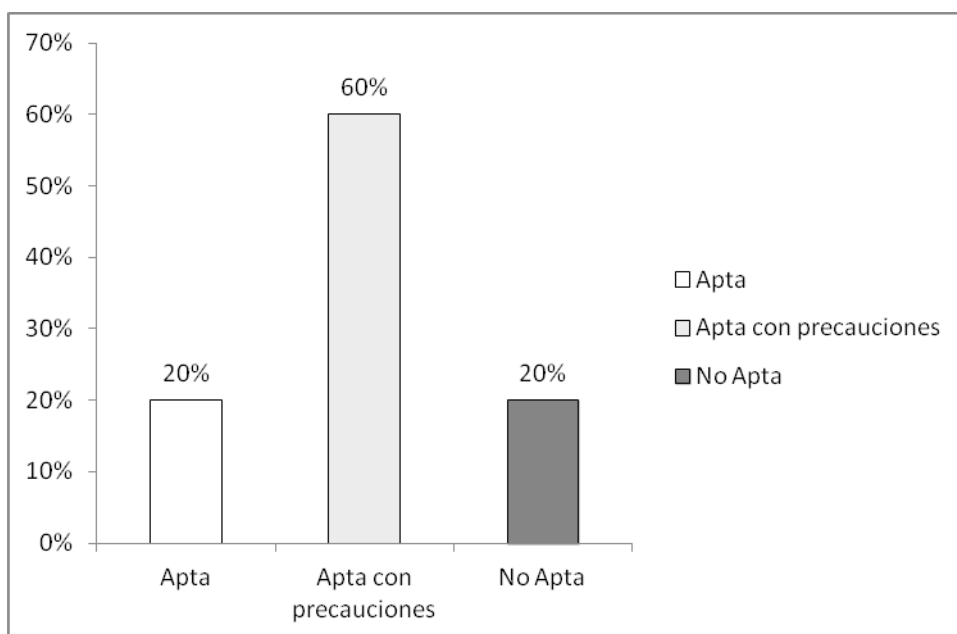


Gráfico 4: Categorización de las muestras analizadas según las restricciones de uso de acuerdo a su contenido en sales, propuesto por la FAO.

En el gráfico 5 puede observarse que al utilizar el criterio de salinidad adoptado por el proyecto IPG-INTA el 55% de las muestras analizadas fueron clasificadas en la categoría más baja(C1) de peligro de salinización y el 30% presentó un riesgo de salinización moderado (C2). Al clasificarlas según las restricciones del uso el 85% de las mismas resultan aptas o aptas con precauciones (Gráfico 6).

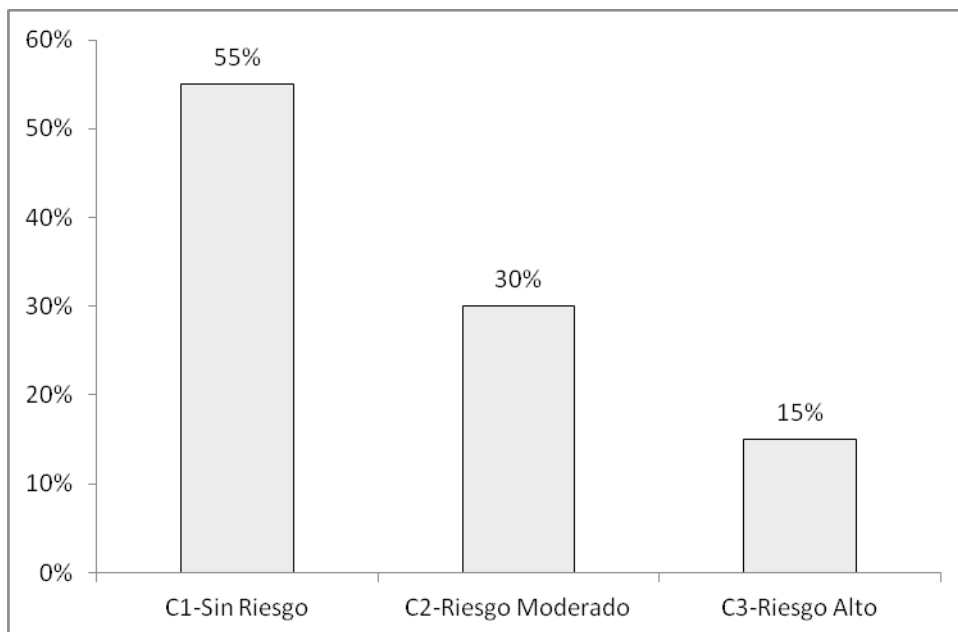


Gráfico 5: Categorización de las muestras analizadas según el peligro de salinización propuesto por el proyecto IPG-INTA.

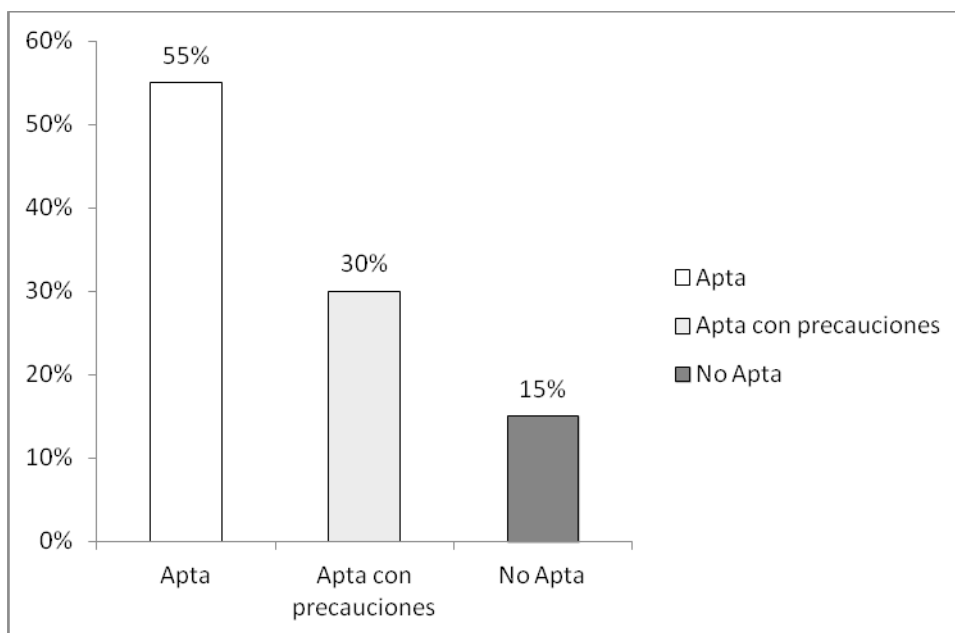


Gráfico 6: Categorización de las muestras analizadas según las restricciones de uso de acuerdo a su contenido en sales, propuesto por el proyecto IPG-INTA.

Al realizar la comparación de los tres criterios utilizados para evaluar el peligro de salinización de las aguas utilizadas para riego, se observa que el propuesto por el proyecto IPG-INTA agrupa un 55% de las muestras en la categoría de mayor aptitud a diferencia de los otros dos criterios (Riverside y FAO) que solo reúne el 20% de las muestras analizadas en ese taxón (Gráfico 7). Estas diferencias se deben a que el criterio propuesto por el proyecto IPG-INTA presenta una mayor amplitud en sus intervalos de categorización ya que fue desarrollado para zonas húmedas, con lluvias otoñales más abundantes que permiten lavar sales acumuladas en el suelo y, con una capa freática a más de 3 m de profundidad. Propone el límite máximo de tolerancia en  $2 \text{ dS.m}^{-1}$ , el cual es considerado adecuado sólo para esas condiciones climáticas (Génova, 2011).

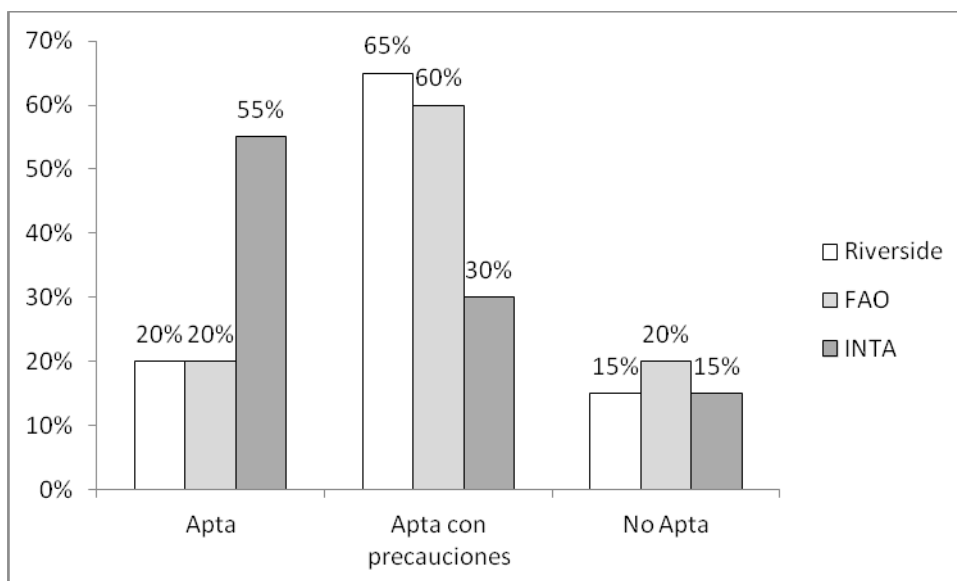


Gráfico 7: Comparación de las muestras analizadas según las restricciones de uso en función de su contenido de sales, de acuerdo a los criterios seleccionados (Riverside, FAO e IPG-INTA).

