

Aplicación de análisis clasificatorio y de correlaciones canónicas en cationes y aniones presentes en aguas de arroz (*Oryza sativa L.*)

Alcides Michelod^{1*}, Silvia Rodríguez², Gloria Martínez² y Nelly Jorge³

¹Ministerio de Producción. Dirección de Producción Vegetal. Perú 1160. Corrientes. Provincia de Corrientes. C.P. 3400. Argentina

²Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. Argentina

³Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. Argentina

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de cationes y aniones en aguas de arroceras (*Oryza sativa L.*), mediante técnicas estadísticas univariadas y multivariadas. Las variables determinadas fueron sodio, calcio, magnesio, cloruro, sulfato, nitrato, potasio, fosfato, hierro, cobre, manganeso y zinc. Para ajustarse a una distribución normal, se aplicó a todas las variables la función scores normal, para luego constatar el ajuste de las variables a la distribución deseada por medio de la prueba de Kolmogorov. Para evaluar la relación entre cationes y aniones se realizó la prueba estadística de análisis de correlaciones canónicas dando significativo el análisis ($P<0,05$), encontrándose tres pares de variables canónicas L(1), L(2) y L(3). Del análisis por conglomerado se desprendieron tres grupos asociados lo que permitió evaluar la calidad del agua. El primer grupo está formado por los cationes que definen la sodicidad y la dureza del agua, como calcio, magnesio y sodio. El segundo grupo formado por dos elementos con concentraciones bajas en las aguas de arroceras, como cobre con un máximo de 0,28 mg/L y el manganeso con 0,14 mg/L. En el tercer grupo la mayoría son aniones, salvo por el potasio y el hierro, por lo que se asocia a los parámetros de salinidad del agua. En los tres años de estudio y en las diferentes etapas del ciclo del cultivo se encontró que la calidad del agua es buena con índices de relación de absorción de sodio que oscilaron entre 0,03 y 0,76, y conductividades entre 37,85 y 47,24 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando que el agua se puede usar sin problema clasificándose según normas Riverside como una C1 – S1 con bajo contenido de sales y sodio. Se encontraron altos niveles de ion fosfato con un máximo de 95,60 mg/L, lo que podría traer como consecuencia una eutrofización si se realizara el vertido en arroyos, lagunas y ríos.

Palabras clave: calidad de agua, iones, análisis multivariado.

Application of classification analysis and canonical correlation of cations and anions present in rice waters (*Oryza sativa L.*)

ABSTRACT

The behavior of cations and anions in water from rice crops (*Oryza sativa L.*) throughout univariate and multivariate statistical studies was evaluated. The measured variables were sodium, calcium, magnesium, chloride, sulphate, nitrate, potassium, phosphate, iron, copper, manganese, and zinc. To fit a normal distribution to all variables, it was applied a normal score function, for then confirm the setting of the variables to the desired distribution using the Kolmogorov test. To evaluate the relationship between both groups of cations and anions, it was conducted an analysis of canonical correlations giving significance ($P<0.05$), and found three pairs of canonical variables

*Autor de correspondencia: Alcides M. M. Michelod

E-mail: miguelmichelod7@hotmail.com

L(1), L(2) y L(3). With the analysis for conglomerate three groups were obtained to study water quality. The first group formed by the cations that define sodicity and water hardness, such as calcium, magnesium, and sodium. The second group consisted of two elements with low concentrations in the rice water, such as copper with a maximum of 0.28 mg/L and manganese with 0.14mg/L. In the third group the majority were anions, except for potassium and iron, which are associated to the salinity of the water. In the 3 years of study and at different stages of the crop cycle, it was found that water quality was good with rates absorption of sodium between 0.03 and 0.76, and conductivities between 37.85 and 47.24 mS/cm, indicating the water can be used without problems, and classified as C1-S1, according to Riverside standards, low in salts and sodium. High levels of phosphate ion were found with a maximum of 95.60 mg/L, which could result in eutrophication if dumping water is poured into streams, ponds and rivers.

Key words: water quality, ions, multivariate analysis.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es el sector que mayor demanda del agua supone a nivel mundial. El riego de tierras agrícolas requiere la utilización de un 70% de los recursos hídricos en el mundo. En los países en vías de desarrollo, muchas veces el agua utilizada para regadío representa más del 95% del total de usos del agua, y juega un papel esencial en la producción y seguridad de los alimentos (Dell'Amico *et al.*, 2011).

