

Caracterización del agua de riego en 90 fincas propuestas para 18 modelos agroecológicos en Norte de Santander, Colombia

Characterization of irrigation water in 90 proposed farms for 18 agroecological models in Norte de Santander, Colombia

DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.16.2.2020.03>

Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción: 08/12/2020. Fecha de Aceptación: 07/05/2020.

Leónides Castellanos-González 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
lclcastell@gmail.com

José Saury Thomas-Manzano 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
saurythomas@unipamplona.edu.co

Belcy Hernández-Tabaco 

Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia)
belsy.hernandez@unipamplona.edu.co

Para citar este artículo:

L. Castellanos-González, J. Thomas-Manzano & B. Hernández-Tabaco, "Caracterización del agua de riego en 90 fincas propuestas para 18 modelos agroecológicos en Norte de Santander, Colombia", *INGE CUC*, vol. 16, no. 2, pp. 30–44, 2020. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.16.2.2020.03>

Resumen

Introducción— La calidad del agua puede influir notablemente en el desarrollo y productividad de los cultivos.

Objetivo— Caracterizar el agua para riego en las 90 fincas en seis municipios del Norte de Santander (Colombia) donde se desarrolla el proyecto "Plantar", valorando su influencia en la futura validación de los modelos agroecológicos.

Metodología— Se tomaron 180 muestras compuestas en las fuentes de abastos de agua de riego entre los meses de marzo y abril de 2018, dos por cada uno de los 90 predios del proyecto "Plantar". Se obtuvieron en el laboratorio las siguientes variables: Concentración de seis cationes, de siete aniones, de hierro, cobre, zinc y boro, la dureza total, el pH, la conductividad eléctrica y la relación de absorción de sodio.

Resultados— Los valores medios de las variables de las 180 muestras de agua demuestran que éstas pueden ser usadas con fines agrícolas; sin embargo, se observan altos coeficientes de variación para la mayoría de las concentraciones de los aniones y cationes de las 15 fincas por municipio, presentándose en ocasiones el pH alto y las aguas con dureza alta, así como muy baja la concentración de cloruros.

Conclusiones— El agua de las fuentes de abastos de las fincas son aptas para el riego, pero existe mucha variabilidad en los parámetros entre fincas de un mismo modelo agroecológico, y algunos como la dureza y el pH deben monitorearse para evitar afectaciones futuras en los cultivos.

Palabras clave— Agroecosistema; irrigación; calidad; variables físico químicas; sostenibilidad

Abstract

Introduction— Water quality can significantly influence the development and productivity of crops.

Objective— The characterize irrigation water in the 90 farms in six municipalities of Norte de Santander (Colombia) where the "Plantar" project is developed, assessing its influence on the future validation of agroecological models.

Methodology— 180 composite samples were taken at the supply's sources of irrigation water between the months of March and April 2018, two for each of the 90 farms of the "Plantar" project. The following variables were obtained in the laboratory: Concentration of six cations, seven anions, iron, copper, zinc and boron, total hardness, pH, electrical conductivity and the sodium absorption ratio.

Results— The mean values of the variables of the 180 water samples demonstrate that they can be used for agricultural purposes; however, high coefficients of variation are observed for most of the concentrations of anions and cations of the 15 farms per municipality, presenting sometimes the high pH and the waters with high hardness, as well as the concentration of chlorides very low.

Conclusions— Water from farm supply sources is suitable for irrigation, but there is a lot of variability in the parameters between farms of the same agroecological model, and some, must be monitored to avoid future effects on crops.

Keywords— Agroecosystem; irrigation; quality; physical-chemical variables; sustainability

I. INTRODUCCIÓN

El riego es una de las prácticas agrícolas más importantes y antiguas. Aunque solo el 15% de las tierras cultivadas están irrigadas, ellas producen del 35% al 40% de la cosecha mundial. La expansión de la agricultura bajo riego es en parte responsabilidad de la “revolución verde” en la producción de alimentos, pero es imprescindible para lograr los altos rendimientos, razón por la cual va a continuar jugando un rol esencial en la provisión de las necesidades crecientes en alimentos y fibras, especialmente en los países en desarrollo [1] [2], incluso bajo prácticas agroecológicas.

El uso del agua para fines agrícolas es un tema en materia de recursos hídricos y de seguridad alimentaria. En promedio, en la agricultura se ocupa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del «uso consuntivo del agua» debido a la evapotranspiración de los cultivos [1], [3].

La aplicación del agua de riego resulta en el agregado de sales solubles tales como el sodio, calcio, magnesio, potasio, sulfatos y cloruros disueltos de los materiales geológicos en los cuales se ha mantenido en contacto el agua dentro del acuífero. La evaporación y transpiración (extracción de las plantas) del agua de riego causa que excesivas cantidades de agua se acumulen en los suelos cuando no se proveen adecuados lavados y drenajes de los mismos [1].

Cuando la sodicidad y la salinidad se encuentran presentes en el suelo se incrementa la presión osmótica del agua, lo que impide su aprovechamiento por parte de las raíces y se genera además un desbalance nutricional, provocando toxicidad y deficiencias en las plantas; todo lo anterior se traduce en una disminución del rendimiento y la calidad del producto final vegetal y por supuesto en la fertilidad del suelo agrícola [4].

Algunos elementos incluso en niveles de traza, como el boro, son directamente tóxicos para las plantas. Se estima que más de 10 millones de hectáreas están siendo perdidas cada año por resultado de la salinidad y/o el ascenso de las capas freáticas. Muchos de estos problemas están causados por el uso excesivo del agua de riego debido a los sistemas de distribución de riegos ineficientes, pobres prácticas de riego a nivel predial y el manejo inapropiado de las técnicas de drenaje [1].

Las prácticas de riego a nivel predio causan problemas localizados de salinidad, los mismos problemas se incrementan a causa de técnicas de drenaje inadecuadas. El riego excesivo lleva al incremento de las cargas de sales en el nivel freático y el descenso de los mismos causan problemas regionales de salinización. La ausencia de sistema de drenaje local y regional produce como resultado tierras no dedicadas al proceso productivo. Para lograr la optimización del riego es preciso garantizar un uso eficiente del agua, con una alta productividad, mediante métodos que contribuyan al incremento de los rendimientos en una forma económica [5].

El proyecto "Plantar" (Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TIC para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander) [6] tiene como finalidad validar 18 modelos agroecológicos para el desarrollo sostenible y la competitividad de los cultivos promisorios haciendo uso de TIC en seis municipios de este departamento: Arboledas, Convención, La Playa, La Esperanza, Ocaña y Mutiscua. La entrega de un sistema de riego a los agricultores de los modelos agroecológicos del proyecto "Plantar" obliga a hacer una caracterización del agua para riego en los predios que permita un uso adecuado del recurso y un manejo que favorezca la sostenibilidad dentro del agroecosistema. Esta permitirá tener un conocimiento exacto de la calidad de este recurso y sus propiedades para poder tomar decisiones o interpretar cualquier variación que se produzca en el crecimiento de los cultivos dentro de mismo modelo agroecológico.

El objetivo de la investigación fue caracterizar el agua para riego en las 90 fincas donde se desarrolla el proyecto en los seis municipios del Norte de Santander (Colombia) valorando su influencia en la futura validación de los modelos agroecológicos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en seis municipios de Norte de Santander: Arboledas, Convención, La Playa, La Esperanza, Ocaña y Mutiscua. En cada municipio se seleccionaron 15 fincas para posteriormente establecer tres modelos agroecológicos.

En Arboledas el modelo 1 se preveía conformándose por Cedro-Limón-Maíz (C-L-M), el modelo 2 por Cedro-Aguacate-Maíz (C-A-M) y el modelo 3 por Cedro-Aguacate-Frijol (C-A-F). En convención los modelos serían 1) Cedro-Limón-Maíz (C-L-M), 2) Cedro-Limón-Maíz/frijol (C-L-M/F) y 3) Cedro-Cacao-plátano (C-C-P). En La Esperanza, el modelo 1 estaría configurado por Abarco-Aguacate- Maíz/frijol (Ab-A-M/F), el modelo 2 por Abarco-Limón-Maíz (Ab-L-M) y el modelo 3 por Abarco-Cacao-Plátano (A-C-P). En el municipio La Playa se planificaban establecer como modelo 1, Roble-Aguacate-Frijol (R-A-F); como modelo 2, Roble-Aguacate-Maíz (R-A-M); y como modelo 3, Roble-Brevo-Maíz (R-B-M). Para Mutiscua se consideraban como el modelo 1, Aliso-Ciruelo-maíz (AL-CI-M); como modelo 2, Aliso-Ciruelo-zanahoria (AL-CI-Z); y como modelo 3, Aliso-Mora-Tomate de árbol (AL-Mo-TA). Para el municipio de Ocaña el modelo 1 estaría conformado por Nogal cafetero-Aguacate-Frijol (NC-A-F); el modelo 2 por Nogal cafetero-Cacao-Plátano (NC-C-P); y el modelo 3 por Nogal cafetero-Aguacate-Maíz (NC-A-M).