#### - *Salinidad Efectiva*

Este índice secundario de salinidad no solo tiene en cuenta el contenido de sales solubles sino también su composición química. Ortiz Olgún (2000) cita que en zonas donde el agua presenta mayor proporción de cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en solución, los mismos tienden a precipitarse en el suelo, como carbonatos de calcio y magnesio y como  $\text{CaSO}_4$ . La salinidad promedio de las aguas puede reducirse a la mitad y las sales que permanecen en solución como las sales de  $\text{Na}^+$ , los cloruros de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  y el sulfato de magnesio, representando la llamada “salinidad efectiva” del agua.

Tabla 7. Categorización de las muestras analizadas según las restricciones de uso de acuerdo a su SE

Muestra	SE ( $\text{mmol}_e\text{L}^{-1}$ )	Restricciones de uso
1	41,87	No Apta
2	21,20	No Apta
3	17,31	No Apta
4	9,90	Apta con precauciones
5	0,87	Apta

<b>6</b>	21,60	No Apta
<b>7</b>	20,65	No Apta
<b>8</b>	12,81	Apta con precauciones
<b>9</b>	22,73	No Apta
<b>10</b>	23,91	No Apta
<b>11</b>	51,66	No Apta
<b>12</b>	32,49	No Apta
<b>13</b>	1,13	Apta
<b>14</b>	1,15	Apta
<b>15</b>	17,55	No Apta
<b>16</b>	15,48	No Apta
<b>17</b>	4,35	Apta con precauciones
<b>18</b>	31,42	No Apta
<b>19</b>	6,63	Apta con precauciones
<b>20</b>	6,76	Apta con precauciones

Del análisis de la tabla 7, y de acuerdo al índice de Salinidad Efectiva se observa que, del total de muestras analizadas el 60% presentan severas restricciones de uso, el 25% fue clasificada como apta con precauciones (en ambos casos las muestras provenientes de La Pampa) y el 15% restante, muestras provenientes de Chubut, como apta sin restricciones.

- *Salinidad Potencial*

La salinidad potencial sigue una secuencia con respecto a la salinidad efectiva, ya que una vez precipitadas las sales menos solubles, quedarán en solución, cloruros, sulfatos y bicarbonatos. Estos aniones aumentan considerablemente la presión osmótica y actúan a bajos niveles de humedad. La salinidad potencial nos da una medida del peligro de estas últimas sales en los procesos de salinización de suelos los cuales no permitirán el crecimiento y desarrollo de cultivos a largo plazo (García Hidalgo, 2015).

Tabla 8. Categorización de las muestras analizadas según las restricciones de uso de acuerdo a su SP

<b>Muestra</b>	<b>SP (mmol<sub>c</sub>.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Restricciones de uso</b>
1	31,19	No Apta
2	11,35	Apta con precauciones
3	3,70	Apta con precauciones
4	2,84	Apta con precauciones
5	0,33	Apta
6	10,12	Apta con precauciones
7	12,70	Apta con precauciones
8	9,34	Apta con precauciones
9	13,86	Apta con precauciones
10	15,98	No Apta
11	34,29	No Apta
12	25,24	No Apta
13	0,31	Apta
14	0,31	Apta
15	6,02	Apta con precauciones
16	9,90	Apta con precauciones
17	1,26	Apta
18	23,92	No Apta
19	0,90	Apta
20	1,42	Apta

Según los datos observados en la Tabla 8 y utilizando el índice de Salinidad Potencial como criterio de peligro de salinización, solo el 25% de las muestras analizadas no resultan aptas para su empleo como agua de riego.

Al realizar la correlación entre los diferentes indicadores de salinidad utilizados (CE, SE y SP) se encontró una correlación altamente significativa ( $p < 0,01$ ) entre CE con respecto a SE y SP (Tabla 9).

Tabla 9. Correlación entre los indicadores de peligrosidad salina

	SE	SP
Coefficiente r	0,9903	0,9748
Nivel de significación (p)	<< 0,0001**	<< 0,0001**
N	20	20

Las correlaciones altamente significativas entre los indicadores SE, SP y CE permiten estimar dichos valores a través de la CE. Las ecuaciones de regresión entre los índices mencionados se pueden observar en la tabla 10.

Tabla 10. Ecuaciones de regresión entre indicadores de peligrosidad salina.

Índice	Ecuación	R <sup>2</sup>
SE	9,3053* CE – 0,8054	0,9806 (p<0,01)
SP	7,0710* CE – 3,5964	0,9503 (p<0,01)

Los indicadores del peligro de salinidad muestran que el uso de la mayoría de las aguas seleccionadas para este trabajo debe ser restringido y las mismas deben usarse bajo un cuidadoso manejo de tipo preventivo para no salinizar los suelos. Estos eventuales aumentos en la salinidad del suelo pueden inducir la reducción en la producción de los cultivos hortícolas.

Castellanos y otros (2000) mencionan que el problema de sales se restringe a regiones con limitada precipitación pluvial, donde las lluvias son escasas y erráticas, y no son de suficiente magnitud como para desplazar las sales del perfil del suelo. Los mismos autores especifican que normalmente en regiones con precipitaciones mayores a 600 mm anuales el riesgo de salinización no es elevado cuando el agua utilizada para riego no es de tan mala calidad, por este motivo estas aguas no producirían efectos negativos para ser utilizadas para riego en cultivos a campo, mientras que sí serían problemáticas emplearlas en sistemas de cultivos protegidos

Los tratamientos para prevenir la salinidad en suelos al irrigar con estas aguas incluyen opciones como la ósmosis inversa o la desionización mediante el paso del agua a través de ciertos

tipos de resinas (Ortiz Olguín 2000). Sin embargo, el mismo autor menciona que estos procesos requieren de un gasto energético muy costoso para llevarse a cabo a gran escala. Cuando la producción de cultivos se realiza a campo, una opción es el lavado de suelos, donde las sales se desplacen en el perfil del suelo de la zona radicular del cultivo de manera que estas sean igual a la aportada por el agua de riego. Teniendo en cuenta que en riego por goteo la masa de raíces se concentra en una porción reducida del suelo, las necesidades de lavado van a ser menores que en cualquier otro sistema de riego, representando una importante ventaja para el ahorro de agua. El riego por goteo permite utilizar aguas de menor calidad química (de 1,0 a 2,5 dS m<sup>-1</sup>) donde las sales aportadas que no son utilizadas por la planta se acumulan en la periferia del bulbo mojado de suelo.

Las necesidades de lixiviación representan la fracción de agua que debe percolar para no exceder una determinada conductividad eléctrica del suelo. De acuerdo con Ayres y Westcott, (1985) los requerimientos de lixiviación (RL) para riego por goteo se determinan con la siguiente ecuación:

$$RL = CEa/2 * CEumbral$$

Donde:

RL = Requerimiento mínimo de lixiviación para control de sales con métodos de riego por gravedad (%).

CEa = Salinidad del agua aplicada (dS m<sup>-1</sup>).

CEumbral = Salinidad media del suelo extracto de saturación del suelo tolerada por el cultivo (dS m<sup>-1</sup>).

Si el volumen de agua utilizado para riego es de bajo caudal, no permite la lixiviación de sales, por lo que es necesario realizar lavados periódicos según lo requiera el sistema de producción, pudiendo utilizar el riego por goteo durante un periodo más prolongado de tiempo, para que las dosis de riego sean más elevadas que los de una aplicación normal. Para eliminar estas sales que se acumulan en el perfil de suelo, hay que recurrir a la técnica de lavado con volúmenes de agua más elevados. Este lavado requiere de cálculos y depende mucho del sistema



de riego utilizado. El riego por goteo es uno de los más aconsejados para evitar salinizar el suelo ya que al regar con intervalos menores que otros sistemas permite mantener niveles de humedad altos en el suelo y por lo tanto un potencial mátrico bajo (Gea, 2016)

Flores y otros (1996) mencionan que el método de lavado es la medida de mejoramiento más eficaz para combatir la salinización primaria, así como para prevenir la salinización secundaria. Sin embargo, Otero (1993) aclara que, el lavado de los suelos sin el uso de mejoradores, favorece la penetración del sodio al complejo adsorbente, debido al aumento relativo de la actividad del sodio en solución respecto al calcio y por esto es la necesidad de ampliar la utilización de los mejoradores en todos los suelos salinos como medida preventiva de sodificación.