El uso de agua salina afecta más en la etapa de germinación que en el desarrollo de las plántulas, por lo cual se recomienda una aplicación secuencial de agua dulce durante las etapas sensibles. Sin embargo, es de vital importancia determinar guías de manejo que minimicen el efecto adverso del uso del agua salina sobre el suelo y las plantas (Cortés-Jiménez *et al.*, 2009). La calidad del agua es importante no sólo desde el punto de vista de la población, como agua para consumo humano, sino también como agua de riego para alcanzar una adecuada producción de cultivos (Baccaro *et al.*, 2006).

El análisis de correlaciones canónicas se utiliza para determinar la relación lineal entre dos grupos de variables métricas. Vale decir que el análisis aborda el estudio de la asociación entre dos conjuntos o grupos de variables. Es importante que al menos uno de los dos conjuntos tenga una distribución aproximadamente normal multivariada para que los niveles de probabilidad sean válidos. Para la realización del análisis multivariado se requiere que los datos cumplan ciertas características, tales como que las variables estudiadas presenten una distribución normal (Balzarini *et al.*, 2014). Se recurre a técnicas de agrupamiento cuando no se conoce una estructura de agrupamiento de los datos *a priori* y el objetivo operacional es identificar el agrupamiento natural de las observaciones. Las técnicas de clasificación basadas en agrupamientos implican la distribución de las unidades de estudio en clases o categorías de manera tal que cada clase (conglomerado) reúne unidades cuya

similitud es máxima bajo algún criterio. Es decir los objetos en un mismo grupo comparten el mayor número permisible de características y los objetos en diferentes grupos tienden a ser distintos (Balzarini *et al.*, 2014).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de agua proveniente de una arrocera (*Oryza sativa L.*) por medio del análisis estadístico de los datos para verificar la correlación entre dos grupos de iones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis se llevaron a cabo en 108 muestras de aguas de una arrocera, ubicada al noreste de la provincia de Corrientes, a la vera de la Ruta Nacional 12 sobre las barrancas del Río Paraná, ubicada a 170 km de Ciudad de Corrientes, Argentina. El área se ubica en las coordenadas geográficas 27° 25' 33" S, 57° 20'17" O, cuya temperatura promedio se caracteriza por ser cercanas o superior a los 21°C y en el verano llega a 40°C según datos registrados en la Secretaría de Minería de la Nación.

Los muestreos se efectuaron durante tres años consecutivos para el 2011, 2012 y 2013 tomando 36 muestras al azar por año y en tres diferentes etapas del ciclo: inicio del cultivo, a mitad de ciclo del cultivo y al final de mismo, con 12 muestras por cada ciclo. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Química Analítica y Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, en Ciudad de Corrientes.

Las muestras extraídas (1L) se guardaron en envase de polietileno, refrigeradas a 4°C hasta su análisis químico, y luego fueron analizadas para la determinación de las variables estudiadas. La conductividad eléctrica (Ce, mS/cm) se midió con un conductímetro estandarizado a 25°C. Los iones calcio y magnesio (mg/L) y la dureza total fueron medidas por volumetría de formación de complejos, mientras que los iones sodio, potasio, hierro, cobre, manganeso y zinc (mg/L), se midieron por espectrometría de

absorción atómica y los iones cloruro (mg/L) por volumetría de precipitación, método de Mohr. Todos estos procedimientos de acuerdo a la metodología sugerida por Rice *et al.* (2012). Los iones sulfato (mg/L), se midieron mediante turbidimetría (Severiche y González, 2012); iones fósforo (mg/L , medido por espectrofotometría de absorción molecular, método del azul de molibdeno (Rice *et al.*, 2012), iones nitrato (mg/L), medido por espectrofotometría de absorción molecular, método del salicilato de sodio (molina, 2010). Una vez obtenidos los datos de sodio, calcio y magnesio, se realizó la relación de absorción de sodio (Pincay, 2013).

