

**REQUERIMIENTO HIDRICO DE LA ACELGA (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) BAJO  
CONDICIONES DE BIOESPACIO.**

**DANIEL JOSÉ COY PÉREZ  
DAVID MAURICIO MONTES YANEZ**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA  
MONTERÍA – CÓRDOBA  
2023**

**REQUERIMIENTO HIDRICO DE LA ACELGA (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) BAJO  
CONDICIONES DE BIOESPACIO.**

**DANIEL JOSÉ COY PÉREZ  
DAVID MAURICIO MONTES YANEZ**

**Trabajo de grado, modalidad investigación, como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero Agrónomo.**

**DIRECTOR  
TEOBALDIS MERCADO FRENÁNDEZ, Ing. Agrón., PhD**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
MONTERÍA  
2023**

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto serán responsabilidad del autor.

Artículo 17, acuerdo No. 039 del 24 de junio de 2005 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba.

Los derechos de propiedad intelectual y confidencialidad de los resultados de investigación se rigen por la política de propiedad intelectual de la Universidad de Córdoba: Acuerdo No. 045 de 2018.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

Teobaldis Mercado Fernández, Ing. Agrón., Ph.D.

---

Dairo Pérez Polo, Ing. Agrón., M.Sc, Jurado.

---

Amir Vergara Carvajal, Ing. Agrón., M.Sc, Jurado.

Montería - 2023.

## DEDICATORIAS

Primeramente, darle gracias a Dios fuente de toda sabiduría por ser mi guía en cada paso de este proceso, por darme los medios para poder lograr el sueño de ser Ingeniero Agrónomo. A mi madre Ángela María Pérez Negrete quien fue una de las personas que más ha influenciado en mi desarrollo en todos los sentidos, a quien le debo más de lo que las palabras puedan expresar porque me enseñó a entender la vida, a batallar en tiempos de penurias, a nunca desfallecer y sobre todo a luchar por aquello que nos hace feliz, a nunca rendirme sin importar lo duro que sea el camino. Tu recuerdo sigue siendo mi inspiración, por eso perdurará por siempre, recuerdo su hermosa sonrisa, su cálido e incondicional amor y su manto maternal que día a día me llenaba de fuerzas para salir adelante, gracias, madre.

A mi padre Agustín Francisco Coy Barrera cuya sabiduría y aliento fueron mi constante guía, por ser el faro en la tormenta, gracias a su esfuerzo pude llegar a la meta y culminar mis estudios. A mis hermanos Armando, Diana, Diego e Iván Coy quienes iluminaron mi camino con su apoyo incondicional ya que fueron parte de este proceso y motivos de inspiración para salir adelante.

A mi familia agradezco toda su atención y colaboración durante este proceso, por siempre estar y apoyarme en todo.

Daniel Coy Pérez.

A Dios primeramente porque fue quien me mostró el camino a seguir para mi formación profesional, me dotó de sabiduría y entendimiento para enfrentar la carrera; luego a mis padres Luzmila Yanez y Carlos David Montes por su apoyo incondicional, por sus esfuerzos, por sus oraciones y por creer en esta parte de mi proyecto de vida que me otorga el título de Ingeniero Agrónomo.

A mis hermanas Tania y Carol Montes, a mi sobrina Stephany, a mi abuela Rafaela Paternina y a mis familiares más cercanos que de una u otra forma hicieron su aporte, a la señora Leila Urrutia que fue esa persona que Dios usó para darme una voz de aliento y esperanza cuando aún no había ingresado a la Universidad.

A mis amigos Mateo Páez y Luis Ramírez por ese apoyo moral que siempre me brindaron.

A mi colega y compañero de trabajo de grado Daniel Coy, a mis compañeros de carrera Melisa, Aury, Leidys, Yuranis, Fernando y demás compañeros con los cuales compartí durante todo el proceso formativo.

David Montes Yanez.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme los medios para realizar mi formación académica, por darme la sabiduría para culminar este proceso formativo, a la Universidad de Córdoba por brindarme los espacios y herramientas necesarias para mi formación profesional. A mi director Teobaldis Mercado Fernández Ph.D por su dirección, enseñanzas y toda la asesoría brindada durante este trabajo investigativo; al profesor Dairo Pérez Polo Ing. Agrón., M.Sc por su colaboración y asesoría durante este proceso formativo, al docente Amir Vergara Carvajal por su orientación, a mi primo Juan Diego Pérez por el apoyo incondicional, a mi colega y amigo David Montes por el apoyo mutuo en este proceso, a mis los amigos que siempre creyeron en mi José Pérez, Mario Viloria, Mary Bautista, Jena Sánchez, Carlos Romero y Larry Flores.

Daniel Coy Pérez.

En primer lugar, agradezco a Dios pues ha sido mi guía a lo largo de mi formación académica, a mis padres quienes han cumplido un rol importante durante toda mi vida, a todas esas personas de gran valor que Dios ha puesto en mi camino y han hecho su aporte en este trabajo como lo son el profesor y director de tesis Teobaldis Mercado Ing. Agrón., Ph.D quien me ha brindado su confianza, asesoría, enseñanza y consejos durante este proceso; a los docentes Dairo Pérez Ing. Agrón., M.Sc por su asesoría., Fernando Barraza Ing. Agrón., PhD por compartir sus conocimientos., Cesar Muñoz Ing. Agrón., por brindarnos su asesoría y colaboración., Amir Vergara Ing. Agrón., M.Sc., al Ingeniero Anthony Ariza por la colaboración brindada., a Paula Méndez, Deiner Vega, a mi compadre y amigo Cesar Muñoz, finalmente a la Universidad de Córdoba y a la Facultad de Ciencias Agrícolas por brindarnos sus espacios para ser formados y capacitados a nivel profesional.

David Montes Yanez

## CONTENIDO

|                                                  | <b>Pág</b> |
|--------------------------------------------------|------------|
| <b>RESUMEN</b> .....                             | 11         |
| <b>ABSTRAC</b> .....                             | 12         |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                        | 13         |
| <b>1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....          | 15         |
| <b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....                    | 16         |
| <b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....                    | 18         |
| <b>3.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ACELGA</b> ..... | 18         |
| 3.1.1 Origen .....                               | 18         |
| 3.1.2 Morfología .....                           | 18         |
| 3.1.3 Taxonomía .....                            | 19         |
| 3.1.4 Importancia y usos .....                   | 19         |
| 3.1.5 Valor nutricional .....                    | 20         |
| <b>3.2 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ACELGA</b> .....    | 21         |
| 3.2.1 Producción nacional de acelga .....        | 21         |
| <b>3.3 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS</b> .....  | 22         |
| 3.3.1 Suelo .....                                | 22         |
| 3.3.2 Agua .....                                 | 22         |
| 3.3.3 Temperatura .....                          | 23         |
| 3.3.4 Luminosidad .....                          | 23         |
| 3.3.5 Altitud .....                              | 23         |
| 3.3.6 Humedad realtiva .....                     | 23         |
| <b>3.4 LABORES CULTURALES DEL CULTIVO</b> .....  | 23         |
| 3.4.1 Preparación del suelo .....                | 23         |
| 3.4.2 Siembra .....                              | 23         |
| 3.4.3 Aclareo .....                              | 24         |
| 3.4.4 Aporque .....                              | 24         |
| 3.4.5 Control de arvenses .....                  | 24         |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.6 Riego .....                                               | 24 |
| 3.4.7 Cosecha .....                                             | 24 |
| 3.4.8 Comercialización .....                                    | 25 |
| 3.5 REQUERIMIENTO HÍDRICO .....                                 | 25 |
| 3.6 DÉFICIT HÍDRICO .....                                       | 26 |
| 3.7 ESTRÉS HÍDRICO .....                                        | 27 |
| 3.8 BALANCE HÍDRICO .....                                       | 27 |
| 3.8.1 Precipitación .....                                       | 28 |
| 3.8.2 Capacidad de almacenamiento de agua del suelo (CAA) ..... | 29 |
| 3.8.3 Evapotranspiración (ET) .....                             | 29 |
| 3.8.4 Evapotranspiración potencial (ETP) .....                  | 30 |
| 3.8.5 Evapotranspiración de referencia (ETo) .....              | 31 |
| 3.8.6 Coeficiente del cultivo (Kc) .....                        | 31 |
| 3.8.7 Evapotranspiración del cultivo (ETc) .....                | 32 |
| 3.8.8 Uso consumo o uso consuntivo (Uc) .....                   | 32 |
| 3.8.9 Riego por goteo .....                                     | 33 |
| 3.9 VARIABLES FISIOLÓGICAS .....                                | 33 |
| 3.9.1 Índice de área foliar (IAF) .....                         | 33 |
| 3.9.2 Tasa de asimilación neta (TAN) .....                      | 34 |
| 3.9.3 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) .....               | 34 |
| 3.9.4 Tasa absoluta de crecimiento (TAC) .....                  | 34 |
| 3.9.5 Fotosíntesis neta (A) .....                               | 34 |
| 3.9.6 Conductancia estomática (Gs) .....                        | 34 |
| 3.9.7 Transpiración (E) .....                                   | 35 |
| 3.9.8 Concentración interna de CO <sub>2</sub> (Ci) .....       | 35 |
| 4. OBJETIVOS .....                                              | 36 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL .....                                      | 36 |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                 | 36 |

|                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. HIPÓTESIS</b>                                                                                                                                  | <b>37</b> |
| <b>6. METODOLOGÍA</b>                                                                                                                                | <b>38</b> |
| <b>6.1 LOCALIZACIÓN</b>                                                                                                                              | <b>38</b> |
| <b>6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>                                                                                                                     | <b>38</b> |
| <b>6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA</b>                                                                                                                       | <b>38</b> |
| <b>6.4 VARIABLES</b>                                                                                                                                 | <b>38</b> |
| <b>6.4.1 Variables independientes</b>                                                                                                                | <b>38</b> |
| <b>6.4.2 Variables dependientes</b>                                                                                                                  | <b>39</b> |
| <b>6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL</b>                                                                                                                       | <b>40</b> |
| <b>6.6 PROCEDIMIENTOS</b>                                                                                                                            | <b>40</b> |
| <b>6.6.1 Establecimiento del experimento</b>                                                                                                         | <b>40</b> |
| <b>6.6.2 Determinación del Kc y los tiempos de riego</b>                                                                                             | <b>41</b> |
| <b>6.6.3 Toma de datos</b>                                                                                                                           | <b>41</b> |
| <b>6.6.4 Muestreo de intercambio gaseoso</b>                                                                                                         | <b>41</b> |
| <b>6.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS</b>                                                                                         | <b>42</b> |
| <b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>                                                                                                                     | <b>43</b> |
| <b>7.1 IMPACTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE LA ACELGA (<i>Beta vulgaris</i>. Var. <i>Cicla</i> L.)</b>  | <b>43</b> |
| <b>7.1.1 Condiciones protegidas</b>                                                                                                                  | <b>43</b> |
| <b>7.2 EFECTO DE DISTINTAS LÁMINAS DE RIEGO EN EL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE LA ACELGA (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>Cicla</i> L.)</b> | <b>46</b> |
| <b>7.2.1 Altura de planta (AP)</b>                                                                                                                   | <b>46</b> |
| <b>7.2.2 Número de hojas (NH)</b>                                                                                                                    | <b>48</b> |
| <b>7.2.3 Área foliar (AF)</b>                                                                                                                        | <b>49</b> |
| <b>7.2.4 Masa fresca total (MFTT)</b>                                                                                                                | <b>51</b> |
| <b>7.2.5 Masa seca total (MSTT)</b>                                                                                                                  | <b>52</b> |
| <b>7.3 ÍNDICES DE CRECIMIENTO (IAF, TAN, TCC, TAC)</b>                                                                                               | <b>53</b> |
| <b>7.4 RENDIMIENTO</b>                                                                                                                               | <b>56</b> |

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.5 COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE INTERCAMBIO GASEOSO<br>BAJO EL SUMINISTRO DE DISTINTAS LÁMINAS DE RIEGO EN EL CULTIVO<br>DE ACELGA ( <i>Beta vulgaris</i> . Var. Cicla L.) | 57 |
| 7.5.1 Intercambio gaseoso                                                                                                                                                         | 57 |
| 7.6 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) PARA LA<br>ACELGA ( <i>Beta vulgaris</i> var. Cicla L.)                                                                         | 62 |
| 8. CONCLUSIONES                                                                                                                                                                   | 64 |
| REFERENCIAS                                                                                                                                                                       | 65 |

## RESUMEN

Con la intención de proporcionar alternativas que faciliten la optimización y el aprovechamiento de los recursos hídricos para la producción de acelgas, se buscó determinar el requerimiento hídrico de esta especie vegetal durante todas sus fases, bajo condiciones parcialmente controladas dentro de un bioespacio ubicado en la Universidad de Córdoba con coordenadas 8°47'16"N 75°51'28"W. Dicho requerimiento se evaluó bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro réplicas en cada uno, empleando cuatro láminas de riego por goteo las cuales fueron 5,5; 4,6; 3,7 y 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

Con esto se pudo establecer una dosis estandarizada del requerimiento hídrico, además se tuvo en cuenta el comportamiento fisiológico de esta, pudiendo así evaluar variables dependientes tales como altura de plantas, número de hojas, área foliar, masa fresca y masa seca del tallo, hojas y raíces, con las cuales se obtuvieron los índices de crecimiento del cultivo, además, se midieron variables de intercambio gaseoso como lo son fotosíntesis neta, conductancia estomática, transpiración y concentración interna de CO<sub>2</sub>.

El tratamiento con la mayor lámina de riego mostró diferencias estadísticas al 0,1% en cuanto al rendimiento final de la masa fresca con un potencial de producción de 17 ton ha<sup>-1</sup>, pudiendo así determinar una dosis estandarizada de 5,5 mm día<sup>-1</sup> y un coeficiente de cultivo (Kc) de 1,2 para la producción de acelgas bajo las condiciones descritas.

**Palabras clave:** Recursos hídricos, producción de acelgas, lámina de riego, comportamiento fisiológico.

## ABSTRACT

With the intention of providing alternatives that facilitate the optimization and use of water resources for the production of swiss chard, we sought to determine the water requirement of this plant species during all its phases, under partially controlled conditions within a biospace located at the University of Córdoba with coordinates 8°47'16"N 75°51'28"W. This requirement was evaluated under a completely randomized design with four treatments and four replicates in each one, using four drip irrigation rates of 5.5, 4.6, 3.7 and 2.8 mm day<sup>-1</sup>.

With this it was possible to establish a standardized dose of the water requirement, and the physiological behavior of this was also taken into account, thus being able to evaluate dependent variables such as plant height, number of leaves, leaf area, fresh mass and dry mass of the stem, leaves and roots, with which the growth rates of the crop were obtained, in addition, gas exchange variables such as net photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and internal CO<sub>2</sub> concentration were measured.

The treatment with the highest irrigation lamina showed statistical differences at 0.1% in the final yield of the fresh mass with a production potential of 17 ton ha<sup>-1</sup>, thus determining a standardized dose of 5.5 mm day<sup>-1</sup> and a crop coefficient (Kc) of 1.2 for the production of chard under the conditions described.

**Keywords:** Water resources, chard production, irrigation sheet, physiological behavior.

## INTRODUCCIÓN

El clima ejerce un papel fundamental en la productividad agrícola, como señala (Adams, 1998). Dado el crecimiento en la concentración de gases de efecto invernadero, es prácticamente inevitable que se produzcan modificaciones en el clima, a las cuales la agricultura deberá ajustarse. Esto conlleva no solo a modificar los tipos y combinaciones de cultivos, sino también a aumentar las inversiones, como apunta (McCarl, 2010). Más allá de las posibilidades de adaptación, se anticipa que el sector agrícola será el más afectado económicamente por el cambio climático tal como lo sugieren (Fischer et al., 2005; Mendelsohn, 2009). Además, el cambio climático tendrá repercusiones en la seguridad alimentaria al influir en la disponibilidad y accesibilidad de los alimentos, la estabilidad de las reservas alimenticias y la volatilidad de los precios (FAO, 2023).

La irreversible variación en el clima obliga a la exploración e identificación de especies vegetales con potenciales genéticos de adaptación a la nueva oferta ambiental (Wahid et al., 2007), es por ello que incentiva la experimentación de adaptabilidad con especies de zonas templadas y frías en regiones cálidas donde las condiciones climáticas ponen a prueba las capacidades genéticas de estas especies, sin embargo, es fundamental proporcionar sistemas parcialmente controlados (bioespacios) donde es posible regular variables como temperatura, humedad relativa, radiación y hacer un uso eficiente del agua (Martínez et al., 2020).

La acelga es una planta bianual perteneciente a la familia Amarantaceae cuyo nombre científico es (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.). Se tienen referencias escritas que sitúan a la acelga en las regiones costeras de Europa y del norte de África bañadas por el mar Mediterráneo (Alonzo, 2004), dotadas de un clima templado adecuado para una planta a la que le perjudica bastante los cambios bruscos de temperatura. Se trata de una planta cuyo tamaño no supera los 40 cm de altura ni los 20 cm de diámetro, sus raíces son largas y profundas, el tallo lo integra el peciolo de las hojas, el cual es de consistencia herbácea. Las hojas constituyen el órgano comestible junto al gran peciolo que las sostiene, son de gran tamaño y diámetro y su coloración es variable dependiendo de la variedad; las flores cuentan con estructuras agrupadas que están formando inflorescencias de tipo espiga y ubicación terminal; el fruto es de pequeño tamaño, con forma de nuez y es polispermo, ya que contiene generalmente entre tres y seis estructuras germinativas (Infoagro, 2022).

Existen referencias de este cultivo desde el siglo V a.C. en Grecia y a partir de allí ha venido siendo alimento básico en la nutrición humana durante mucho tiempo, actualmente es apreciada por su alto valor nutricional ya que cuenta con un alto contenido de calcio. También son ricas en hierro, prácticamente contienen el mismo contenido que las espinacas. En cuanto a las vitaminas, destaca la presencia de vitamina C, también contiene pro-vitamina A. Se puede consumir cruda, cocida al vapor o asadas a la parrilla, las hojas jóvenes se consumen en ensaladas, mientras

que las más maduras son más duras por lo que se sirven mejor cocidas, gratinadas, salteadas, en sopas o en tortillas, las pencas pueden comerse rellenas o rebozadas (Pineda, 2022).

En Córdoba no existen reportes de áreas sembradas de este cultivo debido a que normalmente no es el ambiente más propicio para su producción, sin embargo, Barraza (citado por Castro, 2009) menciona que las hortalizas son adaptables a diferentes condiciones climáticas haciendo posible bajo ciertos parámetros (bioespacios) producir especies de zonas templadas y frías en el departamento de Córdoba. Uno de los factores fundamentales para poder garantizar la producción de acelgas en esta región es implementar tecnologías que permitan brindarle las mejores condiciones climáticas, donde juega un papel fundamental el uso eficiente del agua implementando sistemas de riegos por goteo el cual cuenta con una eficiencia del 90 al 95% (Antúnez et al., 2010), ya que con este se busca que la planta reciba la cantidad necesaria para su normal funcionamiento fisiológico en este medio (Arriaga et al., 2010). Por tal razón el objetivo de esta investigación fue determinar el requerimiento hídrico de la acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) bajo condiciones de bioespacios.

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La acelga es una planta bianual perteneciente a la familia *Amarantaceae* la cual es una verdura de hoja, popular en todo el mundo (Liu et al., 2013). El desarrollo de estas plantas es de ciclo vegetativo corto y se da bien en los tres climas de Colombia, pero los mejores rendimientos se han obtenido en climas templados y fríos alcanzando hasta 23,62 ton ha<sup>-1</sup> (Agronet, 2022). Por su abundante superficie foliar, la acelga es un cultivo que demanda la presencia regular de humedad para manifestar todo su potencial de producción (Serida, 2017).

Dada la importancia de la humedad en el suelo para el buen desarrollo de las plantas de acelga resulta fundamental tener claro la cantidad de agua óptima para satisfacer dicha necesidad durante su ciclo de desarrollo. Sin embargo, el hecho de que la acelga no se cultive en esta zona, genera un desconocimiento sobre la cantidad de agua requerida para la producción de este cultivo, razón por la cual se plantearon cuatro dosis de riego diario (5,5; 4,6; 3,7 y 2,8 mm día<sup>-1</sup>) teniendo en cuenta los valores máximos de ETo de la zona con el fin de determinar la cantidad de agua con la cual se obtuvieran los mayores rendimientos.

En Córdoba y la costa, la acelga es una hortaliza a la que se le desconoce su valor nutricional y la forma de consumo debido a que en las zonas cálidas de Colombia no se impulsa la producción de este tipo de hortalizas ya que no es la más adecuada para su desarrollo por lo que su producción es escasa en comparación con el interior del país donde es bien conocida ya que en dicha zona las condiciones son más apropiadas. Sin embargo, el consumo de acelgas es necesario por su aporte nutricional a la salud humana (Frutas y hortalizas, 2021) por lo que implementar alternativas tales como la producción en condiciones controladas bajo estructuras de bioespacios sería una posible solución, poniendo a prueba diferentes láminas de riego por goteo con el fin de evaluar el comportamiento del cultivo y poder determinar con qué dosis finalmente se obtienen los mejores rendimientos de manera que permitan establecer un estándar de requerimiento hídrico bajo condiciones parcialmente controladas que pueda servir como un modelo a seguir para el escalamiento de la especie en la zona, y así poder suplir la demanda creciente que ha de tener en la medida en que se vaya dando a conocer y ganando aceptación a nivel departamental y toda la costa, de manera que aporte más sostenibilidad a la seguridad alimentaria y a su vez proporcionar una fuente adicional de alimentos nutritivos e inocuos a la población ya que su producción tendría un enfoque orgánico que le daría un valor agregado.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Debido al impacto del cambio climático y la forma como este factor influye en la agricultura teniendo en cuenta la zona costera de Colombia, que viene siendo una de las más afectada por los problemas derivados del cambio climático (Vargas, 2016) se tiene una razón para proponer alternativas de innovación que permitan mejorar y optimizar las condiciones de vida de todas las comunidades que conforman esta región del país.