Se tomaron 180 muestras de agua compuestas en las fuentes de abastos de agua de riego entre los meses de marzo y abril de 2018, dos por cada uno de los 90 predios comprometidos en el Proyecto. El procedimiento realizado fue de manera manual.

Las consideraciones generales a tener en cuenta durante el muestreo se pueden resumir así:

- Se usaron envases compatibles con los parámetros que se iban a analizar.
- Se enjuagaron los envases con el agua a muestrear por lo menos dos veces de manera consecutiva.
- Se identificaron clara e inmediatamente las muestras según fuente y predio y se enviaron a un laboratorio certificado donde se obtuvieron las siguientes variables:
 - Las consideraciones Físico químicas: Concentración de los cationes sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), amonio (NH_4) y suma total de cationes (meq/L); y la concentración de los aniones cloruros (Cl), sulfatos (SO_4), carbonatos (CO_3), bicarbonatos (HCO_3) nitratos (NO_3), fosfatos (PO_4) y suma total de cationes (meq/L).
 - Las concentraciones de elementos químicos como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y boro (B) en ppp.
 - La dureza medidas como Dureza total (mg/L)(CaCO_3), el pH, la conductibilidad eléctrica (C.E. en mS/cm) y la Relación de Absorción de Sodio (RAS).

Primeramente, se realizó un análisis estadístico descriptivo para todas las variables determinadas en las 30 muestras de las 15 fincas de cada municipio para estimar la variación espacial de estas. Además, se realizaron ANOVAs para comparar las fincas, o sea, interacción modelo \times finca por municipio considerando como repeticiones las dos muestras dentro de cada una de las 15 fincas. Las medias se compararon con la prueba de Tukey para $p < 0.05$. Se empleó el paquete estadístico SPSS.

III. RESULTADOS

Los valores medios de todas las variables obtenidas en el laboratorio de las 180 muestras de agua arrojaron que la misma no tenían dificultades para ser usada con fines agrícolas desde el punto de vista físico químico. Sin embargo los análisis estadísticos descriptivos realizados con énfasis en el coeficiente de variación de las 30 muestras por municipios puso de manifiesto que los valores de los coeficientes de variación para todos los cationes eran mayor a 50% en el municipio de Mutiscua y Ocaña; y también ocurría esa situación para los resultados del resto de los municipios excepto para el catión NH_4 .

De forma similar, en los análisis estadísticos descriptivos para las 30 muestras, todos los aniones evaluados en las 15 fincas en Ocaña, Mutiscua y La Playa presentaban coeficientes de variación por encima de 50%; en Arboledas y la Esperanza para los cloruros, los sulfatos, los bicarbonatos, los nitratos y los fosfatos y la suma de todos. El municipio de menor variabilidad entre las fincas resultó ser la Esperanza, aunque los coeficientes de variación estaban por encima del 50% para los aniones sulfatos, bicarbonatos y la suma de todos.

El resultado de los ANOVAs para la concentración de aniones y cationes en agua para la interacción Finca \times Modelo en el municipio de Arboledas solo reflejó diferencia estadística para la concentración de Mg en el modelo agroecológico 3 Cedro-Aguacate-Frijol (CE-A-F) (Tabla 1),

donde la finca 5 tuvo diferencia estadística con la 4 multiplicado por más de siete veces el valor de la última.

TABLA 1. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO ARBOLEDAS.

Finca	Modelo	Cationes					Aniones							
		Na	K	Ca	Mg	NH ₄	Suma Total	Cl ⁻	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	PO ₄	Suma Total
(meq/L)														
1	Modelo 1	0.39abc	0.05a	1.64a	0.39ab	0.02a	2.49a	0.26a	0.52a	0.05a	1.63a	0.005a	0.22a	2.67a
2		0.38abc	0.03a	0.96a	0.34ab	0.05a	1.76a	0.58a	0.12a	0.05a	1.30a	0.012a	0.25a	2.31a
3		0.17bc	0.02a	0.19a	0.09ab	0.05a	0.51a	0.26a	0.08a	0.05a	0.25a	0.017a	0.18a	0.83a
4		0.14bc	0.01a	0.91a	0.20ab	0.03a	1.28a	0.76a	0.09a	0.05a	0.68a	0.032a	0.10a	1.70a
5		0.16bc	0.02a	0.17a	0.09ab	0.03a	0.47a	0.14a	0.09a	0.05a	0.05a	0.030a	0.21a	0.56a
1	Modelo 2	0.11c	0.02a	0.38a	0.08ab	0.05a	0.63a	0.06a	0.14a	0.05a	0.30a	0.030a	0.12a	0.70a
2		0.25bc	0.02a	1.28a	0.30ab	0.04a	1.88a	0.18a	0.69a	0.06a	0.85a	0.040a	0.19a	2.00a
3		0.28abc	0.02a	1.75a	0.42ab	0.04a	2.49a	0.32a	0.37a	0.05a	1.35a	0.065a	0.20a	2.35a
4		0.64a	0.05a	1.89a	0.31ab	0.03a	2.92a	0.66a	0.26a	0.05a	1.85a	0.005a	0.21a	3.03a
5		0.13bc	0.01a	0.88a	0.20ab	0.03a	1.24a	0.62a	0.09a	0.05a	0.65a	0.028a	0.09a	1.53a
1	Modelo 3	0.24bc	0.02a	0.39a	0.12ab	0.03a	0.79a	0.44a	0.08a	0.05a	0.55a	0.004a	0.24a	1.35a
2		0.12bc	0.01a	0.21a	0.04b	0.03a	0.40a	0.14a	0.09a	0.05a	0.10a	0.020a	0.14a	0.54a
3		0.16bc	0.01a	0.40a	0.17ab	0.03a	0.77a	0.24a	0.07a	0.05a	0.45a	0.017a	0.15a	0.98a
4		0.16bc	0.02a	0.17a	0.07b	0.03a	0.44a	0.16a	0.09a	0.05a	0.05a	0.025a	0.20a	0.57a
5		0.48ab	0.06a	1.56a	0.58a	0.03a	2.70a	0.56a	0.62a	0.05a	1.10a	0.010a	0.22a	2.56a
CV (%)		37.70	0.00	73.94	56.55	0.00	49.99	74.81	119.13	0.00	70.93	0.00	24.88	42.79
EE*		0.07	0.00	0.44	0.09	0.00	0.49	0.19	0.19	0.00	0.37	0.00	0.03	0.48

* Letras desiguales en las columnas difieren para $p < 0.05$ según la prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La finca 4 del modelo 2 fue la de mayor concentración de sodio (0.64 meq/L), junto a la finca 5 del modelo 3 que difirieron de la finca 1 del modelo 2 con solo 0.11 meq/L, el resto quedaron intermedias desde el punto de vista estadístico, aunque estos valores más altos no afectan a los cultivos.

A pesar de no observarse diferencia estadística entre las fincas y modelos para la suma total de aniones hay cinco fincas repartidas en los tres modelos de este municipio por encima de 2.50 meq/L, según algunos autores no es favorable porque indica peligrosidad sódica [7].

Las variables que tienen que ver con los elementos químicos y la dureza del agua no presentaron diferencia estadística para las interacciones Finca × Modelo en el municipio Arboledas con la excepción de la C.E. aunque pudieron observarse valores de coeficientes de variación superiores a 40% alguna de las variables en los análisis de varianzas realizados (Tabla 2). Además, en una finca se observó pH superior a 8, considerado no normal para el agua de riego por el Servicio de Información Agrario de Murcia [8].

A pesar de observarse valores de CE relativamente altos en las fincas del modelo 1 (CE-L-M) y del 2 (CE-A-M), las fincas no se diferenciaron entre ellas, aunque sí en el modelo 3 (CE-A-F), donde fue más alta la CE en la finca 5 en relación a la 3.

El resultado de los ANOVAs para la concentración de aniones y cationes en agua para la interacción Finca × Modelo en el municipio Convención reflejó diferencia estadística para los cationes Na, K, Ca, Mg y la suma total y para los aniones HCO₃, PO₄ y la suma total (Tabla 3).

La concentración de Na fue menor para el usuario 2 del modelo 1 y mayor para la finca del usuario 2 del modelo 3 con diferencia estadística entre las fincas de ambos modelos. La concentración de K fue extremadamente baja en algunas fincas como la 2 del modelo (0.01 meq/L) y la 1 del modelo 2 con diferencia estadística con la finca 3 del propio Modelo 1 (0.14 meq/L) y la 5 del modelo 3.

TABLA 2. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO ARBOLEDAS.

