

Optimización del riego agrícola en los Andes centrales del Ecuador mediante ablandadores de agua

Escobar Edgar Hernán^{1*}, Sánchez Vallejo Edward¹, Heredia Espinosa María Eugenia¹, Proaño Corrales Christian¹

¹Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Carrera en Floricultura, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

*Dirección para correspondencia: hescobar@istx.edu.ec

Fecha de Recepción: 23-12-2024

Fecha de Aceptación: 14-03-2025

Fecha de Publicación: 03-07-2025

Resumen

La calidad del agua empleada en sistemas de riego agrícola constituye un factor determinante para la eficiencia productiva, por lo que esta investigación se enfocó en evaluar el efecto de dos ablandadores sobre las propiedades fisicoquímicas del agua en canales de riego de la provincia de Cotopaxi, Ecuador. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de dos ablandadores para la regulación del pH, conductividad eléctrica (CE), dureza total y sólidos totales disueltos (STD) del agua de riego de los canales de Guaytacama (G1), Tanicuchi (T2), Toacaso (W3) y el canal Latacunga-Salcedo-Ambato (LSA4). Se identificó tres coordenadas en cada uno de los canales y se tomó dos muestras por coordenada con un total de seis muestras por canal en estudio. En cada muestra se realizó un análisis inicial y para el segundo análisis se determinó la dosis y eficiencia de dos ablandadores de agua: Citratos 44.45% + Edetatos quelatantes 55.55% (CA1) y Etilen Diamino Tetracético Tetra sodio 68% (CO₂). Los resultados evidencian que el agua del canal de G1 presentó 372 mg/L clasificada como agua muy dura y el agua del canal LSA4 con 203 mg/L se clasifica como agua dura; mientras que el agua del canal de T2 con 34 mg/L se clasifica como agua blanda; para regular el pH y dureza ideal para uso agrícola y según las características del canal, se determinó que el mejor tratamiento fue CO₂ a una dosis de: 2.75 g/L para el agua del canal de G1, 0.75 g/L para el canal de T2, 0.025 g/L para el canal de W3 y 1.25 g/L para el canal LSA4. La aplicación del ablandador CO₂ demostró ser la alternativa eficaz para optimizar la calidad fisicoquímica del agua de riego en los distintos canales evaluados, ajustando la dureza y el pH según las necesidades específicas de cada sistema, lo que favorece su uso sostenible en la agricultura en los Andes centrales del Ecuador.

Palabras claves: Ablandadores, calidad de agua, dureza, riego

Optimizing agricultural irrigation in the central Andes of Ecuador using water softeners

Abstract

The quality of the water used in agricultural irrigation systems is a determining factor for productive efficiency, so this research focused on evaluating the effect of two softeners on the physicochemical properties of water in irrigation canals in the province of Cotopaxi, Ecuador. The objective of the research was to determine the effect of two softeners for the regulation of pH, electrical conductivity (EC), total hardness and total dissolved solids (TDS) of the irrigation water of the Guaytacama (G1), Tanicuchi (T2), Toacaso (W3) and Latacunga-Salcedo-Ambato canal (LSA4) canals. Three coordinates were identified in each of the channels and two samples were taken per coordinate with a total of six samples per channel under study. An initial analysis was performed in each sample and for the second analysis the dose and efficiency of two water softeners were determined: Citrates

IDs Orcid:

Edgar Hernán Escobar: <http://orcid.org/0000-0001-5459-9387>

Edward Alfonso Sánchez Vallejo: <http://orcid.org/0000-0001-5892-7974>

María Eugenia Heredia Espinosa: <http://orcid.org/0000-0002-3393-1253>

Christian Giovanni Proaño Corrales: <http://orcid.org/0009-0009-1965-4841>

Artículo científico: Optimización del riego agrícola en los Andes centrales del Ecuador mediante ablandadores de agua

Publicación Semestral. Vol. 4, No. 2, julio-diciembre 2025, Ecuador (p. 1-10)

44.45% + Chelating Edetates 55.55% (CA1) and Ethylene Diamine Tetra Sodium Tetra Sodium 68% (CO2). The results show that the water of the G1 channel presented 372 mg/L classified as very hard water and the water of the LSA4 channel with 203 mg/L is classified as hard water; while T2 channel water with 34 mg/L is classified as soft water; to regulate the pH and hardness ideal for agricultural use and according to the characteristics of the channel, it was determined that the best treatment was CO₂ at a dose of: 2.75 g/L for the water of the G1 channel, 0.75 g/L for the T2 channel, 0.025 g/L for the W3 channel and 1.25 g/L for the LSA4 channel. The application of the CO₂ softener proved to be the effective alternative to optimize the physicochemical quality of the irrigation water in the different canals evaluated, adjusting the hardness and pH according to the specific needs of each system, which favors its sustainable use in agriculture in the central Andes of Ecuador.

Keywords: Softeners, water quality, hardness, irrigation.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos o tres décadas, la incidencia de sequías a escala global se ha mantenido de forma constante, mientras que la demanda de agua para uso agrícola ha mostrado un incremento sostenido. Este fenómeno se debe, en gran parte, al avance de la agricultura tecnificada que opera con sistemas de riego, los cuales representan aproximadamente el 80 % del consumo total de agua dulce en el mundo (Arroyo, 2023), estudios recientes de la (ONU, 2023) y la *The Food and Agriculture Organization (FAO)*, (2019) destacan que cerca del 60 % del agua superficial es utilizada en la agricultura, y en zonas con estaciones secas, hasta un 40 % proviene de fuentes subterráneas (Mendoza-Retana et al., 2021). Ante este panorama, es crucial generar conciencia global sobre la conservación del ciclo hidrológico, considerando que el planeta alberga cerca de 1386 millones de km³ de agua, de los cuales solo el 3 % corresponde a agua dulce, unos 35 millones de km³, que se destina mayoritariamente al consumo humano y al riego. En Asia, por ejemplo, el 86 % de las extracciones anuales de agua provienen de acuíferos, en contraste con el 49 % en América del Norte y Central, y el 38 % en Europa (Arroyo, 2023).