Por lo anterior se propuso implementar la producción de especies hortícolas bajo condiciones parcialmente controladas en bioespacios con el objetivo principal de minimizar los impactos adversos causados por el cambio climático y de esta forma poder brindar sostenibilidad e inocuidad en la alimentación de la población que habita las zonas cálidas del país. Además, con la adopción de este método de producción se desea obtener rendimientos lo más cercano posible a las 23,62 ton ha<sup>-1</sup> que en promedio obtienen en pisos térmicos templados y fríos de Colombia (Agronet, 2022). Con este sistema de umbráculos se logra reducir la radiación entre un 35 – 90% con lo que podríamos proporcionarle condiciones más propicias a nuestro cultivo, ya que en condiciones abiertas (normales) en este medio el cultivo estaría a plena exposición solar lo que imposibilitaría la producción de la especie hortícola destinada para esta investigación.

Colombia se destaca por tener una abundante riqueza hídrica en comparación con muchas otras regiones a nivel mundial la cual se manifiesta en los diferentes cuerpos de agua que albergan grandes volúmenes. El mundo tiene 43764 kilómetros cúbicos de agua por año y en Suramérica se concentra un 28% de esta cantidad de los cuales un 5% corresponde al territorio colombiano (IDEAM, 2018). A nivel nacional la agricultura es el campo con la mayor demanda de este recurso, se habla de una huella hídrica del 70% (Arévalo, 2012) y en la región caribe se estima una oferta total de 187513 millones de metros cúbicos de los cuales 131259 millones de metros cúbicos son destinados para el desarrollo agrícola (ENA, 2022).

El departamento de Córdoba cuenta con 1,1 millones de hectáreas aptas para la agricultura de las cuales solo el 39,4% están siendo explotadas para tal fin (PDA, 2020) lo cual está asociado a un conflicto severo que afecta la calidad de los suelos debido al uso inadecuado y los malos manejos que se le dan a este (IGAC, 2013).

Además, el sector agrícola colombiano es vulnerable tanto a la variabilidad climática natural como al cambio climático (IDEAM, 2010). Históricamente, la agricultura colombiana ha podido adaptarse a la variabilidad climática, pero los fenómenos extremos representan una gran amenaza para este sector. Con respecto a todos los efectos del cambio climático se precisa implementar nuevas tecnologías con el fin de apuntar a una seguridad alimentaria y un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. No obstante, es necesario vincular a la sociedad en general con el fin de

poder replicar este modelo de manera que se vea mayor interés para trabajar en pro del desarrollo para toda la zona del caribe colombiano. Por esta razón con la implementación de este modelo productivo se pretende brindar sostenibilidad a los hogares de la costa caribe pues produciendo la cantidad de alimento necesario aseguramos la supervivencia de una nación (UPRA, 2022).

La acelga es una hortaliza de fácil cultivo y se adapta a una amplia gama de condiciones climáticas, lo que la hace accesible para muchas regiones del mundo. Su producción puede ser local, lo que reduce la dependencia de importaciones y asegura un suministro constante de alimentos frescos, la inclusión de acelga en la dieta permite una mayor diversificación de alimentos, lo que es fundamental para evitar la dependencia de unos pocos cultivos y asegurar una dieta equilibrada ya que es rica en nutrientes esenciales, como vitaminas, minerales, fibra y antioxidantes. Esto contribuye a la reducción de la presión sobre los recursos naturales y al mantenimiento de la seguridad alimentaria a largo plazo (Infocampo, 2023).

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 ASPECTOS GENERALES DE LA ACELGA

La acelga es una planta en la que se destacan sus importantes hojas verdes que forman parte de la dieta habitual de los seres humanos; originaria de Europa meridional, y proviene de una variedad silvestre que se encuentra presente, sobre todo, en la zona mediterránea. Su nombre científico es *Beta vulgaris* var. *Cicla* L., para diferenciarla de su variedad silvestre. Pertenece a la familia de las Amarantáceas. Su cultivo se ha extendido a prácticamente todo el mundo y comparte parentesco con la remolacha, pero a diferencia de ésta, en la acelga se aprovechan las hojas y no sus bulbos poco desarrollados (Infoagro, 2022).

**3.1.1 Origen.** Se tienen referencias escritas que sitúan a la acelga en las regiones costeras de Europa y del norte de África bañadas por el mar Mediterráneo (Touzet et al., 2018), dotadas de un clima templado adecuado para una planta a la que le perjudica bastante los cambios bruscos de temperatura. Existen documentos que prueban que ya en el siglo V a.C. los griegos utilizaban la acelga como un alimento en su dieta. Desde Europa se ha expandido a distintos países del mundo y en la actualidad presenta una amplia difusión, de manera especial en América y Asia (Astearán et al., 2000). Una teoría sugiere que la acelga (variedad cicla) se originó por hibridación a partir de la especie *Beta maritima*, de la cual también proviene la remolacha de mesa variedad *vulgaris* (Alonzo, 2004).

Parece ser que fueron los árabes quienes, a partir de la Edad Media, comenzaron a cultivarla y descubrieron las auténticas propiedades medicinales y terapéuticas de esta planta (Núñez, 2016). Resulta curioso que la acelga, una verdura tan utilizada como planta medicinal desde hace siglos por árabes, griegos y romanos se considere en la actualidad una verdura ordinaria, de pobre categoría. Las razones de este desprestigio pueden obedecer a la facilidad de su cultivo, a su abundancia en el mercado o al precio asequible al que se vende en las zonas de producción (EROSKI, 2019).

**3.1.2 Morfología.** La acelga es una planta perenne, bianual, cuyo tamaño no supera los 40 cm de altura ni los 20 cm de diámetro. El sistema radicular de esta especie carece de engrosamientos, las raíces son largas y profundas, generalmente napiformes (raíz primaria central dominante sobre las raíces laterales) de aspecto fibroso y coloración entre blanca y amarilla (Martínez et al., 2003). El tallo lo integra el peciolo de las hojas, el cual es de consistencia herbácea, con un tamaño que oscila entre los 3 y 4 cm de ancho y entre 15 y 20 cm de largo con tonos cremas o blancos. Transcurrido el primer año del cultivo y durante el segundo ciclo de crecimiento se genera un tallo central largo que sostiene al conjunto de flores o

inflorescencias (De la Paz et al., 2003). Las hojas constituyen el órgano comestible junto al gran peciolo que las sostiene y que se extiende por el limbo. Son de gran tamaño y diámetro, con morfología generalmente ovalada o acorazonada y se agrupan en la base formando una roseta. Su coloración es variable dependiendo la variedad, oscilando entre diferentes tonalidades de verdes, desde oscuros hasta claros, aunque también se han observado ejemplares con láminas foliares amarillas (Franco, 2002). Las flores cuentan con estructuras agrupadas que están formando inflorescencias de tipo espiga y ubicación terminal, cada flor es sésil, hermafrodita, pentámera y de color verdosa. El vástago completo posee una altura que oscila entre el metro con 20 cm, el diámetro aproximado de cada flor está comprendido entre los 3 y 5 mm (Muñoz, 2005). El fruto de la acelga es de pequeño tamaño, con forma de nuez y polispermo, ya que contiene generalmente entre tres y seis estructuras germinativas (Infoagro, 2022).

**3.1.3 Taxonomía.** La familia Amaranthaceae contiene cerca de 70 géneros y un millar de especies que se distribuyen por casi todo el planeta, exceptuando la región ártica, pero está más diversificada hacia las regiones tropicales. En América tropical está representada por 20 géneros y 300 especies aproximadamente, algunas de las cuales son introducidas y se comportan como malezas. Sin embargo, otras tantas especies se utilizan como plantas ornamentales o como fuente de medicamentos a nivel local. Para Colombia se presentan 14 géneros, 49 especies y siete variedades (Agudelo, 2008).

La acelga pertenece a las angiospermas y se encuentra dentro de los siguientes taxones (Rojas, 2006):

|                   |                                           |
|-------------------|-------------------------------------------|
| <b>Reino</b>      | Plantae                                   |
| <b>Subreino</b>   | Tracheobionta                             |
| <b>División</b>   | Magnoliophyta                             |
| <b>Clase</b>      | Magnoliopsida                             |
| <b>Subclase</b>   | Caryophyllidae                            |
| <b>Orden</b>      | Caryophylliales                           |
| <b>Familia</b>    | Amarantaceae                              |
| <b>Subfamilia</b> | Chenopodoidae                             |
| <b>Género</b>     | <i>Beta</i>                               |
| <b>Especie</b>    | <i>B. vulgaris</i>                        |
| <b>Subespecie</b> | <i>Beta vulgaris</i> var. <i>Cicla</i> L. |

**3.1.4 Importancias y usos.** La acelga cuenta con un alto contenido de calcio por lo que debería ser un alimento para incluir con regularidad en la dieta de personas mayores, embarazadas, niños en crecimiento y deportistas (La vanguardia, 2019).

También son ricas en hierro, prácticamente contienen el mismo contenido que las espinacas. En cuanto a las vitaminas, destaca la presencia de vitamina C, imprescindible para poder absorber el hierro y un importante antioxidante. También contiene pro-vitamina A, que se transforma en vitamina A y ayuda a mejorar la fortaleza de huesos, piel, cabello y la vista (Mzoughi et al., 2019).

La acelga se puede consumir cruda, cocida al vapor o asadas a la parrilla, las hojas jóvenes se consumen en ensaladas, mientras que las más maduras son más duras por lo que se sirven mejor cocidas, gratinadas, salteadas, en sopas o en tortillas. Las pencas pueden comerse rellenas o rebozadas (Ochoa, 2019).

**3.1.5 Valor nutricional.** La acelga es un alimento de alto valor nutritivo y bajo aporte calórico. Constituye un excelente aporte de fibra soluble que favorece el tránsito intestinal y previenen el estreñimiento. Es fuente de vitaminas y minerales, aportan cantidades muy significativas de yodo (una ración equivale al 44% de las ingestas recomendadas al día  $\text{IR día}^{-1}$  en hombres, y al 56% en mujeres); hierro (53% de las  $\text{IR día}^{-1}$  en hombres y 29% en mujeres); magnesio (35% de las  $\text{IR día}^{-1}$  en hombres y 38% en mujeres); potasio (28% de las  $\text{IR día}^{-1}$  en hombres y mujeres). Entre su contenido vitamínico cabe destacar la presencia de folatos (aportes de una ración, equivalentes al 61% de las  $\text{IR día}^{-1}$  en hombres y mujeres); vitamina C (58% de las  $\text{IR día}^{-1}$ ); vitamina A equivalentes de retinol (32% de las  $\text{IR día}^{-1}$  en hombres, 40% en mujeres) y niacina (18% de las  $\text{IR día}^{-1}$  en hombres, 25% en mujeres). También presenta una importante cantidad de luteína, caroteno sin actividad provitamínica A (MAPA, 2023).

**Tabla 1.** Valor nutricional de la Acelga por cada 100g de producto fresco.

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Agua (%)            | 91,1  |
| Hidratos de carbono | 4,6   |
| Fibra (g)           | 0,8   |
| Hierro (mg)         | 5,3   |
| Calcio (mg)         | 110,2 |
| Vitamina A (U.I.)   | 6500  |
| Vitamina C (mg)     | 3,2   |

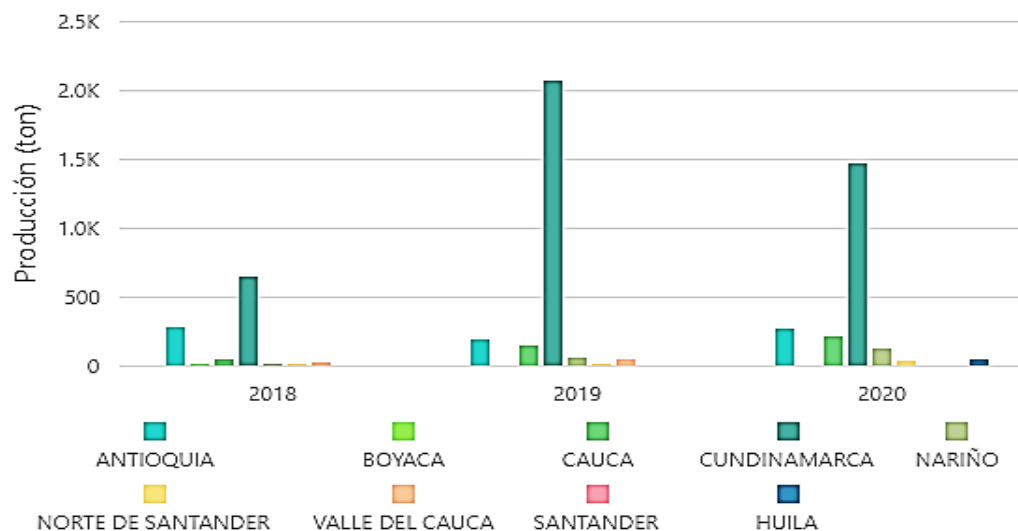
**Fuente:** Dávila, 2011.

### 3.2 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LA ACELGA

La producción de acelga a nivel mundial sobrepasa los 138 millones de toneladas donde los mayores rendimientos se presentan en los continentes de Asia (86,2%) y África (6,3%), le siguen Europa (4,4%), Américas (2,9%) y con un porcentaje menor el continente de Oceanía (0,2%); teniendo más del 69% los siguientes países: China, Estados Unidos, Rusia, Uzbekistán y Polonia (FAOSTAT, 2021).

La producción y cosecha de hortalizas a nivel mundial supera los 311 millones de toneladas, presentando un aumento desde el año 1994 hasta el 2019. La mejor producción y cosecha fue en el año 2019 (FAOSTAT, 2021).

**3.2.1 Producción nacional de acelga.** En Colombia para el año 2019 se produjeron 2800 toneladas de Acelga en un área sembrada de 190 hectáreas donde lidera el Departamento de Cundinamarca con 105 hectáreas, seguido de Cauca, Nariño y Antioquia. Respecto a la producción, Cundinamarca aportó 2100 toneladas en ese mismo año, seguido de Antioquia, Cauca y Nariño. Sin embargo, en cuanto a la capacidad de producción por hectáreas el departamento de Antioquia es líder debido a que logran obtener mayor producción en toneladas por hectárea que para el año 2019 fue de 27 ton ha<sup>-1</sup> seguido de Cundinamarca con 20 ton ha<sup>-1</sup>, Norte de Santander con 8 ton ha<sup>-1</sup> y Nariño con 6 ton ha<sup>-1</sup> (Agronet, 2019).



**Fuente:** Agronet, 2019.

**Figura 1.** Producción de acelga en Colombia.

### 3.3 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

**3.3.1 Suelo.** La acelga necesita suelos de consistencia media; vegeta mejor cuando la textura tiende a arcillosa que cuando es arenosa (Gutiérrez et al., 2008). Requiere suelos profundos, permeables, con gran poder de absorción y ricos en materia orgánica en estado de humificación.

Es un cultivo que soporta muy bien la salinidad del suelo, resistiendo bien a cloruros y sulfatos, pero no tanto al carbonato sódico. Requiere suelos algo alcalinos, con un pH óptimo de 7,2; vegetando en buenas condiciones en los comprendidos entre 5,5 y 8; no tolerando los suelos ácidos (Miranda, 1997).

**3.3.2 Agua.** El cultivo de acelga requiere desde el inicio de la siembra hasta su fase final de desarrollo mantener en todo momento la humedad en el suelo, para así obtener una hoja de buena calidad ya que no conviene tener hojas deshidratadas porque sus tejidos se vuelven bastos (Yampa, 2020).

**3.3.3 Temperatura.** La acelga es una planta de clima templado, que vegeta bien con temperaturas medias; le perjudica bastante los cambios bruscos de temperatura. Las variaciones bruscas de temperatura, cuando las bajas siguen a las elevadas, pueden hacer que se inicie el segundo periodo de desarrollo, subiéndose a flor la planta (Huterwal, 1981).

Esta se hiela cuando las temperaturas son menores de -5°C y detiene su desarrollo cuando las temperaturas bajan de 5°C. Las temperaturas de germinación están entre 5°C de mínima y 30 a 35°C de máxima, con un óptimo entre 18 y 22°C. En el desarrollo vegetativo las temperaturas están comprendidas entre un mínimo de 6°C y un máximo de 27 a 33° C, con un medio óptimo entre 15 y 25° C. (Ugás et al., 2000).

**3.3.4 Luminosidad.** No requiere excesiva luz, perjudicándole cuando ésta es elevada, si va acompañada de un aumento de la temperatura, en algunas regiones tropicales y subtropicales se desarrolla bien, siempre y cuando esté en zonas altas y puede comportarse como perenne debido a la ausencia de invierno marcado en estas regiones (Astearán, 2000).

**3.3.5 Altitud.** La acelga es una planta de clima templado-húmedo entre 1200 y 2500 m.s.n.m. (Infoagro, 2022).

**3.3.6 Humedad Relativa.** Las plantas se desarrollan bien cuando la humedad relativa fluctúa entre 30 y 70%, por debajo del 30% las hojas y tallos se marchitan, por encima de 70% la incidencia de las enfermedades es un problema (Estrada, 2003).

## **3.4 LABORES CULTURALES DEL CULTIVO**

**3.4.1 Preparación del suelo.** Los trabajos preparatorios consisten en una labor profunda con un pase de arado, en la que se aporta el abonado de fondo, y una o dos labores superficiales, con pasadas de rastras, finalmente pasar el rodillo desterronador, para conseguir un terreno mullido. Es recomendable hacer una buena nivelación del terreno, sobre todo si va a regar por gravedad (Flórez, 2009).

**3.4.2 Siembra.** Se puede implementar tanto el método de siembra directa el cual consiste en colocar de una a dos semillas en huecos pequeños y con distancias ya determinadas (Verano et al., 2017) como la siembra indirecta que es la más común, en donde se elaboran almácigos o semilleros para la germinación de semillas, obteniendo un mayor porcentaje de germinación y posterior trasplante al terreno

determinado para la siembra cuando estas tengan de tres a cuatro hojas (Infoagro, 2022).

**3.4.3 Aclareo.** Si la siembra se realiza directamente en el suelo del cultivo, cuando las plantas tienen tres o cuatro hojas verdaderas, se debe aclarar cada golpe de siembra, dejando una sola planta por sitio (Flórez, 2009).

**3.4.4 Aporque.** Es una actividad importante la cual consiste en remover la tierra para aportar alrededor de la planta dando así una mejor estabilidad, buena penetración del agua y que pueda tener una mayor oxigenación para que las raíces se desarrollen (Yampa, 2020).

**3.4.5 Control de arvenses.** Es importante tener la tierra libre de arvenses antes de la siembra o el trasplante de las acelgas, esto dará un poco de tiempo pudiendo proceder de dos maneras: la primera sería dejar el suelo desnudo y realizar escardas regulares; no es lo más recomendable, ya que exige más dedicación, las necesidades de riego aumentan y se deterioran las propiedades de la capa más superficial del suelo por acción del sol y la segunda es acolchar el suelo antes del trasplante haciendo unos pequeños huecos en el material de acolchado y plantar las acelgas en ellos. A partir de ese momento solo se tendría que retirar únicamente las hierbas que nazcan en el pequeño hueco que quedó sin cubrir por el acolchado, y una vez que la acelga alcance un buen tamaño, la sombra que arroja ya actúa como inhibidora del crecimiento de las arvenses (Dotor et al., 2018).

**3.4.6 Riego.** En cuanto al riego, este puede ser por gravedad, goteo o microaspersión ya que la acelga es un cultivo que debido a su gran masa foliar necesita en todo momento mantener en el suelo un estado óptimo de humedad. Para obtener una hortaliza de buena calidad no conviene que la planta acuse síntomas de deshidratación, durante las horas de mayor temperatura en el invierno, para evitar que los tejidos se embastezcan. Cuando el riego se realiza por gravedad se recomiendan aportes de agua después de la plantación, a los 15-20 días y luego se establece un turno de 20 días que se irá aumentando hasta febrero y se reducirá a partir de esas fechas (Yampa, 2020).

**3.4.7 Cosecha.** Antes de iniciar con la cosecha, ya sea para autoconsumo o para producciones de mediana y gran escala, en caso de haber utilizado plaguicidas en el cultivo, se deben dejar de usar tres días antes del corte; el riego durante este tiempo se hará solo con agua con la finalidad de que la planta elimine los residuos generados por estos compuestos. Para autoconsumo o comercialización a baja escala se pueden cortar solamente las hojas que tienen buen tamaño y dejar las hojas pequeñas para que terminen de desarrollarse. El primer corte de hojas se realiza entre los 55 a 60 días después de la siembra. Después del primer corte, se pueden cortar hojas cada 12 o 15 días o bien, cuando las hojas midan de 25 a 30 cm (Yampa, 2020).

**3.4.8 Comercialización.** Para el mantenimiento de una calidad óptima, el transporte debe realizarse en vehículos refrigerados con una temperatura que oscile entre los 0 y 4°C y una humedad relativa mayor al 95%. Durante la distribución debe mantenerse una humedad relativa elevada y temperaturas entre 5 y 10°C. Estas condiciones favorecen un aspecto fresco de la verdura. El amontonamiento de los manojos debe evitarse a fin de minimizar daños por aplastamiento y que el calor de respiración del producto se acumule (Martínez et al., 2003).

La forma de presentación que más predomina es en manojos de hojas o plantas enteras, aunque en algunos establecimientos se realizan preenvasados en bandejas recubiertas en un film de plástico. Así, si el tamaño es grande se usan manojos de hojas y si lo es pequeño las plantas enteras. Los manojos de tamaños variables se atan empleando bandas elásticas, material vegetal o recubriendo los peciolo con plástico quedando en el exterior los limbos foliares. Las plantas enteras pequeñas se comercializan formando también manojos atados con los mismos sistemas (Acosta, 2015).