El uso de mejoradores se basa en la aplicación de sustancias que contienen calcio para que promuevan su aumento en la solución del suelo y se intercambie con el sodio adsorbido para que después sea removido por el lavado. De esta forma el suelo se mantiene floculado y el pH se neutraliza (Aceves, 1987). En caso de ser necesario, se podrá recurrir al establecimiento de cultivos que toleren la salinidad existente. Esta opción es un tanto complicada en el sentido de que no siempre un cultivo tolerante o semitolerante puede sustituir parcial o totalmente a los cultivos hortícolas de importancia económica de la zona por razones de mercado.

## ÍNDICES DE SODICIDAD

### - RAS

Los valores de RAS en las muestras analizadas presentaron una amplia variabilidad, con un valor máximo de 19,87 y un valor mínimo de 0,49 (Tabla 11). Un alto contenido de  $\text{Na}^+$  en el agua de riego, puede inducir elevados valores de porcentaje de sodio de intercambio (PSI) en el suelo, con los efectos consiguientes de pérdida de estructura por dispersión y deterioro de la permeabilidad del mismo (Báez, 1999). La posibilidad de que un agua para fines de riego

ocasiona estos problemas puede evaluarse a través del RAS, propuesto por Richards en 1954, que a pesar de ser empírico es ampliamente empleado por su correlación con el PSI (Báez, 1999).

Tabla 11. Valores de RAS de las muestras de agua analizadas.

Muestra	RAS
1	12,31
2	15,11
3	15,06
4	8,43
5	0,78
6	19,87
7	13,39
8	5,22
9	9,08
10	14,82
11	14,53
12	12,09
13	0,49
14	0,55
15	13,89
16	10,01
17	3,07
18	17,84
19	6,04
20	6,15

De acuerdo al criterio de peligro Laboratorio de Salinidad de analizadas presentan un peligro de pueden usarse en casi todos los del sodio de intercambio se eleve un peligro de sodificación medio suelos de textura gruesa o con textura fina o con drenaje de intercambio, este efecto se aplique yeso (Gráfico 8).

de sodicidad propuesto por el Riverside el 45 % de las muestras sodificación bajo (S1), las cuales suelos sin riesgo de que el nivel demasiado. Y el 50 % presentan (S2), estas aguas pueden usarse en buena permeabilidad. En suelos de deficiente, puede elevarse el sodio puede atenuar en suelo donde se

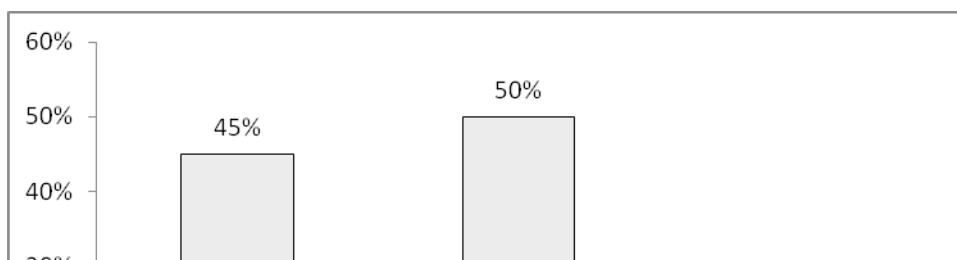


Gráfico 8: Categorización de las muestras analizadas según el peligro de sodificación propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside

Dado los valores de RAS que presentan las muestras de agua analizadas ninguna de ellas resultó no ser apta para riego, y el 55% de las mismas presentan precauciones para su uso (Gráfico 9).

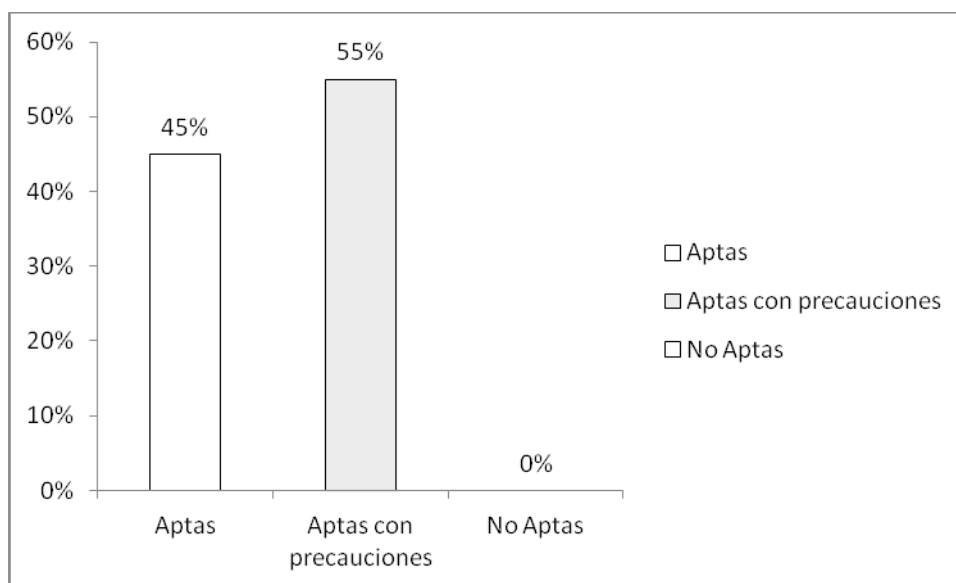


Gráfico 9: Categorización de las muestras analizadas según las restricciones de uso de acuerdo a su RAS, propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

#### - $RAS^{\circ}$

Cuando las muestras de agua se categorizaron según el criterio de riesgo de sodificación propuesto por la FAO el 35 % de las mismas presentan un valor de  $RAS^{\circ}$  tal que las ubica en la categoría de baja a moderada peligrosidad sódica (S1 y S2), mientras que el 65% presentan una alta peligrosidad sódica (Gráfico 10), por tal motivo las aguas agrupadas en esta última categoría (S3) son capaces de originar sodificación en casi todos los tipos de suelo, por lo que se requiere manejos técnicos específicos para mejorar el drenaje y lixiviado como a su vez, medidas correctivas como incorporación de yeso.

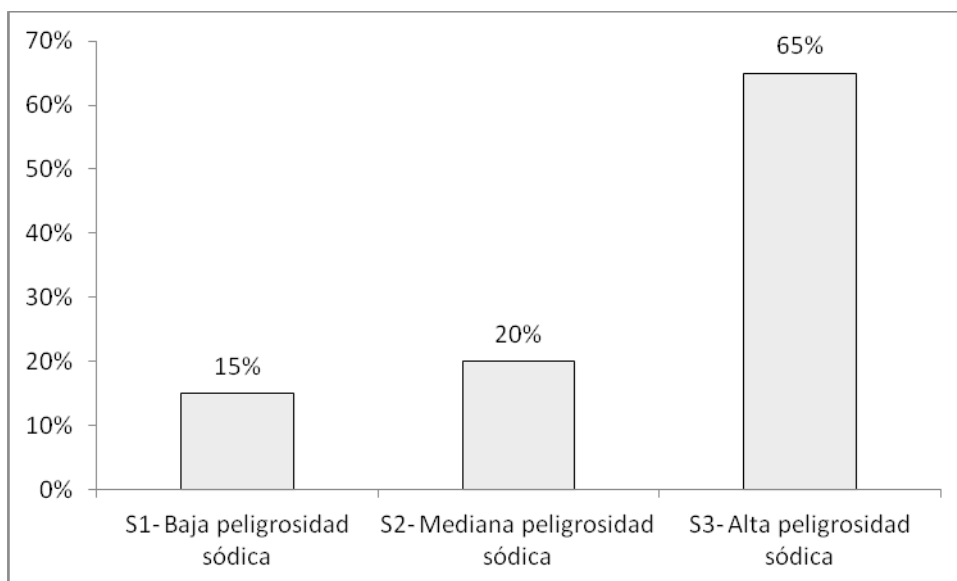


Gráfico 10: Categorización según el peligro de sodificación propuesto por la FAO.

- CSR

Al emplear el índice CSR como criterio de peligro de sodificación el 45% de las muestras analizadas fueron clasificadas como no aptas para riego (Gráfico 11) debido a que en estas condiciones en el agua empleada para riego el contenido de carbonato y bicarbonato es mayor al de calcio y magnesio y una vez que precipitan estas sales, la concentración relativa de sodio se incrementa, pudiendo alcanzar valores que ocasionan el desplazamiento de los iones calcio y magnesio adsorbidos en la superficie del complejo de intercambio del suelo y produciéndose la defloculación del mismo.