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante análisis multivariado mediante software estadístico Infostat (2014). Las técnicas estadísticas utilizadas en el presente trabajo fueron correlaciones canónicas para verificar la correlación de dichos grupos de variables, cumpliendo todo lo necesario para la aplicación del método estadístico de análisis (Balzarini *et al.*, 2014), para luego aplicar análisis clasificatorio observando el comportamiento entre ellos y sus similitudes que puede presentar. Para analizar el comportamiento individual de las variables, se emplearon técnicas univariadas como análisis descriptivo y análisis de distribuciones.

El análisis multivariado de correlación canónica necesita que las variables presenten una distribución normal, para lo cual se utilizó la prueba de Kolmogorov, que permite evaluar si la muestra disponible se ajusta a un modelo distribucional teórico. Se desea probar si la distribución empírica se ajusta a algún tipo de distribución, en nuestro caso a una normal (Balzarini *et al.*, 2014).

En consecuencia, se recurrió a una transformación de todas las variables por la fórmula de scores normal, que resulta de aplicar la transformación rango a la variable seleccionada. Luego, cada valor de rango es dividido por $(n+1)$, siendo el total de datos de la muestra. Para cada cociente se obtiene la función de distribución inversa correspondiente a una normal (0;1). Luego de transformada la variable se volvió a aplicar la prueba de Kolmogorov para constatar de que los datos se ajustaron a una distribución normal (Balzarini *et al.*, 2014).

Una vez constatada la normalidad de los datos, se puede pasar a la siguiente etapa, que es el análisis de correlaciones canónicas, utilizado para determinar la relación lineal entre los cationes y los aniones.

Para observar el tipo de relación que tiene cada uno de ellos, se recurrió a la técnica multivariada de análisis de conglomerado, donde se agrupan cada una de las variables en estudio de acuerdo al grado de

similitud o comportamientos similares entre ellas, para lo cual se trabajó con agrupamiento simple y distancia euclídea, para elaborar el dendrograma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan la media aritmética, la mediana, los valores extremos (mínimo y máximo) y las medidas de dispersión, como la desviación estándar, la variancia y el coeficiente de variación para todos los datos obtenidos durante los tres años del estudio.

Del análisis descriptivo de cada una de las variables, se observó que existe asimetría y variabilidad en los datos, las cuales fueron más acentuadas en las concentraciones de Na^+ y PO_4^{3-} que presentaron las mayores diferencias entre media aritmética y los mayores coeficientes de variación, evidenciándose de esa manera la mayor dispersión de estas variables. Los elementos con menor variabilidad fueron Fe, Cu, Mn y Zn.

En el Cuadro 2 se muestran los valores de probabilidad de la prueba de bondad de ajuste y se verifica que ninguna de las variables se ajusta a una distribución normal dado que el valor de probabilidad para todos los casos en estudio es menor a 0,05.

En el Cuadro 3 se observa que luego de la transformación de los datos todas las variables se ajustan a una distribución normal, exceptuando el cinc que no se ajusta a dicha distribución.

Se observa (Cuadro 4) que la primera correlación canónica R es 0,88, correspondiente a la correlación entre el primer par de variables canónicas, L1. El valor del coeficiente de determinación de regresión múltiple R^2 es perfectamente análogo a la medida de redundancia (Badii *et al.*, 2007). El R^2 arrojó un valor de 0,78, el cual indica que el 78% de la variabilidad de los datos es explicada por dicha correlación. El segundo par de variables canónicas L2 con un valor de R de 0,64 y el R^2 0,41 explicando el 41% de la variabilidad, y en el caso del tercer par de variables canónicas L3 con un R 0,58 y R^2 0,34, con un valor de R^2 menor que las dos anteriores par de variables canónicas. Se encontró una alta significancia en el estadístico de correlaciones canónicas entre concentraciones de cationes y aniones presentes en el agua, al evidenciar que la prueba de hipótesis asociados al valor de probabilidad fue altamente significativa con valores entre 0,001 y 0,002.

Al observar los valores de correlación entre las variables de entrada y las variables canónicas (Cuadro 5) se evidencia que el valor relativo de correlación de todas las variables para L1 son altos con valores que superan 0,50 a excepción del cinc que presenta un valor de -0,05.