### **3.5 REQUERIMIENTO HÍDRICO**

El suministro de agua es uno de los factores determinantes para el desarrollo y producción de las especies vegetales ya que constituye el medio primario para las reacciones químicas y el movimiento de nutrientes a través de todas las partes de la planta; este recurso natural es el primer factor que determina el rendimiento de los cultivos; por tal razón es de gran importancia el riego ya que su función es proveer de agua a los cultivos en cantidades adecuadas para de este modo hacer un buen uso del recurso hídrico y así evitar disminución en los rendimientos (Rivera et al., 2007). Su requerimiento hídrico depende de las condiciones climáticas de la zona, suelo, tipo de cultivo, manejo y etapa del ciclo en la que se encuentre. Las plantas generalmente cumplen su ciclo vegetativo a través de las siguientes fases: germinación, desarrollo, maduración y cosecha y las necesidades de agua se hacen más apremiantes en alguna de estas etapas (Gómez et al., 2010).

Para hacer un uso eficiente del agua es necesario que el sistema de riego esté bien diseñado, bien manejado y que a su vez los riegos sean aplicados en las condiciones meteorológicas más adecuadas donde las cantidades aplicadas vayan cubriendo las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de su ciclo (Faci, 2012).

El requerimiento de agua de riego se ve directamente afectado por la precipitación y la evapotranspiración. Para la gestión de los recursos hídricos es necesaria una estimación de la evapotranspiración (ET), como componente importante del ciclo

del agua. Uno de los principales métodos para estimar la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) es la ecuación de Penman-Monteith de la FAO (Allen et al., 2006).

En primer lugar, se determina el efecto del clima en las necesidades de riego del cultivo que viene dada por la evapotranspiración de referencia y en segundo lugar se determina el efecto del propio cultivo en las necesidades de riego que está dada por el valor del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ). Posterior a esto se calcula la  $ET_c$  que proviene del producto de la  $ET_0$  por el  $K_c$  del cultivo (Faci, 2012). Por otro lado, para poder determinar el requerimiento hídrico de un cultivo se requiere información básica de los suelos como: textura y profundidad en distintos horizontes que lo conforman, densidad aparente, capacidad de retención de humedad del suelo, infiltración, fertilidad y salinidad. También es importante conocer datos de la zona de riego, régimen pluviométrico, evaporación, calidad de agua para riego y topografía del terreno (Arrieta et al., 2002).

### **3.6 DÉFICIT HÍDRICO**

El déficit hídrico está asociado a ambientes con baja pluviometría o con distribución irregular de precipitaciones y puede ser definido como cualquier contenido de agua de un tejido o célula que esté por debajo del contenido hídrico más alto exhibido en el estado más hidratado. El déficit hídrico tiene diversos efectos sobre el crecimiento, uno de los cuales es la limitación de la expansión foliar y se conoce que el área foliar es importante, ya que la fotosíntesis es proporcional a ella (Taiz et al., 2006). Muchos autores han informado que la respuesta de las plantas al déficit hídrico depende, principalmente, de la fenología del cultivo y los efectos que se han observado están estrechamente relacionados con el momento, la duración, el estado fisiológico del cultivo, la calidad del agua de irrigación, el genotipo y el grado de estrés impuesto al cultivo (García et al., 2008).

### **3.7 ESTRÉS HÍDRICO**

Aunque la acelga es un cultivo de afinidad por el clima templado y frío, en nuestras condiciones es necesario y fundamental implementar el uso de sistemas de riego cuando el cultivo se encuentra en las primeras fases o durante el desarrollo del cultivo, el riego debe ser abundante y regular ya que el estrés hídrico en las plantas puede afectar la expansión de los tejidos en forma significativa. Es probable que casi todos los procesos que ocurren en la planta se vean afectados por el déficit de agua, este ocasiona bajos niveles de turgencia que detienen el crecimiento celular lo que da como resultado plantas muy pequeñas, además cambia los patrones de crecimiento, causa también el cierre prematuro de estomas, lo cual reduce pérdidas de agua, pero que el cierre de estomas también interfiere con la entrada de CO<sub>2</sub>, lo cual es perjudicial porque se reduce la fotosíntesis. El resultado de la asimilación de carbono es mejor en los tejidos marchitos que en los turgentes (Daymsa, 2021).

### **3.8 BALANCE HÍDRICO**

El balance hídrico es el resultado de la interacción entre la humedad del suelo, la evapotranspiración y la precipitación a través del sistema suelo-planta-atmósfera, para establecer cuánta humedad está disponible en el suelo. Son múltiples los factores que inciden en la variación de la humedad del suelo, algunos relacionados con condiciones del cultivo, como la edad y la densidad de siembra; otros como las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, las condiciones atmosféricas como la demanda evaporativa y la distribución de las lluvias (Sarmiento et al., 2022).

El índice de disponibilidad hídrica (IDH), calculado a partir del balance hídrico, es utilizado para conocer las condiciones críticas de déficit o excesos en el cultivo, para su cálculo son indispensables las variables de precipitación y evapotranspiración y a su vez, para la determinación de esta última, otras variables como temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento (Jaramillo, 2006).

El balance hídrico se realiza utilizando datos reales o simulados de precipitación e información climatológica, con el fin de calcular el requerimiento hídrico de una zona en particular (Santillán et al., 2013). Hay diferentes tipos de balances hídricos: climáticos, agroclimáticos, hidrológicos, agroforestales, de cuencas, de drenaje y riego, sin embargo, se hará referencia al balance hídrico agrícola cuyos componentes generales son los siguientes:

En el caso de un suelo con vegetación, el balance hídrico simplificado se calcula como se presenta en la siguiente ecuación:

$$P = ET + \Delta HS + I + E$$

Donde:

P = Precipitación (más riego, si se suministra)

ET = Evapotranspiración

$\Delta HS$  = Cambios en la humedad del suelo (humedad final – humedad inicial)

I = Infiltración de las capas profundas

E = Escorrentía

**3.8.1 Precipitación.** En la mayoría de los casos, la precipitación representa la mayor parte de la totalidad del aporte hídrico al suelo (Claro, 1991). Del agua que se precipita sobre la superficie del terreno, una parte es interceptada por la vegetación (intercepción foliar), otra parte se infiltra y se incorpora a la capa radical, un porcentaje percola debajo de las raíces del cultivo, y otra parte escurre sobre la superficie del terreno (Echeverría et al., 2007). La proporción de agua retenida en la capa radical, almacenada en esa zona para ser usada en evapotranspiración del sistema planta-suelo, depende de las características del terreno para captar agua (condiciones físicas y químicas del suelo, grado de humedad, cobertura y pendiente) y de las características de la lluvia (altura, intensidad, duración y frecuencia). Esta porción de la lluvia se denomina precipitación efectiva (Saseendran et al., 2015) la cual se puede calcular para determinado evento así:

$$P_e = (1,25247 * P_t^{0,82416} - 2,93522) * 10^{0,00095U} * f$$

Donde:

$P_e$  = Precipitación efectiva mensual (mm)

$P_t$  = Precipitación total mensual (mm)

U = Uso consuntivo mensual

$$f = 0,531447 + 0,011621 * \Delta s - 8,9 * 10^{-5} * \Delta s^2 + 2,3 * 10^{-7} * \Delta s^3$$

Donde:

$\Delta s$  = Dosis de riego (mm)

**3.8.2 Capacidad de almacenamiento de agua del suelo (CAA).** Hace referencia a la máxima cantidad de agua que un suelo puede almacenar en la fase aprovechable por las plantas (Veihmeyer et al., 1927), como resultado de la combinación de sus propiedades químicas y físicas, entre ellas, textura, materia orgánica (MO), densidades, estructura y retenciones de humedad, entre otras (Lipiec et al., 2007). La CAA es considerada como una de las variables determinantes en la producción y sostenibilidad de los cultivos (Keller et al., 2007) (Lal y Shukla, 2004), ya que desde el punto de vista agrícola afecta las reacciones químicas, los procesos físicos y biológicos que ocurren dentro y fuera del suelo, los cuales influyen en la nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas (Hincapié, 2011). La CAA se obtiene mediante cálculos matemáticos, entre ellos y el de mayor aplicación es la diferencia volumétrica entre el contenido de agua a capacidad de campo y el contenido a punto de marchitez permanente (Rawles et al., 1982). La capacidad de campo es la máxima capacidad de retención de agua del suelo después de que el agua superficial se haya drenado, es decir, el agua que puede retener el suelo en contra de la gravedad (Nobel, 2009) y es tomada como el límite superior de CAA. El punto de marchitez permanente corresponde a la condición de humedad del suelo que restringe completamente la absorción de agua por las plantas y, por ello, es tomado como el límite inferior en el cálculo de CAA (Kirkham, 2005).

(Palencia et al., 2006) propone la siguiente ecuación para calcular la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

$$CAA = FVAA * Pr$$

Donde:

CAA = Capacidad de Almacenamiento de Agua del Suelo

F.V.A.A = Fracción Volumétrica de Agua Aprovechable

Pr = Profundidad radicular

**3.8.3 Evapotranspiración (ET).** Se define como los procesos combinados de pérdida de agua a través de la evaporación de las superficies del suelo y la transpiración de los cultivos, desempeña un papel vital en el equilibrio hídrico agrícola (Kumar et al., 2014, Martín et al., 2021). La estimación precisa de la evapotranspiración depende de diversos parámetros atmosféricos, vegetales y del suelo, que se miden mediante sensores de IoT en sistemas agrícolas inteligentes (Douna et al., 2021, Glaroudis et al., 2020).

La evapotranspiración también puede calcularse utilizando datos meteorológicos o procesos de humedad del perfil del suelo. El método más utilizado para aplicar datos meteorológicos es la ecuación de Penman-Monteith, que los investigadores suelen utilizar para calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), que a veces se ve limitada por la falta de datos meteorológicos completos en las zonas de estudio (Fan et al., 2018). Sin embargo, estudios realizados en Túnez y Brasil, consideraron que la ET<sub>o</sub> calculada con la falta de algunos datos meteorológicos no era significativamente diferente de la ET<sub>o</sub> calculada con los datos completos (de Alencar et al., 2015, Jabloun y Sahli, 2008). En los estudios sobre las necesidades hídricas de los cultivos, los investigadores obtienen la evapotranspiración real multiplicando la ET<sub>o</sub> por el coeficiente del cultivo, también conocido como método del coeficiente del cultivo. Por supuesto, el método para calcular la evapotranspiración real también puede utilizar mediciones in situ de los procesos hídricos del perfil del suelo para simular el transporte de agua a través del suelo mediante la ecuación de Richards, teniendo en cuenta el balance energético y la absorción de agua por las raíces de las plantas (Schübl et al., 2022, Vereecken et al., 2016).

**3.8.4 Evapotranspiración potencial (ETP).** Es el proceso de pérdida de agua desde la superficie con buen estado hídrico en el perfil del suelo, el cual se ve afectado por la temperatura, humedad, viento y radiación solar. Tiene una excelente información de apoyo para comprender el cambio climático porque afecta tanto la escorrentía superficial como el almacenamiento de agua en la cuenca. Cuando las tasas de evapotranspiración son extremadamente altas y similares a la cantidad de precipitación, puede provocar una deficiencia de agua para los cultivos (Macek et al., 2018). Además, la ETP también se aplica en la gestión del agua y la producción de cultivos (Bennett et al., 2011), mejorando la programación del riego (Davis et al., 2010) y el seguimiento de la sequía (Wu et al., 2021), (Wang et al., 2021), (Vicenta et al., 2010).

Para estimar la ETP, varios estudios han investigado su estimación utilizando diferentes técnicas, como el modelo Penman-Monteith (Song et al., 2019) recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como método estándar y confiable.

$$ETP = \frac{[0,408\Delta(Rn - G) + \gamma\left(\frac{900}{T + 273}\right)u_2(e_s - e_a)]}{[\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)]}$$

Donde R<sub>n</sub> es la radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>), G es la densidad del flujo de calor del suelo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>), γ es la constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>), T es la temperatura del aire a 2 metros de altura (°C), u<sub>2</sub> es la velocidad promedio del viento a 2 metros de altura (m s<sup>-1</sup>), e<sub>s</sub> es la presión de vapor saturado (kPa), e<sub>a</sub> es la presión de vapor real (kPa), (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) es el

déficit de presión de vapor saturado (kPa), y  $\Delta$  es una curva de presión de vapor en pendiente (kPa °C<sup>-1</sup>) (Allen et al., 2006), (Li et al., 2022).

**3.8.5 Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>).** Corresponde a la evaporación de agua localizada en el suelo y la transpiración de agua de las plantas. La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) (Li et al., 2022) (Westerhoff, 2015). La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto en óptimas condiciones fitosanitarias y nutricionales, con una altura uniforme de 0,12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23, que crece activamente y da sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> implica un suelo adecuadamente regado hasta llegar a capacidad de campo (FAO, 2006) (Spano et al., 2009).

La evapotranspiración se expresa en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida por una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, un día, 10 días, un mes o incluso un período completo de cultivo o un año. Esta variable es fundamental para el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos y por lo tanto del balance hídrico, de donde se derivan variables de análisis como época y cantidad de déficit, excesos, almacenaje en el suelo, cambio en el almacenaje y pérdida por escorrentía, entre otras (FAO, 2006).

**3.8.6 Coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>).** El coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) es un valor adimensional y describe la variación de agua extraída del suelo por la planta desde la siembra hasta la cosecha por efecto de la evaporación y la transpiración. (Monge, 2019), es importante establecer las necesidades de agua para el desarrollo adecuado de los cultivos, el uso irracional de agua en los sistemas de riego provoca efectos negativos como saturación de los estratos inferiores y la filtración del agua en estratos permeables (Chávez, 2016). El coeficiente de cultivo nos indica el grado de cobertura del suelo por el cultivo en el cual se requiere evaluar el consumo de agua, los factores que inciden en los valores K<sub>c</sub> son las características biológicas del cultivo como por ejemplo fecha de siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo, la duración del periodo vegetativo, las condiciones climáticas y la frecuencia de lluvias, el K<sub>c</sub> varía por las condiciones climáticas y las fases del periodo vegetativo el cual se divide primero la fase inicial, seguido de la fase de desarrollo, fase de mediados de periodo y la fase final (Ministerio de Agricultura, 1997). El coeficiente de cultivo integra varios efectos que distinguen a un cultivo, cada cultivo posee un valor único de K<sub>c</sub> el cual varía durante su periodo de crecimiento a su vez es afectado por la evaporación y la evapotranspiración del cultivo y la transpiración del suelo. El valor de K<sub>c</sub> a inicio de la siembra es pequeño y va aumentando a medida que la planta cubre más el suelo, el K<sub>c</sub> varía con el ciclo vegetativo y se distinguen tres periodos, primero en la siembra con un K<sub>c</sub> pequeño en el periodo de maduración alcanza un mayor K<sub>c</sub> y al momento de la cosecha el K<sub>c</sub> decrece gradualmente (ANA, 2015).

El Kc se calcula utilizando la relación de los valores de ET y ETP presentada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2006).

$$Kc = \frac{ET}{ETP}$$

Donde:

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

ET = Evapotranspiración real

ETP = Evapotranspiración potencial

**3.8.7 Evapotranspiración del cultivo (ETc).** La evapotranspiración del cultivo (ETc) expresa la cantidad total de agua perdida por la superficie de un cultivo en forma de vapor. La evapotranspiración es la suma de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de la planta (FAO, 2006). Por su parte la ETc expresa la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas (FAO, 2006). El cálculo de la ETc se representa en la siguiente ecuación (Casa et al., 2011).

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia

Kc = Coeficiente del cultivo (adimensional)

**3.8.8 Uso consumo o Uso consuntivo (Uc).** El uso consuntivo puede definirse como la cantidad de agua que consumen las plantas para germinar, crecer, producir económica y cuantitativamente, es un concepto equivalente al de evapotranspiración (Garay, 2009). Los principales componentes del uso consuntivo del agua son la transpiración y la evaporación. Los factores fundamentales que influyen en el uso consuntivo del agua son:

1. Clima, representado por la temperatura, humedad relativa, vientos, latitud, luminosidad, precipitación, entre otros.
2. Cultivo, representado por la especie vegetal, variedad, ciclo vegetativo, hábitos radiculares, entre otros.

3. Suelo, representado por la textura, profundidad del nivel freático, capacidad de retención de humedad, entre otros.
4. Agua de riego, en cuanto a su calidad, disponibilidad, prácticas de riego, nivel de la misma con respecto a la superficie, entre otros.

La cantidad de agua usada para la producción de un cultivo se suele denominar uso consuntivo, comprende el agua transpirada por las hojas de las plantas y la evaporada del suelo húmedo. Parte de las necesidades del uso consuntivo puede satisfacerse con las precipitaciones que se den durante la época vegetativa o las precipitaciones anteriores a la siembra que quedan retenidas en el suelo y pueden ser utilizadas posteriormente por la planta. El uso consuntivo suele expresarse como profundidad de agua por unidad de tiempo, por ejemplo, milímetros por temporada. Para calcular el volumen total de agua necesaria, se multiplica la necesidad de agua estacional por la superficie que se requiere regar, siendo la unidad de volumen más comúnmente empleada metros cúbicos (FAO, 2006).

**3.8.9 Riego por goteo.** Es un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión. Desde el punto de vista agronómico, se denominan riesgos localizados porque humedecen un sector de volumen de suelo, suficiente para un buen desarrollo del cultivo. También se le domina de alta frecuencia, lo que permite regar desde una a dos veces por día, todos o algunos días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. La posibilidad de efectuar riesgos frecuentes permite reducir notoriamente el peligro de estrés hídrico, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante todo el período de cultivo, mejorando las condiciones para el desarrollo de las plantas. (Liotta, 2015).

### 3.9 VARIABLES FISIOLÓGICAS

**3.9.1 Índice de área foliar (IAF).** Representa el área foliar total de las hojas de las plantas por unidad de superficie terrestre y se utiliza para caracterizar la densidad foliar de la vegetación, la estructura del dosel y los efectos ambientales (Cerny et al., 2020). Este indicador representa un parámetro fundamental relacionado estrictamente con la caracterización tanto de la interceptación como la absorción de luz, la fase de crecimiento de los cultivos y finalmente su productividad (He et al., 2019, Qiao et al., 2022, Stobbelaar et al., 2022).

**3.9.2 Tasa de asimilación neta (TAN).** Es una medida de la eficiencia del follaje, que es la principal fuente de foto asimilados para la producción de materia seca. Este índice registra la velocidad de la fotosíntesis neta en un lapso de tiempo, y se

debe conocer el cambio de los valores del área foliar y el peso seco de la planta, expresado en  $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (Morales-Rosales et al., 2011). Corresponde a la ganancia en peso por unidad de área, por unidad de tiempo y es una medida indirecta de la fotosíntesis (Escalante y Kohashi, 1993). La TAN generalmente disminuye al avanzar la ontogenia del cultivo, esta disminución se debe al sombreado de las hojas superiores sobre las inferiores, a la disminución de la capacidad fotosintética de las últimas hojas formadas y a los efectos de los lugares de demanda sobre la fotosíntesis (Azofeifa y Moreira, 2004).

**3.9.3 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).** Este índice se expresa en términos de masa seca por unidad de superficie y tiempo. Mide la ganancia de biomasa vegetal en el área de superficie ocupada por la planta (Hunt, 1982). La máxima TCC ocurre cuando las plantas son suficientemente grandes para explotar todos los factores ambientales en mayor grado. En ambientes favorables la TCC ocurre cuando la cobertura de las hojas es completa y puede representar el máximo potencial de producción de masa seca y de tasas de conversión de energía en una especie dada. La TCC es baja en estados tempranos de desarrollo debido a una cobertura incompleta y al bajo porcentaje de intercesión de luz (Brown, 1984).

**3.9.4 Tasa absoluta de crecimiento (TAC).** La TAC se refiere a la cantidad de crecimiento que experimenta una planta en términos de aumento en su tamaño, peso o longitud durante un período de tiempo específico. Se utiliza para medir el cambio físico real en una planta, como el aumento en la altura, la masa o la longitud de las raíces, independientemente de las condiciones de crecimiento y ofrece una visión acertada del poder vertedero de los frutos, en términos de acumulación de materia seca, se calcula generalmente midiendo las dimensiones de una planta al principio y al final de un período determinado y luego restando la medida inicial de la medida final (Hunt, 2003).

**3.9.5 Fotosíntesis neta (A).** La fotosíntesis neta depende en gran medida de la energía lumínica como un factor fundamental en el proceso. Además, está sujeta a la influencia de diversos factores, que incluyen condiciones meteorológicas y propiedades biofísicas internas, como la fenología del dosel, la estructura y las características del perfil del suelo, la topografía, así como la disponibilidad de nutrientes y agua (Frey et al., 2013; Wu et al., 2016).

**3.9.6 Conductancia estomática (Gs).** La conductancia estomática (Gs) es un parámetro que indica el grado de apertura de estomas en las hojas de las plantas. Desempeña un papel crucial en la regulación de la pérdida de vapor de agua y la absorción de  $\text{CO}_2$ . De esta manera, controla la tasa de transpiración (E) para optimizar la fotosíntesis (A). Además, la apertura o cierre de estomas responde a cambios en el entorno y situaciones de estrés, tanto abiótico como biótico (Oliveros y Caicedo, 2023).

Según Vijayalaxmi (2022), la  $G_s$  es una función común en las plantas, pero ha sido investigada de manera limitada, especialmente a nivel de ecosistemas más amplios. En agroecosistemas, donde procesos como la fotosíntesis y la transpiración son de gran importancia, ha recibido una atención más extensa. Es importante destacar que la conductancia estomática solo ocurre cuando los estomas están abiertos, y cuando se cierran, se denomina resistencia estomática ( $r_s$ ).

