

Calidad del agua usada con fines agrícolas en la República Dominicana

José Cepeda¹

Abstract

Thousands of results of analyzes of soils, water, foliar, organic fertilizers and crop residues remain stored in the agricultural laboratories of the Dominican Republic without being properly used to benefit the country or science, in general. For this reason, three hundred eighty-one (381) samples of irrigation water from 24 provinces of the Dominican Republic were evaluated through descriptive statistics in order to know their general trends. The evaluation was done using already archived analytical results. The variables evaluated, for descriptive purposes, were pH, electrical conductivity (salinity), calcium content, magnesium, sodium, potassium, chlorides, carbonates, bicarbonates, sulfates and the sodium adsorption ratio (RAS) and sodium carbonate residual indices (CRS). In addition, the samples were evaluated for potential irrigation problems using the guidelines of the United Nations Organization for Food and Agriculture (FAO). In the group of selected samples, drainage waters were not included, nor very close to the sea, sewage, industrial waters, treated waters, waters under the influence of saline soils or with suspected contamination. The results indicate that the average pH obtained was 7.7 ± 0.02 , with 94.4% of the waters having a pH greater than 7.0 and 5.5% below 7.0. The foregoing indicates that the vast majority of waters require supplementary application of acids or additives when they are used to prepare nutrient solutions for hydroponics or fertirrigation, also for those agricultural defenses and growth regulators that are most effective when the solutions are acidic. Regarding salinity, the average value was 0.83 ± 0.03 dS / m; 51.2% of the waters had electrical conductivity less than 0.7 dS / m, which is considered very favorable, while 89.7% presented it with less than 1.5 dS / m, which is generally permissible. It is expected that the data obtained from the aforementioned variables can be used as a reference for agricultural laboratories, for research, university teaching and as a general reference for all those people and institutions that are related to water quality or irrigation management..

Keywords: water analysis, salinity, RAS, CRS, saline soils, fertirrigation

Resumen

Miles de resultados de análisis de suelos, aguas, foliares, abonos orgánicos y residuos de cosecha permanecen guardados en los laboratorios agrícolas de la República Dominicana sin que se les dé un uso adecuado que beneficie al país o a la ciencia, en sentido general. Por ese motivo, trescientas ochenta y una (381) muestras de agua de irrigación de 24 provincias de la República Dominicana fueron evaluadas mediante estadísticas descriptivas con la finalidad de conocer las tendencias generales de las mismas. La evaluación se hizo utilizando resultados analíticos ya archivados. Las variables evaluadas, con fines descriptivos, fueron pH, conductividad eléctrica (salinidad), contenido de calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y los índices relación de adsorción de sodio (RAS) y carbonato residual de sodio (CRS). En adición, las muestras fueron evaluadas en busca de potenciales problemas de irrigación utilizando las directrices de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En el grupo de muestras seleccionadas, no se incluyó aguas de drenaje, ni muy próximas al mar, aguas negras, aguas industriales, aguas tratadas, aguas bajo la influencia de suelos salinos o con sospecha de contaminación. Los resultados indican que la media de pH obtenida fue de 7.7 ± 0.02 , encontrándose que el 94.4% de las aguas presentaban pH mayor de 7.0 y un 5.5% por debajo de 7.0. Lo anterior indica que la gran mayoría de las aguas requiere de aplicación suplementaria de ácidos o aditivos cuando las mismas sean usadas para preparar soluciones nutritivas para hidroponía o fertirrigación, igualmente para aquellos defensivos agrícolas y reguladores de crecimiento que son más efectivos cuando las soluciones son ácidas. Con relación a la salinidad, el valor promedio fue de 0.83 ± 0.03 dS/m; un 51.2% de las aguas presentaron conductividad eléctrica menor a 0.7 dS/m, lo cual se considera muy favorable, mientras que un 89.7% la presentó inferior a 1.5 dS/m lo cual es permisible, en sentido general. Se espera que los datos obtenidos de las variables ya mencionadas puedan ser usados de referencia para laboratorios agrícolas, para investigación, docencia universitaria y como referencia general para todas aquellas personas e instituciones que se relacionan con la calidad del agua o con manejo de la irrigación.

Palabras clave: análisis de aguas, salinidad, RAS, CRS, suelos salinos, fertirrigación.

