

Calidad de agua para riego de 60 fincas agroecológicas de 4 municipios del departamento de Boyacá

Water quality for irrigation of 60 agroecological farms in 4 municipalities of the department of Boyacá

DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.08>

Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción: 06/07/2020. Fecha de Aceptación: 11/11/2020.

Juan Carlos Guerrero Guio 

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (Colombia)
juancarlos.guerrero@uptc.edu.co

Leónides Castellanos González 

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

Neldy Tatiana Rodríguez Cely 

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (Colombia)
nestel07@gmail.com

Para citar este artículo:

J. Guerrero Guio, L. Castellanos González & N. Rodríguez Cely, “Calidad de agua para riego de 60 fincas agroecológicas de 4 municipios del departamento de Boyacá”, *INGECUC*, vol. 17, no. 1, pp. 96–111. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.08>

Resumen

Introducción— La disponibilidad adecuada y calidad del agua es uno de los factores más importantes para el desarrollo sostenible de una región, en agricultura esta puede tener efecto en la nutrición de las plantas por lo cual se hace necesario su evaluación.

Objetivos— Evaluar la calidad de agua para riego de 60 fincas de cuatro municipios del departamento de Boyacá los cuales formarían parte de un proyecto agroecológico.

Metodología— En cada municipio se establecerían tres modelos agroecológicos y cinco fincas/modelo para un total de 15 fincas por municipio, se tomaron dos muestras por finca replicadas en el tiempo con una hora de diferencia para un total de 120 muestras en los cuatro municipios. Las variables analizadas en laboratorio fueron 5 cationes, 6 aniones, hierro, manganeso, zinc, boro y cobre, dureza total, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio.

Resultados— El agua de todas las fincas es apta para uso agrícola con fines de riego, aunque en algunas fincas se presentan restricciones de uso por bicarbonato, hierro, manganeso, boro, dureza total y pH.

Conclusiones— Las fuentes de abasto del agua muestreadas para las 60 fincas permiten que sean usadas como agua para el riego agrícola, algunas presentan restricciones por altas concentraciones de hierro, manganeso y boro, también se observan altos coeficientes de variación en algunas variables y bajas concentraciones de potasio, magnesio y calcio, lo que constituye una preocupación por la influencia que podría tener en el desarrollo de los cultivos dentro de un mismo modelo agroecológico.

Palabras clave— Agroecología; desarrollo; irrigación; nutrición; restricción; variables fisicoquímicas

Abstract

Introduction— Adequate water quality and availability is one of the most important factors for sustainable development, for agriculture, it affects plant nutrition, and makes water assessment necessary.

Objective— Assess irrigation water comprising 60 farms in four municipalities of Boyacá department (Colombia). The farms are part of a project for agroecological production.

Methodology— In each municipality, three agroecological models would be established and five farms / model for a total of 15 farms per municipality. Two samples were taken per farm, replicated over time with an hour difference for a total of 120 samples in the four municipalities. Parameters included five cations, six anions, iron, manganese, zinc, boron and copper, total hardness, hydrogen potential, electrical conductivity and sodium absorption ratio. All parameters were analyzed in laboratory following the protocols for water quality assessment.

Results— the assessed samples were suitable for agricultural and irrigation purposes; some samples exhibit restrictions for the following parameters: bicarbonate, iron, manganese, boron, total hardness and pH.

Conclusions— Sources of water supply sampled for the 60 farms allow them to be used as water for agricultural irrigation, some have restrictions due to high concentrations of iron, manganese and boron; high cv were also observed in some variables and low concentrations of potassium, magnesium and calcium, which is a concern for the influence it could have on crop development within agroecological models.

Keywords— Agroecology; development; irrigation; nutrition; restriction; physicochemical variables



I. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada un elemento fundamental e indispensable para los seres vivos, su disponibilidad adecuada para varios propósitos y la calidad se convierte en unos de los factores más importantes para el desarrollo sostenible de una región [1]. La agricultura se ocupa el 70% del agua que se extrae en el mundo, a nivel mundial más de 330 millones de hectáreas cuentan con instalación de riego, la cual representa un 20% del total de la superficie cultivada y aporta un 40 % de la producción total de alimentos en todo el mundo [2] por lo tanto la práctica del riego seguirá cumpliendo una función fundamental en la seguridad alimentaria mundial.

El agua puede suministrarse a un cultivo de forma natural en las precipitaciones o por medios artificiales en riego en los casos donde las precipitaciones son muy bajas, el agua de riego es tomada de los reservorios, de distritos de riego, de ríos, quebradas o caños y según algunos autores [3] la calidad del agua de todas las fuentes para riego puede tener efecto en la nutrición de las plantas. Por lo cual es necesario realizar muestreos y análisis para evaluar la calidad, los mismos autores citan cuatro objetivos de los muestreos, los cuales son: Evaluar su adaptación a la combinación específica de cultivo, suelo, método de riego, grado de filtrado y otros tratamientos químicos necesarios; determinar el nivel de salinidad y concentración de elementos tóxicos en el agua para estimar su efecto en los cultivos; determinar la concentración de sodio y la Relación de Absorción de Sodio (RAS) para estimar el efecto potencial de largo plazo en la estructura del suelo y la infiltración de agua y determinar el valor nutricional para considerar qué nutrientes deberán agregarse al agua en el programa de fertirrigación.

Mientras otros investigadores [4] plantean que las variables directas para medir la calidad de agua para riego son la salinidad, la sodicidad, la alcalinidad y la toxicidad iónica específica y los principales indicadores para estas variables son Relación de Absorción del Sodio (RAS), el Porcentaje de Sodio Posible (PSP), el Carbonato de Sodio Residual (CSR), el Índice de Permeabilidad Potencial y Efectiva (IP), la conductividad eléctrica, el pH y el boro, cloruro y sodio como indicadores de toxicidad y afirman que la calidad del agua para el riego se puede deteriorar por el vertido de residuos que alteren la composición iónica del agua, incluyendo las aguas de retorno generadas en las áreas sometidas a riego.

Diferentes autores alrededor del mundo han realizado trabajos con el fin de evaluar la calidad de agua que va a ser utilizada o está siendo utilizada en riego y evitar problemas en los cultivos que puedan afectar su productividad, entre ellos tenemos autores [5], los cuales con productores de hortalizas del Sur de Tlaxcala en México evaluaron la disponibilidad y calidad del agua subterránea para el riego y encontraron que todas las aguas cumplen con el parámetro de CE, sólo 7 muestras de pozos cumplen con el parámetro de pH, los niveles de sodio y cloruros no representaban restricción alguna para el uso del agua en el riego y en el caso de bicarbonatos las aguas presentan una restricción moderada.

En ciertas investigaciones [6] se estudiaron los efectos de las fuentes de sal y la salinidad del agua de riego sobre el crecimiento, productividad y parámetros de calidad en el cultivo de *Stevia rebaudiana Bertoni* en la Universidad Akdeniz de Antalya Turquía y afirman que estos resultados muestran que el tipo de sal en el agua es tan importante como el nivel de salinidad del agua de riego y en general concluyen que los recursos hídricos que contienen cloruros no deben usarse para fines de riego en el cultivo de stevia.

Pero unos estudios [7] caracterizaron el agua para riego en las 90 fincas en seis municipios del Norte de Santander (Colombia) donde se desarrolló un proyecto denominado Plantar con el fin de valorar su influencia en la futura validación de los modelos agroecológicos y concluyeron que 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.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad de agua para riego de 60 fincas de los municipios de Maripi, Nuevo Colón, Tuta y la Capilla pertenecientes al departamento de Boyacá, las cuales formarían parte de un proyecto agroecológico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en los municipios de Maripi, Tuta, Nuevo Colón y La capilla los cuales están ubicados en las provincias de Occidente, Centro, Márquez y Oriente respectivamente del departamento de Boyacá (Fig. 1).

