

Influencia de tres modelos agroforestales sobre la calidad del agua en el municipio Mutiscua, Colombia

Influence of three agroforestry models on water quality in the Mutiscua municipality, Colombia

Cristian J. Villamizar Valencia¹, Leónides Castellanos González² y Jarol Ramón Valencia³

¹ Ingeniero Agrónomo. Universidad de Pamplona, Colombia. Grupo de Investigación en Ganadería y Agricultura Sostenible

² PhD. En Ciencias Agrícolas. Universidad de Pamplona. Colombia. Grupo de Investigación en Agroecología y Transformación Agraria Sostenible

³ PhD. En Ciencias Ambientales. Universidad de Pamplona. Colombia. Grupo de Investigaciones Ambientales Agua, Aire y Suelo

Email: lccastell@gmail.com

Cite this article as: C. J. Villamizar, L. Castellanos y J. D. Valencia " Influencia de tres modelos agroforestales sobre la calidad del agua en el municipio Mutiscua, Colombia ", Prospectiva, Vol. 21 N° 2 2023.

Recibido: 25/01/2023 / Aceptado: 14/08/2023

<http://doi.org/10.15665/rp.v21i2.3173>

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de tres modelos agroforestales sobre la calidad del agua en el municipio Mutiscua, Norte de Santander. Los tres modelos estuvieron conformados por el forestal aliso, un frutal mora o ciruelo y un cultivo de ciclo corto maíz, zanahoria y tomate de árbol. Se determinaron las variables fisicoquímicas del agua de riego de cinco fincas en cada modelo antes de implementar los cultivos y a los 10 meses de la siembra. Se realizó un ANOVA entre los modelos antes de la siembra y una comparación por la prueba de t de Student con los resultados antes y después, con un nivel de confianza de 5 %. Los resultados del muestro inicial no impidieron utilizar el agua de las fincas para el riego de los cultivos de los modelos agroforestales planificados en el municipio. La intervención del proyecto con los cultivos implementados provocó cambios en las variables fisicoquímicas del agua de las fuentes de abastecimiento a las fincas. El mayor número de variables influenciadas se registró en el modelo aliso-mora-tomate de árbol, aunque las variaciones no modificaron la calidad del agua para riego constituyen una alerta para contrarrestar el incremento de las concentraciones de sodio y la dureza.

Palabras clave: Fincas; Agroecología; Sodicidad; RAS; CE; Dureza.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the influence of three agroforestry models on water quality in the municipality of Mutiscua, Norte de Santander. The three models consisted of an alder forest, a blackberry or plum tree fruit tree and a short-cycle crop of maize, carrot and tree tomato. The physicochemical variables of the irrigation water of five farms in each model were determined before implementing the crops and 10 months after planting. An ANOVA was performed between the models before planting and a comparison by Student's t-test with the results before and after, with a confidence level of 5 %. The results of the initial sampling did not prevent the use of water from the farms for irrigation of the crops of the agroforestry models planned in the municipality. The intervention of the project with the implemented crops provoked changes in the physicochemical variables of the water supply sources to the farms. The highest number of influenced variables was registered in the alder-blackberry-tomato tree model, although the variations did not modify the quality of irrigation water, they constitute a warning to counteract the increase in sodium concentrations and hardness.

Key words: Farms; Agroecology; Aodicity; RAS; EC; Hardness

1. INTRODUCCIÓN

El riego es necesario para la obtención de una alta productividad en la agricultura. Las tierras irrigadas garantizan el 35-40 % de la producción mundial de alimentos [1]. Por tal razón se le presta cada vez más atención a la calidad del agua de riego por el papel que juega el agua en la obtención de la cada vez mayor demanda de alimentos, especialmente en los países en desarrollo [2].

Los rendimientos de los cultivos son más altos bajo sistemas de riego y resultan poco dependientes de los efectos adversos del clima, siendo la producción agrícola la actividad que mayor cantidad de agua demanda a nivel global [3].

La aplicación del agua a los cultivos aporta compuestos químicos solubles que se encuentran disueltos a partir de los materiales geológicos con los cuales se ha mantenido en contacto el agua dentro del acuífero tales como el potasio, calcio, magnesio, sodio, cloruros y sulfatos. La evaporación y transpiración que realizan las plantas a partir del agua de riego causa que ciertas cantidades de sales se acumulen en los suelos cuando no se realizan adecuados drenajes y lavados de los mismos [2].

Los fenómenos conocidos como sodicidad y salinidad provocados por la acumulación de sales en los suelos incrementan la presión osmótica del agua en estos, lo que impide su aprovechamiento de esta por parte de las raíces, provocando un desbalance nutricional, que ocasiona en muchos casos toxicidad y deficiencias en las plantas [4], todo lo anterior se traduce en una reducción del rendimiento y deterioro en la calidad del producto final y por supuesto en la calidad del suelo agrícola y su fertilidad.