En América Latina, el volumen de agua disponible por persona ha disminuido un 22 %; en el sur de Asia, un 27 %; y en África, un 41 %, donde aproximadamente 50 millones de habitantes residen en regiones afectadas por sequías extremas, con impactos económicos severos en ciclos trianuales, debido a pérdidas de cultivos y pasturas (Ibrahim et al., 2023; ONU, 2023). A escala mundial, se estima que el 11 % de las tierras cultivables se destinan a agricultura de secano, representando 128 millones de hectáreas; mientras que el 14 % son pastizales (656 millones de hectáreas) y el 60 % —equivalente a 171 millones de hectáreas— cuenta con sistemas de riego (Gil-Meseguer et al., 2020). El crecimiento poblacional ha intensificado la presión sobre los recursos hídricos, provocando que un 20 % de las tierras agrícolas, es decir cerca de 300 millones de hectáreas, enfrenten escasez de agua (FAO, 2024).

Según el Plan de Oportunidades 2021-2025, el sector agrícola produce alrededor del 8% de la producción del país, con un ingreso de PIB en el 2020 de 98,808 millones de dólares, la proporción del sector agrícola, ganadero, forestal y pesquero fue del 9.8 % con 9,683 millones de dólares (Márquez-Pacheco et al., 2023); ubicando al sector agrícola en el país en el cuarto lugar de la economía ecuatoriana, de ahí la importancia de manejo del adecuado del agua de riego para la producción agrícola (Achig & Aimacaña, 2024). El riego utiliza grandes cantidades de agua de esta manera se busca mejorar su eficiencia por que la agricultura genera el 40% de empleo para la población (Rodríguez & Vélez, 2018). El Banco Nacional de Permisos de Agua (BNA), menciona que para el año 2020, el número total de permisos estatales de uso, tanto consumibles como no consumibles, alcanzará los 88.894 permisos con un caudal de 3.081 m³/s, de los cuales el 71% es de desgaste con el 22% del flujo permitido; y 29% para uso no consumido que representa un caudal del 78%, es decir, a pesar de la existencia de un mayor número de autorizaciones de uso consuntivo (Aliche et al., 2018), hay menor cantidad de caudal autorizado. En la actualidad se han generado proyectos para cubrir una superficie de riego hasta las 72.738 hectáreas y se espera que los proyectos de drenaje agrícola cubran 64.000 hectáreas, con la finalidad de mejorar y cubrir más área bajo riego por el incremento de la producción agrícola (Gil-Meseguer et al., 2020).

Estudios realizados sobre el RAS en el canal de Tilipulo Enríquez de la provincia de Cotopaxi, determinan que la gran parte de las aguas de riego se clasifican con precauciones para uso de riego de cultivos (Gong et al., 2015). Se han registrado niveles de dureza distintos en sectores como Tanicuchi (183.7 mg/L), Guaytacama (289.4 mg/L), Saquisilí (307.9 mg/L) y Poaló (175.2 mg/L), lo que afecta directamente la calidad del riego. (Ayala et al., 2022).

La CE, que indica la concentración de sales disueltas, se considera baja en un rango de 100–200 µS/cm y muy alta entre 2250–4000 µS/cm (Sánchez et al., 2022). Por otro lado, la dureza, determinada por la presencia de calcio y magnesio, clasifica al agua como blanda si

contiene menos de 75 mg/L, y como muy dura si supera los 300 mg/L. El rango óptimo de pH para fertirriego y aplicación de agroquímicos se encuentra entre 5 y 6.5 (Acaro et al., 2025).

Uno de los factores que afecta a producción a nivel mundial es por el estrés salino de agua de riego debido a la presencia de NaCl (Bullaín-Galardis et al., 2023), que de manera directa influye sobre el suelo y causa cambios fisiológicos y bioquímicos en las plantas por su efecto tóxico por la presencia de sales de como cloruros y sulfatos de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} (Albíter-Pineda et al., 2020; Cruz-Flores et al., 2020), Ajustar los parámetros de dureza, pH, CE y STD contribuye a prevenir obstrucciones en sistemas de riego por goteo y permite seleccionar adecuadamente tanto el tipo de sistema como las especies vegetales más apropiadas (Mancilla-Villa et al., 2024). Altas concentraciones de sales, combinadas con el uso de fertilizantes en fertirriego, elevan la presión osmótica del suelo, reduciendo la absorción de agua y nutrientes, lo que incide negativamente en la productividad agrícola (Carabalí et al., 2019).

Uno de los desafíos principales en torno a la calidad del agua de riego es el desconocimiento técnico sobre su manejo, especialmente respecto a la cantidad adecuada, los parámetros fisicoquímicos ideales y su relación con la fertirrigación y el uso de agroquímicos (García, 2015), tanto en la cantidad adecuada a regar, según el requerimiento del cultivo, la regulación de los parámetros físicos y químicos para una eficiente

fertiirrigación y la aplicación de agroquímicos. De este modo, Martínez (2016) afirma que estas deficiencias han generado alteraciones significativas en las propiedades del suelo, incrementado la contaminación ambiental y los costos de producción, además de repercutir en la salud humana (Javier et al., 2018); En este contexto, la presente investigación se centró en evaluar el efecto de dos productos ablandadores en la modificación de parámetros clave del agua de riego (pH, CE, dureza y STD) de los canales de Guaytacama, Tanicuchi, Toacaso y el sistema Latacunga-Salcedo-Ambato.

2. METODOLOGÍA

2.1 Ubicación del experimento

El estudio se llevó a cabo en los Andes centrales del Ecuador, específicamente en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, abarcando cuatro canales de riego ubicados en las parroquias de Guaytacama, Tanicuchi, Toacaso y el sistema Latacunga-Salcedo-Ambato. La selección de estas zonas respondió a su alta relevancia agrícola y a la fuerte dependencia de los cultivos locales del agua proveniente de dichos canales. En particular, el canal Latacunga-Salcedo-Ambato representa una infraestructura clave para el desarrollo agroproductivo de las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, ya que suministra entre 4.500 y 5.200 litros por segundo a más de 17.000 usuarios, permitiendo el riego de cerca de 6.300 hectáreas destinadas a cultivos como papa, maíz y brócoli.