INTRODUCCIÓN

La interpretación de la calidad del agua se hace según los fines para los cuales fue analizada. Análisis de agua se realizan normalmente para fines agrícolas, ambientales, consumo humano y para uso industrial. Estos análisis pueden basarse en determinaciones de características físicas, químicas o biológicas.

En el uso agrícola, pecuario y ambiental, los análisis de aguas sirven para dar apoyo a las investigaciones agrícolas; son herramientas que proporcionan datos para gestionar programas de fertilización vía goteo; mejorar las aplicaciones de productos foliares, herbicidas y otros defensivos agrícolas y medir cambios en los cuerpos

¹Profesor jubilado, Cátedra de Suelos, Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Correo electrónico: jcepeda99@yahoo.com

de agua a lo largo de un periodo de tiempo deseado. También, se utilizan para prevenir problemas futuros de suelo que pueden ser causados por el uso continuo de aguas de mala calidad.

La decisiones y conclusiones relacionadas con el análisis del agua se basan en muestreos realizados en puntos o fincas específicas. Eso significa que no se deben tomar decisiones particulares de manejo en la finca a partir de datos o estadísticas generales como los que se ofrecen en este documento. Sin embargo, puede resultar de interés el conocer de manera general los datos relacionados a aguas de una región o de un país. Estas informaciones ofrecerían una perspectiva de lo que hay y de lo que se podría esperar en caso de enviar una muestra para análisis de agua.

El agua a medida que escurre en la superficie terrestre disuelve y transporta una gran cantidad de iones y partículas, algunas de ellas son nutrientes para las plantas, pero otras pueden ser tóxicas o pueden alterar las características físicas y químicas del suelo. De esta manera, la productividad de los cultivos puede verse afectada positivamente con un agua "normal" o negativamente con un agua de salinidad alta o con una RAS también alta o con otras características indeseables.

Agua con alto contenido de iones puede aumentar la salinidad de los suelos y, en consecuencia, disminuir la productividad de los cultivos. La composición química del agua es importante, siendo beneficioso que en su composición los cationes de calcio y magnesio estén normales o altos y de sodio bajo. En el caso de los aniones, conviene que los cloruros estén bajos. Para la fertirrigación, también es deseable que los bicarbonatos se encuentren bajos.

La salinidad del agua es producto de las sales que contenga disueltas y las mismas dan origen a los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y, en menor grado NO_3^- . La salinidad se evalúa por medio de la conductividad eléctrica. A mayor conductividad, mayor será la concentración de sales en el agua o en el suelo, Richards (1977). Igualmente, a mayor salinidad, mayor será la cantidad de agua de buena calidad necesaria para reducir el contenido de sales en un sustrato o en el suelo. Cuando existe un aumento de la salinidad del suelo, los rendimientos de los cultivos disminuyen, Richards (1977) y Ayers y Wescott (1994). Benton (2006) considera valores permisibles de salinidad en aguas aquellos inferiores a 1.5 dS/m, de manera general.

Las metodologías que se utilizaron para los análisis de aguas de este trabajo se pueden encontrar en diversos documentos, Chapman y Pratt (1979), FAO (1970), Richards (1977), Sadzawka (2006), EPA (1983), Cowan *et al.* (1978) y Aguinaga (1996).

De los cationes presentes en el suelo, el calcio y el magnesio tienen un efecto floculante, favorable a las condiciones físicas del mismo, mientras que el sodio tiene un efecto dispersante, lo que en definitiva reduce la velocidad de infiltración del agua en el terreno, Richards (1977) y Ayers y Wescott (1994). Para evaluar el efecto dispersante del sodio con relación a los coloides del suelo se utiliza la relación de adsorción de sodio (RAS; en inglés SAR) o el RAS ajustado, Richards (1977) y Ayers y Wescott (1994). Esta relación se calcula como sigue:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Donde: Na = Sodio en me/l

Ca = Calcio en me/l

Mg = Magnesio en me/l

Hay que recordar que, contrario al Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , el Na^+ no es un nutriente y, en el suelo, ejerce un efecto dispersante de las arcillas y el humus, perjudicando las condiciones físicas del terreno, Richards (1977) y Ayers y Wescott (1994).