Cuadro 1. Medidas descriptivas de las diferentes variables en estudio

Variable	Media (mg/L)	Mediana	DE ¹	Varianza	CV ²	Mínima	Máxima
Fe	1,09	1,03	0,73	0,54	67,69	0,07	3,60
Ca ²⁺	5,04	4,40	3,00	9,02	59,63	1,60	15,25
Mg ²⁺	2,38	2,18	0,65	0,42	27,31	1,42	3,84
Na ⁺	2,54	1,26	5,09	25,89	200,10	0,20	36,67
K ⁺	1,61	1,25	2,04	4,15	126,10	0,12	9,55
Zn	0,00	0,00	0,01	0,00	364,90	0,00	0,01
Mn	0,05	0,04	0,04	0,00	92,87	0,00	0,14
Cu	0,21	0,12	0,12	0,01	58,28	0,02	0,68
SO ₄ ²⁻	7,10	4,50	6,09	37,04	85,67	1,76	27,50
NO ₃ ⁻	0,87	0,70	0,84	0,70	96,90	0,03	4,09
PO ₄ ³⁻	4,71	0,54	15,70	248,30	334,50	0,00	95,62
Cl ⁻	10,20	9,50	2,52	6,34	24,69	7,50	19,50

¹DE: Desviación estándar²CV: Coeficiente de variación**Cuadro 2.** Valores de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov sin previa transformación de datos

Variable	Media	Varianza	Estadístico D ¹	Valor de P
Cl ⁻	10,2	6,34	1,00	<0,0001
Ca ²⁺	5,04	9,02	0,95	<0,0001
Mg ²⁺	2,38	0,42	0,92	<0,0001
Na ⁺	2,54	25,89	0,59	<0,0001
K ⁺	1,61	4,15	0,55	<0,0001
SO ₄ ²⁻	7,10	37,04	0,96	<0,0001
NO ₃ ⁻	0,87	0,70	0,51	<0,0001
PO ₄ ³⁻	4,71	248,35	0,50	<0,0001
Fe	1,09	0,54	0,53	<0,0001
Zn	0,01	0,00	0,50	<0,0001
Mn	0,05	0,00	0,50	<0,0001
Cu	0,21	0,01	0,51	<0,0001

¹D: Estadístico teórico**Cuadro 3.** Valores de prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov con transformación de datos

Variable	Media	Varianza	Estadístico D ¹	Valor de P
NSC_Ca ²⁺	0,010	0,91	0,08	0,5545
NSC_Mg ²⁺	0,044	0,89	0,09	0,3475
NSC_Na ⁺	0,009	0,93	0,05	0,9174
NSC_K ⁺	0,003	0,92	0,04	0,9887
NSC_Fe	0,005	0,93	0,03	0,9999
NSC_Mn	0,020	0,85	0,10	0,2213
NSC_Cu	0,001	0,93	0,03	0,9998
NSC_SO ₄ ²⁻	0,001	0,93	0,03	0,9999
NSC_NO ₃ ⁻	0,000	0,93	0,04	0,9901
NSC_PO ₄ ³⁻	0,011	0,93	0,05	0,9630
NSC_Cl ⁻	0,023	0,92	0,06	0,7532

¹D: Estadístico teórico

Cuadro 4. Análisis de correlaciones canónicas

	Variables canónicas		
	L1	L2	L3
Coeficiente de correlación canónica (R)	0,88	0,64	0,58
Coeficiente de determinación de regresión múltiple(R^2)	0,78	0,41	0,34
Lambda	246,70	94,92	42,56
Grados de libertad	32	21	12
Valor de probabilidad	0,001	0,002	0,002

Cuadro 5. Correlación entre las variables de entradas y las variables canónicas

	L1 ¹	L2	L3
Fe	0,50	0,85	-0,73
Zn	-0,05	0,04	0,23
Mn	0,52	0,40	0,65
Cu	0,73	-0,42	0,41
Ca	0,83	-0,02	-0,12
Mg	0,81	0,12	-0,09
Na	0,75	0,30	0,46
K	0,85	0,02	0,27
SO ₄	0,65	-0,92	-0,35
NO ₃	0,31	-0,12	0,06
PO ₄	0,79	0,02	0,43
Cl	0,82	0,07	0,91

¹L: Variables canónicas

En la Figura 1 se presenta el dendrograma, el cual muestra tres grandes grupos. El primer grupo está formado por los cationes que definen la sodicidad y la dureza del agua, como calcio, magnesio, sodio y cinc. El segundo grupo formado por dos elementos en las que sus concentraciones en las aguas por lo general son bajas, como el cobre y el manganeso. El tercer grupo está integrado por cuatro aniones, como nitrato, fosfato, cloruro y sulfato, salvo por el potasio y el hierro. Este grupo está asociado a los parámetros de salinidad del agua dado que en este encontramos la mayoría de los aniones que le dan el carácter salino al agua y los que definen la mayoría de la conductividad eléctrica (Bodelón *et al.*, 1994).