A veces elementos en niveles traza, como el caso del boro, pueden ser directamente tóxicos para las plantas. Se calcula que más de 10 millones de hectáreas están siendo perdidas cada año como consecuencia de la salinidad. Estos problemas se atribuyen al uso excesivo del agua de riego causados por el empleo de sistemas de distribución de riegos ineficientes, prácticas de riego inapropiadas en las fincas y al manejo incorrecto de las actividades de drenaje [2].

Las malas prácticas de riego a nivel de finca pueden causar problemas localizados de salinidad, las cuales se incrementan si no se emplean prácticas adecuadas de drenaje. El excesivo riego lleva al aumento de las concentraciones de sales en el manto freático y el descenso de los que causan problemas más generalizados de salinización a nivel de agroecosistema. La falta de sistemas de drenaje a nivel local y regional trae como resultado la disminución de tierras dedicadas a la actividad productiva [5].

En los sistemas agrícolas es importante conocer las características químicas y físicas del agua, dado que parte del desarrollo de los seres vivos es determinado por la disponibilidad y calidad del recurso hídrico;

por consiguiente, se requiere de análisis de laboratorios. Para lograr la optimización del riego se hace necesario garantizar un empleo eficiente del agua, usando métodos adecuados que favorezcan resultados económicos sobre la base de la obtención de altos rendimientos [2].

El proyecto Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TIC para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el Departamento de Norte de Santander conocido como Plantar se desarrolló en seis municipios del departamento, entre ellos Mutiscua con la finalidad de validar tres modelos agroecológicos para el desarrollo sostenible y la competitividad de los cultivos promisorios [6].

La asignación de un sistema de riego a los agricultores beneficiarios de los modelos agroforestales condujo a la realización de una caracterización del agua para riego en los predios, así como a determinar la influencia de los mismos sobre la calidad de esta, ya que podría regresar a las fuentes de abasto por infiltración o escorrentía. De igual forma se generaba la incógnita sobre en qué medida la intervención del proyecto con estos sistemas de riego podría influir sobre la calidad del agua y sobre el buen funcionamiento del sistema como tal. Por tal razón el objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de los cultivos de los tres modelos agroforestales sobre la calidad del agua en el municipio Mutiscua.

2. METODOLOGÍA

A partir de la información proporcionada por Gobernación del Departamento de Norte de Santander a través de la Secretaria de Desarrollo Económico, se seleccionaron 15 fincas y sus familias para participar en el proyecto Plantar [6]. El trabajo se centró en 15 fincas de pequeños agricultores productores de hortalizas de entre 3 y 5 ha, cuyas altura y coordenadas se ofrecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Altura y coordenadas de la entrada de cada finca participante en el proyecto.

No	FINCA	Altura sobre el nivel del mar (m)	Longitud	Latitud
1	El Alcaparral	2370	72°45'61,93" W	7°21'14,94" N
2	Las Cuadritas	2420	72°45'2,56" W	7°20'4,70" N
3	La Hoyada del Corazón	2523	72°43'58,91" W	7°21'46" N
4	La Laguna	2709	72°44'43,07" W	7°21'15,73" N
5	El Tambo	2719	72°44'1,59" W	7°17'6,30" N
6	El Descanso	2398	72°45'1,92" W	7°20'4,60" N
7	La Falda de Lucas	2511	72°43'56,80" W	7°22'1,60" N
8	La Vega	2260	72°44'8,82" W	7°22'20,93" N
9	La Laguna	2709	72°44'43,07" W	7°21'15,58" N
10	El Caracol	2330	72°45'9,45" W	7°20'52,39" N
11	Tierra Ingrata	2542	72°45'23,66" W	7°19'55,89" N
12	Los Cerezos	2672	72°44'19,742 W	7°20'14,13" N
13	La Vega	2385	72°45'5,44" W	7°19'58,29" N
14	El Manzano	2529	72°44'91,84" W	7°21'99,15" N
15	Rabichá	2362	72°44'65,23" W	7°22'20,66" N

Fuente. Autores

En las fincas predominaban suelos del Tipo Andic Eutrudepts fino y Typic Dystrudepts con variantes texturales entre finas y muy finas. En el 56,6 % de las fincas la textura era Franco Limosa y en el 16,6% Franca. El 76 % de las fincas presentaban suelos con contenidos de materia orgánica altos y medios, sin embargo, se presentaban contenidos deficientes de azufre en el 100 de las fincas, de boro en el 70% y de zinc en el 60%. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de los suelos era muy variable, entre 4 y 43 meq/L [7].

El proyecto tenía como finalidad implementar los modelos agroecológicos en forma de policultivos (árbol maderable, frutal y cultivo de ciclo corto, en forma de sistema agroforestal), adecuados para las condiciones edafoclimáticas intrínsecas de cada zona, teniendo, la relación ecológica que existe con el sector agrícola del municipio; es decir, que cada agricultor que participó en la investigación se apropiara de los conocimientos para el logro de una producción más limpia, generando así mayor competitividad del productor.