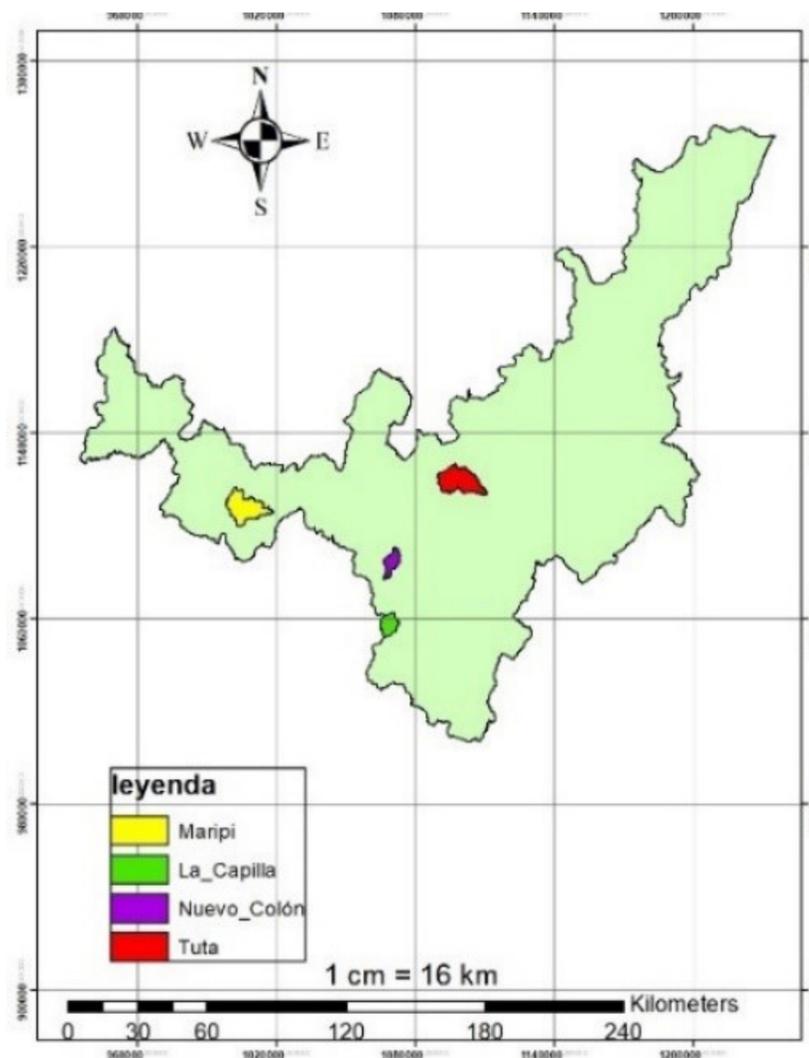


Fig 1. Municipios de investigación.

Fuente: Imagen prediseñada en ArcGIS V. 10.5.

En cada municipio se establecieron 3 modelos agroecológicos y por modelo 5 fincas para un total de 15 fincas por municipio (Tabla 1).

TABLA 1. MODELOS AGROECOLÓGICOS A ESTABLECER EN LOS MUNICIPIOS DE MARIPI, NUEVO COLÓN, TUTA Y LA CAPILLA.

Municipio	Modelo	Cultivo transitorio	Cultivo permanente	Cultivo forestal	Cultivo rotativo
Maripi	1	plátano y frijol	cacao	leucaena	
	2	frijol	plátano	balso	maíz
	3	ahuyama	aguacate	mata ratón	maíz
Tuta	1	arracacha	tomate de árbol	balso	
	2	zanahoria	mora	chicalá	arracacha
	3	maíz	ciruelo	aliso	frijol
Nuevo Colón	1	repollo	aguacate hass	aliso	cebolla de bulbo
	2	frijol	durazno	chicalá	maíz
	3	maíz	ciruelo	arrallan	frijol
La Capilla	1	arracacha	tomate de árbol	nogal cafetero	frijol
	2	frijol	mora	leucaena	cebolla de bulbo
	3	frijol	aguacate	cedro	maíz

Fuente: Autores.

Durante el mes de junio y julio del año 2019 se identificaron las fuentes de agua de las cuales se iba a suministrar el agua de riego y se tomó 1 muestra por finca con una 1 replica con una diferencia de una hora para un total de 15 muestras y 15 réplicas por municipio y 120 por la investigación en los cuatro municipios. Para realizar las tomas de muestras se tuvo en cuenta las consideraciones dadas en el artículo 27 del decreto 1575 del 2017 [8] y se siguió el siguiente procedimiento:

- Llenado de recipiente y georreferenciación. Se lleno el recipiente de muestreo con una porción de agua de entre 250 y 500 ml sumergiendo el envase de forma contraria al flujo. Se realizo el registro de localización del punto de muestreo real con GPS y se realizó la identificación de la muestra.
- Sellado de recipiente y preservación de muestras. Se sellaron herméticamente los envases y preservaron las muestras a una temperatura no menor a 5°C.
- Identificación de la muestra: En la toma de cada muestra de acuerdo al predio se tomaron los siguientes datos, nombre de quien tomo la muestra; predio y localización y tipo de agua (pozo, acuífero, llave, etc.).
- Almacenamiento de muestras. Se evito el uso de hielo seco o aditivos al hielo para evitar que las muestras se congelen, lo que pudo provocar que los recipientes se abran o se rompan y en determinados casos se puede alterar las características de la muestra.
- Transporte de muestras. Se aseguro que las tapas de los recipientes estuvieran bien cerradas, de tal manera que durante el viaje no se destapen.
- Entrega de muestras al laboratorio. La persona responsable del muestreo mantuvo la custodia permanente de las muestras hasta que se entregaron al laboratorio junto con una copia de los registros de la cadena de custodia.

Las variables analizadas en el laboratorio fueron: los cationes sodio, potasio, calcio, magnesio y amonio (Na, K, Ca, Mg, N - NH₄); los aniones cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, carbonatos y bicarbonatos (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻); los elementos químicos hierro, manganeso, zinc, boro y cobre (Fe, Mn, Zn, B, Cu); la dureza total; potencial de hidrogeno (pH); conductividad eléctrica (CE) y relación de absorción de sodio (RAS).

Los datos obtenidos en cada variable fueron sometidos a una estadística descriptiva para conocer cuál era la variación espacial dentro del municipio. Luego se realizaron ANOVAS con el fin de saber si existían diferencias entre las fincas de cada municipio y las fincas de cada modelo (interacción modelo x finca), seguido se realizó la prueba de Tukey para realizar comparación de medias ($P \leq 0.05$). Los análisis se realizaron con el programa estadístico SPSS 25v del año 2017.

III. RESULTADOS

Los resultados indicaron que el agua de todas las fincas es apta para uso agrícola con fines de riego, aunque en algunas fincas se presentan restricciones de uso por los elementos bicarbonato, hierro, manganeso, boro, dureza total y pH.

El pH del agua para uso agrícola con fines de riego debe estar en un rango de pH entre 5,5 a 7.0 con la finalidad de favorecer la absorción de nutrientes [5], en el municipio de Maripi se presentaron valores de pH en un rango de entre 6.5 a 8.0; el valor mas bajo se presentó en la finca 5 del modelo 2 (6.5) siendo el unico valor menor a 7.0 y el valor más alto se presentó en las fincas 3 del modelo 1 y finca 2 del modelo 3 (7.95) (Fig. 2a).

Para el municipio de Nueco Colón se presentan valores de pH en un rango entre 6.5 a 8.0; los valores mas bajos se presentan en la finca 2 del modelo 1 y finca 1 del modelo 2 (6.91 y 6.87 respectivamente) siendo los unicos valores menores a 7.0 y el valor mas alto se presenta en la finca 4 del modelo 1 (7.76) (Fig 2b).

Para el municipio de Tuta se presentan valores de pH en un rango entre 5.0 a 7.5; el valor mas bajo se presentan en la finca 3 del modelo 2 (5.0); los demás valores están en un rango entre 6.5 a 7.5 y no presentan diferencias estadísticas significativas entre ellos (Fig 2c).

Para el municipio de La Capilla se presentan valores de pH en un rango entre 5.5 a 7.0; el valor mas bajo se presenta en la finca 4 del modelo 1 y en la finca 5 del modelo 3 (5.81 y 5.88 respectivamente) y los valores mas altos se presentan en las fincas 1 y 4 del modelo 2 (6.83) (Fig 2d).