**3.9.7 Transpiración (E).** La transpiración es un fenómeno que implica la etapa de intercambio gaseoso relacionada con la absorción de dióxido de carbono y la liberación de vapor de agua. Elementos como la temperatura, la radiación solar y la disponibilidad de agua en el suelo tienen un impacto directo en estos procesos, como se ha señalado en un estudio anterior (Zhou et al., 2014). Sin embargo, es importante destacar que el factor ambiental más significativo que restringe la fotosíntesis, el crecimiento y la producción primaria a nivel global es el estrés hídrico, como se ha evidenciado en investigaciones previas de (Nemani et al., 2009).

**3.9.8 Concentración interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ).** El valor de  $C_i$  depende de la demanda de  $CO_2$  en los cloroplastos de la hoja y de la tasa de suministro de  $CO_2$  al interior de la hoja, está determinada a su vez por la conductancia estomática; por tanto, sería de esperarse que con una mayor conductancia haya mayor disponibilidad de este gas en los espacios intercelulares de la hoja (Nava et al., 2009).

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el requerimiento hídrico de la acelga (*Beta vulgaris var. Cicla* L.) bajo condiciones de bioespacios.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa a nivel externo e interno y el impacto sobre el desarrollo vegetativo de la acelga (*Beta vulgaris var. Cicla* L.) bajo condiciones de bioespacio.
- Valorar el efecto de distintas láminas de riego en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de la acelga (*Beta vulgaris var. Cicla* L.) bajo condiciones de bioespacio.
- Estimar el comportamiento de las variables de intercambio gaseoso (Fotosíntesis neta, Conductancia estomática, Transpiración y Concentración interna de CO<sub>2</sub>) con el suministro de distintas láminas de riego en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris var. Cicla* L.) bajo condiciones de bioespacio.
- Establecer el coeficiente de cultivo (Kc) para el desarrollo óptimo de la acelga (*Beta vulgaris var. Cicla* L.) bajo condiciones de bioespacio en el Valle del Sinú medio.

## 5. HIPÓTESIS

La aplicación de diferentes láminas de riego genera efectos significativos sobre las variables de crecimiento, desarrollo y rendimientos del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L. var. *Cicla* L.).

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto fue dirigido a la población menos favorecida que constituyen la región caribe y con un énfasis particular en el departamento de Córdoba. La investigación se realizó en condiciones de bioespacio en las instalaciones de la Universidad de Córdoba, localizada a 8°48' de latitud Norte y 75°52' de longitud Oeste, en un bosque seco tropical, según la clasificación de Holdrige, con precipitación anual de 1346,1 mm, temperatura media del aire de 27,4 °C, humedad relativa de 84% y brillo solar diario de 6-7 horas promedio y anual de 2108,2 horas (Palencia et al., 2006).

### 6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente es una investigación de tipo experimental, en la cual se llevó a cabo la manipulación de distintas variables.

### 6.3 POBLACIÓN Y MUETRA

La población fue constituida por 528 plantas de acelga, distribuidas en 132 plantas por tratamiento, sembradas a una distancia de 0,2 m entre plantas y 0,25 m entre surcos para un total de superficie utilizada de 28,8 m<sup>2</sup> en cuatro camas de 9 m de largo por 0,8 m de ancho ocupando cada tratamiento 7,2 m<sup>2</sup>. Se realizaron cinco muestreos destructivos a cada tratamiento extrayendo dos plantas por repetición para un total de ocho plantas por tratamiento cada 10 días durante toda la etapa del cultivo y un muestreo final donde se extrajeron cinco plantas por repetición para un total de 20 plantas por tratamiento para evaluar los rendimientos.

### 6.4 VARIABLES

**6.4.1 Variables independientes.** En este trabajo se evaluaron cuatro dosis de riego aplicados en acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) durante cuatro meses mediante

riego por goteo, equivalentes a coeficientes de consumos propuestos bajo una evapotranspiración potencial máxima de la zona de estudio ( $4,6 \text{ mm día}^{-1}$ ). Las dosis en  $\text{mm día}^{-1}$  son equivalentes a coeficientes de consumo de 1,2; 1,0; 0,8 y 0,6 cuyo valor en mm es:

Tratamiento 1 (T1) =  $1,2 * 4,6 \text{ mm día}^{-1} = 5,5 \text{ mm día}^{-1}$ . En este tratamiento se aplicaron  $0,29 \frac{L}{\text{planta}} / \text{día}$  con un tiempo de riego (TR) de 8 minutos.

Tratamiento 2 (T2) =  $1,0 * 4,6 \text{ mm día}^{-1} = 4,6 \text{ mm día}^{-1}$ . En este tratamiento se aplicaron  $0,24 \frac{L}{\text{planta}} / \text{día}$  con un tiempo de riego (TR) de 6,7 minutos.

Tratamiento 3 (T3) =  $0,8 * 4,6 \text{ mm día}^{-1} = 3,7 \text{ mm día}^{-1}$ . En este tratamiento se aplicaron  $0,19 \frac{L}{\text{planta}} / \text{día}$  con un tiempo de riego (TR) de 5,4 minutos.

Tratamiento 4 (T3) =  $0,6 * 4,6 \text{ mm día}^{-1} = 2,8 \text{ mm día}^{-1}$ . En este tratamiento se aplicaron  $0,15 \frac{L}{\text{planta}} / \text{día}$  con un tiempo de riego (TR) de 4,1 minutos.

#### 6.4.2 Variables dependientes

- Coeficiente del cultivo (Kc): La determinación del coeficiente del cultivo se basó en la ETo máxima de la zona y representa un porcentaje del valor de la evapotranspiración, con valores por debajo y por encima del 100% de la ETo.
- Altura de la planta (AP): Se seleccionaron tres plantas por repetición previamente marcadas para un total de 12 plantas por tratamiento y se midieron desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la última hoja expresada.
- Número de hojas (NH): Se hizo el conteo de hojas expresadas a las mismas plantas seleccionadas para el caso anterior.
- Área foliar (AF): Se extrajeron dos plantas por repetición para un total de ocho plantas por tratamiento cada 10 días y se llevaron al laboratorio de fisiología de la Universidad de Córdoba para hacer la medición del área foliar en  $\text{cm}^2$  por el método gravimétrico utilizando un sacabocado y una balanza electrónica.
- Masa fresca total (MFTT): Se tomaron las mismas plantas del caso anterior y se pesaron en una balanza electrónica obteniendo así la masa fresca de raíz, tallo, hojas y finalmente la masa fresca total.
- Masa seca (MSTT): Se usaron las mismas plantas del caso anterior, colocando en distintas bolsas raíz, tallo y hojas de cada tratamiento, se sometieron a secado en horno eléctrico a temperatura de  $85^\circ\text{C}$  durante 72 horas.
- Rendimiento ( $\text{Ton ha}^{-1}$ ).
- El IAF (Índice de área foliar)  

$$IAF = \frac{AF_{\text{dosel}}}{A_{\text{suelo}}} (\text{m}^{-2} \text{ m}^{-2})$$
- La TAN (Tasa de Acumulación Neta)

$$TAN = \left[ \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \right] * \left[ \frac{(\ln Af_2 - \ln Af_1)}{(Af_2 - Af_1)} \right] (g \text{ cm}^{-2} \text{ d}^{-1})$$

- La TCC (Tasa de Crecimiento del Cultivo)

$$TCC = \frac{1}{Asuelo} * \left[ \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \right] (g \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1})$$

- La TAC (Tasa Absoluta de Crecimiento)

$$TAC = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} (g \text{ d}^{-1})$$

- Fotosíntesis Neta (A), expresada en ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).
- Conductancia estomática (Gs), expresada en ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).
- Transpiración (E), expresada en ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).
- Concentración Interna de  $\text{CO}_2$  (Ci), expresada en ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).

## 6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el montaje del experimento se implementó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro réplicas con un total de 528 plantas. Cada unidad experimental constó de 33 plantas divididas en tres hileras distanciadas a 0,25 m y 0,2 m entre plantas, con una duración desde semillero hasta cosecha de 91 días.

## 6.6 PROCEDIMIENTO

**6.6.1 Establecimiento del experimento:** Se preparó un sustrato compuesto de aluvión, materia orgánica y cascarilla de arroz en proporción 2:1:1 con el cual se llenaron las cuatro camas donde se establecieron los tratamientos, dicho sustrato fue sometido a una desinfección con formol al 40% con una dosis de 500 ml de formol por cada 8 litros de agua por metro cuadrado de suelo, cubriendo las camas con plástico negro durante 72 horas para permitir que la solución de formol hiciera su función desinfectante.

Se instaló un sistema de líneas de goteo con goteros integrados por módulos, con un total de cuatro módulos donde cada módulo representaba un tratamiento, con suministro de agua de un tanque plástico con una capacidad de 5000 L, una bomba de 1 Hp, cabeza de fuerza de 25 m y un caudal de 30 gpm, tubería de salida de una pulgada con dos filtros a lo largo del tramo entre la bomba y las camas, donde se instalaron tres cintas de goteo de 16 mm con distancia entre goteros de 15 cm en cada uno de los tratamientos y un caudal de  $1,55 \text{ L h}^{-1}$  por gotero, usando una llave

de paso para cada módulo con el fin de independizar cada uno e ir bloqueando el paso de agua en la medida que se cumplía el tiempo de riego en cada tratamiento.

En cuanto a los semilleros se preparó un sustrato de fibra de coco y materia orgánica en proporción 1:1 y se llenaron nueve bandejas de 72 lóculos cada una colocando una semilla por sitio para garantizar la cantidad de plántulas necesarias para el establecimiento del experimento, posterior a esto se realizó el trasplante al sitio definitivo una vez las plántulas expresaron entre dos y tres hojas verdaderas lo cual sucedió a los 15 días después de hacer el semillero.

**6.6.2 Determinación del Kc y los tiempos de riego.** La determinación del Kc se hizo basados en el valor de ETo máxima de la zona y representa un porcentaje de esta evapotranspiración, con valores por debajo y por encima del 100% de la ETo, por lo que se propusieron valores Kc de 0,6; 0,8; 1,0 y 1,2 los cuales multiplican el valor de ETo para establecer la lámina de riego en cada tratamiento, que a su vez son equivalencias entre el 60% y el 120% de la ETo máxima.

Luego de proponer las cuatro láminas a aplicar se realizó un aforo en cada módulo para estimar el caudal de los goteros, midiendo al azar la cantidad de agua que botaban en promedio los goteros por minuto y haciendo las conversiones correspondientes para determinar en cuanto tiempo se lograba aplicar las dosis de cada tratamiento.

**6.6.3 Toma de datos.** La evaluación del efecto de las diferentes láminas de riego sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de acelga se hizo bajo cinco muestreos con una frecuencia de 10 días hasta la culminación del ciclo del cultivo el cual tuvo una duración de 76 días contados a partir del día del trasplante. Las diferentes láminas de riego se empezaron a aplicar seis días después del trasplante, luego, se seleccionaron 12 plantas por tratamiento a las cuales se les hizo mediciones de altura y número de hojas; para el caso de los muestreos destructivos se tomaron dos plantas por repetición para un total de ocho plantas por tratamiento las cuales se llevaron a laboratorio para tomar datos de área foliar, masa fresca y masa seca de raíz, tallo y hojas.

Para la evaluación del rendimiento se tomaron cinco plantas por unidad experimental, lo que equivale a 20 plantas por tratamiento, a las cuales se les cortó la raíz dejándolas solamente con tallos y hojas que son el órgano de interés comercial para pesarlas en fresco con la ayuda de una balanza electrónica y hacer la estimación del rendimiento en  $\text{ton ha}^{-1}$  para cada uno de los tratamientos.

**6.6.4 Muestreo de intercambio gaseoso:** En las variables de intercambio gaseoso las medidas fueron tomadas a tres plantas previamente marcadas en cada repetición para un total de 12 plantas por tratamiento, mismas a las que se les hizo el seguimiento de altura y número de hojas. Las mediciones para la fotosíntesis neta, conductancia estomática, transpiración y concentración interna de  $\text{CO}_2$  se

evaluaron con un medidor de intercambio gaseoso LICOR 6800 con las siguientes configuraciones:

Radiación fotosintéticamente activa  $800 \mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

T:  $28^{\circ}\text{C}$

90% luz roja y 10% luz azul

Rango 680 – 700 Nm

Cámara  $1,75 \text{ cm}^{-2}$

Flujo  $300 \text{ cm}^{-3} \text{ min}^{-1}$

$\text{CO}_2$  de referencia  $400 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2 \text{ Ppm}$

HR: 60 – 65%

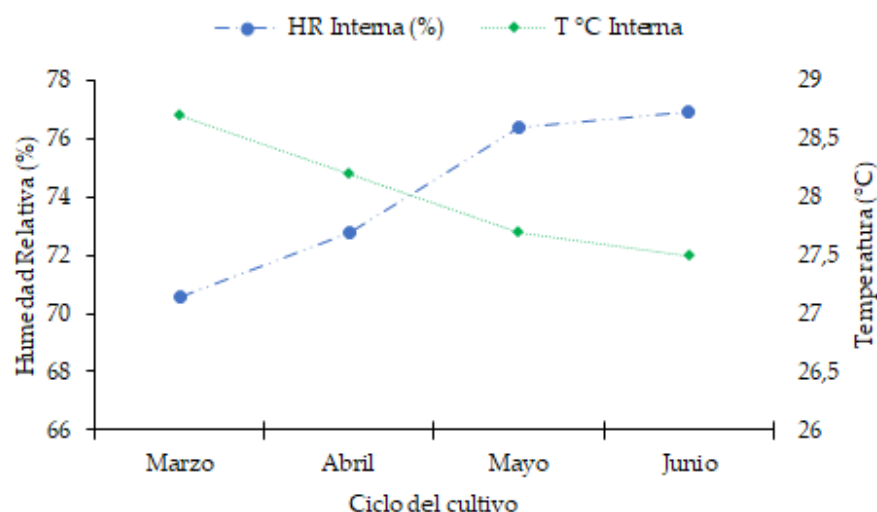
## **6.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

Los datos obtenidos de las medidas directas en todos los tratamientos se ordenaron, tabularon, archivaron y graficaron electrónicamente en una hoja de cálculo (Excel) y luego se realizaron los análisis de varianzas y pruebas de significancia utilizando los programas R y SAS.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 IMPACTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE EL DESARROLLO VEGETATIVO DE LA ACELGA (*Beta vulgaris*. Var. *Cicla* L.).

**7.1.1 Condiciones protegidas.** Durante la fase experimental, la temperatura y la humedad relativa promedio dentro del bioespacio fueron de 28°C y 74,2% respectivamente. En la figura 2 se muestra el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa durante los cuatro meses de la fase investigativa, donde se logra evidenciar que estas dos variables tienen un comportamiento inversamente proporcional, es decir, en la medida que la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye y viceversa, comportamiento similar a las condiciones climáticas dentro de un ambiente protegido realizadas en Apio por (Arcia, 2018).



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 2.** Comportamiento promedio de la temperatura y la humedad relativa durante los cuatro meses de investigación en condiciones de bioespacio.

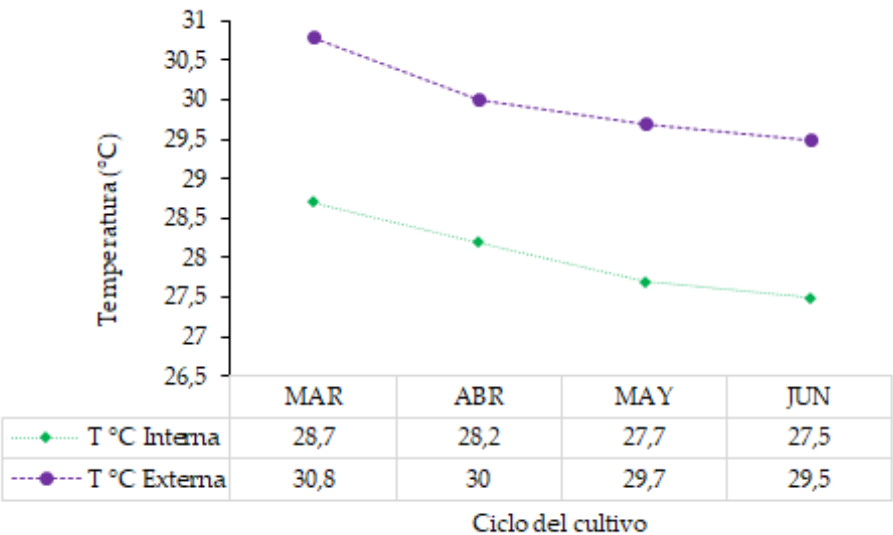
Es importante tener en cuenta los descensos en la temperatura promedio de abril a junio, comportamiento que obedece a los cambios estacionales en el clima debido a que Córdoba se encuentra en una región tropical, por lo que experimenta un clima cálido durante la mayor parte del año. Sin embargo, a medida que la Tierra se desplaza en su órbita alrededor del sol, las estaciones cambian, lo que tiene un impacto significativo en la temperatura (Pozo, 2020).

Es importante tener en cuenta que el clima está influenciado por varios factores, como la geografía, la altitud y la proximidad al mar, entre otros (Navarra, 2023). Por lo tanto, la disminución de la temperatura promedio puede variar según la ubicación específica dentro del departamento de Córdoba. Además, otros fenómenos atmosféricos, como la llegada de frentes fríos que pueden afectar la temperatura durante esta época del año (Lei et al., 2018).

En el hemisferio norte, donde se encuentra Colombia, abril marca el inicio del otoño. Durante esta temporada, los días comienzan a acortarse, lo que significa que hay menos luz solar. La radiación solar se vuelve menos intensa y la inclinación del eje de la Tierra provoca que los rayos del sol incidan con menos intensidad lo que conduce a una disminución gradual de las temperaturas promedio (Pons y Castejón, 2023).

La temperatura externa promedio durante la fase investigativa fue de 30°, mostrando un comportamiento similar al descenso marcado a partir del mes de abril en los datos registrados por la estación climatológica portable instalada al interior del bioespacio.

En la figura 3 se observa el comportamiento comparativo de las temperaturas internas y externas durante el periodo de investigación comprendido entre el mes de marzo y junio.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.** Comparación del comportamiento promedio de la temperatura interna y externa durante el periodo de investigación en condiciones de bioespacio.

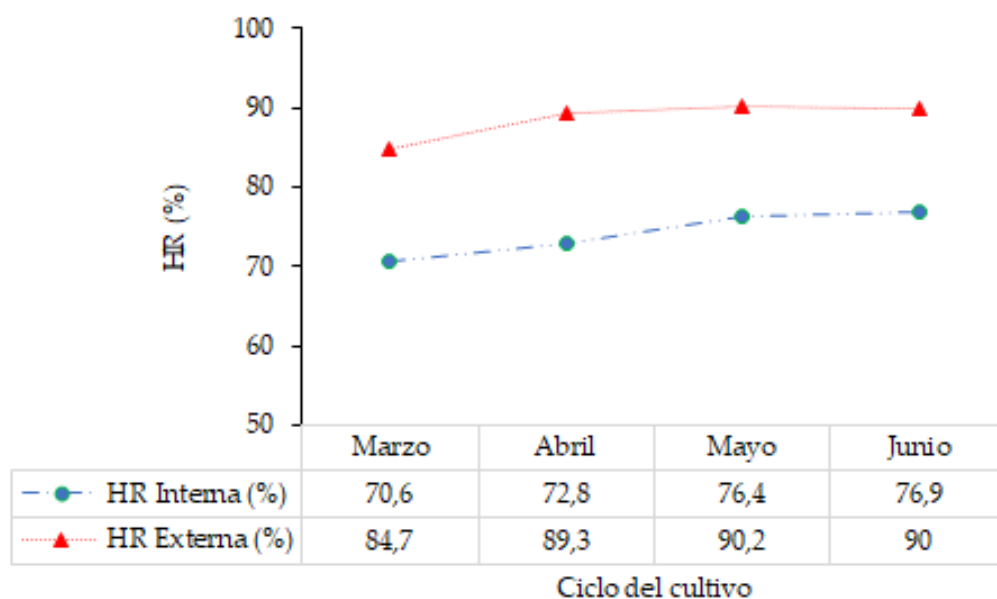
Al establecer el cultivo de acelga en condiciones de bioespacio se logró disminuir en 2°C la temperatura promedio comparando la externa (30°C) con la interna

(28°C), brindándole así un ambiente más propicio para su desarrollo puesto que según Infoagro, (2022) el desarrollo vegetativo de esta especie tolera temperaturas comprendidas entre un máximo de 27° a 33° C, siendo un medio óptimo de desarrollo entre 15° y 25° C y se reafirma con lo dicho por Giaconi, (1993) y De la Paz et al; (2003) quienes sostienen que este cultivo se adapta a variadas condiciones climáticas y resiste bien los rigores del invierno y los calores del verano.

En cuanto a la humedad relativa interna y externa el promedio fue de 74,2% y 88,6% respectivamente logrando a nivel interno una disminución de 14,4% para favorecer el desarrollo de las plantas.

El valor de HR interna está dentro de lo recomendado por Astarian, (2000) quien destaca que la humedad relativa para cultivos en condiciones protegidas debe estar comprendida entre 60% y 90%. Sin embargo, según Estrada, (2003) las plantas se desarrollan bien cuando la humedad relativa fluctúa entre 30 y 70%, por debajo del 30% las hojas y tallos se marchitan, por encima de 70% la incidencia de las enfermedades es un problema.

En la figura 4 se muestra como fluctúa la humedad relativa a nivel interno y externo durante el ciclo experimental.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 4.** Comportamiento comparativo de la humedad relativa a nivel interno y externo durante el periodo experimental en condiciones de bioespacio.

## 7.2 EFECTO DE DISTINTAS LÁMINAS DE RIEGO EN EL CRECIMIENTO, DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE LA ACELGA (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.).

**7.2.1 Altura de planta (AP).** El análisis de varianza (ANAVA) realizado a los 65 días después de aplicados los tratamientos muestra un p-valor mayor a 0,05; por lo que las plantas de acelga no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos para la variable altura de planta (AP) (Tabla 2).