Los tres modelos agroecológicos de policultivos se ajustaron participativamente con los productores vinculados a la investigación, quedando conformados por un forestal, un frutal y un cultivo transitorio: Modelo 1: Aliso-Ciruela- Maíz, Modelo 2: Aliso-Ciruela- Zanahoria y Modelo 3: Aliso-Mora- Tomate de árbol

Los modelos agroecológicos se sembraron en diferentes diseños, pero siempre el forestal se plantó en la periferia y los cultivos mora y tomate de árbol fueron intercalados en hileras mientras que el maíz y la zanahoria se dispusieron en franjas dentro del ciruelo. Los cultivos recibieron fertilizaciones orgánicas y químicas en dependencia de la disponibilidad del proyecto y de las características de cada cultivo. El forestal aliso recibió la misma fertilización en los tres modelos, de igual forma el ciruelo en los dos modelos donde se plantó, siendo más específicas para el maíz, la zanahoria y el tomate de árbol y la mora (Tabla 2). Las fertilizaciones químicas fueron mínimas, y muy abundantes las orgánicas por las dosis altas de humus y la aplicación de micorrizas en el forestal, y los cultivos semi perenes, ciruelo, mora y tomate de árbol.

Tabla 2. Fertilizaciones, productos y dosis realizadas a cada cultivo.

Cultivo	Fertilizaciones realizadas, producto y dosis
Aliso	1: Humus 2500 g/sitio, Micorrizas 500g/sitio, DAP 60 g/sitio, Terrasorb 100 cc/bomba en siembra 2: klip calcio-boro 25 cc, Terrasorb 30 cc 3: Agrimins 50 g/sitio, Triple 15 50 g/sitio, DAP 30 g/sitio 4: Kelatex manganeso 15 g; Terrasorb 25 cc por bomba
Ciruela-	1. Humus 2500 g/sitio, Micorrizas 50 g/sitio, DAP 50 g/sitio, Terrasorb 100 cc/bomba 2. klip calcio-boro 25 cc, Terrasorb 30 cc 3. Agrimins 50 g/sitio, Triple 15 50 g/sitio, DAP 30 g/sitio 4. Kelatex manganeso 15 g; Terrasorb 25 cc por bomba.
Maíz	1. Humus 43 kg/ha 2. Terrasorb 50 cc/bomba 3. DAP 10 g /sitio
Zanahoria	Humus 43 Kg/ha
Tomate de árbol y mora	1. Humus 440 kg/ha, Micorrizas 165 kg/ha, DAP 10 g/sitio, Terrasorb 100 cc/bomba 2. Kelatex manganeso 15 g + Terrasorb 25 cc/ bomba 3. Agrimins -10 g/sitio, + Triple 15 - 10 g/sitio + DAP - 10 g/sitio 4. Klip calcio-boro 25 cc + Terrasorb 30 cc

Fuente: Autores.

Toma de muestras de agua

Para la caracterización inicial del agua se tomaron 30 muestras de las fuentes de agua de riego de las fincas entre los meses de marzo y abril de 2018, dos por cada uno de los 15 predios y otras 2 a los 14 meses de iniciado el proyecto. Para la selección de los puntos de muestreo se tuvo en cuenta la selección un sitio cercano a una estación de aforo para relacionar el caudal del río con la muestra de agua, si algún punto de muestreo determinado previamente se encontraba en proximidades de confluencias y descargas, los puntos de muestreo se ubicaron a una distancia tal que ambas aguas estuvieran lo más uniformemente mezcladas.

Se llenó el recipiente de muestreo con una porción de agua de la fuente hídrica entre 250 y 500 mL de acuerdo con el protocolo de cada variable a medir. La toma de muestras se realizó sumergiendo el envase plástico de 1500 mL de forma contraria al flujo y se taparon herméticamente cada recipiente. Se colocó alrededor de la tapa varias vueltas de cinta de enmascarar para asegurar las muestras.

Se registró la localización del punto de muestreo para mayor precisión de la ubicación de la fuente y se procedió a realizar la identificación de la muestra, señalando el nombre de quien tomo la muestra, predio o localización y tipo de agua que para este municipio correspondió a manantial o caño. Estas muestras fueron preservadas a una temperatura no menor a 5 °C. Para los análisis de la calidad del agua las muestras fueron tomadas de la misma fuente hídrica en diferentes intervalos de tiempo, por lo que el trabajo se realizó a nivel de finca y no de modelo agroecológico, por lo pequeño de los predios.

Las muestras de las 15 fincas se enviaron al laboratorio para su correspondiente análisis con su respectiva cadena de custodia. Las tomas de muestra se desarrollaron bajo los protocolos establecidos el laboratorio Dr. Calderón Laboratorios en la ciudad de Bogotá donde se realizaron los análisis. Las variables fisicoquímicas determinadas fueron las siguientes: (Tabla 3).

Tabla 3. Variables evaluadas en la caracterización del agua.

Cationes (meq/ L)						
Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Amonio	Suma	
Aniones (meq/ L)						
Cloruros (meq/ L)	Sulfatos (meq/ L)	Carbonatos (meq/ L)	Bicarbonatos (meq/ L)	Nitratos (meq/ L)	Fosfatos (meq/ L)	Suma (meq/ L)
Elementos Químicos (ppm)						
Hierro	Manganeso	Cobre		Zinc	Boro	
Dureza						
Dureza total (mg/L)(CaCO ₃)		pH		C.E. (mS/cm)		RAS

pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; RAS: Relación de absorción de sodio. Fuente: Autores.