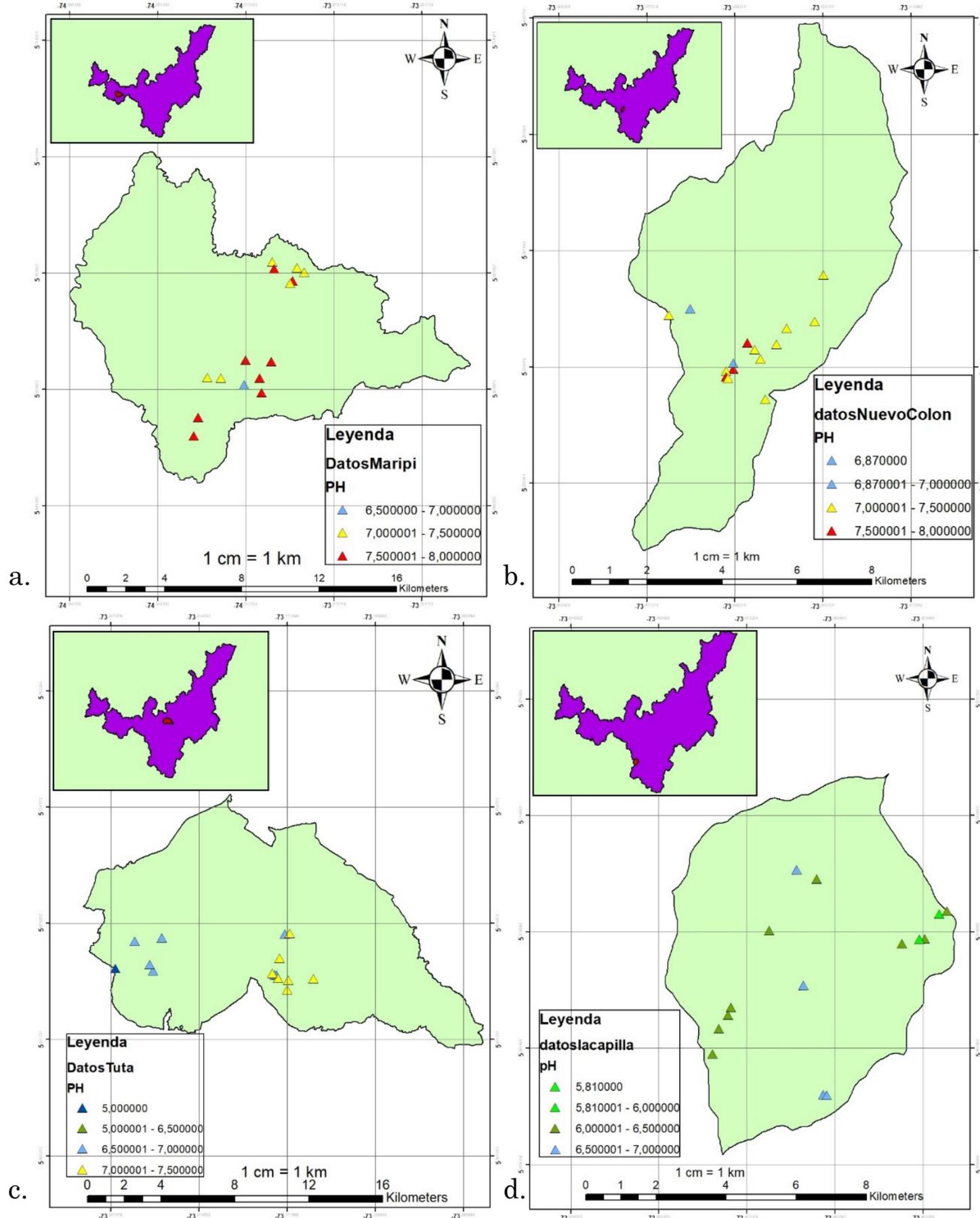


Fig. 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de los municipios y clasificacion por color según rango de potencial de hidrogeno (pH) del agua. a. Maripi b. Nuevo Colón c. Tuta d. La Capilla. Fuente: Imagen prediseñada en ArcGIS V. 10.5.

De manera general y de acuerdo a la estadística descriptiva por municipio en anión sulfato presento CV en todos los municipios con tres valores > 50% ; el elemento químico hierro presento CV en todos los municipios con dos valores > 90% y uno > 50%; el catión magnesio, el elemento químico boro y dureza total presentaron CV en todos los municipios con todos los valores > 50% y uno > 90%; el catión calcio, el anión bicarbonato, el elemento químico Zinc y manganeso y CE presentaron CV en todos los municipios con un valor > 90% y dos valores > 50%; el catión sodio presento % de CV en todos los municipios con un valor > 90% y uno > 50%; el catión potasio, el anión cloro y RAS presentaron CV en todos los municipios con 3 valores > 50 %. Las variables que presentaron menores CV fueron el catión amonio con solo un valor > 50%, los aniones nitrato, fosfato y pH no presentaron CV > 50% en ningún municipio, el elemento químico cobre presentó CV de 0% en 3 municipios y el anión carbonato presento CV de 0% en todos los municipios, demostrando muy baja variabilidad espacial.

El análisis del ANOVA para la concentración de los cationes y aniones en la interacción de las fincas x modelos agroecológicos para el municipio Mariipi, no arrojó diferencia estadística significativas para el anión sodio y cloro, pero sí para el resto de los aniones y cationes evaluados (Tabla 4) El el mayor contenido de potasio se presentó en la finca 5 del modelo 1 y fincas 1 y 5 del modelo 3 con los mismos contenidos (0.020 meq/L), que difirieron del resto, las demás fincas no presentaron diferencias estadísticas entre ellas (Tabla 2).

TABLA 2. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO MARIPI.

Finca	modelo	Cationes				Aniones		
		Na	K	Ca	Mg	Cl-	SO4	HCO3
		(meq / L)				(meq / 100L)		
1	Modelo 1	0.04 a	0.010 b	0.40 def	0.17 ab	0.25 a	0.10 c	0.15 fgh
2		0.03 a	0.010 b	0.39 def	0.10 b	0.23 a	0.09 c	0.42 ef
3		0.09 a	0.015ab	1.15 bcd	0.21 ab	0.22 a	0.71 ab	0.75 cd
4		0.03 a	0.010 b	0.05 f	0.02 b	0.24 a	0.07 c	0.07 h
5		0.03 a	0.020 a	0.92 cde	0.30 ab	0.21 a	0.92 a	0.75 cd
1	Modelo 2	0.04 a	0.010 b	1.90 b	0.17 ab	0.27 a	0.73 ab	1.02 bc
2		0.04 a	0.010 b	1.61 bc	0.23 ab	0.17 a	0.09 c	1.22 b
3		0.05 a	0.010 b	1.18 bcd	0.17 ab	0.20 a	0.30 c	1.12 b
4		0.05 a	0.010 b	0.25 ef	0.10 b	0.18 a	0.36 bc	0.12 fgh
5		0.06 a	0.010 b	0.63 def	0.19 ab	0.19 a	0.94 a	0.09 gh
1	Modelo 3	0.05 a	0.020 a	0.50 def	0.15 b	0.16 a	0.37 bc	0.40 efg
2		0.04 a	0.010 b	3.69 a	0.60 a	0.27 a	0.86 a	3.45 a
3		0.04 a	0.010 b	1.04 cde	0.25 ab	0.21 a	0.80 a	0.75 cd
4		0.05 a	0.010 b	0.49 def	0.14 b	0.18 a	0.25 c	0.52 de
5		0.04 a	0.020 a	1.11 bcd	0.30 ab	0.18 a	0.76 a	0.75 cd
CV (%)		0.01	0.01	20.05	52.24	67.12	18.82	10.8
EE*		0.01	0.01	0.14	0.08	0.1	0.07	0.06

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

El mayor contenido de calcio se presentó en la finca 2 del modelo 3 (3.69 meq/L) que manifestó diferencia con el resto y el menor contenido en la finca 4 del modelo 1 (0.05 meq/L), la cual no presento diferencias significativas con seis fincas más. En cuanto a magnesio el mayor contenido se presentó en la finca 2 del modelo 3 (0.60 meq/L) y el menor contenido se presentó en la finca 4 del modelo 2 (0.02 meq/L), la cual presento diferencias significativas solo con esta y no con el resto de las fincas. Al ser el magnesio un elemento esencial en el crecimiento de los

cultivos; con base a otras herramientas de diagnóstico (análisis de suelo y análisis foliar) y ya conociendo los extremadamente bajos contenidos de magnesio en el agua [9], se debe orientar de forma integral la nutrición eficiente de los cultivos en estas fincas.