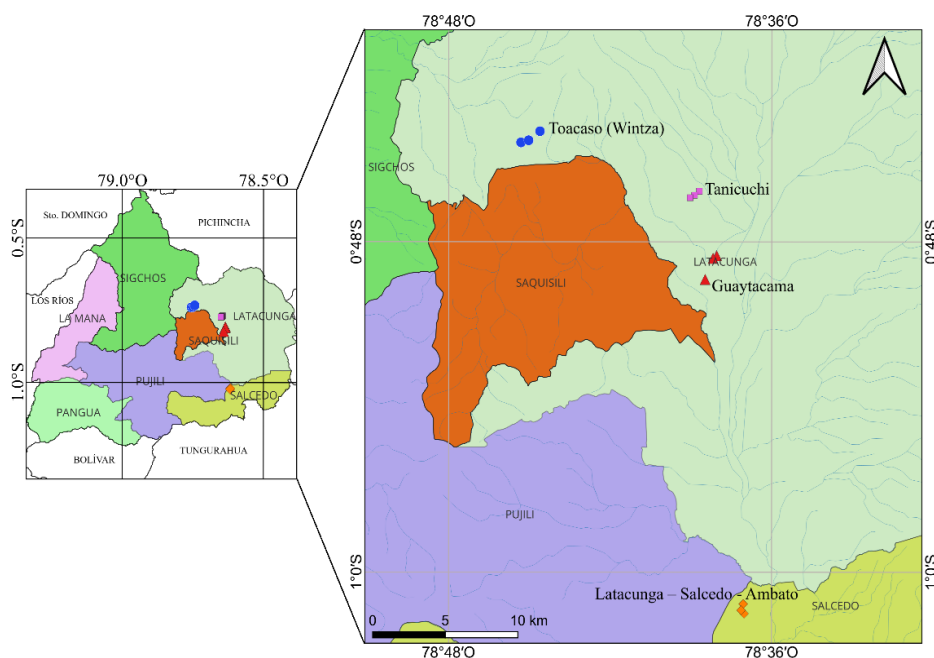


Figura 1. Distribución espacial de los canales de estudio por cantones

Artículo científico: Optimización del riego agrícola en los Andes centrales del Ecuador mediante ablandadores de agua

Publicación Semestral. Vol. 4, No 2, julio-diciembre 2025, Ecuador (p. 1-10)

2.2 Muestreo

En los 4 canales se definieron tres puntos georreferenciados de muestreo correspondientes a los tramos inicial, medio y final del canal. En cada coordenada se recolectaron dos muestras, lo que resultó en seis muestras por canal y un total de 24 muestras para el análisis. La recolección se llevó a cabo en botellas de vidrio de 2 litros, previamente esterilizadas, las cuales fueron etiquetadas. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en coolers a baja temperatura y trasladadas al laboratorio para su análisis dentro de las siguientes 24 horas, garantizando la conservación de sus propiedades fisicoquímicas.

2.3 Factores en estudio

Los factores de estudio son las muestras de agua con cuatro niveles (canales de riego) y los ablandadores comerciales con dos niveles. Las combinaciones de ambos factores permitieron establecer un diseño experimental que facilitó el análisis comparativo de las condiciones físico-químicas del agua bajo la influencia de diferentes tratamientos y fuentes de captación

Tabla 1. Factores en estudio para optimización del riego agrícola

Factor C	Canales de riego
G1	Guaytacama
T2	Tanicuchi
W3	Toacaso (Wintza)
LSA4	Latacunga – Salcedo - Ambato
Factor D	Ablandadores
CA1	(Cosmo agua) Citratos 44.45% + Edetatos quelatantes 55.55%
CO2	(Confort) Etilen Diamino Tetracético Tetra sodio 68%

El agua de riego de Guaytacama pertenece a la Junta de agua de Santa Inés que beneficia a 43 usuarios con un área de 3200 ha ubicados a 2859 msnm. Su fuente de agua es proveniente de vertientes el recorrido del agua es a canal abierto (GADP GUAYTACAMA, 2023).

La Junta de agua de riego Canal Norte de Tanicuchi tiene un caudal de 630 l/s, los usuarios son de los sectores de Río Blanco Alto, Laso, El Vergel, Santa Ana, Cajón de Veracruz, Rayo Cruz, Coba Santa Clara, Centro Parroquial, El Calvario, La Floresta, San Pedro, San Andrés y San José, con un total de 2730 usuarios y un área cubierta de riego de 897.83 ha (GADP TANICUCHI, 2023).

La Junta de riego de Wintza perteneciente a la parroquia Toacaso, la fuente del agua de riego que nace de las faldas de los Ilinizas de la quebrada de Cochalo con un caudal de 23.5 l/s, beneficia a 114 usuarios, cubre 15 ha dedicadas a la agricultura de manera especial a la siembra de pastos y cultivo de papa (Pincha, 2019).

El canal de riego Latacunga – Salcedo - Ambato tiene un caudal de 4500 a 5200 l/s que beneficia a 17000 usuarios, que riegan un aproximado de 6300 ha de sembríos en las provincias de Cotopaxi y Tungurahua (Bautista et al., 2024)

2.4 Diseño experimental

Para el estudio el diseño utilizado fue de bloques completos al azar con dos repeticiones, que implica dividir el área de estudio en tres bloques homogéneos. Dentro de cada bloque, se asignaron de manera aleatoria los tratamientos o condiciones de estudio, según las coordenadas de cada uno de los canales.