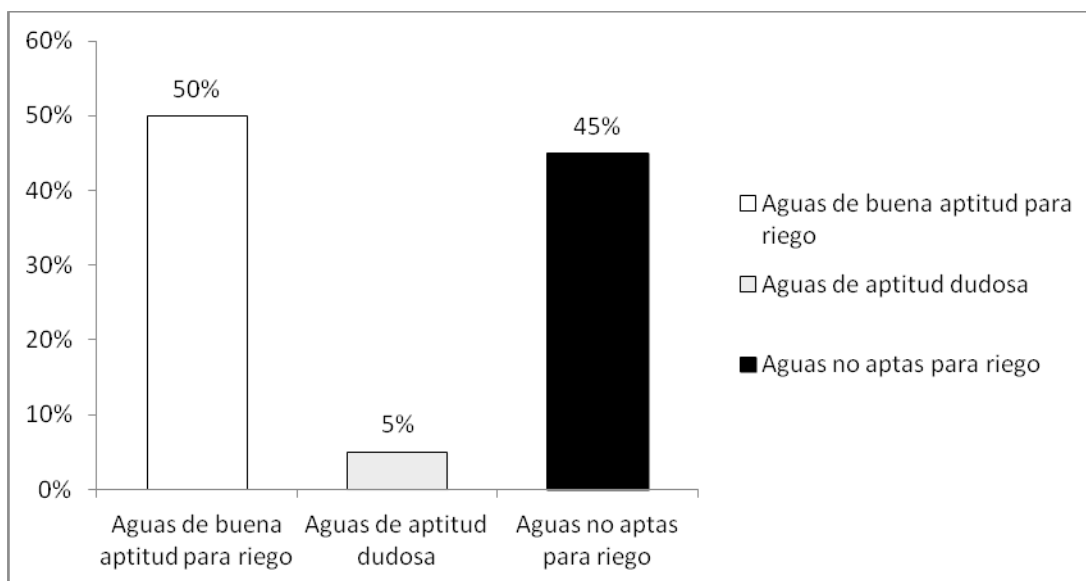


Gráfico 11: Categorización de las muestras analizadas según el peligro de sodificación de acuerdo al CSR.

Los indicadores del peligro de sodicidad muestran que el uso de la mayoría de las aguas seleccionadas para este trabajo debe ser realizado bajo un cuidadoso manejo de tipo preventivo para no sodificar los suelos. El agua de riego, al ingresar en el suelo produce un nuevo equilibrio químico en el mismo. El  $\text{Na}^+$  sustituye al  $\text{Ca}^{2+}$  y al  $\text{Mg}^{2+}$  en el complejo del suelo y cuando alcanza un valor aproximado de un 15 % de PSI, variable según la textura y tipo de arcilla, el proceso de degradación se torna casi irreversible. A medida que aumenta el PSI, las partículas de suelo se hacen más inestables y por lo tanto comienza a producirse una pérdida de la estructura de los mismos (Richards, 1980). Según Báez (1999) los indicadores visuales más comunes para esta situación, son el encostramiento superficial y la compactación del suelo, que en definitiva producen una disminución en la infiltración del agua en el perfil del mismo. Otra consecuencia de la presencia de altos niveles de  $\text{Na}^+$  es el efecto directo de este sobre las plantas produciendo una marcada disminución en los rendimientos de los cultivos hortícolas (Marschner, 1995).

Los perjuicios derivados del incremento en los niveles  $\text{Na}^+$  pueden revertirse, o al menos mitigarse, mediante el empleo de enmiendas dirigidas a provocar el desplazamiento del mismo y disminuir el pH, tales como el yeso o el azufre elemental (Longo *et al.*, 2005). Otras enmiendas procuran mejorar la condición física deteriorada, en este sentido se aplican diferentes abonos

orgánicos frescos o compostados (Choudhary *et al.*, 2002). Los mismos contribuyen a mejorar la condición física y mantener el balance de MO en estas situaciones de altas tasas de mineralización (cultivos bajo cubierta y alta frecuencia de laboreos mecánicos), entre otros beneficios.

Paralelamente, las enmiendas orgánicas podrían propiciar la lixiviación de  $\text{Na}^+$  por síntesis de  $\text{CO}_2$  en su proceso de mineralización. En aplicaciones conjuntas de abonos orgánicos y yeso, el  $\text{Ca}^{2+}$  de este último tiende a reemplazar al  $\text{Na}^+$  en el complejo de intercambio, que por otro lado se halla incrementado por la enmienda orgánica (Qadir *et al.*, 2008). Ambas acciones promueven una mejora estructural. En la práctica, la elección de la enmienda y su dosis, responde más a cuestiones de disponibilidad, costo y tradición, que a criterios con sustento científico (Andreau *et al.*, 2012).

### ÍNDICES DE TOXICIDAD

Los problemas de toxicidad se diferencian de los de salinidad en que ocurren en el interior de las plantas. Se producen cuando un ión absorbido se acumula en las hojas, por efecto de la transpiración, hasta un nivel que daña el cultivo.

Para evaluar el riesgo de toxicidad de las muestras de agua analizadas aplicando el criterio de riesgo de toxicidad de la FAO, se analizaron las concentraciones expresadas en  $\text{mmol}_c\cdot\text{L}^{-1}$  de los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . De acuerdo al criterio propuesto por la FAO el 70% de las muestras analizadas presentan graves problemas de toxicidad con respecto a la concentración de  $\text{Na}^+$  (Gráfico 12). Los síntomas de toxicidad por  $\text{Na}^+$  son el quemado y muerte de tejidos en la periferia de la hoja, comienzan en las hojas más maduras, progresando hacia el centro (Zhilong *et al.*, 2003).

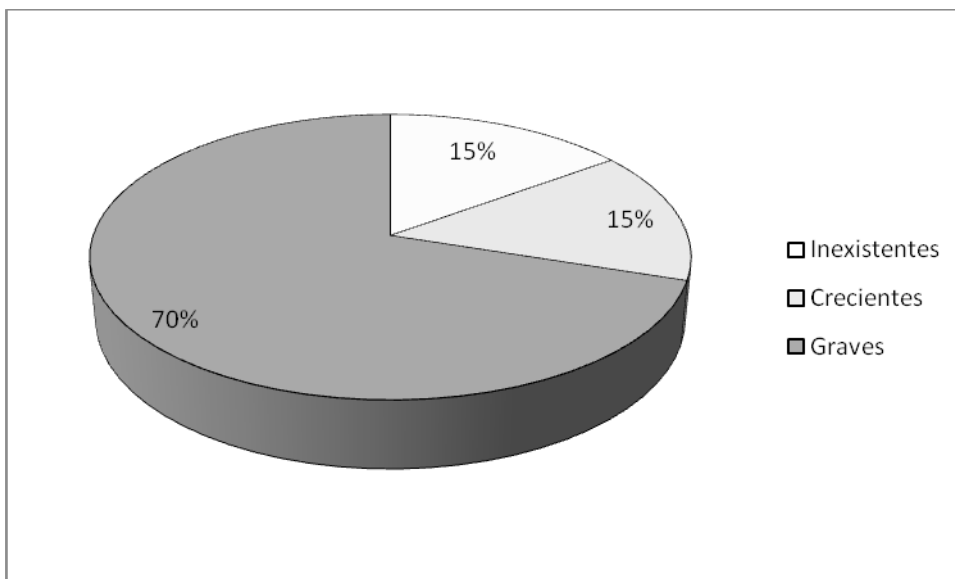


Gráfico 12: Categorización de las muestras de agua analizadas según el peligro de toxicidad por  $\text{Na}^+$  de acuerdo al criterio propuesto por la FAO.

El 25 % de las muestras analizadas presentan graves problemas de toxicidad por  $\text{Cl}^-$  (Gráfico 13). Uno de los efectos tóxicos del estrés salino es que afecta directamente a la productividad de la planta por la acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en las hojas. La acumulación de estos iones pueden alterar el equilibrio iónico, lo que provocan desequilibrio nutricional debido a la obstrucción de otros cationes tales como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  o aniones tales como  $\text{NO}_3^-$  y por lo tanto se expresan los síntomas de deficiencia nutricional (Sariam *et al.*, 2002; Marschner, 1995).

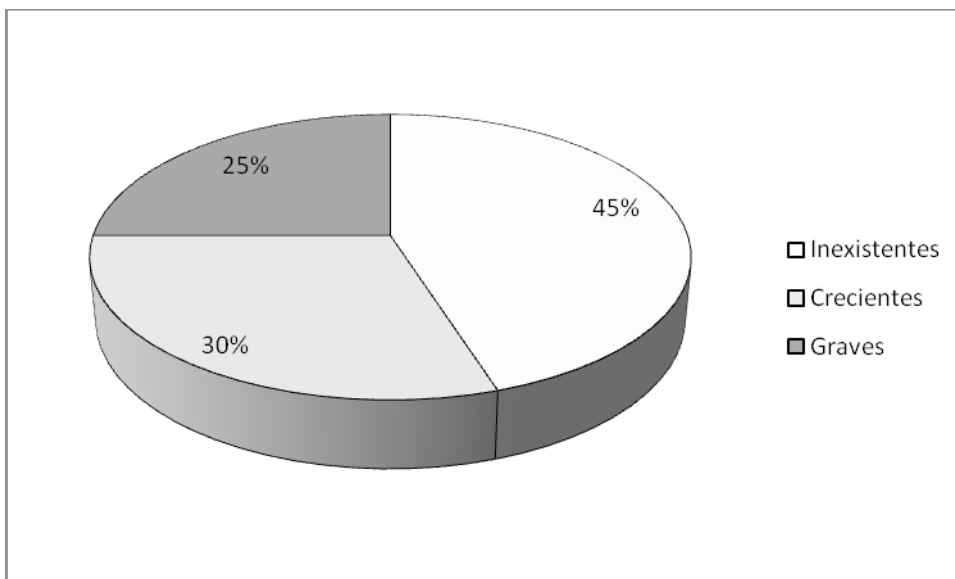


Gráfico 13: Categorización de las muestras de agua analizadas según el peligro de toxicidad por  $\text{Cl}^-$  de acuerdo al criterio propuesto por la FAO.