El mayor contenido de sulfato se presentó en las fincas 5 del modelo 1 y 2 (0.94 meq/100L) y en las fincas 2, 3 y 5 del modelo 3 (0.86 meq/L; 0.80 meq/L; 0.76 meq/L respectivamente), mientras que el menor contenido se presentó en las fincas 1, 2 y 4 del modelo 1 (0.1 meq/L; 0.09 meq/L; 0.07 meq/100L); fincas 2 y 3 del modelo 2 (0.09 meq/L y 0.30 meq/100L) y finca 4 del modelo 3 (0.25 meq/100L). La finca 2 del modelo 3 presentó los contenidos más altos de bicarbonato (3.45 meq/100L), de acuerdo a varios autores [10] el agua de esta finca presenta restricción moderada para uso agrícola por dichos contenidos de carbonatos, mientras que los menores contenidos se presentaron en la finca 4 del modelo 1 (0.07 meq/L), la cual no presentó diferencias significativas con tres fincas más.

Todas las variables que tienen que ver con los elementos químicos y la dureza del agua presentaron diferencia estadística significativa para las interacciones finca \times modelo en el municipio de Maripí a excepción de hierro y boro. La finca 5 del modelo 2 presentó los mayores contenidos de manganeso y zinc (0.23 meq/L y 0.32 meq/L respectivamente) las demás fincas no presentaron diferencias estadísticas entre ellas para los dos elementos (Tabla 3).

TABLA 3. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA \times MODELO EN EL MUNICIPIO MARIPI.

Finca	modelo	Elementos químicos				Dureza		
		Fe	Mn	Zn	B	DUREZA TOTAL	CE	RAS
		(ppm)				mg/L	Ms/cm	
1	Modelo 1	0.01 a	0.09 b	0.06 b	0.13 a	28.56 cde	0.05 i	0.07 b
2		0.01 a	0.13 b	0.05 b	0.07 a	24.48 cde	0.06 i	0.06 b
3		0.01 a	0.10 b	0.05 b	0.08 a	68.47 bc	0.14 f	0.11 ab
4		0.01 a	0.12 b	0.04 b	0.15 a	3.44 e	0.02 j	0.16 a
5		0.01 a	0.09 b	0.07 b	0.12 a	61.65 bcd	0.17 cd	0.04 b
1	Modelo 2	0.01 a	0.15 b	0.06 b	0.08 a	103.49 b	0.18 bc	0.04 b
2		0.01 a	0.15 b	0.08 b	0.13 a	91.95 b	0.20 b	0.04 b
3		0.06 a	0.14 b	0.11 b	0.25 a	67.76 bc	0.14 ef	0.06 b
4		0.08 a	0.09 b	0.11 b	0.11 a	17.92 de	0.05 i	0.11 ab
5		0.01 a	0.23 a	0.32 a	0.06 a	41.35 cde	0.11 g	0.09 ab
1	Modelo 3	0.01 a	0.11 b	0.08 b	0.23 a	32.99 cde	0.09 h	0.09 ab
2		0.01 a	0.14 b	0.06 b	0.17 a	214.79 a	0.37 a	0.04 b
3		0.01 a	0.11 b	0.06 b	0.18 a	64.81 bc	0.16 de	0.005 b
4		0.07 a	0.09 b	0.12 b	0.06 a	31.87 cde	0.09 h	0.16 b
5		0.01 a	0.10 b	0.07 b	0.12 a	70.88 bc	0.16 d	0.05 b
CV (%)		197.01	0.01	68.75	79.64	18.97	0.01	43.1
EE*		0.03	0.01	0.04	0.07	8.27	0.01	0.02

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

Fuente: Autores.

El mayor valor de dureza se observó en la finca 2 del modelo 3 (214.79 meq/L) seguido por las fincas 1 y 2 del modelo 2 (103 meq/L y 91.95 meq/L), estas aguas se clasifican como aguas moderadamente duras y aguas duras respectivamente [11]. El menor valor de dureza total se presentó en la finca 4 del modelo 1 (3.44 meq/L), debiéndose destacar que otras seis fincas presentaron valores de dureza que no se diferenciaron del de esta. En cuanto a la CE la finca 2 del modelo 3 presentó los valores más altos (0.37 Ms/cm), mientras la finca 4 del modelo 1 presentó los valores más bajos (0.02 Ms/cm), las demás fincas quedaron con diferentes ubicaciones de diferencia estadísticas entre estos dos valores extremos.

El mayor valor de RAS se presentó en la finca 4 del modelo 1 (0.16) sin diferencia estadística significativa con cuatro fincas más, que no presentaron diferencia estadística significativa con el resto.

El análisis del ANOVA para la concentración de los cationes y aniones en la interacción de las fincas x modelos agroecológicos pertenecientes al municipio Nuevo Colón presentaron diferencia estadística significativa para todas las concentraciones de los cationes y aniones evaluados (Tabla 4).

TABLA 4. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO NUEVO COLÓN.

Finca	modelo	Cationes				Aniones		
		Na	K	Ca	Mg	Cl-	SO ₄	HCO ₃
		(meq / L)				(meq / 100L)		
1	Modelo 1	0.610c	0.39ab	1.03b	0.69b	1.44b	0.57b	1.15b
2		1.03a	0.38abc	0.63cde	0.32cde	1.46b	0.37bc	1.00bc
3		0.39d	0.25abcd	0.91bc	0.32cde	1.02c	0.08c	1.35a
4		0.11g	0.08bcd	0.98b	0.12def	0.22f	0.32c	0.87c
5		0.25ef	0.10bcd	0.73bcd	0.21def	1.01c	0.10c	0.50def
1	Modelo 2	1.01a	0.37abc	2.7a	2.17a	1.82a	4.47a	0.27ghi
2		0.15fg	0.08bcd	0.36ef	0.12def	0.70de	0.11c	0.17hi
3		0.04g	0.05d	0.07f	0.05f	0.25f	0.05c	0.10i
4		0.31de	0.27abcd	0.27f	0.43c	0.57e	0.05c	0.57de
5		0.06g	0.01d	0.15f	0.05f	0.23f	0.05c	0.20hi
1	Modelo 3	0.15fg	0.01d	0.27f	0.30cde	0.63e	0.05c	0.45defg
2		0.37d	0.07cd	0.19f	0.18def	0.86cd	0.05c	0.20hi
3		0.04g	0.29abcd	0.39def	0.13def	0.33f	0.05c	0.62d
4		0.76b	0.48a	0.37ef	0.33cd	1.61ab	0.055c	0.35fgh
5		0.08g	0.05d	0.34ef	0.11ef	0.24f	0.05c	0.42efg
CV (%)		8.79	39.92	13.23	14.76	6.63	26.47	8.13
EE*		0.02	0.05	0.05	0.03	0.03	0.08	0.03

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

La concentración de sodio fue mayor en las fincas 2 del modelo (1.03 meq/L) y 1 del modelo 2 (1.01meq/L) con diferencia estadística significativa del resto de las interacciones y menor en las fincas 3 del modelo 2 y 3 que presentaron la misma concentración (0.04 meq/L), aunque otras combinaciones de fincas y modelos no difirieron de estas.

La concentración de potasio fue extremadamente baja en todas las fincas, el mayor valor se presentó en la finca 4 del modelo 3 (0.48 meq/L) sin diferencia estadística significativa con las fincas 1, 2 y 3 del modelo 1, fincas 1 y 4 del modelo 2 y fincas 3 del modelo 3, el valor más bajo se presentó en la finca 5 del modelo 2 y finca 1 de modelo 3, las cuales presentaron valores extremadamente bajos 0.01 meq/L, aunque las otras siete fincas no difieren de estas.

La concentración de calcio fue mayor en la finca 1 del modelo 2 (2.7 meq/L) y menor en la finca 3 del modelo 2 (0.07 meq/L), sin diferencias estadísticas significativas con las fincas 2, 4 y 5 del mismo modelo y todas las fincas del modelo 3. En cuanto al magnesio la finca 1 del modelo 2 presentó los valores más altos (2.17meq/L) y las fincas 3 y 5 del modelo 2 presentaron los valores más bajos, siendo estos extremadamente bajos (0.05 meq/L) los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas con seis combinaciones de modelos x fincas más.

La concentración de cloro fue mayor en la finca 1 del modelo 2 (1.82 meq/L) y menor en la finca 4 del modelo 1 (0.22/100L), la cual no presento diferencia estadística significativa con cuatro fincas más pertenecientes a los tres modelos, mientras que para sulfato la mayor

concentración fue en la finca 1 del modelo 2 (4.47 meq/100L), las demás fincas no presentaron diferencia estadística significativa entre sí, a excepción de la finca 1 del modelo 1 que difirió de la 1 del modelo 2 y del resto, excepto de la finca 2 del modelo 1.