Para la interpretación de la calidad del agua con fines agrícolas y pecuarios, normalmente se recurre a las normas FAO, Ayers y Wescott (1994). Estas normas, Tabla 1, se refieren principalmente a peligro de salinidad, problemas de infiltración, toxicidad específica de iones (sodio, cloruro, boro, elementos trazas) y, en riego por aspersión, al contenido de sodio y de bicarbonatos. Estas normas también ofrecen un rango de pH esperado.

Por otra parte, es importante tomar en cuenta las concentraciones de sulfatos, calcio, magnesio y bicarbonato para fines de preparación de soluciones nutritivas.

Un índice que se utiliza para evaluar problemas de sodio en los suelos es el carbonato residual de sodio (CRS), según Castellón *et al.* 2015, cuando en el agua de riego el contenido de $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$, es mayor que el contenido de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio debido a que por su alta solubilidad puede permanecer en solución, aun después de que han precipitado los carbonatos de calcio y magnesio. Según los mismos autores, bajo estas condiciones, el sodio puede desplazar al calcio y al magnesio del complejo de intercambio dando como resultado la sodificación del suelo y, consecuentemente, a la dispersión de las arcillas. Este índice se calcula como sigue:

$\text{CRS} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$; todos en me/l.

Cuando la diferencia es negativa no existe el problema potencial de sodificación y el valor de CRS puede suponerse a cero, Castellón *et al.* (2015). En el presente trabajo, los valores negativos de CRS que aparecieron fueron redondeados a cero (ver más adelante).

Para la interpretación del CRS Richards (1977) y Castellón *et al.* (2015) utilizan la siguiente escala: Ningún grado de restricción en su uso CRS < 1.25 me/l; restricción leve a moderada de 1.25 a 2.50 y restricción severa > 2.5.

El CRS no es un índice de importancia en hidroponía y fertirrigación en vista de que los ácidos que normalmente se agregan en las soluciones destruyen los carbonatos y bicarbonatos presentes en las aguas.

En resumen, para evaluar el posible daño causado por el sodio con respecto a la alteración de las condiciones físicas del suelo y su efecto tóxico en las plantas, se recurre al RAS, al CRS y a la concentración del sodio y de la propia salinidad evaluada por la CE, Tabla 1.

El pH del agua es importante tanto para hidroponía como para suelo. Para la interpretación del pH hay diferencias en cuanto a su uso; Resh (2004) propone como rango deseable en la solución de 5.8 a 6.4 cuando la misma se usa en hidroponía, mientras Reed (1996), para los mismos fines, propone de 5.6 a 6.2 y Cadahia (2000) de 5.5 a 6.0. Benton (2005), a su vez, propone para hidroponía de 5.4 a 6.8. Como se nota, los intervalos ya indicados son muy cercanos.

Como información general, la FAO señala como valores normales de pH en aguas de riego de 6.5 a 8.4, FAO (1985). ver Tabla 1.

Para agroquímicos, no se tiene un pH único favorable; existen variaciones de pH donde un agroquímico puede funcionar mejor en un medio ácido, neutro o alcalino. Buffer Química (2019) presenta una lista de agroquímicos y los rangos de pH ideales para su mejor desempeño.

Como consecuencia, se utilizan sustancias o aditivos para lograr el pH de la solución que maximiza el efecto de la molécula que se usará como defensivo agrícola o como portadora de nutrientes.

Con relación al pH, Cox (2009) encontró en Massachusetts, en su mayoría las aguas tenían pH alcalino, en rango de 7 a 8.

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una perspectiva química general de la calidad del agua usada con fines agrícolas en la República Dominicana a partir de 381 muestras estudiadas.

Tabla 1 Guía para la interpretación de la calidad del agua de irrigación. FAO (1994)

Potencial problema de irrigación				Unidad	Grado de restricción en el uso		
					Ninguno	Ligero a moderado	Severo
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua para el cultivo) ²							
	CE_w			dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	(o)						
	SDS			mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltración (afecta la tasa de infiltración del agua en el suelo. (Evaluada a través de la CE _w y el RAS juntos) ³							
RAS	= 0 – 3	and CE _w	=		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	= 3 – 6		=		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	= 6 – 12		=		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	= 12 – 20		=		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	= 20 – 40		=		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicidad específica de iones (afecta a cultivos sensibles)							
	Sodio (Na)⁴						
	Riego por superficie			SAR	< 3	3 – 9	> 9
	Riego por aspersión			me/l	< 3	> 3	
	Cloruros (Cl)⁴						
	Riego por superficie			me/l	< 4	4 – 10	> 10
	Riego por aspersión			me/l	< 3	> 3	
	Boro (B)⁵			mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Efectos misceláneos (afecta a cultivos sensibles)							
	Nitrógeno (NO₃ - N)⁶			mg/l	< 5	5 – 30	> 30
	Bicarbonato (HCO₃)						
	(Riego por aspersión solamente)			me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH				Rango Normal 6.5 – 8.4		