Las técnicas analíticas empleadas para los análisis fueron potenciométricas para pH y CE, Cuantificación por absorción atómica- Extracción Saturación para cationes y Titulaciones volumétricas o potenciométricos para aniones [8].

Se realizó un análisis de varianza ANOVA para todas las variables (concentración de cationes, de aniones y de elementos químicos, así como las relacionadas con la dureza) entre los tres modelos al inicio del proyecto con el fin de identificar las diferencias entre los resultados de las muestras de agua analizadas. Se utilizaron como repeticiones las 5 fincas de cada modelo. Las medias se compararon por la prueba de Tukey con 5% de probabilidad de error

Se realizó un análisis estadístico de comparación de t de Students para los valores todas las mismas variables antes (al inicio) y después de plantado los cultivos (14 meses). Se empleó el método de muestras no pareadas con una probabilidad de error del 5 %. Para todos los análisis se empleó el paquete estadístico SPSS versión 23.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables fisicoquímicas del agua en el primer muestreo en las fincas de los modelos agroforestales pusieron de manifiesto que en general el agua estuvo apta para el riego agrícola, al cumplir los parámetros de baja toxicidad por sodio, boro, hierro y niveles adecuados de dureza. Los resultados del ANOVA para ese primer muestreo pusieron de manifiesto diferencia estadística entre las fincas de los modelos agroforestales ^(a) para la concentración de potasio, magnesio, fosfatos, para la suma de aniones para la concentración de aniones y para el pH. La comparación de media permitió determinar que el agua usada en las fincas de los modelos AL-CI-M y AL-CI-Z presentaban mayores concentraciones de potasio, las del modelo AL-CI-M mayor concentración de magnesio, fosfatos y manganeso. Por otra parte, las fincas del modelo AL-Mo-TA con un pH de 7,99 difirieron de las de AL-CI-M y no de las del modelo AL-CI-Z (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado del análisis de varianza de las variables del agua en el primer muestreo entre las fincas los modelos agroforestales

Tipos de Variables	Variables específicas	Modelos agroforestales				
		AL-CI-M	AL-CI-Z	AL-Mo-TA	CV (%)	EE*
Cationes	Sodio (meq/L)	0,21a	0,18a	0,12b	26,31	0,01
	Potasio (meq / L)	0,026a	0,025a	0,018b	0,00	0,00
	Calcio (meq / L)	1,46a	0,36a	1,36a	115,70	0,39
	Magnesio (meq / L)	0,22a	0,13b	0,14ab	47,72	0,02
	Amonio (meq / L)	0,036a	0,038a	0,028a	0,00	0,00
	Scationes (meq / L)	1,95a	0,72a	1,68a	87,71	0,40
Aniones	Cloruros (meq / L)	0,48a	0,40a	0,40a	60,95	0,08
	Sulfatos (meq / L)	0,14a	0,08a	0,35a	203,41	0,12
	Carbonatos (meq / L)	0,05a	0,05a	0,05a	0,00	0,00
	Bicarbonatos (meq / L)	1,14a	0,43a	0,92a	87,40	0,23
	Nitratos (meq / L)	0,005a	0,004a	0,005a	0,00	0,00
	Fosfatos (meq / L)	0,19a	0,17ab	0,14b	27,05	0,01
Elementos químicos	Saniones (meq / L)	2,00a	1,13a	1,86a	57,05	0,30
	Hierro (ppm)	1,98a	0,16a	0,17a	420,89	1,03
	Manganeso (ppm) ^a	0,059a	0,038ab	0,034b	0,00	0,00
	Cobre (ppm)	0,024a	0,026a	0,023a	0,00	0,00

	Zinc (ppm) ^a	0,60a	0,62a	0,62a	0,00	0,00
	Boro (ppm)	0,09a	0,07a	0,08a	79,72	0,02
Dureza del Agua	Dureza (mg/L)(CaCO ₃)	83,8a	24,6a	75,1a	105,71	20,45
	pH ^a	7,73b	7,93ab	7,99a	3,00	0,07
	CE (mS/cm)	0,22a	0,09a	0,18a	85,26	0,04
	RAS	0,33a	0,37a	0,24a	43,99	0,04

Scationes: Suma de Cationes, Saniones: Suma de aniones, pH: grado de acidez, RAS: Relación de Adsorción de Sodio (RAS), CE: Conductividad Eléctrica

* Valores de t negativos indica que la media aumentó, significativamente cuando $p < 0,05$, y si son positivos disminuyó la media, significativamente cuando $p < 0,05$

Un análisis un poco más profundo pone de manifiesto que, aunque se presentaban diferencias relativas de los valores promedios de los modelos en la concentración de calcio, Scationes (la suma de cationes), la concentración de cloruros, sulfatos, hierro y boro, así como en la dureza y la CE, no se evidenciaron diferencias estadísticas. Esto puede explicarse por el alto coeficiente de variación (mayor de 60 %) de estas variables, que es un reflejo de las variaciones de las mismas entre las fincas de un mismo modelo. Esto, aunque estaba dentro de los rangos permitidos para el agua de riego y ser un fenómeno no controlado a nivel de campo, de alguna forma no garantizaba la similitud de condiciones de las fincas como repeticiones.