## NORMAS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

### - *NORMA RIVERSIDE*

La determinación de la calidad de agua para riego por esta norma está muy difundida en el país, debido a que utiliza solo dos índices CE y RAS. Utilizando el Nomograma de Riverside, se puede establecer la calidad del agua para riego (Figura 1) según el riesgo de salinizar o alcalinizar el suelo. Este nomograma está construido con 6 categorías de concentración de sales (CE) y 4 de riesgo de alcalinización (RAS), lo que origina 24 categorías de calidad de aguas. Al utilizar dicho nomograma las muestras de agua analizadas fueron clasificadas como se detalla en el Gráfico 14.



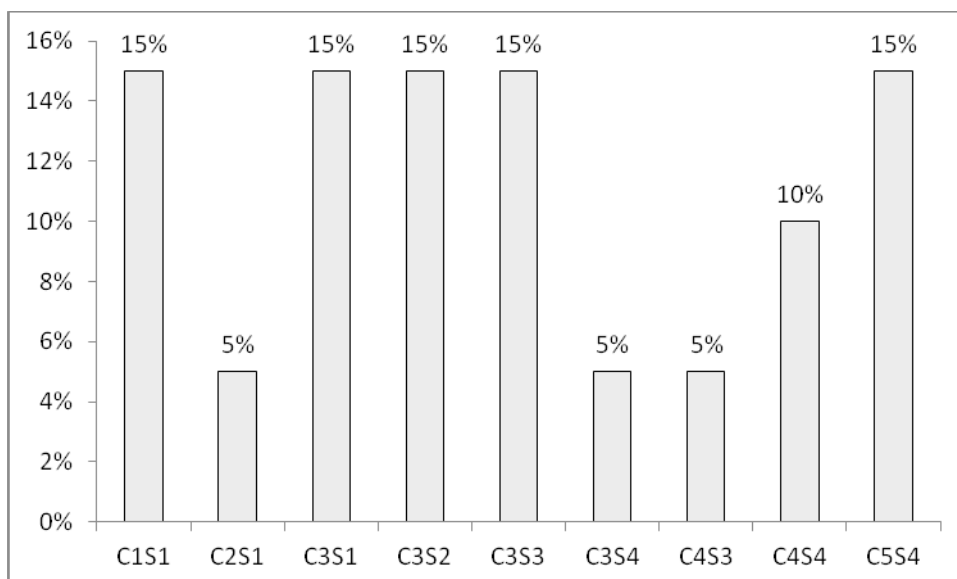


Gráfico 14: Categorización de las muestras de agua de acuerdo al nomograma propuesto por Riverside

El 25 % de las muestras no son aptas para riego (Gráfico 15) de acuerdo a la norma de Riverside, debido a que las mismas están taxonomizadas en las categorías C4S4 y C5S4 (Gráfico 14) dado su alto tenor salino y su RAS, motivo por el cual presentan un alto riesgo de salinización y sodificación del suelo al cual se apliquen.

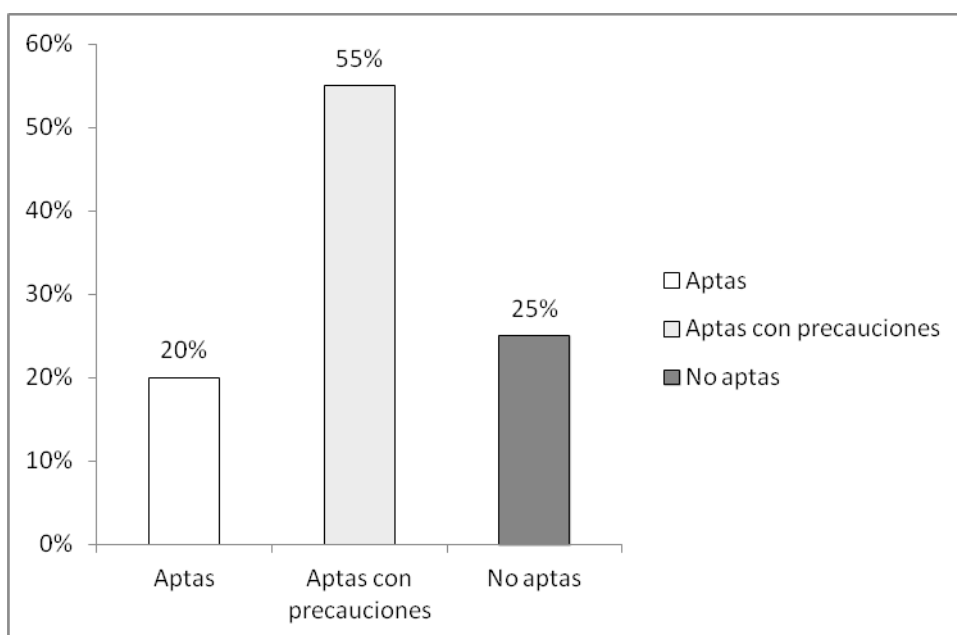


Gráfico 15: Clasificación de la calidad de agua para riego de acuerdo al nomograma propuesto por Riverside

*- NORMA ADOPTADA POR LA FAO*

La FAO simplificó la clasificación adoptada por el Laboratorio de Salinidad de Riverside y propuso sólo tres categorías para el índice de salinidad (CE) y con respecto a la Sodificación, la FAO propuso como índice de sodificación el RAS°, también con tres categorías. Con las categorizaciones mencionadas en el párrafo anterior la FAO diseñó un ábaco con tres taxones de calidad de agua para riego (Figura 2). El cual presenta el inconveniente de que las inclinaciones de las rectas que delimitan cada una de las tres categorías deberían estar invertidas ya que no tiene en cuenta el efecto floculante de las sales que contrarresta el efecto dispersante del sodio, por lo que el riesgo de sodicidad será menor al aumentar la salinidad del agua a igual valor de RAS°.

Al clasificar la calidad para riego de las muestras de agua de acuerdo al ábaco diseñado por la FAO, el 85% de las mismas resultaron ser aptas para riego debido a que no presentaron riesgo o un riesgo leve o moderado de salinización y/o sodificación (Gráfico 16).

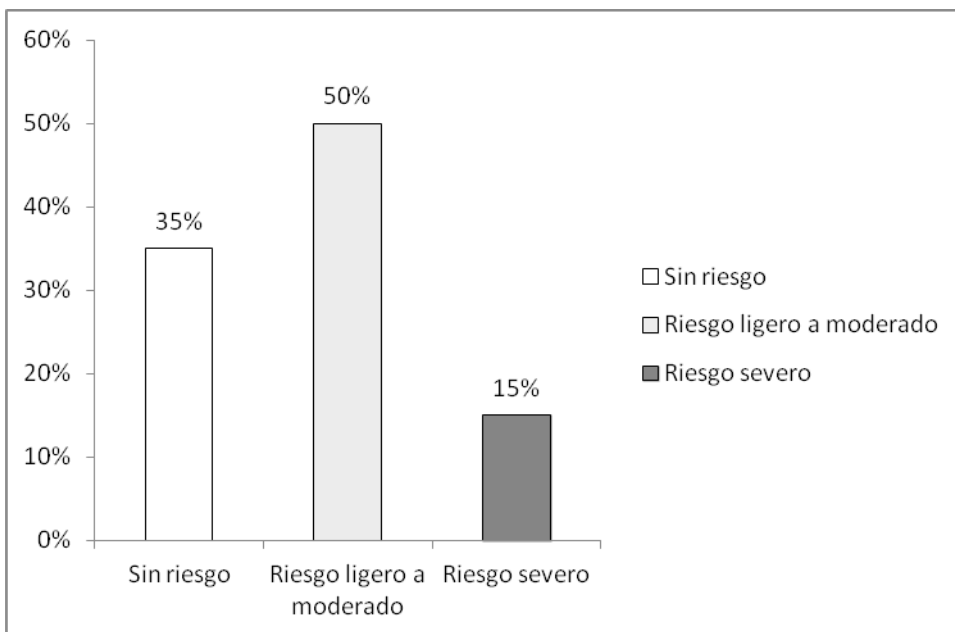


Gráfico 16: Clasificación de la calidad de agua para riego de acuerdo al ábaco propuesto por la FAO.

*- NORMA PROPUESTA POR EL PROYECTO IPG-INTA*

El método propuesto por el Proyecto IPG-INTA (1998) es preliminar, aún en proceso de validación definitiva, pero valioso, porque incorpora conceptos clásicos de las relaciones salinas y sódicas de aguas y suelos regados, ajustando la clasificación con datos de campo para los suelos de las regiones pampeanas.

Al analizar las muestras de agua según las directrices formuladas en el proyecto IPG-INTA, el 45% de las mismas resultaron no aptas para riego (Gráfico 17). Esta elevada inaptitud para su utilización en riego se debe a que esta norma, aunque aún no validada definitivamente, no solo tiene en cuenta la calidad química del agua sino también las condiciones agroclimáticas.