Tabla 2. Tratamientos en estudio

Tratamiento	Descripción
CO1G1	Confort + Guaytacama
CA2G1	Cosmo Agua + Guaytacama
CO1T2	Confort + Tanicuchi
CA2T2	Cosmo Agua + Tanicuchi
CO1W3	Confort + Toacaso (Wintza)
CA2W3	Cosmo Agua x+Toacaso (Wintza)
CO1LSA4	Confort + Latacunga-Salcedo-Ambato
CA2LSA4	Cosmo Agua + Latacunga-Salcedo-Ambato

2.5 Variables evaluadas

Se evaluaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica (CE), dureza total y sólidos totales disueltos (STD). Para ello, se recolectaron muestras representativas de 200 ml en vasos de precipitación, y se realizaron mediciones. Los instrumentos empleados fueron: un pH-metro portátil OAKLON 150 para la medición del pH; un conductímetro HI98304 DIST 4 para la determinación de la CE; un multiparámetro HI763133 para la medición de los STD; y el kit HI3812 para la determinación de la dureza total, cuyos resultados fueron multiplicados por un factor constante de 300 para su conversión. Las mediciones se efectuaron antes y después del tratamiento, en muestras provenientes de los canales de Guaytacama, Tanicuchi, Toacaso y Latacunga-Salcedo-Ambato.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó un ADEVA para todas las variables evaluadas. En la siguiente tabla se detalla la estructura del análisis, indicando las fuentes de variabilidad y los grados de libertad (GL) asignados a cada componente, mediante el diseño se explica las diferencias en pH, CE, STD y Dureza del agua después de aplicar los tratamientos. Si el resultado del ADEVA muestra un valor de $p \leq 0.05$, se concluye que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto distinto en la calidad del agua y en caso de diferencias significativas, se complementa con una prueba de comparación de medias (Tukey al 5%) para identificar cuál de los

tratamientos es más efectivo. Los datos fueron procesados en Microsoft Excel e InfoStat, y en caso de diferencias significativas se aplicó una prueba post hoc para determinar qué tratamiento presentó la mejor respuesta.

Tabla 3. Análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Bloques	4
Tratamientos	2
Error	1
Total	3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Parámetros iniciales de pH, CE, STD y Dureza

Los resultados fisicoquímicos del agua en los cuatro canales muestran diferencias notables en cada parámetro (Figura 2). El agua de riego del canal de T2 presentó un pH de 8.02 y clasificado como pH básico y el agua del canal de LSA4 presentó un pH de 7.6 clasificado como pH moderadamente básico. En el parámetro de dureza inicial el agua del canal de riego de G1 presentó 372 mg/L clasificada como agua muy dura; mientras que la dureza del canal agua de riego de W3 fue de 34 mg/L y se clasifica como agua blanda. La CE del agua de G1 es de 1.15 mS/cm mayor a los demás canales de riego en estudio; la cantidad más alta de STD se presentó en el agua del canal de G1 con 348 mg/L, seguida del agua del canal LSA4 con un valor de 263 mg/L.

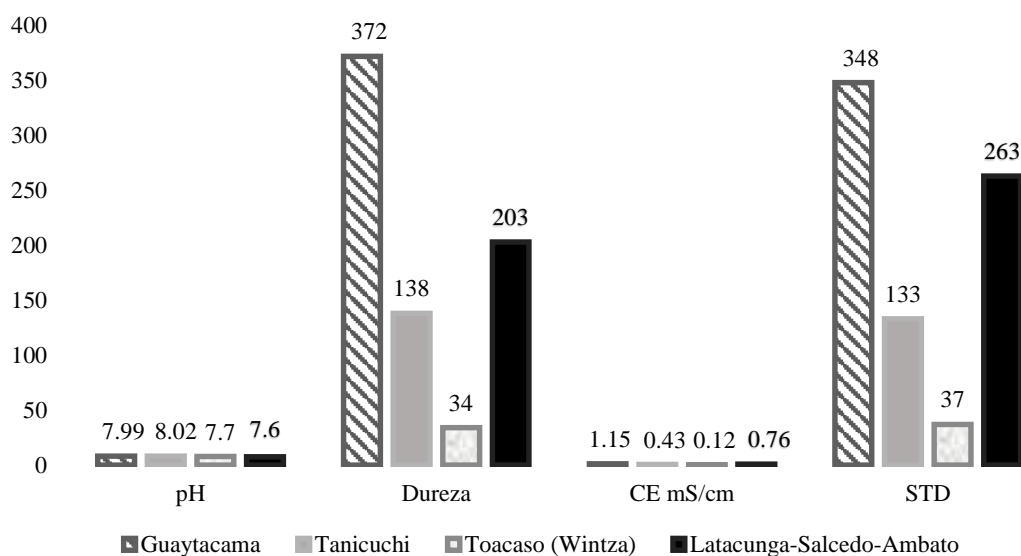


Figura 2. Parámetros iniciales de pH, CE, STD y Dureza del agua de Guaytacama, Tanicuchi, Toacaso (Wintza) y Latacunga-Salcedo-Ambato.

Según Pérez et al. (2023), menciona que el pH es un parámetro importante para la producción agrícola y se debe mantener en un parámetro de 6.5 a 7.5. Además, Murillo et al. (2025) también manifiesta que el agua con un pH menor de 7 se considera agua ácida por la concentración de iones H^+ incrementa la acidez y cuando el pH mayor de 7 incrementa la concentración de OH^- ; además es importante considerar la relación suelo/agua porque al incrementar el pH del agua sube el pH del suelo (Castellón Gómez et al., 2015), de esta manera hay que tener precaución con el agua de riego de la parroquia de T2 porque el pH es de 8.2 y el agua de G1 tiene un pH de 7.99 por la presencia excesiva de Ca^{++} , CO_3 y HCO_3 y causa el taponamiento de goteros del riego y disminución de la efectividad de fertilizantes foliares, agroquímicos e incremento de la salinidad del suelo.