La concentración de bicarbonato fue mayor en la finca 3 del modelo 1 (1.35 meq/100L) y menor en la finca 3 del modelo 2 (0.10 meq/100L), la cual no presentó diferencias significativas con cuatro fincas más pertenecientes a los modelos 2 y 3.

Las variables que tienen que ver con los elementos químicos y la dureza del agua presentaron diferencia estadística significativa para todas las interacciones finca \times modelo en el municipio de Nuevo Colón a excepción de zinc y boro, la concentración de hierro resultó mayor en las fincas 2 del modelo 1 y 2 y en la finca 3 del modelo 3 (15.96 ppm, 5.22 ppm y 6.94 ppm respectivamente). La menor concentración de hierro resultó en la finca 1 del modelo 2 (0.05 ppm) sin diferencia estadística con 3 fincas más. Es de resaltar que 11 fincas presentaron contenidos mayores a 0.5 ppm, cualquier fuente de agua que posea concentraciones mayores a este valor no debería usarse en sistemas de riego por goteo [4] (Tabla 5).

TABLA 5. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA \times MODELO EN EL MUNICIPIO NUEVO COLÓN.

Finca	modelo	Elementos químicos				Dureza		
		Fe	Mn	Zn	B	DUREZA TOTAL	CE	RAS
		(ppm)				mg/L	Ms/cm	
1	Modelo 1	0.63c	0.17a	0.04a	0.11a	86.40b	7.57abc	0.66cd
2		15.96a	0.17a	0.13a	0.20a	47.39cde	6.91ef	1.50a
3		2.11bc	0.11ab	0.07a	0.17a	61.82c	7.22cdef	0.50def
4		0.02c	0.01b	0.085a	0.23a	55.01cd	7.76a	0.15hi
5		1.55bc	0.01b	0.10a	0.15a	47.51cde	7.38bcd	0.36efg
1	Modelo 2	0.05c	0.13ab	0.14a	0.12a	246.73a	6.87f	0.64d
2		5.22bc	0.07ab	0.13a	0.13a	24.67fgh	7.25cde	0.30fgh
3		0.35c	0.10b	0.08a	0.09a	6.29h	7.11def	0.19ghi
4		3.54bc	0.16ab	0.06a	0.06a	35.32def	7.43 abad	0.54de
5		3.38bc	0.14ab	0.07a	0.08a	10.07gh	7.41abcd	0.20ghi
1	Modelo 3	4.06bc	0.08ab	0.07a	0.11a	28.94efg	7.37bcd	0.28ghi
2		3.10bc	0.12ab	0.07a	0.14a	19.09fgh	7.28bcde	0.85c
3		6.94b	0.06ab	0.10a	0.06a	25.92efgh	7.44abcd	0.08i
4		1.55bc	0.17a	0.12a	0.27a	35.37def	7.29bcd	1.29b
5		0.4150c	0.10ab	0.12a	0.10a	22.43fgh	7.64ab	0.17ghi
CV (%)		47.56	2.93	33.04	62.12	40.04	64.76	0.32
EE*		1.09	0.02	0.02	0.08	2.96	0.12	0.29

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

La mayor concentración de manganeso se presentó en las fincas 1 y 2 del modelo 1 y finca 4 del modelo 3 (0.17 ppm), sin presentar diferencias estadísticas significativas con nueve fincas más y la menor concentración en las fincas 4 y 5 del modelo 1 (0.01 ppm). En lo referente a dureza total presentaron los mayores valores en las fincas 1 del modelo 1 y 2 (86.4 mg/L y 246.73 mg/L respectivamente) con diferencias estadística significativa entre ellas, pero según algunos autores [11] estas aguas son clasificadas como aguas moderadamente duras y aguas duras respectivamente. El menor contenido se presentó en la finca 3 del modelo 2 (6.29 mg/L) sin diferencias estadísticas significativas con cinco fincas más correspondientes al modelo 2 y 3.

El mayor valor de RAS se presentó en la finca 2 del modelo 1 (1.5 mg/L) y el menor en la finca 3 del modelo 3 (0.08 mg/L), la cual no presentó diferencias estadísticas significativas con cinco fincas más.

El análisis del ANOVA para la concentración de los cationes y aniones en la interacción de las fincas x modelos agroecológicos pertenecientes al municipio Tuta reflejó diferencias estadísticas significativas en los cationes sodio y potasio y en los aniones cloruros y bicarbonatos. La concentración de sodio fue mayor en la finca 3 del modelo 3 (0.5 meq/L) sin diferencias estadísticas significativas con siete fincas, la menor concentración se presentó en las fincas 5 y 4 de los modelos 2 y 3 (0.15 meq/L y 0.14 meq/L respectivamente). La concentración de potasio fue mayor en la finca 2 del modelo 1 (0.66 meq/L) y menor en la finca 4 del modelo 3 (0.02 meq/L), siendo esta concentración extremadamente baja y la cual no presentó diferencias estadísticas significativas con ocho combinaciones de finca y modelo (Tabla 6).

TABLA 6. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO TUTA.

Finca	modelo	Cationes				Aniones		
		Na	K	Ca	Mg	Cl-	SO4	HCO3
		(meq / L)				(meq / L)		
1	Modelo 1	0.22cde	0.45abcd	0.36a	0.16a	0.31b	0.16a	0.75abcde
2		0.25bcde	0.66a	0.73a	0.38a	0.52b	0.28a	1.17abcd
3		0.44ab	0.27cdef	0.52a	0.21a	0.40b	0.07a	1.27abc
4		0.29abcde	0.28cdef	0.42a	0.21a	0.58b	0.09a	0.52bcde
5		0.20cde	0.34bcde	0.31a	0.18a	0.35b	0.08a	0.75abcde
1	Modelo 2	0.38abc	0.53abc	0.55a	0.26a	0.55b	0.06a	1.35a
2		0.29abcde	0.17ef	0.77a	0.50a	0.53b	0.96a	0.72abcde
3		0.19cde	0.28cdef	0.69a	0.54a	1.81a	0.82a	0.17e
4		0.16de	0.23def	0.17a	0.11a	0.53b	0.05a	0.50cde
5		0.15e	0.08ef	0.27a	0.11a	0.42b	0.05a	0.52bcde
1	Modelo 3	0.37abcd	0.56ab	0.38a	0.23a	0.43b	0.07a	1.22abcd
2		0.36abcde	0.09ef	0.74a	0.22a	0.36b	0.48a	1.05abcd
3		0.50a	0.58ab	0.60a	0.33a	0.86b	0.05a	1.32ab
4		0.14e	0.02f	0.13a	0.06a	0.29b	0.05a	0.42de
5		0.32abcde	0.24def	0.46a	0.24a	0.59b	0.14a	0.72abcde
CV (%)		19.03	19.68	35.72	64.61	36.8	67.75	24.59
EE*		0.03	0.04	0.12	0.11	0.14	0.22	0.14

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

La concentración de cloro fue mayor en la finca 3 del modelo 2 (1.81 meq/L) y menor en las demás fincas que no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellas. La concentración de bicarbonato fue mayor en la finca 1 del modelo 2 (1.35 meq/L), es de resaltar que esta no presentó diferencias con nueve interacciones de fincas modelos, la menor concentración se presentó en la finca 3 (0.17 meq/L) del modelo 2,

Las variables que tienen que ver con los elementos químicos y la dureza del agua presentaron diferencia estadística para las interacciones finca × modelo en el municipio de Tuta en los elementos zinc, boro y RAS. Sin embargo, en lo relacionado a contenidos de hierro a pesar de no presentarse diferencias estadísticas significativas en todas las fincas se presentan concentraciones mayores a 0.5 ppm, estas aguas no deberían usarse en sistemas de riego por goteo [4]. De forma similar se observó con el elemento químico manganeso el cual

no presentó diferencias estadísticas significativas pero las fincas 1, 2 y 3 del modelo 1 y 1 y 2 del modelo 3 presentan contenidos mayores a la máxima concentración permisible para aguas de riego, 0.2 ppm [12], [13] (Tabla 7).

TABLA 7. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO TUTA.