Con respecto a las concentraciones de boro los promedios de las fincas se consideraron bajos (menores de 0,10 ppm) ya que se permite para cultivos sensibles como el ciruelo aguas de hasta 0,3 a 1,25 ppm de boro y de 1 a 2 ppm para cultivos semi tolerantes como la zanahoria [9], plantas incluidas en los modelos agroecológicos 2.

Al ser el magnesio un elemento esencial en el crecimiento de los cultivos; con base a otras herramientas de diagnóstico y conociendo diferencia entre el agua de riego de los modelos, se debe tener esto en cuenta de forma integral la nutrición eficiente de los cultivos en estas fincas.

El hecho de observarse diferencia estadística entre la concentración de potasio en las fuentes hídricas de los modelos (menor para AL-Mo-TA), y a pesar de ser en general bajas, esto podría hacer aportes diferentes a los cultivos y por ser este un macroelemento participante en todas las funciones de las plantas según refieren [10].

Similar análisis se podría realizar con relación a la concentración de fosfatos lo que implica que se debe hacer un correcto balance de este elemento en la fertilización. La concentración de Mn a pesar de la diferencia estadística encontrada presentó valores relativamente bajos menores a 0,06 ppm [9].

Resultó preocupante la diferencia en la concentración del hierro de 1,98 ppm en el modelo AL-CI-M que superaba en 10 veces la concentración de las aguas de los otros modelos, ya que solo es permisible 0,30 ppm para el agua potable [11]. Este es un ejemplo de que las diferencias entre modelos no se detectan desde el punto de vista estadístico por el coeficiente de variación tan alto de esta variable 420,89%. El hierro, a ese nivel, indica un agua con un riesgo moderado, la presencia de este elemento puede inducir a depósitos de hierro los cuales se acumulan en el sistema de riego restringiendo el flujo del agua y reduciendo la presión requiriéndose mayor gasto de combustible para el bombeo a través de tubos obstruidos y en el sistema de distribución de este, lo que acarrea lentitud en la distribución del área regada [12].

Por otra parte, el pH de los tres modelos fue relativamente alto superior a 7,7, considerado no adecuado para el agua de riego por el Servicio de Información Agrario de Murcia [13], y además fue estadísticamente superior para el modelo AL-Mo-TA. También es de destacar que, aunque no se observó diferencia estadística la dureza total del agua tuvo valores de 75,1 y 83,8 (mg/L) de CaCO₃, para los modelos AL-Mo-

TA AL-CI-M respectivamente, lo cual es preocupante y concordante con la situación del pH ya que al sobrepasar valores de los 54 mg/L, se consideran las aguas muy duras [14].

En general se observa una tendencia a aguas alcalinas, lo cual ha sido también informado por otros autores [15], 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 [3].

Modelo Agroecológico 1: Aliso - Ciruela – Maíz

La comparación de las variables agroquímicas antes y después de implementado el modelo agroecológico Aliso-Ciruella-Maíz arrojó un aumento significativo ($p < 0,05$), para las variables sodio, potasio, y la relación de adsorción del sodio (RAS) y una disminución significativa del calcio y la dureza, las otras variables no presentaron diferencias significativas indicando que los cultivos no las alteraron (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de las variables físico químicas del agua antes y después de establecer el modelo agroecológico 1: Aliso – Ciruela – Maíz.

		Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Cationes	Sodio (meq/L)	0,1240	0,1780	-3,189	0,005*
	Potasio (meq / L)	0,0180	0,0250	-2,689	0,015*
	Calcio (meq / L)	1,3630	0,3610	2,174	0,043*
	Magnesio (meq / L)	0,1380	0,1280	0,566	0,579
	Amonio (meq / L)	0,0380	0,0280	1,819	0,086
	Scationes (meq / L)	1,6810	0,7200	2,068	0,053
Aniones	Cloruros (meq / L)	0,4000	0,3960	0,039	0,969
	Sulfatos (meq / L)	0,3530	0,0790	1,314	0,205
	Carbonatos (meq / L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
	Bicarbonatos (meq / L)	0,9150	0,4250	1,850	0,081
	Nitratos (meq / L)	0,0047	0,0043	0,525	0,606
	Fosfatos (meq / L)	0,1370	0,1730	-2,078	0,052
	Saniones (meq / L)	1,8585	1,1280	1,765	0,095
Elementos químicos	Hierro (ppm)	0,1730	0,1590	0,719	0,481
	Manganeso (ppm) ^a	0,0340	0,0380	-0,849	0,407
	Cobre (ppm)	0,0230	0,0260	-0,878	0,391
	Zinc (ppm) ^a	0,6170	0,6150	0,226	0,824
	Boro (ppm)	0,0750	0,0700	0,170	0,867
Dureza del Agua	Dureza (mg/L)(CaCO ₃)	75,1000	24,6000	2,123	0,048*
	pH ^a	7,9910	7,9280	0,928	0,365
	CE (mS/cm)	0,1800	0,0890	1,810	0,087
	RAS	0,2400	0,3690	-2,424	0,026*

Scationes: Suma de Cationes, Saniones: Suma de aniones, pH: grado de acidez, RAS: Relación de Adsorción de Sodio (RAS), CE: Conductividad Eléctrica

* Valores de t negativos indica que la media aumentó, significativamente ($p < 0,05$), y si son positivos la media disminuyó significativamente $p < 0,05$.