Alzate (2003) clasifica según la CE de $<250 \mu S/cm$ en agua con baja salinidad, $250 - 700 \mu S/cm$ agua de salinidad media, de $750 - 2250$ agua altamente salina y >2250 es un agua extremadamente salina, Laboratory (U.S.) (1954) señala que la mayor contaminación de salinidad del agua es por un inapropiado manejo de las fertilizaciones además las actividades industriales y mineras, Sierra et al. (2001) en su reporte menciona que la salinidad afecta en la disponibilidad de agua para el cultivo cuando los valores del agua superan los $0.7 dS/m$ de CE, además de representar un riesgo para los cultivos sensibles a la salinidad, es importante considerar la CE del agua de riego de G1 es de $1.15 mS/cm$ y se clasifica en un grado ligero o moderado.

Pincha (2019) menciona que, la dureza indica el contenido iónico del agua por la presencia de Ca^{++} y

Artículo científico: Optimización del riego agrícola en los Andes centrales del Ecuador mediante ablandadores de agua

Publicación Semestral. Vol. 4, No 2, julio-diciembre 2025, Ecuador (p. 1-10)

Mg⁺⁺ estos dos elementos se presentan de manera natural según la fuente y recorrido del agua hasta llegar al punto de riego y por esta razón los valores varían en una distancia determinada, según Pérez et al. (2023) existen durezas temporales por Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ y la dureza permanente por Sulfato y Cloruro de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ y clasifica como un agua extremadamente dura cuando es >400 mg/L (Palomino, 2016); de esta manera, la calidad del agua se relaciona a la presencia o ausencia de sustancias extrañas que no pertenecen al sistema natural, el agua de regadío de G1 y del canal LSA4, según lo mencionado por los autores se clasifica como

agua dura; mientras que el agua de la parroquia de T1 es una agua moderadamente dura y el agua de W3 se clasifica como agua blanda.

3.2 Ablandamiento del agua para riego agrícola

En la tabla 4 se presentan los resultados de los tratamientos y la dosis para ablandar los parámetros de pH, CE, Dureza y STD de cada muestra de los canales en estudio, para mantener eficiencia de la fertilización foliar y el efecto de agroquímicos para el control de plagas.

Tabla 4. Evaluación de los tratamientos y dosis de ablandadores de agua de riego en los canales de Guaytacama, Tanicuchi, Toacaso (Wintza) y Latacunga-Salcedo-Ambato.

Tratamientos/dosis	pH		Dureza		CE		STD	
	*AI	¥AR	*AI	¥AR	*AI	¥AR	*AI	¥AR
CA1G1 - 3.0 g/L	7.9	4.9	372	34.67	1.15	1.64	348	499
CO2G1 - 2.75 g/L		5.6		33.56		1.72		457
CA1T2 - 1.0 g/L	8.0	5.0	138	22.00	0.43	0.67	133	193
CO2T2 - 0.75 g/L		5.7		32.11		0.59		186
CA1W3 - 0.0125 g/L	7.7	6.5	34	16.60	0.12	0.12	37	42
CO2W3 - 0.0250 g/L		6.9		15.60		0.13		42
CA1LSA4 - 1.50 g/L	7.6	5.6	203	51.00	0.76	1.08	263	375
CO2LSA4 - 1.25 g/L		6.2		42.60		0.94		270

*AI= Análisis Inicial (pH, Dureza, CE y STD)

¥AR= Análisis Regulado (pH, Dureza, CE y STD)

Una vez que se determinó los parámetros iniciales del agua de riego de los cuatro canales en estudio, en la tabla 4 se puede observar los resultados y se determina que el mejor tratamiento fue CO2 para regular el pH y Dureza del agua de los cuatro sectores y la dosis óptima 2.75 g/L de CO2 fue para el agua de Guaytacama, 0.75 g/L para el agua de Tanicuchi, 0.025 g/L para el agua de Toacaso y para el agua del canal Latacunga – Salcedo – Ambato la dosis aplicar fue 1.25 g/L; mientras que la CE y STD aplicados los tratamientos suben los valores de sus parámetros, la mayor variación se presenta con el tratamiento CA1, esto se debe a la formulación y tipo de ingrediente activo de los ablandadores utilizados en como tratamientos.

Según el estudio realizado por Medina Valdovinos et al. (2016), la escala de pH en el agua oscila de 0 a 14. El rango óptimo de pH es de 5.5 hasta 6.5 para obtener una mayor disponibilidad de nutrientes, por otra parte Ingram (2014) menciona que el rango óptimo para el agua de riego es entre 6.5 y 7.5, u 8 como máximo, la planta capta una mayor cantidad de nutrientes en ese rango, de igual modo Puñales & Aguilar (2017) dan a conocer que un pH elevado (>7.0) puede disminuir la disponibilidad de diversos metales y micronutrientes, lo que provoca síntomas de deficiencia y un pH bajo (< 5.0) puede resultar en

niveles tóxicos elevados de metales como el hierro y el manganeso, lo cual se observa de manera general junto con una alcalinidad baja. Considerando los resultados de los cuatro canales, se concluye que el producto más recomendable para ajustar el pH en los canales en estudio fue CO2. Es importante tener en cuenta la dosificación adecuada de cada producto ablandador y el rango óptimo de pH para garantizar una mayor disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

Con el criterio de Medina Valdovinos et al. (2016), la dureza del agua se determina por la concentración de sales de magnesio y calcio en una cantidad específica de agua. Se considera agua blanda cuando la concentración de sales es inferior a 75 ppm, se considera agua semidura si se encuentra entre 75-150 ppm y dura si se sitúa entre los valores de 150-300 ppm, igualmente Aguilar et al. (2017), explica la clasificación de niveles de dureza que son: muy blanda <7, blanda 7-14, semiblanda 14-22, semidura 22-32, dura 32-54 y muy dura >54, de la misma manera Pérez et al. (2023) explicó que se considera agua blanda de 0-60 mg/L, moderadamente dura de 61-120 mg/L, dura de 121-180 mg/L y >180 mg/L muy dura. Con los resultados que se obtuvo de los cuatro canales utilizados en la investigación, se concluye que el producto más recomendado para disminuir la dureza

del agua fue el tratamiento CO₂, además de recomendar la dosis adecuada para optimizar la calidad del agua utilizada en la agricultura, que garantice mayor eficiencia para la absorción de fertilizantes foliares y la aplicación de agroquímicos.