Finca	Modelo	Elementos químicos					Dureza del agua			
		Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	B ppm	Dureza Total (mg/L)(CaCO ₃)	pH	C.E. (mS/cm)	RAS
1	Modelo 1	0.25a	0.04a	0.02a	0.63a	0.08a	101.00a	7.85a	0.32abc	0.39a
2		0.12a	0.05a	0.03a	0.35a	0.13a	65.00a	7.79a	0.22abcd	0.48a
3		0.26a	0.03a	0.01a	0.34a	0.12a	13.50a	7.86a	0.03d	0.50a
4		0.20a	0.03a	0.03a	0.34a	0.05a	55.00a	7.64a	0.14abcd	0.19a
5		0.26a	0.02a	0.01a	0.02a	0.10a	13.25a	8.04a	0.04cd	0.46a
1	Modelo 2	4.02a	0.05a	0.02a	0.02a	0.08a	23.00a	7.77a	0.08bcd	0.32a
2		0.40a	0.03a	0.02a	0.02a	0.08a	78.50a	7.72a	0.19abcd	0.50a
3		0.37a	0.02a	0.03a	0.04a	0.16a	108.00a	7.77a	0.22abcd	0.27a
4		0.16a	0.04a	0.03a	0.66a	0.05a	109.50a	7.49a	0.37a	0.75a
5		0.20a	0.03a	0.02a	0.33a	0.13a	53.75a	7.45a	0.15abcd	0.19a
1	Modelo 3	0.14a	0.04a	0.02a	0.62a	0.04a	25.50a	7.86a	0.06bcd	0.48a
2		0.45a	0.02a	0.02a	0.02a	0.11a	12.00a	7.72a	0.04cd	0.39a
3		0.19a	0.03a	0.02a	0.34a	0.09a	28.50a	7.43a	0.09abcd	0.29a
4		0.26a	0.02a	0.02a	0.04a	0.14a	11.75a	7.85a	0.05bcd	0.46a
5		0.15a	0.04a	0.02a	0.34a	0.11a	106.50a	7.67a	0.32ab	0.47a
CV (%)		8.48	0.001	0.001	10.02	65.88	67.10	3.01	46.37	56.07
EE*		0.99	0.00	0.00	0.19	0.04	25.46	0.16	0.05	0.16

* Letras desiguales en las columnas difieren para p<0.05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

TABLA 3. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO CONVENCION.

Finca	Modelo	Cationes						Aniones						
		Na	K	Ca	Mg	NH ₄	Suma Total	Cl ⁻	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	PO ₄	Suma Total
(meq/L)														
1	Modelo 1	0.25ab	0.07bc	0.40bc	0.20ab	0.05a	0.95bcd	0.32a	0.08a	NPSH	0.50ab	0.004a	0.33ab	1.28ab
2		0.05b	0.02c	0.08c	0.05b	0.03a	0.22d	0.54a	0.09a	NPSH	0.10b	0.003a	0.11e	0.89ab
3		0.35ab	0.14a	0.44bc	0.19ab	0.04a	1.15bcd	0.28a	0.09a	NPSH	0.58ab	0.003a	0.36ab	1.36ab
4		0.09ab	0.03bc	0.08c	0.05b	0.04a	0.28d	0.16a	0.09a	NPSH	0.10b	0.003a	0.13e	0.53b
5		0.31ab	0.04bc	0.30c	0.26ab	0.03a	0.93bcd	0.36a	0.06a	NPSH	0.53ab	0.004a	0.32ab	1.32ab
1	Modelo 2	0.11ab	0.01c	0.11c	0.11ab	0.05a	0.37d	0.36a	0.08a	NPSH	0.10b	0.004a	0.20de	0.79ab
2		0.17ab	0.06bc	0.09c	0.05b	0.02a	0.38d	0.34a	0.09a	NPSH	0.10b	0.003a	0.28bcd	0.86ab
3		0.16ab	0.03bc	0.18c	0.09b	0.05a	0.50d	0.14a	0.06a	NPSH	0.20b	0.004a	0.23cd	0.69b
4		0.34ab	0.07abc	1.72a	0.56ab	0.04a	2.72ab	0.26a	0.07a	NPSH	1.75ab	0.003a	0.34ab	2.47ab
5		0.33ab	0.03bc	0.23c	0.13ab	0.04a	0.76cd	0.38a	0.09a	NPSH	0.35b	0.004a	0.37ab	1.24ab
1	Modelo 3	0.33ab	0.07bc	0.17c	0.11ab	0.03a	0.70cd	0.28a	0.08a	NPSH	0.30b	0.004a	0.39a	1.11ab
2		0.53a	0.07bc	1.68a	0.79a	0.02a	3.08a	0.24a	0.09a	NPSH	2.05a	0.004a	0.31abc	2.74a
3		0.32ab	0.05bc	0.20c	0.12ab	0.05a	0.73cd	0.42a	0.09a	NPSH	0.25b	0.004a	0.29bc	1.10ab
4		0.18ab	0.06bc	1.33ab	0.38ab	0.03a	1.97abcd	0.18a	0.08a	NPSH	1.25ab	0.004a	0.23cd	1.80ab
5		0.34ab	0.09ab	1.56a	0.45ab	0.06a	2.49abc	0.26a	0.08a	NPSH	1.55ab	0.004a	0.31abc	2.25ab
CV (%)		46.52	0.001	43.07	75.57	0.001	41.96	78.5	0.001	0.001	65.06	0.001	0.001	37.69
EE*		0.08	0.00	0.17	0.12	0.00	0.34	0.17	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.36

NPSH: No Presenta Subconjunto de Homogeneidad, * Letras desiguales en las columnas difieren para p<0.05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La concentración de Ca, presentó los mayores valores en dos fincas del modelo 3, las cuales tuvieron diferencia estadística con una finca del mismo modelo, y con las de otros modelos, mientras que la concentración de Mg fue mayor para la finca 2 del modelo 3 (1.68 meq/L) que se diferenció de otras del propio modelo y de otras dos (con un mínimo de 0.22 meq/L).

El anión de HCO_3 resultó mayor para la finca 2 del modelo 3, la cual se diferenció de la finca 3 del propio modelo y de algunas del resto de los modelos, mientras que la concentración de PO_4 fue mayor para la finca 1 del modelo 3 que se diferenció de otras fincas del propio modelo y de algunas fincas del modelo 1, mientras la suma total de aniones en agua fue mayor para la finca 2 del modelo 3 (2.74 meq/L), que se diferenció solo con la finca 4 del modelo 1,

Las variables que tienen que ver con los elementos químicos y la dureza del agua no presentaron diferencia estadística para las interacciones Finca \times Modelo en el municipio Convención con la excepción de la concentración de B, la dureza total la CE y el RAS (Tabla 4). Además, en ocho fincas se observaron pH igual o superiores a 8 considerado no normal para el agua de riego por el Servicio de Información Agrario de Murcia [8].

TABLA 4. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA \times MODELO EN EL MUNICIPIO CONVENCION

Finca	Modelo	Elementos químicos					Dureza del agua			
		Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	B ppm	Dureza Total (mg/L)(CaCO ₃)	pH	C.E. (mS/cm)	RAS
1	Modelo 1	1.43a	0.12a	0.03a	0.20a	0.45a	29.50bcd	7.06a	0.12abc	0.48ab
2		0.91a	0.18a	0.03a	0.17a	0.16ab	6.50d	8.24a	0.04c	0.17b
3		3.56a	0.12a	0.04a	0.22a	0.21ab	31.00bcd	8.13a	0.14abc	0.63ab
4		0.78a	0.11a	0.03a	0.22a	0.14ab	5.00d	7.85a	0.04c	0.37ab
5		0.54a	0.05a	0.03a	0.25a	0.09b	28.00bcd	7.88a	0.11abc	0.69ab
1	Modelo 2	1.16a	0.09a	0.03a	0.23a	0.22ab	10.50cd	8.08a	0.05c	0.32ab
2		1.36a	0.17a	0.03a	0.18a	0.17ab	7.00d	8.23a	0.06c	0.74ab
3		8.88a	0.37a	0.03a	0.18a	0.21ab	13.00cd	8.07a	0.07c	0.43ab
4		0.80a	0.12a	0.03a	0.24a	0.10b	113.00a	7.77a	0.32ab	0.32ab
5		0.91a	0.07a	0.02a	0.24a	0.25ab	18.00cd	8.07a	0.10abc	0.74ab
1	Modelo 3	0.37a	0.11a	0.05a	0.23a	0.13ab	13.50cd	6.99a	0.09bc	0.87a
2		0.98a	0.13a	0.03a	0.24a	0.24ab	123.50a	6.97a	0.33a	0.45ab
3		0.08a	0.10a	0.03a	0.03a	0.20ab	15.50cd	8.10a	0.09bc	0.80a
4		0.46a	0.17a	0.03a	0.22a	0.23ab	85.50abc	8.00a	0.24abc	0.20b
5		1.18a	0.06a	0.03a	0.22a	0.16ab	100.50ab	7.86a	0.26abc	0.33ab
CV(%)		17.73	8.51	0.001	12.1	45.87	48.18	8.09	47.08	28.96
EE*		1.95	0.08	0.00	0.17	0.06	13.63	0.45	0.04	0.10

* Letras desiguales en las columnas difieren para $p < 0.05$ según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La concentración de boro fue mayor para la finca 1 del modelo agroecológico 1 aunque con un valor 0.45 ppm, el cual se diferenció de la finca 5 del propio modelo y de otras de otros modelos. Esta concentración de B puede ser perjudicial para cultivos sensibles [9].