Se considera negativo en este modelo el aumento significativo del sodio en el agua después de establecidos los cultivos, sin embargo, los valores finales de 0,17 ppm aun no son un riesgo de sodicidad lo que se refleja en un RAS de 0,339, muy por debajo del umbral de riesgo de 3 [16].

Se considera positiva la disminución del calcio ya que altos contenidos de este elemento en el agua, tienden a generar incrustaciones en un sistema de riego bajo aspersión [16], dato que se confirma al disminuir también significativamente el valor de la dureza de 75,10 a 24,60 mg/L.

Se considera positivo el aumento del elemento K por que el agua puede aportar el nutriente a las plantas, pero también puede ser un indicativo de que el fertilizante aplicado a los cultivos (Triple 15), se lixivió y no fue totalmente aprovechado por las plantas

Modelo Agroecológico 2: Aliso - Ciruela – Zanahoria

La comparación de las variables fisicoquímicas del agua antes y después de implementado el modelo agroecológico Aliso – Ciruela – Zanahoria se observan en la Tabla 6. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) para seis variables, con un incremento altamente significativa para el amonio, y una disminución significativa de las concentraciones de cloruro y altamente significativa de nitrato, cobre, zinc y del pH.

Tabla 6. Comparación de las variables físico químicas del agua antes y después de establecer el modelo agroecológico 2: Aliso – Ciruela – Zanahoria.

		Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Cationes	Sodio (meq/L)	0,2080	0,2390	-1,158	0,262
	Potasio (meq / L)	0,0260	0,0250	0,361	0,722
	Calcio (meq / L)	1,4560	0,9150	1,012	0,325
	Magnesio (meq / L)	0,2210	0,1730	1,061	0,303
	Amonio (meq / L)	0,0360	0,1070	-10,855	0,000**
	Scationes (meq / L)	1,9470	1,4600	0,857	0,403
Aniones	Cloruros (meq / L)	0,4780	0,2520	2,269	0,036*
	Sulfatos (meq / L)	0,1430	0,0660	1,606	0,126
	Carbonatos (meq / L)	0,0500	0,0500	0,000	1,000
	Bicarbonatos (meq / L)	1,1400	1,1200	0,054	0,957
	Nitratos (meq / L)	0,0046	0,0012	8,621	0,000**
	Fosfatos (meq / L)	0,1860	0,1770	0,448	0,659
	Saniones (meq / L)	2,0023	1,6662	0,864	0,399
Elementos químicos	Hierro (ppm)	1,9840	0,0160	1,106	0,283
	Manganeso (ppm) ^a	0,0590	0,0360	1,849	0,081

	Cobre (ppm)	0,0240	0,0100	3,772	0,001**
	Zinc (ppm) ^a	0,5990	0,0160	73,066	0,000**
	Boro (ppm)	0,0930	0,0750	0,803	0,433
Dureza del Agua	Dureza (mg/L)(CaCO ₃)	83,80	54,60	1,018	0,322
	pH ^a	7,7250	7,3580	2,971	0,008**
	CE (mS/cm)	0,2160	0,1220	1,486	0,155
	RAS	0,3310	0,3660	-0,532	0,601

Scationes: Suma de Cationes, Saniones: Suma de aniones, pH: grado de acidez, RAS: Relación de Adsorción de Sodio (RAS), CE: Conductividad Eléctrica

* Valores de t negativos indica que la media aumentó, significativamente ($p < 0,05$), y si son positivos la media disminuyó significativamente $p < 0,05$

Se considera positivo la posible influencia de los cultivos en la disminución de los cloruros, cobre y zinc, que pueden causar problemas de toxicidad a los cultivos a pesar de que ni antes ni después estaban en niveles de riesgo.

La disminución de los nitratos puede deberse a procesos del ciclo del nitrógeno y de la desnitrificación en los suelos, de cualquier manera, ambas formas en el agua de riego, aunque en cantidades pequeñas es un indicador de la calidad de esta para el riego [16].

Fue muy favorable la disminución significativa del pH del agua lo cual estuvo relacionado con una disminución del valor relativo de la dureza del agua que dejó de ser muy duras [15], ya que dejó de sobrepasar valores de los 54 mg/L. Un pH alto conduce a la pérdida de la estabilidad estructural de los suelos que se produce fundamentalmente por la dispersión y el hinchamiento de las arcillas sensibles a este proceso, lo cual reduce su capacidad para transmitir el agua y por otra parte provoca la precipitación de los nutrientes impidiendo una correcta absorción por las paltas [10].