CE_w = salinidad del agua de riego; SDS = Sólidos totales disueltos

MATERIALES Y MÉTODOS

Trescientas ochenta y una (381) muestras de resultados de análisis de agua de diferentes fuentes y procedencias fueron tabuladas para conocer medidas de tendencia central referidas a: salinidad (dS/m), pH; los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio (todos en me/l); los aniones cloruros, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos (en me/l). También se estudiaron las relaciones propias de aguas agrícolas: relación de adsorción de sodio (ras) y carbonato residual de sodio (CRS).

En lo concerniente a la analítica, los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} y K^{2+} fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica; pH con un peachímetro; salinidad con un conductímetro, carbonato y bicarbonatos por titulación con ácido sulfúrico diluido en presencia de los indicadores fenolftaleína y anaranjado de metilo, Reyes (2008); sulfatos por turbidimetría, EPA (1983) y cloruros por titulación con nitrato de plata, Sadzawka (2006), FAO (1970) y Aguinaga (1996). Solo 321 de las 387 muestras fueron analizadas para aniones, esto así porque muchas veces los interesados solo solicitan pH, CE y cationes, mientras que otros solicitan tanto cationes como aniones.

Los valores concernientes a esas variables fueron evaluados mediante estadística descriptiva, específicamente media, mediana, máximo, mínimo, desviación estándar, error estándar y moda. Además, para cualificar el grado de restricción en el uso del agua, se utilizaron las directrices dadas por la FAO, Ayers y Wescott (1994), FAO (1985), Richards (1977) y Castellón *et al.* (2015) para el CRS.

Todas las muestras estudiadas corresponden a datos archivados, no a un estudio directo donde las aguas fueron tomadas especialmente para esta investigación. Esto se hizo para aprovechar los datos guardados en los laboratorios, dado que, con el paso del tiempo, miles de resultados de análisis de suelo, agua, foliares y materiales varios se pierden en los archivos físicos y digitales. Sin embargo, esos datos archivados pueden aportar informaciones generales útiles que pueden servir a fines apropiados para la docencia universitaria o para conocer mejor las características de las aguas de un país.

Las muestras de agua provenían de la mayoría de las provincias dominicanas, excepto ocho provincias: El Seibo, Puerto Plata, Pedernales, Dajabón, Elías piña, María Trinidad Sánchez, Samaná y Santiago Rodríguez.

Las muestras fueron discriminadas de tal manera que los resultados que se presentan más adelante corresponden a muestras de canales, ríos, arroyos, reservorios, pozos y lagunas. No se incluyen aguas potables, industriales, lagos, aguas tratadas por razones diversas ni aguas negras. Tampoco aguas de pozo de regiones salinas, ni aguas de río en contacto con agua de mar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un resumen de los datos procesados de 381 muestras se ofrece en la Tabla 2.

pH: El pH promedio fue de 7.7 ± 0.02 con un máximo de 8.6 y un mínimo de 6.2. Al desglosar estos valores y presentarlos en la Tabla 3, se observa que apenas un 5.5 % de las aguas presentaron un valor de pH inferior a 6.9, mientras tanto, un 70% presentó pH comprendido entre 7.0 y 7.9 y un 24.4% uno superior a 8.0. Estos resultados son similares a los ofrecidos por Cox (2009) en un estudio en Massachusetts, quien reportó que la mayoría de las aguas de esa zona son alcalinas.

Los resultados de pH tienen implicaciones para la República Dominicana en cuanto al manejo de herbicidas, reguladores de crecimiento, abonos foliares y en el uso de soluciones nutritivas para ser usadas en invernaderos y sustratos. Existen casos de productos que requieren que la solución sea ácida.