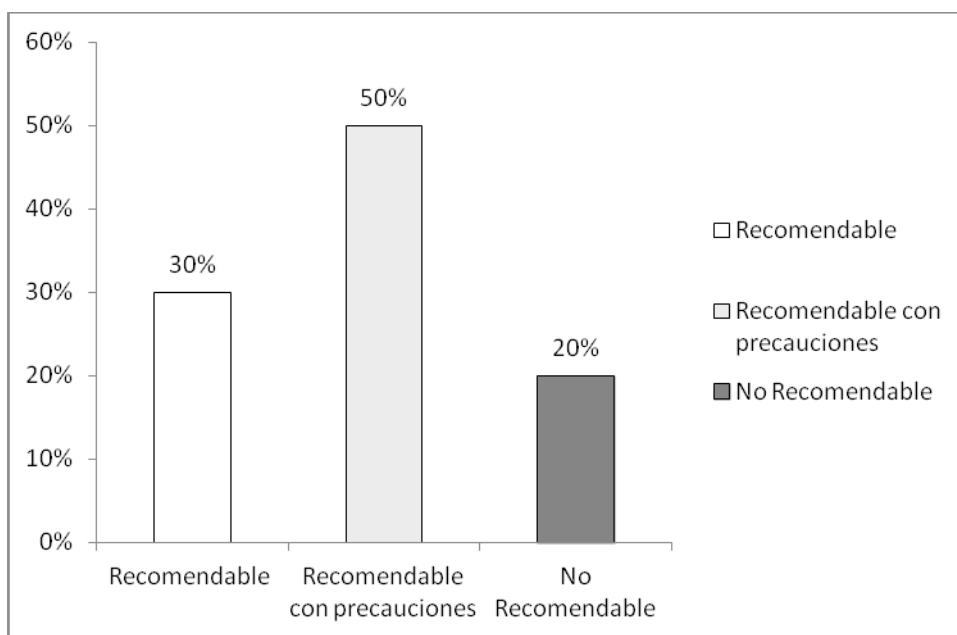


Gráfico 17: Clasificación de la calidad de agua para riego de acuerdo a las directrices formuladas en el marco de proyecto IPG-INTA.

*- NORMA WILCOX*

Utiliza como índice de sodicidad el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y como índice de salinidad la conductividad eléctrica a 25°C. Utiliza un diagrama bidimensional que clasifica la aptitud para riego en 5 categorías (Fig. 3).

El 30 % de las muestras son recomendables para riego sin restricciones (Gráfico 18) de acuerdo a esta norma, debido a que las mismas están taxonomizadas en las categorías excelente a buena y buena a admisible (Gráfico 14) dado su bajo tenor salino ( $CE < 2 \text{ dS.m}^{-1}$ ) y su porcentaje de sodio respecto al total de cationes menor al 50 %, motivo por el cual presentan un bajo riesgo de salinización y sodificación del suelo al cual se apliquen.

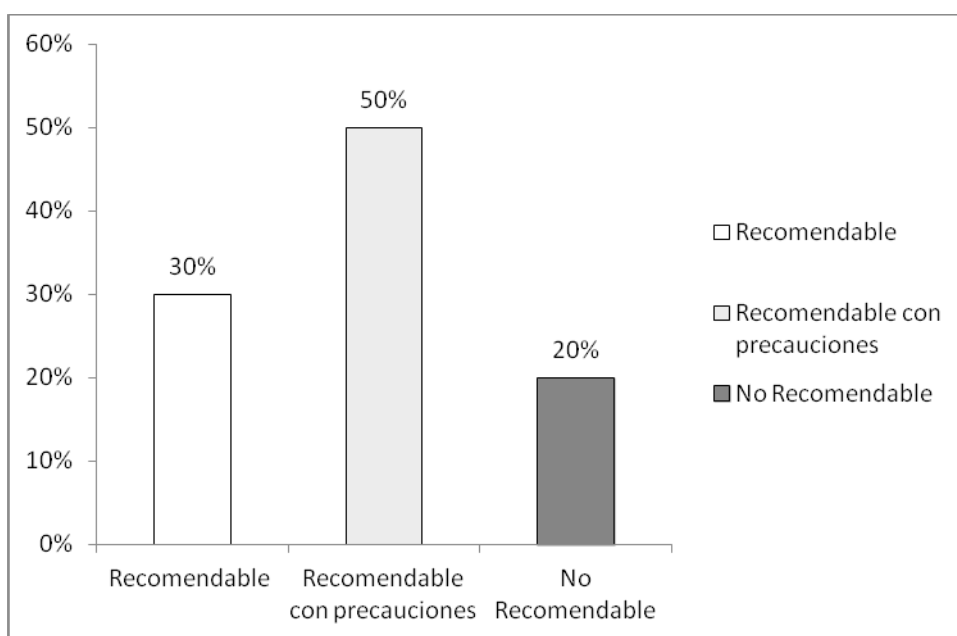
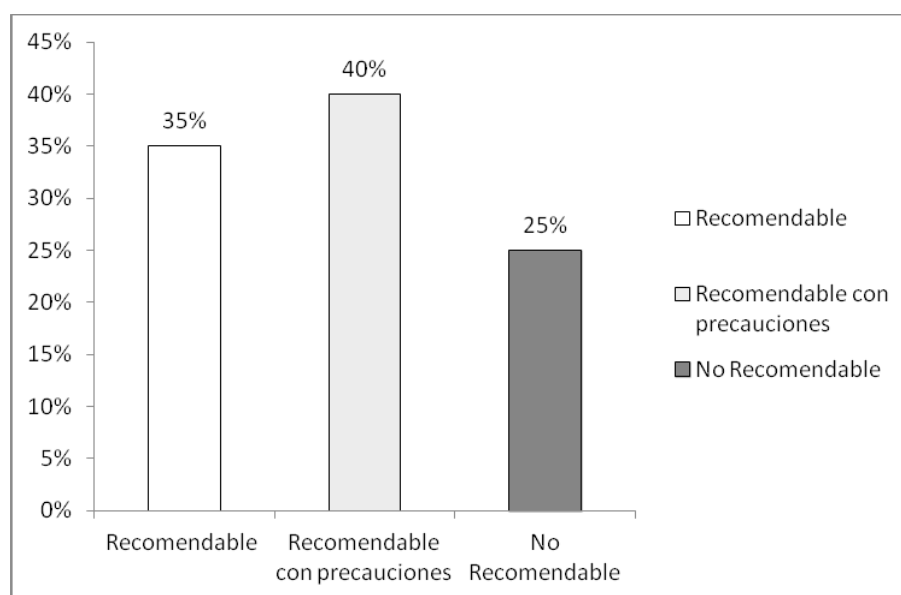


Gráfico 18: Clasificación de la calidad de agua para riego de acuerdo a la norma Wilcox.

#### - NORMA H. GREENE

Fija la calidad de las aguas sobre la base de parámetros similares a los de Wilcox, aunque en lugar de expresar el índice de salinidad en términos de conductividad eléctrica lo hace en milimoles de carga de sales por litro. Tampoco disecciona la gama de calidades en 5 categorías sino que simplifica el modelo basándose en 3 clases.



Cuando las muestras de agua se categorizaron según la norma propuesta por H. Greene, el 35 % de las mismas resultaron recomendables para riego (Gráfico 19), dado que se hallan en la categoría de

buen calidad debido a su bajo tener salino (presentan bajos valores de milimoles de carga de sales por litro) y bajo porcentaje de sodio respecto al total de cationes.

Gráfico 19: Clasificación de la calidad de agua para riego de acuerdo a la norma Greene.

Al realizar la comparación de las cinco normas utilizadas para evaluar la calidad de agua para riego, se observa que la propuesta por el proyecto IPG-INTA engloba un 45% de las muestras en la categoría de menor aptitud a diferencia de las otras cuatro normas utilizadas que solo engloban entre el 15 % y 20% de las muestras analizadas en ese taxón (Gráfico 20). Estas diferencias se deben a que las directrices propuestas por el proyecto IPG-INTA se basan en el análisis conjunto de la naturaleza química del agua, de las propiedades del suelo y de las características climáticas zonales (Génova, 2011)

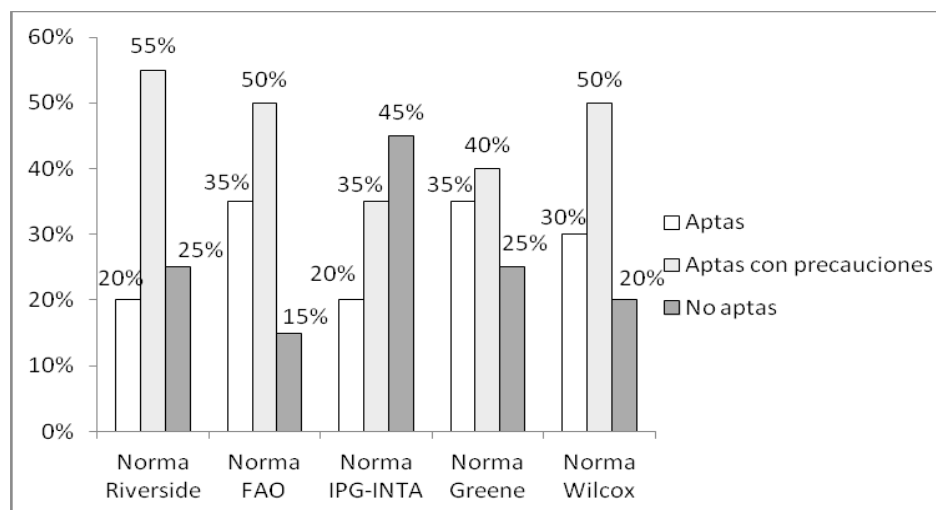


Gráfico 20: Clasificación de la calidad de agua para riego de acuerdo a las normas seleccionadas.