Modelo Agroecológico 3: Aliso - Mora -Tomate de Árbol

En el modelo agroecológico Aliso-Mora-Tomate de Árbol, se presentó diferencia estadísticamente significativa para 10 variables con incremento significativo para la concentración del sodio, el amonio y bicarbonatos, y disminución significativa de las concentraciones de los cloruros, sulfatos, el nitrato, hierro, cobre y zinc, y del pH (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de las variables fisicoquímicas del agua antes y después de establecer el modelo agroecológico 3: Aliso – Mora – Tomate de Árbol.

		Media antes	Media después	Valor de t	Sig. Bilateral
Cationes	Sodio (meq/L)	0,1780	0,2420	-3,168	0,005**
	Potasio (meq / L)	0,0250	0,0270	-0,399	0,695
	Calcio (meq / L)	0,3610	0,8380	-1,640	0,118
	Magnesio (meq / L)	0,1280	0,1720	-1,720	0,103
	Amonio (meq / L)	0,0280	0,1090	-23,714	0,000**
	Scationes (meq / L)	0,7200	1,4020	-2,076	0,052
Aniones	Cloruros (meq / L)	0,3960	0,2440	2,590	0,019*

	Sulfatos (meq / L)	0,0790	0,0570	3,431	0,003**
	Carbonatos (meq / L)	0,0500	0,0550	-1,000	0,331
	Bicarbonatos (meq / L)	0,4250	1,1950	-2,756	0,013*
	Nitratos (meq / L)	0,0043	0,0013	7,553	0,000
	Fosfatos (meq / L)	0,1730	0,1880	-0,789	0,441
	Saniones (meq / L)	1,128	1,740	-2,034	0,057
Elementos químicos	Hierro (ppm)	0,1590	0,0120	9,705	0,000**
	Manganeso (ppm) ^a	0,0380	0,0290	1,546	0,140
	Cobre (ppm)	0,0260	0,0110	6,181	0,000**
	Zinc (ppm) ^a	0,6150	0,0150	86,804	,000**
	Boro (ppm)	0,0700	0,0730	-0,152	0,881
Dureza del Agua	Dureza (mg/L)(CaCO ₃)	24,60	51,30	-1,726	0,101
	pH ^a	7,93	7,31	8,202	0,000**
	CE (mS/cm)	0,0890	0,1210	-0,917	0,371
	RAS	0,3690	0,4010	-0,817	0,424

Scationes: Suma de Cationes, Saniones: Suma de aniones, pH: grado de acidez, RAS: Relación de Adsorción de Sodio (RAS), CE: Conductividad Eléctrica

* Valores de t negativos indica que la media aumentó, significativamente cuando $p < 0,05$, y si son positivos disminuyó la media, significativamente cuando $p < 0,05$

Se considera negativo el aumento significativo de la concentración de sodio que alcanzó los 0,242 ppm, que, aunque no es un valor de alto riesgo, se reflejó en el aumento, aunque no estadístico de los valores de dureza y RAS, sin embargo, ese aumento puede generar incrustaciones de los sistemas de riego [16].

En este modelo también se produjo un aumento significativo del amonio y una disminución de los nitratos que como se dijo anteriormente forman parte de los procesos del ciclo del nitrógeno pero que en cantidades pequeñas es un indicador de la calidad del agua para el riego [17], y como se ha mencionado los suelos eran ricos en materia orgánica se aplicaron dosis altas de humus.

En relación al bicarbonato, anión aumentó significativamente a 1,19 meq / L, pudiera provocar problemas en los sistemas de riego, ya que sobrepasa el niveles de 0,09 meq / L, que plantean algunos autores que genera un riesgo leve en un sistema de riego por aspersión y que además puede remover el calcio de la arcilla, dejando en su lugar al sodio, de esta manera un suelo regado con aguas en alto contenido de bicarbonatos tiende a intercambiarlo por el sodio, afectando las especies vegetales susceptibles a su tolerancia lo que afecta la absorción y el metabolismo de nutrientes [18].

En este modelo también fue muy favorable la disminución significativa del pH del agua sin embargo no se observó relación con la dureza del agua y el RAS, variables que no presentaron diferencias estadísticas entre los dos momentos de muestreos, ni se movieron de los rangos de riesgo considerados por diferentes autores.

El contenido de boro en el agua por debajo de los valores de toxicidad en todos los modelos, pudo ser un aporte importante como micronutriente para los cultivos, que lo requieren en pequeñas cantidades [19].

La vigilancia en estas fincas deben continuarse ya que muchas variables si bien no impiden el uso del agua para riego en esos modelos agroecológicos, si produjeron cambios a veces desfavorables u otras desfavorables, por lo se impone la necesidad de realizar un manejo adecuado del riego, que incluye factores

ambientales y sociales de complicada implementación, que con frecuencia son difíciles de integrar [20], pero que se hace más necesario cada día para lograr la sostenibilidad integral del agroecosistema y en particular del recurso agua y sus implicaciones sobre la calidad del suelo y de los cultivos que se plantan.