Como se puede apreciar en la (tabla 3) la altura de planta de acelga no presentó variaciones estadísticas entre tratamientos bajo los parámetros de la prueba DMS donde los promedios oscilaron entre 24,73 y 28,98 cm. Al respecto Núñez, (2016) señala que la diferencia en la altura de plantas está más asociada a las características genéticas de las distintas variedades de acelga; Flores, (2007) destaca la variedad *Fordhook giant* como la que mayor altura presenta ya que esta tiene un porte más erecto por el cual alcanza mayor longitud vertical.

**Tabla 2.** Cuadrados medios y nivel de significancia estadística de las variables AP, NH, AF, MSTT, MFTT y REND, en función de las láminas de riego.

| Fuente      | GL | AP    | NH     | AF        | MSTT     | MFTT   | REND       |
|-------------|----|-------|--------|-----------|----------|--------|------------|
| Tratamiento | 3  | 17,15 | 0,7847 | 769.185 * | 21,589 * | 2608 * | 2537,3 *** |
| Residuales  | 12 | 17,65 | 0,4514 | 155.393   | 5,475    | 677,7  | 152,5      |

GL = Grados de Libertad; \* = Diferencias estadísticas al 5% ( $0,01 < p < 0,05$ ); \*\*\* = Diferencias estadísticas al 0,1% ( $p < 0,001$ ).

**Tabla 3.** Valores medios de las variables AP, NH, AF, MSTT, MFTT.

| LR (mm/día) | AP      | NH     | AF         | MSTT   | MFTT     |
|-------------|---------|--------|------------|--------|----------|
| 5,5         | 28,98 a | 5,8 a  | 1.244,74 a | 8,11 a | 81,51 a  |
| 4,6         | 28,02 a | 5,2 ab | 484,8 b    | 3,78 b | 35,93 b  |
| 3,7         | 24,73 a | 5,2 ab | 404 b      | 4,09 b | 33,78 b  |
| 2,8         | 25,27 a | 4,7 b  | 269,46 b   | 2,88 b | 24, 53 b |

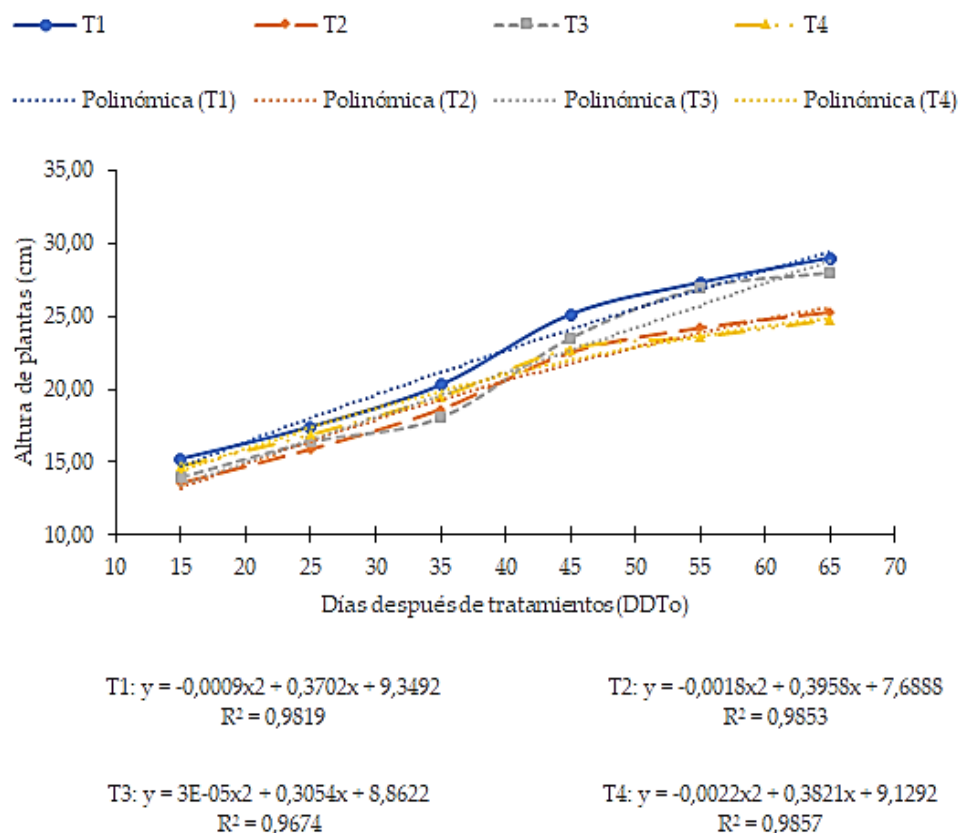
Letras iguales no varían estadísticamente, según la prueba DMS.

**Tabla 4.** Promedios del rendimiento (g) de las plantas de acelga al finalizar el ciclo del cultivo, prueba de Tukey.

| LR (mm/día) | RENDIMIENTO |
|-------------|-------------|
| 5,5         | 84,93 a     |
| 4,6         | 45,62 b     |
| 3,7         | 39,73 b     |
| 2,8         | 26,36 b     |

Promedios con letras diferentes varían estadísticamente.

La figura 5 muestra el comportamiento del crecimiento de las plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) durante el ciclo del cultivo donde se logra apreciar que entre los primeros 40 días a nivel general el crecimiento es lento, luego de esto se ve acelerado en los cuatro tratamientos alrededor de los 50 días donde T1 (5,5 mm día<sup>-1</sup>) muestra en promedio la mayor altura de plantas, sin embargo, estadísticamente este tratamiento no es diferencial con el resto en la fase final del cultivo. Álvarez et al., (2017) en su estudio Efecto de diferentes láminas de riego en el crecimiento y desarrollo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) sostiene que el crecimiento de las plantas de cebolla aumenta conforme aumenta la cantidad de agua desde 0,8 hasta 1,2 del coeficiente multiplicador de la evapotranspiración, y al aplicar una cantidad mayor de agua, el crecimiento tiende a disminuir.



**Fuente:** Elaboración propia.

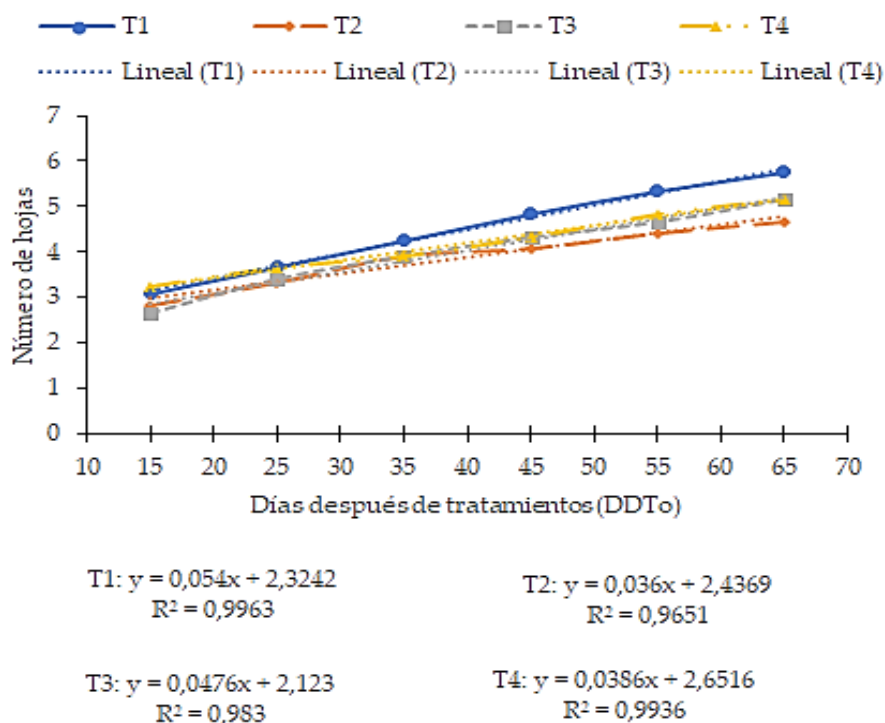
**Figura 5.** Altura de planta (cm) cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

**7.2.2 Número de hojas (NH).** Según los promedios obtenidos en esta variable, no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Tabla 2), el mayor número de hojas a los 65 días después de aplicados los tratamientos se obtuvo con una dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> con seis hojas completamente desarrolladas correspondientes a T1, mientras que el promedio de hojas para 4,6; 3,7 y 2,8 mm día<sup>-1</sup> fue de cinco hojas equivalentes a los tratamientos 2, 3 y 4 respectivamente. Villasagua, (2013) en su estudio encontró que a los 70 días después del trasplante las plantas de acelga presentaban entre 7 y 8 hojas desarrolladas, esto bajo aplicación del sistema de riego deficitario controlado en la zona de Babahoyo, Ecuador.

La prueba DMS para el número de hojas (Tabla 3) muestra los promedios obtenidos en cada tratamiento para la variable NH, donde T1 (5,5 mm día<sup>-1</sup>) muestra la mayor cantidad de hojas (5,8 hojas) sin embargo, este no varía con T2 y T3 (4,6 y 3,7 mm día<sup>-1</sup>) que cuentan con el mismo promedio de 5,2 hojas, pero si muestra una variación al compararse con T4 (2,8 mm/día) que presenta un promedio de 4,7 hojas

el cual no varía estadísticamente con T2 y T3, al respecto Marín, (2010) encontró que al aumentar las dosis de riego aplicadas al cultivo de cilantro aumentó el número de hojas basales de dicho cultivo.

La figura 6, muestra el comportamiento de emisión de hojas durante los 65 días del ciclo del cultivo, donde inicialmente, es decir, entre los días 15 y 25 DDT o los cuatro tratamientos mostraron promedios muy similares entre sí para el número de hojas, sin embargo, a partir del día 35 con una dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> T1 empezó a diferenciarse positivamente del resto, con un aumento progresivo más no significativo respecto al resto de tratamientos. El número de hojas no se ve influenciado por diferentes dosis de riego; al respecto Chavarría, (2014) indica que las medidas a los 45 días después del trasplante mantienen un máximo de 8,35 hojas por planta valor que se encuentra por encima del promedio para la investigación presente.



**Fuente:** Elaboración propia.

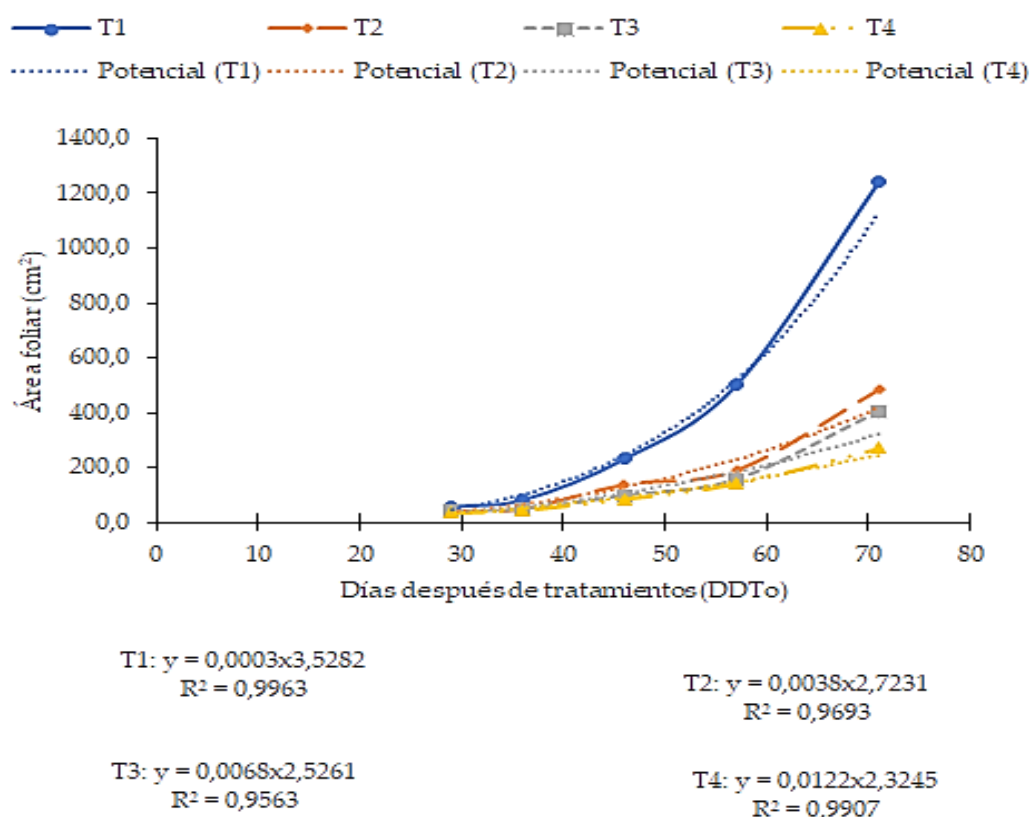
**Figura 6.** Número de hojas del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

**7.2.3 Área foliar (AF).** A los 65 DDTo se encontraron diferencias significativas ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ) entre los tratamientos para la variable AF (Tabla 2). Siendo las plantas de T1 las que mayor área foliar en promedio presentaron (Tabla 3). Las plantas a las que se les aplicó la dosis de riego más alta (5,5 mm día<sup>-1</sup>) registraron un

incremento en el área foliar de 156,59%, 208,15% y 362,02% respecto a las plantas de T2, T3 y T4 correspondientes a 4,6; 3,7 y 2,8 mm día<sup>-1</sup> respectivamente. Las dosis bajas de agua podrían incurrir en un déficit hídrico el cual mostraría sus efectos desde el punto de vista eco fisiológico en la reducción de la apertura de estomas que está directamente relacionado con la fotosíntesis y a su vez se estaría viendo afectada la evapotranspiración según lo descrito por Chávez et al., (2010).

La prueba DMS para la variable AF presentó diferenciación estadística entre los tratamientos (Tabla 3), siendo la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> la que mayor contribuyó en la expresión del área foliar en las plantas de acelga, ya que, con esta dosis se alcanzó una media de 1244,74 cm<sup>2</sup>; mientras que para las dosis de 4,6; 3,7 y 2,8 mm día<sup>-1</sup> la media del área foliar fue de 484,8 cm<sup>2</sup>, 404 cm<sup>2</sup> y 269,46 cm<sup>2</sup> respectivamente, valores que estadísticamente no son diferenciables. De Aquíz et al., (2014) señalan que, en fresa, donde las plantas que fueron sometidas a la mayor aplicación de agua presentaron un mayor desarrollo y mostraron los valores más altos de área foliar, dato que reafirma Casierra y Posada et al., (2009) quienes encontraron que con bajas láminas de riego se genera una reducción del área foliar, lo que disminuye la transpiración con el fin de evitar la deshidratación de las hojas.

Los valores de área foliar manifestaron un comportamiento lento y similar para los cuatro tratamientos durante los primeros 36 días, sin embargo, a partir de los 46 días T1 muestra un aumento significativo con respecto a los demás tratamientos en respuesta a la mayor dosis de agua aplicada, tendencia que va hasta el día de la cosecha.



**Fuente:** Elaboración propia.

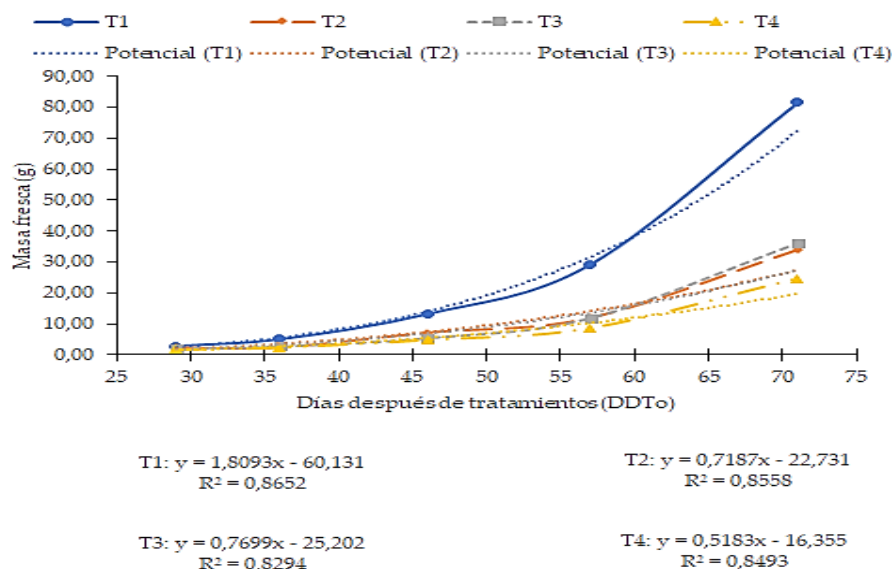
**Figura 7.** Área foliar ( $\text{cm}^2$ ) del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1)  $5,5 \text{ mm día}^{-1}$ , (T2)  $4,6 \text{ mm día}^{-1}$ , (T3)  $3,7 \text{ mm día}^{-1}$ , (T4)  $2,8 \text{ mm día}^{-1}$ .

**7.2.4 Masa fresca total (MFTT).** El análisis de varianza arrojó diferencias estadísticas al 5% ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ) a los 65 DDTo entre los tratamientos (Tabla 2). En esta variable, las plantas pertenecientes a T1 mostraron una mayor media al finalizar el ciclo, lo que se vio reflejado en los rendimientos puesto que esta variable es un estimativo de la producción final de este cultivo. Porcentualmente el aumento de T1 respecto a T2, T3 y T4 es de 126,74%, 127,26% y 213,03% respectivamente.

La prueba de diferencia mínima significativa (DMS) en la (Tabla 3) muestra que existe una diferenciación estadística en la media de los cuatro tratamientos, siendo el tratamiento con la dosis de  $5,5 \text{ mm día}^{-1}$  el valor mayor con  $81,51 \text{ g}$  respecto a las dosis de  $4,6 \text{ mm día}^{-1}$ ,  $3,7 \text{ mm día}^{-1}$  y  $2,8 \text{ mm día}^{-1}$ , sin embargo, estadísticamente son iguales independientemente de que los promedios de masa seca para cada uno de ellos sea  $35,93 \text{ g}$ ,  $33,78 \text{ g}$  y  $24,53 \text{ g}$  respectivamente. La lámina de riego se relaciona con la humedad en el suelo, a mayor cantidad de agua aplicada mayor humedad presentará el suelo, lo que influye directamente en el desarrollo de las plantas lo cual se ve expresado en la biomasa de la planta, al respecto (Zheng et al., 2007; Zude-Sasse et al., 2001; Morard et al., 2000) plantean

que el exceso de riego reduce los parámetros de calidad debido a que reduce la tasa de transferencia de oxígeno del suelo hacia la raíz dificultando el desarrollo de la planta.

El comportamiento de la MFTT a lo largo del ciclo del cultivo está representado en la figura 8 donde hasta el día 35 después de aplicados los tratamientos el peso fresco es muy homogéneo entre los tratamientos, pero a partir de los 55 días este empieza a aumentar significativamente hasta finalizar el ciclo en T1 respecto a los demás tratamientos.



**Fuente:** Elaboración propia.

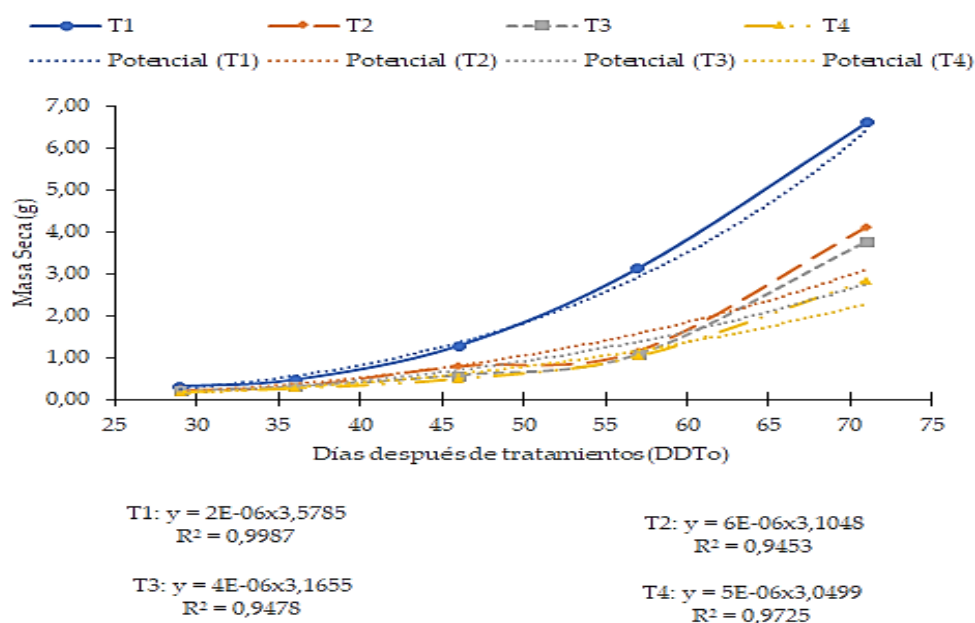
**Figura 8.** Masa fresca del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

**7.2.5 Masa seca total (MSTT).** El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ) entre los tratamientos a los 65 DDTo (Tabla 2) donde las plantas de T1 al finalizar el ciclo mostraron un mayor promedio respecto a T2, T3 y T4. Porcentualmente se habla de un incremento del tratamiento 1 de 77,9%, 98,28% y 144,35% respecto a T2, T3 y T4 respectivamente. Ghosh et al., (2004) plantea que la cantidad de materia seca producida guarda una estrecha relación con la cantidad de clorofila presente en las hojas y la velocidad a la que ocurre la fotosíntesis. Esto se convierte en un elemento crucial que influye en su variabilidad.