El Cuadro 6 muestra que los valores de la relación de absorción de sodio variaron entre 0,17 y 0,76 en los tres años, siendo más marcada la variación a partir del segundo año al inicio del cultivo, manteniéndose constante en la etapa media y final con valores de 0,03 y 0,04 respectivamente, a diferencia de los obtenidos por

Rodríguez *et al.* (2005) donde los valores encontrados en aguas de riego para arroceras variaron entre 0,09 y 3,03; este último valor por encima de todos los encontrados en este estudio. En el caso de la dureza los valores oscilaron entre 16,19 y 36,67 mg/L; para el primer año el mayor valor se registró al inicio del cultivo y disminuyó a la mitad y al final de dicho ciclo. En el año 2 y 3, los mayores valores se registraron a la mitad del ciclo y valores menores al inicio y final del mismo. Para la conductividad los mayores valores para los tres años se registraron al final del ciclo del cultivo y los menores al inicio y la mitad del ciclo.

En la Figura 2 se presenta la variabilidad a lo largo de los años y de la etapa del cultivo. Para el caso del potasio, los valores aumentan y disminuyen al final de la etapa del cultivo para el primer año, para luego aumentar sucesivamente en los dos años siguientes. El cloruro presenta un comportamiento similar en los tres años aumentando su concentración en el inicio del cultivo, pero disminuyendo a la mitad del ciclo y al final del mismo. En el caso del sulfato se observa un aumento progresivo a lo largo del ciclo del cultivo y de los tres años en estudio.

Según la clasificación de aguas según las normas Riverside (Pincay, 2013), que tiene en cuenta la conductividad y el RAS (relación de adsorción de sodio), el tipo de agua para los tres años en estudio y para las diferentes etapas del ciclo del cultivo corresponde a C1 – S1, donde C1 es agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos y S1, agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos.

El Cuadro 7 muestra dos grupos de iones. Por una parte, se observa el grupo de los cationes hierro, cobre, manganeso y cinc. Para todos ellos existe baja variabilidad en las concentraciones de cinc, manganeso y cobre; ninguno de ellos superó el valor de 1 mg/L. Para el caso de hierro el mínimo valor se registró al inicio del ciclo del cultivo del año dos y el máximo en el año tres y al final del ciclo.