Finca	modelo	Elementos químicos				Dureza		
		Fe	Mn	Zn	B	DUREZA TOTAL	CE	RAS
		(ppm)				mg/L	Ms/cm	
1	Modelo 1	2.90a	0.30a	0.29abc	0.82ab	26.00a	0.12a	0.44bcde
2		9.46a	0.64a	0.40abc	0.95a	55.50a	0.21a	0.33de
3		7.64a	1.10a	0.22abc	0.06c	37.00a	0.14a	0.76a
4		2.21a	0.12a	0.11c	0.24bc	32.00a	0.14a	0.52abcde
5		6.07a	0.28a	0.33abc	0.42abc	25.00a	0.11a	0.42cde
1	Modelo 2	9.30a	4.70a	0.41ab	0.42abc	41.00a	0.18a	0.60abcd
2		5.37a	0.67a	0.33abc	0.14c	63.50a	0.20a	0.37de
3		2.40a	0.33a	0.51a	0.07c	51.13a	0.20a	0.26e
4		3.06a	0.12a	0.24abc	0.19c	14.50a	0.08a	0.43cde
5		5.20a	0.28a	0.18bc	0.36abc	21.50a	0.07a	0.32de
1	Modelo 3	6.14a	0.42a	0.33abc	0.28bc	30.50a	0.18a	0.67abc
2		1.91a	0.15a	0.20bc	0.10c	48.50a	0.17a	0.52abcde
3		5.76a	0.44a	0.42ab	0.24bc	46.50a	0.22a	0.74ab
4		7.05a	0.17a	0.20bc	0.25bc	10.00a	0.05a	0.45bcde
5		3.92a	1.05a	0.14bc	0.12c	36.00a	0.16a	0.54abcde
CV (%)		48.09	45.06	24.38	48.34	55.23	36.51	15.71
EE*		1.77	0.94	0.05	0.1	14.02	0.03	0.05

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

La finca 3 del modelo 2 presentó los mayores contenidos de zinc (0.51 ppm), sin diferencias con nueve interacciones modelos x fincas, mientras que la finca 4 del modelo 1 presentó los menores contenidos (0.11 ppm). Las mayores concentraciones de boro se hicieron evidentes en las fincas 1 y 2 del modelo 1 (0.82 ppm y 0.95 ppm respectivamente) que según algunos autores [14] son de máximo 0.3 ppm para cultivos sensibles a toxicidad a este microelemento, los menores contenidos de boro se presentaron en la finca 3 del modelo 2 (0.07 ppm) sin diferencias con las 12 fincas restantes. Los mayores valores de RAS se presentaron en la finca 3 del modelo 1 (0.76 ppm) y los menores en la finca 3 del modelo 2 (0.26 ppm) sin diferencia con otras nueve interacciones modelos x fincas.

El análisis del ANOVA para la concentración de los cationes y aniones en la interacción de las fincas x modelos agroecológicos pertenecientes al municipio La Capilla, el anión cloro fue el único sin diferencias estadística. Las mayores concentraciones de sodio se observaron en la finca 2 del modelo 3 (0.24 meq/L) y las menores en la finca 2 del modelo 1 (0.02 meq/L), sin presentar diferencias estadísticas con cinco fincas más. Los mayores contenidos de potasio se presentaron en las fincas 4 del modelo 2 y 3 (0.46 meq/L y 0.16 meq/L respectivamente), siendo estos contenidos extremadamente bajos a pesar de ser los de más alto valor entre las fincas, mientras los menores contenidos se presentaron en las fincas 2 del modelo 1 y fincas 5 del modelo 3, las dos sin contenido de potasio (0.00 meq/L). En cuanto a los contenidos de calcio la finca 4 del modelo 2 mostró el mayor contenido (0.46 meq/L), sin diferencia con las demás fincas, mientras los menores contenidos se presentaron en la

finca 2 del modelo 1 (0.04 meq/L), presentando diferencias con siete fincas más de diferentes modelos (Tabla 8).

TABLA 8. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS CATIONES Y ANIONES DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO LA CAPILLA.

Finca	modelo	Cationes				Aniones		
		Na	K	Ca	Mg	Cl-	SO4	HCO3
		(meq / L)				(meq / 100L)		
1	Modelo 1	0.05 e	0.01 c	0.15 cd	0.06 cd	0.09 b	0.19 ab	0.10 de
2		0.02 g	0.00 d	0.04 f	0.02 g	0.06 b	0.05 b	0.07 d
3		0.04 ef	0.01 c	0.13 cde	0.04 ef	0.17 b	0.06 ab	0.12 de
4		0.03 fg	0.01 c	0.06 ef	0.02 fg	0.08 b	0.04 b	0.17 cde
5		0.07 d	0.01 c	0.11 def	0.04 ef	0.09 b	0.05 b	0.22 bcde
1	Modelo 2	0.11 c	0.02 b	0.32 b	0.08 bc	0.17 b	0.06 ab	0.45 a
2		0.03 efg	0.01 c	0.07 ef	0.03 fg	0.07 b	0.13 ab	0.10 de
3		0.07 d	0.01 c	0.20 c	0.07 bc	0.07 b	0.05 a	0.40 ab
4		0.14 b	0.03 a	0.46 a	0.16 a	0.18 b	0.30 a	0.45 a
5		0.03 fg	0.01 c	0.06 ef	0.03 fg	0.09 b	0.04 b	0.15 de
1	Modelo 3	0.04 ef	0.01 c	0.08 def	0.05 de	0.03 b	0.06 ab	0.22 bcde
2		0.24 a	0.02 b	0.09 def	0.05 de	0.37 a	0.03 b	0.30 abcd
3		0.03 fg	0.01 c	0.06 ef	0.03 fg	0.07 b	0.03 b	0.15 de
4		0.11 c	0.03 a	0.29 b	0.08 b	0.18 b	0.05 b	0.37 abc
5		0.03 efg	0.00cd	0.04 e	0.02 g	0.09 b	0.08 ab	0.17 cde
CV (%)		0.01	0.01	0.01	0.01	37.05	75.29	23.64
EE*		0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04

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

Los mayores contenidos de magnesio se presentaron en la finca 4 del modelo 2 (0.16 meq/L) y los menores en la finca 2 del modelo 1 y finca 5 del modelo 3 los dos con los mismos contenidos (0.02 meq/L), sin presentar diferencias con cinco fincas de otros modelos La finca 4 del modelo 2 presentó los mayores contenidos de sulfatos (0.30 meq/100L), mostrando diferencias con cinco fincas más, pero ninguna del modelo 3, mientras los menores valores se presentaron en las fincas 2 y 3 del modelo 3 con los mismos contenidos (0.03 meq/100L). En cuanto a los contenidos de bicarbonato, las mayores concentraciones se presentaron en las fincas 1 y 4 del modelo 2, los dos con los mismos contenidos (0.45 meq/100L), sin presentar diferencia estadística significativa con siete combinaciones modelo x fincas, mientras los menores se presentaron en la finca 2 del modelo 1 (0.07 meq /100L).

Las variables que tienen que ver con los elementos químicos y la dureza del agua presentaron diferencia estadística significativa para las interacciones finca × modelo en el municipio de La Capilla a excepción de boro. Los contenidos de hierro son mayores en la finca 4 del modelo 1 y en la finca 3 del modelo 2 (6.26 ppm y 11.34 ppm respectivamente), los menores contenidos se presentan en la finca 3 del modelo 3 (0.25 ppm) sin diferencias estadísticas significativas con las demás fincas. De forma similar al resto de los municipios hay varias fincas (9) con concentraciones superiores a 0.05 ppm que no debería usarse en sistemas de riego por goteo [4]. Los contenidos de manganeso fueron mayores en la finca 4 del modelo 1 (1.61 ppm) que sobrepasa las máxima concentraciones permisibles de 0.2 ppm [12], los menores contenidos los presentan las demás fincas sin diferencias estadísticas significativas entre ellas (Tabla 9).

TABLA 9. RESULTADOS DEL ANOVA DE LOS ELEMENTOS AGROQUÍMICOS Y DUREZA DEL AGUA PARA LAS INTERACCIONES FINCA × MODELO EN EL MUNICIPIO LA CAPILLA.