En esta variable bajo los parámetros de la prueba DMS (Tabla 3) muestra que para T1 a los 65 DDTo la media fue de 8,11 g con dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> diferenciándose estadísticamente de los tratamientos con dosis de 4,6; 3,7 y 2,8 mm día<sup>-1</sup> debido a que estos, aunque presentan distintas medias (3,78 g, 4,09 g y 2,88 g) no se diferencian estadísticamente entre sí por lo que en esta variable T1 se destaca como

el que mayor masa seca total presentó. Álvarez et al., (2017) encontró en cebolla que con la aplicación del coeficiente de riego de 1,2 se generó la mayor acumulación de masa seca, esto sugiere que al aumentar la cantidad de agua hasta el 120% del coeficiente multiplicador de la evapotranspiración, se garantiza una mayor masa seca.

El comportamiento de la masa seca total a lo largo del ciclo del cultivo está representado en la figura 9 donde hasta los primeros 45 días después de aplicados los tratamientos estos muestran un comportamiento muy parejo entre sí, pero a partir del día 55 se observa un incremento en el peso de la masa seca de las plantas, sin embargo, T1 muestra el mayor aumento desde ese instante hasta finalizar el ciclo como respuesta a la mayor dosis aplicada.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 9.** Masa seca del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

### 7.3 INDICES DE CRECIMIENTO (IAF, TAN, TCC, TAC)

La figura 10 muestra el comportamiento de los índices de crecimiento a lo largo del ciclo del cultivo, donde el IAF (a) que hace referencia a la cantidad de AF en un

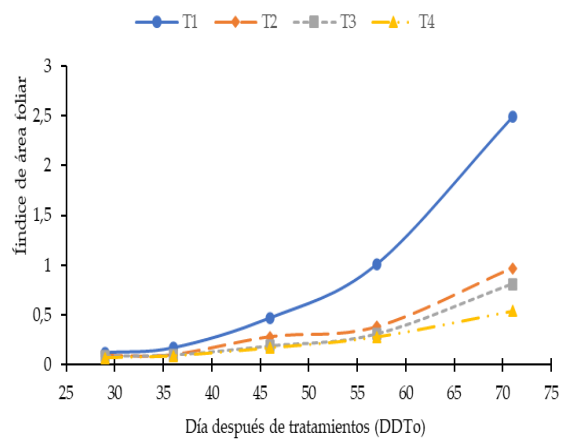
metro cuadrado de suelo mostró un incremento a partir de los 55 DDT<sub>0</sub> hasta finalizar el ciclo, destacándose T1 con una dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> como el que mejor respondió ante la aplicación de las láminas de riego alcanzando en la fase final 2,5 metros cuadrados de área foliar por metro cuadrado de suelo; mientras que T2, T3 y T4 tuvieron un comportamiento similar y poco diferencial entre ellos durante todo el ciclo.

En cuanto a la TAN (b), la cual está relacionada con la ganancia en gramos producida por un centímetro cuadrado de hoja por día y por ende mide la eficiencia fotosintética del cultivo, esta tasa arrojó que entre los 36 y 46 DDT<sub>0</sub> T2, con la dosis de 4,6 mm día<sup>-1</sup> muestra el valor más alto de asimilación neta y a partir de ese momento empieza a mostrar un descenso hasta finalizar el ciclo lo cual obedece a que los tejidos foto asimilatorios al volverse más viejos son menos eficientes, sin embargo, son valores bajos de asimilación a nivel general a lo largo del ciclo del cultivo. A partir del día 46 los cuatro tratamientos decrecen progresivamente hasta finalizar el ciclo. Arcia, (2018) encontró un comportamiento similar en apio donde hacia la última etapa del cultivo la TAN mostró un comportamiento decreciente. Posiblemente las bajas tasas de asimilación obedecen a que las plantas de acelga tienen un contenido de agua del 91,1% y por ende se registren valores tan bajos en cada uno de los muestreos a lo largo del ciclo del cultivo.

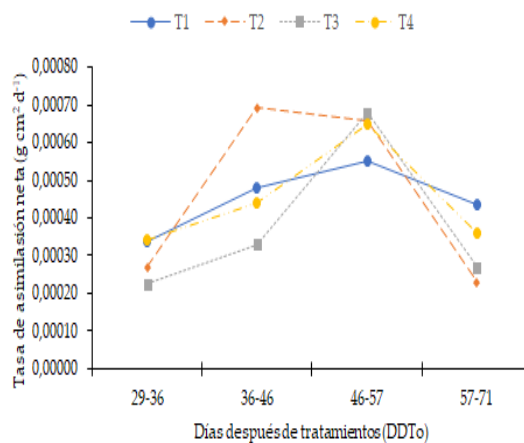
Para la TCC (c), la cual asocia la ganancia de biomasa en el tiempo por metro cuadrado de suelo donde se destaca el comportamiento de T1 debido a que fue el que mostró una mayor velocidad de crecimiento a partir de los 36 DDT<sub>0</sub> hasta finalizar el ciclo respecto al resto de los tratamientos los cuales tuvieron un comportamiento muy similar entre sí a lo largo del ciclo, indica claramente mayor capacidad diaria de producción de materia seca con la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup>, la mayor dosis le otorgó a la planta mayor capacidad para producir masa seca, lo que reafirma con lo encontrado por Cogollo, (2016).

En la TAC (d) se cuantifica el aumento de la biomasa por unidad de tiempo el tratamiento con la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> presentó los mayores valores a lo largo del ciclo respecto a los tratamientos con dosis de 4,6; 3,7 y 2,8 mm día<sup>-1</sup> respectivamente lo que explica también el comportamiento de T1 en la TCC y que contrasta con lo descrito por (Arcia, 2018) quien asegura que con dosis de 3,1 mm día<sup>-1</sup> se obtienen mayores valores en la TAC para el cultivo de apio.

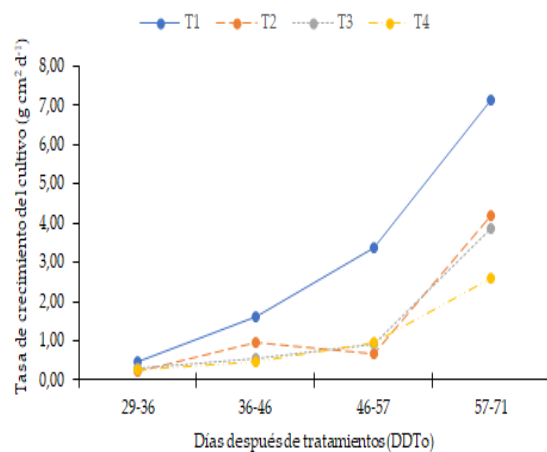
a) Índice de Área foliar (IAF)



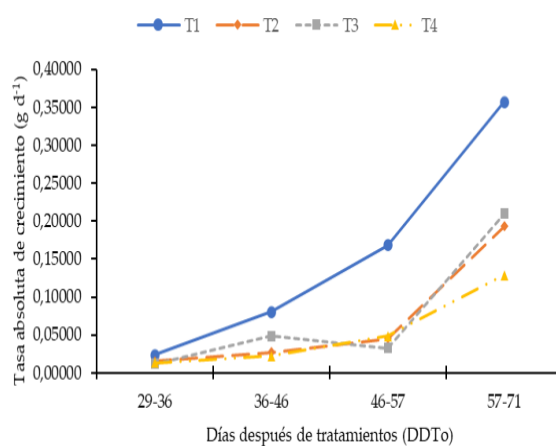
b) Tasa de asimilación neta (TAN)



c) Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)



d) Tasa absoluta de crecimiento (TAC)



Fuente: Elaboración propia.

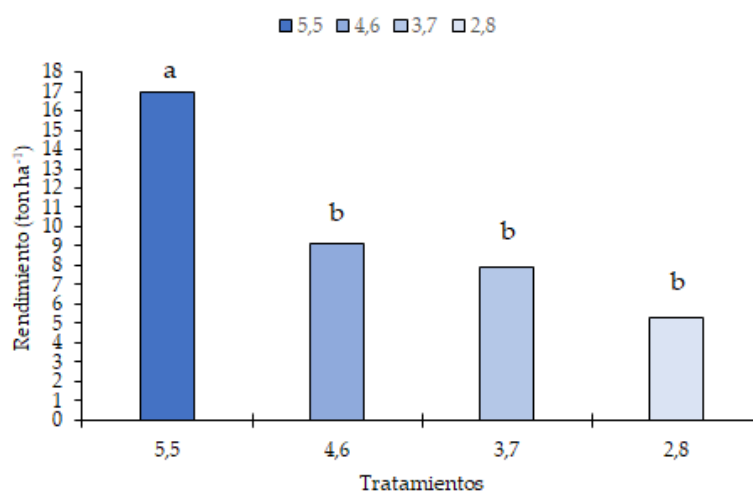
**Figura 10.** Comportamiento de los índices de crecimiento a) IAF, b) TAN, c) TCC, d) TAC en acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.), bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

## 7.4 RENDIMIENTO

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas al 0,1% ( $p < 0,001$ ) al finalizar el ciclo del cultivo (Tabla 2). La figura 11 muestra el rendimiento por hectárea de las plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) en relación a las cuatro láminas de agua aplicadas, donde la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> muestra el mayor rendimiento con 17 ton ha<sup>-1</sup> mientras que la menor dosis, es decir, 2,8 mm día<sup>-1</sup> presenta el menor rendimiento con tan solo 5,26 ton ha<sup>-1</sup>, al respecto Huacani, (2013) menciona que los rendimientos en acelga tienen una relación directa con el tipo de variedad sembrada y sostiene que la variedad *Fordhook Giant* muestra una superioridad la cual es atribuida a la buena característica productiva de esta.

La tabla 4 muestra los valores medios bajo los parámetros de la prueba de Tukey, donde T1 difiere estadísticamente de los demás tratamientos, por lo que es preciso mencionar que para el cultivo de acelga en el Departamento de Córdoba la relación dosis de agua vs rendimiento es directamente proporcional ya que en la medida en que aumentó la dosis de agua aumentó también el rendimiento, sin embargo, es posible que con una mayor dosis de agua el suelo se sature, lo cual es un indicador del bajo nivel de oxígeno presente, además se afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Unger et al., 2009).

La inundación inhibe la actividad de enzimas como la  $\beta$ -D-glucosidasa y la fosfatasa, involucradas en los ciclos del carbono, nitrógeno, fósforo y azufre (Xiao-Chang y Qin, 2006) y se aumenta la concentración de etileno (Malik et al., 2003). Estas condiciones cambiantes en el suelo generan efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las plantas expuestas a condiciones anaeróbicas pueden cambiar su metabolismo de respiración aeróbica a la vía de la fermentación, como un mecanismo adaptativo a la carencia de oxígeno (Fukao et al., 2003; Peña-Fronteras et al., 2008). En ausencia de oxígeno, el ciclo del ácido cítrico y la fosforilación oxidativa no funcionan y la glicolisis se detiene por la limitación en el contenido de NAD<sup>+</sup>. Cuando se agota el NAD<sup>+</sup>, necesario para la primera reacción de la fase de conservación de energía de la glicolisis, la planta metaboliza piruvato por la vía fermentativa para obtener NAD<sup>+</sup> (Taiz y Zeiger, 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

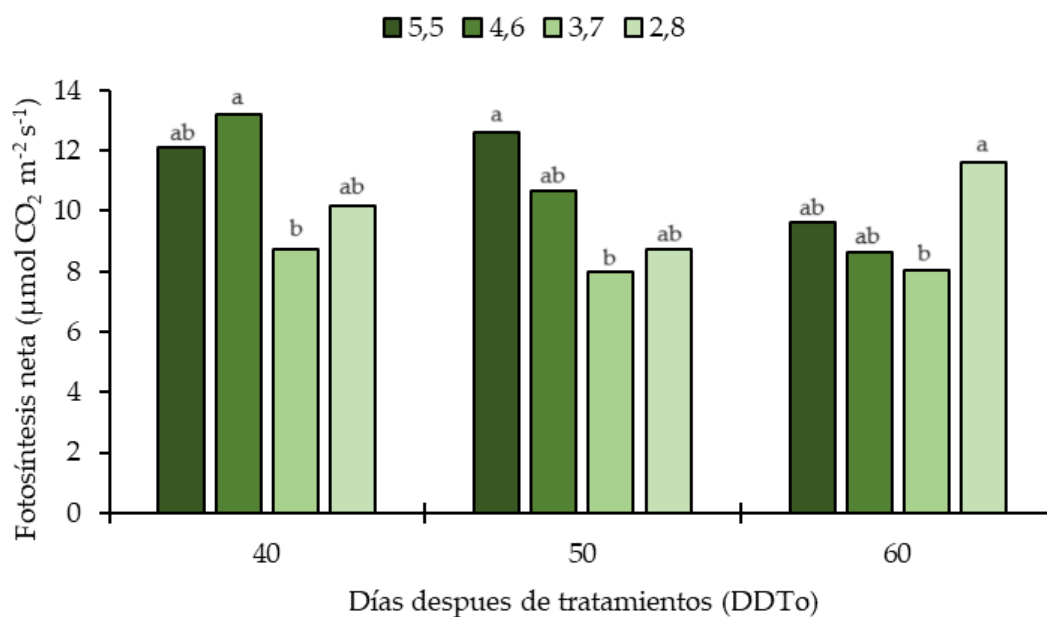
**Figura 11.** Rendimiento del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>

## 7.5 COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE INTERCAMBIO GASEOSO BAJO EL SUMINISTRO DE DISTINTAS LÁMINAS DE RIEGO EN EL CULTIVO DE ACELGA (*Beta vulgaris*. Var. *Cicla* L.).

**7.5.1 Intercambio gaseoso.** La tabla 4, muestra el análisis de varianza realizado en cada uno de los muestreos desde los 10 DDTs hasta los 60 DDTs para cada una de las variables relacionadas con el intercambio gaseoso de las plantas de acelga sometidas a distintas láminas de riego.

Las Fotosíntesis neta mostró diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 5% ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ) a partir de los 40 DDTs hasta los 60 DDTs (Tabla 5), lo cual indica que al menos un tratamiento difiere estadísticamente respecto a los demás. A los 40 días después de aplicados los tratamientos, la mayor tasa de fotosíntesis se presentó con la dosis de 4,6 mm día<sup>-1</sup> que corresponde a T2 con un incremento de 8,9% sobre T1, 51,5% sobre T3 y 29,5% sobre T4; transcurrido los 50 DDTs, la mayor tasa fotosintética se dio en T1 con la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> incrementando en un 18,32%, 57,9% y 44,03% sobre los tratamientos dos, tres y cuatro respectivamente. A los 60 días cuando ya el cultivo entró en su fase final, el comportamiento de la fotosíntesis neta se incrementó en el tratamiento con la menor dosis de agua, donde 2,8 mm día<sup>-1</sup> mostró una tasa fotosintética de 11,63  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , por lo que la fotosíntesis neta se ve influenciada por las dosis de riego, dato que concuerda con lo descrito por Echavarría y Mercado, (2021).

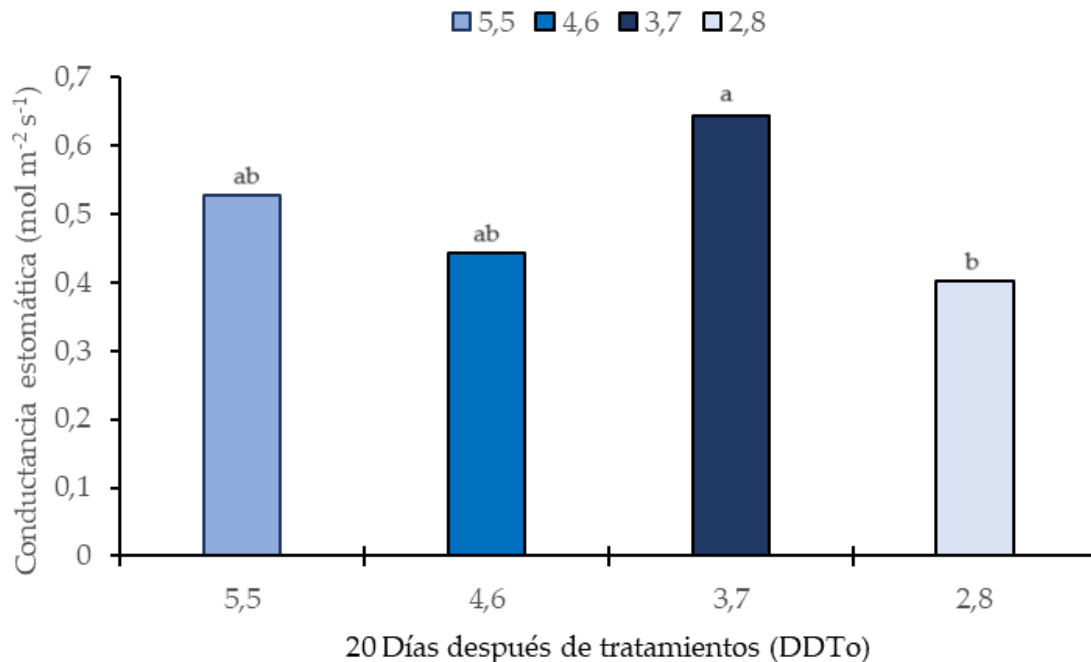
Bajo los parámetros de comparación de medias Tukey ( $p < 0,05$ ) (Tabla 6) la fotosíntesis neta se diferencia estadísticamente entre los tratamientos a partir de los 40 DDT<sub>0</sub>, donde la lámina de 4,6 mm día<sup>-1</sup> muestra la mayor media (13,19  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) en la tabla 5, sin embargo, esta no difiere estadísticamente con T1 y T4. A los 50 días el tratamiento de 5,5 mm día<sup>-1</sup> mostró la mayor media, sin embargo, este no se diferencia desde el punto de vista estadístico con T2 y T4 y a su vez estos no difieren estadísticamente con T3. Finalmente, a los 60 DDT<sub>0</sub> T4, con la lámina de riego más baja alcanza la mayor media (11,63  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) entre tratamientos diferenciándose estadísticamente solo con T3 quien fue el de menor promedio en esta prueba.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 12.** Fotosíntesis neta del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

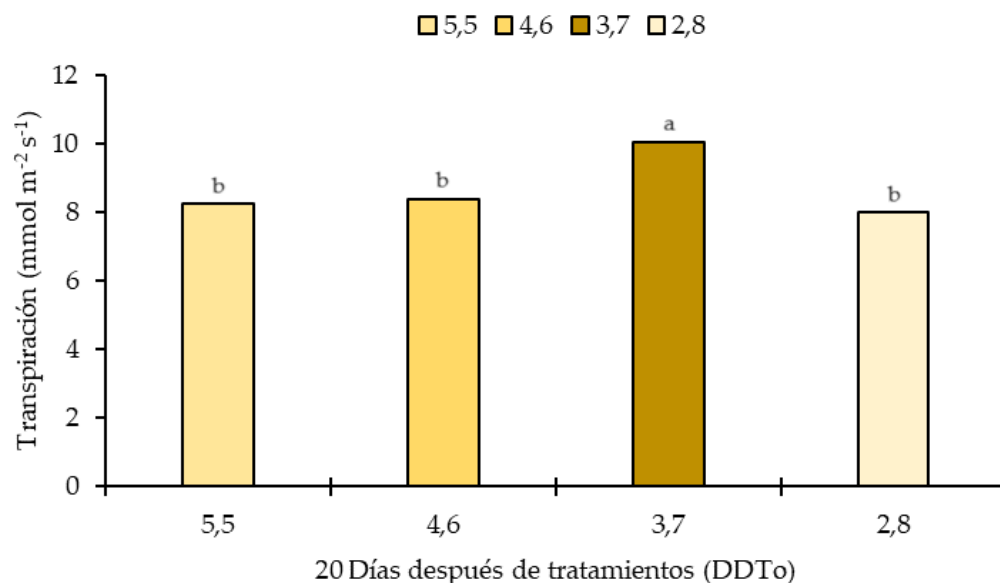
En cuanto a la Conductancia estomática, esta solo presentó diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 5% a los 20 DDT<sub>0</sub> (Tabla 5), donde al menos uno de los cuatro tratamientos difiere estadísticamente respecto a los demás. Según la prueba de Tukey (Tabla 6), el máximo valor se obtuvo con la lámina de 3,7 mm día<sup>-1</sup> con 0,643  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  mientras que el menor valor con 2,8 mm día<sup>-1</sup> registró 0,403  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  al respecto Echeverría y Mercado, (2021) sostienen que, a mayor dosis de agua en el suelo, mayor serán los valores registrados de conductancia estomática.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 13.** Conductancia estomática del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día⁻¹, (T2) 4,6 mm día⁻¹, (T3) 3,7 mm día⁻¹, (T4) 2,8 mm día⁻¹.