Bicarbonatos: la media fue de 4.2 ± 0.11 me/l con una mediana de 4.0, un máximo de 11.1 y un mínimo de 0.82. La Tabla 4 indica que un 3.7% de las aguas presentaron un contenido inferior a 1.5; un 94.4 entre 1.5 y 8.5 y un 1.9% superior a 8.5. Un 96% de las aguas podrían representar algún peligro moderado o alto en riego por aspersión según norma FAO 1985. Probablemente, ese mismo porcentaje indica la necesidad de acidificar el agua para cuando se usen defensivos agrícolas, reguladores de crecimiento y para aplicaciones de fertilizantes vía riego por goteo.

Salinidad: la conductividad eléctrica (CE) presentó un valor promedio de 0.83 ± 0.03 dS/m ($830 \mu\text{mho/cm}$) con una mediana de 0.69 dS/m; un máximo de 3.59 dS/m (agua de pozo) y mínimo de 0.10 dS/m.

La Tabla 5, muestra que un 51.2% de las aguas presentaron CE inferior a 0.7 dS/m (aguas que son consideradas normales o deseables), según norma FAO (1985); mientras que un 48% presentó valores entre 0.7 y 3.0 (correspondiente a un peligro de salinidad medio, según FAO (1985). Sólo un 0.8% de las aguas presentaron un peligro de salinidad alto.

De las 381 muestras, 342 (89.7%) presentaron CE inferior a 1.5 dS/m algo que es considerado por Benton (2006) como permisible, en sentido general.

Sodio: en las 381 muestras la media obtenida fue de 3.1 ± 0.18 me/l y la mediana de 2.0 indicando de nuevo que algunos valores extremos en esta variable afectaron el valor de la media. La Tabla 6, muestra que el 63.2% de las muestras registraron valores inferiores a 3 me/l (deseable para riego por aspersión) y un 36.7% valores superiores a 3 (no deseable para aspersión).

Tabla 2. Resumen de resultados correspondiente a 381 muestras de aguas usadas para irrigación en la República Dominicana

Criterio	pH	C.E. dS/m	me l ⁻¹			
			Ca	Mg	Na	K
Promedio	7.7	0.83	3.47	2.23	3.12	0.08
Mediana	7.7	0.69	3.25	1.94	1.97	0.05
Máximo	8.6	3.59	17.13	16.08	22.42	2.39
Mínimo	6.2	0.10	0.35	0.17	0.03	0.00
Std	0.42	0.53	2.11	1.71	3.42	0.15
Moda	7.8	0.66	2.12	3.00	0.62	0.04
Error estándar (EE)	0.02	0.03	0.11	0.09	0.18	0.01
Conteo	381	381	381	381	381	381

Criterio	me l ⁻¹					
	Cl-	HCO ₃ -	CO ₃ =	SO ₄ =	RAS	CRS ¹
Promedio	2.34	4.21	0.32	1.75	1.78	0.35
Mediana	1.04	4.01	0.29	0.71	1.26	0.00
Máximo	23.74	11.14	1.09	23.40	15.99	7.87
Mínimo	0.06	0.82	0.00	0.00	0.02	0.00
Std	3.26	1.90	0.28	2.48	1.94	1.07
Moda	0.24	5.14	0.00	0.36	0.10	0.00
Error estándar (EE)	0.18	0.11	0.02	0.15	0.10	0.06
Conteo	321	321	321	285	381	321

¹ Valores negativos de CRS fueron redondeados a cero; eso explica que la mediana sea igual a cero.

Tabla 3 Distribución de rangos de pH en 381 muestras de aguas de irrigación

pH	n	%	Comentarios
<6	0	0.0	No se encontraron valores
5.5-6.4	1	0.3	Muy favorable para hidroponía y fertirrigación ¹
6.5-6.9	20	5.2	Favorable para riego en sentido general
7.0-7.9	267	70.1	Pueden precipitar los micronutrientes ²
>8.0	93	24.4	Reduce la absorción micronutrientes ²

¹Rango sugerido (promediado) a partir de Resh (2004), Reed (1996), Cadahia (2000) y Benton (2005).

²Algunos defensivos agrícolas y reguladores de crecimiento pierden efectividad a estos valores de pH

Tabla 4 Distribución de los datos para bicarbonatos

HCO ₃ ⁻ me l ⁻¹	n	%	Comentarios
<1.5	12	3.7	Deseable para aspersión FAO (1985)
1.5-8.5	303	94.4	Peligro moderado en aspersión
>8.5	6	1.9	No deseable para riego por aspersión

Tabla 5 Distribución de rangos de salinidad en 381 muestras de aguas de irrigación

CE dS m ⁻¹	n	%	Comentarios
<0.7	195	51.2	Deseable o normal según FAO (1985)
0.7-3.0	183	48.0	Peligro moderado de salinidad
>3.0	3	0.8	Peligro salinización alto según FAO

Para riego por superficie, un 6.8% de las muestras mostraron valores de sodio superiores a 9.0 me l⁻¹ indeseables para ese tipo de riego, Tabla 6.