## **CONCLUSIONES**

-Las aguas analizadas son mayoritariamente aptas para ser utilizadas en el riego de cultivos intensivos.

-El riesgo de salinización por el uso de estas aguas es detectado en mayor medida interpretando las mismas por el índice de salinidad denominado Salinidad Efectiva y en menor medida por la Salinidad Potencial.

- Las correlaciones altamente significativas entre la CE con respecto a la SE y SP permiten estimar dichos valores a través de la CE.

- El riesgo de alcalinización por el uso de estas aguas es detectado en mayor medida interpretando las mismas por el RAS<sup>o</sup> y en menor medida por el CSR.

- Las clasificaciones de calidad de agua para riego obtenidas aplicando las diferentes normas seleccionadas establecen mayores coincidencias entre sí sobre el efecto salino que sobre el sódico.

- La norma Riverside resulta inapropiada para estimar el grado de sodificación, a partir de la RAS. De todos modos, se reconoce la validez de la norma con fines identificatorios de clases de aptitud de las aguas, dada su sencillez y uso generalizado.

- El método de la FAO clasifica la calidad de las aguas para riego definiendo grados de restricción al uso con mayor tolerancia respecto de la salinidad y al asociar más fuertemente la relación entre la CE y la RAS° para evaluar la sodicidad, amplía los rangos de tolerancia para aguas que contengan valores altos de ambos indicadores.

- Debido a que tanto los indicadores como las normas que clasifican la aptitud de las aguas para riego presentadas en el presente trabajo, tiene sensibilidad y criterios para su clasificación distintos, es que debe analizarse en el contexto del sistema productivo donde se aplica, para poder decidir de esta manera el manejo a realizar.

- Se considera útil la propuesta de clasificación del Proyecto IPG-INTA, debido a que no solo tiene en cuenta la calidad química del agua sino también las condiciones agroclimáticas y edáficas de elevada importancia para situaciones agronómicas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Aceves, N. E. 1987. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. ISAAC, Fac. Agronomía, Dpto. Suelos y Agroquímica, La Habana. 144 p.
- Andreau., R., Gelati., P., Provaza., M., Bennardi, D., Fernández., D & Vázquez M. 2012. Degradación física y química de dos suelos del cordón hortícola platense: alternativas de tratamiento. Ciencia del Suelo (Argentina) 30(2): 107-117.
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. 1985. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. 174 p.



- Báez, A. 1999. Efecto de la calidad de agua de riego sobre las propiedades del suelo. Monografía para especialista en producción vegetal, UNMP-INTA Balcarce. 53 pp.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle Bueno, A. Aguilar Santelisis. 2000. La calidad del Agua para uso agrícola. *In: Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas*. Ed. INCAPA, 2ª. edición. p. 158-166.
- Choudhary, OP., Josan, AS & Bajwa, MS. 2002. Role of organic materials in mobilizing intrinsic calcium carbonate to ameliorate sodic irrigations. *Proceedings of the 17th World Congress Soil Science, Symposia No. 34, Abstract vol. III (Symposia 22-36)*, pp. 1162.
- Cortés-Jiménez, J.M.; Troyo-Diéguez, E.; Murillo-Amador, B.; García-Hernández, J. L.; Garatuza-Payán, J. y Suh Lee, S. 2009. Índices de Calidad del Agua del acuífero del Valle del Yaqui, Sonora. *Terra Latinoamericana*: 27 (2): 133-141.
- Criterios para la evaluación de la calidad del agua de riego. La calidad del agua y su relación de adsorción de sodio corregida (RAS<sup>0</sup>). [www.laboratoriovenado.com.ar](http://www.laboratoriovenado.com.ar). Junio, 2014.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. *InfoStat versión 2011*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Experiencias Sobre Nuevas Tecnologías Hortícolas en Cultivos Bajo Cubierta. [http://www.ceretlapampa.org.ar/files/experiencias\\_bajo\\_cubierta.pdf](http://www.ceretlapampa.org.ar/files/experiencias_bajo_cubierta.pdf) .70 p. Mayo, 2014.

- FAO. 1987. La Calidad del Agua en la Agricultura. Estudio FAO, Riego y Drenaje, 29, Rev. 1.

Ferrero, M. V. 2004. **Diagnóstico de la situación [hortícola](#) en la Provincia de La Pampa.** [www.biblioteca.unlpam.edu.ar/v11n1a10ferrero.pd](http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/v11n1a10ferrero.pd). Marzo, 2014.

- Flores, D. A., V. Gálvez, O. Hernández, J. G. López, A. Obregón, R. Orellana, L. Otero y M. Valdés. 1996. Salinidad: un nuevo concepto. Universidad de Colima, Universidad Autónoma Metropolitana, Ministerio de Agricultura de Cuba. 137 p.
- García Hidalgo, Y. 2015. Calidad de Agua con fines de Riego. Revista digital de Medio Ambiente “Ojeando la Agenda” N° 35. ISSN 1989-6794.
- Génova, G. 2011. Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa Húmeda Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía: 110 (2): p. 63-81.
- Gea, P. 2016. Riego Localizado. Rao, Estudios y Proyectos S.L.
- Gomez, M.L. 2009. Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del Sur de la Provincia de Córdoba, Argentina. Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 45 (38-43).
- Longo, A., Ferratto J., Mondino M & Grasso R. 2005. Incorporación de azufre y yeso en suelo Salino-sódico: su efecto sobre el rendimiento y calidad de lechuga bajo invernáculo. Ciencias Agrarias 4(1-2): 32-36.
- Manual de Laboratorio para Técnicos Sanitarios. 1973. Obras Sanitarias de La Nación Buenos Aires. Argentina.

- Marschner, H. 1995 . Mineral nutrition of higher plants. *Mineral nutrition of higher plants*. (Ed. 2).
- Mejía, P. J. de los A. Anejo N° 9. 2002. Calidad del agua de riego. [www.uclm.es/área/ing\\_rural/proyectos/02i\\_analisisagua.pdf](http://www.uclm.es/área/ing_rural/proyectos/02i_analisisagua.pdf), p. 331-339. Octubre, 2014.
- Otero, L. 1993. Particularidades del intercambio catiónico de los suelos oscuros plásticos de la provincia Granma, relacionado con su manejo. Tesis doctorado en ciencias agrícolas. Ministerio de agricultura. Instituto de suelos. Cuba. 100
- Ortiz Olguín, M. 2000. La calidad de las aguas de riego. Universidad Autónoma de Chapingo, 53 p.
- Pérez Habiaga, Guillermina; Reinaudi, Nilda B. y Sánchez, Teresa M. 2014. Criterios más importantes para definir la calidad de agua para riego. III Jornadas Ciclo del Agua-UBA. E-Book 1ª Ed. ISBN 978-987-33-6282-8. Página 54.
- Proyecto IPG-INTA. 1998. Proy. Incremento producción de granos. Noviembre 9-10 de 1998. Pergamino. 3 pp.
- Qadir, M., AS Qureshi & SAM Cheraghi. 2008. Extent and characterization of salt affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Deg. Dev.* 19: 214-227.
- Reinaudi, N.B.; Troiani, R. M. de y Sánchez, T.M. 1994. Principales iones de interés ganadero presentes en aguas subterráneas Dpto. Capital de la Provincia de La Pampa. Actas XV Congreso Nac. del Agua. La Plata. Buenos Aires.

- Reinaudi, N.B.; Troiani, R. M. de y Sánchez, T.M. **a**.1996. Principales iones de interés ganadero presentes en aguas subterráneas Dpto. Toay. Actas XVI Congreso Nac. del Agua. San Martín de los Andes. Neuquén. 12-16 de Nov. 1996.
- Reinaudi, N.B.; Troiani, R. M. de; y Sánchez, T.M. **b** 1996.Principales iones de interés ganadero presentes en aguas subterráneas del Dpto. Realicó. Actas VI Jornadas Pampeanas de Cs. Naturales. COPROCNA, 53-57. 4-6 Dic. 1996.
- Reinaudi, N.B.; Sánchez, T.M. y Pérez Habiaga, G. 2013. Criterios más importantes para definir la calidad de agua para riego. Curso Agua en los Agroecosistemas: áridos y semiáridos. F.C.E.y.N. UNLPam. 32 p.
- Rhoades, J. D. and S. D. Merrill. 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: Theoretical and empirical approaches. In Prognosis of salinity and alkalinity. FAO soils bulletin 31, FAO, Rome, pp. 69-110.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, 160p. 172 pp.
- Richards, L. A. 1980. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ed. México. 172 pp.
- Rodier, J. 1981. Análisis de Aguas. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega. 1055 p.
- SAMLA. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de suelos, agua, vegetales y enmiendas orgánicas. 2009. Recopilación de métodos de laboratorio vigentes.