Por la importancia que reviste el recurso agua y dado los múltiples factores que pueden influir en los cambios de la calidad del agua de riego, a veces antropogénicos y otras veces no, se hace necesario que los las instituciones y gobiernos dedique recursos a su monitoreo permanente.

4. CONCLUSIONES

Los resultados del muestro inicial no impidieron utilizar el agua de las fincas para el riego de los cultivos de los modelos agroforestales planificados en el municipio, sin embargo, existían diferencias estadísticas de muchas variables fisicoquímicas del agua entre los modelos agroecológicos a partir de las muestras de las fuentes de las fincas seleccionadas.

La intervención del proyecto con los cultivos implementados provocó cambios en las variables fisicoquímicas del agua en las fuentes de abastecimiento de las fincas donde se plantaron los modelos agroecológicos, siendo muy particular en cada uno de ellos. El mayor número de variables influenciadas se presentó en el modelo Al-Mo-TA, aunque las variaciones provocadas no modificaron la calidad del agua para riego, constituyen una alerta para contrarrestar el incremento de las concentraciones de sodio y la dureza

5. REFERENCIAS

- [1] FAO. Food and Agriculture Organization. Evaluación de los Recursos Hídricos Renovables. FAO: Global Water Information System. 2016. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>
- [2]. A. García. *Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua para riego*. 2012. [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)
- [3]. E.K. Medina, O.R. Mancilla, M.M. Larios, R.D. Guevara, J.L. Olguín, 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>
- [4]. Y. Maua, A. Porporato. *A dynamical system approach to soil salinity and sodicity*. *Advances in Water Resources*, vol. 83, 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. (2017). Effect of irrigation (drip/surface) on sunflower growth, seed and oil yield, nutrient uptake and water use efficiency - A review. *Agricultural Reviews*, vol. 38, no. 2, pp. 152-158, 2017. [10.18805/ag.v38i02.7947](https://doi.org/10.18805/ag.v38i02.7947)
- [6]. Gobernación Norte de Santander. Proyecto Plantar. Desarrollo estratégico agroecológico con uso de TICs para el fortalecimiento de cultivos promisorios en el Departamento de Norte de Santander. 2018. <http://plantar.gov.co/>
- [7] L. Castellanos González, A. González-Pedraza y A. Capacho Mogollón (2021). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander, INGE CUC, vol. 17 no. 1, pp. 69–81. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06>

- [8] APHA-AWWA-WEF. 2012. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 22th Edition USA, 3-67 y 3-68, method 3500-Cr B
- [9] Fertilab. Calidad del agua de riego. 2019. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/Toxicidad-Por-Boro-Parte-2-Contenidos-En-Aguas-De-Riego-Y-Tolerancia-De-Los-Cultivos.php>.
- [10] T. Tartabull, T., y Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas* [seriada en línea], vol. 4 no. 1. pp. 47-61. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/ras>
- [11] CCNNRFS (Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México D.F. (México): 2000. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969#gsc.tab=0
- [12] A. Grijalva-Endara, M.E. Jiménez-Heinert, H.X. Ponce-Solórzano. Desmineralización del agua como respuesta ante el cambio climático. *RECIMUNDO*, vol. 4 no. 4, pp. 22-36, 2020. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.22-36](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.22-36)
- [13] Servicio de Información Agrario de Murcia (SIAM). Interpretación y Clasificación de Análisis de Agua. 2019). <http://siam.imida.es/apex/f?p=101:1:2431220132739809>
- [14] J. Canovas. Calidad Agronómica de las aguas de riego, Servicio de Extensión Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. 1986. <https://www.worldcat.org/title/calidad-agronomica-de-las-aguas-de-riego/oclc/801948851?referer=di&ht=edition>
- [15] A.D. López, H.M. Ortega, C. Ramírez. *Caracterización físico-química del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. VII, pp. 139-157. 2016.
- [16] R. S. Ayers, Westcot. D.W. Water quality for agriculture. FAO Irrig, and Drain, Paper N° 29, Roma. 1985.
- [17] E. Cabrerías-Molina, L. Hernández-Garciadiego, H., Gómez-Ruíz, Cañizares-Macías, M.P. Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92, 2003. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014&lng=es&tlng=es
- [18] C.A. Can, A.C. Ramírez, E.M., Ortega, L.C., Trejo, D.J. Cruz. Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, Estado de Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana*, vol. 26, no. 3, pp. 243-252, 2011.
- [19] J. P., Pérez-Díaz, H.M. Ortega-Escobar, C. Ramírez-Ayala, H. Flores-Magdaleno, E.I. Sánchez-Bernal, A. Can-Chulim, O.R. Mancilla-Villa. Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, vol. 6 no. 16, pp. 175-182, 2019.
- [20] C. Betancourt, T. Tartabull, Y. Labaut. El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista científica Agroecosistemas*, vol. 5, no. 2, pp. 40-54, 2017. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>