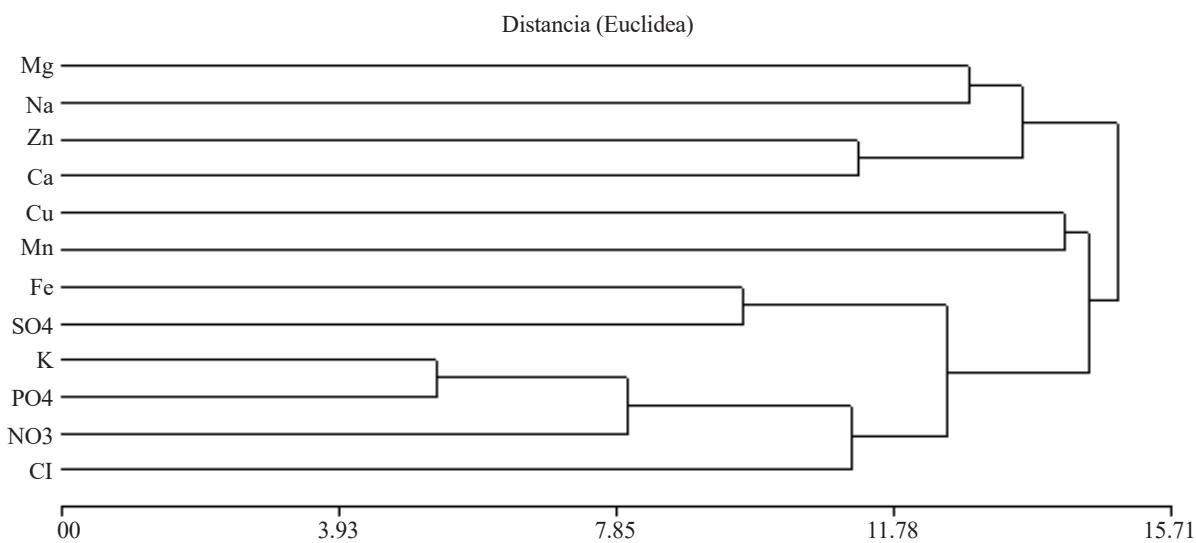


Figura 1. Dendrograma de los cationes y aniones en estudio.

Cuadro 6. Valores de RAS (relación de adsorción de sodio), dureza y conductividad, en los tres años de muestreo y en las diferentes etapas del cultivo

Año	Etapa	RAS	Dureza (mg/L)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Clasificación de agua ¹
2011	Inicio	0,17	36,67	44,12	C1 - S1
	Medio	0,14	25,27	37,85	C1 - S1
	Final	0,14	24,17	44,63	C1 - S1
2012	Inicio	0,76	20,01	41,21	C1 - S1
	Medio	0,03	21,13	39,66	C1 - S1
	Final	0,04	16,19	47,24	C1 - S1
2013	Inicio	0,75	20,01	41,81	C1 - S1
	Medio	0,03	22,68	41,33	C1 - S1
	Final	0,04	16,24	45,76	C1 - S1

¹C1 – S1: Clasificación de aguas según Normas Riverside (Pincay, 2013).

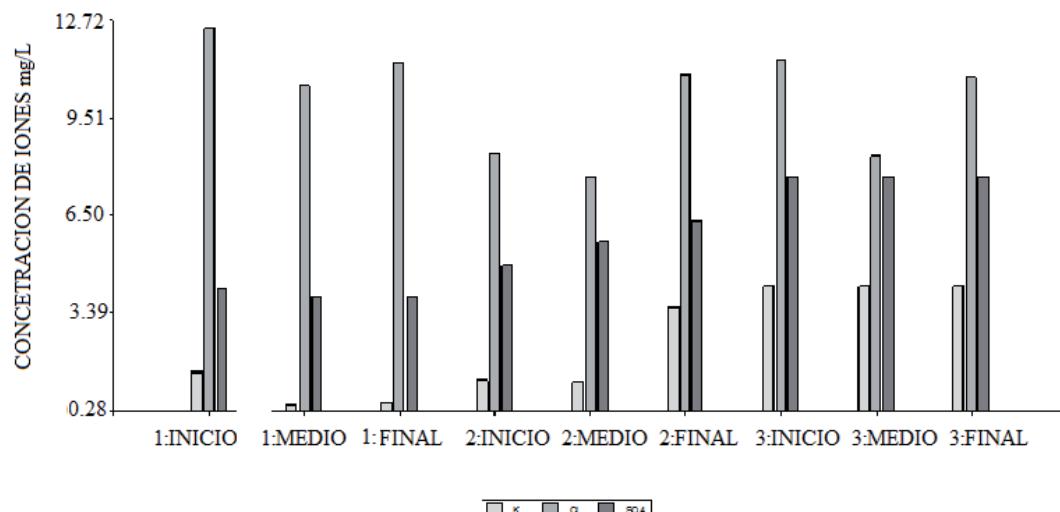


Figura 2. Valores promedios de potasio, cloruro y sulfato, en relación a los tres años de muestreo y a las diferentes etapas del cultivo.