Finca	modelo	Elementos químicos				Dureza		
		Fe	Mn	Zn	B	DUREZA TOTAL	CE	RAS
		(ppm)				mg/L	Ms/cm	
1	Modelo 1	1.82 bc	0.13 b	0.28 a	0.09 a	10.50 cd	0.03 bcd	0.14 e
2		0.31 c	0.05 b	0.02 c	0.07 a	3.00 f	0.01 d	0.15 e
3		0.30 c	0.05 b	0.02 bc	0.24 a	8.00 de	0.03 cd	0.16 e
4		6.26 b	1.61 a	0.02 bc	0.09 a	4.50 ef	0.02 cd	0.13 e
5		0.75 c	0.01 b	0.14 abc	0.09 a	7.50 de	0.03 cd	0.28 b
1	Modelo 2	1.08 c	0.01 b	0.19 abc	0.08 a	20.00 b	0.06 bc	0.25 bcd
2		0.52 c	0.06 b	0.05 bc	0.21 a	5.00 ef	0.02 cd	0.14 e
3		11.34 a	0.07 b	0.16 abc	0.08 a	14.00 c	0.04 bcd	0.18 cde
4		1.15 c	0.11 b	0.25 ab	0.25 a	31.00 a	0.12 a	0.26 bc
5		0.82 c	0.07 b	0.05 bc	0.11 a	4.50 ef	0.02 cd	0.14 e
1	Modelo 3	0.53 c	0.04 b	0.28 a	0.17 a	6.00 ef	0.02 cd	0.16 e
2		3.19 bc	0.21 b	0.23 abc	0.18 a	7.00de	0.08 ab	0.91 a
3		0.25 c	0.05 b	0.01 c	0.07 a	5.00 ef	0.02 cd	0.15 e
4		2.32 bc	0.12 b	0.17 abc	0.46 a	19.00 b	0.06 bc	0.26 bc
5		0.57 c	0.01 b	0.20 abc	0.11a	3.00 f	0.02 cd	0.17 de
CV (%)		57.72	55.90	38.65	91.24	9.06	0.04	0.23
EE*		0.85	0.14	0.04	0.10	0.63	0.01	0.01

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

Los mayores contenidos de zinc se observaron en las fincas 1 de los modelos 1 y 3 (0.28 ppm), sin diferencias con siete fincas más, mientras los menores contenidos se presentaron en la finca 3 del modelo 3 (0.01 ppm). La finca 4 del modelo 2 presentó el mayor valor de dureza (31.00 mg/L) sin diferencias con la demás finca, mientras el menor valor de dureza se presentó en la finca 2 del modelo 1 y finca 5 del modelo 3 (3.00 mg/L). La finca 4 del modelo 2 presentó los mayores contenidos de CE (0.12 ms/cm), mientras la finca 2 del modelo 1 presentó los menores contenidos (0.01 ms/cm) sin presentar diferencia sobre 12 fincas más, entre ellas todas las del modelo 1. En cuanto a los contenidos de RAS la finca 2 del modelo 3 mostró el mayor valor (0.91 ms/cm) sin diferencias estadística significativa con las demás fincas, el menor valor se presentó en la finca 4 del modelo 1 (0.13 ms/cm) sin diferencia estadística significativa con nueve combinaciones modelos x fincas. De acuerdo a lo anterior las fincas con posibles restricciones de agua para uso agrícola son, la finca 2 del modelo 3 del municipio de Maripí que presenta grado de restricción moderado por contenidos de bicarbonato (3.45 meq/100L) [10] sin embargo se plantea [5] que cuando la suma de los cationes calcio y magnesio es mayor a la suma de los aniones carbonato y bicarbonato no existe ningún grado de restricción, dicha afirmación se presenta en esta finca por lo cual no existe grado de restricción.

Todas las fincas de los 3 modelos del municipio de Tuta, al igual que todas las fincas de Nuevo Colón a excepción de la finca 4 del modelo 1; fincas 1 y 3 del modelo 2 y finca 5 del modelo 3 y en el municipio de La Capilla las fincas 1, 4 y 5 del modelo 1; fincas 1, 3, 4 y 5 del modelo 2 y fincas 2 y 4 del modelo 3 presentan restricción de agua para uso en sistemas de riego por goteo a menos que sean tratadas químicamente antes de su introducción a las tuberías de goteros ya que existe riesgo de taponamiento en los emisores por presentar valores mayores a 0.5 ppm [4], al respecto se señala que el límite máximo permisible para concentraciones de hierro es de 5 ppm [15], sin realizar énfasis en sistemas de riego, de acuerdo a lo anterior las fincas que presentan restricción con cualquier sistema de riego por aspersión

son, para el municipio de Maripi las fincas 2 del modelo 1 y 2 y la finca 3 del modelo 3; para el municipio de Tuta las fincas 2, 3 y 5 del modelo 1, las fincas 1, 2 y 5 del modelo 2 y las fincas 1, 3 y 4 del modelo 3.

Algunos autores afirman que para reducir estas concentraciones de hierro en el agua una alternativa posible es la aireación pues provee oxígeno disuelto necesario para convertir el hierro a forma ferrosa el cual es insoluble [16], entre todas las formas de proveer aireación son las cascadas, los sistemas de fuente, los conos aireadores y bandejas de aireación, en caso de riego por goteo después se debe realizarse un estricto filtrado que permita retener estas partículas insolubles que pueden causar daños en los emisores, por otra parte algunos autores [17] después de realizar un trabajo en hidroponía con plantas de cala (*Zantedeschia aethiopica*) y evaluando toxicidad a diferentes dosis de hierro (0 ppm, 100 ppm y 200 ppm) han sugerido que la planta de cala son moderadamente tolerante a exceso de hierro y sería apropiado para la fitorremediación de humedales contaminados con este metal, por lo tanto la siembra de plantas de cala se podría convertir en una solución.

Las fincas 1, 2 y 3 del modelo 1 y modelo 2 y fincas 1, 3 y 5 del modelo 3 del municipio de Tuta y la finca 4 del modelo 1 del municipio de La Capilla presentan restricción de uso de agua por presentar contenidos de manganeso mayores a 0.2 ppm [12], [13], para reducir estas concentraciones hasta concentraciones permisibles se debe aplicar el mismo procedimiento citado para el caso de hierro [16].

Las fincas 1, 2 y 5 del modelo 1 y fincas 1 y 5 del modelo 2 pertenecientes al municipio de Tuta presentan restricción de uso por presentar contenidos de boro mayores a 0.3 ppm [14] dicho valor esta dado para cultivos sensibles a la toxicidad de boro, algunos de estos cultivos de la zona de estudio son el aguacate, el ciruelo y la vid por lo cual estas fincas no se debe sembrar estos cultivos [18]. Para cultivos tolerantes según algunos autores [14] la máxima concentración es de 4 ppm, en ninguna de las fincas se excede de esta concentración, dentro de los cultivos de la zona semitolerantes a toxicidad por boro están alfalfa, repollo y papa y cultivos tolerantes remolacha, por lo cual no existe ningún grado de restricción para dichos cultivos [18]. Sin embargo, de ser sembrados es importante monitorear síntomas de toxicidad los cuales son normalmente mostrados en las hojas viejas como amarillamiento, pardeamiento o secado del tejido de las hojas, de las puntas y bordes hacia adentro [19], [15]. Al realizar una comparación con la gráfica 1 se observa que para las fincas con los altos contenidos de boro no se va a realizar siembra de los cultivos susceptibles mencionados anteriormente, si se realizara la siembra de ciruela en las fincas del modelo 3, no habría problemas pues estas presentan contenidos normales de boro.

La finca 2 del modelo 3 pertenecientes al municipio de Maripi y la finca 1 del modelo 2 perteneciente al municipio de Nuevo Colón podrían tener restricción de uso por clasificarse como aguas duras [11], las fincas 1 y 2 del modelo 2 pertenecientes al municipio de Maripi y la finca 1 del modelo 2 perteneciente al municipio de Nuevo Colón presentan restricción de uso por clasificarse como aguas moderadamente duras [11]. Sin embargo, en todas las fincas mencionadas la sumatoria de los cationes calcio y magnesio es mayor a la suma de los aniones carbonato y bicarbonato por lo cual en este caso no existe grado de restricción [7].

En cuanto a las fincas que presentaron contenidos bajos o extremadamente bajos de nutrientes esenciales y que las plantas necesitan en más altas cantidades para el crecimiento son; las fincas de los 3 modelos del municipio de Maripi y La Capilla presentan contenidos extremadamente bajos de potasio, al respecto varios autores [4] afirman que el potasio es un macronutriente esencial y se encuentra en varias partes de la planta, por tanto en los cultivos sembrados y regados con estas aguas se debe tener en cuenta síntomas de deficiencia de este nutriente.

Las fincas 4 del modelo 1 perteneciente al municipio de Maripi, la finca 3 del modelo 2 perteneciente al municipio de Nuevo Colón, la finca 2 del modelo 1, fincas 2 y 5 del modelo 2 y fincas 1, 2, 3 y 5 del modelo 3 presentaron contenidos bajos de calcio, este en un nutriente de importancia secundaria, aunque algunas plantas pueden necesitar cantidades mayores o iguales de este nutriente que las de un nutriente primario como fósforo. por tanto, en los cultivos sembrados y regados con estas aguas se debe tener en cuenta síntomas de deficiencia de este nutriente [4].