Aguilar et al. (2017), señala que un suelo salino causa osmosis inversa en las plantas y hay que entender la clasificación de la CE <0.7 no hay problema, CE <0.7 - <3 es un problema creciente y CE >3 es un problema grave, de forma similar Cámara Durán (2015), determinó que el agua menor de 1.2 mS/cm o 1200 µS/cm no suelen tener ningún problema, por el contrario el agua con una conductividad mayor de 2.5 mS/cm o 2500 µS/cm no se recomiendan para el riego, de igual importancia (Medina Valdovinos et al., 2016), dice que la CE es una medida indirecta de las concentraciones de sales en una solución, porque el agua pura tiene baja conductividad eléctrica con relación a un agua salina que incrementa su conductividad y cuando es muy severa causa deshidratación de las plantas. Carrillo-Martínez et al. (2021), indica que con respecto a la CE indica que en una unidad de dS/m <0.7 no contiene ningún grado de restricción, de 0.7-3 presenta un grado de restricción ligero o moderado y >3.0 presenta un grado de restricción alto. En las mismas circunstancias (Redondo Montoya et al., 2022), dicen que la CE baja cuando es <0.8 mS/cm, media 0.8-1.6 mS/cm, alta 1.6-3.0 mS/cm y extremadamente alta de 3.0 mS/cm, según los rangos indicados por los autores se debe realizar un manejo adecuado del agua del canal de G1 por que se encuentra en un rango medio de salinidad al igual que el agua de LSA4.

López-Velandia (2018), menciona que los niveles de STD deben mantenerse por debajo de 640 mg/L para evitar problemas de crecimiento en plántulas. De igual manera Puñales & Aguilar (2017) explicó que los STD es una medida de la concentración total de los iones en soluciones y por otro lado el agua de riego debe tener los siguientes parámetros: excelente de 0 a 300 ppm, bueno de 300 a 600 ppm, aceptable de 600 a 900 ppm, no recomendable de 900 a 1200 ppm y el inaceptable es >1200 ppm, Se contrasta los valores de los STD de las aguas analizadas que se encuentran dentro de los parámetros de agua buena, con los valores más altos del agua de G1 499 mg/L, sin embargo es importante considerar el Ingrediente activo de los ablandadores a utilizar porque influyen en el incremento de la concentración de STD y la CE.

4. CONCLUSIÓN

En concordancia con el objetivo de esta investigación, se logró identificar y comparar las diferencias en los parámetros fisicoquímicos del agua de riego —pH,

conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD) y dureza— en los canales de Guaytacama (G1), Tanicuchi (T2), Toacaso (W3) y Latacunga-Salcedo-Ambato (LSA4). Los resultados permitieron clasificar las aguas según su calidad y características predominantes. El agua de Guaytacama se identificó como dura, con un pH débilmente básico y un nivel de salinidad medio. En contraste, el agua de Tanicuchi se clasificó como blanda, con un pH levemente básico y bajo riesgo de salinidad. En Toacaso (Wintza), las condiciones del agua también corresponden a una clasificación blanda, con pH ligeramente alcalino y salinidad reducida. Finalmente, el agua del canal Latacunga-Salcedo-Ambato se caracterizó como dura, con un pH ligeramente alcalino y baja salinidad.

Estos hallazgos demuestran la variabilidad en la calidad del agua entre los canales evaluados y subrayan la importancia de aplicar ablandadores adecuados para optimizar su uso en la agricultura, especialmente en lo que respecta a la eficiencia del riego y la compatibilidad con fertilizantes y agroquímicos.

Se analizó el comportamiento de pH, CE, STD y Dureza del agua de riego de las parroquias de G, T, W, y el canal LSA en tres coordenadas del recorrido del canal con puntos inicial, intermedio y final. Los cambios de los parámetros analizados entre el punto uno y final presentaron mínimas diferencias que de manera estadística la variación no fue significativa.

Se determinó el comportamiento del mejor ablandador de agua para los cuatro canales en estudio y fue el tratamiento CO₂ Etilen Diamino Tetracético Tetra sodio 68% de la misma manera la dosis del ablandador para el canal G fue 2.75 g/L, para el canal de T 0.75 g/L, para el canal de W 0.0250 g/L y para el agua del canal LSA la dosis fue de 1.25 g/L, con las dosis recomendadas se garantiza a los agricultores ablandar el agua para que obtengan mayor eficiencia de los fertilizantes foliares y la aplicación de agroquímicos y disminuyan costos de producción y contaminación ambiental.

Agradecimientos.— Un agradecimiento especial a los representantes de las juntas del agua de riego de las parroquias de Guaytacama, Tanicuchi, Toacazo y del canal Latacunga - Salcedo - Ambato y al Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, por la facilitación de sus equipos y las instalaciones del Laboratorio de Química y biología para realizar los análisis de la presente investigación, el proyecto fue autofinanciado por los investigadores del proyecto.

Contribución de los autores.— Los autores contribuyeron a la concepción y diseño del estudio. La

Artículo científico: Optimización del riego agrícola en los Andes centrales del Ecuador mediante ablandadores de agua

Publicación Semestral. Vol. 4, No 2, julio-diciembre 2025, Ecuador (p. 1-10)

preparación del material, la recopilación de datos y el análisis fueron realizados por EE, SE, HM y PC.

El Mgs. Edgar Hernán Escobar y el Ing. Edward Alfonso Sánchez Vallejo trabajaron en el diseño del proyecto de investigación y la recolección de información de la fase de campo, así como en la georreferenciación de los sitios de investigación y la socialización a las juntas de riego de los canales en estudio.