- Sariam R.K., Rao K.V & G.C Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration, Plant Sci. 163: 1037–1046.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. 2010. **Metodología Riego. Programa de Naciones Unidas. [www.pnuma.org](http://www.pnuma.org). Mayo, 2014.**

- Zanotti, N. L.; Suquía, J. I., Sanchez, T. M.; Reinaudi, N. B. Zhilong B., Tadashi I & Yutaka S. 2014. Margen bruto del cultivo de Amaranto (*Amaranthus sp.*) realizado en la zona de Laprida – Buenos Aires. Actas 1º Congreso del Foro de Universidades Nacionales para la agricultura Familiar (Foro UNAF).
- Zhilong B., Tadashi I & Yutaka S. 2003. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. Scientia Horticulturae 99: 215-224.

## **ANEXOS**

ANEXO 1: Procedencia de las muestras analizadas en el presente trabajo.

Muestra	Procedencia	Coordenadas
1	Zona urbana Villa Mirasol	36°05'37" S / 63°53'10" O
2	Establecimiento “ La Quinta” (zona rural Trenel)	35°42'04" S / 64°07'24" O
3	Establecimiento “ La Esquina” (zona rural Trenel)	35°33'50" S / 64°15'37" O
4	Establecimiento “ L. Gancedo” (zona rural Metileo)	35°42'40" S / 63°51'40" O
5	Establecimiento “ Ffens Taid” (Esquel)	42°54'56" S / 71°20'06" O

6	Establecimiento “El Paisaje” (zona rural Trenel)	35°34'53" S / 64°16'49" O
7	Zona urbana Gral. Pico	35°38'52" S / 64°45'46" O
8	Zona urbana Santa Rosa	36°36'30" S / 64°16'18" O
9	Establecimiento “La Lomita” (zona rural Trenel)	35°32'18" S / 64°02'28" O
10	Establecimiento “ El Ruso” (zona rural Metileo)	35°41'11" S / 63°51'04" O
11	Establecimiento “Las Dos Lagunas” (zona rural Trenel)	35°32'05" S / 64°01'29" O
12	Establecimiento “ Hnos Vazallo” (zona rural Trenel)	35°32'09" S / 64°02'29" O
13	Zona urbana Esquel	42°54'47" S / 71°20'09" O
14	Establecimiento “ El Maitenal” (zona rural Esquel)	42°58'27" S / 71°20'31" O
15	Establecimiento “ R. Heinz” (zona rural E. Castex)	36°40'44" S / 64°19'56" O
16	Zona urbana Trenel	35°41'26" S / 64°07'93" O
17	Zona quintas (Toay)	36°39'57" S / 64°22'66" O
18	Zona urbana Bernardo Larroudé	35°01'44" S / 63°35'05" O
19	Zona quintas (Toay)	36°39'34" S / 64°20'55" O
20	Zona urbana Toay	36°40'26" S / 64°22'45" O

ANEXO 2: Concentración de Ca<sup>o</sup> en el agua del suelo, para el cálculo de RAS<sup>o</sup> (RAS corregido)

		Salinidad del agua aplicada (CEa)											
		(dS m <sup>-1</sup> )											
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
	0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
	0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
	0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
	0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
	0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
	0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
	0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
	0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
	0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
	0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
	0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
	1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
Valor de HCO <sub>3</sub> /Ca	1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
	1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
	1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
	2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
	2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
	2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
	3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
	3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
	4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
	4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
	5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
	7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
	10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
	20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
	30,00	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

Adaptado de Ayers y Westcot (1987)

Uso de la tabla: Se ingresa con los valores de CE en dS m<sup>-1</sup> y el cociente entre los valores de bicarbonato y calcio del agua de riego (expresados en mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>). En el cuerpo de la tabla se encuentra el valor de Ca<sup>0</sup> que debe reemplazar el valor de Ca en la ecuación de RAS.

ANEXO 3: Resultado de los análisis químicos realizados a las muestras empleadas en el presente trabajo.

Muestr a	pH	CE (mS/cm)	RS (g/L)	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)
1	8,18	4,355	2,77	0	320,15	878,45	632	100,19	109,90	753,33	12,3
2	8,31	2,426	1,48	0	405,65	191,35	584	30,36	28,54	485	7,5
3	8,28	1,709	0,76	0	640,5	64,36	184,5	23,83	16,64	393,33	4,4
4	8,01	1,244	0,64	0	525,21	64,36	100,5	28,66	15,63	226,66	8,2
5	7,15	0,161	0,11	0	76,86	10,44	3,5	7,08	11,54	14,5	1,7
6	8,25	2,196	0,73	0	550,83	173,95	512	20,24	21,25	539,13	7
7	8,09	2,154	1,48	0	486,78	304,41	404	31,37	30,97	443,48	4,5
8	7,76	1,635	1,28	0	157,99	226,14	291	91,08	32,79	229,17	4,6
9	7,96	2,177	1,08	0	179,34	287,02	566	47,56	63,76	409,38	4,3
10	8,28	2,788	1,25	0	405,65	382,69	510	26,31	44,93	542,11	7,2
11	7,98	5,475	11,8	0	123,83	895,84	887,5	78,16	136,38	923,53	13,1
12	7,91	3,67	1,65	0	183,61	608,83	792,5	76,91	51,13	560	5,6
13	7	0,187	0,42	0	68,32	8,70	5,9	20,24	9,11	10,6	1
14	7,37	0,203	0,02	0	106,75	6,96	11,4	20,24	13,36	13	0,9
15	8,14	1,875	1,24	0	610,61	123,50	249	22,26	24,29	400	8,1
16	7,78	1,921	1,07	0	234,85	217,44	370	22,15	39,08	340	6,3
17	7,80	0,728	0,5350	0,00	358,68	24,82	54,90	36,82	18,41	91,66	7,00
18	7,93	4,040	2,5970	0,00	452,62	633,93	594,00	42,48	48,43	720,00	14,20
19	7,88	0,800	0,5560	0,00	452,62	18,08	37,90	21,95	11,75	141,66	4,40
20	7,98	0,830	0,5440	0,00	418,46	28,01	61,50	26,43	9,91	146,66	4,20

ANEXO 4:



Muestra	CE/RS	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	mmo <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> <sup>1</sup> Cl <sup>-</sup>	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> Ca <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> Mg <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> Na <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> <sup>1</sup> K <sup>+</sup>	mmol <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> cationes	mmoles <sub>c</sub> .L <sup>-1</sup> aniones	% error
1	1,57	0,00	5,25	24,75	12,90	5,01	9,16	32,75	0,32	47,11	42,89	4,69
2	1,64	0,00	6,65	5,39	11,92	1,52	2,38	21,09	0,19	25,10	23,96	2,32
3	2,25	0,00	10,50	1,81	3,77	1,19	1,39	17,10	0,11	16,89	16,08	2,27
4	1,94	0,00	8,61	1,81	2,05	1,43	1,30	9,85	0,21	12,63	12,47	0,64
5	1,46	0,00	1,26	0,29	0,07	0,35	0,96	0,63	0,04	1,67	1,63	0,33
6	3,01	0,00	9,03	4,90	10,45	1,01	1,77	23,44	0,18	26,34	24,38	3,86
7	1,46	0,00	7,98	8,58	8,24	1,57	2,58	19,28	0,12	23,55	24,80	2,59
8	1,28	0,00	2,59	6,37	5,94	4,55	2,73	9,96	0,12	15,36	14,90	2,63
9	2,02	0,00	2,94	8,09	11,55	2,38	5,31	17,80	0,11	24,67	22,58	4,42
10	2,23	0,00	6,65	10,78	10,41	1,32	3,74	23,57	0,18	28,97	27,84	1,98
11	0,46	0,00	2,03	25,24	18,11	3,91	11,36	40,15	0,34	47,57	45,38	4,98
12	2,22	0,00	3,01	17,15	16,17	3,85	4,26	24,35	0,14	32,48	36,33	5,01
13	0,45	0,00	1,12	0,25	0,12	1,01	0,76	0,46	0,03	1,52	1,49	1,57
14	10,15	0,00	1,75	0,20	0,23	1,01	1,11	0,57	0,02	2,23	2,18	0,17
15	1,51	0,00	10,01	3,48	5,08	1,11	2,02	17,39	0,21	20,09	18,57	4,40
16	1,80	0,00	3,85	6,13	7,55	1,11	3,26	14,78	0,16	19,33	17,53	4,88
17	1,36	0,00	5,88	0,70	1,12	1,84	1,53	3,99	0,18	7,72	7,70	0,16
18	1,56	0,00	7,42	17,86	12,12	2,12	4,04	31,30	0,36	37,58	37,40	0,24
19	1,44	0,00	7,42	0,51	0,77	1,10	0,98	6,16	0,11	8,34	8,70	2,11
20	1,53	0,00	6,86	0,79	1,26	1,32	0,83	6,38	0,11	8,52	8,90	2,18