La finca 4 del modelo 1 perteneciente al municipio de Maripi, la finca 3 del modelo 2 perteneciente al municipio de Nuevo Colón y todas las fincas de los 3 modelos del municipio de La Capilla a excepción de la finca 4 del modelo 2 presentaron contenidos bajos de magnesio, según varios autores [4] al igual que calcio este es un nutriente de importancia secundaria aunque algunas plantas pueden necesitar cantidades mayores o iguales de este nutriente que las de un nutriente primario como fósforo. por tanto, en los cultivos sembrados y regados con estas aguas se debe tener en cuenta síntomas de deficiencia de este nutriente.

Al hacer referencia a la validación de los modelos, se encuentra que existen altas diferencias entre los modelos y fincas en muchas variables fisicoquímicas del agua y en algunas presentándose restricciones de uso del agua, por lo cual se hace necesario realizar un manejo adecuado que incluya factores ambientales, económicos y sociales, aunque pueden ser de complicada implementación y que con frecuencia son difíciles de integrar [19]. Resultados similares encontraron otros autores [7] los cuales concluyeron que las variables cationes, aniones, elementos químicos y dureza del agua de riego muestran 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 de un modelo agroecológico dado.

IV. CONCLUSIONES

Aunque en general las fuentes de abasto de agua muestreadas para las 60 fincas presentan valores medios de las variables analizadas que permiten que sean usadas como suministradoras de agua para el riego agrícola, algunas presentan restricciones por altas concentraciones de los elementos químicos hierro, manganeso y boro. Por otra parte, además de observarse altos coeficientes de variación para la mayoría de aniones cationes, elementos químicos y dureza, también se destacan las bajas concentraciones de potasio, magnesio y calcio, lo que constituye una preocupación por la influencia que podría tener en el desarrollo de los cultivos dentro de un mismo modelo agroecológico.

FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada con Recurso del proyecto de Regalías “Desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el departamento de Boyacá”, Proyecto de Regalías Colciencias. BPIN 2016000100030, Convenio Especial de Cooperación 0385, el cual fue coordinado por la Gobernación de Boyacá y operado por la Universidad de Pamplona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Gobernación del Departamento Boyacá, financista del proyecto: “Desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el departamento de Boyacá”, 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] M. Choramin, A. Safaei, S. Khajavi, H. Hamid & S. Abozari, “Analyzing and studding chemical water quality parameters and its changes on the base of Schuler, Wilcox and Piper diagrams (project: Bahamanshir River),” *WALIA J*, vol. 31, no. 4, pp. 22–27, 2015. Available from <http://waliaj.com/wp-content/2015/Special%20Issue%204,%202015/05%202015-31-S4-pp.22-27.pdf>
- [2] Banco Mundial, “El agua en la agricultura,” *bancomundial.org*, [online], 2021. Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>
- [3] P. Tartabull & C. Betancourt, “La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan,” *Rev Cient Aes*, vol.4, no. 1, pp. 47–61, 2016. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/75/108>
- [4] U. Kafkafi & J. Tarchitzky, “Fertirrigación una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua,” PA, FR/Horgen, SUI: IFA/IIP, 2012. Disponible en https://www.ipipotash.org/udocs/391-2012_ifa_ipi_fertirrigacion.pdf
- [5] J. J. Castellón, R. Bernal & M. de L. Hernández, “Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala,” *Ingeniería*, vol. 19, no. 1, pp. 39–50, Dic. 2015. Disponible en <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/ojs/index.php/ingenieria/article/view/13/30>

- [6] A. Kurunc, G. Ece Aslan, C. Karaca, A. Tezcan, K. Turgut, M. Karhan & B. Kaplan, "Effects of salt source and irrigation water salinity on growth, yield and quality parameters of *Stevia rebaudiana* Bertoni," *Sci Hort*, vol. 270, pp. "109458" – , Agos. 25, 2020. Available: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109458>
- [7] L. Castellanos, J. S. Thomas & B. Hernández, "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. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.16.2.2020.03>
- [8] República de Colombia. Minambiente, "por el cual se adoptan medidas para implementar el Sistema Penal Acusatorio en la Jurisdicción Penal Militar y Policial, y se modifica parcialmente el Decreto 1070 de 2015," Decreto 1575, DO: 50370, 2017. Disponible en <https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/decretos>
- [9] H. Castro & M. Gómez, "Fertilidad de suelos y fertilizantes," *Ciencia del suelo principios básicos*, in O. Burbano y M. Silva, eds, BO, CO: Editorial Guadalupe, pp. 139–304, 2013 .
- [10] J. Z. Castellanos, J. X. Uvalle-Bueno & A. Aguilar-Santelises, "Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP," 2 Ed, MX: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, 2000. Disponible en <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000056122>
- [11] F. Julián-Soto, "La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias," *Ing Inv Tecnol*, vol. 11, no. 2, pp. 167–177, 2010. Disponible en <http://www.revistas.unam.mx/index.php/ingenieria/article/view/18534>
- [12] A. Matamoros , " Suelos contaminados por metales traza," *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Manejo Integral de la fertilidad del suelo*, BO, CO: Guadalupe, 2003.
- [13] EUM. Conagua, "Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales 2013, Comisión Nacional del Agua," Ley Federal de Derechos, CDMX, MX: Conagua, 2013. Disponible en <https://www.gob.mx/conagua/documentos/informacion-de-orientacion-para-el-contribuyente-74169>
- [14] R. O. Nable, G. S. Banuelos & J. G. Paull, " Boron toxicity," *Plant Soil*, vol. 193, no. 1-2, pp. 181–198, Jun. 1997. <https://doi.org/10.1023/A:1004272227886>
- [15] M. C. Valles-Aragon, D. L. Ojeda-Varrios, V. M. Guerrero-Prieto, J. A. Prieto-Amparan & E. Sanchez-Chávez , "Calidad del agua para riego en una zona nogalera del estado de Chihuahua," *Rev Int Contam Ambie*, vol. 33, no. 1, pp. 85–97, Feb. 2017. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.01.08>
- [16] L. Burvano & L. D. Sanchez, "Remocion de hierro y manganeso por oxidación – filtración para agua potable," presentado al *Seminario internacional. Vision integral en el mejoramiento de la calidad de agua*, UVM, MX, pp. 1–16, 2005. Recuperado de <http://bvspers.paho.org/texcom/cd050704/burbano.pdf>
- [17] F. Casierra-Posada, M. M. Blanke & J. C. Guerrero-Guío, "Iron Tolerance in Calla Lilies (*Zantedeschia aethiopica*)," *Gesunde Pflanzen*, no. 66, pp. 63–68, Jun. 2014. <https://doi.org/10.1007/s10343-014-0316-y>
- [18] R. Lora, "Contaminación por elementos menores y posibles soluciones," *Rev UDCA Actual Divulg Cient*, vol. 10, no. 1, pp. 5–20, Mar. 2017. <https://doi.org/10.31910/rudca.v10.n1.2007.559>
- [19] C. R. Betancourt, T. Tartabull & Y. Betancourt, "El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados," *Rev Cient Aes*, vol. 5, no. 2, pp. 40–54, 2017. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/119>

Juan Carlos Guerrero Guío es Ingeniero agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y candidato a materia en ciencias agrarias de la misma alma mater. Durante su vida profesional ha estado vinculado a importantes empresas privadas como asistente técnico y en proyectos de investigación en el departamento de Boyacá como gestor de investigación. <https://orcid.org/0000-0003-1303-849X>

Leónides Castellanos González es Ingeniero agrónomo en la Universidad Central de Las Villas (Cuba). Magister en Ciencias Agrícolas en la universidad Agraria de la Habana (Cuba) y Dr. En Ciencias Agrícolas en la Universidad Central de Las Villas (Cuba). 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>

Neldy Tatiana Rodríguez es Ingeniero agrónomo y Especialista en Gestión Ambiental en 2016 de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Durante su vida profesional ha estado vinculada a proyectos de investigación en el departamento de Boyacá. Actualmente desempeña el cargo de profesional de apoyo a la investigación en el proyecto desarrollo estratégico agroecológico para el fortalecimiento del sector productivo en el departamento de Boyacá. <https://orcid.org/0000-0003-1883-7477>