Cuadro 7. Variación anual y en diferentes etapas del cultivo para cationes con concentraciones minoritarias, nitrato y fosfato

Año	Etapa	NO ₃	PO ₄	Fe	Zn	Mn	Cu
1	Inicio	0,71	0,07	0,53	0,00	0,09	0,26
	Medio	0,28	0,02	0,51	0,00	0,02	0,14
	Final	0,28	0,02	0,51	0,00	0,02	0,14
2	Inicio	1,39	2,64	0,11	0,16	0,33	0,01
	Medio	1,81	2,43	0,37	0,17	0,30	0,05
	Final	2,29	2,27	0,61	0,21	0,26	0,08
3	Inicio	1,54	2,63	1,45	0,00	0,09	0,11
	Medio	0,55	1,62	1,10	0,00	0,03	0,27
	Final	1,25	16,68	1,72	0,00	0,03	0,29

Para los aniones como el nitrato y el fosfato se observa que la concentraciones variaron en los tres años y en los diferentes etapas del ciclo del cultivo, siendo más marcada estas concentraciones en el anión fosfato mostrando un marcado aumento a través de los sucesivos años en estudio y el valor máximo de 16,68 mg/L se encontró en el tercer año y al final del ciclo de cultivo.

CONCLUSIONES

La calidad del agua y su adecuación para el riego se determinan por la importancia de los problemas que puedan aparecer en el sistema agua - suelo - planta después de un uso prolongado. Los riesgos más comunes, según los cuales se evalúan los efectos de la calidad del agua, son los relacionados con la salinidad y la toxicidad de iones específicos. Los resultados relacionados a la sodicidad y salinidad indican que la calidad del agua utilizada es de buena calidad y puede ser utilizada con fines agrícolas, sin que produzcan problemas en el futuro. En cuanto a la toxicidad de iones, no se encontraron niveles tóxicos limitantes para la producción, pero si valores elevados del ion fosfato, el cual puede causar problemas de eutrofización en arroyos, lagunas y ríos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baccaro, K.; M. Degorgue; M. Lucca; L. Picone; E. Zamuner; Y. Andreoli. 2006. Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de mar de plata. Rev. Invest. Agropec. 35: 95-110.
- Badii, M.H.; K. Castillo; A. Cortez; A. Wong; P. Villalpando. 2007. Análisis de correlación canónica e investigación científica. Innov. Neg. 4: 405 – 422.
- Balzarini M.; L. Gonzalez; M. Tablada ; F. Casanoves; J. Di Rienzo; C. Robledo. 2014. Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. 336 p.
- Bodelón O.; M. Bernués; A. Baltanás; C. Montes. 1994. Conductividad y salinidad en los ecosistemas acuáticos del parque nacional de doñana (So, España). Limnetica. 10: 27-31
- Cortés Jiménez, J.; E. Troyo-Diéguex; B. Murillo-Amador; J. García-Hernández; J. Garatuza-Payán; S. Suh Lee. 2009. Índices de calidad del agua del acuífero del Valle del Yaqui, Sonora. Terra Latinoam. 27: 133 – 141.
- Cuadras, C. M. 1998. Multidimensional Dependencies in Ordination and Classification. K. Fernández, A. Morineau (Eds.) *In Analyses Multidimensionnelles des Données*. CISIA-CERESTA, Saint-Mandé (France). pp. 15-25.
- Dell'Amico, J.; D. Morales; J. Calaña. 2011. Monitoreo de la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento. Cult.Trop. 32: 71 – 81.
- Molina, S. 2010. Estandarización de métodos de análisis para la determinación de nitratos, nitritos, compuestos fenólicos y, aceites y grasas utilizados como indicadores de contaminación en aguas naturales y residuales industriales. Trabajo de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 226 p.
- Pincay, M. J. 2013. Determinación de la calidad de aguas utilizadas en el riego del cacao y su relación con la fertilidad del suelo en varios agroecosistemas de Manabí. Trabajo de grado. Unidad académica de ciencias forestales, ambientales y agropecuarias. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador. 129 p.

- Rice, E.W.; R.B. Baird; A.D. Eaton; L.S. Clesceri. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22^{da} ed. APHA, AWWA y WEF. Washington, EUA. 1496 p.
- Rodríguez, S.; J. Vara; G. Martínez. 2005. Clasificación de las aguas utilizadas para riego en una arrocera del centro – sur de Corrientes. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes Capital, Argentina. pp. 41-43.
- Secretaría de Minería de la Nación. Provincia de corrientes - clima y meteorología. Disponible en: <http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/corrientes/corrientes-clima.ASP>. [Consultado 24/06/2015].
- Severiche, A.; H. González. 2012. Evaluación analítica para la determinación de sulfato en aguas por método turbidimétrico modificado. Rev. Fac. Ing. USB Med. 3: 6 – 11.