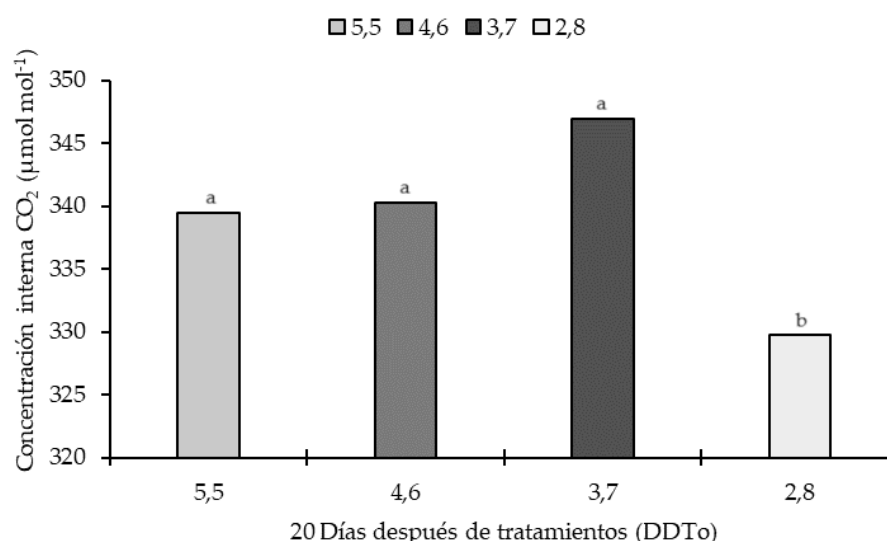
La Transpiración presentó diferencias estadísticas en la prueba a un nivel del 0,1% a los 20 DDTo (Tabla 5), fecha que correspondió al segundo muestreo donde estadísticamente al menos uno de los tratamientos difiere estadísticamente, en este caso con la dosis de 3,7 mm día⁻¹ se obtuvo una media de 10,05 mmol m⁻² s⁻¹ bajo los parámetros de la prueba de Tukey (Tabla 6) en tanto que la menor tasa de transpiración está representada por la dosis de 2,8 mm día⁻¹ con 7,99 mmol m⁻² s⁻¹, al respecto Obando, (2016) sostiene que a mayores contenidos de humedad en el suelo mayor es la tasa de transpiración, ya que mayores contenidos de agua disponible para la planta favorecerían el proceso de transpiración.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 14.** Transpiración del cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día⁻¹, (T2) 4,6 mm día⁻¹, (T3) 3,7 mm día⁻¹, (T4) 2,8 mm día⁻¹.

La Concentración interna de CO<sub>2</sub> arrojó diferencias estadísticas con un nivel de significancia del 1% a los 20 DDT<sub>0</sub> (Tabla 5), lo que indica que al menos uno de los tratamientos se diferencia desde el punto de vista estadístico respecto a los demás, influenciado por las distintas dosis de agua aplicada durante el ciclo, donde la mayor concentración de CO<sub>2</sub> se presentó con la lámina de 3,7 mm día⁻¹ con un valor de 346,89 µmol mol⁻¹, en la prueba de Tukey (Tabla 6) este no se diferencia estadísticamente de los tratamientos con dosis de 4,6 y 5,5 mm día⁻¹ sin embargo, el tratamiento con la menor dosis es decir, 2,8 mm día⁻¹ mostró el valor más bajo con solo 329,8 µmol mol⁻¹, Guarda y Campos, (2014) mencionan que concentraciones excesivas de CO<sub>2</sub> en las plantas pueden tener una acción tóxica, provocando el cierre de estomas, reduciendo el intercambio gaseoso y en consecuencia la tasa fotosintética.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 15.** Concentración interna de CO<sub>2</sub> en el cultivo de acelga bajo cuatro láminas de riego (T1) 5,5 mm día<sup>-1</sup>, (T2) 4,6 mm día<sup>-1</sup>, (T3) 3,7 mm día<sup>-1</sup>, (T4) 2,8 mm día<sup>-1</sup>.

**Tabla 5.** Cuadrados medios y niveles de significancia de intercambio gaseoso en acelga.

| Variable                                 | Fuente de variación | 10 DDTo   | 20 DDTo      | 30 DDTo    | 40 DDTo    | 50 DDTo     | 60 DDTo    |
|------------------------------------------|---------------------|-----------|--------------|------------|------------|-------------|------------|
| Fotosíntesis neta                        | Tratamiento         | 3,9509ns  | 2,30562 ns   | 3,43728 ns | 15,94809 * | 17,1004 *   | 9,90855 *  |
|                                          | Error               | 4,1533    | 1,98241      | 3,4261     | 2,98083    | 4,61888     | 2,6655     |
|                                          | CV                  | 15,3634   | 12,8466      | 16,8462    | 15,6227    | 21,5131     | 17,2217    |
|                                          | Pr > F              | 0,4468    | 0,3642       | 0,4249     | 0,0143     | 0,0428      | 0,0423     |
| Conductancia estomática                  | Tratamiento         | 0,0006ns  | 0,04512 *    | 0,01083ns  | 0,06166ns  | 0,10375ns   | 0,02278ns  |
|                                          | Error               | 0,0409    | 0,01071      | 0,03654    | 0,03955    | 0,04183     | 0,02392    |
|                                          | CV                  | 32,8741   | 20,5422      | 34,9947    | 37,1299    | 44,9499     | 38,071     |
|                                          | Pr > F              | 0,9972    | 0,0299       | 0,8274     | 0,2505     | 0,111       | 0,4465     |
| Transpiración                            | Tratamiento         | 0,39005ns | 3,51196 ***  | 2,04472ns  | 6,13408ns  | 12,64512ns  | 3,03676ns  |
|                                          | Error               | 3,5175    | 0,25533      | 4,8774     | 5,03578    | 6,16998     | 3,83072    |
|                                          | CV                  | 19,1916   | 5,8323       | 24,7727    | 26,7189    | 32,4725     | 25,4536    |
|                                          | Pr > F              | 0,9521    | 0,0003       | 0,7425     | 0,3455     | 0,1607      | 0,5211     |
| Concentración interna de CO <sub>2</sub> | Tratamiento         | 30,7501ns | 198,36929 ** | 27,03961ns | 20,49876ns | 347,71357ns | 14,28611ns |
|                                          | Error               | 63,3947   | 18,87036     | 78,6135    | 70,83851   | 318,03916   | 161,4694   |
|                                          | CV                  | 2,3367    | 1,281        | 2,5844     | 2,4627     | 5,3065      | 3,761      |
|                                          | Pr > F              | 0,6989    | 0,0011       | 0,7941     | 0,8322     | 0,3895      | 0,965      |

CV=Coeficiente de Variación; ns=no significativo; \*=Diferencias estadísticas al 5% (0,01<p<0,05); \*\*=Diferencias estadísticas al 1% (0,001<p<0,01); \*\*\*=Diferencias estadísticas al 0,1% (p<0,001).

**Tabla 6.** Comparación de medias Tukey ( $p<0,05$ )

| Variable                                 | RR  | 10 DDT <sub>0</sub> | 20 DDT <sub>0</sub> | 30 DDT <sub>0</sub> | 40 DDT <sub>0</sub> | 50 DDT <sub>0</sub> | 60 DDT <sub>0</sub> |
|------------------------------------------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Fotosíntesis neta                        | 5,5 | 14.365 a            | 11,493 a            | 11,793 a            | 12,118 ab           | 12,595 a            | 9,623 ab            |
|                                          | 4,6 | 12.560 a            | 9,995 a             | 11,780 a            | 13,193 a            | 10,645 ab           | 8,648 ab            |
|                                          | 3,7 | 13.835 a            | 11,635 a            | 10,303 a            | 8,708 b             | 7,975 b             | 8,025 b             |
|                                          | 2,8 | 12.300 a            | 10,718 a            | 10,075 a            | 10,188 ab           | 8,745 ab            | 11,625 a            |
| Conductancia estomática                  | 5,5 | 0.598 a             | 0,528 ab            | 0,5375 a            | 0,6025 a            | 0,6650 a            | 0,4075 a            |
|                                          | 4,6 | 0.628 a             | 0,443 ab            | 0,5725 a            | 0,6625 a            | 0,4975 a            | 0,3550 a            |
|                                          | 3,7 | 0.618 a             | 0,643 a             | 0,5975 a            | 0,38 a              | 0,3250 a            | 0,3500 a            |
|                                          | 2,8 | 0.618 a             | 0,403 b             | 0,4775 a            | 0,4975 a            | 0,3325 a            | 0,5125 a            |
| Transpiración                            | 5,5 | 9.335 a             | 8,260 b             | 8,825 a             | 8,948 a             | 9,788 a             | 7,928 a             |
|                                          | 4,6 | 9.763 a             | 8,355 b             | 9,44 a              | 9,795 a             | 8,413 a             | 7,093 a             |
|                                          | 3,7 | 9.975 a             | 10,050 a            | 9,458 a             | 6,948 a             | 5,953 a             | 6,920 a             |
|                                          | 2,8 | 10.018 a            | 7,990 b             | 7,938 a             | 7,905 a             | 6,445 a             | 8,818 a             |
| Concentración interna de CO <sub>2</sub> | 5,5 | 337.818 a           | 339,470 a           | 339,468 a           | 340,220 a           | 344,28 a            | 338,558 a           |
|                                          | 4,6 | 343.705 a           | 340,255 a           | 342,938 a           | 341,980 a           | 341,85 a            | 335,303 a           |
|                                          | 3,7 | 339.023 a           | 346,893 a           | 344,695 a           | 339,970 a           | 323,51 a            | 339,780 a           |
|                                          | 2,8 | 342.408 a           | 329,795 b           | 345,225 a           | 344,883 a           | 334,65 a            | 337,828 a           |

Letras iguales no varían estadísticamente, según prueba de Tukey.

## 7.6 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ ), PARA LA ACELGA (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.).

En esta investigación se evaluaron cuatro coeficientes de cultivo, a partir de los cuales se basó la determinación de las dosis de riego aplicadas a cada tratamiento durante el transcurso del ciclo del cultivo que tuvo un periodo de duración de 72 días a partir del momento en que se inició la aplicación de los tratamientos; La  $E_{To}$  máxima de la región fue la base para la determinación de los coeficientes teóricos y las láminas de riego.

Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron en cada una de las variables indicadoras de crecimiento del cultivo, las cuales permiten evidenciar la ganancia de biomasa en el tiempo, se determinó el coeficiente de cultivo para la especie *Beta vulgaris* var. *Cicla* L. durante sus fases de crecimiento, donde la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> equivalente al  $K_c$  de 1,2 mostró los mejores resultados al ser aplicadas al cultivo de acelga.

**Tabla 7.** Coeficientes de cultivo evaluados para el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.).

| TTo | Kc  | ETo Max (mm/día) | L. Riego (mm/día) | L. Total (mm/ciclo) |
|-----|-----|------------------|-------------------|---------------------|
| 1   | 1,2 | 4,6              | 5,5               | 396                 |
| 2   | 1,0 | 4,6              | 4,6               | 331,2               |
| 3   | 0,8 | 4,6              | 3,7               | 266,4               |
| 4   | 0,6 | 4,6              | 2,8               | 201,6               |

**Fuente:** Elaboración propia.

El cálculo del Kc proporciona la capacidad de estimar la evapotranspiración de los cultivos de manera más precisa y simple. Esta información mejora la gestión estratégica del recurso hídrico en situaciones de escasez (García y Cantero, 2008).

Mora, (2023) en su estudio “Determinación de la eficiencia del riego casero por goteo en la producción de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) en agricultura urbana” encontró que la cantidad de agua requerida para la producción de acelga varía según el sistema de riego empleado, con consumos que oscilan entre 1210,2 cm<sup>3</sup> y 1679,8 cm<sup>3</sup> por ciclo de cultivo demostrando que entre mayor cantidad de agua disponible, el cultivo ejercerá un mayor desarrollo gracias a la frecuencia de agua constante evitando que pueda entrar en estrés por falta del líquido vital.

Arcia, (2018) en su estudio “Determinación del requerimiento hídrico de apio (*Apium graveolens* L.) bajo condiciones de bioespacio” encontró que el valor de consumo de agua de este cultivo puede estar alrededor de 3,1 mm día<sup>-1</sup> durante la etapa de 0 a 119 días después del trasplante.

Resulta fundamental suministrar agua como factor determinante para proporcionar las mejores condiciones a los cultivos con el fin de que estos expresen buen crecimiento y desarrollo dependiendo también de las condiciones climáticas de la zona, el suelo, el manejo y tipo de cultivo según (Gómez et al., 2010).

## 8. CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones protegidas se logró crear un entorno favorable de adaptabilidad para el crecimiento y desarrollo de las plantas de acelga, ya que se pudo disminuir la temperatura promedio a nivel interno en 2°C respecto a la temperatura media externa al igual que la humedad relativa interna la cual estuvo en promedio 14,4% por debajo de la humedad relativa externa, pudiendo así brindar un ambiente óptimo dentro de los requerimientos climáticos de esta especie.
- Las variables AP y NH no se vieron afectadas por la diferencia en la cantidad de agua aplicada mientras que variables como AF, MFTT y MSTT fueron influenciadas por las distintas dosis donde la mayor media se obtuvo con la mayor lámina aplicada (5,5 mm día<sup>-1</sup>).
- Las diferentes láminas de riego tuvieron mayor influencia en la fotosíntesis neta ya que esta mostró diferencias significativas en los últimos tres muestreos (40, 50 y 60 DDT<sub>0</sub>) mientras que, en variables como conductancia estomática, transpiración y concentración interna de CO<sub>2</sub> solo arrojó diferencias estadísticas a los 20 DDT<sub>0</sub> por los que las distintas dosis no tuvieron un efecto directo en gran parte del ciclo del cultivo sobre estas variables.
- La dinámica de crecimiento y desarrollo de las plantas de acelga se vio influenciada por las diferentes láminas de riego aplicadas a lo largo del ciclo del cultivo, siendo la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> la que originó el mayor rendimiento con 17 ton ha<sup>-1</sup>.
- La selección del coeficiente de cultivo para la acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) se basó en los resultados obtenidos en cada una de las variables indicadoras de crecimiento donde destacó el comportamiento de las plantas con la dosis de 5,5 mm día<sup>-1</sup> correspondiente a un Kc de 1,2, siendo este el coeficiente que permite la producción de acelga en las condiciones descritas del Valle del Sinú medio.

## REFERENCIAS

- Acosta, F. (2015). Respuesta del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) a la fertilización orgánica foliar [Universidad de Guayaquil]. Recuperado de: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8647/1/Acosta%20Proa%c3%b1o%20Felix%20Enrique.pdf>
- Adams, R. (1998). Global Climate Change and Agriculture: an Economic Perspective, American Journal of Agricultural Economics, vol. 71, núm. 5, pp. 1 272-1 279.
- AGRONET. (2022). Reporte: área, producción y rendimiento nacional de la Acelga. Recuperado de: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1> (con acceso 04-10-2023).
- Agudelo, C. (2008). Flora Colombiana. Instituto de Ciencias Naturales Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Monografía No 23.
- Allen, R., Pereira, L. Raes, D., Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje N° 56 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma, pp. 298.
- Alonzo, A. (2004). Producción de col, coliflor, acelga, apio y lechuga. La Paz, Bolivia.
- Álvarez, J., Alvarado, O., Suesca, F. (2017). Efecto de diferentes láminas de riego en el crecimiento y desarrollo de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol.11 no.2. Bogotá. Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7345>
- ANA. (2015) Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Piura, Autoridad Nacional del Agua. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – Zarumilla, Piura – Perú. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2031>
- Antúñez, A. Mora, D. y Felmer, S. (2010). Eficiencia en sistemas de riego por goteo en seco. Región de O'Higgins: INIA Rayentué.
- Arcia, A. (2018). Determinación del requerimiento hídrico de apio (*Apium graveolens* L.) bajo condiciones de bioespacio. [Tesis de pregrado. Universidad de Córdoba]. Montería, Colombia.
- Arriaga, A. De la Cruz, G. y Ortiz, J. (2010). Relaciones hídricas en las plantas. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Arrieta, S., Flórez, E. (2002). Determinación del requerimiento hídrico de dos genotipos de berenjena (*Solanum melongena* L.) a través del riego por goteo en el valle del Sinú medio. [Tesis de pregrado. Universidad de Córdoba, Montería].
- Astearán, I., Martínez, J., Alfredo. (2000). Alimentos y propiedades. Mc Graw Hill Interamericana. España. Madrid II Edición.
- Azofeifa, A., Moreira, M. (2004) Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. *Hot*), en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28:57-67.
- Bennett, D., Daños, T. (2011). Relaciones entre el rendimiento de los cultivos y los requisitos de agua para los principales cultivos de regadío en el sur de Alberta Poder. *Recurso Acuático. J.*, 36, págs. 159-170, 10.4296/cwrj3602853.
- Brown, R. (1984). Growth of the green plant. In: *Physiological basis of crop growth and development*. American Society of Agronomy. Madisson. 677:153-174.
- Casierra, F., Vargas, Y. (2007). Crecimiento y producción de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria sp.*) afectados por encharcamiento. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 1(1), 21-32.
- Castro, J. (2009). Hortalizas alternativas en seguridad alimentaria. Cartagena: El Universal. Recuperado de: <https://www.eluniversal.com.co/economica/hortalizas-alterativa-en-seguridad-alimentaria-BJEU2047> (con acceso 04-10-2023).
- Cerny, J., Haninec, P., Pokorny, R. (2020). Índice de área foliar estimado por métodos directos, semidirectos e indirectos en rodales de hayas y arces sicómoros europeos. *J. Para. Res.*, 31 (3), págs. 827-836, 10.1007/s11676-018-0809-0
- Chavarría, V. (2014). Comportamiento agronómico de cuatro variedades del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.) en el cantón pichincha, provincia de manabí. Pichincha, Ecuador.
- Chaves, M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J., Santos, T., Regalado, A., Rodríguez, M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Ann. Bot.* 105(5), 661- 676. Doi:10.1093/aob/mcq030
- Chávez, A. (2016) Determinación del coeficiente de cultivo (kc) y crecimiento vegetativo de maralfalfa (*Pennisetum sp.*) bajo condiciones climáticas de la irrigación majes, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Tesis de grado, Arequipa – Perú.
- Claro, F. (1991). Balance Hídrico. HIMAT. Bogotá. Tomado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=4666728&pid=S2011-2173201600010001300014&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=4666728&pid=S2011-2173201600010001300014&lng=en)
- Cogollo, J. (2016). Requerimiento hídrico en Cebolla Roja (*Allium cepa* L.) en el Valle del Sinu medio. Montería: Universidad de Córdoba.

- Dávila, G. (2011). Determinación de las características físicas y químicas de la Acelga Beta Vulgaris I. Variedad gigante fordhook [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/437/2/03 AGI 207 TESIS.pdf>
- Davis, S., Dukes, M. (2010). Rendimiento de la programación del riego mediante controladores basados en evapotranspiración Agrícola. Gestión del agua., 98, págs. 19-28,10.1016/j.agwat.2010.07.006.
- Daymsa. (2021). Cultivo de acelga. Recuperado de: <https://daymsa.com/cultivo/acelga/>.
- De Alencar, L., Sedyama, G., Mantovani, E. (2015). Estimación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) bajo estándares de la FAO con datos climáticos faltantes en minas gerais, Brasil. Ing. Agrícola., 35 (1), págs. 39-50.
- De Aquiz, Y., Álvarez, J., Pinzón, L. (2014). Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria sp*). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol.8 no.2 Bogotá. Doi: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a03.pdf>
- De la Paz, A., Souza, Y., Egipsi, V. (2003). La huerta fértil; Guía de verduras y hortalizas con raíces, tallos y hojas comestibles. Editorial Libsa, Madrid, España. pp.48–49.
- Dotor R., González, L., Morillo, C. (2018). Período crítico de competencia de la Zanahoria (*Daucus carota* L.) y malezas asociadas al cultivo. Revista de Ciencias Agrícolas, 35(1), 5. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.78>
- Douna V., Barraza V., Grings F., Huete A., Restrepo N., Beringer J. (2021). Hacia una estimación de la evapotranspiración basada en datos de teledetección en el norte de Australia utilizando un enfoque forestal aleatorio simple. Revista de Ambientes Áridos, 191, Artículo 104513.
- Echevarría, C., Huber, A., Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. Bosque 28(3), 271-280.
- Echeverría, R., Mercado, T. (2021). Requerimiento hídrico del aguacate (*Persea americana* Miller) variedad americana, en etapa de vivero en los Montes de María, Sucre, Norte de Colombia. Idesia vol.39 no.2 Arica. Tomado de: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292021000200091](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292021000200091)
- EROSKI. (2019). Guía práctica de verduras. Recuperado de: <https://verduras.consumer.es/acelga/introduccion>
- Escalante E., Kohashi, J. (1993). El Rendimiento y Crecimiento del Frijol. Manual para la Toma de Datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. 84 p.

- Estrada, J. (2003). Técnicas de producción para hortalizas, CEDEFOA - Centro de desarrollo y fomento al auto – ayuda. La Paz, Bolivia. pp. 10-13.
- Fan, J., Yue, W., Wu, L., Zhang, F., Cai, H., Wang, X., Lu, X., Xiang, Y. (2018). Evaluación de SVM, ELM y cuatro modelos de conjuntos basados en árboles para predecir la evapotranspiración de referencia diaria utilizando datos meteorológicos limitados en diferentes climas de China Agrícola. Para: Meteorol., 263, págs. 225 – 241.
- FAO. (2006). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirement. Documento 56. FAO, Roma.
- FAO. (2023). Cambio Climático y Seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Tomado de: <https://www.fao.org/climatechange/1661505a3a6593f26eaf91b35b0f0a320cc22e.pdf>
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F., Van Velhuizen, H. (2005), “Socio-economic and Climate Change Impacts on Agriculture: An Integrated Assessment, 1990-2080”, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 360, núm. 1 463, pp. 2 067-2 083.
- Flores, A. (2007). Efecto de frecuencia de poda en dos variedades de acelga en ambiente protegido. Tesis de Grado. La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. p.98.
- Flores, J. (2009). Agricultura ecológica, manual y guía didáctica. Editorial Mundi–Prensa. Primera Edición, Madrid, España. p.395.
- Franco, S. (2002). Hidroponía, cultivos sin tierra. (en línea). La Paz, Bolivia. Consultado 12 de abr. 2015. Disponible en: <http://www.maristas.com.ar/champagnat/poli/biologia/hidrop.htm>
- Frey, S., Lee, J., Melillo, J., Seis, J. (2013). La respuesta de la temperatura de la eficiencia microbiana del suelo y su retroalimentación al clima. Nat. Subir. Cambio, 3, págs. 395-39,10.1038/nclima1796
- Frutas y hortalizas, (2021). Acelga, *Beta vulgaris var. Cicla*/Chenopodiaceae. Recuperado de: <https://www.frutas-hortalizas.com/Hortalizas/Presentacion-Acelga.html>. (con acceso 05-10-2023)
- Fuente, M., Estrada, A., Orona, C., Sánchez, O. (2007). Producción de Alfalfa con riego por goteo subsuperficial. Una opción para regiones con escasa disponibilidad de agua. CENID – RASPA, INIFAP.
- Fukao, T., Kennedy, R., Yamasue, Y., Rumpho, M. (2003). Genetic and biochemical analysis of anaerobically induced enzymes during seed germination of *Echinochloa crus-galli* varieties tolerant and intolerant of anoxia. J. Exp. Bot. 54, 1421-1429.