CRS: un 92.2% de las muestras estudiadas no presentaron riesgos de sodificación evaluadas a través del CRS; solamente un 4.0% presentaron restricción severa en su uso en cuanto a este índice, Tabla 7. En México, May-Pat *et al.* (2016) encontraron valores de CRS comprendidos entre 0 y 3; en donde un 98.2% de las 57 muestras evaluadas tenían un valor de CRS menor a 2.5. La media general en el presente estudio para el CRS fue de 0.35±0.06, Tabla 2.

RAS: Un alto 84% de las muestras de agua presentaron valores de RAS inferiores a 3, lo cual se considera muy favorable, especialmente cuando la CE del agua es, al menos, superior a 0.7 dS/m, Tabla 8.

Cloruros: La media fue de 2.3±0.18 me/l y la mediana de 1.04, lo cual indica que algunos valores extremos afectaron el valor de la media. La Tabla 9, indica que el 77.2% de las muestras presentaron valores inferiores a 3 me/l lo que se considera deseable para riego por aspersión y un 22.7% mayor de 3 (riesgo moderado para riego por aspersión), según FAO (1985).

Se destaca que los datos ofrecidos aquí no deben usarse para recomendaciones de fincas específicas. Los mismos pueden resultar de utilidad para docencia y para tener ideas generales de las características químicas de las fuentes de agua de la República Dominicana. También pueden servir de referencia para los laboratorios de suelos y aguas que se encuentran activos en nuestro país.

Hay que destacar que se deben esperar cambios en los resultados analíticos por muestra de agua (rio o pozo), según el muestreo se realice en época de sequía o lluviosa.

Tabla 6 Distribución del sodio en las muestras de agua

Na me l ⁻¹	n	%	Comentarios ¹
Para riego por aspersión			
<3.0	241	63.2	Deseable para riego por aspersión
>3.0	140	36.7	No deseable para aspersión
Para riego por superficie			
<3.0	241	63.2	Deseable para riego por superficie
3.0-9.0	114	29.9	Peligro moderado en superficie
>9.0	26	6.8	No deseable en riego por superficie

¹ según FAO (1985)

Tabla 7 Distribución de datos para carbonato residual de sodio (CRS)

CRS me l ⁻¹	n	%	Comentarios ¹
<1.25	296	92.2	Sin riesgo en su uso
1.25-2.50	12	3.7	Peligro leve a moderado para los suelos
>2.50	13	4.0	Restricción severa al usarse en suelos

¹ Fuente: Richards (1977) y Castellón *et al.* (2015)

Tabla 8 Distribución de rangos de RAS en 381 muestras de aguas de irrigación relacionados a potenciales problemas de infiltración

RAS	n	%	Comentarios ¹
0-3	320	84.0	Si CE>0.7 no hay problemas infiltración
3-6	46	12.1	Si CE>1.2 no hay problemas infiltración
6-12	13	3.4	Si CE>1.9 no hay problemas infiltración
12-20	2	0.5	Si CE>2.9 no hay problemas infiltración
20-40	0	0.0	Si CE>5.0 no hay problemas infiltración

Tabla 9 Distribución de los datos para cloruros y su peligrosidad potencial en riego por aspersión

Cl ⁻ me l ⁻¹	n	%	Comentarios ¹
<3.0	248	77.2	Deseable para riego aspersión
>3.0	73	22.7	Riesgo moderado en aspersión

¹ Según FAO (1985)

CONCLUSIONES

El resultado más relevante de este estudio es que un 94% de las aguas de la República Dominicana son alcalinas y resulta raro encontrar aguas ácidas a campo abierto, sean aguas de pozo, canal o ríos.

En cuanto a la salinidad, las aguas, por lo general, tienen valores inferiores a 1.5 dS/m (89.7%) lo que las hace adecuadas para riego en suelo y aceptables para riego en sustratos. Más de la mitad de las aguas evaluadas resultaron ideales para irrigar suelos o sustratos (con salinidad inferior a 0.7 dS/m). Apenas un 0.8% de las aguas presentó un peligro de salinidad alto.