La dureza del agua fue mayor para las fincas 2 del modelo 3 (CE-C-P) (123.50 mg/L de CaCO₃) y 4 del modelo 2 (CE-A-M/F) (113.00 mg/L) con diferencia estadística con fincas en estos propios modelos y con algunas del modelo 1. Las aguas de estas fincas de mayores valores son consideradas como muy duras [10], pero coexisten otras que se clasifican como muy blandas ≤ 7 mg/L, dando una idea de la variabilidad de la dureza del agua en este municipio y dentro de fincas del mismo modelo.

Los valores de la C.E. fueron relativamente más altos en las fincas 2 del modelo 3 y 4 del modelo 2, con diferencia con las fincas 1 y 3 del modelo 3 y otras de los modelos 2 y 1. El RAS alcanzó un valor de 0.87 en la finca 1 del modelo agroecológico 3 y 0.80 en la finca 3 del mismo modelo, con diferencia estadística con la finca 4 del modelo 3 y la finca 2 del modelo 1.

El resultado de los ANOVAs para la concentración de aniones y cationes en agua para la interacción Finca \times Modelo en el municipio La Esperanza no evidenció diferencia estadística para ninguna de las variables en estudio (Tabla 5), reflejándose en la mayoría de los casos coeficientes de variación superiores al 40%.

TABLA 5. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO LA ESPERANZA

Finca	Modelo	Cationes					Aniones							
		Na	K	Ca	Mg	NH ₄	Suma Total	Cl ⁻	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	PO ₄	Suma Total
(meq/L)														
1	Modelo 1	1.31a	0.07a	0.84a	1.82a	0.03a	4.07a	0.26a	1.82a	0.05a	2.05a	0.003a	0.46a	4.63a
2		0.26a	0.08a	0.64a	0.30a	0.03a	1.30a	0.32a	0.10a	0.05a	0.93a	0.005a	0.30a	1.70a
3		0.26a	0.09a	0.78a	0.31a	0.04a	1.47a	0.22a	0.08a	0.05a	0.90a	0.004a	0.30a	1.55a
4		0.78a	0.05a	0.74a	0.91a	0.02a	2.50a	0.28a	0.09a	0.05a	1.65a	0.003a	0.41a	2.47a
5		0.39a	0.04a	0.47a	0.36a	0.04a	1.29a	0.36a	0.08a	0.05a	0.75a	0.004a	0.41a	1.65a
1	Modelo 2	0.74a	0.09a	0.76	0.63a	0.04a	2.26a	0.36a	0.09a	0.05a	1.45a	0.004a	0.36a	2.32a
2		0.30a	0.04a	0.16a	0.12a	0.04a	0.65a	0.20a	0.08a	0.05a	0.25a	0.003a	0.47a	1.05a
3		0.89a	0.16a	1.91a	0.96a	0.04a	3.95a	0.38a	0.10a	0.05a	2.75a	0.003a	0.47a	3.75a
4		0.68a	0.05a	0.77a	0.72a	0.02a	2.23a	0.20a	0.09a	0.05a	1.55a	0.005a	0.43a	2.32a
5		0.33a	0.04a	0.23a	0.23a	0.04a	0.86a	0.28a	0.08a	0.05a	0.50a	0.004a	0.56a	1.47a
1	Modelo 3	0.50a	0.05a	0.48a	0.50a	0.04a	1.55a	0.24a	0.08a	0.06a	1.15a	0.004a	0.48a	2.01a
2		0.81a	0.14a	1.85a	0.26a	0.03a	3.08a	0.22a	0.09a	0.05a	2.45a	0.004a	0.39a	3.20a
3		0.26a	0.08a	0.70a	0.30a	0.03a	1.37a	0.26a	0.09a	0.05a	0.85a	0.003a	0.30a	1.55a
4		0.35a	0.04a	0.12a	0.08a	0.05a	0.63a	0.36a	0.09a	0.05a	0.35a	0.003a	0.52a	1.37a
5		0.35a	0.04a	0.16a	0.11a	0.06a	0.71a	0.34a	0.08a	0.05a	0.30a	0.003a	0.50a	1.27a
CV (%)		84.64	64.50	88.99	113.26	0.00	82.49	45.70	21.44	0.00	96.99	0.00	27.06	72.44
EE*		0.33	0.03	0.44	0.40	0.00	1.08	0.09	0.45	0.00	0.82	0.00	0.08	1.10

* Letras iguales en las columnas no difieren para p<0.05 según prueba de Tukey.
 Fuente: Autores.

Las variables referidas con los elementos químicos y la dureza del agua no presentaron diferencia estadística para las interacciones Finca × Modelo en el municipio La Esperanza (Tabla 6) y aunque sin diferencia estadística en siete fincas se observaron pH superiores a 8, considerados no normal para el agua de riego por el Servicio de Información Agrario de Murcia [8].

TABLA 6. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO LA ESPERANZA

Finca	Modelo	Elementos químicos					Dureza del agua			
		Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	B ppm	Dureza Total (mg/L)(CaCO ₃)	pH	C.E. (mS/cm)	RAS
1	Modelo 1	1.48a	0.20a	0.02a	0.16a	0.22a	133.00a	7.08a	0.75a	1.12a
2		1.35a	0.11a	0.03a	0.14a	0.15a	47.50a	7.10a	0.17a	0.38a
3		0.77a	0.05a	0.03a	0.11a	0.26a	54.50a	6.73a	0.18a	0.34a
4		1.19a	0.18a	0.03a	0.17a	0.36a	83.00a	7.07a	0.32a	0.87a
5		0.63a	0.08a	0.03a	0.13a	0.20a	41.50a	8.30a	0.16a	0.56a
1	Modelo 2	0.57a	0.08a	0.03a	0.15a	0.26a	69.50a	8.16a	0.27a	0.83a
2		2.08a	0.16a	0.04a	0.18a	0.24a	14.00a	7.20a	0.09a	0.80a
3		0.64a	0.25a	0.04a	0.09a	0.33a	143.00a	8.11a	0.43a	0.67a
4		0.77a	0.06a	0.03a	0.12a	0.30a	74.00a	7.11a	0.29a	0.80a
5		1.02a	0.05a	0.03a	0.15a	0.24a	23.00a	7.17a	0.11a	0.68a
1	Modelo 3	1.20a	0.11a	0.03a	0.13a	0.34a	48.50a	8.23a	0.21a	0.84a
2		0.41a	0.23a	0.03a	0.13a	0.23a	105.00a	8.15a	0.42a	0.71a
3		0.41a	0.11a	0.03a	0.09a	0.21a	50.00a	7.92a	0.18a	0.36a
4		0.83a	0.12a	0.02a	0.06a	0.22a	9.50a	8.18a	0.08a	1.19a
5		0.92a	0.10a	0.03a	0.07a	0.27a	13.50a	8.23a	0.09a	0.93a
CV (%)		85.04	72.72	0.001	11.43	37.45	87.16	11.01	10.58	52.75
EE*		0.57	0.06	0.00	0.10	0.07	37.37	0.60	0.18	0.27

* Letras iguales en las columnas no difieren para p<0.05 según prueba de Tukey.
 Fuente: Autores.

Aunque las aguas de las fincas no se diferenciaron en cuanto a la concentración de B, pero tres fincas presentaron valores iguales o superiores a 0.33 ppm, que puede ser perjudiciales para cultivos sensibles [9].

El resultado de los ANOVAs para la concentración de aniones y cationes en agua para la interacción Finca X Modelo en el municipio La Playa reflejó diferencia estadística para los cationes Na, Ca y Mg y para la suma total de cationes, y para los aniones Cl^- , HCO_3^- , PO_4 y la suma total de aniones (Tabla 7).

TABLA 7. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA \times MODELO EN EL MUNICIPIO LA PLAYA.