- Garay, O. (2009). Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. Subproyecto Pronostico Estacional de lluvias y temperaturas de la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura 2007-2009. Recuperado de: <http://met.igp.gob.pe/proyectos/incagro/datos/ManualConsuntivo.pdf>.
- García, F., Cantero, L. (2008). Indicadores globales para la evaluación del uso sostenible del recurso agua: caso cubano, *Voluntad Hidráulica*, 100: 2-17.
- García, I., Jiménez, J., Reyes, M., Carmona, A., Pérez, R., Muriel, J. (2008). Aplicación de caudales limitados de agua en plantaciones de cítricos del valle del Guadalquivir. *Fruticultura Profesional*. 173:5–16.
- Ghosh, P., Badyopadhyay, K., Manna, M., Mandal, K., Misra, A., Hati, K. (2004). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource technology*, 95(1), 85-93.
- Gianconi, V. (2004). Cultivo de hortalizas. Colección nueva técnica. Editorial Universitaria Novena Edición. Barcelona, España. p.334.
- Glaroudis D., Iossifides A., Chatzimisios P. (2020). Desafíos de encuesta, comparación e investigación de los protocolos de aplicación de IoT para la agricultura inteligente. *Redes de Computadoras*, 168, Artículo 107037.
- Gómez, A., Rojas, H., Vallejo, F., Estrada, E. (2010). Determinación del requerimiento hídrico del pimentón en el municipio de Candelaria, departamento del Valle del Cauca. Universidad Nacional de Colombia. Palmira-Colombia.
- Guarda, V., Campos, L. (2014). Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem. *Embrapa Pesca e Aquicultura*.
- He, L., Coburn, C., Wang, Z., Feng, W., Guo, T. (2019). Reducción de la saturación de predicción y efectos de visualización para estimar el índice de área foliar del trigo de invierno. *Geociencias. Sensores Remotos*, 57, pág. 1637–1652, 10.1109/TGRS.2018.2868138
- Hincapié, E. (2011). Estudio y modelación del movimiento del agua en suelos volcánicos de ladera [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9296>
- Hunt, R. (1982). Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London, p. 246.
- Hunt, R. (2003). Growth analysis, individual plants. En: Thomas B., D. J. Murphy and B. G. Murray (Eds.). *Encyclopedia of applied plant sciences*. London: Academic Press; 1618 p.

- IDEAM, (2010). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2a Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá.
- IDEAM. (2018). Estudio nacional del agua. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2022). Estudio nacional del agua. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC. (2013). Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Infoagro, (2022). El Cultivo de la acelga. Recuperado de: <https://www.infoagro.com/hortalizas/acelga.htm>. (con acceso 05-10-2023).
- Infocampo, (2023). Acelga, una hortaliza versátil y fácil de plantar en la huerta. Recuperado de: <https://www.infocampo.com.ar/acelga-una-hortaliza-versatil-y-facil-de-plantar-en-la-huerta/>. (con acceso 02-11-2023).
- Jabloun, M., Sahli, A. (2008). Evaluación de la metodología FAO-56 para estimar la evapotranspiración de referencia utilizando una aplicación limitada de datos climáticos a Túnez. *Agrícola. Gestión del agua.*, 95 (6), págs. 707 – 715.
- Jaramillo, A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. *Revista Cenicafé*, 57(4), 288–298. <http://hdl.handle.net/10778/232>
- Keller, T., Arvidsson, J., Dexter, A. (2007). Soil structures produced by tillage as affected by soil water content and the physical quality of soil. *Soil and Tillage Research*, 92(1), 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.001>
- Kirkham, M. (2005). Field Capacity, Wilting Point, Available Water, and the Non-Limiting Water Range. En *Principles of Soil and Plant Water Relations* (pp. 101–115). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012409751-3/50008-6>
- Kumar M., Bharti B., Quilty J., Adamowski J., Pandey, A. (2014). Modelado de la evaporación diaria del recipiente en climas subtropicales utilizando ANN, LS-SVR, Fuzzy Logic y ANFIS *Sistemas expertos con aplicaciones*, 41 (11), págs. 5267-5276.
- La vanguardia. (2019). Acelga: propiedades, beneficios y valor nutricional. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20181004/4622/alimentos-acelgas-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>
- Lal, R., Shukla, M. (2004). *Principles of soil physics*. CRC Press. Part III. Soil Hydrology. p.299.

- Lei, R., Talbot, R., Wang, Y., Chung, S., Estes, M. (2018). Influencia de los frentes fríos en la variabilidad del O<sub>3</sub> diario en la superficie sobre el área de Houston-Galveston en Texas, EE. UU., durante 2003-2016. *Revista atmosphere*. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2073-4433/9/5/159/htm>
- Li, Y., Qin, Y., Rong, P. (2022). Evolución de la evapotranspiración potencial y su sensibilidad al cambio climático basada en la ecuación de Thornthwaite, Hargreaves y Penman-Monteith en zonas ambientalmente sensibles de China *Atmos. Res.*, 273, Artículo 106178, 10.1016/j.atmosres.2022.106178
- Liotta M, (2015). Manual de capacitación: riego por goteo. 1ª edición especial Rivadavia. Edición para UCAR. Unidad para el Cambio Rural. ISBN 978-987-33-8776-0
- Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowińska-Jurkiewicz, A., Sławiński, C. (2007). The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. *Soil and Tillage Research*, 97(2), 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.001>
- Liu, L. Ueda, H. Saneoka. (2013). Respuestas fisiológicas de las acelgas blancas (*Beta vulgaris* L. *subsp. Cicla*) al estrés salino y alcalino. Agosto. *J. Ciencia de Cultivos.*, 7(2013), pág. 1046 – 1052.
- Macek, U., Bezak, N., Sraj, M. (2018). Cambios de evapotranspiración de referencia en Eslovenia y Europa. *Agrícola. Para: Meteorol.*, 260–261, págs. 183-192, 10.1016/j.agrformet.2018.06.014.
- Malik, A., Colmer, T., Lambers, H., Schortemeyer, M. (2003). Aerenchyma formation and radial O<sub>2</sub> loss along adventitious roots of wheat with only the apical root portion exposed to O<sub>2</sub> deficiency. *Plant Cell Environ.* 26, 1713-1722.
- MAPA. (2023). Verduras y Hortalizas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-buenas-practicas/buenas-practicas-sobre-alimentacion/verduras.aspx>
- Marín, G. (2010). Determinación de los requerimientos hídricos del cilantro (*Coriandrum sativum*), variedad unapal precoz y su relación con el desarrollo del cultivo, la producción y la calidad, comparando un periodo seco y húmedo de siembra del cultivo en el año. [Tesis Ingeniero Agrónomo], Universidad Nacional de Colombia, Palmira.
- Martín J., Sáez J., Corchado E. (2021). Sobre la idoneidad de los conjuntos basados en apilamiento en agricultura inteligente para la predicción de la evapotranspiración *Computación Blanda Aplicada*, 108, Artículo 107509.

- Martínez, A., Lee, R., Chaparro, D., Páramo, S. (2003). Postcosecha y mercadeo de hortalizas de clima frío bajo prácticas de producción sostenible. Bogotá: Ultracolor Ltda.
- Martínez, J., Bernart, C., Andres, J. (1997). Invernaderos. Editorial Aedos, Barcelona – España 1ra. Edición. pp. 25 – 42.
- Martínez, J., Farías, K., Ruíz, R. (2020). Importancia del control de variables ambientales en invernaderos para la producción de hortalizas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Informativo No. 36. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67176/Informativo%20INIA%20N%C2%B0%2036?sequence=1&isAllowed=y>
- McCarl, B. (2010), Analysis of Climate Change Implications for Agriculture and Forestry: An Interdisciplinary Effort, Climatic Change, vol. 100, núm. 1, pp. 119-124.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., Shaw, D. (1994), “The Impact of Global Warming on Agriculture: a Ricardian Analysis”, American Economic Review, vol. 84, núm. 4, pp. 753-771.
- Ministerio de Agricultura (1997) Ordenamiento del sistema de gestión de los recursos hídricos cuenca Quilca – Chili anexo F demanda de agua, Lima – Perú.
- Miranda, I. (1997). Apuntes de Hidroponía; México, Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Preparatoria Agrícola., Área de Agronomía. 59 p. Serie de Publicaciones AGRIBOT No.2.
- Monge R. MA. (2019). Evapotranspiración y Kc (parte II). Tomado de: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/evapotranspiracion-y-kc-parte-ii>
- Mora, C. (2023). Determinación de la eficiencia del riego casero por goteo en la producción de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) en agricultura urbana. [Tesis de pregrado, Ingeniero Agrónomo]. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Morales, E., Franco, O., González, A. (2011). Snap bean production using sunflowers as living trellises in the central high valleys of Mexico. Cien. Inv. Agr. 38: 53-63.
- Morard, P., Lacoste, L., Silvestre, J. (2000). Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. Journal of Plant Nutr. 2, 1063–1078.
- Muñoz, A. (2005). Polinización de cultivos. Editorial Mundi – Prensa Libros. Madrid, España. 232 p.
- Mzoughi, Z., Chahdoura, H., Chakroun, Y., Cámara, M., Fernández, V., Morales, P., Mosbah, H., Flamini, G., Snoussi, M., Majdoub, H. (2019). Wild edible Swiss chard leaves (*Beta vulgaris* L. var. *cicla*): Nutritional, phytochemical composition and

- biological activities. Food Research International, 119, 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.039>.
- Nava, A., Ramírez, I., Peña, C., Díaz, G., González, V. (2009). Características del intercambio de gases en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Periférico Poniente s/n, Iguala, Guerrero. C. P. 40100. MÉXICO.
- Navarra, M. (2023). Elementos y factores del clima. Tipos de climas. Meteorología y climatología de Navarra. Recuperado de: <http://meteo.navarra.es/definiciones/elementosfactores.cfm#:~:text=Los%20factores%20del%20clima%20son,los%20distintos%20tipos%20de%20climas>.
- Nemani, R., Nemani, R., Keeling, C., Tucker, C., Myneni, R., Running, S. (2009). Primary Production from 1982 to 1999 Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999, 1560. doi:10.1126/science.1082750
- Nobel, P. (2009). Chapter 9—Plants and Fluxes. En P. S. Nobel (Ed.), Physicochemical and Environmental Plant Physiology (4th ed., pp. 438–505). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374143-1.00009-0>
- Núñez, C. (2016). Evaluación de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.) con tres niveles de fertilizante foliar (Vigor Top) en ambiente protegido. [Tesis de pregrado. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia].
- Obando, D. (2016). Respuesta de la fotosíntesis y la transpiración de la hoja a la humedad del suelo en plántulas de cuatro especies forestales. [Tesis de maestría en Ciencias Agrarias, Colombia].
- Ochoa, M. (2019). Tamaño de hoja y su relación con la fisiología y absorción de minerales de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.) [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C].
- Oliveros, M., Caicedo, J. (2023). La conductancia estomática (gs), importancia función y factores de influencia. medición de la conductancia estomática (gs) a través del porómetro de difusión estable en diferentes cultivos. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/368472454\\_LA\\_CONDUCTANCIA\\_ESTOMATICA\\_gs\\_IMPORTANCIA\\_FUNCION\\_Y\\_FACTORES\\_DE\\_INFLUENCIA\\_MEDICION\\_DE\\_LA\\_CONDUCTANCIA\\_ESTOMATICA\\_gs\\_A\\_TRAVES\\_DEL\\_POROMETRO\\_DE\\_DIFUSION\\_ESTABLE\\_EN\\_DIFERENTES\\_CULTIVOS\\_COSMOAGRO\\_S\\_A\\_1\\_C](https://www.researchgate.net/publication/368472454_LA_CONDUCTANCIA_ESTOMATICA_gs_IMPORTANCIA_FUNCION_Y_FACTORES_DE_INFLUENCIA_MEDICION_DE_LA_CONDUCTANCIA_ESTOMATICA_gs_A_TRAVES_DEL_POROMETRO_DE_DIFUSION_ESTABLE_EN_DIFERENTES_CULTIVOS_COSMOAGRO_S_A_1_C)
- Palencia, G. Mercado, T. y Combat, E. (2006). Estudio agroclimático del departamento. Montería: Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba.
- PDA. (2020). Plan departamental de extensión agropecuaria departamento de Córdoba. Montería: Plan Departamental de extensión Agropecuaria.

- Peña, J., Villalobos, T., Baltazar, A., Merca, F., Ismail, A., Johnson, D. (2008). Adaptation to flooding in upland and lowland ecotypes of *Cyperus rotundus*, a troublesome sedge weed of rice: tuber morphology and carbohydrate metabolism. *Ann. Bot.* 103, 295-302.
- Pineda, J. (2022). Cultivo de acelga. Recuperado de: <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/acelga/>. (con acceso 05-10-2023)
- Pons, J., Castejón, R. (2023). Efecto de la disminución de calor consiguiente de la inclinación de los rayos solares en invierno. GEOIMATGE. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional de la Universidad de Barcelona. Recuperado de: <http://www.ub.edu/geoimatge/es/content/efecto-de-la-disminuci%c3%b3n-de-calor-consiguiente-de-la-inclinaci%c3%b3n-de-los-rayos-solares-en>
- Pozi, D. (2020). Más allá del cambio de estaciones: ¿cómo influye la inclinación del eje de la Tierra en el clima. Hipertextual. Recuperado de: <https://hipertextual.com/2020/12/cambio-estaciones-influye-inclinacion-eje-tierra-clima>
- Rawles, W. Brakensiek, D. (1982). Estimating soil water retention from soil properties. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108(2), 166–171. <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0034246>
- Rojas, W. (2006). Apuntes de Botánica Sistemática. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. pp.45.
- Santana, L. (2008). Evapotranspiración Penman-Monteith. Análisis Agro Cabildo. Recuperado de: <https://www.agrocabildo.org/publica/analisisclimatico/evapotrans2008.pdf>
- Santillán, E., Dávila, J., De Anda., Díaz, J. (2013). Assessment of hydric balance through climatic variables, in the Cazonos River Basin, Veracruz, México. *Rev. Ambient. Agua.* 8(3), 104-117.
- Sarmiento, N., Ramírez, C., García, J. C., Hincapié, K., Orozco, D. (2022). Aplicativo de balance hídrico para el cultivo de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 539, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0539>
- Sassendran, S., Ahuja, L., Ma, T., Trout, G., McMaster, D., Nielsen, Q., Fang, X. (2015). Developing and normalizing average corn crop water production functions across years and locations using a systemmodel. *Agric. Water Manage.* 157, 65-77.
- Schübl, M., Brunetti, G., Fuchs, G., Stumpp, C. (2022). Desde datos de monitoreo del agua del suelo hasta flujos de agua en zonas vadosas: un ejemplo completo de hidrología inversa. *Hidrol. Sistema Tierra. Ciencia. Conversar.*, págs. 1–30.

- Serida. (2017). Cultivo de la acelga. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Tecnología Agroalimentaria Boletín Informativo 19(1), 15-16. Disponible en <http://www.serida.org/pdfs/7101.pdf>.
- Song, X., Lu, F., Xiao, W., Zhu, K., Zhou, Y., Xie, Z. (2019). Rendimiento de 12 métodos de estimación de la evapotranspiración de referencia en comparación con el método Penman-Monteith y las posibles influencias en el noreste de China Meteorol. Aplica., 26, págs. 83-96, 10.1002/met.1739
- Spano, D., Snyder, R., Sirca, C., Duce, P. (2009). ECOWAT – A model for ecosystem evapotranspiration estimation. Agric. For. Meteorol. 149(10), 1584-1596. Doi: 10.1016/j.agrformet.2009.04.011.
- Taiz L, Zeiger E. (2006). Plant physiology. 4th ed. Sunderland, Mass: Sinauer Associates; 764 p.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2010) Fisiología vegetal. Quinta edición, Sinauer Associates Inc., Sunderland, p.782.
- Touzet, P., Villain, S., Buret, L., Martin, H., Holl, A., Poux, C., Cuguen, J. (2018). Chloroplastic and nuclear diversity of wild beets at a large geographical scale: Insights into the evolutionary history of the Beta section. Ecology and Evolution, 8(5), 2890–2900. <https://doi.org/10.1002/ECE3.3774>
- Ugás, R., Siura, S., Delgado, F., Casas, A., Toledo, J. (2000). Programa de Hortalizas. Universidad nacional Agraria La molina, Lima. 202p. ISBN 9972-93-12-0-X. Tomado de: <http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/Datosbasicos.html>
- Unger, I., Kennedy, A., Muzika, R. (2009). Flooding effects on soil microbial communities. Appl. Soil Ecol. 42, 1-8.
- Unger, I., Motavalli, P., Muzika, R. (2009). Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. Agr. Ecosyst. Environ. 131, 105-110.
- UPRA, (2022). Colombia: 26,5 millones de hectáreas con vocación agro. Recuperado de: [https://upra.gov.co/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/GEKyUuxHYSXZ/content/colombia-26-5-millones-de-hectareas-con-vocacion-agro](https://upra.gov.co/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/GEKyUuxHYSXZ/content/colombia-26-5-millones-de-hectareas-con-vocacion-agro).
- Vargas, G. (2016). Efectos del cambio climático en el Caribe Colombiano. Lecciones de y para ciudades de América Latina. Pag 43. Universidad Externado de Colombia. Primera Edición. Tomado de: [https://www.researchgate.net/publication/303406289\\_Efectos\\_del\\_cambio\\_climatico\\_en\\_el\\_Caribe\\_colombiano](https://www.researchgate.net/publication/303406289_Efectos_del_cambio_climatico_en_el_Caribe_colombiano)
- Veihmeyer, F., Hendrickson, A. (1927). The relation of soil moisture to cultivation and plant growth. Soil Science, 3, 498–513.

- Verano, A., Villamizar, A. (2017). Lineamientos agroecológicos para el desarrollo del agroecoturismo en páramos. *Turismo y Sociedad*, XXI, pp.253-273. Doi: <https://doi.org/10.18601/01207555.n21.12>
- Vereecken, H., Schnepf, A., Hopmans, J., Javaux, M., Or, D., Roose, D., Vanderborght, J., Young, M., Amelung, W., Aitkenhead, M., Allison, S., Assouline, S., Baveye, P., Berli, M., Bruggemann, N., Finke, P., Flury, M., Gaiser, T., Govers, G., Ghezzehei, T., Hallett, P., Franssen, H., Heppell, J., Horn, R., Huisman, J., Jacques, D., Jonard, F., Kollet, S., Lafolie, F., Lamorski, K., Leitner, D., McBratney, A., Minasny, B., Montzka, C., Nowak, W., Pachepsky, Y., Padarian, J., Romano, N., Roth, K., Rothfuss, Y., Rowe, E., Schwen, A., Simunek, J., Tiktak, A., Van, J., Dam, Van der Zee, S., Vogel, H., Vrugt, J., Wohling, T., Young, I. (2016). Modelado de procesos del suelo: revisión, desafíos clave y nuevas perspectivas. *Vadose Zone J.*, 15 (5), págs. 1-57.
- Vicente, S., Begueria, S., López, J. (2010). Un índice de sequía multiescalar sensible al calentamiento global: el índice estandarizado de evapotranspiración de precipitación. *J. Clim.*, 23, págs 1696 1718, 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Vijayalaxmi, K. (2022). Stomatal conductance: Function, measurement, and applications. *CID Bio Science*. <https://n9.cl/yo26c>.
- Villasagua, L. (2013). Respuesta del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla L.) a la aplicación del sistema de riego deficitario controlado en la zona de Babahoyo. [Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador].
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environm. Exp. Botany*. 61(3):199-223.
- Westerhoff, R. (2015). Using uncertainty of Penman and Penman-Monteith methods in combined satellite and ground-based evapotranspiration estimates. *Remote Sens. Environ.* 169, 102-112. Doi: 10.106/j.rse.2015.07.021.
- Wu, P., Bai, P., Xia, W., Yang, X., Li, J., Yan, Z. (2016). El desarrollo foliar y la demografía explican la estacionalidad fotosintética en los bosques siempreverdes del Amazonas *Ciencia*, 351, págs. 972-977, 10.1126/ciencia.aad5068
- Wu, R., Liu, Y., Xing, X. (2021). Evaluación del índice de déficit de evapotranspiración para el seguimiento de la sequía agrícola en el norte de China. *J. hidrol.*, 596, Artículo 126057, 10.1016/j.jhidrol.2021.126057.
- Xiao, W., Qin, L. (2006). Effect of waterlogged and aerobic incubation on enzyme activities in paddy soil. *Pedosphere* 16(4), 532-539.
- Yampa, E. (2020). Evaluación del rendimiento de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. cyclo) con diferentes dosis de abono foliar (aola) en ambiente atemperado, en la estación experimental de Cota Cota. [Universidad Mayor de San Andrés].

<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/24896/T-2764.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Zheng, Y., Wang, L., Dixon, M. (2007). An upper limit for elevated root zone dissolved oxygen concentration for tomato. *Scientia horticulturae*, 113(2), 162-165.
- Zhou, S., Medlyn, B., Sabate, S., Sperlich, D., Prentice, I. (2014). Short-term water stress impacts on stomatal, mesophyll and biochemical limitations to photosynthesis differ consistently among tree species from contrasting climates. *Tree Physiology*, 34, 1035–1046. doi:10.1093/treephys/tpu072
- Zude, M., Hartmond, U., Ebert, G., Ludders, P. (2001). Pyridine nucleotide charge reduces photosynthesis under short-term oxygen deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 126, 703–709.