Phd. María Eugenia Heredia Espinosa, Colaboró en la fase de laboratorio realizando los respectivos análisis de agua para la obtención de los resultados. El Ing. Christian Giovanni Proaño Corrales trabajo en la interpretación y tabulación de los resultados de laboratorio.

De manera conjunta, la colaboración interdisciplinaria del grupo de investigación permitió alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto, garantizando una ejecución eficiente y el logro de resultados.

Financiación.- El proyecto no recibió fondos, subvenciones u otro tipo de apoyo económico. Sin embargo, el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi facilitó el uso del laboratorio y las horas para la investigación.

Conflicto de intereses.- Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

5. REFERENCIAS

- Acaro Reyes, B. P., Cevallos, S., Acaro Reyes, B. P., & Cevallos, S. (2025). *Hongos asociados al cultivo de banano (Musa spp.) con potencial biotecnológico para el desarrollo de inoculantes*. <https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7053>
- Achig Pilapaña, K. A., & Aimacaña Jami, S. N. (2024). *“Determinación del estado de recursos suelo y agua en zonas productoras comunitarias de leche de Poaló, Once de Noviembre, Belisario Quevedo, Ignacio flores y Eloy Alfaro del cantón Latacunga”*. [Universidad Técnica de Cotopaxi] Dspace. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/0a95a493-3683-46d6-942f-9083d3274a17>
- Aguilar, D. C. C. R. B., Puñales, Ms. T. T., & Betancourt, Ms. Y. L. (2017). El manejo integrado del agua en la agricultura: Necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(2), Article 2. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/119>
- Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., Lugo, J., Albíter-Pineda, J. F., Vaca, R., Aguila, P. del, Yáñez-Ocampo, G., & Lugo, J. (2020). *Flujo de CO₂ y su relación con propiedades bioquímicas en cultivos hortícolas en invernadero*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3). <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2548>
- Aliche, E. B., Oortwijn, M., Theeuwes, T. P. J. M., Bachem, C. W. B., Visser, R. G. F., & van der Linden, C. G. (2018). Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agricultural Water Management*, 206, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.013>
- Alzate A., O. A. (2003). *Una estrategia de seguridad alimentaria para el Pacífico Colombiano desde la perspectiva de las comunidades: Ejercicios de prospectiva*. Cali, CO Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRONATTA). <https://unipacifico.metacatalogo.org/bib/459>
- Arroyo Manuel Martín. (2023). *Visión General del Riego en el Mundo | Intagri S.C.* [Blog]. Visión General del Riego en el Mundo. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/vision-general-del-riego-en-el-mundo>
- Ayala, S. R., Castro, S. A. J., Calle, L. D. Z., Aguilar, A. G. V., & Choloquina, C. A. (2022). Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS). *Revista Politécnica*, 49(2), Article 2. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>
- Bautista, J. F. C., Marín, J. A. E., Guevara, W. A. B., & Delgado, C. L. M. (2024). Determinación de la brecha hídrica en la distribución de caudales a partir de la cuantificación de la demanda hídrica por uso de suelo. Estudio de caso del canal de riego Tumbaco, Pichincha, Ecuador. *Siembra*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i1.6264>
- Bullaín-Galardis, M., Campos-Posada, R., Campos-Posada, G., Eichler-Löbermann, B., Pruneau, L., Bâ, A., López-Sánchez, R., Bullaín-Galardis, M., Campos-Posada, R., Campos-Posada, G., Eichler-Löbermann, B., Pruneau, L., Bâ, A., & López-Sánchez, R. (2023). *Morphological and physiological responses of Coccobera uvifera (L.) L. seedlings of different origin to salt stress*. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1655>
- Cámara Durán, Ó. (2015). *Impacto de la agricultura bajo riego sobre la calidad del agua: Caso del valle del Yaqui, Sonora | Tecnología y ciencias del agua*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7357455>

- Carabalí, J. A. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. *Siembra*, 6(2), Article 2. <https://www.redalyc.org/journal/6538/653869484005/html/>
- Carrillo-Martínez, C. J., Álvarez-Fuentes, G., Aguilar-Benítez, G., Can-Chulím, Á., & Pinedo-Escobar, J. A. (2021). Calidad del agua para riego agrícola en la región del acuífero Calera en Zacatecas, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-02-01>
- Castellón Gómez, J. J., Bernal Muñoz, R., & Hernández Rodríguez, M. de L. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50. Redalyc. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750924004>
- Cruz-Flores, G., Guerra-Hernández, E. A., Valderrábano-Gómez, J. M., Campo-Alves, J., Cruz-Flores, G., Guerra-Hernández, E. A., Valderrábano-Gómez, J. M., & Campo-Alves, J. (2020). *Indicadores de calidad de suelos en bosques templados de la Reserva de la Biosfera los Volcanes, México*. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.421>
- GADP GUAYTACAMA. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Guaytacama*. https://guaytacama.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2024/07/INFORME-PRELIMINAR-CIUDADANIA20240629_18591528.pdf
- GADP TANICUCHI. (2023). *PDOT – GAD Parroquial Tanicuchi*. <https://tanicuchi.gob.ec/pdot/>
- García Hidalgo, Y. (2015). Calidad del agua con fines de riego. *Ojeando la Agenda*, ISSN 1989-6794, N°. 35, 2015, 35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5362999>
- Gil-Meseguer, E., Bernabé-Crespo, M. B., & Gómez-Espín, J. M. (2020). Resiliencia en el consumo de agua por parte de abastecimientos y regadíos ante las sequías en el Sureste de España. *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València*, 104, Article 104. <https://doi.org/10.7203/CGUV.104.16328>
- Gong, L., Zhang, H., Gan, X., Zhang, L., Chen, Y., Nie, F., Shi, L., Li, M., Guo, Z., Zhang, G., & Song, Y. (2015). Transcriptome Profiling of the Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plant under Drought Stress and Water-Stimulus Conditions. *PLoS ONE*, 10(5), e0128041. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128041>
- Ibrahim, S. I., Naawe, E. K., & Caliskan, M. E. (2023). Morpho-Physiological Evaluation of Potato Genotypes Reveals Differential Responses to Drought Stress under Field Conditions. *American Journal Of Potato Research*, 100(5), 382-398. <https://doi.org/10.1007/s12230-023-09925-3>
- Ingram, D. (2014). Comprensión de los resultados de las pruebas de agua de riego y sus implicaciones en la gestión de cultivos en viveros e invernaderos. *Publicaciones sobre agricultura y recursos naturales*. https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/160
- Javier, A., Oseguera Luis, A., Ardiles Vilma, S., Lucy, M., & Blanca, P. (2018). Sediment Characteristics of 18 Tropical, Karst Lakes in Chiapas, Mexico. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 34, 77-82. https://www.researchgate.net/publication/329335938_Sediment_characteristics_of_18_tropical_karst_lakes_in_Chiapas_Mexico
- Laboratory (U.S.), R. S. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S. Government Printing Office. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1885791>
- López-Velandia, C. (2018). *Análisis de las características isicoquímicas del agua subterránea de la cuenca del río Chicú, Colombia, usando indicadores hidroquímicos y estadística multivariante*. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.28.2>
- Mancilla-Villa, O. R., Hernández-Vargas, O., Guevara-Gutiérrez, R. D., Palomera-García, C., Ortega-Escobar, H. M., Flores-Magdaleno, H., Can-Chulim, A., Olguín-López, J. L., Mendoza-Saldívar, I., Luna-Fletes, J. A., Cruz-Crespo, E., Barreto-García, O. A., Villafañá-Castillo, F., Khalil-Gardezi, A., Ramírez-Romero, J. M., Mancilla-Villa, O. R., Hernández-Vargas, O., Guevara-Gutiérrez, R. D., Palomera-García, C., ... Ramírez-Romero, J. M. (2024). *Aplicación de un índice de calidad del agua (ICA) en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México*. <https://doi.org/10.24275/dcrs6019>
- Rodríguez Becerra, Manuel & Vélez, María. (2018). *Gobernanza y gerencia del desarrollo*