Finca	Modelo	Cationes					Aniones							
		Na	K	Ca	Mg	NH_4	Suma Total	Cl^-	SO_4	CO_3	HCO_3	NO_3	PO_4	Suma Total
(meq/L)														
1	Modelo 1	0.21d	0.09a	0.28cd	0.24d	0.04a	0.85ef	0.16b	0.09a	NPSH	0.60cde	0.006a	0.18ab	1.09ef
2		1.56a	0.14a	1.11a	0.94a	0.02a	3.76a	1.94a	0.08a	NPSH	1.25ab	0.004a	0.29ab	3.61a
3		0.30d	0.05a	0.15d	0.07e	0.04a	0.59f	0.32b	0.09a	NPSH	0.33de	0.004a	0.38a	1.16ef
4		0.26d	0.04a	0.10d	0.08de	0.04a	0.51f	0.32b	0.11a	NPSH	0.23e	0.004a	0.28ab	0.98f
5		0.35d	0.05a	0.15d	0.13de	0.03a	0.69f	0.34b	0.11a	NPSH	0.20e	0.004a	0.31ab	1.01f
1	Modelo 2	0.30d	0.05a	0.16d	0.06e	0.03a	0.59f	0.22b	0.08a	NPSH	0.25e	0.004a	0.33ab	0.93f
2		0.49d	0.08a	0.38cd	0.46c	0.03a	1.43de	0.40b	0.09a	NPSH	0.83bcd	0.005a	0.09b	1.46def
3		0.26d	0.04a	0.09d	0.07e	0.03a	0.49f	0.28b	0.10a	NPSH	0.15e	0.003a	0.29ab	0.87f
4		0.42d	0.06a	0.79b	1.00a	0.03a	2.29bc	0.36b	0.08a	NPSH	1.50a	0.004a	0.23ab	2.22bcd
5		0.59cd	0.14a	0.78b	0.43c	0.04a	1.96cd	0.38b	0.09a	NPSH	1.10abc	0.004a	0.31ab	1.93cde
1	Modelo 3	1.06bc	0.20a	0.58bc	0.53bc	0.05a	2.42bc	0.84b	0.56a	NPSH	1.00abc	0.004a	0.32ab	2.77abc
2		0.23d	0.05a	0.08d	0.05e	0.05a	0.44f	0.30b	0.10a	NPSH	0.15e	0.005a	0.30ab	0.90f
3		0.34d	0.05a	0.17d	0.17de	0.05a	0.77ef	0.30b	0.11a	NPSH	0.35de	0.005a	0.34ab	1.16ef
4		1.22ab	0.13a	0.83ab	0.68b	0.03a	2.88b	0.60b	0.60a	NPSH	1.40a	0.004a	0.27ab	2.92ab
5		0.41d	0.05a	0.24d	0.19de	0.03a	0.91ef	0.24b	0.33a	NPSH	0.20e	0.027a	0.20ab	1.05f
CV (%)		22.28	81.43	19.88	13.24	0.001	12.43	50.25	139.21	0.00	22.28	0.001	25.93	13.54
EE*		0.08	0.04	0.05	0.03	0.00	0.12	0.17	0.17	0.00	0.10	0.00	0.05	0.15

NPSH: No Presenta Subconjunto de Homogeneidad. * Letras desiguales en las columnas difieren para $p < 0.05$ según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La concentración de Na resultó menor para el agua de la finca 2 del modelo 3 sin diferencia con varias otras fincas, pero sí con la 2 del modelo 1 (1.56 meq/L) y la 4 del modelo 3 (1.22 meq/L), mientras que la concentración de K fue extremadamente baja en casi todas las fincas, pero sin diferencia estadística.

La concentración de Ca, presentó los mayores valores en la finca 2 del modelo 1 (1.11 meq/L) que tuvo diferencia estadística con tres fincas del mismo modelo y con las de otros modelos, mientras que en los modelos 2 y 3 algunas fincas presentaron diferencia estadística entre ellas.

La concentración de Mg fue mayor para la finca 4 del modelo 2 (1.00 meq / L), sin diferencia estadística con la finca 2 del modelo 1, que se diferenciaron de otras de sus modelos respectivos. También dentro del modelo 3 las fincas se diferenciaron en cuanto a la concentración de este catión.

La concentración del anión Cl^- (1.94 meq/L) fue mayor para la finca 2 del modelo 1 con diferencia con el resto de las fincas, este valor es muy bajo según lo establecido para las aguas de riego por la Norma Chilena Oficial [11].

El anión HCO_3^- resultó mayor para la finca 4 del modelo 2 sin diferencia de la finca 2 modelo 1 y finca 4 modelo 3. En todos los modelos se presentó diferencia estadística entre las fincas.

La concentración de PO_4 fue mayor para la finca 3 del modelo 1 que se diferenció de la finca 2 del modelo 2 y no del resto de las fincas.

La suma total de aniones resultó mayor para la finca 4 del modelo 2 (3.61 meq/L) sin diferencia de la finca 4 modelo 3 (2.92 meq/L), pero si con varias de las otras fincas. Dentro de los tres modelos se presentaron diferencias entre las fincas para esta variable lo cual pudiera influir en el desarrollo de los cultivos que van a ser repeticiones de ese tratamiento.

Las variables relacionadas con los elementos químicos y la dureza del agua que presentaron diferencia estadística para las interacciones Finca × Modelo en el municipio La Playa fueron la dureza total, la CE y la RAS (Tabla 8).

TABLA 8. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO LA PLAYA.

Finca	Modelo	Elementos químicos					Dureza del agua			
		Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	B ppm	Dureza Total (mg/L)(CaCO ₃)	pH	C.E. (mS/cm)	RAS
1	Modelo 1	1.31a	0.24a	0.03a	0.29a	0.20a	26.00ef	8.12a	0.11ef	0.41c
2		1.97a	0.87a	0.02a	0.29a	0.17a	102.50a	7.63a	0.49a	1.55a
3		1.32a	0.06a	0.03a	0.29a	0.12a	10.50f	7.95a	0.07f	0.97abc
4		1.55a	0.05a	0.02a	0.30a	0.19a	9.00f	7.85a	0.06f	0.88abc
5		0.92a	0.07a	0.04a	0.31a	0.24a	13.50f	7.86a	0.09ef	0.94abc
1	Modelo 2	2.11a	0.05a	0.03a	0.29a	0.19a	10.50f	7.12a	0.08f	0.99abc
2		1.18a	0.47a	0.02a	0.29a	0.18a	42.00de	7.66a	0.18de	0.75bc
3		58.08a	0.10a	0.02a	0.31a	0.27a	8.50f	7.61a	0.06f	0.91abc
4		1.32a	0.07a	0.03a	0.31a	0.15a	90.50ab	7.58a	0.25cd	0.45c
5		1.13a	0.13a	0.02a	0.29a	0.21a	60.00cd	7.94a	0.22cd	0.76bc
1	Modelo 3	1.12a	0.27a	0.03a	0.29a	0.14a	58.00cd	7.91a	0.29bc	1.39ab
2		1.14a	0.06a	0.03a	0.30a	0.16a	6.50f	6.96a	0.06f	0.90abc
3		1.41a	0.06a	0.02a	0.31a	0.26a	16.50f	7.87a	0.09ef	0.84bc
4		1.49a	0.19a	0.03a	0.30a	0.22a	75.50bc	7.78a	0.36b	1.40ab
5		1.16a	0.23a	0.02a	0.05a	0.19a	21.00ef	7.41a	0.11ef	0.98abc
CV (%)		41.20	12.96	0.00	12.88	10.26	14.60	6.45	19.17	18.45
EE*		14.99	0.18	0.00	0.25	0.14	3.79	0.35	0.02	0.12

* Letras desiguales en las columnas difieren para p<0.05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La dureza del agua fue mayor para las fincas 2 del modelo 1 (R-A-F), (102.50 mg/L de CaCO₃) y la 4 del modelo 2 (R-A-M) (90 mg/L) que difieren estadísticamente de algunas de las fincas de estos modelos mencionados. Estos valores sobrepasan los 54 mg/L, por encima del cual se consideran las aguas muy duras [10], sin embargo, hay valores de las aguas de las fincas del modelo 3 de 6.50 mg/L, clasificadas como muy blandas y que presentan diferencia estadística con otras de ese mismo modelo.

El valor de la CE fue relativamente más alto en la finca 2 del modelo 1 que difirió del resto, aunque los valores fueron tan variables que dentro de los tres modelos hubo diferencias entre las fincas.

El RAS alcanzó un valor de 1.50 en la finca 2 del modelo 1 sin diferencia con la finca 4 del modelo 3, pero sí de estas con la 1 del modelo 1 y la 4 del modelo 2. No se observó diferencia estadística entre las fincas de los modelos 2 y entre las del 3.

Por otra parte, en cuatro fincas se observaron pH superiores a 8 considerado no normal para el agua de riego por el Servicio de Información Agrario de Murcia [8].

Las variables que se relacionan con la concentración de cationes y aniones en el agua de riego no presentaron diferencia estadística en el catión NH₄ (meq/L) y en los aniones Cl⁻ (meq/L) y NO₃ (meq/L); en el resto de los elementos si hubo diferencia para para las interacciones Finca × Modelo en el municipio Mutiscua (Tabla 9)

TABLA 9. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO MUTISCUA.