Las aguas requieren aditivos acidificantes debido a los altos valores de bicarbonatos que fueron encontrados durante esta investigación. La combinación de pH altos y bicarbonatos hace casi seguro el uso de ácidos para la fertirrigación.

Los datos obtenidos en este estudio sugieren que el peligro potencial de sodio en las aguas evaluadas es bajo o mediano para riego por superficie, mientras que si es para riego por aspersión podría alcanzar un 37%.

Los resultados ofrecen una perspectiva general de las aguas para media, mediana, moda, desviación estándar, error estándar, máximo y mínimo de las variables consideradas en este trabajo se presentan en la Tabla 2.

RECONOCIMIENTOS

Dado que es posible la aparición de aguas con problemas a los ya mencionados, se recomienda que las aguas de una finca o invernadero sean analizadas para potenciales problemas de irrigación al menos cada 18 meses.

AGRADECIMIENTO

A la doctora Cristina Gómez Moya, por sus atinadas sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Aguinaga, S. 1996. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. Laboratorio de la Dirección Nacional de Medio Ambiente. UY. (En Línea). Revisado el 17 de octubre de 2019. Disponible en: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinamica.pdf
- Ayers, R.; Wescott, D. 1994. Water quality for agriculture. Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, IT). FAO Irrigación and Drainage Paper 29. Rome.
- Benton, J. 2005. Hydroponics: A practical guide for the soilless grower. Second Edition. CRC Press. Boca Raton. US. 423 p.
- Buffer Química. 2019. Tabla de nivelación de pH (para agroquímicos). (En Línea). Revisado el 17 de octubre de 2019. Disponible en: http://www.bufferquimica.com/imagenes/tabla_ph_buffer.pdf
- Cadahia, C. 2000. Fertirrigación de cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. ES. 475 p.
- Castellón, J.; Bernal, R.; Hernández, M. 2015. Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. Ingeniería, vol. 19, núm. 1, pp. 39-50. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, MX
- Chapman, H.; Parker, P. 1979. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México. MX. 195 p.
- Cox, D. 2009. Umass Extension Floriculture Water Quality Project II: pH, Alkalinity, Calcium, Magnesium and other elements. Universidad de Massachusetts. US. (En Línea). Revisado el 17 de octubre de 2019. Disponible en: http://www.umass.edu/umext/floriculture/factsheets/greenhouse_management/water_project2.htm
- Cowan, P.; Porcella, D.; Adams, V.; Gardner, L. 1978. Water quality analysis laboratory procedures syllabus. Utah Water Research Laboratory. Utah State University. US. Paper 520. (En Línea). Revisado el 17 de octubre de 2019. Disponible en: https://digitalcommons.usu.edu/water_rep/520/
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 1983. Methods for chemical analysis of water and wastes. Office of Research and Development. Washington DC. EPA/600/4-79/020. US.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre suelos 10. FAO. Roma. 252 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1985. La calidad del agua para la agricultura. FAO Corporate Document Repository. Roma. (En Línea). Revisado el 17 de octubre de 2019. Disponible en: www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm
- May-Pat, J.; Ortega-Escobar, H.; Can-Chulim, A.; García-Paredes, J.; Bojorquez-Serrano, J.; Madueño-Molina, A.; Cruz-Crespo, E. 2016. Calidad del agua para riego agrícola del sistema hidrográfico Lerma-Chapala-Santiago. Universidad Autónoma de Nayarit. México, MX.
- Reed, D. 1996. Water, media and nutrition. Ball Publishing. Batavia. Illinois. US. 314 p.
- Resh, H. 2004. Hydroponic Food Production. Sixth Edition. CRC Press. Boca Raton. US. 567 p.

Reyes, F. 2008. Metodologías del laboratorio de suelos y aguas del IDIAF. Centro de Tecnologías Agrícolas, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (Idiaf). Santo Domingo, DO.

Richards, F. 1977. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y só-dicos. Personal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos. Riverside. California. Edición en español de Editorial Limusa. 5ta Edición. México. MX.

Sadzawka, A. 2006. Métodos de análisis de aguas para riego. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie actas INIA No. 17. Santiago de Chile. CH. 332 p.