Artículo científico: Optimización del riego agrícola en los Andes centrales del Ecuador mediante ablandadores de agua

Publicación Semestral. Vol. 4, No 2, julio-diciembre 2025, Ecuador (p. 1-10)

- sostenible. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes. <https://ediciones.uniandes.edu.co/library/publication/gobernanza-y-gerencia-del-desarrollo-sostenible-1659479354>
- Márquez-Pacheco, H., Leyva-Morales, J. B., Davizón-Castillo, Y. A., Ontiveros-García, L. A., & Amillano-Cisneros, J. M. (2023). Trend analysis of water quality indicator parameters in a tropical reservoir. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(2), e3562. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3562>
- Martínez Cruz, D. A. (2016). Spatial variation of water quality for irrigation in the coastal Mayo Valley aquifer, Sonora, Mexico. *Hidrobiológica*, 26(1), 109-119. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n1/Martinez>
- Medina Valdovinos, E. K., Mancilla Villa, O. R., Larios, M. M., Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., & Barreto García, O. A. (2016). *Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000035>
- Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-García, A. A., Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-García, A. A., Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., & Cervantes-Vázquez, T. J. Á. (2021). *Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura*. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789>
- Murillo, S. E. P., Sánchez, F. E. V., Cedeño, J. K. Z., & Echeverri, P. C. F. (2025). Comparative evaluation of bioremediation and electroremediation methods for soil decontamination by hydrocarbons. *Revista Iberoamericana de educación*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.31876/rie.v9i1.290>
- ONU. (2023). *Human Rights* [Organizacion]. United Nations; United Nations. https://www.un.org/en/global-issues/human-rights?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw2N2_BhCAARIsAK4pEkWHWwrjAg1M2T5A-zZKoCfpFUrcejGzxjRAnyAKPkjSsLoSf7aUvJwaAt5pEALw_wcB
- Palomino, P. (2016). *Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6794813>
- Pérez, J. H., Rocha-Gil, Z. E., Cifuentes-Osorio, G. R., Pérez-Rubiano, C. C., Parrales-Ramírez, D. A., Pérez, J. H., Rocha-Gil, Z. E., Cifuentes-Osorio, G. R., Pérez-Rubiano, C. C., & Parrales-Ramírez, D. A. (2023). *Physicochemical and Biological Structure as Indicators of the Environmental Quality of Surface Water Streams*. <https://doi.org/10.17151/bccm.2023.27.1.3>
- Pincha, L. G. (2019). *Parte I-B Diagnóstico De La Parroquia Toacaso*. <https://toacaso.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2017/06/diagnostico-final-gadpr-toacaso-2015-2016-B.pdf>
- Puñales, T. T., & Aguilar, C. B. (2017). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), Article 1. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/75>
- Redondo Montoya, M., Mosquera Murillo, L., & Rodríguez Reyes, A. (2022). *Estratificación del riesgo de dengue—San José del Guaviare, Guaviare-Colombia, 2022*. <https://doi.org/10.22517/25395203.25415>
- Sánchez del Castillo, F., Cabañas Díaz, A., Pineda Pineda, J., & González Molina, L. (2022). *Evaluación de métodos de recirculación de solución nutritiva para la producción de jitomate en ciclos cortos*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342021000300433&lang=es
- Sierra, C., Cesped, R., & Osorio, A. (2001). *Caracterización de la salinidad de los suelos y aguas del valle del río Copiapó*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/d5455a37-50bb-424b-b8f9-f4533cfbbfcf>
- The Food and Agriculture Organization (FAO). (2019, junio 11). *Afghanaid*. https://www.afghanaid.org.uk/faqs/the-food-and-agriculture-organization-fao/1000?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw2N2_BhCAARIsAK4pEkU9JU6--gFLIfTzUqruVkGm3bsSLdvkUbguGroAgXEmd-1InVMvIjQaAmBuEALw_wcB
- FAO. (2024). *El Estado Mundial De La Agricultura Y La Alimentación*. <https://doi.org/10.4060/cd2616es>