Finca	Modelo	Cationes					Aniones							
		Na	K	Ca	Mg	NH ₄	Suma Total	Cl ⁻	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	PO ₄	Suma Total
(meq / L)														
1	Modelo 1	0.14efg	0.02ab	0.27d	0.10f	0.02a	0.55d	0.28a	0.08b	NPSH	0.30c	0.005a	0.15bcd	0.86d
2		0.13fg	0.02ab	0.28d	0.10f	0.06a	0.58d	0.64a	0.08b	NPSH	0.28c	0.004a	0.14d	1.18bcd
3		0.09g	0.01b	3.35b	0.20c	0.03a	3.67b	0.30a	1.45a	NPSH	2.00b	0.005a	0.14d	3.94a
4		0.18cdef	0.02ab	0.22d	0.12ef	0.05a	0.59d	0.36a	0.08b	NPSH	0.30c	0.004a	0.14d	0.93d
5		0.09g	0.02ab	2.71c	0.18c	0.04a	3.03c	0.42a	0.09b	NPSH	1.70b	0.007a	0.13d	2.39b
1	Modelo 2	0.15ef	0.03a	3.87a	0.43a	0.02a	4.50a	0.42a	0.43b	NPSH	2.65a	0.006a	0.14d	3.69a
2		0.27a	0.02ab	0.41d	0.17cd	0.06a	0.92d	0.24a	0.07b	NPSH	0.55c	0.004a	0.23ab	1.15cd
3		0.25ab	0.03a	2.46c	0.25b	0.04a	3.03c	0.36a	0.08b	NPSH	1.63b	0.005a	0.18abcd	2.30bc
4		0.22bc	0.03ab	0.25d	0.16cde	0.03a	0.67d	0.32a	0.07b	NPSH	0.53c	0.005a	0.24a	1.21bcd
5		0.16def	0.03ab	0.30d	0.11f	0.05a	0.63d	1.05a	0.08b	NPSH	0.35c	0.004a	0.15bcd	1.68bcd
1	Modelo 3	0.19cde	0.03a	0.47d	0.13def	0.04a	0.85d	0.36a	0.07b	NPSH	0.43c	0.004a	0.14d	1.04d
2		0.22abc	0.03ab	0.25d	0.16cde	0.03a	0.67d	0.46a	0.11b	NPSH	0.48c	0.004a	0.23abc	1.32bcd
3		0.13fg	0.02ab	0.26d	0.10f	0.03a	0.53d	0.36a	0.09b	NPSH	0.28c	0.004a	0.15cd	0.92d
4		0.15ef	0.02ab	0.29d	0.10f	0.03a	0.59d	0.52a	0.07b	NPSH	0.30c	0.005a	0.13d	1.08d
5		0.21bcd	0.03a	0.54d	0.17cd	0.03a	0.97d	0.28a	0.08b	NPSH	0.65c	0.006a	0.23ab	1.30bcd
CV (%)		0.001	0.001	9.89	0.001	0.001	8.73	51.05	127.80	0.00	16.23	0.00	0.001	18.24
EE*		0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.09	0.15	0.17	0.00	0.09	0.00	0.00	0.21

NPSH: No Presenta Subconjunto de Homogeneidad * Letras desiguales en las columnas difieren para p<0.05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

El sodio se manifestó en sentido general en el municipio de Mutiscua, sin embargo, en las fincas 2 y 3 del modelo 2 presentaron diferencia estadística significativa con el resto. El K se presentó también con niveles bajos; sin embargo, los mayores valores se presentaron en la finca 1 del modelo 2 y en las fincas 1 y 5 del modelo 3, que difirieron de la finca 3 del modelo 1 y no del resto.

El Ca con un valor alto (3.87 meq/L) en la finca 1 del modelo 2 difirió del resto de las fincas observándose valores relativamente bajos entre 0.10 y 0.12 meq/L, en varias fincas que no difirieron entre sí (1, 2 y 4 del modelo 1; 5 del modelo 2 y 1, 2, 3 y 4 del modelo 3), cuestión a tener en cuenta ya que el Ca aportado por el agua pudiera ser importante para la nutrición de las plantas, siendo este elemento importante en la constitución de la pared celular y por tanto a la resistencia de estas a las enfermedades causadas por hongos.

La suma total de cationes resultó más alta (4.50 meq/L) en la finca 1 del modelo 2 que presentó diferencia estadística significativa con el resto de las fincas con valores por debajo de 0.90 meq/L, que no difirieron entre sí (1, 2 y 3 del modelo 1; 4 y 5 del modelo 2 y 1, 2, 3, 4 y 5 del modelo 3).

El ion sulfato con un valor de 1.45 meq/L de la finca 3 del modelo 2 mostró diferencia estadística significativa con el resto de las fincas que no difirieron entre sí. El HCO₃, alcanzó un valor de 2.65 meq/L en la finca 1 del modelo 2, mostrando diferencia estadística con el resto.

El PO₄, aunque con valores bajos en casi todas las fincas, fue mayor estadísticamente para la finca 4 del modelo 2 (0.24 meq/L) y las fincas 3 del modelo 2 y 2 y 4 del modelo 3 (0.23 meq/L), mientras que el resto de las fincas no presentaron diferencia entre sí.

La suma total de aniones presentó los valores más altos en la finca 3 del modelo 1 y la finca 2 del modelo 2 (3.94 meq/L y 3.69 meq/L respectivamente), le siguieron en orden con diferencia estadística con estas, pero no siempre con el resto, la finca 5 del modelo 1 y la finca 3 del modelo 1 y modelo 2, además se presentaron diferencias entre las fincas para esta variable lo cual pudiera influir en el desarrollo de los cultivos que van a ser repeticiones de ese tratamiento. Según algunos autores no es favorable que el total de aniones esté por encima de 2.50 meq/L como en la finca 3 del modelo 1 y la finca 2 del modelo 2, porque indica peligrosidad sódica [7].

Con relación a las variables de los elementos químicos y la dureza del agua se presentó diferencia estadística para las variables Mn, Zn, dureza total, pH, CE y RAS en las interacciones Finca × Modelo en el municipio Mutiscua (Tabla 10).

TABLA 10. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS DEL AGUA Y DUREZA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO MUTISCUA.

Finca	Modelo	Elementos químicos					Dureza del agua			
		Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	B ppm	Dureza Total (mg/L)(CaCO ₃)	pH	C.E. (mS/cm)	RAS
1	Modelo 1	0.13a	0.05ab	0.02a	0.63ab	0.04a	18.50d	8.02ab	0.07de	0.32cd
2		0.16a	0.02b	0.02a	0.62ab	0.17a	18.50d	8.21a	0.06e	0.30d
3		0.21a	0.05ab	0.02a	0.59ab	0.05a	177.00b	8.00ab	0.43b	0.07f
4		0.21a	0.03b	0.03a	0.63ab	0.07a	17.00d	7.86ab	0.07de	0.44b
5		0.17a	0.03b	0.03a	0.62ab	0.05a	144.50c	7.88ab	0.27c	0.08f
1	Modelo 2	0.19a	0.04ab	0.02a	0.60ab	0.12a	215.00a	7.87ab	0.51a	0.10f
2		0.22a	0.11a	0.04a	0.58b	0.07a	29.00d	7.95ab	0.12de	0.51a
3		0.23a	0.07ab	0.03a	0.59ab	0.17a	135.00c	7.84ab	0.29c	0.22e
4		9.12a	0.04ab	0.02a	0.63ab	0.06a	20.00d	7.87ab	0.09de	0.49ab
5		0.17a	0.05ab	0.03a	0.61ab	0.06a	20.00d	7.10c	0.08de	0.36c
1	Modelo 3	0.23a	0.04ab	0.03a	0.64a	0.05a	30.00d	7.86ab	0.11de	0.36c
2		0.18a	0.04ab	0.02a	0.62ab	0.04a	20.00d	8.01ab	0.07de	0.50a
3		0.11a	0.04ab	0.03a	0.59ab	0.05a	18.00d	7.95ab	0.07de	0.31cd
4		0.16a	0.05ab	0.03a	0.61ab	0.14a	19.50d	8.09ab	0.07de	0.35cd
5		0.13a	0.04ab	0.03a	0.63ab	0.08a	35.50d	7.74b	0.13d	0.34cd
CV (%)		12.02	0.001	0.001	0.001	69.04	9.25	1.45	0.001	0.001
EE*		2.29	0.00	0.00	0.00	0.04	4.00	0.08	0.00	0.00

* Letras desiguales en las columnas difieren para p<0,05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La concentración de Mn con valores relativamente bajos fue mayor para la finca 2 del modelo agroecológico 2 y menor para las fincas 2, 4 y 5 del modelo 1, el resto quedaron intermedias desde el punto de vista estadístico. La concentración de Zn con valores relativamente bajos fue mayor para la finca 1 del modelo 3 y menor para la finca 2 del modelo 2, el resto quedaron intermedias estadísticamente. Con respecto al B, no se presenta diferencia estadística entre los modelos × fincas, los valores se consideran bajos (máximo 0.17 ppm) ya que se permite para cultivos sensibles como el ciruelo aguas de hasta 0.3 ppm a 1.25 ppm de boro y de 1 ppm a 2 ppm para cultivos semi tolerantes como la zanahoria [9], plantas incluidas en los modelos agroecológicos de Mutiscua.

La dureza total del agua resultó alta (aguas muy duras) para tres fincas del modelo 1 y una del modelo 2 con valores por encima de 54 mg/L de CaCO₃, sin embargo, otras se pueden ser clasificadas como aguas blandas con el valor el más bajo de 18.54 mg/L. El dato más alto se obtuvo para la finca 1 del modelo 2 con 215.0 mg/L de CaCO₃, que difirió estadísticamente del resto. Se presentó diferencia estadística entre las fincas del modelo 1 y modelo 2, pero entre las del modelo 3.

En cuatro fincas se obtuvieron pH superiores a 8 considerado no normal para el agua de riego por el Servicio de Información Agrario de Murcia [8]. El mayor valor fue para la finca 2 del modelo 1 con 8,21 que difirió del resto y el más bajo el de la finca 5 del modelo 2 con 7,1.

El valor de la C.E. fue relativamente más alto en la finca 1 del modelo 2 que difirió del resto. Hubo diferencia entre las fincas de los modelos 1 y 2 y no dentro del 3.

El RAS alcanzó un valor de 0.51 en la finca 2 del modelo 2 sin diferencia con la finca 2 del modelo 3, pero sí con las restantes. Las fincas 4 del modelo 1 y la 4 del modelo 2 quedaron intermedias entre las de valores más altos de RAS y el resto. Los valores fueron variables, lo que provocó que dentro de los tres modelos se presentara diferencia estadística entre las fincas.

Resultados con tendencia a aguas alcalinas, similares a los de Mutiscua fueron también informados por otros investigadores en una caracterización realizada a las aguas residuales urbano-industrial de la red hidrográfica en el valle de México con vistas a usarla para riego agrícola [12].

El resultado de los ANOVAs para la concentración de aniones y cationes en agua para la interacción Finca × Modelo en el municipio Ocaña reflejó diferencia estadística para los cationes Na, K, Ca y Mg y la suma total de cationes, y para el SO₄, el HCO₃, y la suma total de aniones (Tabla 11).

TABLA 11. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO OCAÑA.

Finca	Modelo	Cationes					Aniones							
		Na	K	Ca	Mg	NH ₄	Suma Total	Cl ⁻	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	PO ₄	Suma Total
(meq / L)														
1	Modelo 1	0.12c	0.02c	2.99a	0.59bcdef	0.03a	3.75abc	0.42a	0.09b	0.05a	2.45abc	0.004a	0.24a	3.25abc
2		0.23ab	0.05c	3.27a	0.26defg	0.04a	3.83abc	0.30a	0.09b	0.10a	2.55ab	0.005a	0.32a	3.36ab
3		0.20ab	0.06bc	2.54a	0.42bcdefg	0.04a	3.25abcd	0.28a	0.09b	0.10a	2.25abcd	0.005a	0.20a	2.92abcd
4		0.71abc	0.04c	2.90a	1.21a	0.03a	4.88a	0.28a	0.52a	0.15a	2.90a	0.003a	0.31a	4.16a
5		0.86ab	0.06bc	0.67b	0.73bcd	0.04a	2.35cdef	0.38a	0.11b	0.05a	1.55bcde	0.041a	0.21a	2.34bcdef
1	Modelo 2	0.08c	0.02c	0.65b	0.12fg	0.02a	0.89efg	0.43a	0.08b	0.05a	0.30efg	0.005a	0.17a	1.03ef
2		0.77abc	0.06bc	0.69b	0.61bcde	0.02a	2.14cdefg	0.36a	0.08b	0.05a	1.20cdefg	0.004a	0.25a	1.94bcdef
3		0.31ab	0.09bc	0.16b	0.11g	0.03a	0.69fg	0.40a	0.08b	0.05a	0.40efg	0.004a	0.31a	1.24ef
4		0.22ab	0.06bc	0.08b	0.04g	0.03a	0.42fg	0.24a	0.09b	0.05a	0.10g	0.003a	0.34a	0.81f
5		0.19ab	0.04c	0.05b	0.04g	0.04a	0.35g	0.36a	0.10b	0.05a	0.20fg	0.004a	0.35a	1.07ef
1	Modelo 3	0.89a	0.13abc	1.00b	0.74abc	0.03a	2.77bcde	0.52a	0.13b	0.05a	1.50bcdef	0.041a	0.27a	2.50bcde
2		0.21ab	0.23a	0.63b	0.17efg	0.05a	1.27efg	0.52a	0.10b	0.05a	0.70efg	0.004a	0.15a	1.52def
3		0.14c	0.02c	3.55a	0.82ab	0.04a	4.56ab	0.36a	0.25ab	0.10a	3.40a	0.004a	0.21a	4.33a
4		0.68abc	0.16ab	0.62b	0.26defg	0.03a	1.74defg	0.46a	0.08b	0.05a	1.00defg	0.037a	0.17a	1.79cdef
5		1.07a	0.07bc	0.57b	0.31cdefg	0.03a	2.05cdefg	0.34a	0.12b	0.05a	1.00defg	0.017a	0.38a	1.90bcdef
CV (%)		40.38	44.33	24.80	27.82	0.00	20.88	59.36	67.93	67.08	23.45	16.79	24.77	17.20
EE*		0.13	0.02	0.24	0.08	0.00	0.34	0.16	0.06	0.03	0.24	0.02	0.04	0.28

* Letras desiguales en las columnas difieren para p<0,05 según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La concentración de Na fue menor para la finca 1 del modelo 2 sin diferencia con varias otras fincas, pero si con la 1 del modelo 3 (0.89 meq/L); mientras que otras quedaron intermedias entre estas. Hubo diferencia entre las fincas de los tres modelos agroecológicos a pesar de que los valores en general eran bajos.

La concentración de K fue extremadamente baja en casi todas las fincas, pero se presentó diferencia estadística. Se presentaron mayores valores en la finca 2 del modelo 3, que no difirió de los de las fincas 1 y 4 de este modelo, pero si del resto. Entre las fincas de los modelos 1 y 2 no se observó diferencia estadística en cuanto a esta variable.

La concentración de Ca, presentó los mayores valores para las fincas 1, 2, 3, y 4 del modelo 1 y 3 del modelo 3 que difirieron del resto. Entre las fincas de los modelos 2 no se observó diferencia estadística respecto a esta variable.

La concentración de Mg fue mayor para la finca 4 del modelo 1 (1.21 meq/L), sin diferencia estadística con las fincas 1 y 3 del modelo 3, que se diferenciaron de otras de este modelo. Hubo diferencias entre las fincas de los tres modelos agroecológicos a pesar de que los valores de concentración en general eran bajos.

La suma total de cationes presentó los mayores valores para las fincas 1, 2, 3, y 4 del modelo 1, sin diferencia con la finca 3 del modelo 3.

Al igual que en Mutiscua, en este municipio se presentó diferencia estadística para la concentración el anión SO_4 , que resultó más alto en la finca 4 del modelo 1 que se diferenció del resto, excepto con la de la finca 3 del modelo 3, a pesar de ser los valores bajos en general. El anión de HCO_3 resultó mayor para la finca 3 del modelo 3 sin diferencia con varias otras fincas. En los modelos 1 y 3 se presentó diferencia estadística entre las fincas. La suma total de aniones fue mayor para las fincas 4 del modelo 1 y la 3 del modelo 3. Para esta variable para los modelos 1 y 3 se presentó diferencia estadística entre las fincas, pero no entre las del modelo 2.

Las variables relacionadas con los elementos químicos y la dureza del agua que presentaron diferencia estadística para las interacciones Finca \times Modelo en el municipio Ocaña fueron la concentración de Mn, la dureza total, la CE y la RAS (Tabla 12).

TABLA 12. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA \times MODELO EN EL MUNICIPIO OCAÑA.

Finca	Modelo	Elementos químicos					Dureza del agua			
		Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	B ppm	Dureza Total (mg/L)(CaCO ₃)	pH	C.E. (mS/cm)	RAS
1	Modelo 1	0.20a	0.04b	0.02a	0.26a	0.24a	179.50a	7.73a	0.39abcd	0.09d
2		0.98a	0.05b	0.02a	3.24a	0.36a	176.00a	7.86a	0.41abc	0.17d
3		0.87a	0.04b	0.03a	0.28a	0.27a	148.00ab	7.94a	0.39abcd	0.16d
4		0.66a	0.04b	0.03a	0.26a	0.30a	205.50a	8.07a	0.51ab	0.45cd
5		0.48a	0.33ab	0.04a	0.04a	0.21a	70.00cd	8.02a	0.25cdef	1.03b
1	Modelo 2	1.40a	0.04b	0.02a	0.26a	0.42a	38.50cd	7.94a	0.08f	0.12d
2		1.81a	0.11b	0.03a	0.04a	0.39a	59.50cd	8.03a	0.25cdef	0.96b
3		0.25a	0.12b	0.04a	0.28a	0.26a	13.50cd	8.00a	0.09f	0.85bc
4		1.27a	0.08b	0.03a	0.04a	0.30a	5.50d	7.99a	0.05f	0.94b
5		0.69a	0.04b	0.03a	0.27a	0.30a	4.50d	7.87a	0.05f	0.93b
1	Modelo 3	0.55a	0.09b	0.03a	0.04a	0.15a	87.00bc	7.45a	0.31bcde	0.95b
2		3.38a	0.50a	0.03a	0.31a	0.27a	39.50cd	7.88a	0.16ef	0.34d
3		14.58a	0.05b	0.02a	0.30a	0.21a	218.00a	7.76a	0.55a	0.10d
4		0.83a	0.10b	0.03a	0.02a	0.21a	43.50cd	7.86a	0.18def	1.04b
5		1.11a	0.05b	0.04a	0.02a	0.10a	44.00cd	8.04a	0.22cdef	1.67a
CV (%)		17.48	76.52	0.001	17.61	41.60	20.84	3.58	21.31	17.53
EE*		3.76	0.06	0.00	0.73	0.08	13.09	0.20	0.04	0.08

* Letras desiguales en las columnas difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey.

Fuente: Autores.

La concentración de Mn resultó mayor para la finca 2 del modelo 3 (0.50 ppm), que difirió del resto de las fincas que presentaron valores muy bajos de hasta 0.04 ppm, excepto con la 5 del modelo 1.

La dureza del agua fue mayor para las fincas 3 del modelo 3 (NC-A-F), (218.0 mg/L de CaCO_3) y las 1, 2 y 3 del modelo 1 (NC-A-M) con valores por encima de 175 mg/L que difieren estadísticamente de alguna que otra finca de estos modelos mencionados. Estos valores sobrepasan con creces los 54 mg/L por encima del cual se consideran las aguas muy duras [10], sin embargo, los valores de las aguas de las fincas del modelo 2 variaron entre 4.50 mg/L y 59.50 mg/L sin diferencia entre ellas.

El valor de la C.E. fue relativamente más alto en la finca 3 del modelo 3, aunque varias fincas no difirieron de esta, manifestándose diferencia entre las fincas del modelo 3 y entre las del modelo 1, no así dentro de las del modelo 2.

El RAS alcanzó un valor más alto de 1.67 en la finca 5 del modelo 3, con diferencia del resto de las fincas. A pesar de que este valor es inferior al nivel de riesgo de 3, establecido para los cultivos [13], se debe tener en consideración a mediano y largo plazo. Se observó diferencia estadística entre las fincas de los modelos 2 y entre las del 3 para esta variable en el municipio.

Los recursos agua en las 90 fincas del proyecto son aptos para la actividad agrícola a pesar de que los resultados mostraron que la mayoría de los valores de pH en alguna que otra finca en los seis municipios se encuentra por encima del rango óptimo para cultivos agrícolas, aunque esto no represente un alto riesgo de alcalinidad, similar situación ha sido reportada en investigaciones realizadas en Tuxcacuesco (Jalisco) [14].

El contenido de boro que presentó el agua está por debajo de los valores de toxicidad, la concentración de este elemento en el agua puede ser un aporte como micronutriente para los cultivos.

A pesar de que los resultados no impiden utilizar el agua de las fincas para el riego de los cultivos en el Proyecto Plantar, existe diferencia entre los modelos y fincas en muchas variables fisicoquímicas del agua, por lo se impone la necesidad de realizar un manejo adecuado que incluya factores ambientales, económicos y sociales de complicada implementación, que con frecuencia son difíciles de integrar como han señalado algunos autores [15], pero que se hace más necesario cada día para lograr la sostenibilidad integral de cada uno de estos agroecosistemas.

VI. CONCLUSIONES

Los valores medios de las variables de las 180 muestras de agua medidas en el laboratorio demuestra que la misma no tiene dificultades para ser usada con fines agrícolas, sin embargo, se observan altos coeficientes de variación para la mayoría de las concentraciones de los aniones y cationes de las 15 fincas por municipio, manifestándose en ocasiones el pH alto y las aguas con dureza alta, así como muy baja concentración de cloruros.

Un análisis más detallado para las variables cationes, aniones, elementos químicos y dureza del agua de riego en la interacción Finca × Modelo agroecológico en cada municipio, muestra diferencia estadística para las concentraciones en muchas variables, que si bien, no se alejan de los parámetros permisibles para el agua de riego, pueden influir de forma diferenciada sobre el desarrollo de un cultivo determinado dentro del modelo agroecológico.

FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada con recursos del proyecto de regalías “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TIC para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander”. Convenio Especial de Cooperación 00356. BPIN 2016000100030, el cual fue coordinado por la Gobernación de Norte de Santander y operado por la Universidad de Pamplona (España).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación del departamento de Norte de Santander, financista del proyecto: “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de las TIC, para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el departamento de Norte de Santander, Plantar”, la oportunidad de trabajar en el mismo, lo cual permitió los recursos necesarios para desarrollar la investigación y obtener la información que sirvieron de base al presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] A. García, “Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua para riego”, *IAH*, vol. 6, pp. 27–36, 2012. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- [2] FAO, “AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture”, *fao.org*, 2016. Disponible en <http://www.fao.org/aquastat/es/>
- [3] Banco Mundial, “El agua en la agricultura”, *bancomundial.org* (junio 29, 2017). Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- [4] Y. Maua & A. Porporato, “A dynamical system approach to soil salinity and sodicity”, *Adv Water Resour.*, vol. 83, no. 1, pp. 68–76, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.05.010>
- [5] M. M. Kadasiddappa, V. P. Rao, K. Y. Reddy, V. Ramulu, M. U. Devi y S. N. Reddy, “Effect of irrigation (drip/surface) on sunflower growth, seed and oil yield, nutrient uptake and water use efficiency - A review”, *Agric Rev.*, vol. 38, no. 2, pp. 152–158, 2017. <https://doi.org/10.18805/ag.v38i02.7947>
- [6] Proyecto plantar, “Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TICs para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el Departamento de Norte de Santander”, *plantar.gov.co*, 2018. Disponible en <http://plantar.gov.co/>

- [7] T. Tartabull y C. Betancourt, “La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan”, *AES*, vol. 4, no. 1, pp. 47–61, 2016. Disponible en <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/75>
- [8] SIAM, “Sistema de Información Agrario de Murcia”, *imida.es*, 2019. Disponible en <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:1:2431220132739809>
- [9] Fertilab, “Toxicidad por Boro Parte 2: Contenidos en Aguas de Riego y Tolerancia de los Cultivos”, *fertilab.com* (mayo 30, 2016). Disponible en <https://www.fertilab.com.mx/blog/111-toxicidad-por-boro--parte-2-contenidos-en-aguas-de-riego-y-tolerancia-de-los-cultivos/>
- [10] J. Canovas. *Calidad Agronómica de las aguas de riego*, 4ta edición. Mad, Esp: MAPA, 1990.
- [11] Requisitos de calidad del agua para diferentes usos, *NCh1333.Of78*, Instituto Nacional de Normalización, INN, Chile, 1987. Disponible en https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf
- [12] A. D. López, H. M. Ortega, C. Ramírez, E. Sánchez, Á. Can, D. Gómez y R. Vásquez, “Caracterización físico-química del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura”, *Tecnol Cienc Agua*, vol. 7, no. 6, pp. 139–157, 2016. Disponible en <http://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1287>
- [13] R. S. Ayers y D. W. Westcot, “Water quality for agriculture”. Roma, IT: FAO Irrig and Drain, *Paper N° 29*, 1985. Disponible en <http://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>
- [14] E. K. Medina, O. R. Mancilla, M. M. Larios, R. D. Guevara, J. L. Olgún, y O. A. Barreto, “Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco”, *IDESIA*, vol. 34, no. 6, pp. 51–59, 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000035>
- [15] C. Betancourt, T. Tartabull y Y. Labaut, “El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados”, *AES*, vol. 5 no. 2, pp. 40–54, 2017. Disponible en <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/119>

Leonides Castellano-González. Graduado de ingeniero agrónomo en la Universidad Central de Las Villas (Cuba). Magister en Ciencias Agrícolas en la universidad Agraria de la Habana (Cuba). Dr. en Ciencias Agrícolas en la Universidad Central de Las Villas. Posdoctorado en Metodología de la investigación científica en la Universidad de Cienfuegos (Cuba) y en Nutrición de Plantas en la UNESP (Brasil). Investigador Senior de Colciencias. Profesor de la Universidad de Pamplona (Colombia). <http://orcid.org/0000-0001-9285-4879>

José Saury Thomas-Manzano. Ingenierio Industrial en la Universidad Incca (Colombia). Finalizó estudios de especialización en Estadística Aplicada con la Universidad Francisco de Paula Santander (Colombia). Especialización en Gerencia de Proyectos con la Universidad de Pamplona (España). Terminó estudios de Maestría en Gerencia de Empresas Mención Finanzas y Maestría en Gerencia de Empresas Mención Industria con la Universidad Nacional Experimental del Táchira (Venezuela). Doctorado en Ciencias Gerenciales con la Universidad Rafael Belloso Chacín URBE (Maracaibo, Venezuela). <https://orcid.org/0000-0003-0048-874X>

Belcy Hernández-Tabaco. Egresada de la Universidad de Pamplona (España) como Ingeniera Ambiental. Durante el transcurso de mi vida profesional he estado vinculada en proyectos de investigación en los departamentos de Norte de Santander y Boyacá como analista vegetal y gestora de investigación. Actualmente, estudiante de la maestría en ingeniería ambiental. <https://orcid.org/0000-0002-2326-2332>